平成 17～21 年度研究成果報告書

「身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現 ―移動知の構成論的理解―」

領域代表者　淺間　一（東京大学）

平成 22 年 3 月

文部科学省科学研究費補助金
（特定領域研究）

領域番号 454
略称：移動知
研究設定期間：平成 17 年度～平成 21 年度

平成 17～21 年度研究成果報告書

「身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現 ―移動知の構成論的理解―」

領域代表者　淺間　一（東京大学）

平成２２年３月
文部科学省科学研究費補助金
（特定領域研究）

領域番号 454
略称：移動知
研究設定期間：平成 17 年度～平成 21 年度

目次

第１部　概要・総括班報告

特定領域研究「移動知」とその成果の概要
身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現－移動知の構成論的理解－
淺間　一 …… 1

身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現に関する総括研究
淺間　一，土屋和雄，伊藤宏司，矢野雅文，大須賀公一，高草木薫，神崎亮平，青沼仁志，石黒章夫，太田　順 …… 7

第２部　A 班報告

A 班：環境適応 研究報告
伊藤宏司 …… 11

感覚・運動連関の実時間拘束ダイナミクスの構成論的理解
伊藤宏司，郷古　学 …… 13

動的環境における感覚・運動連関の予期適応
近藤敏之 …… 17

最適移動投資：即時利益率の計算アルゴリズム
松島俊也 …… 21

接触タイミング予測における視覚と触覚の関係
小池康晴 …… 25

試行錯誤行動を伴った知識ベース学習における前頭前野外側部の機能的役割
藤本　淳，田中智洋，小川　正 …… 29

相互追従実験によるヒト―ヒト間協調的適応の最適化の研究
沢田康次，林　叙克 …… 33

自己と他者の身体認識の脳内メカニズムの解明
村田　哲 …… 37

ミラーニューロンモデルに基づく他者自己間の感覚運動パターンの誘発と推定
稲邑哲也，奥野敬丞 …… 41

複雑な行為生成を可能とする高次脳機能のメカニズムについてのモデル構成論的な理解
有江浩明，谷　淳 …… 45

第３部　B 班報告

B 班研究活動報告
土屋和雄 …… 49

適応的移動行動の発動と選択に関与する神経機構＝予測的な姿勢制御とリアルタイムの姿勢制御＝
高草木薫，森　大志，中溝克己，柳原　大，中里泰三，吉見健二，
北澤　茂，稲瀬正彦，松山清治，小山純正，奥村利勝 …… 51
ニホンザル歩行運動のシステムバイオメカニクス－神経筋骨格モデルによる歩行知能の探求－
荻原直道，青井伸也，杉本靖博，中務真人，土屋和雄 …… 57
適応的ロコモーション創発のための反射と志向性の相互作用設計
細田　耕，辻田勝吉，井上康介，田熊隆史，木村　浩 …… 61
歩行困難者補助のための反射運動系のモデル化に関する研究
横井浩史，瀧田正寿，北佳保里 …… 65
ラットーマシン融合システムと多機能神経電極による生体運動中枢適応機能の解明
鈴木隆文，満渕邦彦 …… 69
情報を表現する神経活動における身体の役割を BMI 法で解析する
櫻井芳雄 …… 73
脳幹―中脳―基底核におけるやる気の生成，強化学習機構の解明
小林　康 …… 77
移動知の基盤としての脊髄神経機構
関　和彦 …… 81
大脳基底核による最適運動制御
南部　篤 …… 85
筋活動パラメータに基づいた神経疾患の定量的評価
李　鍾昊，鏡原康裕，筧　慎治 …… 89
多角的計測に基づく歩行の環境適応メカニズムの計算論的理解
花川　隆，田中悟志，大須理英子 …… 93

第４部　C 班報告
C 班：社会適応　研究活動報告
青沼仁志 …… 97
環境に適応するための高次行動を制御する神経生理機構のシステム的理解
青沼仁志 …… 99
コオロギの社会性発現機構の構成論的理解
太田　順，淺間　一，川端邦明 ……103
生体の適応行動発現に対するネットワーク機能構造からの理解
倉林大輔，神崎亮平 ……107
社会行動を司る生理機能をモデルとした移動知研究
三浦　徹，竹内秀明，石川由希，北條賢，淀井智也
池本有助，青沼仁志，淺間一 ……111

昆虫社会における自律分散制御機構の進化
辻　和希，山岡亮平，菅原　研，菊地友則，大西一志，下地博之，
大槻　久，辻井　直，藤木悠里，結城麻衣，八重樫和之，
林　叔克　……115
生工連携的手法によるメス鳥さえずり受容・識別メカニズムの定量的理解
岡浩太郎，高山文博，岩崎麻衣，岩崎真千子，萩原将文，
伊澤栄一　……119
視線効果が注意の場に与える変化について：特に加齢が視線認知に与える影響に関する研究
加藤元一郎，中本周平，大武美保子，淺間　一　……123
コオロギ本能プログラムの発現と発達の調節のしくみ
長尾隆司，岸上明生，田森佳秀，佐々木謙，小川宏人　……127
社会的適応のための行動変容機構の研究
伊藤悦郎，池野英利，大橋瑞江，木村敏文，岡田龍一　……131
サル前頭葉ネットワーク構造の社会文脈依存的変化
竹中一仁，柳川透，長坂泰勇，藤井直敬　……135

第５部　D 班報告
D 班：移動知の共通原理
大須賀公一　……139
大脳皮質運動関連領野が創る「見なし情報」による随意運動制御
矢野雅文　……141
移動知の力学的共通原理の発見と展開
大須賀公一，鄭　心知，大金邦成，足立二朗　……145
結合振動子系から探る移動知の力学的共通原理
石黒章夫，清水正宏，郷原一寿　……149
生命の自律性解明のためのロボットの自律運動生成実験とハエの探索行動実験
池上高志，嶋田正和　……153
蝶の羽ばたき飛翔における環境創成による移動知発現のメカニズム
泉田　啓，飯間　信，平井規央　……157
動的素子のネットワークに於ける環境に対する適応メカニズムの研究
青柳富誌生　……161
ばらつきを許容する生体の運動計画とその実現アルゴリズム
西井　淳　……165
真正粘菌変形体の環境依存の動的ネットワーク形成による適応行動と機能創発
高松敦子，加川知己，伊藤昌明，岡本　力，横谷佳世子，五味拓真，
平井　友，遠藤辰弥，荒船智史，渡邊　晋，松本秀明，手老篤史，
中垣俊之　……169
生体の運動習熟過程の計測とモデル化
川村貞夫，満田　隆，植村充典，関本昌紘，伊坂忠夫　……173

第６部　付録

メンバーリスト　……177
研究業績・受賞・特許　……181
活動記録　……211

特定領域研究「移動知」とその成果の概要

身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現
－移動知の構成論的理解－

東京大学　淺間　一

1. はじめに

平成 17 年度より，文部科学省科学技術研究補助金特定領域研究「身体・脳・環境の相互作用による適当的運動機能の発現－移動知の構成論的理解－」がスタートした[1-3]．本特定領域は，５年間のプロジェクトであり，本年度が最終年度である．本稿では，移動知の概念や，移動知研究の目的，そのアプローチ，主要な成果などについて紹介する．

2. 移動知研究とは

2.1 移動知研究の目的

人間，動物，昆虫などは，様々な環境において適応的に行動することができる．このような適応行動は，これらの生物が生存する上で，最も基本的で必須な知的機能（生存脳機能）である．この適応的行動能力は，脳や身体の損傷によって損なわれることが知られている．パーキンソン病は，典型的な適応的運動機能障害の例であるし，自閉症や統合失調症なども社会的な適応機能障害であると考えることができる．近年，高齢化や社会環境の変化によって，このような適応的行動障害を持つ人の割合が急激に増加しており，それに対する取り組みが急務となっている．しかし，このような適応行動がどのようなメカニズムで発現するかについてはほとんど明らかになっていない．移動知研究は，まさにこのような生物の適応的行動がどのようなメカニズムで発現するのかを解明することを目的としている．

2.2 移動知の概念

本特定領域では，これら生物が有する適応的行動能力は，「動く」ことによって発現すると考えている．生物は，静止している状態では，極めて限定された環境情報しか得ることができない．しかし，一旦身体を動かすと，身体を動かすための信号が脳から身体に活発に出力され，また身体と環境との相互作用が生まれる．それによって，動的に環境情報を取得し，適応的な行動が生成されると考えることができる．このように，動くことで生じる，「脳」と「身体」と「環境」の動的な相互作用によって適応的に行動する知が発現するという考え方を「移動知」(*Mobiligence*)と呼んでいる．移動によって得られる，適応的な行動を生成する上で重要となる情報は，以下のようにまとめられる．

- 場所を変えることによって得られる多様な情報
- 運動・動作によって得られる動的（力学的）情報
- 経験

移動知の考え方は，従来のロボティクスの考え方とは異なる．従来のロボティクスでは，**図 1**(a)に示すように，環境をセンサによって知覚し，認識することが最初のステップである．認識結果に基づき，知識を適用することによって運動や行動を計画し，アクチュエータを制御して，身体を動作させることによってその運動や行動が実現される．その結果，行動主体（ロボット）は環境に何らかの変化をもたらす．しかし，移動知の考え方では，**図 1**(b)に示すように，行動が知覚に先立つ．行動することによって，豊富な情報を環境から動的に取得する．得られた情報は，経験として知に蓄えられると同時に，得られた情報に応じて実時間での行動選択，運動生成に活用される．これらの二つの考え方を結合させることで，認知と行動の連続的なループを形成することができる．

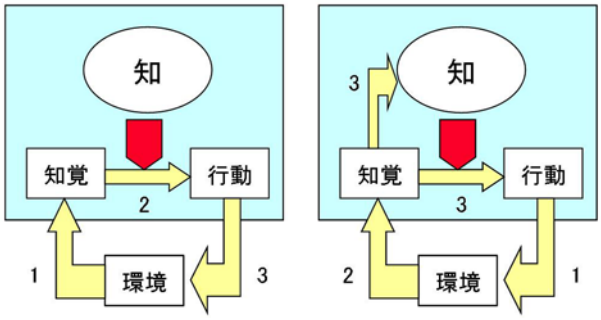


図 1　(a)ロボティクスの考え方・(b)移動知の考え方

2.3 生工融合による構成論的アプローチ

これまでの生物学の研究によって，神経回路や，そこで働く神経修飾物質などに関して，多くのことが明らかになってきた．その知見の多くは，動物実験など，解析的手法によって得られたものであるが，このアプローチでは，動物が静止した状態での脳単体の機能しか観測することができない．すなわち，運動中の生体内の状態，脳と身体と環境の動的相互作用を計測する手段は極めて少なく，従来の生物学の分析的アプローチだけによって移動知発現のメカニズムを解明することは難しい．そこで，移動知研究では，神経生理学，生態学などの生物学的方法論と，システム工学，ロボティクスなどの工学的方法論を融合させ，動的な生体システムモデルから適応的運動や行動を構成することによって，それが生成されるメカニズムの理解に迫ることとした．我々は，それを生工融合による構成論的アプローチと呼んでいる．**図 2** に移動知，および生工融合による構成論的アプローチの概念図を示す．

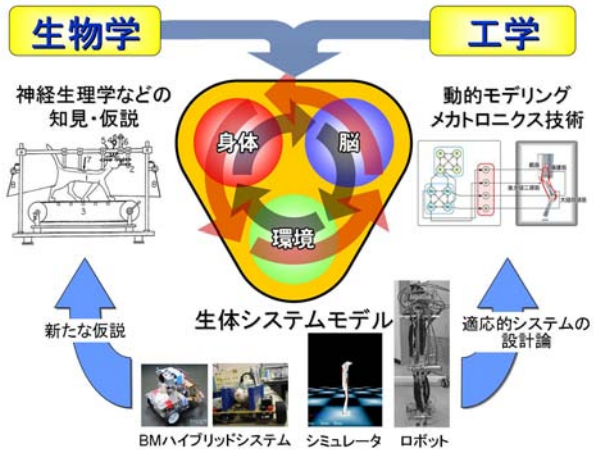


図 2　生工融合による構成論的アプローチ

2.4 移動知の研究体制

移動知研究では，適応的行動機能の中でも，環境の変化を認知し情報を生成するメカニズム（環境適応），環境に対して身体を適応させ制御するメカニズム（身体適応），他者ならびにその集合体としての社会に適応させるメカニズム（社会適応）の三つの適応メカニズムに注目し，それぞれ A 班，B 班，C 班という研究班を組織し，具体的な適応行動の発現メカニズムの解明に関する研究を行っている．

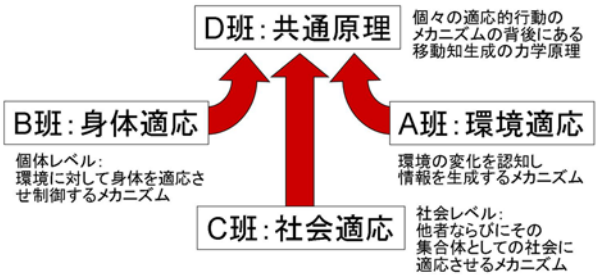


図 3　移動知研究の体制

また，A，B，C 班で，個々の生物のある特定の適応行動に注目して，そのメカニズムの解明に向けた研究を行う一方で，それらの適応的行動のメカニズムの背後にある，移動知生成共通の力学的原理（共通原理）の導出を目的とした研究を，D 班という研究班を組織化し，行っている．移動知生成の共通原理の解明により，適応的なシステムの設計原理が得られることを期待している．図 3 に特定領域研究「移動知」の体制を示す．

3.　移動知の主な研究成果

3.1 各研究班における研究成果

移動知の研究成果の例について紹介する．

A 班（班代表：伊藤宏司先生（東工大））では，環境適応研究として，環境の変化を認知し身体を動作させるのに必要な情報を生成するメカニズムに関する研究を行っている．特に，生物が外部環境を内部に表象する（内部モデル）ことで，予測不可能な環境変化に対し，実時間で予測的に運動指令を生成するメカニズムについて研究が進められている [4]．これまでに，図 4 のような上肢到達（リーチング）運動を例として，局所的な拘束条件（みなし情報）の競合により，実時間で適応行動を生成する工学モデルを開発した．また，到達運動，キャッチング動作を例に，内部モデル形成とそれに基づく予期適応のメカニズムを実験的に解析し，行動発現がフィードフォワード的にプログラムされていることを明らかにした．この機能を予期適応（Anticipatory Adaptation）と呼び，適応のメカニズムを，生成の複雑性に応じて，パラメータ適応，状態適応，文脈適応という三層に分類した．

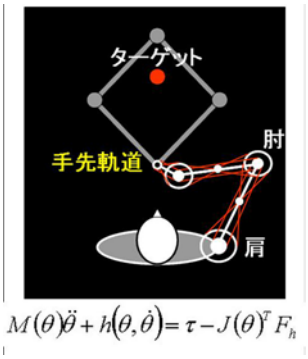


図 4　上肢到達（リーチング）運動

B 班（班代表：土屋和雄先生（同志社大））では，身体適応研究として，個体レベルで，環境に対して身体を適応させ制御するメカニズムに関する研究を行っている．特に歩行に関する研究に関しては，System Biomechanics 注 1) と呼ぶ方法論に基づき，環境変動に対応した適応的歩行運動パターンの選択と実時間形成のメカニズムの解明，および環境適応機能を持ったロボットの開発に焦点をあてて研究を行っている．これまでに，筋緊張の抑制に関与する脊髄内の介在細胞の同定と機構の解明を行い，ニホンザルの X 線 CT データ，解剖データを元に，図 5 に示すような筋骨格系の要素モデルを開発した [5]．また，ニホンザルなどを用い，大脳皮質から大脳基底核，脳幹，脊髄へ投射する皮質出力系の機能分化に注目し，どこの領域が，肢運動・姿勢・行動開始に寄与するかを同定した [6] [7]．

図 5　ニホンザルの筋骨格系モデル

注 1 神経生理学研究で得られた脳神経系モデルと人類学および工学的手法によって得られた筋骨格系モデルを統合し，システム論的に適応的運動の生成メカニズムを解明する生工融合の方法論である．

C 班（班代表：青沼仁志先生（北大））では，社会適応研究として，群レベルで，他者ならびにその集合体としての社会に適応させるメカニズムに関する研究を行っている．これまでに，Synthetic Neuroethology [注2)] と呼ぶ方法論に基づき雄コオロギどうしの喧嘩行動（図 6）を題材として生理学実験と行動学実験を基にモデルを構成し，シミュレーションによって，個体間の相互作用と密度に応じて，図 7 に示すように攻撃的な個体数が変容し，異なる社会が創発されることを明らかにした [8)9)]．系統的に異なる動物（昆虫，トリ，サル，ヒト等）の社会的適応行動の発現機構についても，コミュニケーション行動に注目し，社会的順位形成やカースト形成の生理機構におけるフェロモン，神経伝達物質・修飾物質，ホルモン等の作用の重要性を，行動学や生理学の実験，およびモデル構築，シミュレーション実験から解明しようとしている．また，カイコガの脳の適応的行動生成機能については，Brain Machine Integrated System [注3)] と呼ぶ方法論に基づき，図 8 のような触角や脳などの生体要素と，アクチュエータで駆動可能な移動ロボットの機械的身体を統合したハイブリッドシステム（サイボーグ）を構成することによって，その生体要素の機能とメカニズムの解明に迫っている [10)]．

図 6　雄コオロギの喧嘩行動

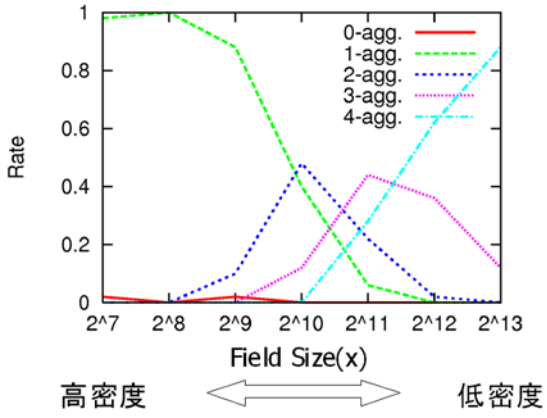


図 7　個体密度（フィールドサイズ）に応じて攻撃的な個体数が変化するシミュレーション結果

注 2 断片的に得られた神経生理学知見を工学的手法によって統合し，システム論的に適応的行動選択のメカニズムを解明する生工融合の方法論である．

注 3 生体要素と工学要素を統合し，ハイブリッドシステム（サイボーグ）を構成することによって，生体の適応行動生成のメカニズムを解明する生工融合の方法論である．

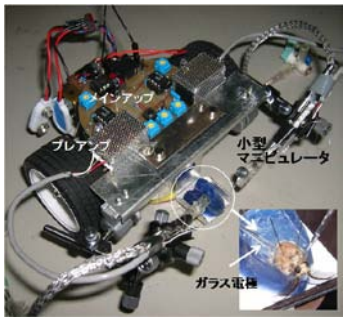


図 8　カイゴガの脳を組み込んだ移動ロボット

D 班（班代表：大須賀公一先生（神戸大））では，共通原理研究として，移動知生成の力学的原理に関する研究を行っている．特に，適応行動のための制御メカニズムの複雑化を防ぐ機構の受動性と自己安定性に注目した研究が行われている．これまでに，受動的動歩行とアメーバ型群ロボットを例に，力学的側面からの移動知の共通原理に関する議論を行っている．受動歩行に関しては，歩行力学系自体に歩行を安定化させるフィードバック構造が内在していることが明らかになった [11)]．また，真性粘菌とアメーバ型ロボットを対比させ，アメーバ型ロボット（図 9）の要素間の連結度合いの強度と環境適応機能に相関があることを明らかにした [12)]．また，これらの受動的動歩行やアメーバ型ロボットの研究を通して，身体自身にもある種の適応機能が内在しており，身体（機構系）と脳神経系（制御系）のバランスが重要であることが指摘された．

図 9　アメーバ型ロボット Slimebot

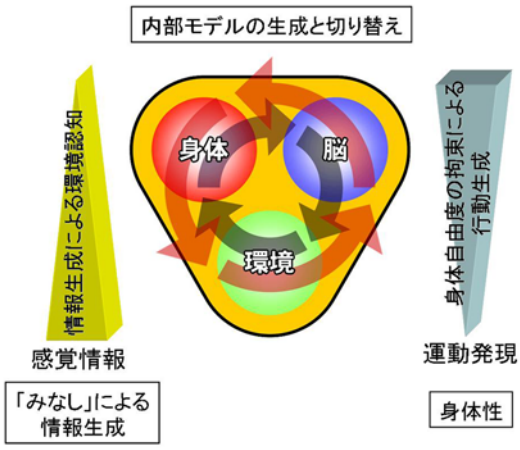


図 10　移動知生成メカニズムの共通的性質

3.2 移動知の共通的性質

移動知の研究はまだ発展途上であり，その共通原理がまだ解明されたわけではない．しかし，これまでの移動知の研究から，移動知生成メカニズムの共通的な性質がわかってきた．それを**図 10** に示す．我々は，移動（運動）することで，無限定な環境（外界）の膨大な情報を，感覚機能によって圧縮しながら知覚し，取得する．しかし，それは必ずしも，行動(運動)を生成するのに十分であるとは限らない．我々生物は，そのような状況でも「みなし」[13]によって，脳の中で情報（すなわち行動（運動）のための拘束条件）を生成し，それによって超多自由度の身体を動かすことができる．そこでは，当然ながら身体性が重要となる．行動（運動）を実時間で生成するには，脳の中に内部モデルを構成することが必要であり，我々は，それを生成したり，切り替えながら，認知と行動を結び付けているのである．

本稿で紹介した研究成果は，移動知研究のごく一部であり，このほかにも，より多様な生物の多様な適応メカニズムについて多数の興味深い研究成果がこれまでに得られている．なお，その成果の詳細に関しては，すでに学会の会誌の特集号や論文誌 [14-16] で発表を行っているので，それをご参照いただきたい．また，最新の研究成果のいくつかについては，2008 年 10 月に行った第 2 回移動知国内シンポジウムにおいて報告された．2009 年 11 月には，第 3 回移動知国際シンポジウムを開催する予定である [3].

4. おわりに

平成 17 年度より開始した，文部科学省科学技術研究補助金特定領域研究「身体・脳・環境の相互作用による適当的運動機能の発現－移動知の構成論的理解－」（略称：移動知）の概要について述べた．

移動知研究は，生物学分野の研究として，生物の持つ様々な適応的行動のメカニズムを解明することのみならず，医療分野における運動障害の新治療法の発見，リハビリ支援システムの開発などにおいて，また工学分野における知的人工システムの設計原理の導出において，大きな貢献を果たすと考えている．さらには「移動知」という新しい研究分野を開拓し，生工融合型の研究組織を立ち上げ，生物学研究を行える工学研究者，工学研究を行える生物学研究者の育成を図りたいと考えている（**図 11**）．

図 11　移動知研究の波及効果

謝　辞

本講演で紹介する移動知の概念や研究は，これまでに，土屋和雄先生，伊藤宏司先生，矢野雅文先生，高草木薫先生，神崎亮平先生，太田　順先生，石黒章夫先生，青沼仁志先生，大須賀公一先生，荻原直道先生をはじめ，本特定領域研究の計画班のメンバーと議論してきた内容をまとめたものである．すべての移動知研究計画班メンバーに，この場を借りて御礼申し上げる．また，移動知研究の評価にあたっては，Prof. Sten Grillner (Korolinska Inst.), Prof. Avis H. Cohen (Univ. Maryland), Prof. Rolf Pfeifer (Univ. of Zurich), 森　茂美先生（生理学研），鈴木良次先生（金沢工大），北村新三先生（神戸大）に貴重な助言やコメントをいただいた．ここに御礼を申し上げる．

参　考　文　献

1) 高草木　薫，淺間　一：移動知：行動からの知能理解－構成論的観点と生物学的観点から，計測と制御，vol. 44, no. 9, pp. 580-589, (2005).
2) 淺間　一：移動知，知能と情報，vol. 19, no. 5, p. 44, (2007).
3) http://www.robot.t.u-tokyo.ac.jp/mobiligence/
4) 近藤敏之，伊藤宏司：移動知における環境適応－リーチング運動を例とした環境認知と運動適応の神経回路モデル－，第 1 回移動知一般公開シンポジウム講演資料集，pp. 21-25, 2006.
5) 荻原直道，青井伸也，杉本靖博，中務真人，土屋和雄：ニホンザル歩行運動のシステムバイオメカニクス－神経筋骨格モデルによる歩行知能の探求－，第 1 回移動知一般公開シンポジウム講演資料集，pp. 17-20, 2006.
6) 高草木　薫：歩行における基底核の役割，第 21 回日本大脳基底核研究会，2006.
7) 中溝克己，森大志，村田哲，稲瀬正彦：ニホンサルの四足歩行運動における一次運動野の神経細胞活動，第 29 回日本神経科学大会，2006.
8) 藤木智久，川端邦明，池本有助，青沼仁志，淺間一：昆虫の適応的行動選択を実現する神経回路モデルに関する研究－NO/cGMP カスケードによる適応的行動選択のモデル化－，第 16 回インテリジェントシステムシンポジウム講演論文集，pp. 23-26, 2006.
9) 足利昌俊，菊地美香，平口鉄太郎，佐倉　緑，青沼仁志，太田 順：コオロギ群における社会的行動選択のモデル化，第 17 回インテリジェント・システム・シンポジウム講演論文集，pp. 191-196, 2007.
10) 鳥井原　茂，峰岸　諒，倉林大輔，神崎亮平：脳－機械融合システムを用いた昆虫適応脳の評価，第 20 回自律分散システム・シンポジウム資料，pp. 343-348, 2008.
11) 大須賀公一：受動的動歩行に隠されている環境適応機能，第 7 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集，pp. 29-32, 2006.
12) 清水正宏，郷原一寿，石黒章夫：移動知発現の理解へ向けたアメーバ様モジュラーロボットの力学的解析，第 20 回自律分散システム・シンポジウム資料，pp. 157-162, 2008.
13) 矢野雅文，冨田　望，牧野悌也：随意運動のための「見なし情報」の創発，計測と制御, vol. 44, no. 9, pp. 590-595, 2005.
14) 計測と制御「特集：移動知：能動的な移動機能がもたらす創発的知能」，計測自動制御学会, vol. 44, no. 9, (2005).
15) 計測と制御「特集：生物の社会適応機能の解明とその工学的応用」，計測自動制御学会，vol. 46, no. 12, (2007).
16) Journal of Robotics and Mechatronics, Special Issue on “Mobiligence: Emergence of Adaptive Motor Function through Interaction among the Body, Brain and Environment”, vol. 19, no. 4, (2007).

身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現に関する総括研究

淺間　一（東大），土屋和雄（同志社大），伊藤宏司（東工大），矢野雅文（東北大），
大須賀公一（阪大），高草木　薫（旭川医大），神崎亮平（東大），青沼仁志（北大），
石黒章夫（東北大），太田　順（東大）

1.　目的

本特定領域研究「移動知」の総括研究として，特定領域研究全体の研究方針の策定，研究項目間の企画調整，研究成果に対する評価・助言を行うとともに，公募方針の決定などを行う．また，関連研究分野の活性化を目的としたシンポジウムや研究会を企画し，研究成果の一般への広報活動を行うとともに，研究者間の密な情報交換，相互理解と交流を推進する．中間評価，事後評価のみならず，定期的に国際研究集会や国際会議・国内学会学術講演会のオーガナイズドセッションを企画し，研究成果の国際的評価を実施する．さらに，生工連携研究に取り組める人材の育成のため支援活動を実施した．

2.　2009 年度総括班活動概要

計画班および公募班が，本領域の特徴とする生工連携がスムーズにかつ効果的に行えるように，班間の連携を促進した．

また，国際シンポジウムの開催，非公開シンポジウムの開催，内部評価の実施，国際会議・国内学会講演会などでのオーガナイズドセッションの企画，移動知教科書シリーズ出版企画，若手の会の支援，ホームページの更新，研究成果・活動記録に関するデータベースの作成などの広報，報告書の作成などを行った．

3.　総括班会議の実施

以下の 2 回の総括班会議および 2 回の総括班幹事会を実施し，研究課題に関する企画・調整，研究方針策定に関する議論を行った．

- 第 1 回総括班会議
  日時：2009 年 11 月 21 日（火）14:00～15:00
  場所：淡路夢舞台国際会議場
- 第 2 回総括班会議
  日時：2010 年 3 月 3 日（水）12:30～13:30
  場所：ホテル松島大観荘

4.　出版編集会議の実施

昨年度に引き続き，教科書シリーズ「移動知」出版編集委員会を行い，出版の最終確認を行った．

- 第 1 回出版編集委員会
  日時：2009 年 11 月 20 日（土）12:20～13:30
  場所：淡路夢舞台国際会議会場内 301 会議室

5.　教科書シリーズの出版

2010 年 2 月末に，オーム社から教科書シリーズ「移動知」全 4 巻を出版した（図 1）．

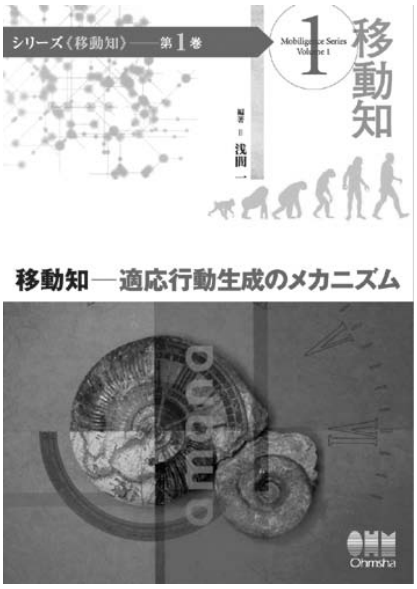


図 1　教科書シリーズ「移動知」

6.　シンポジウムの開催

6.1　第３回移動知国際シンポジウムの開催

2009 年 11 月 19 日（木）～21 日（土）に，淡路夢舞台国際会議場において国際シンポジウム 3rd International Symposium on Mobiligence を実施した（実行委員長：大須賀公一（阪大））．3 日間にわかり，A, B, C, D 班がオーガナイズしたセッションが実施され，3 件の招待講演を含め，26 件のオーラルプレゼンテーション，81 件のポスタープレゼンテーションと質疑応答を行った．なお，招待講演者は，Joel W. Burdick (California Institute of Technology, USA)，Martin S. Fischer (Friedrich-Schiller-Universität (Germany), Yoshiharu Yamamoto (Univ. of Tokyo, Japan)の 3 名である．本特定領域の研究者による講演では，これまでの研究成果が紹介された．また，若手の会によるナイトセッションも開催された．参加者数は 137 名であった．シンポジウムの様子を図 2 に示す．なお，このシンポジウムにおいて，海外２名および国内３名の外部評価委員および総括班メンバーによる評価を行った．この詳細については後述する．なお，シンポジウムの模様についての動画記録を行い，公開している[1].

図２　第３回移動知国際シンポジウムの様子

6.2　非公開シンポジウムの開催

2010 年 3 月 1 日（月）～3 日（水）に，内部評価も兼ねた非公開シンポジウムがホテル松島大観荘において行われた．三日間にわたり，計画班，公募班も含めたすべての研究代表者のオーラルプレゼンテーションおよび個別の研究者によるポスター発表で研究の進捗状況の報告が行われ，質疑応答が行われた．また，大阪大学浅田　稔氏による基調講演が行われた．さらに，若手の会による，ナイトセッションも開催された．参加者数は 113 名であった．

7.　国内外における情報発信・広報

本プロジェクトでは移動知研究の国内外における情報発信を積極的に行っている．

7.1　論文誌および学会誌での特集号の企画・発行

以下の論文誌において移動知の Special issue を企画し発行した．

- Advanced Robotics, Vol.23, No.5, (2009), 5 件

また，前述の第３回移動知国際シンポジウムで発表された論文の中で優秀なものを

- Journal of Robotics and Autonomous Systems

の Special Issue に推薦することとした．

また，国内学会の学会誌での移動知の特集号を企画し発行した．

- 特集「身体・脳・環境の相互作用による適応的ロコモーション機能」，計測と制御，Vol. 48, No. 9, (2009)，計測自動制御学会, 7 件

7.2　国際会議のワークショップ

以下の国際会議におけるワークショップを企画・実施した．

- Workshop on Future Trends of Mobiligence: Adaptive Motor Function through Dynamic Interactions among the Body, Brain and Environment, 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2009), Kobe, Japan, May (2009), workshop, 6 件
- Workshop on Mobiligence: Social Adaptive Functions in Animals and Multi-Agent Systems, 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robotics and Systems (IROS2008) , St. Louis, USA, Sep. (2009), workshop, 9件

7.3　国内学会のオーガナイズドセッション等

以下に開催した代表的なものを示す.

- 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 ROBOMEC2009, 福岡, 5月 (2009), 7件
- 日本ロボット学会学術講演会, 横浜, 9月 (2009), 6件
- 第19回インテリジェント・システム・シンポジウム, 会津, 9月 (2009), 4件
- 計測自動制御学会システム情報部門講演会, 横浜, 11月 (2009), 4件
- 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 東京, 12月 (2009), 15件
- 計測自動制御学会自律分散システムシンポジウム, 名古屋，1月（2010）, 6件

7.4　広報活動

広報活動の一環としてホームページを随時更新するとともに[2]，本特定領域研究の活動をまとめたデータベース化を行い，ホームページ上に「活動記録」として掲載した[3]．また，公募を行うにあたり，その募集に関する広報活動を行った．日本語および英語の報告書の取りまとめ, 製作を行うとともに，移動知の概念や研究成果を，インターネット配信番組である NetRush 等で行った[1].

8.　講演会・研究会・チュートリアル・セミナー・勉強会等の企画・実施

チュートリアル，ワークショップ，セミナー，勉強会等を企画し, 実施した. 主なものを以下に記す.

- チュートリアル「環境適応－予測と内部モデル」
  日時：2009 年 5 月 24 日 13:00～17:00（2009 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会）
  場所：福岡国際会議場
- 共通原理班研究会
  日時：2009 年 6 月 3 日 10:30～17:00
  場所：大阪大学豊中キャンパス
- 第 44 回自律分散システム部会研究会「ネットワークと相互作用」
  日時：2009 年 6 月 19 日 13:30～16:00
  場所：東京大学本郷キャンパス
  場所：同志社大学有徳館東棟
- 環境適応班研究会

日時：2009 年 8 月 28 日 14:00～30 日 12:00
場所：常盤ホテル

●公開シンポジウム「動物行動学とロボット工学のホットな出会い」
日時：2009 年 11 月 27 日 16:30～19:00（2009 日本動物行動学会第 28 回大会）
場所：筑波大学

●東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会「生物の適応的運動機序の構成論的解明」
日時：2009 年 12 月 18 日 13:30～19 日 12：30
場所：東北大学電気通信研究所
東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会

●社会適応班研究会
日時：2010 年 2 月 1 日 10:20～16:00
場所：北海道大学電子科学研究所

9. 内部評価

国際シンポジウムにおいて， Prof. Rolf Pfeifer (University of Zurich, Switzerland), Prof. Avis H. Cohen (University of Maryland, USA)，北村新三先生（神戸大），森　茂美先生（生理学研），鈴木良次先生（金沢工大）の合計 5 名の総括班評価委員を招聘し，シンポジウムに参加していただいた上で, 特定領域「移動知」の運営全般に関する評価, 各班の研究の成果・進捗状況に関する評価をしていただいた. その結果, 重要でかつ新しい研究領域が確実に創造されつつあること，順調な研究成果が生まれつつあることが指摘され，非常に高い評価を得た．この詳細については，別途報告書としてまとめる予定である．

前述の国内非公開シンポジウムにおいて，北村新三先生（神戸大），森　茂美先生（生理学研），鈴木良次先生（金沢工大）の３名の国内評価委員，および総括班メンバーによる内部評価を行った．研究の進捗状況，実績，生工連携などの項目に関して評価を行い，結果を各研究代表者にフィードバックし，今後の進め方の参考にしていただくこととした．

10. 移動知若手の会

移動知若手の会の以下の活動を支援した．

●計測自動制御学会自律分散システムシンポジウム（若手の会企画OS），名古屋，1月（2010），3件

●用語集の作成（移動知教科書シリーズに掲載）

11. 移動知の将来構想の検討

総括班の一部のメンバーによる WG において，特定領域研究「移動知」終了後，本領域をさらに発展させるための新プロジェクトに関する検討，立案を行った．

参考文献

[1] http://www.netrush.jp/idou.htm
[2] http://www.robot.t.u-tokyo.ac.jp/mobiligence/
[3] http://www.robot.t.u-tokyo.ac.jp/mobiligence/act/index.html

A班:環 境 適 応
研 究 報 告

東京工業大学大学院知能システム科学専攻　伊藤宏司

１．研究目的

A班では，1) 予測不可能な環境から行動に必要な認知情報（みなし情報と呼ぶ）を生成する脳－環境連関の解明，2) 動的環境に対する行動適応機能の生物学的解明，3) 脳―身体―環境系から構成される適応機能のモデル構成を目指して研究を進めてきた．これらの課題を遂行するため，計画班・公募班では，以下の研究項目を設定している．

A01：未知環境下における随意運動発現・調節の脳内機構の解明

状況の文脈対応した感覚・運動写像の獲得に関する脳内メカニズムを実験的・構成論的に解明することを試みる．

A02：動的環境における感覚・運動連関の予期適応

運動学習において経験する環境の順序や学習者の内部状態（意識レベル，情動，性格）の文脈と獲得される内部モデルの関係を実験的に解析し，未知環境に予期適応するメカニズムを明らかにすることを試みる．

２．班構成

1) **計画班** A00-01 伊藤宏司（東京工業大学）
未知環境下における随意運動発現・調節の脳内機構の解明．

2) **計画班** A00-02 近藤敏之（東京農工大学）
動的環境における感覚・運動連関の予期適応．

3) **公募班** A00-11 松島俊也（北海道大学）
最適移動投資：即時利益率の計算アルゴリズム．

4) **公募班** A00-12 小池康晴（東京工業大学）
視覚と触覚に関する環境情報の不一致を利用した学習と制御モデルに関する研究．

5) **公募班** A00-13 小川　正（京都大学）
未知環境下における意義情報の抽出と知識の確立過程．

6) **公募班** A00-14 沢田康次（東北工業大学）
相互追従実験によるヒト– ヒト間協調的適応の最適化の研究

7) **公募班** A00-15 村田　哲（近畿大学）
自己と他者の身体認識の脳内メカニズムの解明．

8) **公募班** A00-16 稲邑 哲也（国立情報学研究所）
ミラーニュロンモデルに基づく異種感覚運動情報の統合と他者自己間行動誘発．

9) **公募班** A00-17 谷　淳（理化学研究所）
脳モデルに基づいた行為･認知のための階層性の構成に関する研究

３．研究成果

各研究班の研究成果は，個々の報告で詳しく述べられているので，ここでは，計画班の研究成果をピックアップして概要を述べる．

(1) 観察と動機づけによる模倣学習の促進

我々は日常的に多くの情報を視覚から得ている．たとえばスポーツのトレーニングにおいて，熟練者の巧みな運動を観察することが初心者にとって有益であることは誰もが経験的に知っていることである．Matterらは回転粘性力場下の到達運動を課題とした運動学習実験において，学習前に他者が試行錯誤する様子をビデオで観察することが運動学習を促進する効果を持つことを報告している．

一方，近年の脳機能イメージング技術の飛躍的な進展により，運動の観察時やイメージ時には運動前野などの運動関連領野に，実際に運動を行っている場合と類似の活動が見られることが明らかになっている．神経生理学の分野でも，自らが運動する場合に加えて他者の運動意図を推測する際にも活動するニューロン群（ミラーニューロンシステム）が同定され，運動の模倣との関連が指摘されている．

本研究ではMatterらの実験パラダイムを参考に，回転粘性力場下の上肢到達運動課題を用いて，被験者ごとに「他者の運動の様子を観察すること」と「運動学習を動機づけること」の条件が異なるような実験設定とした上で，各々の学習効果を分離して評価することを試みた．12名の被験者に対して模倣運動学習の実験を行った結果，観察の目的が運動を模倣することであると明示的に動機づけられた被験者群は，学習の初期に有意に高い成績の向上がみられた．

一方，観察の有無は最終的に獲得される運動の模倣精度に影響した．これは，目標となる運動を一度でも見たことがあるという経験が，学習の到達目標を脳内でイメージできたためと推察される．

(2) 脳波(EEG)と電気刺激(FES)による脳卒中患者に対する運動機能再建

脳卒中患者への運動機能回復リハビリテーションの中で，運動学習の視点(繰り返し運動を行うことによる脳内神経回路の更新過程)の重要性を唱える研究例が数多く存在する．本研究では，脳卒中の運動

機能回復を運動学習の側面で捉え, 脳波(EEG)と機能的電気刺激(FES)を組み合わせた，運動意図を反映できるリハビリテーションシステムの構築および検証を行った. 運動意図情報として事象関連脱同期(ERD)を使用し，関連する基礎研究を行ってきた．ここでは, 提案システム(EEG-FESシステム)を実際に脳卒中患者に適用した際の短期訓練効果(1日)について報告する.

1名の脳卒中患者(男性， 年齢=55歳， 発症後30カ月経過)で実験を行った．被験者は脳幹部位に梗塞があり， 左半身にマヒが生じている．リハビリテーションでは足首の背屈運動に重要な前脛骨筋を対象として訓練してきているが，事前評価ではほとんど筋駆動をできない(SIAS, foot-pat test: 0/5)．タスクはマヒ側前脛骨筋運動に伴うERD検出の有無を，ディスプレイ画面上のbarの高さおよび前脛骨筋に添付したFESの出力値変更により，患者に500msecずつ更新し提示した．1回1分間のタスクを計20回行わせた．EEG-FESシステムによる訓練の前後に，足首の背屈運動のみを繰り返しCue提示に合わせて行わせ(計30試行)，訓練前後の評価とした.

訓練前は，前脛骨筋を動かそうとしても，膝関節が動いてしまっている．しかし，訓練後では足首背屈運動が実現できるようになった．また，訓練前後の1試行の前脛骨筋EMGでも，筋活動に改善が見られた．全30試行分のEMGを全波整流平滑化後，6秒から9秒間の動作中最大EMGを用い定量化筋活動を評価したところ，訓練前後において有意($p < 0.05$)に差があることが示された.

以上のように，脳卒中患者に提案システム(EEG-FESシステム)を適用したところ，1日20分程度の訓練にも関わらず，全く動かすことができなかったマヒ側前頸骨筋に有意な改善が見られた．回復メカニズムは不明であるが，運動指令とそれに伴う感覚フィードバックを組み合わせることにより，脳内において運動学習による神経可塑性を進行させたと予想され，提案システムの有用性が示唆された.

４．班会議他

・A 班, B 班合同班会議

日時：2009 年 12 月 18 日（金）
13:30～19 日（土）12:30

会場：東北大学電気通信研究所会議室

研究会趣旨：

「移動知」プログラムにおける活動を通して、この分野における個々の研究成果とともに生物学研究者と工学研究者の共同研究の基礎となるネットワークが構築されてきている。これらの成果を踏まえ、自発的な共同研究の議論が活発におこなわれることが期待される。本研究会では、この分野における最近の研究成果の報告とともに研究の将来構想についての活発に意見交換をした。今後の方向性を探る意味で有意義な会議であった.

出席者：A 班，B 班メンバー他，合計約 30 名

第１日目（担当・B 班）

１．「移動知」プログラムの到達点Ⅰ：神経生理学からのまとめ（60 分）
・話題提供：高草木薫（旭川医科大），柳原　大（東京大学）

２．「移動知」プログラムで研究を始めた若手研究者による研究紹介（60 分）
・舩戸徹郎（同志社大学），清水正宏（東北大学）

３．移動知研究の今後を考えるⅠ：システム工学の立場から（60 分＋討論）
・太田　順（東京大学）

第２日目（担当・A 班）

４．「移動知」プログラムにおける研究報告（60 分）
・松島俊也（北海道大学），小池康晴（東京工業大学）

５．「移動知」プログラムの到達点Ⅱ：システム生物学からのまとめ（60 分）
・伊藤宏司（東京工業大学）

６．「移動知」研究の今後を考えるⅡ：生物学の立場から（60 分）
・矢野雅文（東北大学）
・自由討論

・ROBOMEC 2009 in FUKUOKA チュートリアル

日時：2009 年 5 月 24 日（日）13:00-17:00

会場：福岡国際会議場

福岡で開催された日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門主催の学術講演会で, 移動知 A 班の研究内容についてチュートリアル講演を実施した．100 名近い参加者で大変好評だった.

テーマ：「環境適応-予測と内部モデル」

13:00-13:50　近藤敏之（東京農工大学）
「視覚運動連関の予期と運動学習」

13:50-14:40　小池康晴（東京工業大学）
「運動予測における視覚と触覚の役割」

14:40-15:00　Coffee Break

15:00-15:50　稲邑哲也（国立情報学研究所）
「感覚運動情報の抽象化空間モデルによる行動生成」

15:50-16:40　伊藤宏司（東京工業大学）
「動的環境に対する予測適応と内部モデル」

16:40-17:00　「総合討論」

感覚・運動連関の実時間拘束ダイナミクスの構成論的理解

伊藤宏司　　郷古　学（東京工業大学）

I. はじめに

初めて触れる道具の操作や鏡に映った絵をなぞるなど，我々はそれまでに経験したことがないダイナミクスやキネマティクスの変換を持つ外部環境であっても，能動的な運動とそれに基づく感覚フィードバックの受容を繰り返すことによって，直ちに適切な運動ができるようになる．そして，この知覚運動経験の結果として，我々の脳内には状況に応じて適切な運動指令を生成するための感覚運動連関が内部モデルとして獲得される．しかしながら，我々を取り巻く外部世界は複数のダイナミクスやキネマティクス変換が複雑に合成された無限定環境であり，その変化に頑健な内部モデルが脳内でどのように表象されているかという問題については，依然として明瞭な説明がなされていない．

本稿では，A01-01 班が本年度に取り組んだ研究の中から，力場環境下での上腕到達運動学習による脳内機構の解明に関する研究を始め，四件の研究事例を紹介する．

II. 力場環境下における内部モデル制御とインピーダンス制御の協調機構

対象物操作や道具操作など，外力が加わる環境下で腕運動を行う際には，人間の中枢神経系は，内部モデルによる制御と腕インピーダンスによる制御をフィードフォワード的に協調させる必要がある．近年，生体運動制御・計算論的神経科学の分野では，到達運動中の人間の手先に負荷を加える実験によって，外部負荷に対する腕運動の適応プロセスが詳細に調べられてきた．しかしながら，未だ，上記 2 つの制御戦略（内部モデル制御とインピーダンス制御）を協調させるメカニズムは明らかにされていない．本研究では，従来研究で用いられた 2 つの力場（速度依存力場と位置依存力場）を足し合わせて合成力場を作り，この力場環境における人間の二点間到達運動学習を解析した [1]．また，さらに，実験結果を，最適レギュレータを用いた腕の運動制御モデルの観点から理論的に検証した [2]．

A. 力場環境での二点間到達運動に関する心理物理実験

学生複数名を被験者とし，右腕による水平面内の二点間到達運動（右腕をある Start 点から Target 点に向かって素早く動かす運動．運動距離は 0.125m，目標運動時間は 300 ± 50ms.）を実験課題とした．実験装置として二次元マニピュランダム（[1] 参照）を用いた．

実験では，被験者は 2 種類の力場環境で到達運動を学習した．1 つは，被験者の手先速度に比例した負荷が腕に加わる速度依存力場（Simple environment）であり，もう 1 つは被験者の手先速度と位置に比例した負荷が腕に加わる合成力場（Complex environment）である．各力場の作る負荷のパターンはそれぞれ Fig.1，Fig.2 に示した矢印のようになる．合成力場（Fig.2）は，運動中に腕に加わる負荷の向きが左から右向きに逆転する点で速度依存力場よりも複雑な力場となっている．

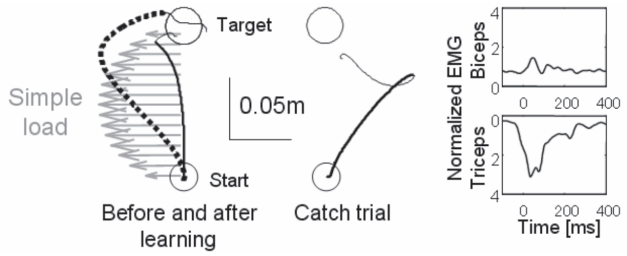


Fig. 1.　Reaching movements under the simple environment.

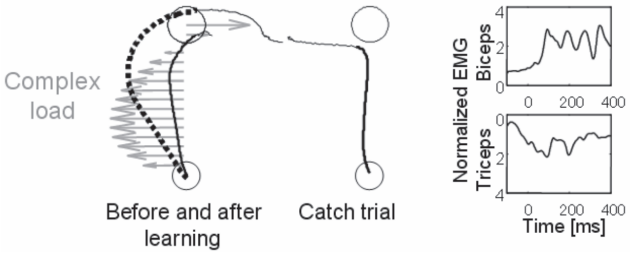


Fig. 2.　Reaching movements under the complex environment.

Fig.1，Fig.2 は，各力場で到達運動を学習した際の学習初期（Before learning，破線），学習後（After learning，実線），キャッチトライアル（Catch trial，学習後の無負荷試行）での手先軌道，及び学習後の上腕二頭筋・三頭筋の EMG パターンを示している．Fig.2 より，合成力場では速度依存力場に比べて，キャッチトライアルでの手先軌道の湾曲が少なく，筋が同時活性していることがわかる．これは，被験者が，あらかじめ負荷の向きを予測して，フィードフォワード的に負荷に対抗する力を生成する制御戦略（内部モデル制御）をとっているのではなく，腕のインピーダンスを高めること（インピーダンス制御）で負荷を補償していることを示している．このように，力場の複雑さに応じて，2 つの制御戦略の協調の仕方が変わってくることが，実験より明らかとなった．

B. 腕運動の計算モデルを用いた数値シミュレーション

環境の複雑さに応じて，内部モデル制御とインピーダンス制御の協調の仕方が変化するという，前節の心理物理

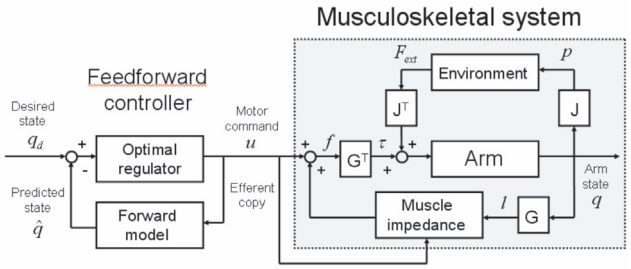


Fig. 3. Simulation model.

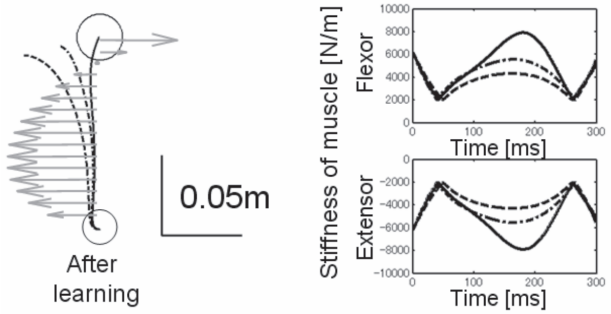


Fig. 4. Simulation results under the complex environment.

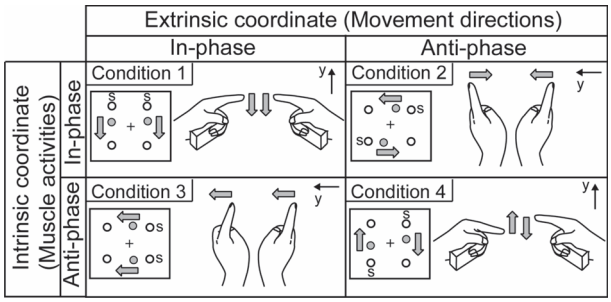


Fig. 5. Task conditions based on the homologous muscle activities and the movement directions.

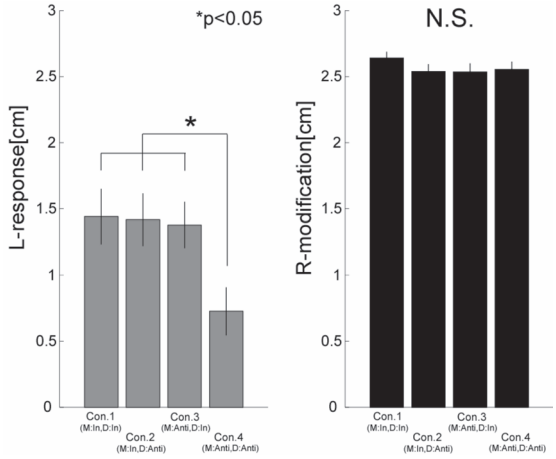


Fig. 6. Amplitude modifications of right finger (right fig.) and left finger response (left fig.) in each condition.

実験結果を，最適レギュレータを用いた腕の運動制御モデルを用いて理論的に検証した．モデルの概要を Fig.3 に示す．図のように，制御器は最適レギュレータと順モデルを組み合わせた構造となっており，順モデルによる内部シミュレーションを利用してフィードフォワード制御則を計算する．最適レギュレータは，運動の終端精度と消費エネルギーで表される評価関数を最小にするような最適フィードバックゲインを計算する．制御対象である腕は，環境（力場）から負荷を受けると共に筋インピーダンスによるフィードバック力を受ける（詳細は [2] 参照）．

Fig.4 は，本モデルを用いて，合成力場での到達運動をシミュレーションした結果である．図は学習後の手先軌道と肩単関節筋の筋スティフネスの時間変化パターンを示している．ここでは，破線，一点鎖線，実線となるにつれて，最適レギュレータの評価関数の終端精度の重みを大きくしている．図より，重みが大きくなるにつれて，筋スティフネスが大きくなり，筋が同時活性することがわかる．すなわち，最適レギュレータを用いた計算モデルの観点からは，複雑な環境では，人間は運動の終端精度をより重視しており，結果としてエネルギー損失が生じるため，単純な環境と比べて腕のインピーダンスが高くなると解釈できる．

III. 左右制御系間相互作用と両側運動

人間は日常生活の様々な場面において両側身体を用いた巧みな運動を行っている．タイピングや野球でバットを振るなどの動作は，左右の身体運動が目的に応じて時空間的に組み合わされた協調運動の良い例である．このような両側身体による協調運動を生成する際には，左右の運動情報を統合する必要があり，左右脳半球に代表されるような，両側に分かれた身体の運動制御系にまたがった情報処理（相互作用）が重要となる．しかし，ピアノ演奏などのように左右の身体を独立な動作パターンで動かす場面などでは，片側の身体運動が反対側の身体運動に干渉してしまい，意図した運動が出力しにくいなどの特徴がある．つまり，目的に応じて協調運動を生成するためには，この相互作用を適切に調節し，左右身体間の協調性を切り替えるメカニズムが必要となると考えられる．以上のような仮説のもと，本研究では，左右身体の動作パターンに依存した協調運動制御系の情報処理の解明を試みた．

実験では左右人差し指によるリズミック（運動周波数：0.5Hz）な屈曲-伸展運動課題を設定し，右指の運動振幅を随意的に増減させた際に生じる左指の振幅変化応答を左右制御系間相互作用の強さとして定量的評価を行った．また，比較する条件として，左右同名筋活動および運動方向の位相差に基づいた 4 つの状態を設定した（Fig.5）． 結果，等価な右指の振幅修正量のもとで観察された左指の振幅変化応答は，左右同名筋が逆相活動であり，かつ，左右の指先運動方向が逆向きとなる条件において他の条件に比べ有意に弱くなる傾向を示した（Fig.6）．これらの結果は，中枢神経系が左右身体の動作パターンに依存して左右制御系間の相互作用を調節するメカニズムを有しているこ

とを示唆している．また，観察された修飾様式から，筋活動（内部座標系情報）や運動方向（外部座標系情報）が左右身体運動として一致する場合には，その共通した情報を積極的に相互作用させることで両側身体のカップリングを構築していると予想される．逆に，条件４のように両側身体で共通する運動情報が存在しない場合には，相互作用を抑制することで左右身体間の運動干渉を軽減し，独立な左右動作パターンによる協調運動を生成しやすくする意味合いがあると考えられる．このように中枢神経系は，目的に応じて適切に協調運動生成のための情報処理を切り替える機能的な側面を有していることが示唆された．さらに，各条件において両側間の運動のばらつきから安定性を評価したところ，同名筋が同時に活動する両側運動（条件１および２）では，同名筋が交互に活動する両側運動（条件３および４）に比べて，ばらつきの小さい安定的な動作が出力されていることが確認された．つまり，左指応答から評価した相互作用の強さが等価である条件１，２および３は，その協調性に何らかの質的な違いが含まれていることを意味している．

そこで，各条件の運動を行う際に左右制御系間で相互作用される運動情報の解明を試みたところ，条件３では誤差情報（視覚空間情報）のみが対側運動に影響を与えうる運動情報であったのに対し，条件１および２では誤差情報に加えて実際の指運動に関する振幅修正量（筋空間情報）も対側運動に影響を与えていることが明らかとなった．これらの結果から，両側運動時に生じる相互作用は複数の座標系情報が関わる多段階的な情報処理であり，左右制御系間による相互作用を解した情報共有がどの空間情報を用いて行われるかに依存して最終的な両側身体の協調特性が決定されることが示唆された．

今後は，fMRI などのイメージング手法により，これまで示唆された左右制御系間にまたがる情報処理に関わる脳部位を同定し，さらに具体的な制御系を解明していく必要がある．

IV. 脳波 (EEG) と電気刺激 (FES) による脳卒中運動機能再建システムに関する研究

脳卒中患者への運動機能回復リハビリテーションの中で，運動学習の視点 (繰り返し運動を行うことによる脳内神経回路の更新過程) の重要性を唱える研究例が数多く存在する．しかし，本視点にもとづき，筋駆動をできない脳卒中患者に対してのシステムはほとんど存在しない．そこで本研究では，脳卒中の運動機能回復を運動学習の側面で捉え，脳波 (EEG) と機能的電気刺激 (FES) を組み合わせた，運動意図を反映できるリハビリテーションシステムの構築および検証を行った (Fig.7)．本システムに関して，これまでに運動意図情報として事象関連脱同期 (ERD) を使用し，基礎研究を行ってきた [3], [4]．本稿では，提案システム (EEG-FES システム) を実際に脳卒中患者に適用した際の短期訓練効果 (1 日) について報告する．

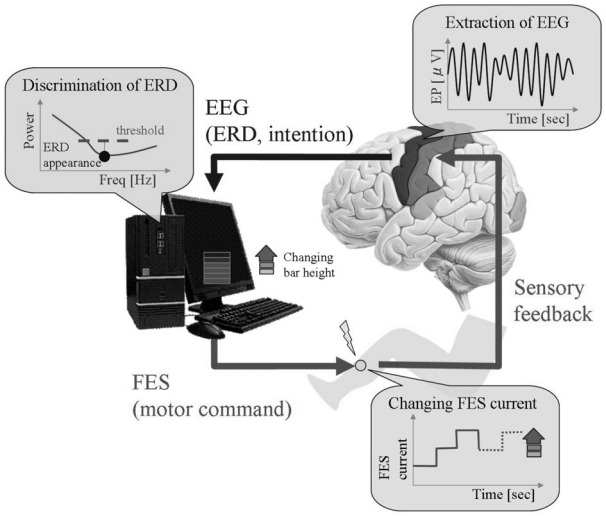


Fig. 7. Conceptual explanation of EEG-FES system.

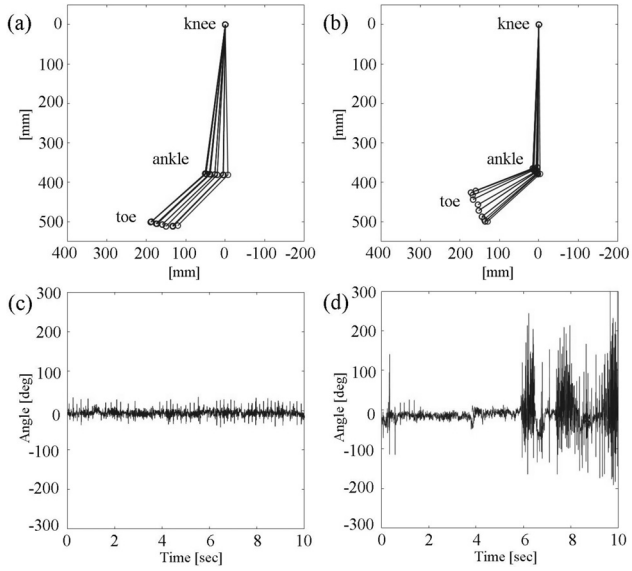


Fig. 8. Comparison of motion analysis and EMG: (a) leg motion of before training, (b) leg motion of after training, (c) raw EMG activity of before training, (d) raw EMG activity of after training.

A. 実験条件

1 名の脳卒中患者 (男性， 年齢=55 歳， 発症後 30 カ月経過) で実験を行った．被験者は脳幹部位に梗塞があり， 左半身にマヒが生じている．訓練では足首の背屈運動に重要な前脛骨筋を対象としており，事前評価ではほとんど筋駆動をできない (SIAS， foot-pat test: 0/5)．タスクはマヒ側前脛骨筋運動に伴う ERD 検出の有無を，Fig.7 に示すように画面上の bar の高さおよび前脛骨筋に添付した FES の出力値変更により，患者に 500msec ずつ更新し提示している．1 回 1 分間のタスクを計 20 回行わせた．EEG-FES システムによる訓練の前後に，足首の背屈運動のみを繰り返

し Cue 提示に合わせて行わせ (計 30 試行)，訓練前後の評価として用いた．

B. 実験結果及び考察

Fig.8(a) は訓練前の脚動作のうち 10 サンプルを提示したものであり，Fig.8(b) は訓練後を示している．訓練前は，前脛骨筋を動かそうとした結果，膝関節が動いてしまっているが，訓練後では足首背屈運動を実現できていることがわかる．Fig.8(c)，(d) は訓練前後の 1 試行の前脛骨筋 EMG を示しており，5 秒から 10 秒までの間に動作指示をしている．Fig.8(d) の訓練後において，筋活動に改善が見られた．全 30 試行分の EMG を全波整流平滑化後，6 秒から 9 秒間の動作中最大 EMG を用い定量化筋活動を評価したところ，訓練前後において有意 ($p < 0.05$) に差があることを示した．

以上の結果，提案システム (EEG-FES システム) の適用により，1 日 20 分程度の訓練にも関わらず，全く動かすことができなかったマヒ側前頸骨筋に有意な改善が見られた．回復メカニズムは不明であるが，運動指令とそれに伴う感覚フィードバックを組み合わせることにより，脳内において運動学習による神経可塑性を進行させたと予想され，提案システムの有用性を示唆するものとなる．

V. センサ情報の変化に基づく環境のモデル化と識別

人間は，ある場所が以前に訪れたことのある場所かどうかを判断 (識別) することができる．これは，その環境に関するモデルを獲得・保持しておくことで実現していると考えられる．このような環境のモデル化と識別は，様々な環境に適応し，作業を行う自律移動ロボットにとって重要な機能である．

本研究では，低精度な複数の距離センサ (赤外線センサ) しか持たない移動ロボットを対象とした，環境識別の精度向上を目的とする．このような単純なロボットであっても高い識別能力を示すことが可能ならば，実装の容易性に加え，GPS やコンパス等による大域的情報の取得が困難な環境への適用も期待できる．また，カメラなどの視覚情報を用いた手法の問題点である，照明条件の変化に対する影響を受けないという利点がある．

本研究では，環境を部屋のように壁に囲まれた閉領域であると仮定し，複数の異なる環境 (形状が異なる閉領域) のモデル化と識別を行った (Fig.9)．先行研究では，同様の問題設定に対し，ロボットに環境の特徴 (形状) を反映する行動として，壁沿い移動を実行させて得られたセンサ情報からモデルを生成し，識別する方法が提案されている [5], [6].

同一環境下で，同じ制御則により壁沿い移動を繰り返し行った場合でも，観測されるセンサ情報にはばらつきが生じる．このようなばらつきは識別性能の低下を招く．ばらつきの原因として，センサ出力値のゆらぎが挙げられる．さらに，移動中にセンサによる検出距離と実際の距離との間に徐々にずれが生じる場合がある．また，床との摩擦などにより，同じ制御指令から生成される行動自体がばらつきを持っていることも，観測情報のばらつきにつながる．

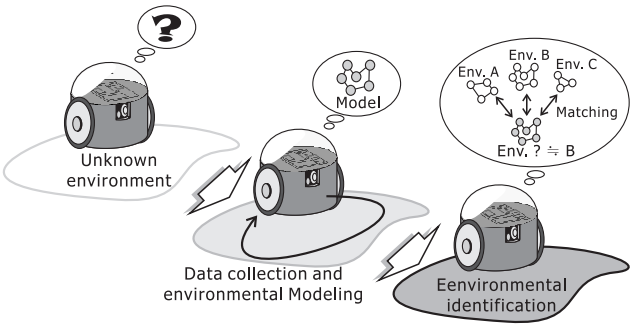


Fig. 9. Overview of the environmental identification.

本研究では，センサ情報のばらつきを考慮した状態表現として，センサ出力値の時間変化に基づく状態表現法を提案し，それを用いた環境のモデル化を行った．さらに，実機を用いた識別実験により提案手法の有効性を検証した．

実験では，低精度な複数の距離センサを有する小型の自律移動ロボットを用いて，13 種類の環境の識別を行った．提案手法の有効性を確認するため，従来手法の一つである AEM[6] による識別率との比較を行った．実験の結果，提案手法と AEM の最大識別率はそれぞれ，99.0%，77.9%であり，提案手法の高い識別率を確認することができた (詳細は [7] を参照のこと)．

提案手法は，ロボットのサイズやセンサのレイアウトに依存して，生成される環境のモデルが異なる．そのため今後は，これらが識別性能に与える影響について調査していく予定である．

VI. おわりに

本稿では，本年度 A01-01 班で実施した四つの研究事例について簡潔に述べた．今後も引き続き研究を進め，環境認知と運動適応の脳内機構の構成論的解明を目指す．

参考文献

[1] 登美，郷古，近藤，伊藤，“力場環境下における内部モデルの不完全性とインピーダンス制御による補完，” 計測自動制御学会論文集, vol.44, no.11，pp.896-904，2008.

[2] 登美，郷古，伊藤，“力場環境下における最適制御を用いた腕インピーダンスの調節機構，” 電子情報通信学会技術研究報告，NC2008-139，pp.213-218，2009.

[3] 高橋，郷古，伊藤，“運動想起フィードバック訓練による事象関連脱同期 (ERD) 出現の検証，” システム制御情報学会論文集, vol.22, no.5, pp.199-205, 2009.

[4] 高橋，郷古，伊藤，“機能的電気刺激 (FES) による脚運動野における事象関連脱同期 (ERD) への影響，” 計測自動制御学会論文集, vol.44, no.9, pp.699-704, 2008.

[5] U. Nehmzow, and T. Smithers, “Mapbuilding using self-organizing networks in really useful robots,” Proceedings of the First International Conference on Simulation of Adaptive Behavior, pp.152-159, 1991.

[6] S. Yamada, and M. Murota, “Unsupervised learning to recognize environments from behavior sequences in a mobile robot,” Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA98), pp.1871-1876, 1998.

[7] 郷古，伊藤，“センサ情報の変化量を利用した移動ロボットによる環境のモデル化と識別，” 電子情報通信学会誌 A，vol.J92-A，no.7，pp.498-506，2009.

動的環境における感覚・運動連関の予期適応

東京農工大学大学院共生科学技術研究院
近藤 敏之

I. はじめに

我々を取り巻く環境は，様々なダイナミクスを併せ持つ動的環境である．我々は視覚や触覚などの感覚器を通して環境を知覚し，目的に合わせて適応的に運動を生成することができる．しかしながら，知覚と運動生成の間には常に有限の時間遅れが伴なうため，我々の脳は，文脈 (context) に基づいて想起される環境のモデルと相互作用しながら，みずからの運動を予測的に計画していると考えられる．

一方，我々は有限の経験しか持ち得ないため，完全な環境モデルを網羅的に習得しているとは考え難い．すなわち，我々が日々直面する動的環境は一期一会の未知環境であるとも言える．そのような動的環境の下でも我々が予測的に運動を生成することができるのは，過去の経験に基づいて仮設的に環境モデルを生成する能力（見なし適応）を有するためであると考えることができる．

我々の研究グループでは，上記のような環境適応を予期適応 (anticipatory adaptation) と呼び，我々人間が，未知環境の下で運動技能を習得していく際，環境に対して不可避的に形成する予期 (anticipation) が，その運動学習過程に及ぼす影響について，心理物理的実験を通じて明らかにすることを目指してきた．本稿では，我々が二年間の研究期間において実施した「相反する視覚運動変換の同時学習」ならびに「観察と動機づけによる模倣運動学習の促進」という二つの実験について概観する．

II. 相反する視覚運動変換の同時学習

先に獲得された運動技能 (motor skill) が後段の運動学習に与える影響は，学習心理学の分野では転移 (transfer) として知られる現象である [1]．既得の運動技能を汎化することによって試行錯誤を低減し，それによって適応が促進されることは特に正の転移と呼ばれ，段階的な強化学習という観点から見ても非常に興味深い．

一方，学習を阻害する負の転移 (negative transfer) は干渉 (interference) と呼ばれている．Krakauer らはデジタイザを使用した視覚運動回転変換（30 度または-30 度）の下で被験者に到達運動を続けて訓練させたところ，相反する回転変換を同日中に訓練した被験者群は，干渉のため運動技能が保持されなかったと報告している [2]．また Karniel らも，試行ごとに特性が逆転する二つの回転粘性フォースフィールドの下で到達運動を繰り返し行わせたところ，やはり被験者は二つの環境を同時に学習することができなかったと報告している [3]．それに対し大須らは，Karniel らと同種の相反する回転粘性力場を用いた同時学習実験において，運動開始前に各力場の特性と関連づけた文脈手がかり（色や形などの視覚刺激，音声などの聴覚刺激）を与えるという条件の下で，いずれかの力場をランダムな順に提示して被験者に経験させた結果，相反する二つの環境を同時に学習させることができたと報告している [4]．

ここで試行前に文脈手がかりによって次に提示される環境（力場）の情報を与えることは，学習者に色と環境の対応関係を陽に意識させるため，異なる内部モデルを同時に学習する上で，あらかじめ内部モデルを切り替える効果があると推察される．しかしながら，ランダムな順に経験することが，交互に学習することよりも相反課題の同時学習になぜ有効であるのかは依然として不明瞭なままであった．これに対し我々は，同じ環境（すなわち同じ回転変換）が連続して提示される回数（あるいは環境が切り替わる頻度）に着目した．1 回ごと交互の学習条件では，同じ環境を連続して経験する機会は一切与えられず，直前の試行の結果を反省して学習することができないが，ランダム条件の場合には，同じ環境が平均で 2 回連続して提示される．もしこの同一環境の期待連続回数が同時学習を可能とする主要因であれば，交互学習条件であっても，条件を整えることで相反課題の同時学習は可能と考えられる．そこで本研究では，被験者を (1) 1 回ごと交互 (ALT1)，(2) 2 回ごと交互 (ALT2)，(3) ランダム (RAND) の 3 群に分け，相反する回転変換を施した二種類の回転マウスを用いて到達運動学習実験を行い，上記仮説の妥当性の検証を試みた．

A. 実験方法

本実験は，コンピュータマウスを日常的に右手で使用する 12 名の被験者（男性 8 名，女性 4 名，年齢 21.0±2.0 歳）の協力の下に行われた．各被験者にはあらかじめ実験目的以外のすべての実験手順について口頭で説明し，書面にて同意を得た上で実験を実施した．被験者の前方正面には，マウスカーソル (cursor) とターゲット (target) を表示するための液晶ディスプレイ（HP 社製 20 インチ LCD モニタ, hp2035）を設置した．被験者の右前方には，カーソルを操作するための PC タブレット用コンピュータマウス装置 (WACOM, PTZ-631W) [1]を設置した．実験中，黒い背景のディスプレイには，被験者が操作するカーソル（直径約 4mm の白色の円）とターゲット（一辺が約 6.5mm の緑色の正方形）が表示される．ターゲットは，ディスプレイ中央のカーソル初期位置から 100mm の距離にある同心円上の 8 つの候補位置（鉛直上向きを基準として，右回りに 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315° の位置）から，試行ごとにランダムに選択・表示される．被験者にはターゲットが出現後，カーソルをできるだけ速く，まっすぐにターゲットに到達させるように指示を行った．

本実験では，マウスの位置 (x, y) とカーソルの位置 (X_c, Y_c) の間に，次式に示す回転変換を施した．

$$\begin{pmatrix} X_c \\ Y_c \end{pmatrix} = \kappa \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \qquad (1)$$

[1]PC タブレット用のマウスは，通常の光学式マウスとは異なり，マウス自体を回転させても，カーソルの運動方向には影響しない．

ここで κ はマウスの速度係数，θ は回転変換の角度である．本実験では，時計回りに 90 度回転 (**CW90**)，回転なし (**NULL**)，反時計回りに 90 度回転 (**CCW90**)，の計三種類の回転変換を用いた．すべての被験者は，実験開始前に **NULL** の環境で試行を繰り返し経験し，実験手順に習熟した状態から同時学習実験を開始した．

同時学習実験における各試行は，次のような手続きにて行われた．

1) 被験者はマウスデバイスをタブレットの中心へ移動させる．
2) 被験者のマウスクリックと同時に，ディスプレイの背景色を 1 秒間だけ次試行の回転変換と関連する色（青 (#000080)：**CW90**，赤 (#800000)：**CCW90**）に変更した後，黒色にリセットする．
3) 背景色が黒色に戻った 1 秒後，カーソルとターゲットを表示する．
4) 被験者はターゲットが表示されると同時にマウスを操作してカーソルをターゲットに到達させる．
5) 被験者がカーソルをターゲットに到達させると，マウスをタブレットの中心へ戻すことを促す指示が画面上に表示される．
6) 上記 1〜5 を 1 試行と呼び，これを一定回数繰り返す．

本実験では 32 試行を 1 セットとし，各セット中，8 箇所のターゲット位置候補がランダムな順に各々4 回ずつ表示されるようにした．ただし，同じ位置のターゲットが連続して提示されることが無いように制約した．

各被験者の運動を定量的に評価するため，到達に要した時間 T_i に加え，カーソルの運動方向 $\phi(l)$ と初期位置から見たターゲット方向 ψ の方向誤差の絶対値を，ターゲットに到達するまでに要した時間で積算した値 E_i を計測した．

$$E_i = \sum_{l=1}^{L_i} |\phi(l) - \psi| ,$$

$$\psi = \arctan\left[\frac{Y_g - Y_c(0)}{X_g - X_c(0)}\right],$$

$$\phi(l) = \arctan\left[\frac{Y_c(l) - Y_c(0)}{X_c(l) - X_c(0)}\right],$$

ここで X_g と Y_g はターゲットの位置，$X_c(l)$ と $Y_c(l)$ は時刻 l のカーソル位置である．したがって，$X_c(0)$ と $Y_c(0)$ はカーソルの初期位置となる．L_i は i 回目の試行における到達時間である．

同時学習実験では，相反する回転変換（**CW90** と **CCW90**）のいずれか一方が，各被験者群ごとに異なるスケジュールで提示された．ただし，各セット内における各回転変換の総経験回数は，被験者群間で同一になるように調整された．各被験者は Table I に示す 3 つの被験者群のひとつに無作為に割り当てられた．ここで ALT1 は 1 回ごと交互提示条件 ($N = 4$)，ALT2 は 2 回ごと交互提示条件 ($N = 4$)，RAND はランダム提示条件 ($N = 4$) である．

訓練は，90 分間の休憩を挟んで前後半 10 セット（各 320 試行）ずつ，計 640 回実施した．

TABLE I
TRAINING PROCEDURE OF THE EXPERIMENT.

	ALT1 ($N = 4$)	ALT2 ($N = 4$)	RAND ($N = 4$)
first half (1st-10th)	alternating (trial by trial)	alternating (every two trials)	random
rest	90 min.		
second half (11th-20th)	alternating (trial by trial)	alternating (every two trials)	random

B. 実験結果及び考察

分散分析の結果，すべての被験者群内において，学習の前後および回転変換の違いに関して，誤差指標に有意差が認められた（ALT1 (CW90: $F_{1,38} = 5.95$，$p = 0.0195$; CCW90: $F_{1,38} = 6.01$，$p = 0.0190$)，ALT2 (CW90: $F_{1,38} = 36.2$，$p < 0.001$; CCW90: $F_{1,38} = 13.8$，$p < 0.001$), RAND (CW90: $F_{1,38} = 23.3$，$p < 0.001$; CCW90: $F_{1,38} = 22.7$，$p < 0.001$）．

被験者群間の観点から実験結果を分析した結果を Fig. 1 に示す．同図より，各回転変換において，最初の 5 セットの誤差指標には，すべての被験者群間に有意差が無いことが見て取れる（CW90: $F_{2,57} = 2.58$，$p = 0.0844$; CCW90: $F_{2,57} = 2.68$，$p = 0.0770$）．一方，最後の 5 セットの誤差指標には，各回転変換ともに被験者群間に有意差が見られた（CW90: $F_{2,57} = 7.73$，$p = 0.00107$; CCW90: $F_{2,57} = 6.31$，$p = 0.00334$）．そこで，*Bonferroni-Dunn* の補正法を用いて多重比較を行ったところ，二つの回転変換ともに，RAND 条件とその他の条件（すなわち ALT1 および ALT2 条件）の間に有意差が認められた（CW90 (ALT1vs.ALT2: $p = 0.0948$，ALT1vs.RAND: $p = 0.00161$, ALT2vs.RAND: $p = 0.00554$)，CCW90 (ALT1vs.ALT2: $p = 0.212$，ALT1vs.RAND: $p = 0.00506$，ALT2vs.RAND: $p = 0.000733$)）．以上の結果から，環境切替頻度が等しい ALT2 条件と比べても，依然として RAND 条件で学習することは効果的であることが確認された．

III. 観察と動機づけによる模倣学習の促進

「百聞は一見にしかず」と言われるように，我々は日常的に多くの情報を視覚から得ている．たとえばスポーツのトレーニングにおいて，熟練者の巧みな運動を観察することが初心者にとって有益であることは，誰もが経験的に知っていることである．Matter らは，回転粘性力場下の到達運動を課題とした運動学習実験において，学習前に他者が試行錯誤する様子をビデオで観察することが運動学習を促進する効果を持つことを報告している [5].

これに加えて近年，理想的な運動を頭の中で繰り返しイメージすることで運動技能の向上をはかるメンタルプラクティス (mental practice) の有効性が一般に認められつつある．実際，近年の脳機能イメージング技術の飛躍的な進展により，運動の観察時やイメージ時には運動前野などの運動関連領野に，実際に運動を行っている場合と類似の活動が見られることが明らかになっている．

また神経生理学の分野でも，自らが運動する場合に加えて他者の運動意図を推測する際にも活動するニューロン群（ミラーニューロンシステム）が同定され，運動の模倣との関連が指摘されている [6], [7]．ところで我々が模倣による

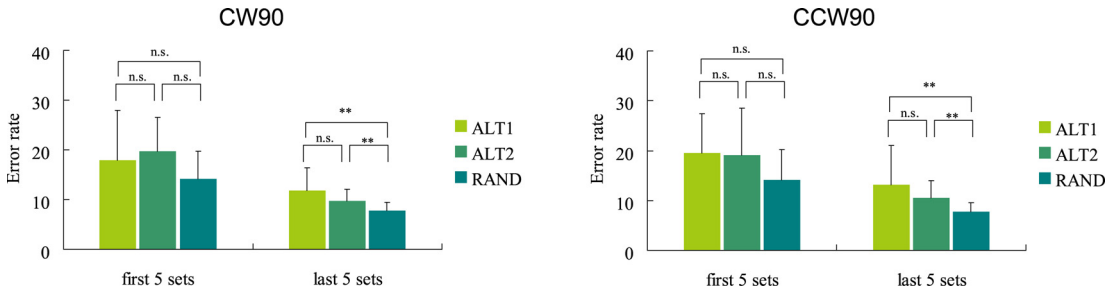


Fig. 1. Change in the average error rates between the first and last five sets under the three training conditions. (Left: averaged across CW90 trials. Right: averaged across CCW90 trials)

学習を必要とする状況として考えられるのは，運動の初心者の場合である．ミラーニューロンシステムは他者の運動を観察して運動意図を推測する際に活動すると考えられているが，運動がイメージできるためには，そのターゲットとなる運動を既に習熟している必要があると考えられる．これについて Calvo-Merino らは，バレエダンサーは自身が習熟しているダンスを他者が行っている時ほどミラーニューロンシステムが強く活動することを報告している [8]．一方，Rizzolatti らによるギターコードの押さえ方に関する運動学習実験によれば，演奏技能を持たない初心者の方がミラーニューロンシステムが強く活動することを報告している [9]．このことから，未習得の運動を観察する場合には，観察者自身が模倣しようとする強い動機づけを持つことでミラーニューロンシステムが活動し，運動学習が促進される可能性が示唆される．

そこで本研究では Matter[5] らの実験パラダイムを参考に，回転粘性力場下の上肢到達運動課題を用いて，被験者ごとに「他者の運動の様子を観察すること」と「運動学習を動機づけること」の条件が異なるような実験設定とした上で，各々の学習効果を分離して評価することを試みた．

A. 実験方法

本実験は 20 代の男性被験者 12 名の協力の下に行われた．被験者は手先に回転粘性力を発生する力覚提示デバイス（SensAble Technology 社製 Phantom Omni）を把持し，これを鉛直面内で操作することで，正面に設置されたスクリーン上に表示されるカーソルをターゲットまで到達させる視覚運動課題を実行する．実験では次に示す一連の手順を 1 試行とし，被験者には一定回数繰り返すことで運動学習を行ってもらった．

1) 被験者が赤色のカーソルをホームポジションにセットするとカーソルが黄色に変化（待機モード）．
2) 待機モードに遷移してから 1 秒後，ホームポジションから等距離にある 3 箇所の候補位置からランダムに選ばれた場所に青色のターゲットが出現し，同時にカーソルが青色に変化する（実行モード）．実行モードの間は手先に粘性外力が作用する．
3) カーソルがターゲットに到達したら（あるいは到達しなくても 3 秒が経過した場合は），カーソルとホームポジションを赤色に変更して試行終了とする（ホームモード）．この間に被験者はカーソルをホームポジションに移動させる．
4) 上記を 1 試行と呼び，これを一定回数繰り返す．

すべての被験者には，あらかじめ，カーソルをなるべく速く，まっすぐにターゲットまで到達させるように指示がなされた．またカーソルの位置はリアルタイムに視覚フィードバックされていた．

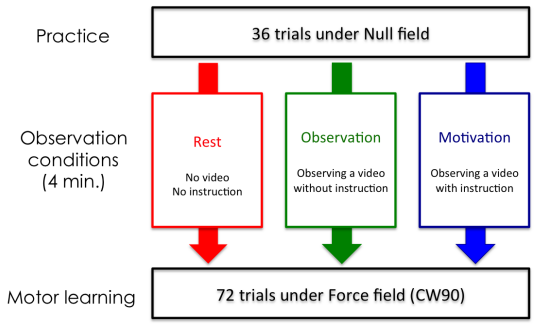


Fig. 2. Experimental procedure and conditions.

実験の手順を Fig.2 に示す．まず最初に，すべての被験者には手先に回転粘性力が加わらない **Null** 条件の下で 36 回の到達運動を行ってもらい，実験課題に慣れさせた．次に，被験者を無作為に 3 つの群（**Rest**, **Observation**, **Motivation**）に分け，各々異なる条件の下で観察を行わせた．ここで，**Rest** は観察を行わない統制群であり，観察のかわりに休憩を与えた．一方，**Observation** と **Motivation** は実験群であり，熟練者が回転粘性力場下で到達運動している様子を撮影したビデオ映像を各々4 分間観察させた．さらに **Motivation** 群の被験者には，観察の目的が模倣であることを動機づけるために，観察の直前に口頭で「今からお見せする映像と同じ運動課題を観察後に実際に行ってもらいますのでよく観察してください」とだけ注意を与えた．ただし，具体的な回転粘性力場の特性については説明しなかった．観察終了後，すべての被験者に対し，直ちに時計回りの回転粘性力場下で，72 回の到達運動学習を行わせた．

B. 実験結果および考察

Fig.3 に，各被験者群内で平均をとった誤差積分値の推移を示す．ただし誤差積分値とは，ホームポジションとターゲットを結ぶ直線とカーソル座標間の距離の絶対値を全運動時間に渡って積算した値である．

同図から，学習開始とともにすべての被験者群で，誤差積分値は急速に減少し，約 30 試行で一定の値に収束する様子が見てとれる．また，30 試行以降の誤差積分値につい

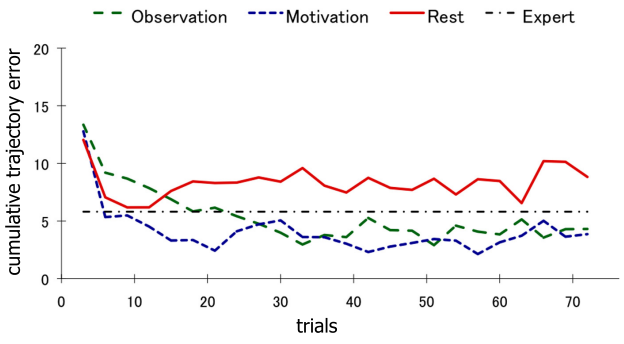


Fig. 3. Transition of cumulative trajectory error.

ては，観察をしない群 (**Rest**) と観察をした群 (**Observation**, **Motivation**) の間に傾向の違いが見てとれる．

次に，観察を動機づけることが運動学習に及ぼす影響について，この実験結果から評価することを試みる．Fig.4 は，**Observation** と **Motivation** の二群について誤差積分値の推移を標準偏差をつけて比較した結果である．

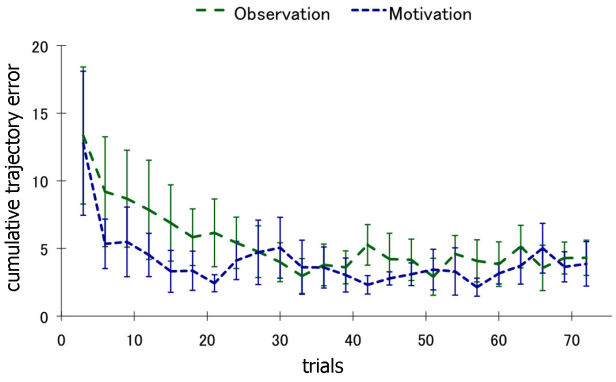


Fig. 4. Comparison of Observation and Motivation.

同図より，観察前に模倣することについて動機づけを行うことは，学習開始直後の誤差の減少に少なからず貢献する様子が見て取れる．

以上の結果から，熟練者の運動をお手本として観察する機会を得ることは．その運動を模倣することが動機づけられている／いない，にかかわらず運動学習の最終的なパフォーマンスに影響する可能性が示された．これは被験者が最終的に達成すべき運動を正確に把握できたためと考えられる．一方，観察に先立って模倣することを動機づける指示を被験者に与えることは，運動学習の開始直後の成績向上に関係する可能性が示された．このことは，観察の目的が主体的な模倣運動に制約されたことで，運動をイメージする行為が誘発され，その結果として順モデル，逆モデルの選択や，身体動作のコーディネーションが内的にリハーサルされた可能性を示唆している．

IV. おわりに

相反する二つの視覚運動課題を被験者に同時学習させる際，ランダムな順に経験させることが効果的であることが先行研究により報告されているが，その理由はまだ明確には説明されていない．本研究では，同じ課題が連続して提示される回数（あるいは環境が切り替わる頻度）に着目し，交互学習条件であっても，条件を整えることでランダム学習条件と同程度に相反課題の同時学習は可能である，という仮説を立て，実験的にこの仮説の検証を試みた．ALT1（1回ごと交互学習条件）と ALT2（2 回ごと交互学習条件）を比較した結果から，試行が連続することは同時学習に対して若干の正の影響を与える可能性も捨てきれないが，有意な差異は認められなかった．これに対し RAND（ランダム学習条件）では，他の二つの被験者群との間に有意差が認められた．このことから，同じ環境が連続する頻度ではなく，環境の提示順序が不規則で予測不能であることが相反課題の同時学習に効果があることが確認された．

一方，熟練者の運動を観察することが運動学習に及ぼす影響を調べた実験では，観察すること自体の有無に加え，観察の目的（すなわち模倣すること）を明確に動機づけることの効果を実験的に検証した．その結果，観察の目的が運動を模倣することであると明示的に動機づけられた被験者群は，学習の初期に有意に高い成績の向上がみられた．一方，観察の有無は最終的に獲得される運動の模倣精度に影響した．これは，目標となる運動を一度でも見たことがあるという経験が，学習の到達目標を視覚的にイメージできたためと考えられる．

以上の結果から，未知動的環境下で我々が運動学習する際には，その感覚運動連関のみならず，過去の知覚運動経験に基づいて無自覚に想起される予期が影響し，したがってどのような文脈で学習するか，ということが運動技能の記憶を強化するためには重要な要素になることを示唆している．

REFERENCES

[1] 山内 光哉, 春木 豊: グラフィック 学習心理学 行動と認知, サイエンス社, 2004.
[2] Krakauer, J. W., Ghilardi, M.-F. and Ghez, C. Independent learning of internal models for kinematic and dynamic control of reaching, *Nature neuroscience*, **2**, 11, 1026–1031, 1999.
[3] Karniel, A. and Mussa-Ivaldi, F. A., *Sequence, time, or state representation: how does the motor control system adapt to variable environments?*, *Biological Cybernetics*, **89**, 1, pp.10–21, 2003.
[4] Osu, R., Hirai, H., Yoshioka, T., and Kawato, M. Random presentation enables subjects to adapt to two opposing forces on the hand, *Nature neuroscience*, **7**, 111–112, 2004.
[5] Matter, A. A. G., and Gribble, P. L. Motor learning by observing, *Neuron*, **46**, 156–160, 2005.
[6] Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L., and Rizzolatti, G. Action recognition in the premotor cortex, *Brain*, **119**, 593–609, 2006.
[7] Rizzolatti, G., Fogassi, L., and Gallese, V. Mirrors in the Mind, *Scientific American Magazine*, 2006.
[8] Calvo-Merino, B., Glaser, D. E., Grezes, J., Passingham, R. E., and Haggard, P. Action observation and acquired motor skills: an fMRI study with expert dancers, *Cerebral Cortex* **15**, 1243–1249, 2005.
[9] Vogt, S., Buccino, G., Wohlschlager, A. M., Canessa, N., Shah, N. J., Zilles, K., Eickhoff, S. B., Freund, H.-J., Rizzolatti, G., and Fink, G. R. Prefrontal involvement in imitation learning of hand actions: Effects of practice and expertise, *NeuroImage*, 37-4, 1371–1383, 2007.

最適移動投資：即時利益率の計算アルゴリズム

松島俊也　北海道大学・大学院理学研究院・生命理学部門

***Abstract*—動物に心があるだろうか。哺乳類以外の動物にも、われわれ人間の心と同じ内的な過程がるのだろうか。この問いは不良に設定された課題として、長いあいだ問う事自体が避けられてきた。しかし近年、鳥を対象とした認知科学的研究により、彼らトリと我々ヒトには相似の認知過程があることが示唆されるようになった。進化的淘汰圧は、経済的に合理的な（すなわち、利益の期待値を最大化する）行為者に対し有利に作用するであろう。この淘汰圧が心の構造を一意に規定するなら、系統的に異なる動物の間にも相同の認知過程が生まれるだろう。この仮説の妥当性は、「動物の採餌は本当に最適か」を問うことによって知り得る。この戦略のもとに孵化直後から2週齢のニワトリ雛（ヒヨコ）を用いて次のような一連の結果を得た。2006〜2009年度の4年間研究の結果である。（1）選択のリスク感受性を、報酬量の変動と報酬遅延の変動の二つの状況下で比較した。量変動に対してはリスク回避が生じたのに対し、遅延変動に対してはリスク選好が見いだされた。動的に変わる餌状況とそれに対する選択の変化を、階層ベイズモデルを用いて解析した結果、量と遅延は独立の内部表現を持つことが示唆された。（2）異時間選択課題における衝動性が競争採餌によって亢進する現象を、個体の発達に即して検討した。その結果、競争状況は自己制御性の発達を抑制することが見いだされた。競争に伴って実際に利益損とリスクが発生するが、これらの純経済的要因はいずれも抑制をもたらさなかった。競争的他者を知覚するだけで自己制御性の抑制には十分であり、社会的要因によるものであると結論された。（3）直近の手掛かりなく給餌が行われる時にも、競争的他者の存在は運動投資量の増大をもたらした。この場合も実際の収益損ではなく、競争的他者の知覚だけで充分であった。（4）収益逓減を示す餌場からの離脱はポアソン過程によって近似できることが判明した。離脱の決定は、次の餌までの期待遅延（前向的時間知覚）にも、予期される餌量にもよらず、直近の過去の報酬履歴（逆向的時間知覚）によってほぼ一意に決まっていた。さらに行動薬理実験から、内側線条体のセロトニン系が逆向的時間知覚にも関与していることを示す実験的根拠を得た。（5）刷り込み（刻印付け）手順によって静止画あるいは動画刺激に曝されることによって、ヨハンソンの生物的運動（Biological Motion）に対する選好性が増強する事が判明した。性差があり、増強効果はオスにおいてより顕著であった。以上のことから、ヒヨコには、（A）他者認知の機構が生得的に備わっているが、（B）それは視覚経験によって始めて誘導発現するものであって、（C）競争的他者の認知は運動投資量を過剰にすることを介して、（D）自己制御性の発達を抑圧し（衝動性の発達をうながし）、その結果、（E）競争的採餌条件下での個体の採餌率を社会生態的条件に応じて最適化している、と結論する。**

松島俊也、北海道大学・理学研究院・生命理学部門・行動知能学、〒060-0810　札幌市北区北10条西8丁目、電話・ファックス：011-706-3523、電子メール：matusima@mail.sci.hokudai.ac.jp

Ⅰ．神経生態学

近年、さまざまな動物の認知の比較研究が進展した結果、ヒト以外の動物にも我々と同様の認知過程があることが示唆されるようになった。Pepperberg [1]はオウムもヒトの自然言語を用いてコミュニケートする能力を備えていることを示した。Clayton [2]はカケスの貯食行動の解析から、カケスがエピソード様の記憶を持つと主張した。さらにEmery [3]はカケスが他個体の認知内容を推定して行動を選び取っていることを示唆する結果を示した。いずれも豊富な実例によって、トリの知の世界をあぶりだすことに成功した。では、これらの例は「鳥にも我々と同じ心がある」事を示すのだろうか？

「心」を実在論的に議論すれば、この問題は不良設定にならざるを得ない。「未知数の数」が「連立方程式の数」より多く、「解けない」のである。ならば、リアリスティックな拘束条件をできる限り集めれば良いだろう、という戦略が生まれる。

本稿では、ヒヨコを対象として実験心理学的に統制された行動研究を紹介する。その裏に隠れた採餌行動の生態学的な背景とその神経基盤を関連させながら述べることにある。認知過程を生態学と神経科学の二つの視点から見ることによって初めて「知の進化」を厳格に議論する準備が整う、少ない仮定の下に議論できる、と考えるからである。

さまざまな系が同じ挙動を実現するため、収束する解を求めることは容易でない。神経基盤と矛盾しないか、生理学的に妥当か、これによって多くの可能な解から妥当なものを絞り込む必要がある。同様に、生態的な基盤と矛盾しないか、進化生物学的に妥当かを吟味することによって、更なる拘束条件を

設定できる。本研究はそのような試み、神経生態学（neuro-ecology）の試論である。

Ⅱ．採餌理論

Charnov [4]は採餌行動（foraging behavior）を数理的に厳格に議論することを目的として、実証可能な二つのモデルを提唱した。一つは最適餌メニューモデル（optimal prey menu model）、もうひとつは最適餌パッチ利用モデル（optimal patch use model）と呼ばれる。いずれも動物が喪失機会（lost opportunity）に対してどのように対処するか、を繰り込んだものである[5]。

現実の生態環境では、事情はさらに複雑である。餌は空間的に不均一に分布して、餌パッチを形成している。採餌者はパッチとパッチの間の空間を移動し、ひとたび餌パッチにたどり着くとようやく餌にありつく。たどりついた直後の採餌効率は極めて高い。しかし、採餌を続けるうちにパッチの餌密度は徐々に低下するから、即時利益率は逓減せざるを得ない。そのパッチの餌を食い尽くすまで採餌を続ければ、滞在の喪失機会は著しく大きなものとなる。だから、採餌者はある時点で（そのパッチにまだ餌が残っているにもかかわらず）離脱すべきである。

平均利益率を最大化するものであった。では、この巨視的挙動を実現するための微視的（molecular）な認知過程は、進化的に保存されているだろうか。これが本研究を貫く問題意識である。

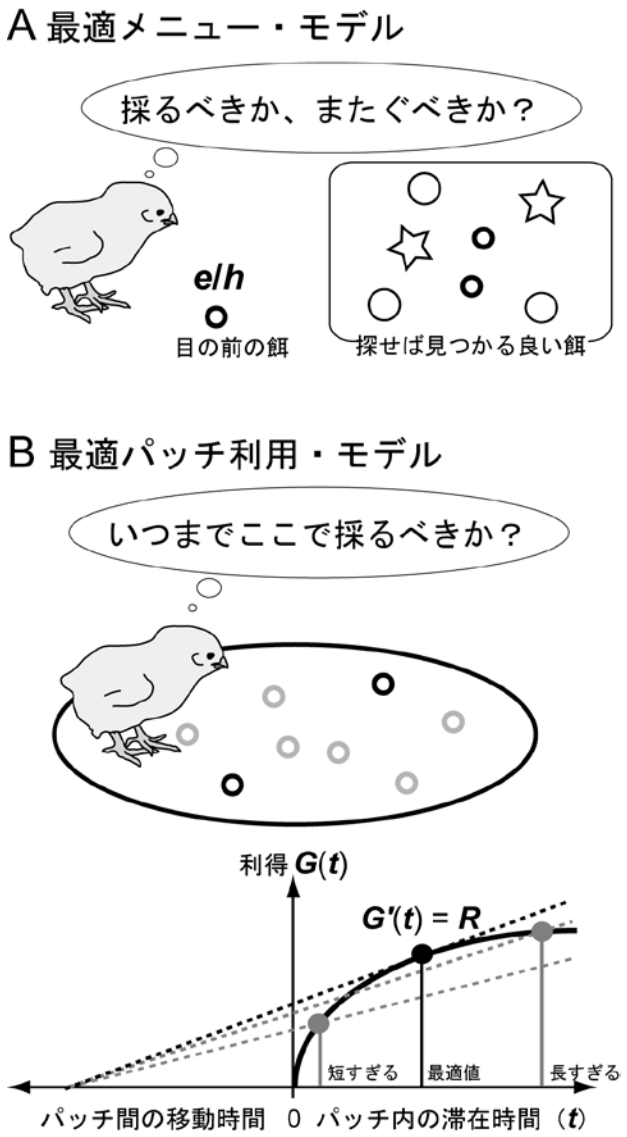


図１餌メニューモデルとパッチ利用モデル

A　多種類の餌をランダムに探索する採餌者を考える。ある餌に出会ったとき、これを採るべきか。採ると決めれば、その餌の処理に費やす時間を失う。もし採らないと決めれば、処理時間を新たな探索に振り向けることによって、より良い餌を得るかもしれない。

B　１種類の餌が空間的にパッチをなして不均一に分布する状況を考える。パッチとの遭遇はやはりポアソン的であるとする。パッチにたどりついて採餌を続けると、時間とともに資源が枯渇するため、即時利益率は逓減する。ある最適値を超えて滞在を続ければ、移動時間と滞在時間の和に対する利得、つまり長期利益率が劣化する。最適な行為者は、利得の逓減率を微視的に検出して、離脱を決定すべきである。

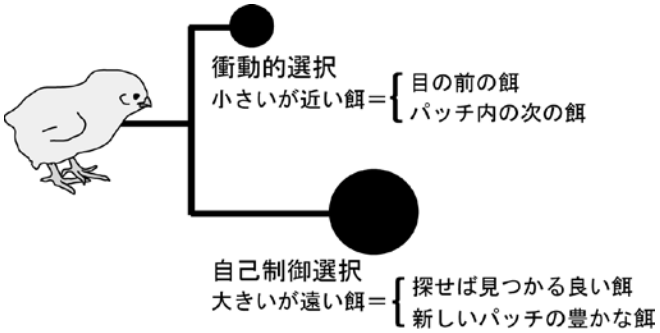
Ⅲ．選択理論

鳥は飛ぶために航空力学を学ぶ必要がない。同様に、最適採餌を実現するためには、生態学も経済学も学ぶ必要がない。行為者のもつ認知的な過程は、行為者を取り囲む世界について、正しくかつ完全な表象を備える必要はないのである。ここでは、行為者が真に備えるべき認知の、微視的過程に注目する。

最適採餌を実現する行為者は、常に二者択一の選択を迫られていることに、注意を喚起したい。つまり、「小さくても近い餌」（目の前にある餌、直近の未来に期待しうる餌）と、「遠くて大きい餌」（喪失機会）との選択である。前者を採ることを「衝動的選択」と呼び、後者を採ることを「自己制御選択」と呼ぶ。人間の場合、未来に期待される報酬の時間的割引率が１に近いため、「衝動」と「自己制御」

の損益分岐点の時間単位が長く、しばしば数日、数ヵ月後の利益を繰り込む行動をとる。少なくとも、そのような行為者がより適応的である、と見なす社会的合意がある。ヒトにおいて「自己制御」は適応的な形質である、と見なされている。[6]

図２　二つの採餌モデルを異時点間選択の枠組みで



統一的に理解することが理論的には可能である。

しかし、自然な環境下で採餌を続ける動物は強い衝動性を示し、数秒遅れて現れる餌の価値を強く割り引く。時間は選択を決定する重要な因子である。なぜだろうか？

自然環境における採餌局面を考えてみよう。目の前の餌は1分後、1時間後、1日後にも、そこにあるか？餌も生き物である以上、採餌の淘汰圧に対して対抗戦略を備えている。逃げるか、もぐるか、いずれにせよ長くは留まっていない。また、その餌を競合するほかの採餌者がいるような社会的要因を考えよう。目の前の餌は、ただちに横取りされてしまうかもしれない。これらの状況の下では、一定の衝動性を備えた行為者は、即時利潤に特化した近視眼的な行為を積み重ねることによって、長期的な利益率を高めている可能性がある。長期的なカロリー利得収支は、より早い繁殖期の到来（より長い繁殖期と、より多くの子供たち）を介して、進化的に安定な形質となりうる。 [7]

Ⅳ．リスク・不確実性・競争社会

p<1の確率で一定利益Aを得る状況における利益の客観的期待値は積pAで与えられる。動物であれヒトであれ、pに関する完全な情報に基づいて一貫した行動を取る場合、リスクがある、という。他方、探索を通してpを推定し、かつ推定の信頼度が低い場合、不確実である、という。不確実な採餌環境は、物理的環境が予測しえない変動を備えている場合、及び、競争的他者が介入して、いわゆる「回収リスク」を生じる場合、の二通りがありうる。

（１）一連の研究の端緒として、ヒヨコのリスク感受性を検討した。[10] 利潤率は収量が減っても遅延（処理時間）が伸びても下がる。よって、リスクには収量の変動によるものと、遅延の変動によるものと、二通りある。二者択一による行動実験（行動滴定法）の結果、二つの条件でリスク感受性に差があることが見出された。著しい個体差のために一貫した結論が得られがたかったが、ベイズ推定を適用することによって主観的価値の推定を個体ごとに行ったところ、集団レベルでの一貫した傾向を見出した。ヒヨコは収量の変動を嫌い、遅延の変動を好んだ。この結果は、主観的価値が利潤率の形で一元化された内部表現をもたないことを示唆する。

（２）競争的他者の介入は、不確実性を高める。競争採餌の異時点間選択課題に対する影響を吟味した。[11] その結果、競争は衝動性を高めること（遠い餌の時間割引を強めること）を示唆する結果を得た。競争による収量の変動のみをポアソン性を仮定しながら再現したが、これだけでは衝動性亢進は見られなかった。他方、実際の収量に変動が生じないよう、競争的他者を透明な板で隔離した場合、他者を知覚するだけで衝動性亢進が生じた。この結果は、社会的要因が現実の収益損を経験させることなくヒヨコの価値関数に介入していることを示唆する。衝動性が亢進する事によって、ヒヨコは一定量の餌を確実に確保する事を得て、餓死線下に陥る危険を回避すると考えることができる。すなわち、競争は適応的な反応として衝動性を生みだすのである。

（３）競争的他者の介入が、採餌のための労働投資量に及ぼす影響を吟味した。[12] 給餌間隔を疑似ポアソン的に変動させた給餌装置を二つ用意し、その二つを一つの通路で結んだ I-字迷路を用いた。二つの餌場の間を、ヒヨコは速やかに往還するようになるが、往復回数ではかられる労働投資量は、初めから即時回収の最大投資量を超えていた。更に、競争的他者のある状況（2羽の状況）では、2羽の往還運動は高く同期し、その軌跡は共役する非線型振動

子と相似だった。ただし、日が経つにつれて逆位相に共役する頻度が高まった。前述の実験同様に透明な板で隔離し、実際の収量が脅かされない条件では、同位相の共役のみ生じ、逆位相の増加はなかった。この結果は、競争的他者のもたらす第一義的な効果は、労働投資量の増大であることを示唆する。現在、この急性効果に伴う大脳基底核（特に側坐核周囲）のドーパミン・セロトニン放出量をマイクロダイアリシス法により検討中である。

（4）収益逓減を示す餌場からの離脱を解析した。[13] 離脱までの時間（餌場に滞在する時間）はガンマ分布によって近似されたことから、離脱はポアソン的過程であると示唆された。次の餌までの時間が長かろうと短かろうと、ヒヨコはそれに顧慮することがなく、離脱確率のみを行動変数として取っていると考えるもっとも単純なモデルが、現象を良く説明した。最適パッチ利用を実現していない。この実験条件下において、セロトニン再取り込み阻害剤の全身投与は、滞在時間を延伸した。よって、パッチ利用行動（離脱決定）は異時点間選択とは全く異なる認知神経過程に基づくと結論された。

（5）他者の認知に関わる視覚的手掛かりを分離する目的で、Johansson's biological motion (BM)の視覚弁別を、孵化直後のヒヨコ（すなわち、一切の視覚経験を持たない動物）を対象として、刻印付け手順に基づいて調べた。[14] その結果、刻印付けを行わないナイーブなヒヨコはBMに対する選好性を示さなかったのに対し、一定時間動画に曝されたヒヨコは、特にオスにおいて、BM選好性が誘導された。曝す刺激はBMである必要はなく、ランダムな光点の集まりであっても、あるいは周期的に動く二次元の振り子像であっても、十分である。この効果は持続的で24時間後も観測され、かつヒヨコはニワトリのBMとネコのBMを明確に弁別した。この結果は、ヒヨコがBM、特に同種の運動の視覚的特徴に対する生得的な鋳型を備えていること、鋳型が機能的に発現するためには視覚経験が必要であることを示唆する。

Ⅴ．結論

古典的採餌理論は、餌選択に関わる「最適餌メニューモデル」と「パッチ利用モデル」の二つのモデルを提案してきた。両者は形式上同一の意思決定を含み、異時間選択によって統一的に理解できるように思われた。しかし、収益逓減に対する離脱決定とその行動薬理学的性質は、この仮説を却下した。

リスクおよび不確実性に対する体系的な行動研究の結果は、多元的価値関数による意思決定を示唆した。特に競争的他者の知覚は、直近の効果として労働投資量の過剰な上昇をもたらし、より長期的な効果として衝動性発達を亢進した。他者の知覚は生得的であって、視覚経験によって誘導されるBM選好性に基づくと考えられる。これら一連の結果から我々は、ヒヨコが経済的合理性のグリーディーな追及者ではないということを学ぶ。むしろ、彼らは所与の社会生態学的な条件に適応する行動特性を進化の過程で獲得したものと理解すべきだろう。

引用文献

[1] Pepperberg, I.M. The Alex Studies. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1999.

[2] Clayton, N. & Dickinson, A. Episodic-like memory during cache recovery by scrub jays. Nature, 395, 272-274, 1998.

[3] Emery, H.J. & Clayton, N. Effects of experience and social context on prospective cashing strategies by scrub jays. Nature, 414, 443-446, 2001.

[4] Charnov, E.L. Optimal foraging: the marginal value theorem. Theoretical Population Biology, 9, 129-136, 1976.

[5] Stephens, D.W. & Krebs, J.R. Foraging Theory. Princeton, New Jersey: Princeton University Press. 1986.

[6] Mazur, J.E. Learning and memory (5th ed.). Prentice Hall. 2002.

[7] Matsushima, T. *et al.* Neuro-economics in chicks: foraging choices based on delay, cost and risk. Brain Research Bulletin, 76: 245-252, 2008.

[8] Izawa, E.-I. *et al*. Localized lesion of caudal part of lobus parolfactorius caused impulsive choice in the domestic chick: evolutionarily conserved function of ventral striatum. *Journal of Neuroscience* 23: 1894-1902, 2003.

[9] Ichikawa, Y.*et al*. Excitotoxic lesions of the medial striatum delay extinction of a reinforcement color discrimination operant task in domestic chicks; a functional role of reward anticipation. *Cognitive Brain Research*, 22: 76-83. 2004

[10] Kawamori, A., Matsushima T. (2009) Subjective value of risky foods for individual domestic chicks: a hierarchical Bayesian model. *Animal Cognition* (DOI 10.1007/s10071-009-0293-1, online)

[11] Amita, H., Kawamori, A., Matsushima T. (2009) Social influences of competition on impulsive choices in domestic chicks. *Biology Letters*. (DOI:10.1098/rsbl.2009.0748, on line)

[12] 小倉有紀子、松島俊也　競争採餌はヒヨコの運動投資量を増大させる、脳と心のメカニズム 第 10 回冬のワークショップ（2010 年 1 月 12-14 日）、ルスツリゾート、留寿都

[13] Matsunami, S., Amita, H., Izumi, T., Yoshioka, M., Matsushima, T. Behavioral and pharmacological effects of fluvoxamine (SSRI) on inter-temporal choices and residence time of diminishing food patch in domestic chicks. (submitted)

[14] 三浦桃子、Vallortigara G、Regolin L、松島俊也　Visual experiences enhances innate preference for BM in newly-hatched domestic chicks、脳と心のメカニズム　第 10 回冬のワークショップ（2010 年 1 月 12-14 日）、ルスツリゾート、留寿都

接触タイミング予測における視覚と触覚の関係

小池　康晴
東京工業大学　精密工学研究所

***Abstract*— ヒトは重力加速度で落下する物体を受け取るときに，物体と手が衝突する時刻を予測し，衝突時刻の一定時間前に筋肉に力を入れ始める．落下加速度が重力加速度でない環境下では，学習により接触タイミングの予測を調整し，やはり衝突の一定時間前に力を入れ始めるようになる．しかし受け取り動作の代わりに物体をパンチする実験では十分に学習できないことから，受け取り動作の場合において常に与えられる触覚情報が学習に重要な役割を果たす可能性があると考えた．**

視覚刺激は同じで，接触するタイミングを -60 msec，あるいは 60 msec ずらして提示し，繰り返し試行を行った．その結果，被験者はほとんどタイミングのずれに気がつかずに 60 回程度の繰り返しにより接触タイミングの予測時間が触覚のタイミングに変化していった．また，新たな環境を学習した場合，時間差としてではなく，異なった加速度として学習していることを示唆していた．

I. はじめに

これまで，視覚による物体の認識という課題において，形状の認識と運動の生成は脳の中では別のパスで情報が処理されていることが知られている [9]．スリットの傾きを口頭で答えることが出来なくても，そのスリットに物体を挿入することが可能であることからこれらの別々のパスの役割が議論されていた．また，動いているときに手を伸ばして物体を取る課題においては，環境の動きに合わせて運動指令が変化し，手の軌道が曲がることが見いだされた [12]．しかしながら，この適応は追従性眼球運動と似た性質を持ち，約 100 ms で反応が現れることから，反射に近い活動であると考えられている．また，視覚の座標変換については，マウスのカーソルを追従するタスクや，ドットパターンが移動するタスクなどが行われている [5], [4]．これらは視覚座標系で変換を加えており，運動系は変換が行われていない．

一方，視覚ではなく，触覚への刺激を用いた形状知覚の実験では，腹側視覚路と背側視覚路の相互作用の検討を行っている [2]．また，力場への適応課題は，同一のターゲットに対して力場を適応した条件とそうでない条件で比較するため，視覚は同一で異なる運動指令を出す必要がある [13]．しかしながら，視覚からは力場の状態が認識できないため，腕の軌道の誤差を修正するという方策により，試行錯誤により学習する必要がある．

視覚と触覚の関係を見るときに座標変換や力の変換以外にも，それらの感覚の時間差に注目した研究も行われている．視覚信号は常に遅れて脳に到達するため，今見ている物は過去の情報となる [1]．しかし，様々な感覚の時間遅れが異なるため，同時だと判断するためにはずれを無視して同時だと判断する仕組みが必要となる [3]．このように，視覚と聴覚の時間差や，視覚と触覚の制御や座標変換についてはよく調べられているが，視覚と触覚の時間タイミングがずれているときにどのように運動が変化するかについてこれまで調べられていなかった．本研究では，視覚と触覚の時間的同時性について，現実には起こらない環境への適応過程により調べた結果について述べる．

東京工業大学　精密工学研究所, 226-8503　神奈川県横浜市緑区長津田町 R2-15, koike@pi.titech.ac.jp

II. 実験方法

A. *VR* 環境の提示

被験者の手先位置の取得と触覚情報の提示には，3 次元の位置計測と 3 自由度の力が提示可能な力覚提示装置 SPIDAR を用いる [6]．今回使う 4 個のモータ (Maxon DC motor，RE25，定格出力 20W) を搭載した SPIDAR では，モータからの糸を球形のグリップに取り付ける．各モータに接続されたロータリエンコーダを用いて，1kHz のサンプリングレートで糸の長さを計測することにより，手先の位置を計算できる．その糸の張力をトルク制御し，手先に力情報を与えることができる．視覚情報の提示には，縦に設置したプラズマディスプレイ (PDP503-CMX，50”，Pioneer 社) を用いる．このディスプレイには，ボール，手の基準位置を示す基準線，現在の手の位置を示すカーソルが表示される．ボールは，球の下側に陰影をつけることにより立体的に表示される．以上の VR 環境提示のためのシステムは 1 台の PC によって制御される．またこの PC からは，各試行の前と後に，計測用の PC に対し記録開始と終了の指令がネットワーク（TCP/IP）を通して送られる．さらに，ボールの落下開始時，ボールとカーソルが画面上で接触した時，SPIDAR に力が出力された時に立ち上がる信号が，アナログ入出力 PC カード (ADA16-32/2(CB)F, CONTEC 社) を介して計測用 PC に送られる．被験者は，いすに座り，肘を机の上に置き，手首を支持台の上に置いて SPIDAR のグリップを握る．力は下向きにのみ提示されるので，手の運動は手首の屈曲／伸展のみとなる．ボールを受け取ろうとする時に発生する筋肉の活動を筋電計測装置（Bagnoli 16-ch，Delsys 社）を用いて筋電を 2kHz で計測した．手首の屈曲を計測するために，電極を長掌筋上の皮膚に貼り付けた．

手先の位置の変化は SPIDAR を用いて計測した．計測値はアナログ入出力 PC カードを介して計測用 PC に送られる．

ボールの受け取りには，ボールが衝突する前に手首を上方に動かす方法と，屈筋と伸筋に力をこめ手首のスティフネスを高めることでボールの衝突に備える方法がある．後者の場合，手先位置の変化から正確な運動開始時刻を知ることができない．そこで筋電計測装置（Bagnoli 16-ch, Delsys 社）を用いて筋電を 2kHz で計測した．

手先位置と筋電，そして前節で述べたタイミングを知らせる信号は計測用 PC に送られ同時に記録される．これによって，VR 環境の状態と手先位置，筋電の時間的対応関係を正確に計測することができる．

III. ボールキャッチングと運動生起

ボールが衝突するまでの時刻（Time-to-Contact）を推定する研究は古くから行われている [11], [10], [8], [7]．視覚情報だけから物体に接触した時刻を答えさせる研究や，実際に物体が衝突したときの体性感覚を与える研究などがある．

本節では，まず，複数の加速度で落下する物体を受け取る際の手動作について実験的に解析した結果について述べる．この実験では，視覚により加速度の違いを認識して，ボールが手に衝突するまでの時刻を予測しなければならない．地球上の重力加速度は 9.8 m/s^2 であるが，どの程度の範囲の重力加速度であれば正しく受け取れるようになるかを調べた．

次に，視覚と触覚の間に実際には起こりえない時間差を与えたとき，人がどのような環境として認識するかを両感覚の同時性を調べることで検証した．

A. 加速度環境提示装置

人のキャッチング特性を調べるために，加速度環境や接触時の力提示をバーチャルリアリティ技術を用いて構築した．

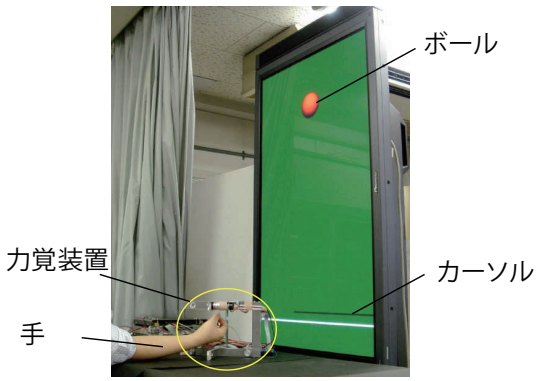


Fig. 1. 力提示実験装置

図 1 にシステムの構成を示す．6 自由度の位置計測と 3 自由度の力の提示が可能な力覚装置 SPIDAR を用いた [6]. SPIDAR には 4 個のモータ (Maxon DC motor, RE025-055, 定格出力 20W) が搭載されている．まず，モータからの 4 本の糸をボールに取り付ける．そして，各モータにはロータリエンコーダが接続され，1KHz のサンプリングレートで糸の長さを計測することにより，手先位置を計算する．また糸の張力をトルク制御し，手先に力覚情報を与える．外部座標系の変化だけではなく，内部座標系の変化を調べるために筋電信号を計測した．銀塩化銀表面電極を長掌筋，長橈側手根伸筋の 2ヶ所に貼り付け，差動増幅した筋電信号を 1KHz，16bit でサンプリングした．筋電信号を全波整流後，10 点間平均を取り，最大値と最小値を用いて正規化 (0〜1) した．被験者に落下する物体を表示するために 50 インチプラズマディスプレイ (PDP503-CMX,50”,Pioneer 社) を縦に設置し，必要な落下距離を確保した．

画面上には，白色の初期位置線，SPIDAR から計測された被験者の手先位置を示す黒いバー，及び，あらかじめ設定された高さに赤いボールが表示される．ボールは，試行開始の合図から 1〜3 秒の間のランダムな時刻に落下する．一方，被験者は椅子に座り，腕を椅子に付いている支持台に乗せる．そして，SPIDAR のグリップを軽く握り，画面に表示される初期位置線に手先位置を示す黒いバーを合わせて，手首を使って落下するバーチャルボールを受け止める．手先位置を表すバーが落下するボールと接触するとき，SPIDAR を通して所定の加速度や力を提示した．被験者には，手先が初期位置からできるだけ離れないようにキャッチングをすることを指示した．

B. 複数加速度実験

複数の加速度環境でのボールキャッチング実験を通して，人が持つ接触タイミング予測について調べた．実験では，5.8 m/s^2〜 11.8 m/s^2 (Step:1m/s^2) の間で計 7 種類の加速度をパラメータとして用意した．加速度以外の要素 (重さ，落下距離，初期速度) は，SPIDAR により提示される手先力を 4.9N(500 g 相当)，落下距離を 80cm，初期速度を 0 m/s とした．被験者がボールの落下開始時刻を予測できないように，ランダムなタイミングで一つ選び，任意の瞬間でボールを落下させた．各加速度ごとに 30 回，合計 180 回の試行を行った．本実験には 6 人の被験者 (男性 5 人，女性 1 人，24〜31 才) が参加した．全被験者の平均と標準偏差を用いて実験結果を解析する．

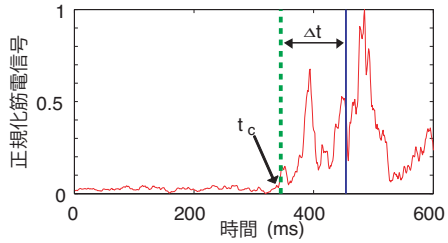


Fig. 2. 評価関数のパラメータ

ボールが落下する距離，速度などの物理パラメータが異なると，手の運動開始時刻も異なる．従って，重要なパラメータの一つは，ボールが手と接触する前に筋肉が活性化し始める時刻，すなわち運動開始時刻である．そして，いま一つは，ボールが手先に当たる時刻である．そこで，我々は，図 2 に示すように筋電信号からキャッチングを開始する時刻（t_c），その時刻から実際にボールが手に触れるまでの時間（Δ t）を求めた．

図 3 は，全被験者から得られた各加速度におけるキャッチング開始時刻の平均値と標準偏差を表している．横軸は各加速度を，縦軸はボールが落下し始めてからの時刻を表している．破線は高さ 80 cm から，手の初期位置線までの落下時間の理論値である．最初の 5 回 (黒いバー) と最後の 5 回 (白いバー) の試行について，キャッチング開始時刻を解析した．まず，最初の 5 回では，すべての加速度におけるキャッチング開始時刻に有意な差は見られなかった (ANOVA,$F(0.05, 5, 30) = 0.91, p = 0.48$)．一方，最初の 5 回と最後の 5 回を t 検定した結果，9.8 m/s^2 以外の加速度では，有意な差があり (t-test,$t(5) > 7.71, p < 0.05$)，最後の 5 回で，被験者が加速度ごとに異なる時刻でキャッチングを開始したことが分かる (ANOVA, $F(0.05, 5, 30) = 39.98, p < 0.01$)．このように，9.8 m/s^2 より加速度値が低

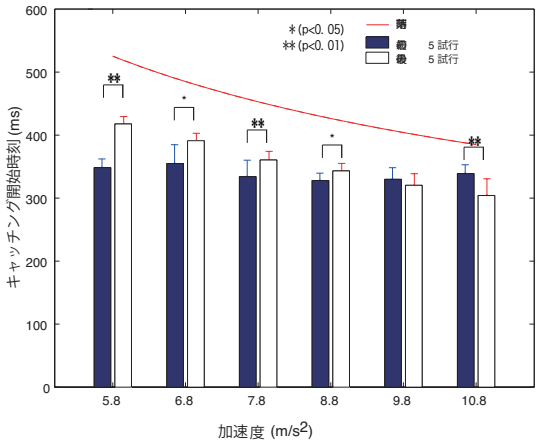


Fig. 3. キャッチング開始時刻と加速度との関係

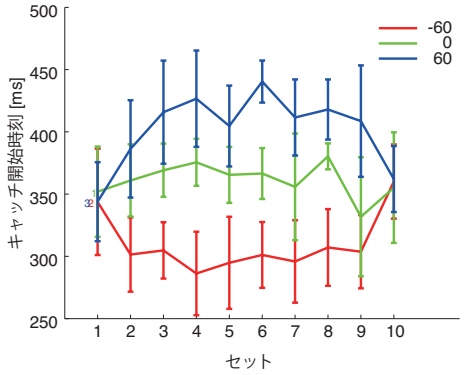


Fig. 4. タイミングの変化

くなると，キャッチング開始時刻は初期の 5 回に比べて遅くなり，加速度値が 9.8m/s^2 より大きくなるとキャッチング開始時刻は早くなることが分かる．

C. 視覚と触覚のタイミングずれ

(1) 学習過程

先の実験で動きの情報から正しく加速度の違いを識別でき，どの加速度でも正しくボールを受け取ることができるようになった．仮想環境の技術を用いると視覚と触覚（体性感覚）の間の関係をさまざまに変化させることができる．例えば，画面上では手にボールが衝突しているが，手には，しばらく遅れて接触力が加わる．あるいは逆に，手にボールがまだ接触していないにも関わらず，手には接触力がかかるなどである．

タイミング実験では，画面上の重力加速度は 9.8 m/s^2 に設定した．そして，接触力を手に加えるタイミングを画面上の接触に対して，−60 msec，0 msec，60 msec の 3 通り用意した．被験者には，80 cm の高さより落下してくるボールをなるべく手を動かさないように受け取るように指示した．試行は 100 回連続して行い，最初の 10 回はボールが画面上で接触すると同時に接触力を提示した．その後 80 回は，接触タイミングをずらした試行を行った．80 回の試行中は同じ接触タイミングのずれにした．+60 msec の場合は，ボールが画面上で接触してから 60msec 後に力を提示した．−60 msec の場合は，ボールが画面上で接触する 60 msec 前に接触力を提示する．最後の 10 回（91〜100 回目）は，ボールが画面上での接触と同時に力を提示する．これは，学習した環境を忘れるためのものである．

図 4 に実験結果を示す．横軸は 10 試行をリセットとしたときのセット数，縦軸は落下開始からキャッチングまでの時間である．グラフの各値は，10 試行の平均値と標準偏差である最初の 10 回は時間差がないので，どの条件でも同じタイミングでキャッチングを行っている．その後 20 回程度タスクを続けていると徐々に与えた時間差に応じて力を入れるタイミングが変化してくる．そして，約 50 回の学習で，ほぼ正しくボールを受け取れるようになった．最後の 10 回では，時間差の無い環境に戻して適応させているため，時間差のある環境を忘れ，最初の 10 回と同じタイミングで力を入れるように元に戻っていることが分かる．

(2) 同時性の知覚

いま,「2 音が呈示され, そのどちらかの周波数が高い場合, どちらの音が高いかを判断する」というような実験を二肢強制選択法で行うことを考える．この課題は，物理的に周波数が異なる 2 つの音に対して，音の高さをどこまで正確に識別できるかを調べるものである．この課題において，完全に世界が分かる時には正答率は 100%になる. 一方, 全く分からずランダム答えても, 選択肢は 2 つであるから, 半分は正当できる. つまり正答率が 100%に近いときの刺激の物理量と，50%に近いときの刺激の物理量との間に閾値や弁別限が存在する. そして，得られた正答率を縦軸に，横軸をその正答率を与える刺激の物理量としてグラフを描く．そのグラフは，心理測定関数（Psychometric function）と呼ばれている．

1) 実験中,「力覚情報を先に感じた」を 1 ,「視覚情報を先に感じた」を 0 として,「力覚情報を先に感じた」割合を求める．
2) y を「力覚を先に感じた割合 (%)」,x を「(視覚衝突時刻)-(触覚衝突時刻)[ms]」として，係数 a，b を求めるため，ロジスティック回帰分析を行う．

$$y = \frac{1}{1 + e^{-(ax+b)}} \tag{1}$$

時間差のある環境への適応を調べるために以下に示す 3 つの実験を行った．

(a) 実験タスク 1

この実験は, 力覚提示タイミングのずれを持つ実験環境 (Delay state) とずれのない実験環境 (Standard state) から構成される. 標準環境 (Standard state) は, 視覚情報と力覚情報の時間的ずれのない環境であり, 全 state 中最も現実世界に近い環境でキャッチングタスクを行う. 力覚差がある条件 (Delay state) は, 視覚情報と触覚情報に差がある環境であり, ボールがカーソルに触れた約数 ms 前 (または後) に力覚が提示される. 視覚情報と触覚情報の差は, ± 0, ± 30, ± 50, ± 70, ± 100, ± 120, ± 150, ± 180ms の 15 状態である. 各状態 20 回ずつで, 計 300 回のキャッチングタスクとなる. 各状態はランダムに出現する. 各キャッチングタスク後, 被験者に視覚情報と力覚情報のどちらを先に感知したのかを聞き, それを記録する. これら state

を交互にしてもらい, 実験全体で計 600 回のキャッチングタスクが行われる.

(b) 実験タスク 2
まず, 学習タスクとして, ボールがカーソルに触れた約 60ms 前後に力覚が提示される環境を学習する. その後, 標準環境を加速度 $9.8\mathrm{m/s^2}$, 触覚差+60ms で, 実験環境を加速度 $9.8\mathrm{m/s^2}$, 触覚差を実験タスク 1 の触覚差+60ms として, 実験タスク 1 を行う.

(c) 実験タスク 3
この実験での標準環境 (Standard state) は, 実験タスク 1 と同じである.
視覚を変えた実験環境 (Delay state) は, 視覚情報と力覚情報に差がある環境であり, ボールがカーソルに触れた約数 ms 前 (または後) に力覚が提示される. 視覚情報と力覚情報の差は, ± 0, ± 30, ± 50, ± 70, ± 100, ± 120, ± 150, ± 180ms の 15 状態である. 各状態 20 回ずつで, 計 300 回のキャッチングタスクとなる. 各状態はランダムに出現する. 各キャッチングタスク後, 被験者に視覚情報と力覚情報のどちらを先に感知したのかを聞き, それを記録する.
これらの環境を交互にしてもらい, 実験全体で計 600 回のキャッチングタスクが行わせた.

図 5 に実験結果を示す.

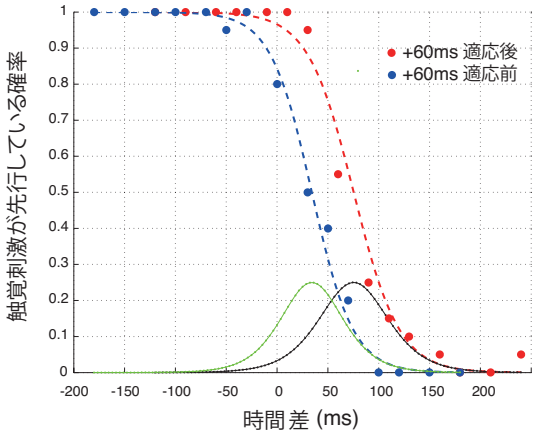


Fig. 5. 実験結果

どの被験者も，触覚が遅れている状態を同時だと思っている．また，時間差のある環境に適応した後は，同時性もシフトしていることが分かった．さらに，被験者毎のバラツキが大きいが，傾きはそのままで時間差分シフトしている場合と，関数の傾きが変わり，さらい遅れ大きいという結果になっていた．

D. まとめ

以上のように，仮想現実の技術を用いて複数の加速度環境を実現することにより，新しい環境への適応について調べた．その結果，複数の加速度を同時に識別できることが分かった．適応の初期は，通常の重力加速度（$9.8\mathrm{m/s^2}$）のタイミングで筋肉に指令を送っていたが，数十回の繰り返しにより，それぞれの加速度に適したタイミングで力を入られるようになった．次に視覚と触覚のタイミングをずらして提示すると，筋電信号の立ち上がりは，触覚刺激に同期するように変化した．このとき，視覚と触覚が同時だと感じるタイミングも，同様に触覚刺激に同期して通常のタイミングよりもずれて知覚するようになった．両刺激が起こるタイミングがずれていても，同時だと知覚するとこから，脳は複数の感覚刺激間に時間差が存在しても，それを同時だと判断する機構が備わっていることが示唆される．さらに，モデルを仮定して筋電信号の立ち上がり時間を解析した結果，単純に高さからタイミングを計算しているのではなく，何らかなの物理的特性を仮定してタイミングを予測している結果となった．

また，60 msec 程度の時間差は，被験者はほとんど気がつかなかった．しかし，適応は徐々に進み，力のタイミングに応じて筋電信号の立ち上がりタイミングも変化したことから，脳は何らかの変化を知覚していたと思われる．脳では，全ての感覚器の入力信号には時間差が存在するため，数十ミリ秒の短い時間差は，特に意識に上ることなく処理されている可能性も考えられる．

REFERENCES

[1] W. Bair, J.R. Cavanaugh, M.A. Smith, and J.A. Movshon. The timing of response onset and offset in macaque visual neurons. *J Neurosci*, 22(8):3189–205, 2002.

[2] K. Fiehler, M. Burke, A. Engel, S. Bien, and F. Rösler. Kinesthetic working memory and action control within the dorsal stream. *Cereb Cortex*, 18(2):243–53, 2008.

[3] W. Fujisaki, S. Shimojo, M. Kashino, and S. Nishida. Recalibration of audiovisual simultaneity. *Nat Neurosci*, 7(7):773–8, 2004.

[4] Z. Ghahramani, D.M. Wolpert, and M.I. Jordan. Generalization to local remappings of the visuomotor coordinate transformation. *J Neurosci*, 16(21):7085–96, 1996.

[5] H. Imamizu, S. Miyauchi, T. Tamada, Y. Sasaki, R. Takino, B. Pütz, T. Yoshioka, and M. Kawato. Human cerebellar activity reflecting an acquired internal model of a new tool. *Nature*, 403(6766):192–5, 2000.

[6] Masahiro Ishii and Makoto Sato. A 3d spatial interface device using tensed strings. *Presence*, 3:81–86, 1994.

[7] J. McIntyre, M. Zago, A. Berthoz, and F. Lacquaniti. Does the brain model newton's laws? *Nat Neurosci*, 4(7):693–4, 2001.

[8] D.M. Merfeld, L. Zupan, and R.J. Peterka. Humans use internal models to estimate gravity and linear acceleration. *Nature*, 398(6728):615–618, 1999.

[9] A.D. Milner and M.A. Goodale. Two visual systems re-viewed. *Neuropsychologia*, 46(3):774–85, 2008.

[10] N.L. Port, D. Lee, P. Dassonville, and A.P. Georgopoulos. Manual interception of moving targets. i. performance and movement initiation. *Exp Brain Res*, 116(3):406–420, 1997.

[11] D.A. Rosenbaum. Perception and extrapolation of velocity and acceleration. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 1(4):395–403, 1975.

[12] N. Saijo, I. Murakami, S. Nishida, and H. Gomi. Large-field visual motion directly induces an involuntary rapid manual following response. *J Neurosci*, 25(20):4941–51, 2005.

[13] R. Shadmehr, F.A. Mussa-Ivaldi, and E. Bizzi. Postural force fields of the human arm and their role in generating multijoint movements. *J Neurosci*, 13(1):45–62, 1993.

[14] Miall Wolpert. Forward models for physiological motor control. *Neural Netw*, 9(8):1265–1279, 1996.

試行錯誤行動を伴った知識ベース学習における前頭前野外側部の機能的役割

藤本　淳、田中　智洋、小川　正

要旨—未知の問題に直面したとき、我々は試行錯誤をすることにより知識を獲得し適切に問題を解決することができる。しかしその過程における神経メカニズムについては十分に知られていない。この問題を調べるため、我々は試行錯誤を伴う視覚探索課題（trial-and-error visual search task）を開発し、前頭前野外側部（the lateral prefrontal cortex, LPF）から単一神経細胞記録を行った。

この課題でサルは、6 つの異なる色刺激の中から 1 つの色刺激を選択する。選択された色刺激が、実験者が事前に決めた目標色であれば報酬（ジュース）が得られる。目標刺激の色は試行ブロックが変わるごとにランダムに変更されるが、サルには目標刺激の色、更新タイミングに関する情報が一切与えられない。このため、報酬のフィードバックにもとづいて試行錯誤により目標となる色刺激を探索する必要がある。サルは目標刺激の色が変更された後、通常、数試行にわたって目標以外の色刺激を選択するが、一度でも目標である色刺激を選択するとステップ状の正答率変化を示し、それ以後は 90%程度の高い正答率を維持した。このようなステップ状の正答率変化は、知識ベースの学習様式であることを示唆する。

目標刺激の色が変更されてから最初の成功試行が生じるまでの期間（試行錯誤期間）と、それ以後の高い正答率が維持される期間（メンテナンス期間）で LPF の神経活動を比較したところ、試行錯誤期間において特異的な活動を示すニューロン群を見出した。作業仮説として、知識ベースの学習が確立されるより前の「試行錯誤期間（異なる色刺激を次々に選択することが必要）」と、問題を解決するための適切な知識が確立された後の「メンテナンス期間（同一の色刺激を選択することが必要）」では、色刺激を選択するための方略が大きく異なると考えられるが、見出された LPF の活動は 2 つの期間を区別することが可能であった。このことから、試行錯誤を伴った知識ベースの学習において、LPF がオブザーバー的な役割を果たし、2 つの期間で異なる方略を使い分けることを可能にする神経機構の形成に役立っている可能性が考えられた。

1. 背景

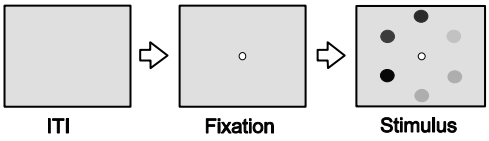
ヒトや動物は未知の環境下にあっても、「環境との試行錯誤的なコミュニケーション」によって、生存するための「新しい知識」を確立することができる。例えば、初めて遭遇した未知の森で、さまざまな色の木の実を食べたとき、「赤色の実は美味しかったが、他の色の実は不味かった」という試行錯誤的な経験を繰り返せば、最終的には「赤い色 → 美味しい」という新たな知識を獲得して、最初から赤い色の木の実を探すようになるだろう。

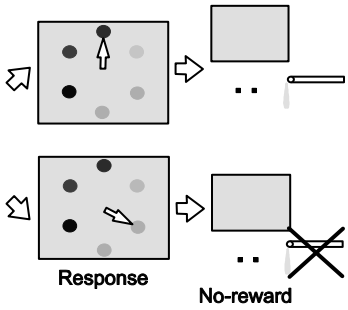
このような柔軟な適応的行動の形成は、（1）「環境との試行錯誤的なコミュニケーション（刺激情報—行動選択—結果）を繰り返すことによって意義のある刺激情報（赤い色）を見出す過程」から、（2）「明示的に新しい知識を学習したあと、試行錯誤なしに適切な行動選択を行う過程」への遷移と見なすことができる。このとき、最も知的・創造的な脳活動は、後半過程ではなく、環境との試行錯誤的なコミュニケーションを行うことによって意義情報を未知状態から既知状態に変えていく前半過程にある。

環境からの刺激情報と特定の行為選択を柔軟に結び付ける適応的学習には、前頭前野（特に外側部）の働きが重要であることが破壊実験から知られている(Buckley et al., 2009)。しかしながら、従来のサルを用いた研究では、後半過程における神経メカニズムのみが調べられ、前半における「環境との試行錯誤的なコミュニケーション」を行っているときの脳機能は全く調べられていなかった(Sakagami and Niki, 1994; Hoshi and Tanji, 2000; Ogawa and Komatsu, 2004, 2006, 2009)。また「ウィスコンシン・カード分類課題」のように課題ルールを教示しない実験であっても(Mansouri et al., 2006)、課題ルールが 2 種類しか用いられなかったため、サルは事実上 1 回の失敗試行で正しい課題ルールを推定することができ、試行錯誤によって新しい知識を獲得するような実験状況ではなかった(Kamigaki et al., 2009)。

本研究では、「環境との試行錯誤的なコミュニケーションよって新しい知識を獲得」するときの神経メカニズムを明らかにするため、「試行錯誤を伴った視覚探索課題」を開発し、被験者（サル）に訓練した。この課題では目標刺激を選ぶための探索ルールは教示なしで更新されるが、ルール更新を繰り返し行っても、サルは試行錯誤を行い、新しいルールを見出した。また、課題遂行中のサル前頭前野からは、「課題ルールが未知の試行錯誤期間」と「課題ルールが既知となり高い成功率を維持する期間」で活動を特異的に変化させるニューロン群を見出し、前頭前野ニューロンが試行錯誤の期間とそれ以外の期間を正確に区別して監視している可能性が示された。

藤本　淳、田中　智洋、小川　正
京都大学大学院医学研究科　認知行動脳科学
〒606-8501　京都市左京区吉田近衛町
【連絡先】小川　正
tel. 075-753-4678, fax. 075-753-4486
e-mail: togawa@brain.med.kyoto-u.ac.jp





2.実験方法

【視覚刺激と行動課題】

「試行錯誤を伴った視覚探索課題」をサルに十分に訓練する。課題において、各試行は注視点の呈示により始まり、6 色の刺激から成る刺激アレイの呈示後、注視点の消灯を合図にサルは刺激アレイの中から 1 つの色刺激を選択しなければならない(図 1)。特定の色をもつ刺激が目標となるが、サルに対して目標刺激の色は明示的には教示されず、成功試行の場合は報酬（ジュース）と高音ビープ音が、失敗試行の場合は低音ビープ音が与えられる。このため、サルは報酬の有無によって、目標刺激を決めている色を試行錯誤的に見出すことが求められる。試行はブロックごとに行われ（20~40 試行）、同一のブロック内では目標刺激の色は同一にした。

【ニューロン活動記録】

「試行錯誤を伴った視覚探索課題」を十分に訓練したサルを用いて、前頭前野外側部から単一ニューロン活動の記録を行う。同一ニューロンからの記録において目標刺激の色の更新は複数回行う。

コントロール実験として、目標刺激の色に対する選択性を明らかにする「色選択性テスト」と、報酬サイズに対する依存性を明らかにする「報酬サイズ依存性テスト」を、記録する個々のニューロンごとに行う。

● 色選択性テスト

最初に目標刺激を決める色が教示される以外は、「試行錯誤を伴った視覚探索課題」と同一である。このテストにより、個々のニューロンにおける目標刺激の色に対する選択性を調べる。

● 報酬サイズ依存性テスト

「試行錯誤を伴った視覚探索課題」と基本的に同一であるが、報酬の量が多い試行と少ない試行の 2 種類を用意し、試行開始時に報酬サイズの大小を明示的にサルに教示する。このテストにより、個々の

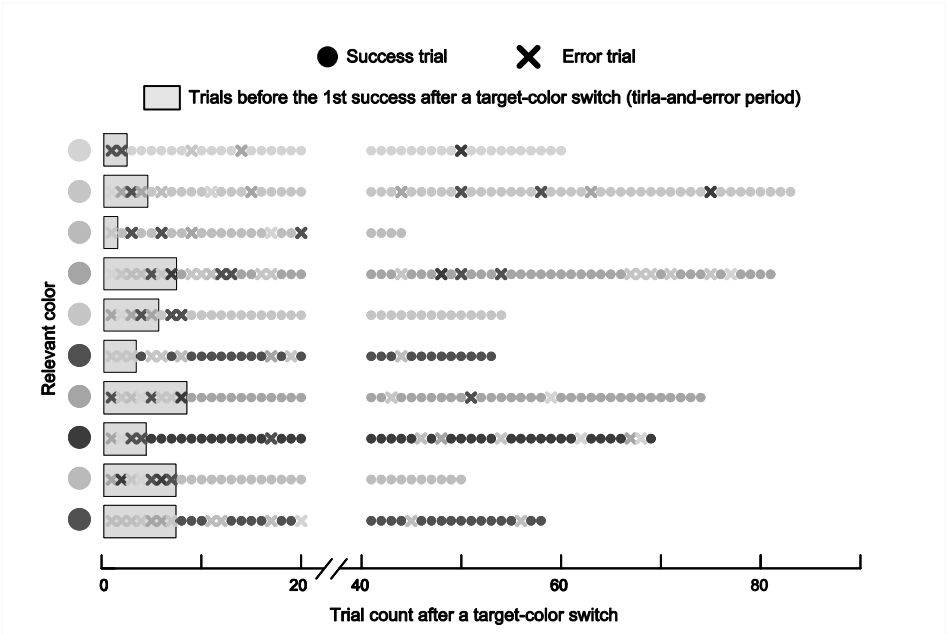


Figure 2. Behaviroal responses in a session of the trial-and-error visual search task.

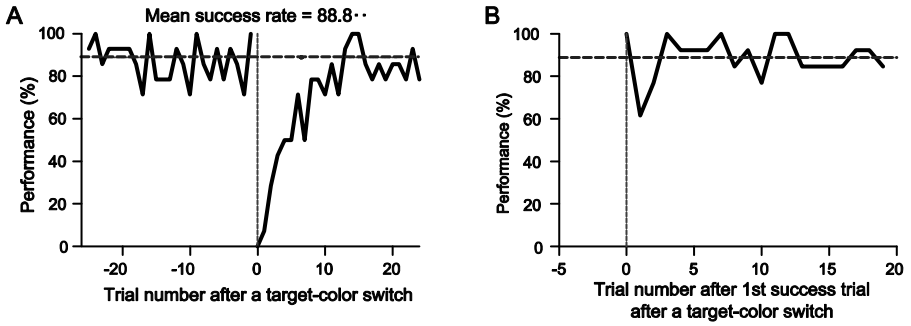


Figure 3. Behavioral performance in the trial-and-error visual search task

ニューロンにおける報酬サイズに対する選択性を調べる。

3. 実験結果

【行動データの解析結果】

サルは目標刺激の色が教示なしに変更されると、その後数試行においては目標刺激の色が未知のため、目標以外の刺激を数試行に渡って試行錯誤的に選択した（図２）。しかしながら、一度でも目標刺激を選択すると、その後は正答率をステップ状に上昇させ、90%程度の高い正答率を維持した（図３）。正答率におけるこのようなステップ状変化は、サルが知識ベースで成功試行を導く目標刺激の色を学習したことを示唆する。

【ニューロンデータの解析結果】

各試行ブロックにおいて、1 度目の成功試行が生じるまでの期間を「試行錯誤期間」、最初の成功試行が生じた後で高い正答率が持続的に維持される期間を「メンテナンス期間」として分割し、それぞれの期間における前頭前野の神経活動を比較した。

― 作業仮説 ―

「試行錯誤期間」では、成功試行を導く目標刺激の色が未知のため、試行ごとに異なる色刺激を選択することが必要となる。これに対し、「メンテナンス期間」では目標刺激を決める色が既知となるため、目標刺激の色を継続して選択することが必要となる。このように、「試行錯誤期間」と「メンテナンス期間」では、報酬を得るために必要となる色選択の方略が全く異なる。このため、呈示される視覚刺激（感覚入力）と実行するべき眼球運動（運動出力）は 2 つの期間で同じであるにもかかわらず、「試行錯誤期間」と「メンテナンス期間」を区別して表現するニューロン活動が脳内に存在すると予想される。

図４に、前頭前野外側部から記録された代表的な単一ニューロン活動を示す。このニューロンでは、「試行錯誤期間」における発火活動が、「メンテナンス期間」におけるそれと異なるダイナミクスを示し、２つの期間を区別して表象していることがわか

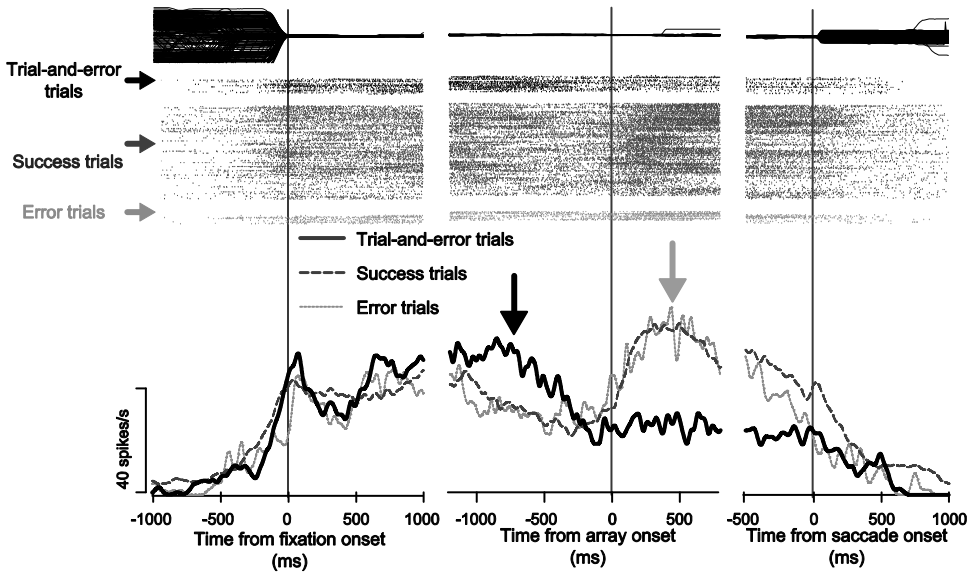


Figure 4. A LPF neuron with the activity specifing the trial-and-error states

る。興味深いことに、「メンテナンス期間」では少数の失敗試行も生じるが、そのときのニューロン活動は成功試行と同様のダイナミクスを示しており、報酬量（無報酬）が同一となる「試行錯誤期間」の失敗試行とは活動のダイナミクスが異なる。このような発火様式は、先行研究で示された成功・失敗試行の予測的な発火活動では説明できない(Okada et al., 2009)。

4. 考察

一度の成功経験のみで、正答率がステップ状に上昇し、その後も持続的に高い正答率を維持するような学習様式を、実際の行動学的データによって示すことができた。このようなステップ状の正答率の変化は、知識ベースの学習様式であることを示唆する。

また、そのような知識ベースの学習が確立される以前の「試行錯誤期間（異なる行動選択を次々に生成することが必要）」と、問題を解決するための適切な知識が確立された以後の「メンテナンス期間（同一の行動選択を維持することが必要）」では、行動選択においてとるべき方略が大きく異なると考えられるが、前頭前野外側部では２つの期間を区別するようなニューロン活動が見出された。

これらの結果から、試行錯誤を用いた知識ベースの学習において、前頭前野外側部がオブザーバー的な役割を果たすことが可能であり、２つの期間で異なる方略を使い分ける神経機構の形成を可能にしていると考えられる。

5. 参考文献

Buckley MJ, Mansouri FA, Hoda H, Mahboubi M, Browning PG, Kwok SC, Phillips A, Tanaka K (2009) Dissociable components of rule-guided behavior depend on distinct medial and prefrontal regions. Science 325:52-58.

Hoshi E, Tanji J (2000) Integration of target and body-part information in the premotor cortex when planning action. Nature 408:466-470.

Kamigaki T, Fukushima T, Miyashita Y (2009) Cognitive set reconfiguration signaled by macaque posterior parietal neurons. Neuron 61:941-951.

Mansouri FA, Matsumoto K, Tanaka K (2006) Prefrontal cell activities related to monkeys' success and failure in adapting to rule changes in a Wisconsin Card Sorting Test analog. J Neurosci 26:2745-2756.

Ogawa T, Komatsu H (2004) Target selection in area V4 during a multidimensional visual search task. J Neurosci 24:6371-6382.

Ogawa T, Komatsu H (2006) Neuronal dynamics of bottom-up and top-down processes in area V4 of macaque monkeys performing a visual search. Exp Brain Res 173:1-13.

Ogawa T, Komatsu H (2009) Condition-dependent and condition-independent target selection in the macaque posterior parietal cortex. J Neurophysiol 101:721-736.

Okada K, Toyama K, Inoue Y, Isa T, Kobayashi Y (2009) Different pedunculopontine tegmental neurons signal predicted and actual task rewards. J Neurosci 29:4858-4870.

Sakagami M, Niki H (1994) Spatial selectivity of go no-go neurons in monkey prefrontal cortex. Experimental Brain Research 100:165-169.

相互追従実験によるヒトーヒト間協調的適応の最適化の研究

沢田 康次、林 叔克

***Abstract*— A series of mutual tracking experiments verified that the optimization of cooperative adaptation for the motional communication is realized by creating a common rhythm, whenever possible, and thereby reducing the fluctuation of the relative position between the two persons.**

I. 序論

コミュニケーションは言語コミュニケーションと非言語コミュニケーションに分けられ、前者は手紙・電話・電子メールなど人類しかできない深い情報交換の手段であるが、言語のもつ性質から一固まりの情報を得るには時間を要し、リアルタイム性が弱い。後者は深い意味を持つ情報を作り出すことよりもむしろ、身体の運動情報でコミュニケーションを行い、その瞬間・瞬間にお互いに情報が交換できるリアルタイム性がある。動物の脳は進化の初期においては運動機能を優先的に発達させてきたこと、また運動情報は言語情報に比べて測量しやすい利点を考え、我々は運動情報による同時コミュニケーションの成立条件を相互追従実験によって研究した。

II. 背景

人の動的な環境に対する応答を調べるために、環境の変化を視覚情報としてとらえ、自己運動を制御する視覚追従実験を行ってきた [1]。具体的には、等速で円運動するターゲットを手運動と連動したトレーサでできるだけ正確に追従することを被験者に課す実験である。視覚情報にもとづいて、追従するときの人の運動特性から、以下のことを実験的に明らかにした [2][3]。

1) 位置誤差補正機能と予測追従機能は同時には発現せず、ターゲットの速度によってどちらかが選択される。
2) ターゲット速度が速い場合、すべての情報を取り入れて処理することが不可能になるので、断続的に視覚情報を取り入れる。視覚情報を取り入れない領域では、認知時間の短縮により内部イメージを先行させるが、視覚情報を取得する領域においては、内部イメージと運動体の位置を一致させる。全体として、相対位置誤差は手運動がターゲット運動に先行する。
3) 予測機能を通して発現するこの先行性は、外部環境の変化に対しての自分の運動を最適化することから、生物の進化の方向とも一致する。また、因果律の逆転という錯覚の原因になっている可能性がある [4]。

III. 目的

これら先行研究の結果を踏まえて、変化する環境が人である場合に、どのような視覚運動制御を行うのかを明かにするために、我々は以下のような相互追従実験を企画した。

1) お互いに相手の運動を視覚でとらえ、追従する相互視覚追従の場合は位置誤差補正機能、予測追従機能は、等速ターゲット追従の場合と同じパラメーター領域で切り替わるか？
2) 位置誤差補正運動の特徴は、等速ターゲット追従の場合とはどう違うか？
3) 予測追従運動の特徴は、等速ターゲット追従の場合とどう違うか？
4) 予測追従運動の場合は、等速ターゲット追従の場合のようにどちらかが先行するか、先行が交番するか、もしくは、位相が一致するのか？
5) 運動情報の同時コミュニケーションの成立条件は何か？

東北工業大学 仙台市太白区八木山香澄町 35-1
sawada@tohtech.ac.jp

IV. 実験システム

視覚追従運動はターゲットの運動情報（位置、速度）を視覚情報として脳内に取り入れ、可能な限り正確にターゲットの位置と一致させるように手を運動させることである。被験者は 2 人 1 組がペアとなり、2 台の PC を使用して行った。PC はクロスケーブルによって接続し、両 PC 間の通信の時間遅れを 10msec 程度にまで押さえた。PC 画面のフラッシュレートが 20msec 程度であるので、本視覚追従実験にとって十分な通信精度であると考えられる。また被験者の目と PC の画面との距離は、約 45cm に設定した。

被験者は、PC のマウスの運動と同期したトレーサによって、ターゲットを追従する。実験開始後 10 秒間は、一定周波数で円軌道上 (直径 13cm) を運動するターゲットを追従し、その後、ターゲットは相手のトレーサの運動に切り替わり、相互追従が 40 秒間、開始される。被験者には以下の 2 点を要請した。

1) 提示周波数をできるだけ維持し、相互トラッキングを行うように。
2) ターゲットとトレーサの位置をできるだけ正確に合わせるように。

各実験とも被験者は、規則的な運動を行う対象の視覚追従実験に熟練した 20 代前半の者を対象に、N = 5 組で行った。各実験条件に対し、適度な休息を入れながら実験を繰り返した。各被験者のトレーサの速度の時系列をもとに、速度のパワースペクトルと、速度相関関数を計算し、試行回数 10 回の平均値を実験データとした。本稿においては、1 組のペアの実験データを主に示すが、他のペアも同様の実験結果を示した。

視覚情報提示の実験条件としては、以下のように 3 種類の条件を設定した。

A. ターゲット全軌道表示トラッキング

ターゲットの速度を f = 0.1 Hz, 0.3 Hz, 0.5 Hz, 0.7 Hz の周波数で、半径 13cm の円軌道上において、ターゲットを等速で運動させ、視覚追従実験を行った。ターゲットは赤丸で表示し、トレーサは青丸で表示した。

B. Read-in トラッキング実験

相互追従においては、相手が自己の運動によって変化し、相互に定常的な追従運動を行うシステムである。ここで、相互追従の意味をよりはっきりさせるために、まず被験者 A と被験者 B に相互追従を行ってもらい、次に相互追従の際の被験者 A のトレーサの位置の時系列を読み込み、被験者 B に追従してもらう Read-in トラッキング実験を行った。

C. ターゲット断続表示トラッキング

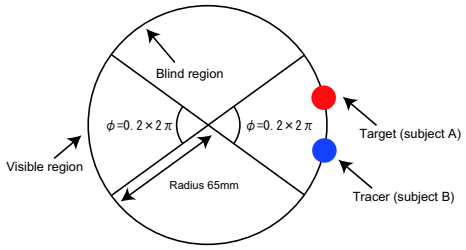


Fig. 1.　断続表示の場合の相互追従実験の画面：円軌道上において、上下端を中心に各 40 %の幅で、追従相手の運動を反映したターゲットを非表示にする領域を設定した。

フィードバック機構である位置誤差補正運動と予測運動機構を分離するために、円軌道上において、上下端を中心に各 30 %と 40 %との 2 種類の幅で、ターゲットを非表示にする領域を設定し、断続表示による視覚追従実験を行った（Fig.1）。提示ターゲット速度は全軌道表示の場合と同様に設定した。

V. 実験結果

A. 全軌道表示相互追従実験

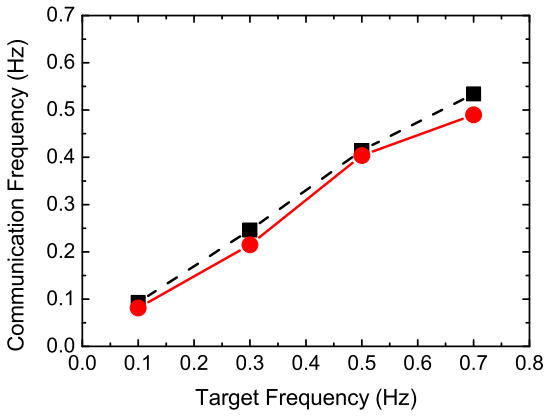


Fig. 2.　提示ターゲットの周波数とコミュニケーション周波数: 実線は全軌道表示実験の場合を表し、点線は断続表示実験の場合を表す。

相互追従において、できるだけ一定の追従速度を維持させるために、トラッキング実験の最初の 10 秒間は、プログラムされたターゲットを追いかける。提示されたターゲットの速度に対し、相互追従においては、できるだけ同じ速度で運動を行おうとするが、相互が維持しやすい速度に緩和し、定常的に相互追従を行う。この定常的な相互追従の周波数をコミュニケーション周波数と定義する。Fig.2 に、提示ターゲットの周波数とコミュニケーション周波数の相関を示す。提示ターゲットの速度に対し、コミュニケーション周波数は小さくなっていることがわかる。また全軌道表示の場合には、コミュニケーション周波数は、断続表示の場合よりも小さくなっている。等速ターゲット追従実験においても、全軌道表示の場合は、ターゲットの周波数の増大にともなって、トレーサは後行する。常に位置誤差補正を行うことにより、環境の変化に対し、時間遅れをともった応答を行う。相互追従トラッキングにおいても、相互のトレーサ速度の低下をまねくと考えられる。

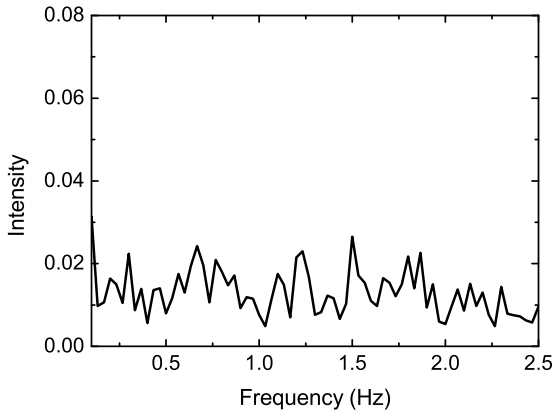


Fig. 3.　全軌道表示した場合の速度スペクトル：提示ターゲットの周波数は、0.1 Hz である。等速ターゲット追従実験に現れたブロードな 1 Hz 近辺の補正運動スペクトルは見られず、平均スペクトルはロングテールをもつ。標準偏差の平均は 0.017 である。

全軌道表示の実験において、Fig.3 は、提示ターゲットが比較的低速な場合におけるパワースペクトルである。等速で運動するターゲットを追従する場合 (比較的低速な場合) は、相対位置誤差補正を反映した 1 Hz にピークをもつガウス分布に近い分布が得られたが、相互追従実験においては、相対位置誤差補正を反映した特徴的な時間スケールは見られず、トレーサの速度のパワースペクトルは、高い周波数まで強度が維持されるロングテイルとなっている。

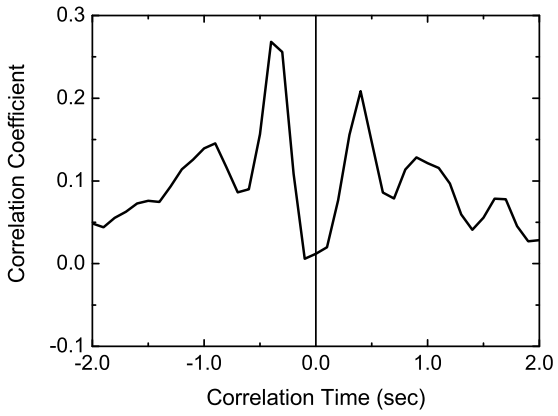


Fig. 4.　相互追従実験における速度相関関数：全軌道表示の場合であり、提示ターゲットの周波数は、0.1 Hz である。± 0.3〜0.4 秒にピークがみられる。標準偏差の平均は 0.13 である。

全軌道表示におけるターゲットの周波数が 0.1 Hz の場合、相互追従実験における速度相関関数を Fig.4 に示した。緩和時間が 0 近辺における相関係数に注目すると、下に凸の曲線を描いていることがわかる。また谷の両側のピークの位置は、+0.3〜0.4 秒と-0.3〜0.4 秒である。

このことから、被験者同士が、お互いに相手のトレーサの運動に対し 0.3〜0.4 秒程度の時間遅れを伴って、速度の増減を行っていることがわかる。これは相手のカーソルの位置にできるだけ正確に合わせることを要求する課題において、視覚運動系の制御における時間遅れを伴った reactive な運動制御を行っているためと考えられる。

正と負の領域に 2 つのピークがあるが、これは速度変化に追従する際に、追従する側が被験者間で、交番していることを示している。被験者はある時は自分が先導して手運動に変化を起こし、他者を自分に合わせようとするが、一方で、相手に先導させて、自分は他者の変化に追従する。この 2 つのモードが交番していること考えられる。被験者は、ある期間他者に追従しているが、自発的に追い抜き他者が逆に追従する期間がつづいていること考えられる。

次節の Read-in トラッキング実験で明かになるが、1 つのモードだけであれば、ピークは 1 つしか生まれない。この状況は、どちらが先行性を発現するか、という意味で、交番が自発的に起きていると解釈できる。この揺らぎが、手運動の速度に反映されるため、トレーサの速度のスペクトル (Fig.3) においては、特徴的な時間スケールが存在せず、高周波側まで、ロングテールであると考えられる。

速度の増減には、時間遅れをともなっているが、お互いのトレーサの相対位置誤差の分布の中央値は、0 のところにあり、位置誤差補正制御が正確に行われている。ここではデータは示さないが、先行の持続時間は 6 秒以内に分布していて、位置の先行性の交番は、自発的に行われていると考えられる。

B. Read-in トラッキング実験

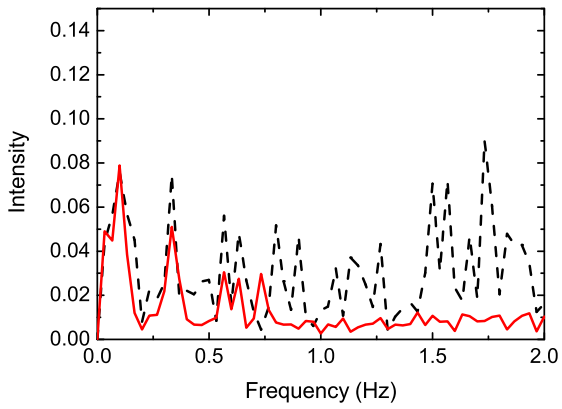


Fig. 5.　Read-in-data を追従したときの速度スペクトル：Read-in-data として使用したデータは、提示周波数が 0.1 Hz のものである (点線で表示)。被験者の速度スペクトルは低周波側において、Read-in data と酷似している。標準偏差の平均は 0.015 である。

相互追従は、相手が自己の運動によって変化し、相互に定常的な追従運動を行うシステムである。Read-in トラッキング実験において取り込まれるデータは、相互追従の特性を反映しているが、自己の運動によって可変なものではない。Read-in-data を追従したときの速度スペクトルを Fig.5 に示した。被験者の速度スペクトルは、相互追従した際の相手の低周波スペクトルと酷似している。また、高周波においては、Read-in トラッキングにピークが見られないのは、Read-in トラッキングする際には、低周波の運動が比較的追従しやすかったためと考えられる。

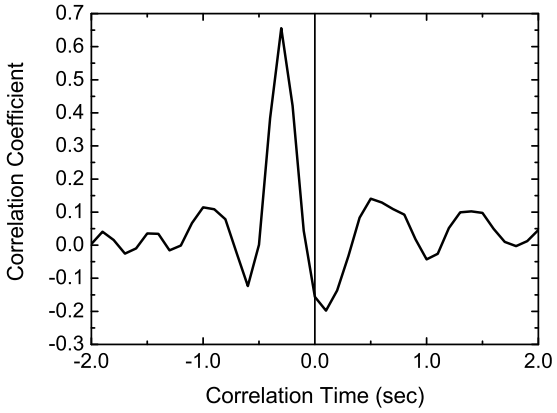


Fig. 6.　Read-in-data を追従したときの速度相関関数：Read-in-data として使用したデータは、提示周波数が 0.1 Hz のものである。-0.3〜0.4 秒の片側のみにピークが見られる。標準偏差の平均は 0.038 である。

Read-in-data を追従したときの速度相関関数を Fig.6 に示した。速度の増減に対する時間遅れを示す-0.3 秒にピークが存在する。このことから、相互追従の実験における±0.3〜0.4 秒のところにあるピークは、相互追従において、視覚情報にもとづいた運動制御の時間遅れを反映し、追従運動における交番の結果を反映したものであると結論できる。

C. 断続表示相互追従実験

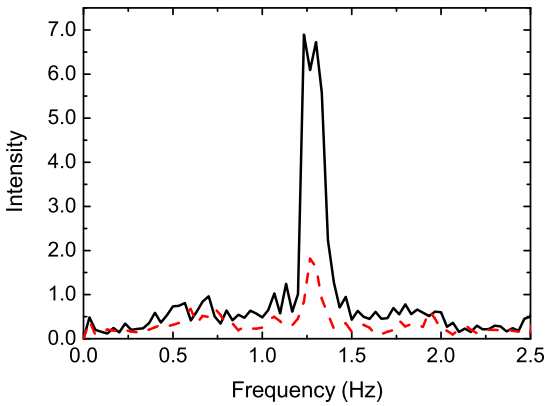


Fig. 7.　断続表示の場合の相互追従実験における各両各被験者のトレーサの速度スペクトル：提示周波数は 0.7 Hz であり、断続表示は 2 帯の 20 %の表示領域で行った。標準偏差の平均は、被験者 A は 0.79 であり、被験者 B は 0.43 である。

断続表示実験においては、提示ターゲットの周波数が 0.3 Hz 以上になった場合、トレーサの速度のパワースペクトルに、$2f$（f：コミュニケーション周波数) の位置に

ピークがみられる。手運動にリズムが生成されていることを示している (Fig.7)。提示周波数が 0.3Hz 以上になった場合に、リズム生成がおこり、周波数が増大するに従って、リズムの強度は増大する。Fig.8 にみられるように、提示周波数が 0.7Hz の場合に、相互の手運動が同期することから、リズムが生成されることが手運動が時間遅れなく、同期することの条件になっている。

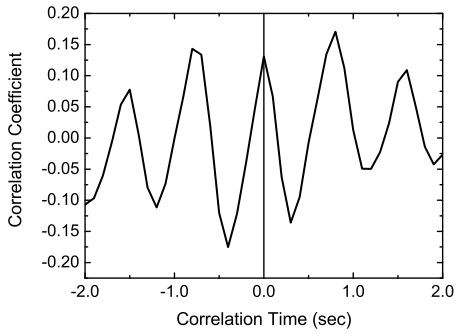


Fig. 8.　断続表示の場合の相互追従実験における速度相関関数：提示周波数は 0.7 Hz であり、断続表示は 2 帯の 20 %の表示領域で行った。標準偏差の平均は 0.081 である。

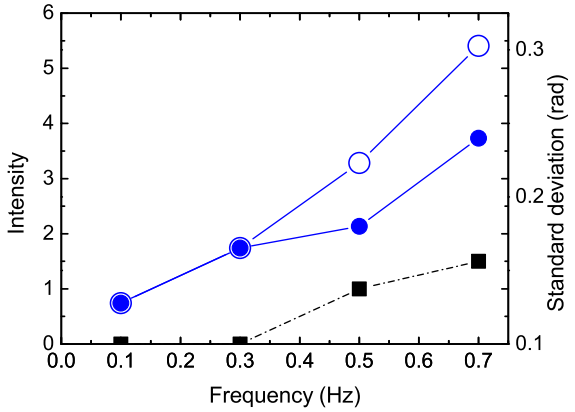


Fig. 9.　相対位置誤差の偏差値とリズムの強度：断続表示の場合における相対位置分布の偏差値 (○で表示)、リズムが発生している場合において (■)、リズム成分の寄与を差し引いた標準偏差を示した (●で表示)。予測制御を行うことによって位置誤差の偏差値を減少している。相対位置誤差の偏差値は 10 回の実験の平均をとったものであるが、その標準偏差の平均は 0.042 rad である。

相互追従実験において、手運動にリズムが発生している場合、両被験者間で、リズムの周期は同期しているが、リズムの振幅が異なっていることが考えられる。断続表示実験において、コミュニケーション周波数が 0.5 Hz 以上の場合においては、可視領域において、局所的に位置合わせを行っていることが考えられ、リズムの振幅の差を軌道全体における相対位置誤差の標準偏差から差し引くことで、被験者間における位置誤差揺らぎが計算できる。

Fig.9 に、各被験者の $2f$ のリズム強度を加算したリズム強度と、被験者間のリズム成分の振幅差の寄与を差し引いた標準偏差を示した。リズムが生成されると、円軌道全体における標準偏差は増大するが、両被験者間のリズムの振幅の差は揺らがないのでその寄与を差し引くと、両者の相対位置誤差の揺らぎは抑えられることを示している。

VI. 結論

ヒトは環境と情報を交換しながら条件として、できるだけ正確に環境との位置を一致することが課題として要求された場合に以下のことが言える。

A. 環境が、ヒトが発する情報に関係なく自律的に動く場合

1) その運動が複雑に動く場合、ヒトは環境を常時後追い追従する。
2) その運動が単純で予測可能なとき (運動の予測可能性はリズミカルな運動に限る)、自己運動は環境の運動に先行する。

B. 環境が、もう一人のヒトの場合で、お互いに情報交換を行う場合

1) 全時間情報取得する場合は、自己が他を追従する時間帯と他が自己を追従する時間帯とが交番して出現する。速度相関関数は相関時間がゼロの点で極小となり、± 0.3〜0.4 秒の点で極大値をとる。
2) 軌道上の一部における相手情報の機械的消滅、または軌道外の注視点設定などによる自発的な情報の間欠的非入力の場合は、お互いに共通のリズムを生成し、リズム運動を用いた予測運動を行い、相手情報を入力可能な点で相手との位置誤差補正を行う。速度相関関数は、相関時間がゼロの点で極大値を取る。

VII. 終わりに

二人の間で言語による情報交換を行い、コミュニケーションが成立したという時、普通は、その中の一人がある時間帯に主体的に発言して他がそれに追従し、次の時間帯ではその逆が起きる。これは主体性の交番のコミュニケーションともいうべきものである。本相互追従実験においても、コミュニケーションが低速で行われる場合は、先行性の交番がおこり、言語コミュニケーションに類似した現象が見られている。

次に、コミュニケーション周波数が増大した場合は、主体性の交番ではなく、両者を一体化した共通のリズムを生成することで位置誤差の揺らぎの精度を増加させている。このことにより、相対誤差の揺らぎを減少させることで、協調適応の最適化を行っている。

VIII. 謝辞

東京大学大学院　総合文化研究科の池上高志氏と東京工業大学大学院　総合理工学研究科三宅美博氏に有意義な Discussion をしていただいたことを感謝する。

References

[1] Ishida, F., and Sawada, Y., Human hand moves proactively to the external stimulus; An evolutional strategy for minimizing transient error, Physical Review Letters, 96, 168105 (2004).
[2] 林叔克, 田村友里恵, 佐瀬一弥, 菅原研, 沢田康次, ヒトの視覚運動機構における位置誤差補正運動と予測運動の混在と分離, 計測自動制御学会に投稿
[3] Hayashi,Y., Tamura, Y., Sugawara, K., and Sawada, Y. Why the hand motion proceeds the target in tracking experiment?, Prodeedings of The 3rd International Symposium on Mobiligence.
[4] 沢田康次, 石田文彦, 予測と行為 -主体的行為はいかにして可能か-, 計測と制御, 60-65, 48 (2009).

自己と他者の身体認識の脳内メカニズムの解明

村田　哲†

†近畿大学医学部 〒589-8511 大阪狭山市大野東 377-2

要旨　頭頂葉には多種感覚を統合して，自己の身体表現に関わるニューロン活動が知られている．本研究の目的の一つは，自己の身体意識の脳内のメカニズムの解明であるが，それには大脳皮質にある感覚運動制御のメカニズムを明らかにする必要がある．本年は，電気通信大学阪口らの主導による共同研究により手指の操作運動に関連する頭頂葉のニューロンのスパイクデータを用い，時系列でどのように情報処理をしているか明らかにするため，情報量解析をおこなった．こうした分析は，頭頂葉と運動前野のネットワークの情報の流れを明らかにするとともに，身体感覚のメカニズムの解明にもつながる．また本年は，自他の身体の共有表現について論文をはしたのであわせて報告する．

1. AIP 野のニューロン活動に対する情報量解析

脳内においては，頭頂連合野が自己の身体の表象に深く関わっていると考えられる．身体の知覚，特に運動の主体感には，感覚運動制御に必要な遠心性コピーと視覚や体性感覚フィードバックを統合し，比較するメカニズムが必要であるといわれている．頭頂葉の AIP 野（図１）は，手指の操作運動に関わるニューロン活動が記録される．また，これらの記録領域は運動の表出に関連する運動前野 F５との解剖学的な結合がしられており頭頂葉と運動前野のネットワークが感覚運動制御に重要な役割を果たすことを示している．

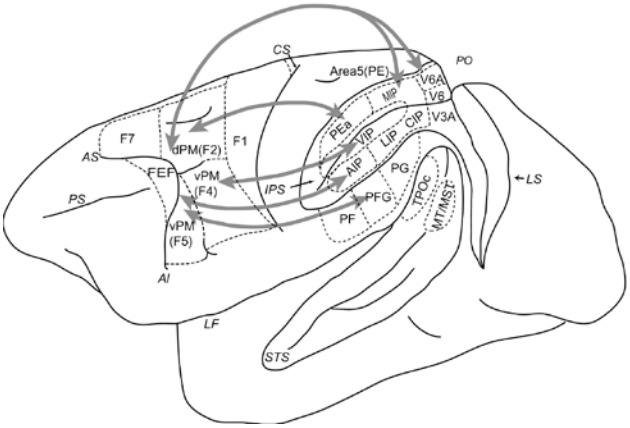


図１ 身体感覚に関わる頭頂葉―運動前野のネットワーク

AS　AI：弓状溝　PS：主溝 CS：中心溝　STS：上側頭溝　IPS：頭頂間溝　LS：月状溝　vPM：腹側運動前野　dPM：背側運動前野　VIP：腹側頭頂間溝領域　AIP：前頭頂間溝領域 IPS，STS，LS のそれぞれの脳溝は広げて表してある．（文献[1]より転載）

頭頂葉の手指の操作運動に関わるニューロンは，その視覚的な反応が，物体の 3 次元的な特徴の情報のコーディングをしていることがわかっている．一方で，頭頂葉の体性感覚ニューロンには，腕の受動的な多関節の複雑な動きに関連した活動が知られている．さらに視覚的な動きやと体性感覚を統合するニューロン活動も我々の研究では見つかっている．こうした活動は，頭頂葉のニューロンが，視覚や体性感覚のフィードバック情報を基にして運動をモニターする役割がある事を示唆する．我々の以前の研究[2]では，いろいろな三次元的な形をした物体を明るいところと暗いところでつかむ時のニューロン活動と，ただ物体を見ているときの活動を比較し，AIP 野の手操作ニューロンを三つのタイプに分けた．一つは，明るいところで物をつかむときには反応するが，暗いところでは反応がなくなってしまうタイプで，視覚入力だけを受けていると考えられる（**視覚優位型**）．もう一つは，暗いところで物をつかむ時に明るいところと比べて反応は弱くなるが反応が残っているタイプで，視覚と運動に関して活動するタイプ（**視覚運動型**）である．そして，残りが明るいところも暗いところでも，つかむ運動をしているときに反応するタイプで運動の情報のみを符号化しているタイプ（**運動優位型**）に分類された．この中で，視覚の入力を受けるニューロンには，物体を見ただけでも反応するタイプのものがあり（**対象型**），つかむ物体の三次元的な特徴（形，構造，傾きなど）を表現していると考えられる．頭頂連合野の CIP 野という領域には平面の三次元的な傾きを符号化するニューロンがあり，この情報を受けていると考えられる．ま

た，視覚入力を受けるタイプのニューロンでも，物体を注視するだけでは反応しないニューロンも存在する（視覚運動型と視覚優位型の**非対象型**）．このタイプのニューロンは，手の視覚情報を受けている可能性がある．実際，この移動知の研究における研究では，このタイプのニューロンで，物体を操作するときの手の映像に反応するものが見つかっている．

一方，AIP 野は腹側運動前野の F5 と解剖学的な結合がある．F5 には，やはりいろいろな把持運動に関わるニューロン活動が記録される．これまでの研究では，F5 のニューロンは視覚運動型と運動優位型のみが記録され，視覚優位型は見つかっていない[3]．これらの異なる領域の異なるタイプのニューロンは，当然のことながら異なる役割があると考えられる．

そこで，これらのニューロンの時系列の情報表現の変化を明らかにすることにより領域内，領域間での情報処理のダイナミクスを明らかにできると考えられる．本年度は，昨年度に引き続き電気通信大学阪口研究室主導による共同研究により，頭頂葉の AIP 野のスパイクデータを基に，より細かな相互情報量解析が行われ現在投稿中である[4]．

情報量の計算は，ニューロンのタイプごとに行い，また，異なる二つ物体の組み合わせ（15 組）で相互情報量の計算した．つかむ物体は，板，リング，立方体，円柱，円錐，球などの３次元物体であった．それぞれデータの解析は５０ｍｓごとに時系列で，以下の計算を行った．

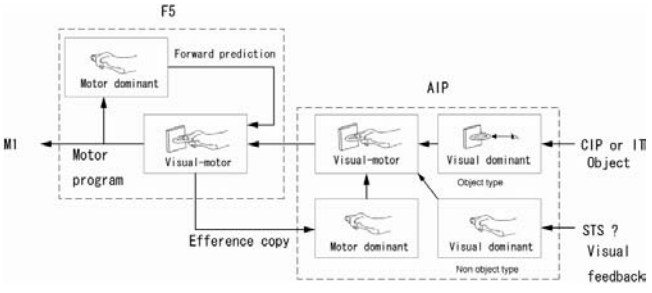
$$
\begin{aligned}
&I(R;S) = H(R) - H(R|S) \\
&= -\sum_r p(r)\log p(r) + \sum_s p(s)[\sum_r p(r|s)\log p(r|s)] \\
&= \sum_{s,r} p(s,r)\log\frac{p(s,r)}{p(s)p(r)}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
&MI(k) \\
&= -\sum_r p_k(r)\log p_k(r) \\
&+ p(S_k)\{\sum_r p(r|S_k)\log p(r|S_k)\} + p(S_k^*)\{\sum_r p(r|S_k^*)\log p(r|S_k^*)\} \\
&= -\sum_r p_k(r)\log p_k(r) + \frac{1}{2}\{\sum_r p(r|S_k)\log p(r|S_k) + \sum_r p(r|S_k^*)\log p(r|S_k^*)\}
\end{aligned}
$$

この式で，H はエントロピー，p(r)　p(s) S は物体のセット（２種類の物体の組み合わせ　１５通りある），R はスパイク数に関する確率変数である．この研究では 6 つの物体うちの二つの物体の組み合わせ（15 通り）で，ニューロンのタイプ別に情報量のピークが大きくなるか，時間的な経過でどのように変化していくのかを調べた．課題は，サルが物体を注視している注視期間と物体に手を伸ばしてつかむ到達期間，そして物体を握っている把持期間で構成される．

その結果，視覚運動型や視覚優位型の物体に視覚的な反応を示すタイプは，物体を見ているときに情報量が立ち上がり，その物体に手を伸ばしつかむ間もずっと持続して上がっていた．これは個別のニューロンで見てもタイプ別の平均で見ても同様の傾向であった．これらのニューロンは，物体の 3 次元的な特徴をコードすると考えられる．実際，相互情報量の大きな物体の組み合わせは，物体の形に大きな特徴の違いがあるものに情報量の大きく認められた．また，これらのタイプの注視期間における情報量の立ち上がりは同じタイプのニューロン，あるいは同じニューロンであっても物体の組み合わせによって，注視期間の情報量の立ち上がり時間が異なっている．これは，物体を区別する特徴の抽出が，物体によって異なるタイミングで行われていることを示している．また対象型のうち視覚運動型のニューロンは，注視期間と到達期間，把持期間と課題の進行に従って，情報量の大きな物体の組み合わせが変化をしていくことが少なからず認められた．これは，物体の 3 次元的な特徴以外の情報がのってきていることことを示している．たとえば手の形の視覚フィードバックの可能性がある．また，前研究で視覚運動型の場合には，腹側運動前野から出力される運動情報のコピーが含まれると考えたがそれとも矛盾しない．

一方，運動優位型は運動開始に伴って到達期間に情報量の立ち上がりが見られた．非対象型のニューロンもほぼ同じ期間で立ち上がるが，このタイミングは運動優位型の方が幾分早かった．また，これらのニューロンは，対象型のニューロンと比



較すると課題の進行に伴う情報量の内容（物体の組み合わせ）の変化が少なかった．このことは到達期間の情報の内容が，課題終了まで一貫して保持されていることを示している．これらのタイプの反応選択性は物体をつかむ時の手の形に依存していることがわかっている．

以上の結果は，以前の研究で考えられた機能的なモデルを支持するものである，AIP 野のそれぞれのニューロンのタイプの流れを以下のように説明することができる．AIP 野の対象型のニューロンは，物体の形についての空間的な特徴を分析しセレクションする役割があると考えられる．このうち視覚優位型においては物体の情報を課題遂行中ずっと保持している一方で，視覚運動型は物体に関する情報を運動前野に送る．運動前野ではそれに基づいて運動をプランニングし、その情報のコピー(遠心性コピー)をAIP野で受け取り，手のイメージと物体のイメージの照合に関わると考えられる．

また，運動優位型は運動前野から受け取った遠心性コピーそのものであると考えられる．また，非対称型の視覚優位型のニューロンは，視覚フィードバックを表現していると考えられる．従って，この視覚フィードバックと遠心性コピーとのマッチングをとるのが，非対称型の視覚運動型となると考えられる．

2. AIP 野における座標表現

これまで述べてきたように，AIP 野は対象の空間的特徴の表現に関わっていることが明らかである．これらの物体の表現は，いかなる座標上で表現されているのであろうか．特に物体に複数のアフォーダンスがある場合に，そのアフォーダンスの選択において物体本体の中でのどのような位置関係にあるのかの情報は重要である．そこで，AIP 野のニューロンが，ターゲットの物体を中心にした位置関係を表現するかを調べる研究を準備中である．

予備実験においては，四角い箱の一つの面に押しボタンを取り付けターゲットとし，そのターゲット押すことによる到達操作課題をサルに訓練して AIP 野からニューロン活動を記録した．このとき，ターゲットの位置をサルの身体中心座標に固定して，物体に対する位置を相対的に変えた（左右，上下，前後など）．すると，対象型のニューロンの一部は，ターゲットの身体中心座標に対する位置が同じにもかかわらず，物体に対する相対的位置に対して選択性を示した．また，これらのニューロン活動は，物体の身体中心座標における位置や網膜状の位置や無関係に物体中心座標におけるターゲットの位置を表現していた．このようなニューロンは，物体の 3 次元的な構造やアフォーダンス表現にも重要な役割があると考えられる．また，運動優位型でも同様の活動が認められ，物体中心座標系における手の軌道の表現である可能性を示唆していた．

3. 身体感覚と AIP-F５ネットワークとの関係

身体感覚の中で，運動主体感は，運動実行するときの遠心性コピーと感覚フィードバックを比較するメカニズムが必要だと考えられている．本研究において，遠心性コピーと考えられる信号が情報量解析の結果からもAIP野で認められたことは，頭頂葉にそのようなメカニズムが存在することを示唆する．実際，この移動知の研究において，物体をつかむ時の視覚フィードバックに反応するニューロン活動を見つけている．このニューロンは，頭頂葉におけるミラーニューロンの一部であり，他者の動作観察にも反応するニューロンであった[1].

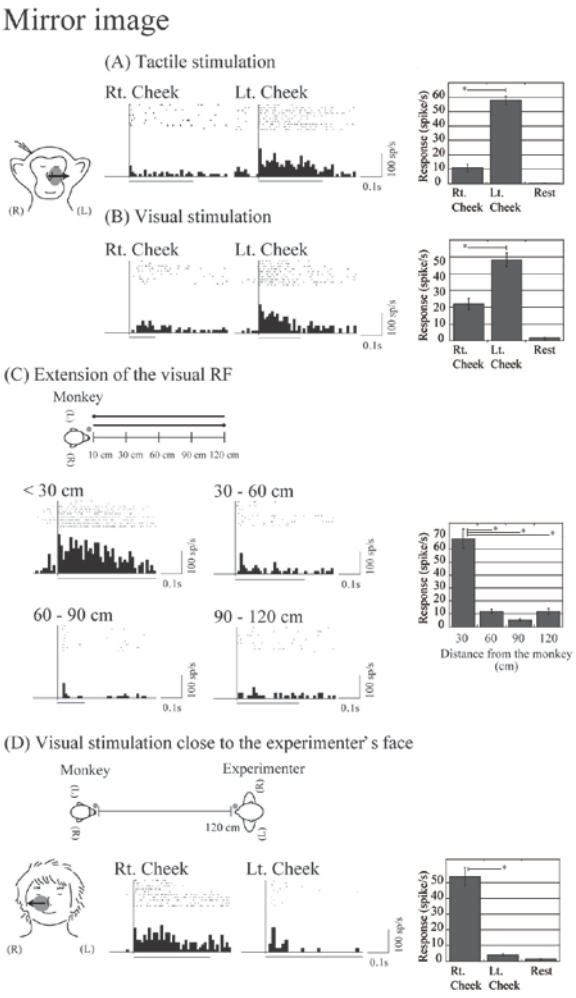
4. 他者の身体の脳内表現についての研究

把持運動に関わるニューロン活動は物体を中心にした座標系での表現の可能性があるが，一方我々の研究では，他者身体については，自己身体と他者の身体共通の表現されている可能性があることが明らかになった[5].

最近の様々な研究の結果かから，脳内に自己と他者の共存を示す例が知られている．ミラーニューロンはその一例で，他者の動作の視覚的表現が，自己の動作運動の信号の上に存在するニューロンである．このようなニューロンの活動は，脳内に自己の身体のみならず他者の身体を認識するメカニズムの存在が予測されるが，未だ明らかにはなっていない．我々は，自己の身体の脳内マッピングが他者身体の知覚において参照されている，あるいは自己身体のマップの上に他者の身体像がマップされると推測し，それを支持する結果を得て，論文発表を行い本年，J Cog Neurosci.に掲載された．

この研究では，VIP 野および，頭頂間溝外側の 7b（PF/PFG）の多種感覚ニューロンの受容野のマッピングの後，実験者がサルの前に座り，ニューロンの受容野の位置と対応する実験者の身体部位（顔・腕・手・下肢）に視覚刺激を提示し，その時の神経活動の有無を調べた．

記録したニューロンのうち約 10%のニューロンが，実験者の身体周辺への視覚刺激に反応を示した．これらのニューロンは，サルの身体上の感覚受容野の位置（顔や手，足の皮膚とその周辺の空間）と対応する実験者の身体部位上に，視覚刺激を提示した時に反応した．たとえば，図のニューロンは，サルの左頬周辺に触覚受容野をもち，またその身体部位の近傍で 30cm 以内の空間に視覚受容野をもっていた．この同じニューロンは，実験者の右頬周辺に提示された視覚刺激をサルが観察した時にも反応した．このニューロンの受容野の身体上の位置は，自己と他者でミラーイメージ（サル：左 vs. 実験者：右）になっていた．これらのニューロンは，さらに，他者が移動してもこの受容野の身体上の位置に変化は認められなかった．他者の身体は自己の身体を参照して認識している可能性がある．言い換えれば，自己と他者が，同じ身体構造を持つことが，他者認識の基盤となると考えられる．また，こうしたニューロンはミラーニューロンのように視覚的に他者の行為を表象するニューロンの身体情報に関する情報ソースになっていると予測される．また，ミラーニューロンは動作に関連するニューロン活動であるが，感覚モダリティにおいてもミラーニューロン様の反応が見られることが初めて明らかにされた．こうしたことは，適応ロボット構築においても重要な示唆を与える.いかにして他者身体を工学的に認識するかは，重要な問題である．このような自己と他者の身体のマッチングを取るシステムは，模倣や他者の行為の認識など，ミラーニューロンの工学的なモデル構築に重要な示唆を与える．さらに他者の感覚の予測などのモデルにとっても大変参考になると考えられる．今後，身体の座標と物体の座標表現との関係も明らかにする必要がある．



謝辞

本報告の前半の研究は，電気通信大学の阪口豊先生の主導により，清水崇司さん，石田文彦先生らとともに行われた．謹んで感謝致します．

文献

[1] Murata, A. and H. Ishida, Representation of bodily self in the multimodal parieto-premotor network, in *Representation and Brain*, S. Funahashi. ed, Springer. p. 151-176. 2007

[2] Murata, A., V. Gallese, G. Luppino, M. Kaseda, and H. Sakata, Selectivity for the shape, size, and orientation of objects for grasping in neurons of monkey parietal area AIP. J Neurophysiol. 83(5): p. 2580-601. 2000

[3] Murata, A., L. Fadiga, L. Fogassi, V. Gallese, V. Raos, and G. Rizzolatti, Object representation in the ventral premotor cortex (area F5) of the monkey. J Neurophysiol. 78(4): p. 2226-30. 1997

[4] Sakaguchi, Y., F. Ishida, T. Shimizu, and A. Murata, Time course of imformation reoresetation of macaque AIP neurons in hand manipulation task revealed by information analysis. (投稿中）

[5] Ishida, H., K. Nakajima, M. Inase, and A. Murata, Shared Mapping of Own and Others' Bodies in Visuotactile Bimodal Area of Monkey Parietal Cortex. J Cogn Neurosci. 22(1): p. 83-96. 2009

ミラーニューロンモデルに基づく
他者自己間の感覚運動パターンの誘発と推定

稲邑哲也，奥野敬丞

***Abstract*— We propose an adaptive acquisition method to infer model of others' sensorimotor patterns, using the mimesis model. The model abstracts others' motion patterns and links to a primitive symbol representation based on self body configuration. It, however, doesn't concern the structural difference between self and other. Furthermore, unobservable inner sensory information such as torque cannot be treated. We utilize symbol communication to solve these problems.**

I. INTRODUCTION

研究代表者の稲邑はヒューマノイドロボットにおける動作の抽象化表現として，ミメシスモデルに基づく原始シンボル空間と呼ばれる手法を提案して来ている [1][2]．この原始シンボル空間は，隠れマルコフモデル（以下 HMM）を用いて抽象化した動作パターン間の関連性を表現するための空間で，各動作パターンに対応する HMM パラメータ間の距離を Kullback-Leibler 情報量を用いて計量し，多次元尺度法で空間を構成していた．この空間では運動パターンが静止した状態点すなわち原始シンボルとして変換され，未知の動作パターンであってもある状態点に変換する事が可能であった．

移動知公募班での取り組みは，この原始シンボル空間と呼ばれる表現を用いて，動作模倣のコンセプトを中心として，環境に適応した適切な動作を他者の動作を模倣することで生成する手法についての議論を行った．

まず最初の２年間では，単なる動作パターンだけではなく，感覚情報と運動情報とが統合したパターンを扱うことができるような拡張を行った．また，基本動作パターンの合成処理を，状態点同士の内分点や外分点に相当する原始シンボルから新規動作パターンを生成する処理に帰着させる方法 [3] を提案した．この手法により，少ない種類の既知動作しか経験に無い場合でも，認識・生成の二つの処理を結びつける事で，数多くの種類の未知動作の模倣行動を実現可能としていた．

これらの先行研究に於ける原始シンボル空間はある特定の人間，もしくはヒューマノイドロボットの感覚運動情報について議論しているが，人間とヒューマノイド，もしくは２体のヒューマノイド間の模倣行動等，自己と他者の二者が存在する際，特に他者と自己の身体構造が異なる場合に，他者の感覚運動情報モデルを管理する事が出来ないという問題が残されていた．この問題を解決するためには，他者の感覚運動情報を推定する事ができるミメシスモデルを目標として，他者の原始シンボル空間を推定し，自己の原始シンボル空間との対応関係を獲得する手法が求められる．他者と自己の対応関係を獲得するという趣旨では，例

稲邑哲也：国立情報学研究所情報学プリンシプル研究系 准教授
inamura@nii.ac.jp
奥野敬丞：総合研究大学院大学複合科学研究科情報学専攻
k-okuno@nii.ac.jp

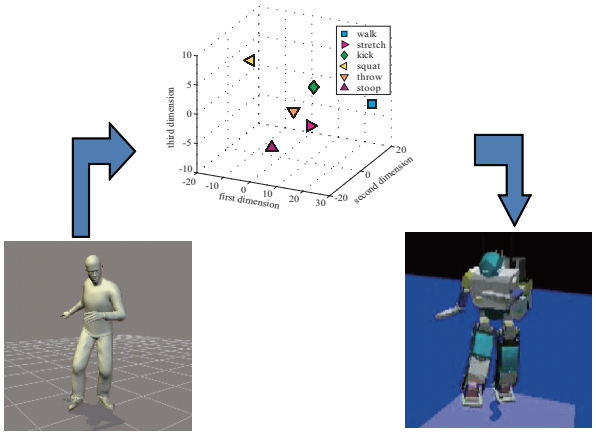


Fig. 1. Conventional mimesis model that uses sole proto-symbol space

えば Yokoya ら [4] は，疑似シンボルを表現可能な RNNPB において，他者と自己の関係を表現するモデルを構築しているが，他者の立場でなければ観測できない情報は用いられておらず，他者の視覚情報と運動情報が与えられた状態で学習が行われていた．しかしながら体勢感覚のような内部状態を推定する問題になった場合，提案されている手法では限界があった．

このような背景を踏まえ，本稿では，他者と自己の身体性の違いを考慮しつつ，他者の感覚運動パターンを推定する事ができるミメシスモデルへの拡張を目指す．特に，直接観測することのできない他者の内部状態・感覚パターンを扱うために，２者間の対話を通じて内部状態を推測し，他者のミメシスモデルを段階的に獲得する戦略を提案する．Fig.1 に従来までのミメシスモデルによる模倣の流れ，Fig.2 に本稿で目標とする，自己と他者の双方のミメシスモデルが存在する場合の模倣の流れを示す．

II. 他者の感覚運動情報の推定モデルの適応的獲得手法

Fig.2 に示したように，2 者間で感覚運動パターンを推測・模倣する際には，他者と自己で異なるミメシスモデルが使用されるべきである事は明確である．しかし，従来研究で実現されていたような行動模倣を Fig.2 で実現する場合，直接他者の運動情報を自己のミメシスモデルに入力する事ができないという問題がある．また，他者の感覚パターンは観測不可能であるため，なんらかの方法で観測可能な運動パターンから感覚パターンを推定する必要もある．

そこで，Fig.3 のように，自己のミメシスモデルと他者のミメシスモデルの推定モデルを同時に自己の立場で保持する戦略を考える．また，ミメシスモデルは基本となる感覚運動パターンのデータベースと，そのデータベースから構成される原始シンボル空間の事を意味するので，今後ミ

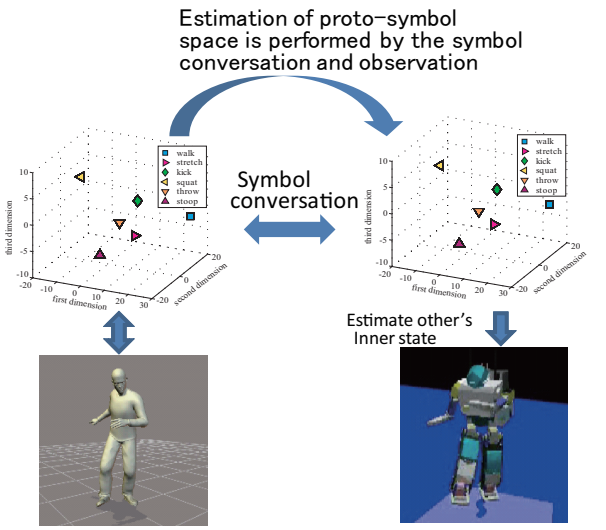


Fig. 2. Proposed mimesis model that consists of two proto-symbol spaces

メシスモデルの獲得を原始シンボル空間の獲得として表現することとする．

また，説明を簡便にするため，自己が保持する自己の原始シンボル空間を PSS_{self}，他者が保持する他者の原始シンボル空間を PSS_{other}，自己が保持する他者の原始シンボル空間の推定モデルを $P\hat{S}S_{other}$ と表記する．他者の身体における感覚運動パターンは観測不可能であるため，$P\hat{S}S_{other}$ を構成するための感覚運動パターンのデータベース D_{other} は PSS_{self} を構成するためのデータベース D_{self} のコピーを用いる事で学習を開始する．学習ループでは，以下のようなプロセスが実行される．

1) 他者と自己が双方情報を共有することのできる客観的な運動パターンを対象として，他者がその運動パターンを実行する事で観測するであろう感覚パターンを $P\hat{S}S_{other}$ を用いて推定する
2) 推定した感覚パターンと実際に他者が感じた感覚パターンの差分を，会話によって検出する
3) 会話の結果に基づいて，推定した他者の感覚を修正し，$P\hat{S}S_{other}$ を構成するための D_{other} を更新する

以上のプロセスを繰り返すことで，徐々に他者の原始シンボル空間の推定モデル $P\hat{S}S_{other}$ を，他者が保持している真の他者の原始シンボル空間 $P\hat{S}S_{other}$ に近づけて行く [5].

III. 対話に基づく原始シンボル空間の獲得

A. 獲得の基本戦略

具体的に，ロボット R_1 が身体構造の異なるロボット R_2 の感覚運動情報を推定する事を考える．お互いが情報を共有することができる運動パターンとして関節角度を対象とし，直接観測する事が不可能である感覚パターンとして，アクチュエータに加えるべきトルクを対象とする．原始シンボル空間を構成するための，基本となる感覚運動パターンのデータベース D は，各関節の角度からなる m 個の運動パターン $\boldsymbol{M} = (M_1, M_2, \cdots, M_m)$ と，各関節にかかるトルクからなる m 個の感覚パターン $\boldsymbol{S} = (S_1, S_2, \cdots, S_m)$ の集合からなる．この D に基づいて，他者の感覚パターンを推定するための原始シンボル空間 $P\hat{SS}_{R_2}$ を獲得する問題を考える．

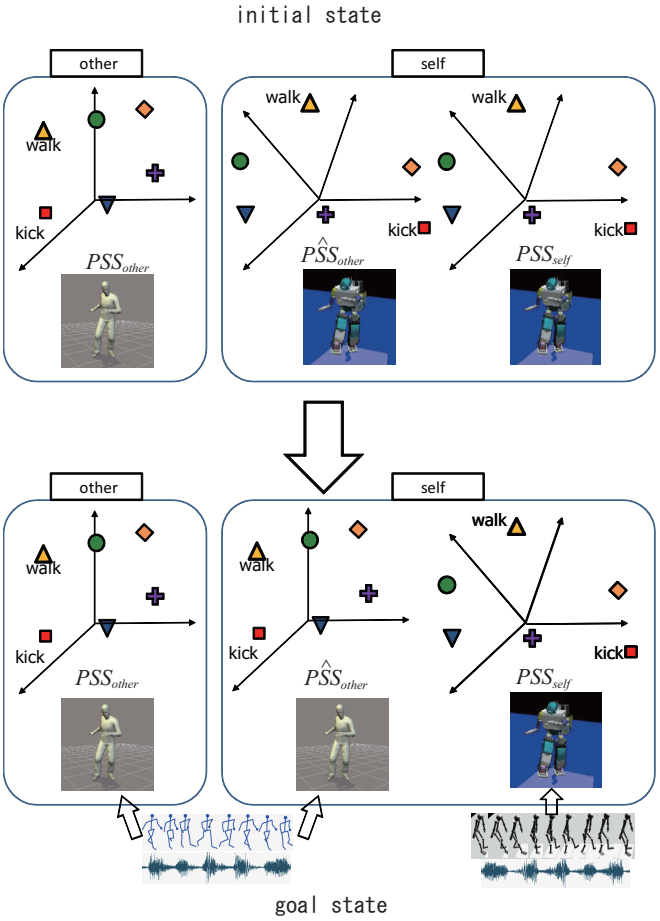


Fig. 3. Concept of the acquisition of other's proto-symbol space

ここで，以下のような手順で $P\hat{SS}_{R_2}$ を獲得する．

1) R_1 が推定する R_2 の原始シンボル空間 $P\hat{SS}_{R_2}$ を構成するデータベース D_{R_2} の初期値として，R_1 における $\boldsymbol{M}$ と $\boldsymbol{S}$ の集合からなる D_{R_1} のコピーを代入する．すなわち $P\hat{SS}_{R_2}$ の初期状態は PSS_{R_1} となる．
2) データベース D_{R_2} に含まれる動作パターン M_i を $P\hat{SS}_{R_2}$ に入力し，感覚運動パターン $\hat{S}_i$ を求める．これは R_1 が R_2 における感覚運動パターンを推定する処理に相当する．
3) R_2 は対象となっている運動パターン M_i を R_2 の身体上で実行し，その際に得られた感覚パターン S をシンボル化してシンボルインデックス k_{R_2} を計算する．
4) 推定した感覚パターン $\hat{S}_i$ と実際の感覚パターン S の差，すなわち推定誤差を求めるため，R_1 は推定した感覚パターンをシンボルインデックス k_{R_1} に変換し，R_2 が出力する k_{R_2} に対して相違が無いかどうかを確認する会話を行う．
5) k_{R_1} と k_{R_2} の関係に応じて，推定した感覚パターン $\hat{\boldsymbol{S}}$ を修正し，データベース D_{R_2} 中の該当する感覚パターンに置き換えた後，$P\hat{SS}_{R_2}$ を再構築する．
6) 上記の手順 2 から 5 を繰り返し，適応的に $P\hat{SS}_{R_2}$ を獲得していく．

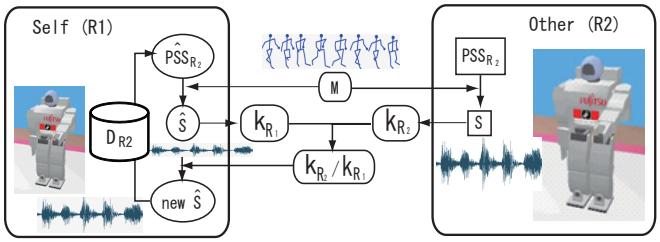


Fig. 4. Block diagram of the revision of estimated proto-symbol space

この一連の処理の流れの概略を Fig.4 に示す.

B. 実験の条件と評価基準

実験には，シミュレータ環境において，富士通ヒューマノイドロボット HOAP-2 と同等の機構を持つ，質量 2.4[kg] と質量 4.8[kg] のヒューマノイドロボット R_1 と R_2 を用いる．このロボットにおいて，右手を振り上げる 4 種類の基本動作 $\boldsymbol{M}$ を対象とし，右手にかかるトルクについて前節までに説明した手法で実験を進める．4 つの基本動作を準備し，原始シンボル空間 $PSS_{R_i}(i=1,2)$ を構築する．なお，$\boldsymbol{S}$ として，右肘，右肩 pitch 軸，右肩 roll 軸の関節トルク $[\tau_1\ \tau_2\ \tau_3]$ を，$\boldsymbol{M}$ として関節角度 $[\theta_1\ \theta_2\ \theta_3]$ を用いる．ただし，θ_i, τ_i は時系列パターンを表す．

感覚パターン $\boldsymbol{S}$ に対する会話を行う際には，以下の手順でシンボルインデックスを求める

- R_2 によって観測される最大のトルクを τ_{MAX} とし，

$$g = \frac{1}{T}\int_0^T \frac{|\tau_1(t)| + |\tau_2(t)| + |\tau_3(t)|}{\tau_{MAX}} dt \qquad (1)$$

  によって定義される正規化されたトルクの値を定義する．ただし，T は $\tau_i(t)$ の時間長である．なお，本稿では τ_{MAX} を 0.4[Nm] とした．
- R_1, R_2 間の会話のシンボルインデックス k を定義するために，g の取り得る区間を，表現の種類数を表すパラメータ d で等分し，Table.1 で定義されたそれぞれの区間に対する k を定める．

TABLE I

RELATION BETWEEN EXPRESSION AND DENSITY OF THE EXPRESSION

k	d=2	d=4	d=6	d=8
1	軽い	軽い	凄く軽い	凄く軽い
2	重い	少し軽い	軽い	かなり軽い
3	-	少し重い	少し軽い	軽い
4	-	重い	少し重い	少し軽い
5	-	-	重い	少し重い
6	-	-	凄く重い	重い
7	-	-	-	かなり重い
8	-	-	-	凄い重い

会話に基づくデータベースの更新，および原始シンボル空間の更新については，動作パターン M_i に対する k_{R_1} と k_{R_2} の比の値に沿って，データベース中の感覚パターン S_i を k_{R_2}/k_{R_1} 倍し，データベースを更新する．データベース中に存在する 4 個の動作パターンに対してこの操作を行い，少なくとも一つの動作パターンの更新がある場合には，データベースから原始シンボル空間を再構築する．

推定された原始シンボル空間 $PS\hat{S}_{R_2}$ が，他者が持つ真の原始シンボル空間 PSS_{R_2} に対してどの程度精度良く近似されたのかを評価するために，N 個の評価用の未知運動パターン $M_i^{'}(i=1,\cdots,N)$ を対象として，以下の評価基準を考える．

a) シンボルインデックスの一致率: 各 $\boldsymbol{M_i'}$ に対して算出された双方のシンボルインデックス $k_{i_{R_1}}$ と $k_{i_{R_2}}$ が一致する率.

b) シンボルインデックスの差分: 単に $k_{i_{R_1}}$ と $k_{i_{R_2}}$ が一致するか否かだけではなく，どの程度表現が掛け離れていたのか，を評価するための基準で，次式で定義される.

$$k_{diff} = \frac{1}{N}\sum_i^N \frac{|k_{i_{R_1}} \quad k_{i_{R_2}}|}{d} \qquad (2)$$

なお，この定義より k_{diff} の範囲は $0 \le k_{diff} \le 1$ である.

c) 推定トルク値のエラー: R_1 が推定したトルク値と，実際に R_2 において観測されたトルク値の差．運動パターン M_i に対して，式 (1) を用いて R_1 によって推定されたトルクの正規化された値を $\hat{g}_i$，実際に R_2 において観測されたトルク値の正規化された値を g_i として，次式で定義される.

$$e = \frac{1}{N}\sum_i^N |\hat{g}_i \quad g_i| \qquad (3)$$

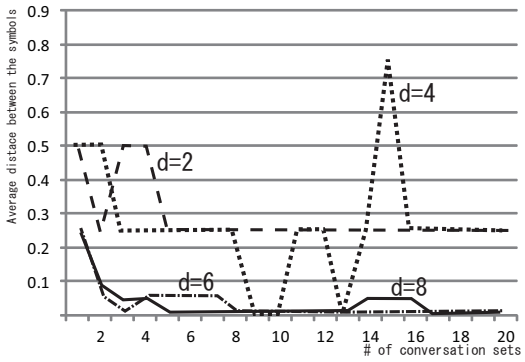


Fig. 5. Difference of the symbol index for basic motion patterns

C. 実験結果

適切に原始シンボル空間 $PS\hat{S}_{R_2}$ が獲得されている事を確認するために，以下の評価を行った.

Fig.5 は，は III-A 節で説明した獲得のための手順のループ回数（これを今後会話数と呼ぶ）を横軸に，式 (2) で定義された，シンボルインデックスの差分を縦軸として，10 個の未知の運動パターンに対する推定の変動の様子を $d=2,4,6,8$ の各ケースについてプロットしたものである．$d=4$ の時にはやや変動幅が大きいが，$d=6,8$ の場合には，差分がかなり低く抑えられている事が分かる．Fig.**??** では R_1, R_2 お互いのシンボルインデックスが単に一致するかどうかで評価されていたが，この図からは表現の種類が細かいほど，お互いの表現の「程度の差」が少ない事を示している.

次に，会話を重ねるごとに，実際に推定したトルクの値がどのように変動するかを確認する．Fig.6 は，式 (3) で計算された推定トルクの推定誤差 e の推移を示している．このグラフでは $d=6$ が使用されており，データベース D_{R_2} に含まれている運動パターン $\boldsymbol{M}$ に対するトルクと，評価

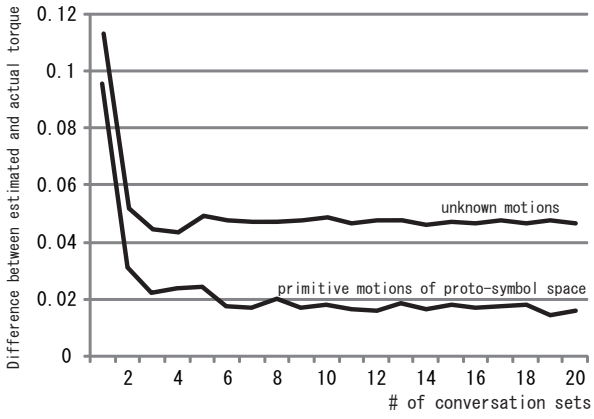


Fig. 6. Difference between estimated torque and actual torque by 6 words (d=6)

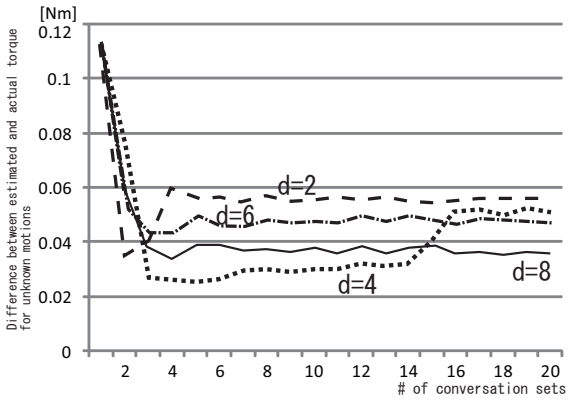


Fig. 7. Error of estimated torque for unkown motions

用の未知の運動パターン $\boldsymbol{M}'$ の双方に対する結果が描かれている．図から分かるように，完全に 100%の一致率をとらなくても，推定したトルク値は実際の値からたかだか 0.05[Nm] 程度の誤差に収まっている．$\boldsymbol{M}'$ から推定したトルクの値はおおよそ 0.2〜0.25[Nm] であり，データベース D_{R_2} に含まれている運動パターン $\boldsymbol{M}$ であれば約 10%の誤差で，未知の運動パターン $\boldsymbol{M}'$ であっても 20%〜25%の誤差でトルク推定する事が実現できている事が分かる．

Fig. 7 は，上記の Fig.6 のグラフを $d = 2, 4, 6, 8$ の各ケースについて重ね合わせて表示したものである．Fig.7 は評価のための未知の動作パターン $\boldsymbol{M}'$ に対するトルクの推定を示している．図から分かるように推定トルクのエラーは全体の約 20%程度となっており，比較的安定してトルクの推定が可能である事を示している．これらの結果は上記の Fig.5 の結果とも連動しており，お互いの結果を裏付け合っていると言える．

IV. 感覚パターンのシンボル変換戦略の推定

しかしながら，この手法では，他者が感覚情報をシンボルインデックスに変換する際の変換規則が，既知情報として自己に与えられていた．これは本来未知であり，また状況によって動的に変化する可能性がある．この点が解決するべき問題点として残されていた．よって，直接は観測不可能な感覚情報のシンボルインデックス変換規則を自己が推定する事が求められる．文献 [6] で提案した会話手法を用いて、この変換規則を推測する為の質問と動作のセットを用意することで変換規則を推定可能ではある．しかし，候補となる変換規則の数とほぼ同等かそれ以上の回数の質問が必要となってしまう．このコミュニケーションで用いられている質問は *open question* と呼ばれるタイプであり，回答の候補となる選択肢は 2 つ以上，最悪の場合は回答の候補が半無限に存在することとなる．具体的な例としては，他者が動作実行時に必要とした負荷の度合いをシンボルインデックスに変換して回答するような場合である．人間とロボットのインタラクションを考慮した時，ロボットからユーザへの質問数はなるべく少なく押さえ，かつ，回答の選択肢がなるべく少なくなるような closed question と呼ばれるタイプの質問をすることが望ましい．

そこで，質問回数を削減し，質問に回答する負荷を減らすために，動作付き相対評価型質問を提案する．この手法では，他者に二種類の動作を実行してもらい，どちらの動作がより大きな負荷を観測したかを質問する．回答は二つの負荷の大小関係を表現することとなり，closed question となる．この動作付き相対評価型質問を提案手法 [6] の枠組みの中で用いる事で，本来は未知である感覚情報をシンボルインデックスに変換する規則を推定する [7].

V. まとめと今後の課題

本研究では従来のミメシスモデルにおいて問題点となっていた，自己と他者の感覚運動情報の対応問題に取り組み，他者の感覚運動情報を抽象化する原始シンボル空間を，対話によって推定する手法を提案した．具体的には観測不可能な感覚パターンを表現するためのシンボルインデックスを導入することで対話のプロトコルを定義し，他者の身体で発生しているトルクを推定する手法，および，そのトルクをシンボルに変換する規則の推定手法を提案し，その性能について議論を行った．

今後は，推定した感覚運動に基づいて，言葉による指示と動作のパフォーマンスの双方を統合した動作のコーチング課題を対象として研究を発展していく予定である．

REFERENCES

[1] Tetsunari Inamura, Yoshihiko Nakamura, Iwaki Toshima, and Hiroaki Tanie. Embodied symbol emergence based on mimesis theory. *International Journal of Robotics Research*, Vol. 23, No. 4, pp. 363–378, 2004.

[2] Tetsunari Inamura, Hiroaki Tanie, and Yoshihiko Nakamura. From stochastic motion generation and recognition to geometric symbol development and manipulation. In *International Conference on Humanoid Robots*, 2003. (CD-ROM).

[3] 稲邑哲也, 柴田智広. 幾何学的な原始シンボル操作に基づく全身動作の生成　ー時間長の異なる動作の合成ー. 第 13 回ロボティクスシンポジア, pp. 457–462, 2008.

[4] Ryunosuke Yokoya, Tetsuya Ogata, Jun Tani, Kazunori Komatani, and Hiroshi G. Okuno. Discovery of other individuals by projecting a self-model through imitation. In *Proc. 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'07)*, pp. 1009–1014, 2007.

[5] 稲邑哲也, 奥野敬丞. ヒューマノイド間の対話に基づくミメシスモデルの適応的獲得. 第 14 回ロボティクスシンポジア予稿集, pp. 393–398, 2009.

[6] Tetsunari Inamura and Keisuke Okuno. Estimation of other's sensory patterns based on dialogue and shared motion experiences. In *IEEE/RAS International Conference on Humanoid Robots*, pp. 617–623, 2009.

[7] 奥野敬丞, 稲邑哲也. 動作模倣と対話に基づく他者感覚パターンの推定に関する研究–相対評価型質問による感覚パターンのシンボル化戦略の特定–. 第 15 回ロボティクスシンポジア予稿集, 2010.

複雑な行為生成を可能とする高次脳機能のメカニズムについてのモデル構成論的な理解

有江 浩明, 谷 淳

I. はじめに

筆者らの本プロジェクトでの研究目的は高次認知における合成可能性 (compositionality) を可能とする脳内メカニズムの理解を深めることであった。認知科学における合成可能性とは、ある全体は再利用可能な部分の組み合わせから構成可能であることを示す。たとえば複雑なゴール志向の行為を生成する場合、その行為の全体はよく利用される運動単位の順序組み合わせから再構成可能であるといった Arbib のモータ・スキーマ理論は、行為における合成可能性を表している。このような合成可能性は従来の認知科学においては、記号表現とその操作により実現可能と考えられてきたが、筆者らはそれはセンソリ・モータレベルでの蓄積的な学習に伴い自己組織化される神経回路内部での分散的な神経活動ダイナミクスにて実現可能であろうと考えてきた。

このような動機に基づき、またさまざまな認知神経科学の知見を鑑みながら、コネクショニストのレベルでの幾つかのモデリング研究を行なった。そのようなモデルはロボット実験プラットフォームに組み込まれ、神経ダイナミクスと物理的身体および環境の相互作用において発生する多様な現象を実験的に探索することにより、脳の持つ自明ではないダイナミックなメカニズムの理解を試みた。

まず最初に、複数の運動単位に対応するセンソリ・モータパターンがどのようにして一つの神経回路上に分散的に学習獲得可能か、Recurrent Neural Network with Parametric Biases (RNNPB) というモデルを提案し、そのモデルについて研究を行った。筆者らはロボット実験を通して、本モデルはいかに高い般化学習能力を発揮するか、また学習獲得された運動単位は regression のメカニズムを用いることにより、いかにその場の状況に適応してシフト可能か調べた。

その次に、筆者らは学習獲得された運動単位はどのような神経メカニズムによって時間方向に組み合わされ、要求される行為全体が構成されうるのかについて研究を行った。本研究において筆者らは、時定数の異なる部分ネットワークから構成される神経回路モデルを提案し、そのモデルを適用したロボット実験の結果から、ネットワークの内部に時定数の違いを利用することにより、機能的階層性が自己組織化されることを示した。より具体的には、時定数の速い部分ネットワークには複数の運動単位が埋め込み学習され、時定数の遅い部分ネットワークには、各ゴール達成のための運動単位の組み合わせ時系列パターンが複数学習されることが示された。この得られた結果について、筆者らは、遅い時定数をもつ部分ネットワークはより高次認知機能を担当する前頭葉に対応し、また速い時定数のそれは、頭頂葉などを含む後頭皮質に対応するという解釈を示した。

さらに筆者らは、前頭葉の特異的な機能であると考えられている、トップダウンのタスク実行制御のメカニズム及びタスク実行に関する自己確信度のモニタリングといったメタ認知に関するメカニズムについて、Wisconsin Card Sorting Test (WCST) に類似したルール切り替えタスクをシミュレーションのロボットに学習獲得させる実験を行うことにより、実験的に調べた。その結果、ルールの切り替えは神経回路内部に獲得された対応するアトラクター間の状態遷移によって実現され、また自己の各ルールに関する確信度は対応して獲得されたアトラクターの安定性に比例表現されることが判明した。以下にそれぞれの研究内容についてより具体的に報告する。

有江 浩明: 独立行政法人理化学研究所脳科学総合研究センター
arie@brain.riken.jp
谷 淳: 独立行政法人理化学研究所脳科学総合研究センター
tani@brain.riken.jp

II. 研究成果

A. 運動単位の学習

まず、複数のセンソリ・モータパターンの中に頻繁に現れる運動単位を、認識・生成が可能な形で獲得するモデルについて検討を行った。。この目的に対して、筆者らは再起結合を持った神経回路モデル (RNNPB: Recurrent Neural Network with Parametric Biases) を提案した [14], [15], [16]。RNNPB は離散時間再起結合神経回路モデル (RNN) にパラメトリックバイアス (PB) を導入した物である。このモデルでは、個々の運動要素が異なる PB の値に自己組織的に対応づけられることによって、複数の運動要素を分散的に学習することが出来る。学習アルゴリズムには BPTT(Back Propagation Through Time) と呼ばれるアルゴリズムを用いており、PB の値もこのアルゴリズムを用いて計算される。学習後に得られた PB の値をモデルに設定することで、学習したセンソリ・モータパターンを生成することが出来る (Fig.1a)。また、センソリ・モータパターンが与えられれば、対応する PB の値を逆に計算することも出来る。この逆計算は、与えられたセ

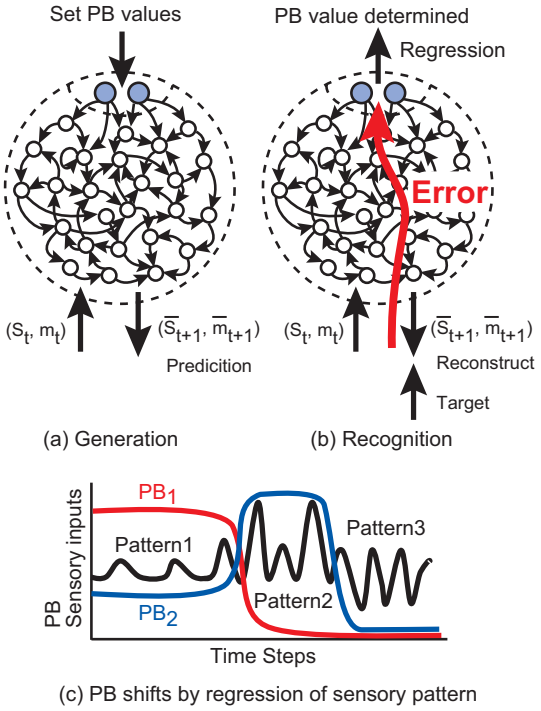


Fig1. RNNPB

ンソリ・モーターパターンを教師信号として BPTT の計算アルゴリズムを適用することによって行われる (Fig.1b)。このモデルを用いた筆者らの実験では、複数の到達運動や周期運動が、固定点アトラクタやリミットサイクルアトラクタとしてそれぞれ学習されることを示した [1]。このとき PB はアトラクターの間を遷移するための分岐パラメータとして働いていると考えられる。また、運動パターンが似ているほど、対応する PB の値も近くなることが分かった。この特徴によって、高い汎化能力を有することが期待される。さらに、谷 [2] はパターンの主要な特徴を表す次元が、PB ベクトルの次元に含まれることを示した。これらの結果は、提案するモデルが学習によりある種の汎化能力を示すことを示唆している。PB の逆計算をオンラインで行うことで、ロボットは動的に変化する環境に適応し、生成する行動を切り替えることが出来る。この例として、４自由度のアームを有するヒューマノイドロボットに、人が動いている様子を見せて、複数の運動要素を模倣させる実験を行った [2]。具体的には、ロボットと教示者が向かい合わせになり、ロボットには教示者の腕の動きを予測するように、また、教示者の腕の動きと自身の腕の動きが対応するように学習をさせた。学習後に模倣実験を行ったところ、教示者が動作を切り替えたときに、ロボットは PB の値をオンラインで変更することで、自身の動作をそれまでに行っていた動作から、対応する適切な動作に切り替えることが出来た (Fig.1c)。このモデルでの PB は、Rizzolatti によって猿の腹側運動前野で発見されたミラーニューロンの役割を果たしていると考えられる。なぜならば、教示者の動作の認識と、対応する自身の動作の生成を行うどちらの場合においても、同じ PB の値で動作が表現されているからである。

また、もう一つの代表的な例として、ロボットによる 2 種類のボール遊び動作 (左右にボールを転がす動作とボールを持ち上げてから放す動作) の学習実験がある [3]。この実験では 2 つの動作パターンはボールの不規則な動きに合わせて切り替わる。この不規則なボールの動きが予測誤差を生み、これを修正するように PB の値を逆計算する。この修正された PB の値によって動作が切り替えられるのである。

B. 機能的階層性の自己組織化

次に筆者らは目標指向行動を生成するために、獲得した運動要素をつなぎ替える方法について研究を行った。この目標に向けて筆者らは MTRNN[4] と呼ばれる連続時間神経回路モデルを提案した。このモデルは時定数の小さな早いダイナミクスを持つ部分（下位）と、時定数の大きなゆっくりと変化するダイナミクスを持つ部分（上位）によって構成される (Fig.2a)。ここで、それぞれの神経モデルの活動ダイナミクスは次の式で表される。

$$\tau \dot{u}_i = -u_i + \sum w_{ij} a_j + I_i, a_i = Sigmoid(u_i) \qquad (1)$$

式中の u_i は神経モデルの内部ポテンシャルを表す。

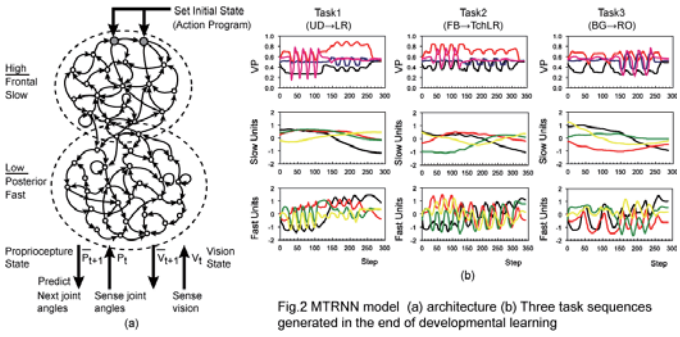


Fig.2 MTRNN model (a) architecture (b) Three task sequences generated in the end of developmental learning

筆者らは遅いダイナミクスを持つ部分は、神経の活動を起こすのに必要な準備期間が秒単位で長い、前頭葉と運動前野に対応すると考えている。一方の早いダイナミクスを持つ部分は後部皮質、特に下頭頂葉に対応すると考える。後部皮質の神経の多くは、活動を起こすのに必要な準備期間が秒単位よりも短い。下位ネットワークはある時点での視覚・体勢感覚 (VP) 情報 (V_t, P_t) を入力として受け取り、次の時間ステップでのそれらの値 (V_{t+1}, P_{t+1}) を予測する。ここでいう、体勢感覚情報とはロボットの姿勢を表す関節角度を指す。この神経回路モデルは、初期値敏感性を利用することにより上位ネットワークの初期状態によって様々な VP パターンを生成することが出来る。この神経回路モデルの学習過程では、教示データに含まれる VP パターンを生成することが出来るように、シナプス結合の強さや、VP パターンに対応する上位ネットワーク中のいくつかの神経モデルの初期状態が計算される。また、神経回路モデルは、自身で予測したセンソリ・モータの情報を次の時間ステップでの入力として用いることで、実際にロボットを動かさなくても運動の心像 (imagery) を作り出すことが出来る。このモデルでは特に、IPL は前部皮質によって選択された運動要素を用いて動いた際におこる、マルチモーダルな入力情報の変化を予測していると仮定している [5]。

上述の MTRNN モデルを用いて、ロボットに物体操作に関するタスクを段階的に教示する実験を行った。実験には、到達運動、上下移動運動 (UD)、左右移動運動 (LR)、前後移動運動 (FB) そして回転運動 (RO) によって構成される動作を用いた [5]。Fig.2b に実験結果を示す。この図は、繰り返し教示を行い最終的に得られた神経回路モデルが生成した VP パターンと、上位ネットワークと下位ネットワークの動きを、それぞれのタスクについて示した物である。この図から、遅いダイナミクスを持つ上位ネットワークは、それぞれのタスク（運動要素の並び）に応じて異なる初期状態となっていることが分かる。従って、この初期状態が運動プログラムを表していると言える。また、早いダイナミクスを持つ部分は VP パターンと似た動きをしていることが分かる。これらの結果や、そのほかの解析 [4] から、早いダイナミクスを持つ下位に運動要素が埋め込まれ、遅いダイナミクスを持つ上位が下位と相互作用することによりこれらの並び方を決めていることが分かった。このような特性により、上位の初期状態を変化させることで、様々な運動要素の並びを生成することが可能となっている。この遅いダイナミクスを持つ上位の役割は RNNPB モデルにおける PB の役割に類似している。我々の解析 [4] では上位と下位の 2 つの部分で異なる時定数を持つことが、このような機能的階層性を自己組織化するために必要であることが確認された。この自己組織化のメカニズムは学習アルゴリズム (BPTT) に依存する物ではなく、一般的に言えるのではないかと考えている。なぜならば、遺伝的計算を用いた実験においても、同じように時定数の違いを利用して機能的階層性を獲得していることが確認されたからである [6]。

段階的な教示による学習過程を見ると興味深いことが分かった。それは、実際にロボットが動けるようになる前に、運動心像を生成できるようになることである。さらに、下位の運動要素が先に獲得され、その後、それらの順序が上位に獲得されることが分かった。これらの現象は幼児の発達に関する実験的な研究と関連があるのではないかと考えられる [5]。

さらに、MTRNN は与えられた目標状態に到達する行動を、獲得した運動要素を組み合わせることで生成できることが示された [7]。具体的には、VP パターンの心像を生成し、この VP パターンの到達状態と目標状態とを比較しながら上位ネットワークの初期値を変更することによって、目標状態へ到達できる初期値を探すことが出来る。この方法を用いることで、獲得した運動要素を用いた物であれば新奇な組み合わせも生成できることが確認された。

最近、筆者らは CTRNN は確率的に遷移する運動単位のシーケンスを観測学習の結果、決定論カオスを内部に自己組織化してそれを再構成しうることを発見した [17], [18]。さらなる実験に

おいて、そのようなカオスは時定数の遅い上位ネットワークに自己組織化されることが判明した。このことは、人間のもつ自由意志のメカニズムについて一つの可能な説明を与える。人間はある時間ごとに任意の行動をあたかも自由に選択しているように思われ、そのような行為の時系列は外から与えられるノイズによって摂動されて発生するという考えが支配的である。しかしながら本実験結果は、そのような一見自由でランダムに生成される行為の時系列は前頭葉に構成された決定論カオスによって初期値敏感性をもって生成される可能性もあることを示している。

最後に、MTRNN モデルが持つもう一つの特徴である、運動要素の結合の仕方について着目する。運動要素間の遷移部分を見ると、早いダイナミクスと遅いダイナミクスを持つ部分が同化している状態で学習を行うため、単純に切り替えているのではなく、非常になめらかに繋がっている。さらに、遅いダイナミクスを持つ部分は文脈に関する情報、例えば周期的な運動要素の繰り返し回数などを表している。ただし、我々の実験では繰り返し回数はあまり正確ではなく、±1 回程度の誤差を含むことが多かったが、運動要素の途中で遷移が起こるということはなかった。このように、運動パターンが文脈情報を持っており、汎化された運動要素をスムーズに遷移するような構造は、組み合わせ可能であるだけでなく有機的であるといえる [8], [5].

C. 前頭葉における実行制御及びメタ認知のメカニズムについて

筆者らの本研究での興味は前頭葉がどのように、（1）ルール切り替えに適応したトップダウンの実行制御を行い、（2）またその各ルールの実行についての確信度をモニターし自己の行為に反映しうるのか、その神経メカニズムを探ることにあった。そこで筆者らは、WCST に類似した規則切り替えタスクを考案し、さらにその各ルール実行においてその成功具合を予測し獲得される報酬について「賭け」をするという枠組みを導入し、そのタスクをシミュレーション上のある神経回路モデルを搭載したロボットに学習獲得させる試みを行った [Mani09a]。図 3(a) に示すように、ロボットは異なる入力刺激に対する 3 種類の応答のルールを獲得することを考える。同じルールは数試行にわたり繰り返されるが、それらルールは実験者により予告なく別のルールに変更されることがある頻度で行われる。ロボットは試行が成功すると報酬がもらえるが、失敗すればペナルテイを受ける。ロボットはそのような報酬・ペナルテイのフィードバックを利用し、現在適応している規則を適時切り替えていくことが要求される。さらにロボットは各試行の直前にその試行における自分の成功について賭ける。大きく賭けると、試行が成功すれば、報酬はその掛け率に比例して増幅されるが、失敗すれば逆に大きなペナルテイを受けることになる。したがってうまく「賭け」をするには、自己のルール実行に関する確信度のモニタリングが必要になってくる。筆者らは、本研究において図 3(b) の左側に示すような神経回路モデルを想定した。本モデルは Continuous Time RNN (CTRNN) を利用するものであるが、前頭葉に相当すると考えられる上位ネットワークと、後頭部皮質に相当すると考えられる下位ネットワークの間にボトルネック型の結合を想定した。上位ネットワークと下位ネットワークはこのボトルネックに設けられた少ない数の神経ユニットを通してのみ相互作用しあう。本ネットワークは下位部にはセンサー入力（障害物レンジセンサー、ライトセンサー）と車輪モータ出力があり、上位部に各試行終了時に受ける報酬・ペナルテイの入力端、そして試行開始直前に出力する「賭け」出力が設けられている。このようなボトルネック型の神経回路モデルと同数の神経ユニットを有する全結合型の CTRNN（図 4 (b) の右側）とタスクの実行性能の比較を行った。これら神経回路モデルにおけるシナプス結合重みは遺伝子アルゴリズムを用い、報酬獲得最大になる方向に進化的に最適化適応させた。進化計算の初期状態においては神経回路の結合はランダムに与えられ、ロボットは障害物回避もできない状態からスタートすることになる。

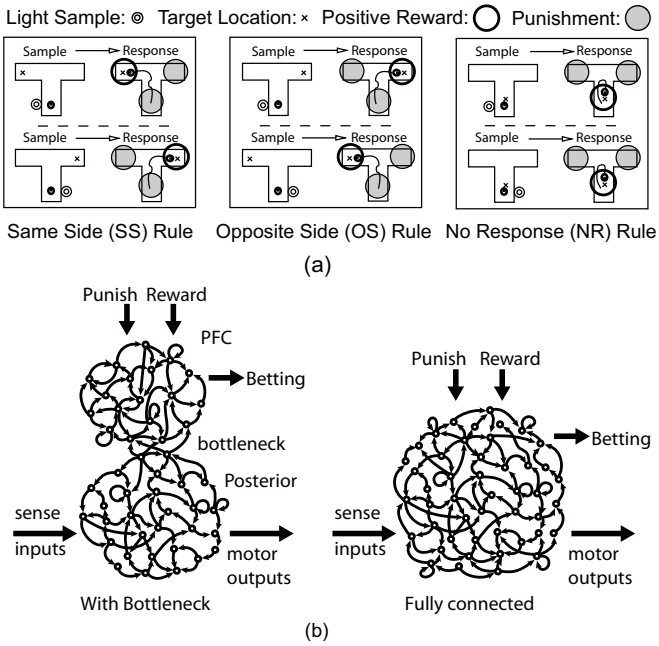


Fig.3 Simulation set up. (a) Three rules were used: the robot should enter the branch on the same side as the light turning on under the “same side” (SS) rule; it should move in the opposite direction under the “opposite side” (OS) rule; and it should remain near the start position independent of the side of the light source in the “no response” (NR) rule. (b) CTRNNs with bottleneck and fully-connected architectures. In the network with a bottleneck, the lower part receives light and range sensor inputs and it outputs motor commands, whereas the higher level receives reward and punishment signals in their corresponding zones and it outputs betting rate. There are no input/output related segregations in the fully-connected case.

シミュレーションの結果において、ボトルネックを持つ回路モデルのタスク実行成績は全結合型回路モデルのそれを大きく上まった。この結果は、脳の高次認知処理において、前頭葉と後頭葉が分離して、それらの間での情報のやりとりにある程度の制限をあることが重要である可能性を示唆するものである。神経回路内部の活動を解析してみると、図 4 に示すように、前頭葉に相当する上位の部分ネットワークのダイナミクスに 3 個のアトラクターが自己組織化され、それらは 3 つのそれぞれのルールを埋め込んでいることが明らかになった。またルールの切り替えは、ペナリテイを外部から受けたときに、神経活動の状態が現在のルールを保持しているアトラクターから他のルールを表現するアトラクターに遷移することで実現されることが判明した。これらの結果は、現在従事しているルールのワーキングメモリーは上位部分ネットワークに保持され、一方各ルールに基づいたセンソリ・モータレベルのスキーマは下位の部分ネットワークに獲得されるといった、機能の分離がボトルネック結合があることにより発現したことを示している。この結果は、人間などの脳においても、前頭葉は比較的に高次の認知機能をにない、それより後方の皮質部位はセンソリ・モータ処理に近い機能をになうという事実にも対応するであろう。

さらなる解析において「賭け」のスキーマは、上位ネットワークの活動状態から「賭け」の出力へと適切なマッピングが自己組織化されることに伴い獲得されることが判明した。「賭け」出力は神経活動状態が前述のアトラクター普遍集合上にあるときは大きくなり、またその外では小さくなることが分かった。つまり、一つのアトラクター内部に神経活動状態が収斂していると

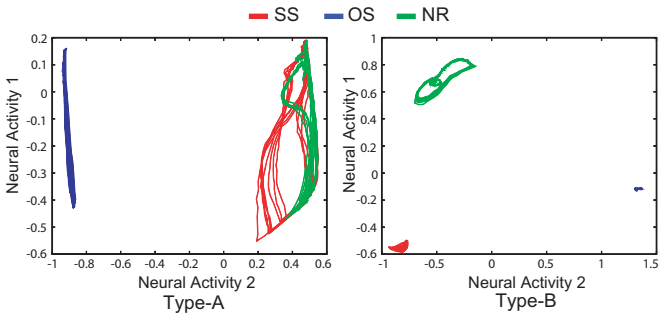


Fig.4 Phase plots of the neural activity generated in Type-A and Type-B cases. The axes are the two principal components of populations in the higher level. The attractor corresponding to each rule is drawn with a different color. In Type-A, some overlaps appear between SS and OS plots because of the similarity in their rules. On the contrary three attractors appear as distinct ones in Type-B.

いうことは、ロボットが連続した試行においてある一つのルールを適応してゴールを連続して達成していることを示しており、また一方神経活動状態がどのアトラクターにも収斂せずそれらの外を浮遊しているということは、実験者の切り替えた規則と、ロボット自身が想定した規則がマッチせずに、ロボットはペナルティを受けて神経活動状態が摂動されていることを示唆する。つまりロボット自身は、自らの神経活動状態がアトラクターの内部にあるか外部にあるかで、自己の次回の試行達成確信度をモニターしているといえよう。

本シミュレーション実験では１５回の独立な進化適応の試行を行い、その結果ボトルネックつきの回路モデルにおいては６回においてタスクの進化学習が成功した。その６回の成功した例についてのアトラクター内部表現を解析してみると、図 4 に示すようにな Type-A と Type-B といった二つのタイプに分けられることが分かった。Type-A においては、ルール間の類似度は現れた対応するアトラクター間の距離に反映する。（図５の Type-A において SS 規則と OS 規則は NR 規則よりも行為的に近いため、それら二つのアトラクターには重なりがある。）しかしながら Type-B においては、それぞれのアトラクターは距離をとって配置されている。このようなアトラクタ集合の位相空間上での配置のされかたの違いは、それらアトラクター自身のノイズに対する安定性に影響を及ぼす。事実 Type-A においては、重なり合いがある SS 規則と OS 規則はお互いに不安定に状態遷移しがちであり、それによりロボットはこれらの二つの規則に従って試行を繰り返しているときは、たとえ報酬を各試行において受け取っていても、行為は完全には安定しきれず試行が失敗することが発生しうる。したがって、この二つのルールに関する「賭け」出力は３番目の安定なルール「NR ルール」に比べて小さくなる。一方、Type-B においてはそれぞれのアトラクターは十分に安定となり、どのルールを適応する場合においても「賭け」出力は大きくなる。Type-A と Type-B の二つの記憶構造の発現は、人間の規則の獲得のしかたに関するありようを暗示している。つまり人間は規則の集合を Type-A の示すように類似的に記憶することもあり、また Type-B の示すようにより明示的に記憶することもあるということである。

本研究では、各ルールはアトラクターの形で獲得され、それらの切り替えはアトラクター間の状態遷移で実現されることが判明した。またさらにそのアトラクターの構成のされ方は、自己の確信度といったメタ認知のレベルに反映されうるといった興味深い結果を得ることができた。

REFERENCES

[1] Tani J., Ito M., “Self-organization of behavioral primitives as multiple attractor dynamics: A robot experiment”, *IEEE Trans. on SMC. Part A*, Vol. 33, No. 4, pp. 481-488, 2003

[2] Tani J., Ito M., Sugita Y., “Self-organization of distributedly represented multiple behavior schemata in a mirror system: Reviews of robot experiments using RNNPB”, *Neural Networks*, Vol. 17, pp. 1273-1289, 2004

[3] Ito M., Noda K., Hoshino Y., Tani J., “Dynamic and interactive generation of object handling behaviors by a small humanoid robot using a dynamic neural network model”, *Neural Networks*, Vol. 19, pp. 323-337, 2006

[4] Yamashita Y., Tani J., “Emeregence of functional hierarchy in a multiple timescale neural network model: a humanoid robot experiment”, *PLoS Computational Biology*, Vol. 4, Issue. 11, e10002200, 2008

[5] Nishimoto R., Tani J., “Development of hierarchical structures for actions and motor imagery: a constructivist view from synthetic neuro-robotics study”, *Psychological Research*, Vol. 73, pp. 545-558, 2009

[6] Paine R.W. and Tani J., “How hierarchial control self-organizes in artificial adaptive systems”, *Adaptive Behavior*, Vol. 13, No. 3, pp. 211-225, 2005

[7] H. Arie, T. Endo, T. Arakaki, S. Sugano, J. Tani, ”Creating novel goal-directed actions at criticality: a neuro-robotic experiment”, *New Mathematics and Natural Computation*, Vol. 5, No. 1, pp. 307-334, 2009

[8] J. Tani, R. Nishimoto, R.W. Paine, ”Achieving ’organic compositionality’ through self-organization: Reviews on brain-inspired robotics experiments”, *Neural Networks*, Vol. 21, pp. 584-603, 2008

[9] Maniadakis M., Tani J., “Aquiring rules for rules: neuro-dynamical systems account for meta-cognition”, *Adaptive Behavior*, Vol. 17, No. 1, pp. 58-80, 2009

[10] Maniadakis M., Trahanias P. and Tani J., “Self-organizing neural mechanisms for higher-order cognitive functions in human prefrontal cortex”, Submitted

[11] J. Namikawa and J. Tani, ”Learning to imitate stochastic time series in a compositional way by chaos”, *Neural Networks*, in press

[12] J. Tani, “Autonomy of Self at criticality: The perspective from synthetic neuro-robotics”, *Adaptive Behavior*, Vol. 17, No. 5, pp. 421-443, 2009

[13] I. Igari and J. Tani, ”Incremental Learning of Sequence Patterns with a Modular Network Model”, *Neurocomputing*, Vol. 72, pp. 1910-1919, 2009

[14] J. Tani and M. Ito, ”Self-organization of behavioral primitives as multiple attractor dynamics: a robot experiment”, *IEEE Trans. on Sys. Man and Cybern. Part A*, Vol. 33, No. 4, pp. 481–488, 2003

[15] J. Tani and M. Ito and Y. Sugita, ”Self-organization of distributedly represented multiple behavior schemata in a mirror system: reviews of robot experiments using RNNPB”, *Neural Networks*, Vol. 17, pp. 1273–1289, 2004

[16] J. Tani, “On the interactions between top-down anticipation and bottom-up regression”, *Frontiers in Neurorobotics*, Vol. 1, 2007

[17] J. Namikawa and J. Tani, “A model for learning to segment temporal sequences, utilizing a mixture of RNN experts together with adaptive variance”, *Neural Networks*, Vol. 21, pp. 1466-1475, 2008

[18] J. Namikawa and J. Tani, “Learning to imitate stochastic time series in a compositional way by chaos”, *Neural Networks*, in press

B 班研究活動報告

同志社大学理工学部　土屋和雄

I. 研究概要

動物の巧みな運動は，筋骨格系と脳神経系の動的な相互作用の中で創発的に形成される．本研究グループは，動物の歩行運動を研究対象として取り上げ研究を行った．従来，動物の運動の力学的な側面はバイオメカニクス，ロボティクスにおいて，また，情報論的な側面は運動神経生理学において個別に研究が進められてきた．本研究グループは，運動生理学研究を行う生物学研究者とバイオメカニクス，ロボティックス研究を行う工学研究者との共同研究で研究がおこなわれた．研究方法論として，歩行運動に関連する神経部位の神経生理学的な研究方法とともに，その成果をバイオメカニクス研究に取り入れて歩行運動の神経筋骨格モデルを構成しシミュレーションを行う方法，およびハードウエアモデルを開発して実環境でシミュレーションを行う方法など，システム論的にその原理を解明することを目指した構成論的な研究方法（システムバイオメカニクス）が採用された．これらの研究を通して，神経生理学においては，神経生理学的研究で明らかにされたそれぞれの神経部位で処理される情報の機能的な役割を明らかにするとともに，工学においては，環境の変化に対して適応的な行動をとる機能を持った機械システム「柔らかな機械」の設計原理を明らかにすることを目的としている．

II. 研究組織

研究組織は，計画班 (3) と公募班 (8) から構成されている．平成 21 年度の各研究班の研究課題および研究代表者は以下のとおりである．

- B01-01 大脳皮質運動領域と姿勢・歩行の協調 (高草木薫 旭川医科大学)
- B01-02 ニホンザル歩行運動のシステムバイオメカニクス－神経筋骨格モデルによる歩行知能の探求－ (荻原直道 慶応大学理工学部)
- B01-03 脳・環境・身体の動的相互作用による適応的ロコモーションの工学的実現 (細田耕 大阪大学大学院工学研究科)
- B01-11 歩行困難者補助のための反射運動系のモデル化に関する研究 (横井浩史 電気通信大学知能機械工学科)
- B01-12 ラット－マシン融合システムと多機能神経電極による生体運動中枢の適応機能の解明 (鈴木隆文 東京大学大学院情報理工学系研究科)
- B01-13 情報を表現する神経活動における身体の役割を BMI 法で解析する (櫻井芳雄 京都大学大学院文学研究科)
- B01-14 脳幹－中枢－基底核におけるやる気の生成，強化学習機能の解明 (小林康 大阪大学大学院生命機能研究科)
- B01-15 筋シナジーを形成する脳内機構を解明する (関和彦 生理学研究所発達生理学研究系)

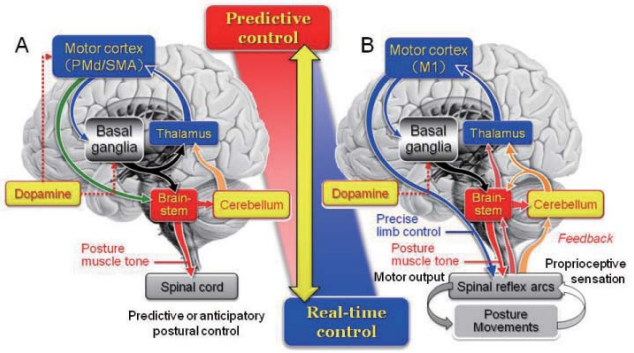


Fig. 1.　Neural mechanisms of predictive and real-time motor control

- B01-16 大脳基底核による最適運動制御 (南部篤 生理学研究所統合生理研究系)
- B01-17 小脳および基底核疾患における適応・制御異常の筋空間での定量的評価 (覚慎治 財団法人東京都医学研究機構東京都神経科学総合研究所)
- B01-18 多角的計測に基づく歩行の環境適応メカニズムの計算論的理解 (花川隆 国立精神・神経センター神経研究所)

III. 研究成果

本研究グループにおいておこなわれた研究の概要を，計画班の研究を中心に簡単に紹介する．公募班を含む B 班全体の詳細な研究成果については各班の報告を参照されたい．

A. 大脳皮質運動領域と姿勢・歩行の協調 *(B01-01* 高草木薫 旭川医科大学*)*

脳神経生理学研究班 (B01 班) は，適応的な歩行行動の発動と選択に関不する神経機構の解析を試みてきた．動物を取り巻く環境は絶えず変化するため，運動に先行する姿勢制御は “予測的” である．また，適応的な運動の遂行には，感覚情報の変化に基づく “リアルタイムの姿勢制御” が要求される．従って，適応的な運動のメカニズムを理解するためには，1. 予測的な姿勢制御 (anticipatory or predictive postural control) と，2. リアルタイムの姿勢制御 (real-time postural control) の仕組みを解明する必要がある．B01 班では，サル，ネコ，ラットを実験動物として用い，電気生理学手法，神経薬理学的手法，分子遺伝学的手法を駆使した脳生理学研究を展開し，歩行と姿勢の統合的神経機構の解析を試みた．得られた研究成績は “大脳皮質-網様体脊髄路，ならびに大脳皮質-小脳間の神経回路が予測的姿勢制御” に，そして，“大脳-小脳-脊髄連関，ならびに，脊髄反射の利得調節に寄与する筋緊張制御系がリアルタイムの姿勢制御” に，各々，関与することを示唆する (図 1)．加えて，大脳基底核は，大脳皮質と脳幹に作用することにより，

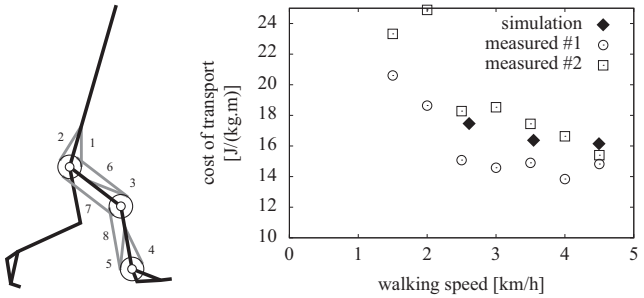


Fig. 2. 2D musculoskeletal model of the Japanese macaque and comparisons of simulated and experimentally obtained mass-specific cost of transport of bipedal walking in Japanese macaque

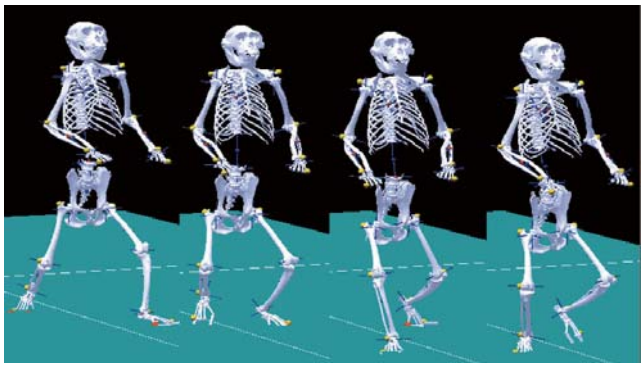


Fig. 3. 3D simulation of bipedal walking of the Japanese macaque

双方の姿勢制御プロセスに関与し，ドーパミン，オレキシンなどの神経修飾物質はこれらの神経機構の恒常的な興奮性維持に寄与する．

B. 筋骨格モデルを用いた歩行分析 *(B01-02* 荻原直道 慶応大学理工学部*)*

動物の適応的歩行生成原理の解明には，神経制御系単体の解析のみでは限界があり，その筋骨格構造や環境との動的相互作用の中で創発的に行われる情報処理のメカニズムを分析することが重要であると考えられる．B02 班では，ニホンザル (Macaca fuscata) の二足歩行を対象として，筋骨格構造の解剖学的数理モデルを構築し，動力学的シミュレーションを行い，歩行周期や歩行のキネマティクスの改変が歩行の移動効率に与える影響を評価した．その結果，ヒトの二足歩行では歩行速度と移動仕事率の関係はU字形になるが，ニホンザルの二足歩行では，歩行速度の上昇に伴い，移動仕事率 (単位質量・単位移動距離当たりの消費エネルギ) が減少することがわかった (図 2)．またニホンザルの二足歩行を仮想的にヒト的に変更すると，移動仕事率が低くなることが明らかとなった．これは，ヒトの歩行に見られる重心移動のパターンが歩行効率の向上に実際に寄与しているにもかかわらず，ニホンザルはこうした歩行を採用できていないことを示している．これは，筋や靱帯といった軟部組織による関節運動の構造的制約に起因していると考えられる．さらに，神経制御系の数理モデルを構築して筋骨格モデルに実装し，身体筋骨格系・神経系・環境系の適切な相互作用により発現する歩行運動を動力学的に再現することを通して，歩行の適応現象のメカニズムを構成論的に解明することを進めている (図 3).

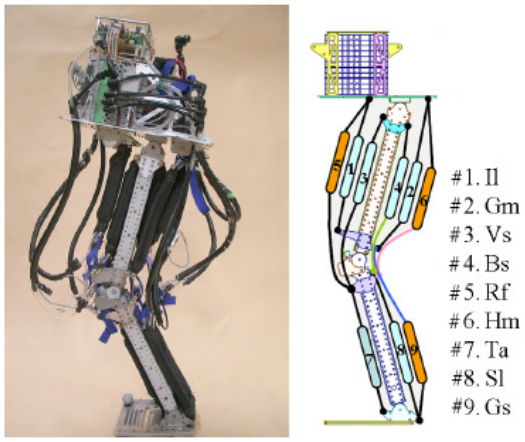


Fig. 4. A jumping robot with anthropomorphic muscular skeleton structure. Muscles #1 (iliacus) and #2 (gluteus maximus) are monoarticular muscles driving the hip joint. Muscles #3 (vastus lateralis) and #4 (popliteus) drive the knee and muscles #7 (tibialis anterior) and #8 (soleus) drive the ankle joint, respectively. Muscles #5 (rectus femoris), #6 (hamstring muscles) and #9 (gastrocnemius) are biarticular muscles that drive not only one but also two joints.

C. 適応的ロコモーション創発のための反射と志向性の相互作用設計 *(B01-03* 細田耕 大阪大学工学研究科*)*

動物の四肢の各関節にはいくつもの筋が付着し，それらは互いに共同筋，拮抗筋として働く．そして，これらの筋の冗長性が上位の制御系と下位の制御系の役割分担や協調に大きな影響を与えていると考えられている．B03 班では，空気圧人工筋駆動のロボットの開発を行い，関節の柔らかさが歩行運動に及ぼす効果を工学的に明らかにしてきた．(1) 二関節筋を持つ二次元跳躍ロボット二関節筋が動的なロコモーションにどのような影響を持つかを調べるため，跳躍ロボットを試作し (図 4)，静止状態から飛び上がる実験，空中から着地する実験，継続的に跳躍する実験など，跳躍に関する基礎的な実験を行い，二関節筋の役割を確かめた．(2) 四脚ロボットにおける胴体の可変剛性と歩行安定性に関する考察空気圧アクチュエータで駆動される四脚ロボットを試作した．空気圧を変化させることにより体幹の剛性を変化させ，ウォークとトロットにおける歩行の体幹の剛性の相違による安定性の相違を，数値シミュレーションおよびハードウエア実験を通して検証した．その結果，それぞれの歩容において，歩行運動が安定となる体幹の剛性が個別に存在することが明らかとなった．(3) ヘビの筋骨格系を模倣するヘビ型ロボットの構築と制御・生体ヘビの観察ヘビ型ロボットにおける適応運動を実現するために必要となるセンサの開発し，生物模倣型ヘビ型ロボットを開発した．開発したヘビ型ロボットを用いて，関節の柔軟性が持つ運動性能への影響の解析が行われた．その結果，単純な制御にも関わらず，ヘビの見せる 3 種類の運動 (蛇行運動・サイドワインディング運動・直線運動) がなめらかに実現可能であることが明らかとなった．

B01; 適応的移動行動の発動と選択に関与する神経機構
= 予測的な姿勢制御とリアルタイムの姿勢制御 =

高草木 薫，森 大志，中溝 克己，柳原 大，中里 三，吉見 健二，北澤 茂，稲瀬 正彦
松山 清治，小山 純正，奥村 利勝

要旨；姿勢制御は全ての運動に先行する．動物を取り巻く環境は絶えず変化するため．運動に先行する姿勢制御は“予測的”である．加えて，適応的な運動の遂行には，感覚情報の変化に基づく“リアルタイムの姿勢制御”が要求される．従って「適応的な運動のメカニズムを理解し，これを構築する」ためには，① 予測的な姿勢制御（anticipatory or predictive postural control）と，② リアルタイムの姿勢制御（real-time postural control）の仕組みを解明する必要がある．本研究では，サル，ネコ，ラットを実験動物として用い，電気生理学手法，神経薬理学的手法，分子遺伝学的手法を駆使した脳生理学研究を展開し，歩行と姿勢の統合的神経機構の解析を試みた．得られた研究成績は“大脳皮質-網様体脊髄路，ならびに大脳皮質-小脳間の神経回路が予測的姿勢制御”に，そして，“大脳-小脳-脊髄連関，ならびに，脊髄反射の利得調節に寄与する筋緊張制御系がリアルタイムの姿勢制御”に，各々，関与することを示唆する．大脳基底核は，大脳皮質と脳幹に作用することにより，双方の姿勢制御プロセスに関与すると考えられる．ドーパミンやオレキシンなどの神経修飾物質はこれらの神経機構の恒常的な興奮性維持に寄与する．

I. はじめに

現在の日本はこれまで経験をしたことの無い超高齢化社会を迎えた．高齢化による脳神経系や筋骨格系の機能低下に伴い，運動機能障害の有病率が増加している．運動機能障害を克服すること，即ち，適応的な運動機能を構築することは，移動知研究プロジェクトの目標の一つである．

脳神経生理学研究班（B01班）は，適応的な運動の代表として「歩行運動」を選び，“適応的な歩行行動の発動と選択に関与する神経機構”の解析を試みてきた．実験動物として，サル，ネコ，マウス，ラットを用い，電気生理学的手法や神経薬理学的手法，そして，分子遺伝学的手法を組み合わせることにより，歩行運動の制御に関わる神経機構の解明を試みてきた．

そこで，本（最終）年次報告では，B01班における，これまでの移動知研究５年間の成果を基に，適応的な歩行運動を支える“予測的姿勢制御”と“リアルタイムの姿勢制御”に関わる神経機構について考察する．

II. 歩行運動の枠組みと姿勢制御

我々の適応的な行動の発現には，環境と身体，そして，神経系の相互作用が必要である．そして，行動の表出様式は，内的環境（意志・情動・意識）や外界の環境に強く依存する．

高草木薫　旭川医科大学　医学部 生理学講座神経機能分野
森大志　山口大学 農学部 獣医生理学講座
中溝克己・稲瀬正彦 近畿大学 医学部 生理学第一講座
柳原大　東京大学大学院 総合文化研究科 生命環境科学系
中里泰三・吉見健二・北澤茂　順天堂大学 医学部 生理学第一講座
松山清治　札幌医科大学 保健医療学科
小山純正　福島大学 共生システム 理工学類
奥村利勝　旭川医科大学 医学部 総合診療部

図１は，運動制御に関わる中枢神経系における基本的な情報の流れを示したものである．歩行運動は大脳辺縁系（以下，辺縁系）や視床下部から脳幹への投射系により誘発される情動行動の一つと考えられていた [1]（図1B），しかし，障害物を避けるような動作はリーチングと同様に正確な制御を要する運動であり，大脳皮質，大脳基底核（以下，基底核），そして，小脳による随意的で認知的なプロセスで制御される [2, 3, 4]（図1A）．情動行動であれ随意的歩行であれ，歩行時の筋緊張レベルや姿勢反射，そしてリズミカルな手足の動作は自動的制御され，そのプロセスには脳幹-脊髄系が重要な役割を担う [5, 6]（図1C）．

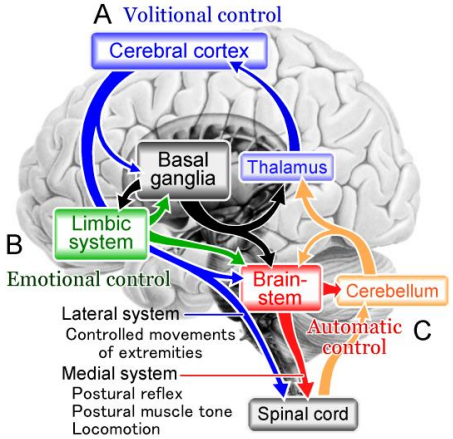
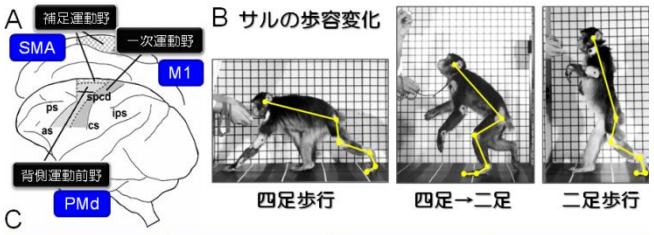


Figure 1 Neuronal pathway involved in volitional (A), emotional (B) and automatic (C) locomotor control

III. 研究成績

1．大脳皮質運動関連領域と歩行

大脳皮質には複数の運動関連領域が存在する（図 2A）．一次運動野（Primary motor cortex; M1），補足運動野（Supplementary



C

	一次運動野	補足運動野	背側運動前野
ムシモール注入による歩行運動の変化	対側下肢の運動麻痺	姿勢の動揺	感覚誘導性の歩行開始困難
神経細胞の発射活動	対側下肢の動きに対応するリズミカルな発射活動	①持続的な発射活動 ②対側下肢の運動に対応するリズミカルな発射活動	①持続的な発射活動 ②対側下肢の運動に対応するリズミカルな発射活動 ③歩行開始に先行する一過性発射
四足歩行⇒二足歩行	発射頻度の増加	発射頻度の増加	発射頻度の増加

Figure 2 Role of motor cortical areas for quadruped and biped locomotor behaviors

motor area; SMA），そして，運動前野（Premotor area; PM）である．では，各々の領域は，歩行の制御にどの様に関与するのだろうか？中溝・森・稲瀬は，二足歩行を学習したニホンザル（*m. fuscata*）を用いて，歩行における皮質運動関連領域の機能を解析した（図 2B）．まず，各領域に抑制性伝達物質であるGABA（γ-アミノ酪酸）のアゴニストであるムシモールを微量注入し，トレッドミル上での歩行を解析した（図 2C）．一次運動野の下肢領域にムシモールを注入すると反対側下肢の不全運動麻痺が誘発された．一方，両側の補足運動野へのムシモール注入では体幹は動揺し，二足歩行は不安定になった．運動前野背側部（PMd）へムシモールを注入した場合，自発的な歩行の開始は阻害されなかったが，視覚誘導性の歩行開始は困難になった（図 2C）．

次に，各領域のニューロン活動を記録し，四足及び二足歩行時における発射動態を解析した（図 2C）．一次運動野ニューロンの大多数は対側下肢の運動に対応するリズミカルな発射を示した．一方，補足運動野には歩行リズムに対応して発射するニューロンよりもむしろ，持続的に発射するニューロンが多く記録された．運動前野背側部では，これらの活動パターンに加えて，歩行の開始に先行して一過性に活動するニューロンも記録された．また，二足歩行では四足歩行よりも各々のニューロン活動の発射頻度は増加していた．

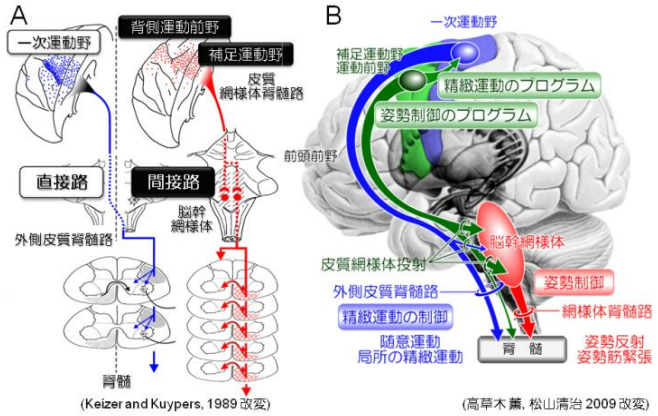


Figure 3 Role of corticospinal and cortico-reticulospinal systems on posture and locomotor control

解剖学的には [7]，一次運動野からの出力は皮質脊髄路を経由して反対側の脊髄へ投射し（直接路），運動前野や補足運動野の出力は主に脳幹網様体を介して脊髄に投射する（間接路）ことが分かっている（図 3A）．従って本研究の成績から次のような考察が可能になる．① 歩行運動において大脳皮質には機能局在が存在する；一次運動野は反対側下肢の運動に，補足運動野は姿勢制御に，そして，背側運動前野はこれらに加えて，歩行の開始に関与する．② 二足歩行は四足歩行よりも大脳皮質の関与が大きい．③ 補足運動野や運動前野では姿勢制御と精緻運動のプログラムが生成され，一次運動野に伝達される信号は皮質脊髄路を下行して歩行時における下肢の精緻運動の制御に，そして，脳幹に伝達される信号は網様体脊髄路を介して歩行時の姿勢制御に関与すると考えられる（図 3B）．従って，④ 大脳皮質で生成される運動指令のプログラムは“予測的な姿勢制御の情報”を持つと想定される．

2．小脳微小神経回路と歩行の制御

小脳は大脳皮質，脳幹，そして脊髄との神経回路（図4A）を用いて，運動制御のみならず運動の学習や記憶に関与する [8]．小脳には苔状線維と登上線維の二種類の入力系がある．双方の信号は小脳内の微小神経回路で処理され，プルキンエ細胞の出力が小脳核を介して大脳皮質と脳幹とに伝達される（図 4B）．苔状線維は大脳皮質や脳幹，脊髄など中枢神経系の広範な領域の信号を平行線維に伝達する．そして，多数の平行線維の活動によりプルキンエ細胞に単純スパイクが誘発される．一方，下オリーブ核に起始する登上線維は，強力な興奮性作用によりプルキンエ細胞に複雑スパイクを誘発させる．

これまでの知見によると，苔状線維は大脳皮質からの運動指令（efference copy）と運動感覚（feedback）を照合し，双方の誤差信号を補正することにより運動を調節すること，そして，登上線維は，新たな instruction が与えられた際の運動学習に，寄与することが明らかとなっている．では，小脳の微小神経回路は，どの様に歩行の制御に関与するのであろうか？

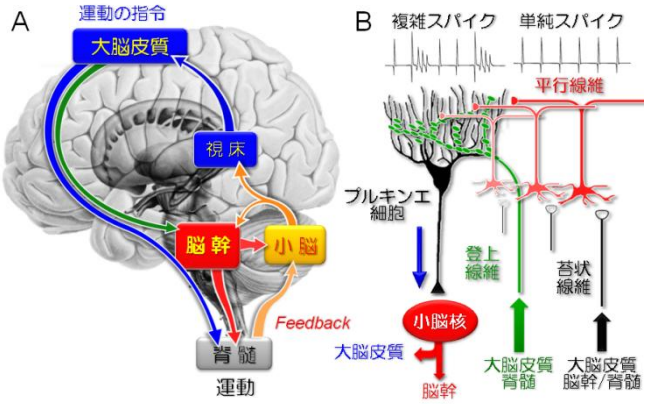


Figure 4 Input to and output from the cerebellum

柳原らは，遺伝子ノックアウトマウスや神経薬理学的手法を用いて，苔状線維系と登上線維系とが歩行にどの様な機能的役割を持つのかを解析した（表１）．① SCA-3 transgenic マウスはヒトの 3型脊髄小脳変性症のモデル動物で，小脳全体が強く萎縮している．② グルタミン酸δ2受容体遺伝子が変異された Ho15J mouseでは，平行線維-プルキンエ細胞間シナプスの発達異常により長期抑制作用が欠如する．③ Cerebellin1 knockout マウスでは Ho15J mouse よりもさらに重篤な平行線維-プルキエンエ細胞間シナプスの形成不全が観察される．④ 薬理学的に下オリーブ核を選択的に破壊したマウスでは，主として登上線維の機能が障害される．

SCA- 3 transgenicマウスは，歩行時の体幹位置が低く，着地相において膝関節は過屈曲し，踵関節は床に接している．これは体重を支持するだけの筋緊張が不足している（姿勢筋緊張低下）ことを示している．また遊脚相においても，関節は過屈曲しており，肢を必要以上に高く挙上させる傾向が認められた．

		SCA-3 遺伝子改変マウス	Ho 1 5J mouse	オリーブ核破壊マウス	Cerebellin1 knockout マウス
		小脳全体の機能低下	平行線維-プルキンエ細胞間のシナプス機能低下	登上線維系の機能低下	平行線維系の機能低下
機能障害	プルキンエ細胞	+++	++		
	登上線維系	++		+++	
	苔状線維-平行線維系	++	++		+++
運動障害	姿勢筋緊張低下	+++	++		++
	肢関節屈曲	++	+++	+（遊脚相）	+++
	遊脚相の肢挙上	++	++	+++	++
	歩幅の減少	+	+	+++	+

Table 1 Cerebellar deficiency mouse model and locomotion

Ho15J mouse と Cerbellin1 knockoutマウス においては，より強い後肢関節の屈曲位と姿勢筋緊張の低下が認められた．しかし，前・後肢の挙上も顕著に認められた．反対に，下オリーブ核を薬理学的に破壊した場合，筋緊張の低下は顕著では無かっ

たものの，遊脚相における肢の挙上は顕著であり，特に障害物を跨ぐ際には必要以上に肢を挙上させる尺側過大（hypermetria）が認められた．

これらの成績は，① 苔状線維の信号は姿勢筋緊張の維持に重要である．② 苔状線維と登上線維の何れの機能低下によっても肢の屈曲位が誘発される．③ 筋緊張レベルが運動感覚の feedback gain に多大な影響を齎すことを考慮すると，苔状線維は feedback による運動制御に重要な役割を，そして，登上線維は，対象物の scaling に必要な feed-forward 制御（あるいは，予測的な運動制御）に関与すること，などを示唆する．

3．基底核による運動と姿勢の制御

基底核の出力は大脳皮質に作用して，随意運動の発動や認知機能に，脳幹に作用して歩行や姿勢制御に，そして，辺縁系に作用して情動の表出などに関与する [9]．歩行や姿勢の制御に関与する基本的な神経機構は脳幹と脊髄に存在するので，高草木らは除脳ネコ標本を用いて，基底核から脳幹への投射系が

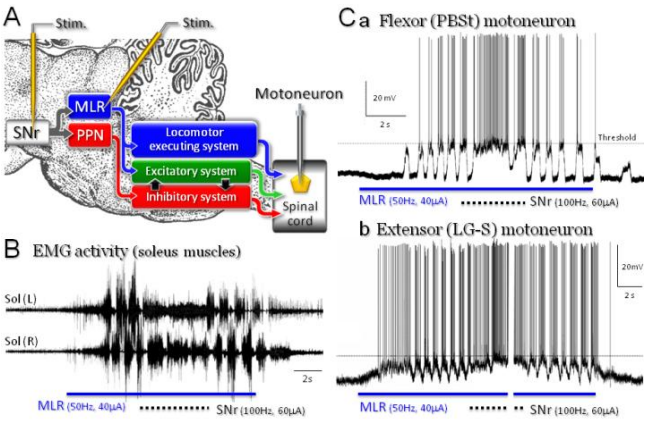


Figure 5 Basal ganglia - brainstem system and locomotion

どの様に歩行と姿勢の制御に関与するのかを解析した [4, 10]．

図 5A は実験の模式図である．ネコの中脳を外科的に離断すると，除脳固縮により，ネコは反射直立姿勢を維持する．脳幹には，脳歩行誘発野（Midbrain locomotor region; MLR）と脚橋被蓋核（PPN; Pedunculopontine tegmental nucleus）の筋緊張抑制野が存在する．また，双方の領域には，基底核の出力核の一つである黒質網様部（Substantia nigra pars reticulata; SNr）からの GABA 作動性投射がある．図 5B において，MLR に 50 Hz の連続電気刺激を加えると，後肢ヒラメ筋（Soleus; Sol）の活動が増加し，足踏み（歩行）運動が誘発された．次に SNr に 100 Hz の連続電気刺激を加えると，歩行リズムが消失し，筋緊張は高いレベルで維持された．SNr 刺激を停止すると歩行リズムが再開した．では，骨格筋を支配する脊髄のα運動細胞にはどの様な活動が誘発されるだろうか？図 6C は下肢屈筋の後大腿二頭筋（図 5Ca）と伸筋の外側腓腹ヒラメ筋（図 5Cb）を支配するα運動細胞の細胞内記録である．MLRへの刺激は双方の運動細胞にリズミカルな膜電位のオシレーション（歩行リズム）を誘発した．ついで SNr に刺激を加えると膜電位は脱分極したままオシレーションが停止した．これは，基底核の出力が増加すると，歩行運動が抑制され，筋緊張が増加することを示している．

次に，基底核がどの様に筋緊張を調節するのかを解析した．青斑核脊髄路は筋緊張促通系（excitatory system）の一つである．起始核である青斑核（Locus coeruleus; LC）に短いパルス刺激を加えると運動細胞に興奮性シナプス電位が，そして，また抑制系（inhibitory system）の起始核である PPN に刺激を加えると抑制性シナプス電位がそれぞれ誘発される．そこで，SNr に 100 Hz の条件刺激を加えると，青斑核からの興奮性電位は増強され，PPNからの抑制電位は減弱した．この成績は，基底核出力の増加により，筋緊張抑制系の活動は低下して，促通系の活動が亢進する結果，筋緊張が亢進することを示唆する．

従って，基底核から脳幹への抑制出力が増加すると，伸筋と屈筋の共収縮が誘発されて肢関節の stiffness が増加する．基底核の出力増加により，肢関節が固定され，これが歩行停止の際の姿勢安定化に繋がると考えられる．

基底核の出力は，① 皮質運動関連領域に作用して運動プログラムの生成や随意運動の発現に（運動ループ），前頭前野に作用して意志の発動や行動計画（認知ループ）に，そして，③ 辺縁皮質に作用して情動表出（辺縁系ループ）に，関与する．基底核からの抑制出力が増加すると，これらの機能が低下するため，運動の減少，思考停滞，情動表出の減少などが誘発される．また，基底核から脳幹への出力が増加すると歩行は抑制されて筋緊張が増加する．パーキンソン病では，基底核からの抑制出力が亢進すると考えられており，上記の考察はこの疾患の臨床症状を極めて良く説明することができる．

4．脳幹-脊髄の筋緊張制御系による歩行の制御

脊髄反射に関与する神経細胞群が脊髄の歩行神経機構を構成する．概略を図7にまとめた．Central pattern generator (CPG) は屈曲反射を媒介する介在細胞群の神経回路網で構成される．CPG で生成された歩行リズムの信号は歩行パターンを生成する介在細胞群に伝達される．それらは，運動細胞に直接作用する介在細胞であり，Ia 介在細胞（相反抑制に関与），Ib 介在細胞（自原抑制に関与），そして，レンショウ細胞（反回抑制に関与）などである．歩行パターンは，各々の介在細胞が標的とする運動細胞群に伝達され，運動細胞の出力が骨格筋を収縮させる．この様な仕組みが，上下肢（前後肢）の運動に寄与す

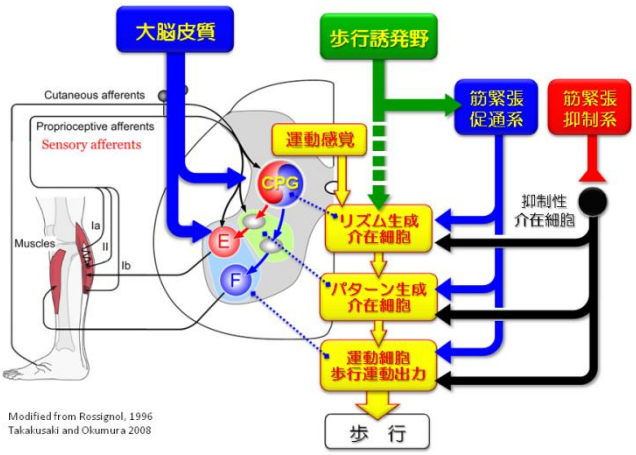


Figure 6 Spinal locomotor network and supraspinal control

る頚髄・腰髄・仙髄に広く分布している．

高草木と松山は，脳幹-脊髄における歩行制御の仕組みを解析した．歩行誘発野からの出力は網様体脊髄路（歩行実行系）を介して，頚髄から腰髄・仙髄までの広範囲に作用することにより，各々の髄節に存在する脊髄歩行神経機構に作用することにより，リズミカルな定常的な歩行動作を発現させる．骨格筋や皮膚・関節からの運動感覚は，リズムやパターンを生成する介在細胞，そして，運動細胞にも作用する．即ち，運動感覚情報は脊髄反射を介してリアルタイムに歩行を調節する．大脳皮質からの運動指令は外側皮質脊髄路を下行して，脊髄の歩行運動機構に作用して，歩行時における個々の骨格筋の運動をアシストする．障害物の回避など正確な制御が必要な時は大脳皮質からの信号が標的とする骨格筋の活動を直接制御することにより，インテンショナルな歩行動作を実現する．

筋緊張抑制系（PPN から始まる橋・網様体脊髄路）は，脊髄の抑制性介在細胞を介して，歩行神経機構の各エレメントである感覚線維，介在細胞群，そして，α-，γ-運動細胞に抑制作用を誘発する．そして，筋緊張促通系（モノアミン作動性下行路や促通性網様体脊髄路，前庭脊髄路）も，介在細胞や運動細胞に作用して歩行を制御する（図 6）．

従って，1）大脳皮質，歩行誘発野，そして，筋緊張制御系からの下行性信号と末梢からの運動感覚情報が脊髄の歩行神経機構において統合されることによりリアルタイムな歩行の調節が可能になる．2）特に，① 大脳皮質からの信号は局所的な骨格筋の随意的制御に，② 歩行誘発野からの信号は自動的な歩行リズムと歩行パターンの生成に，そして，③ 筋緊張抑制系からの信号は，脊髄反射弓を校正する感覚線維，介在細胞，運動細胞の興奮性を同時に調節することにより，筋緊張レベルに見合った歩行運動を実現させる．

5．情動行動と歩行・筋緊張

辺縁系は“闘争か？逃走か？”で例えられる情動行動の発現させる．歩行も情動行動の一つである．通常，驚きや恐怖などの情動刺激は辺縁系や視床下部を介して脳幹に作用して筋緊張の亢進や歩行運動（逃避）を誘発すると考えられている．しかし，ナルコレプシー（Narcolepsy）と呼ばれる疾患では，情動刺激により突如筋緊張が消失する（情動性脱力発作）．レム睡眠時には辺縁系や基底核などの皮質下構造の活動が高く，筋緊張が消失する．ナルコレプシーの脱力発作はレム睡眠と同様の状態が覚醒時においても誘発されることを示している．従って，辺縁系 - 脳幹投射系は，歩行と筋緊張消失の何れかを誘発する仕組みを持っていると考えられる．

ナルコレプシーでは，視床下部外側部のオレキシン作動系ニューロンが変性消失している．高草木，小山，奥村は，オレキシン作動系による歩行と筋張の制御メカニズムを解析した [11]．視床下部に起始するオレキシンニューロンは，大脳半球，小脳，脳幹，脊髄など隈なく中枢神経系に隈なく神経線維を投射していた．特に黒質（SN），歩行誘発野（MLR），脚橋被蓋核（PPN）そして，青斑核（LC）など，歩行と筋緊張の制御に関与する領域に豊富な線維投射を有していた．除脳ネコを用いた研究の結果，オレキシン作動性投射は，① MLR や LC に作用して，それぞれ，歩行運動と筋緊張の亢進を誘発させること，② PPN や SNr に作用して，筋緊張抑制系の活動をブロックすること，などが明らかとなった [11]．

図7 はオレキシン作動系の作用をまとめたのである．オレキシン存在下（正常・覚醒時 A）では，脳幹から脊髄に下行する歩行運動系や筋緊張促通系の興奮性が高く維持され，筋緊張抑制系と急速眼球運動誘発系（REM 発生器）は抑制されている．情動刺激の信号は，辺縁系と視床下部を経由して，

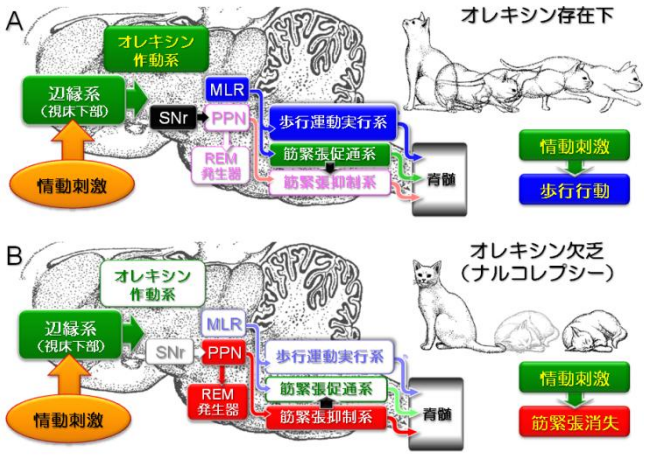


Figure 7 Orexinergic modulation muscle tone and locomotion

脳幹の筋緊張促通系と歩行運動系を駆動するので歩行行動が誘発される．一方，ナルコレプシーではオレキシンが減少する（図 7B）ので，歩行運動系や筋緊張促通系の興奮性は低下し，筋緊張抑制系の興奮性が上昇する．従って，情動刺激は，興奮性が高く維持されている筋緊張抑制系を駆動する．その結果，レム睡眠と同様の筋緊張の消失（情動性脱力発作）が誘発される．即ち，情動行動の発現は“歩行運動系—筋緊張促通系”そして“筋緊張抑制系”の何れの興奮性が優位であるか（Excitability preference）に依存すると考えられる．オレキシン作動系は，セロトニンやノルアドレナリンなどのモノアミン作動系（筋緊張促通系）を興奮させて，覚醒時の筋緊張維持に関与する．従って，オレキシンやモノアミンなど，広汎性投射系は，state-modulator として，中枢神経系のシステムの興奮性の調節に関与している [10]．

6．報酬とドーパミン作動系

ドーパミン作動系は，ノルアドレナリン作動系やセロトニン作動系とは異なり，投射領域が大脳皮質前頭連合野（計画性），辺縁系（情動・評価・記憶），線条体（運動・認知）の３領域に限られる．ドーパミン作動系は報酬と密接に関連しており，適応的な行動の発現や制御に重要な役割を担う・吉見，中里，北澤らは，*In vivo* voltammetry 法を用いて，行動と報酬，そし

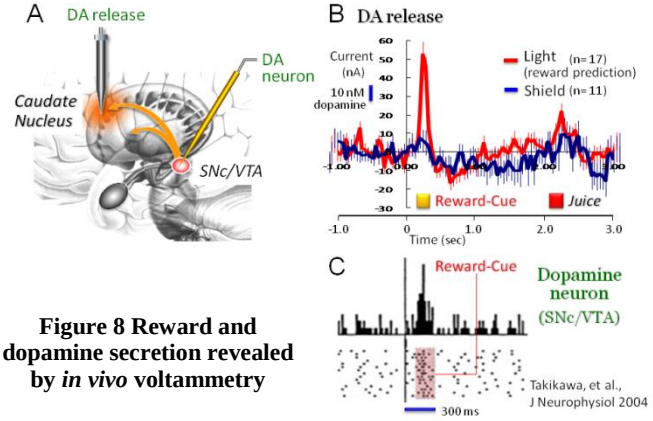


Figure 8 Reward and dopamine secretion revealed by *in vivo* voltammetry

て，運動機能の発現をドーパミン放出との関連において解析する試みを開始した．

図 8Cに示すように，報酬が期待できるタスクの際，サルの中脳ドーパミンニューロンは Cue の提示から約300ms以内に発射する [9]．ドーパミンニューロンは尾状核（基底核）に投射するので，ダイヤモンド電極を線条体に刺入してドーパミン電流が検出できるか否かを検討した．図 8B に示すように，報酬の Cue が提示されると，尾状核においてドーパミン電流が検出され，その時間経過はドーパミンニューロンの活動を反映することが分かった．サルの視覚を遮断してサルが報酬 Cue を見ることが出来ない場合，報酬予測を反映するドーパミン電流は検出できなかった．

ドーパミン電流検出の時間解像度は，神経細胞の発射活動と非常に良く合致出来る程度にまで，実験の精度を上げることに成功したことは，この研究手法が今後，適応的な行動発現における報酬予測と大脳皮質・基底核，そして辺縁系の機能的役割の解明に多大な貢献をもたらすと期待できる．

Ⅳ．考察

姿勢制御は全ての運動に先行する．環境は絶えず変化しているので，目的とする運動（Goal-directed movements）を実現させるための姿勢制御は常に“予測的”である．一方，運動遂

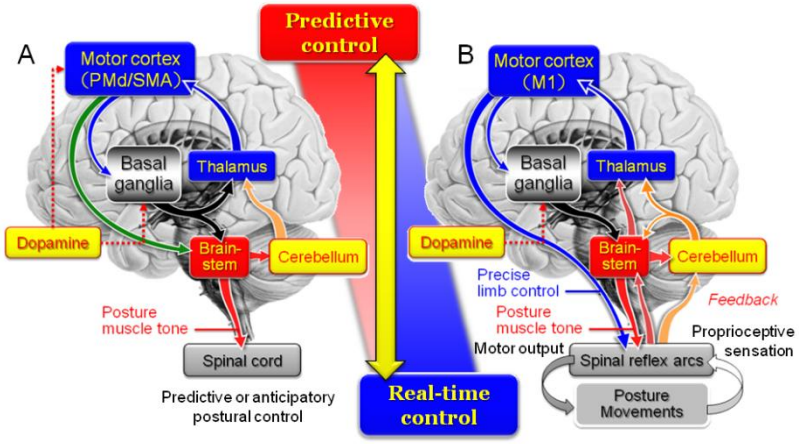


Figure 9 Neural mechanisms of Predictive and Real-time motor control

行中における適応的な動作には，感覚情報の変化に基づくリアルタイムの姿勢制御が要求される．従って「適応的な歩行運動」には，予測的な姿勢制御と，リアルタイムの姿勢制御（real-time postural control）の仕組みがある．歩行と姿勢制御の神経機構を図 9 にまとめた．

1．“予測的な運動制御のプログラム”は，大脳皮質・基底核・小脳ループで生成される

補足運動野（SMA）や背側運動前野（PMd）には，前頭前野や頭頂葉から豊富な線維投射がある．前者は行動計画の情報を，後者は体性感覚情報や空間的認知情報を有している．従って，SMA や PMd はこれらの情報を基に運動のプログラムを生成する．このプロセスには，基底核や小脳との神経回路網の活動が必要である．本研究の成績は，ドーパミン作動系による基底核出力の修飾と，小脳への登上線維系の働きが運動プログラムの生成に重要であることを示唆する．

運動プログラムには，姿勢制御のプログラムと精緻運動のプログラムが含まれる．SMA や PMd からの皮質網様体投射は，目的とする運動を実現する上で必要な“予測的姿勢制御のプログラム”を脳幹網様体に伝達する．そして，網様体脊髄路を中心とする脳幹-脊髄投射系が姿勢反射や姿勢筋緊張を調節する．即ち，大脳皮質-網様体脊髄路系の働きにより予測的な姿勢制御が実現される（図 9A ）．

パーキンソン病や前頭葉の障害によって「すくみ」の出現することは，SMA や PMd，ならびに，これらの皮質領域とループ構造を持つ基底核の機能が予測的姿勢制御に関与することを推定させる．加えて，基底核からの抑制出力が低下するハンチントン舞踏病では，異常な姿勢や手足の不随意運動が出現する．これは，大脳皮質で生成される不要な運動プログラムを基底核が抑制できないために誘発されると考えられる．

2．脊髄・脳幹・小脳によるリアルタイムの運動制御

中枢神経系のほぼ全ての領域がリアルタイムの運動（姿勢）制御に関与する．ただし，ここで考察するリアルタイムの制御は“運動器や皮膚からの運動感覚情報フィードバックに依存する制御”と定義する．この意味において“脊髄反射”は最もシンプルなリアルタイムの運動制御機構である．歩行のリズムやパターンも脊髄反射に関与する介在細胞群で生成されるため，歩行リズムやパターンは，末梢からの運動感覚情報により修飾される．

筋緊張制御系は脊髄の介在細胞群や運動細胞に作用することにより，姿勢筋緊張のみならず，歩行のリズムやパターンを修飾する作用を持つ（図 6）．さらに，脊髄反射経路への作用により，上位運動中枢（大脳皮質・脳幹・小脳）に伝達される運動感覚フィードバック信号の利得調節にも関与する．従って“脊髄反射経路，並びに，筋緊張制御系はリアルタイムの運動調節の仕組みの基本である”と考えられる．

しかし，脊髄反射経路による運動調節のみでは“運動の補正や修正”には限界がある．運動の補正には“運動の指令”と“運動の結果”の双方を比較するメカニズムが必要であり，小脳がこれを担当する．

小脳の運動制御の特徴は，皮質運動野からの運動指令（遠心性コピー；efference copy）と運動感覚フィードバックの比較と補正である．柳原らの研究成果では，苔状線維の障害や苔状線維ープルキエンエ細胞のシナプス伝達の異常により，筋緊張低下や接地相および遊脚相における過度の肢関節の屈曲が観察された．これらの成績は苔状線維が運動指令と運動感覚のフィードバック信号を用いて適切な運動を生成するために重要な役割を持つ”ことを示している．即ち，大脳，小脳，そして，脊髄を結ぶ長ループ回路（大脳ー小脳ー脊髄連関運）がこのプロセスに関与する．一方，登上線維の障害では，障害物回避の際に必要以上の肢挙上が出現した．これは，大脳皮質で取得した視覚認知情報から，次の運動を遂行するための予測的な運動プログラムを生成する際に登上線維の機能が重要な役割を担うことを示している．即ち，登上線維の障害により運動プログラムの生成に失敗した結果，不適切な軌道の肢運動が誘発された可能性がある．従って，大脳皮質-小脳間の神経回路は予測的な姿勢制御にも関与すると考えられる．

3．基底核による運動と姿勢の制御

基底核は，運動感覚のフィードバック情報を受容しない．基底核は大脳皮質運動関連領域の神経回路（大脳皮質-基底核ループ）を用いて行動の計画や運動プログラムの生成に関与する．中陶，森，稲瀬らの研究成績は，SMAやPMd では姿勢制御のプログラムと手足の運動プログラムの双方が生成されることを示しており，この運動皮質領域と神経回路を構成する大脳皮質-基底核ループは予測的な運動（姿勢）の制御に関与すると考えられる．基底核の興奮性はドーパミン作動系により強く修飾される．ドーパミン作動系の作用による報酬予測や強化学習の獲得 [9] には，大脳皮質-基底核ループによる予測的な運動制御のプロセスが強く関連する（図9A）．

高草木は，基底核の出力は脳幹に働くことにより歩行と筋緊張を調節することを明らかにした．基底核-脳幹投射系は筋緊張レベルを制御して，運動により生じる感覚信号の利得を調節するので，結果として，基底核-脳幹系はフィードバックによる運動制御にも間接的に関与すると考えられる(図9B)．

4．神経修飾物質と中枢神経系の興奮性

オレキシンやモノアミン（ノルアドレナリン・セロトニンなど）の神経修飾物質は広汎性投射系を構成し，中枢神経系全体の興奮性を変化させる．例えば，モノアミン系が亢進すると筋緊張は増加し，運動機能や認知機能も亢進する．その結果，異常姿勢や異常運動を誘発することもある．即ち，これらの神経修飾物質は，中枢神経系の恒常的な状態を調節し

ている．覚醒時や睡眠時における運動制御には，これら神経修飾物質による状態依存的（State-dependent）なメカニズムが関与する．ナルコレプシーは，オレキシン作動系という神経修飾物質の機能障害に基づく適応的な情動行動発現機構の異常と解釈することができる．

REFERENCES

[1] S. Grillner, A.P. Georgopoulos, L.M. Jordan, ”Selection and initiation of motor behavior”. In: Stein, P.S.G., Grillner, S., Selverson, A.I., Stuart, D.G. (Eds.), Neurons, Networks, and Motor Behavior, MIT Press, Boston, pp. 3-19, 1997.

[2] A.P. Georgopoulos, S. Grillner, “Visuomotor coordination in reaching and locomotion”, Science, vol. 245, pp. 1209-1210, 1989.

[3] F.A. Middleton, P.L. Strick, “Basal ganglia and cerebellar loops: motor and cognitive circuits”, Brain Res. Rev., vol. 31, pp. 236–250, 2000.

[4] K. Takakusaki, “Forebrain control of locomotor behaviors”, Brain Res. Rev., vol. 57, pp. 192-198, 2008.

[5] S. Grillner. The motor infrastructure: from ion channels to neuronal networks. Nat. Rev. Neurosci., 4, 573-586, 2003

[6] K. Takakusaki, T. Okumura. “Neurobiological Basis of Controlling Posture and Locomotion” Adv. Robot. 22; 1629-1663, 2008.

[7] K. Keizer, H.J.G.M. Kuypers, “Distribution of corticospinal neurons with collaterals to the lower brain stem reticular formation in monkey (Macaca fascicularis)”, Exp. Brain Res., vol. 74, 311-318, 1989.

[8] S. M. Morton, A. J. Bastian, “Mechanisms of cerebellar gait ataxia”, Cerebellum, vol. 6, pp. 79-86, 2007.

[9] O. Hikosaka, Y. Takikawa, R. Kawgoe, ”Role of the basal ganglia in the control of purposive saccadic eye movements”, Physiol. Rev. vol. 80, pp. 954–978, 2000.

[10] K. Takakusaki, K. Saitoh, S. Nonaka, T. Okumura, N. Miyokawa, Y. Koyama, 2006. “Neurobiological basis of state-dependent control of motor behavior”, Sleep Biol. Rhyth., vol. 4, pp. 87-104. 2006

[11] K. Takakusaki K, K. Takahashi K, K. Saitoh, et al. Orexinergic projections to the midbrain mediate alternation of behavioral states from locomotion to cataplexy. J Physiol. 568: 1003–1020, 2005.

[12] S. Rossignol, R. Dubuc, J-P. Gossard, “Dynamic sensorimotor interactions in locomotion”, Physiol. Rev., vol. 86, pp. 89-154, 2006.

[13] D.A. McCrea, I.A. Rybak, “Organization of mammalian locomotor rhythm and pattern generation”, Brain Res. Rev. 57, 134-146, 2006.

ニホンザル歩行運動のシステムバイオメカニクス
－神経筋骨格モデルによる歩行知能の探求－

荻原直道[1]，青井伸也[2]，杉本靖博[3]，中務真人[4]，土屋和雄[5]

[1]慶應義塾大学 理工学部 機械工学科
[2]京都大学 大学院工学研究科 航空宇宙工学専攻
[3]神戸大学 大学院工学研究科 機械工学専攻
[4]京都大学 大学院理学研究科 動物学教室 自然人類学研究室
[4]同志社大学 理工学部 エネルギ機械工学科

1. はじめに

動物は，冗長で複雑な筋骨格構造を巧みに協調させ，多様な環境に適応的な歩行運動を生成することができる．こうした動物の優れた歩行生成知能は，従来，生体神経回路網の精巧な制御機構に帰着されてきた．しかし動物は，身体筋骨格構造に生得的に内在する自然な運動特性を合目的的に利用することによって，環境との適切な相互作用を可能とし，適応的かつ効率的な歩行運動を実現していることも明らかとなっている．すなわち，動物の適応的歩行生成原理の解明には，神経制御系単体の解析のみでは限界があり，その筋骨格構造や環境との動的相互作用の中で創発的に行われる情報処理のメカニズムを分析することが重要であると考えられる．

このため我々のグループでは，ニホンザル(*Macaca fuscata*)の二足歩行を対象として，筋骨格構造の解剖学的数理モデルを構築し，実歩行中に見られる適応現象の生体力学的分析を進めている．さらに，神経制御系の数理モデルを構築して筋骨格モデルに実装し，身体筋骨格系・神経系・環境系の適切な相互作用により発現する歩行運動を動力学的に再現することを通して，歩行の適応現象のメカニズムを構成論的に解明することを目指している．これは，(1)ニホンザルが歩行神経生理学の実験動物として用いられているため，生理学的実験とシミュレーション実験の対比が可能となること，(2)ニホンザルの四足歩行から二足歩行への遷移が，二足歩行の起源を探る上で人類学的に興味深い研究対象となっていること[1-5]，による．本稿では，こうしたニホンザル二足歩行運動のシステムバイオメカニクス研究について，過去 4 年半の研究成果を報告する．

2. ニホンザル精密筋骨格モデルの構築

ニホンザルの筋骨格系の形態や構造が規定する運動学的・生体力学的拘束を再現する，解剖学的に精密な筋骨格モデルを構築した[6]．まず，ニホンザル新鮮屍体を X 線 CT を用いてスキャンし，ニホンザルの全身 3 次元体表面形状と骨形状を抽出した．取得した各骨の形態情報から主軸を計算し，部材座標系（骨座標系）を定義した．そして，各関節面形状を二次曲面で近似し，骨座標系に対する二次曲面の向きから関節面座標系を，この座標軸から関節の回転軸を，二次曲面頂点の曲率から回転中心を決定した．こうして求めた関節面の形状情報に基づき，隣接する骨を関節させることによって，関節運動の幾何学的拘束を表現した．

図 1 に構築した全身骨格モデルを示す．本研究では，ニホンザルの全身骨格を，体幹部 4 節（頭部，胸郭，腰部，骨盤），前肢左右各 5 節（肩甲骨，上腕骨，尺骨，橈骨，手部），後肢左右各 3 節（大腿骨，脛骨，足部）の計 20 節から成る直鎖リンク系として表現した．体幹の関節は，それぞれ 3 軸の関節としてモデル化した．肩甲骨の運動は，胸郭面に沿って並進し，その面に垂直な軸まわりに回転する肩甲骨の自由度を 3 軸の回転関節でモデル化した．前肢の肩甲上腕関節は 3 軸，肘関節と橈尺連結は 1 軸，手首（橈骨手根関節）は 2 軸の関節で表現した．後肢の股関節，膝関節，足首（距腿関節）は，それぞれ 3，1，2 軸の関節でモデル化した．したがってモデルの自由度は計 47 となる．骨格系の構造制約をその形状情報に基づいて正確に記述した結果，関節の回転軸が部材座標系の軸と必ずしも一致しない．

各節の剛体特性は，体表面データを各関節の回転中心で分割して算出した．筋系のパラメータは，ニホンザル新鮮屍体（オトナメス）の解剖を行い，その観察・計測結果基づいてモデル化した．筋走行は，起始点から停止点までを，必要に応じて経由点を介して結ぶ線分として定義した．これより筋力の作用方向を定義することができる．各筋が発揮しうる最大筋力は，その生理学的断面積に比例するものとした．筋骨格系の形態情報と，その動きを支配する物理学的法則を解剖学的に詳細に記述した本モデルは，ニホンザルの二足歩行運動中の力学現象と情報処理のメカニズムを明らかにする上で重要なツールとなる．

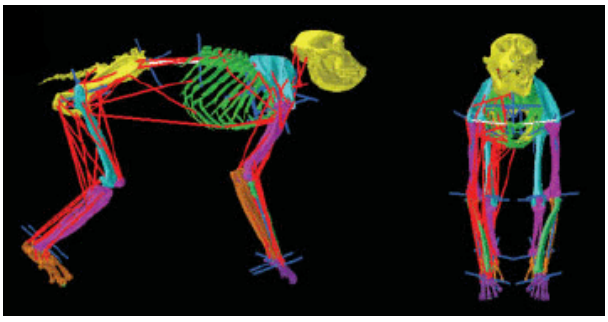


Fig. 1 Whole-body musculoskeletal model of the Japanese macaque.

3. 二足歩行運動のキネマティクス

時速 3, 4, 5 km/h に設定したトレッドミル上を二足歩行するニホンザル 2 個体の全身運動を，4 台のハイスピードカメラ（ナックイメージテクノロジー・HotShot1280）を用いて同期撮影し，その歩行運動を運動学的に分析した[7]．撮影周波数は 125 frame/sec，シャッター速度は 1/250 sec とした．得られた 4 方向の動画像フレーム毎に，片側 8 個の標識点（第五中足骨頭，腓骨外顆，大腿骨外顆，大転子，肩峰，上腕骨外顆，尺骨茎状突起，第五中手骨頭）の位置をデジタイズし，その 3 次元位置の時系列データを算出した（図 2）．

二足歩行時の標点の 3 次元運動データに，構築した解剖学的に精密なニホンザルの 3 次元全身筋骨格モデルをマッチングしてやれば，筋骨格系各要素の歩行中 3 次元動態を推定することが可能となる．具体的には，計測した標点位置とモデル上の標点位置の誤差，および各関節の可動域中心からの偏差を最小化するモデルの姿勢（関節角度）を計算した．標点の位置情報は，モデルの自由度を規定するには不十分であるが，筋骨格系に内在する運動学的な拘束を利用することにより，解剖学的に無理のない自然な運動を推定することが可能となった．この推定結果から，歩行中の身体重心位置 COM の時間変化，位置エネルギ，運動エネルギを算出した．

求めた後肢各関節の 3 次元角度変化を分析した結果（図 3），猿まわしサルの二足歩行では，体幹や股関節でヒトと比較して相対的に大きな回旋運動が起こり，その歩行運動は本質的には 3 次元運動であることが明らかとなった．また歩行速度が大きくなるにつれて股関節が離地時により大きく伸展する一方，膝関節は立脚期中により大きく屈曲するなど，歩行速度の増大とともに適応的に歩容を変化させている，ことがわかった．さらに，ニホンザルの二足歩行では倒立振子メカニズムと呼ばれる位置エネルギと運動エネルギの相互変換による移動の効率化が図られているものの，その効果は歩行速度が比較的遅いときに限られ，接地率が 0.5 以上であっても弾性を利用して移動効率の向上を図る走行へ遷移している可能性が示唆された．

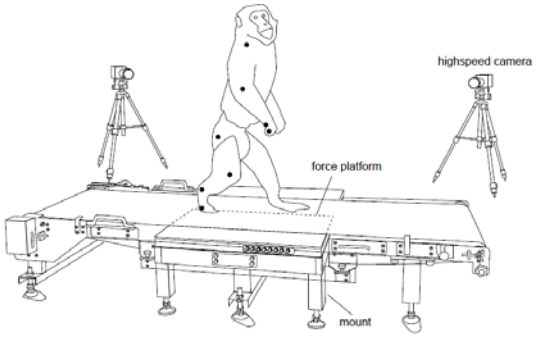


Fig. 2 Kinematic analysis of bipedal walking. A Japanese macaque walking on a treadmill was filmed using 4 highspeed cameras.

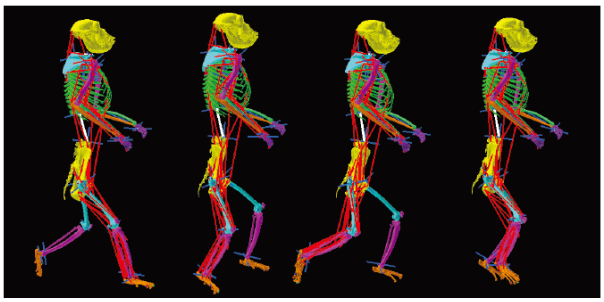


Fig. 3 Reconstructed whole-body musculoskeletal kinematics of bipedal walking using a model-matching method.

4. 二足歩行運動の床反力

歩行とは，床面から足裏に作用する反力によって身体を移動させる運動である．したがって歩行運動の力学的特徴は，端的に床反力パターンに表れる．一般にヒト以外の霊長類を二足歩行させたときの垂直床反力のパターンは一峰性を示すが，ヒトの垂直床反力の波形は特徴的な二峰性パターンを示す．このヒトに特異的な反力パターンによって，ヒトの二足歩行時の体重心の上下振動と歩行速度の変動（位置エネルギと運動エネルギ）は逆相となり，エネルギ効率の良い歩行を達成していることが明らかとなっている． では高度な二足歩行訓練を受けた猿まわしサルの床反力波形は，ヒトと同じような二峰性を示すのであろうか．

猿まわしサルの二足歩行中の床反力を計測した結果（図 4），その床反力波形はピークが立脚期前半にみられる一峰性で，二峰性を示さないことが明らかとなった[8]．しかし，普通のニホンザルの床反力波形ではそのピークが立脚期中期であるのに対して，猿まわしサルのそれは立脚期前期にシフトしていることが明らかとなった．床反力波形から積分処理により重心の運動を計算した結果，重心の上下動振幅は普通のサルと比較して大きいが，運動エネルギの変動と完全な逆相にならない，すなわちヒトにみられる倒立振子メカニズムによるエネルギ節約効果は，猿まわしサルの二足歩行においては限定的であることが示唆された．二足歩行中，腸腰筋や大腿筋膜張筋などの股関節伸展筋は，特に立脚期後期で股関節が伸展するときに大きく引き延ばされ，その可動域を制限する．こうした筋骨格系の構造的制約がニホンザルの二足歩行において効果的な蹴り出しを妨げている．ヒト的な二足歩行の進化には，股関節，特に屈筋群の構造的改変が重要であると示唆された．

5. 二足歩行シミュレーション

ニホンザルの二足歩行を計算機内で動力学的に再現し，その移動効率が筋骨格系の構造的・形態的制約や歩容の改変の影響をどのように受けているのかを仮想実験を通して構成論的に分析することができれば，直立二足歩行の起源と進化を理解する上で重要な示唆を提供するものとなる．このため PD フィードバック制御則に基づくニホンザルの二足歩行運動の動力学的シミュレーションを行い，歩容の仮想的改変が移動効率に与える影響を検討した[9]．

ここではニホンザルの筋骨格系を，図 5 に示す 2 次元 7 節の剛体リンクとしてモデル化し，片側 8 つの主要な筋を考慮した．各節や筋のパラメータは，前述の全身 3 次元筋骨格モデルに基づいて決定した．足部節は足根中足部と，質量ゼロ

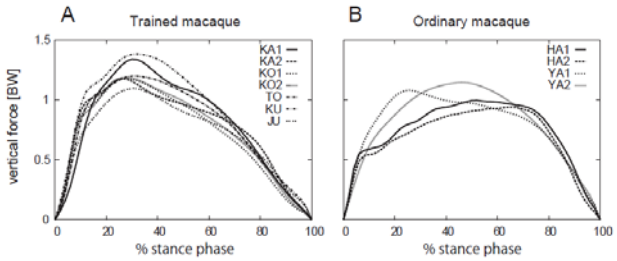


Fig. 4 Vertical ground reaction forces for a single bipedal-walking step. The curves were averaged out per subject. (A) trained, (B) ordinary macaques. Forces were normalized by body weight (BW).

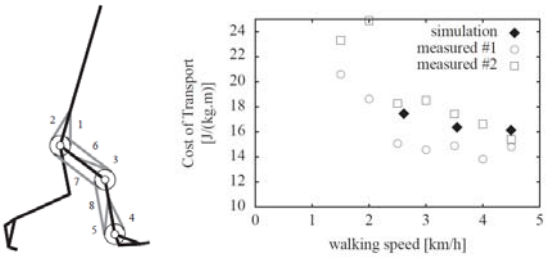


Fig. 5 2D musculoskeletal model of the Japanese macaque and comparisons of simulated and experimentally obtained mass-specific cost of transport of bipedal walking in Japanese macaque.

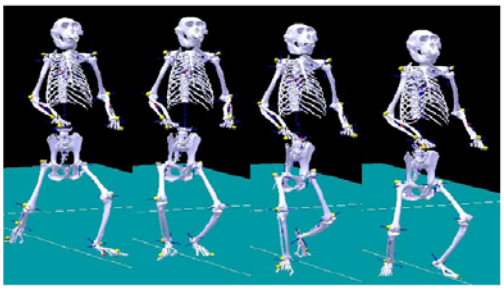


Fig. 6 3D simulation of bipedal walking of the Japanese macaque.

の指部によりモデル化した．中手指節関節の運動は予め規定されているものとした．

運動の生成は以下の手順で行った．まず，二足歩行の 3 次元運動データを矢状面に投影し， 2 次元平均歩容を求めた．そしてその歩容を再現する各筋の筋長変化を求め，2 つの振動子と PD 制御則に従って各筋への運動指令を算出した．

この歩行生成手法を用いて，歩行周期や歩行のキネマティクスの改変が歩行の移動効率に与える影響を評価した．歩行中の消費エネルギ量は，筋の機械仕事に基づいて算出した．その結果，ヒトの二足歩行では歩行速度と移動仕事率の関係はU字形になるが，ニホンザルの二足歩行では，歩行速度の上昇に伴い，移動仕事率（単位質量・単位移動距離当たりの消費エネルギ）が減少することがわかった（図 5）．またニホンザルの二足歩行を仮想的にヒト的に変更すると，移動仕事率が低くなることが明らかとなった．これは，ヒトの歩行に見られる重心移動のパターンが歩行効率の向上に実際に寄与しているにもかかわらず，ニホンザルはこうした歩行を採用できていないことを示している．これは，筋や靭帯といった軟部組織による関節運動の構造的制約に起因していると考えられる．こうした筋骨格系の構造制約が，倒立振子メカニズムの効果的活用を制約していることがシミュレーションの結果からも明らかとなった．我々は，同様の手法を用いてニホンザルの 3 次元筋骨格モデルによる歩行生成も試みている（図 6）．数歩の歩行が生成されているが，具体的な成果は今後の課題である．

6. 位相リセット

歩行運動は，脊髄に存在するリズム生成神経回路網(CPG)が生成する各筋への交代性の運動指令によって比較的下位の神経系で自律的に生成され，その運動指令が感覚器からの情報や上位神経系からの入力に基づいて協調的に変化することで，外環境の変化や外乱に対して高い適応性を実現している．このような運動指令の調整には，多くの神経系が関与していると思われるが，感覚刺激に対してリズミックな運動指令の位相をシフトし，リズムをリセットする調整がなされていることが神経生理学的にも明らかとなっており，適応的な歩行運動の生成にこうした位相リセットが寄与していることが示唆されている．そこで我々はヒトの 2 次元筋骨格モデルを用いて位相リセットが歩行の強靭性に与える影響を評価した．近年，CPG は，リズムを生成するリズム生成層(RG)と，そこから出力される位相信号に基づいて各筋への運動指令を作るパターン生成層(PF)の二層構造で構成されていることが示唆されている．この RG の数理モデルとして位相振動子を用いた．一方，PF は位相信号に基づいて PD フィードバック制御則により各筋の運動指令を生成するものと仮定してモデル化した．各脚と体幹の目標軌道は，計測した運動データを修正して与えた．

シミュレーションの結果，接地情報に基づく位相リセットは，歩行中の外乱に対する歩行の強靭性の向上に寄与していることを示した[10]．しかし，このようなフィードバック制御に基づく歩行生成では，各関節に非現実的な大きいゲインを仮定する必要があり，また神経情報伝達の時間遅れを考慮すると系が不安定化してしまう．また目標軌道が規定されているため，身体や環境の変動に対して歩行が自律的に適応変化することはない．動物がこうした問題を回避し，適応的な歩行運動を生成できるのは，フィードフォワードに基づく運動制御が同時に行われているためと推測される．

そこで我々はより生理学的に妥当な数理モデルを提案した．ヒトの歩行中の下肢筋の筋電図を解析した結果から，歩行中の筋活動パターンは約 5 つの主成分（主波形）の組み合わせですべて表現されうることが報告されている．こうした筋の時不変的協働パターンは，脊髄に存在する機能的ユニット(spinal module)でコードされていることが示唆されるが，本研究では，このような脊髄に内在する筋の活動パターンが組み合わされて，歩行運動の基本的運動指令パターン，すなわち

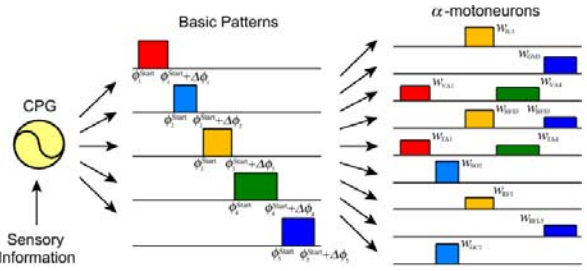


Fig. 7 Five basic activation patterns prescribed in the spinal cord level to form feedforward muscle activity.

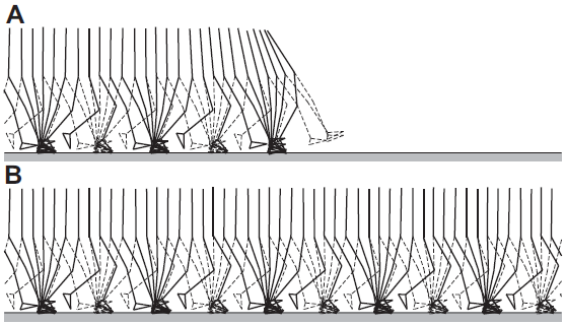


Fig. 8 Simulated walking patterns using only feedforward signals (A) and incorporating feedforward signals, posture control, and phase resetting (B).

フィードフォワード指令を作っており，これが姿勢制御などフィードバック系と協調的に動作することによって適応的で柔らかい歩行が実現されていると考え，新たな歩行生成神経系の制御モデルを構築した（図 7）[11]．具体的には，spinal module の生成する主波形を 5 つの矩形波で近似できるものとし，それら主波形の足し合わせにより各筋の基本活動パターンは作られていると仮定した．またこの主波形は CPG から出力される位相信号の関数として表現されており，各筋へ運動指令はこの位相に基づいて出力されるものとした．主波形の足し合わせにより各筋の基本活動パターンは作られる過程は，この PF に対応する．ここに体幹節の姿勢を維持するため股関節周りの PD フィードバック系を姿勢制御系としてモデル化した．さらに歩行速度の制御のため，体幹節の重心の水平速度に基づくフィードバック系を足関節周りの筋に考慮した．

このモデルに基づいて歩行シミュレーションを行った結果，フィードフォワード信号のみでは歩行は数歩しか生成されないが，位相リセットを統合した結果，安定な歩行を生成することが可能となった（図 8）．また本モデルは，体幹節に作用する外力，体幹節質量の増加，床面の傾斜，といった歩行中の外乱や環境変動に対して，ある程度自律的に適応して歩行を持続できることも確認した．神経生理学的知見に基づいて，フィードフォワード信号と感覚情報に基づく運動指令の調整メカニズムを考慮することにより，ヒトの二足歩行運動の適応性をある程度再現することが可能となった．

7. おわりに

ニホンザルの二足歩行運動を中心に我々が進めているシステムバイオメカニクス研究の研究成果のいくつかを報告した（[12]も参照）．我々の目標は，ニホンザルに見られる歩行の適応現象を，シミュレーションにより定量的に再現できる程度に理解することにある．今後も工学的発想から歩行の生成にかかわる生理学的知見を統合し，また実歩行の分析結果を精査することにより，動物の適応的歩行運動の発現メカニズムに迫っていきたいと考えている．

参考文献

[1] S. Hayama, M. Nakatsukasa & Y. Kunimatsu, “Monkey performance: The development of bipedalism in trained Japanese monkeys”, Acta Anatomica Nipponica, Vol. 67, pp. 169-185, 1992.

[2] E. Hirasaki, N. Ogihara, Y. Hamada, H. Kumakura, & M. Nakatsukasa, “Do highly trained monkeys walk like humans? A kinematic study of bipedal locomotion in bipedally trained Japanese macaques”, Journal of Human Evolution, Vol. 46, pp. 739-750, 2004.

[3] M. Nakatsukasa, N. Ogihara, Y. Hamada, Y. Goto, M. Yamada, T. Hirakawa & E. Hirasaki, “Energetic costs of bipedal and quadrupedal walking in Japanese Macaques”, American Journal of Physical Anthropology, Vol. 124, pp. 248-256, 2004.

[4] N. Ogihara, H. Usui, E. Hirasaki, Y. Hamada & M. Nakatsukasa, “Kinematic analysis of bipedal locomotion of a Japanese macaque that lost its forearms due to congenital malformation”, Primates, Vol. 46, pp. 11-19, 2005.

[5] M. Nakatsukasa, E. Hirasaki & N. Ogihara, “Energy expenditure of bipedal walking is higher than that of quadrupedal walking in Japanese macaques”, American Journal of Physical Anthropology, Vol. 131, pp. 33-37, 2006.

[6] N. Ogihara, H. Makishima, S. Aoi, Y. Sugimoto, K. Tsuchiya & M. Nakatsukasa, “Development of an anatomically based whole-body musculoskeletal model of the Japanese macaque (Macaca fuscata)”, American Journal of Physical Anthropology, Vol. 139, pp. 323-338, 2009.

[7] N. Ogihara, H. Makishima, & M. Nakatsukasa, “Three-dimensional musculoskeletal kinematics during bipedal locomotion in the Japanese macaque reconstructed based on an anatomical model-matching method”, Journal of Human Evolution, in press.

[8] N. Ogihara, E. Hirasaki, K. Kumakura & M. Nakatsukasa, “Ground-reaction-force profiles of bipedal walking in bipedally trained Japanese monkeys”, Journal of Human Evolution, Vol. 53, pp. 302-308, 2007.

[9] N. Ogihara, S. Aoi, Y. Sugimoto, K. Tsuchiya & M. Nakatsukasa, “Forward dynamic simulation of bipedal walking in the Japanese macaque: investigation of causal relationships among limb kinematics, speed, and energetics of bipedal locomotion in a non-human primate”, submitted.

[10] S. Aoi, N. Ogihara, Y. Sugimoto & K. Tsuchiya, “Simulating adaptive human bipedal locomotion based on phase resetting using foot-contact information”, Advanced Robotics, Vol. 22, pp. 1697-1713, 2008.

[11] S. Aoi, N. Ogihara, T. Funato, Y. Sugimoto & K. Tsuchiya, “Evaluating functional roles of phase resetting in generation of adaptive human bipedal walking based on a physiologically based model of the spinal pattern generator”, submitted.

[12] Y. Sugimoto, S. Aoi, N. Ogihara, & K. Tsuchiya, “The Stabilizing function of mus-culoskeletal system for periodic motion”, Advanced Robotics, Vol.23, pp. 521-534, 2009.

B03班：適応的ロコモーション創発のための反射と志向性の相互作用設計

細田　耕（大阪大），辻田勝吉（大工大），井上康介（茨城大）
田熊隆史（大工大），木村　浩（京都工繊大）

摘要 B03班の研究目的は，生物の適応的行動の生成原理と考えられる仮説をロボットに適用し，構成論的にその有効性を検証，さらには新たなロボットに対する設計論を生み出すようなバイオロボティクスの手法の確立である．生物のさまざまな適応的行動の中から特にロコモーションに注目し，反射やCPGなどによってもたらされるリズミックな制御系と，振る舞い全体を修飾する調整制御系の相互作用によって適応性の実現を試みた．また，これらの実現には生物のような筋骨格系が大きな役割を果たしているとの仮説のもとに，二足，四足，ヘビ型とさまざまなロコモーションについて筋骨格からなる新しいロボットを多数試作し，リズミック制御系と調整制御系の役割を実験的に検証した．

I. はじめに

生物が持つ環境への適応性を再現するべく，これまで多くのロボット研究に労力が費やされてきたが，実際に実現されたものは生物のそれに比較して驚くほど劣っているのが現状である．移動知研究は，このような状況を打破するために，これまでのように生物から得られている知見をヒントにするだけでなく，生物の力学的，生理的構造に学び，根本から設計原理を見直すことによって，新たなロボット設計のパラダイムを創り上げることができる可能性がある．

プロジェクトを通してB03班では，生物の適応的行動の生成原理と考えられる仮説をロボットに適用し，構成論的にその有効性を検証，さらには新たなロボットに対する設計論を生み出すようなバイオロボティクスの手法の確立を目指してきた．特に，適応的ロコモーションが，反射やCPGなどによってもたらされるリズミックな制御系と，振る舞い全体を修飾する調整制御系の相互作用から生み出されるという前提に立ち，二足，四足，ヘビ型とさまざまなロコモーションについて実験，調査を行った．また，このような制御系を構成する上で筋骨格構造が果たす役割が少なくないと考え，さまざまな新しいロボットを試作し，リズミック制御系と調整制御系の役割を実験的に検証した．

II. 筋骨格構造と移動知研究

生物の適応的なロコモーションの実現には，それが持つ筋骨格構造が大きな役割を果たしていると考えられる．特に本プロジェクトのように，リズミック制御系と調整制御系という構造を持つロコモーション制御を実現するには，電気モータに比べてさまざまな利点がある．また，生物ロコモーションの適応性に大きな役割を果たすと考えられている前反射（preflex）を時間遅れなしに実現できるという利点も備えている．

しかし一方で，現存の技術の中で筋骨格構造を構成できる唯一の可能性である空気圧人工筋は，その時間遅れや非線形性から，制御性が悪く，さまざま運動を生み出すためには不適であると多くの研究者から敬遠されてきた．本プロジェクトでは，あえてこのような空気圧人工筋を用いることによって，新しい制御パラダイムに基づくロボット群を構成し，その可能性と移動知研究への貢献を示した．以下に，二足，四足，ヘビ型について，試作された筋骨格型ロボットを中心に実験結果を示す．

III. 二足ロボット（細田，田熊）

A. 概要

二足ロボットについては歩行と跳躍という二種類のロコモーションを取り上げた．歩行に関しては，反射に基づく弾道学的歩行制御系と筋緊張制御系の組み合わせによって，安定な歩行を実現しながら，その歩行速度が調整できることを示した．また跳躍に関しては，複数の関節にまたがる二関節筋が関節間の連動などに重要な役割を果たしていると考え，跳躍を実現する単関節筋と，方向を調整する二関節筋という役割分担が可能であることを示した．

B. 筋緊張の調整による歩行速度制御

従来のモータによる二足歩行制御の場合には，歩行速度は上位の制御系から目標値としてトップダウンに与えられる．しかし人に足歩行においては，歩行速度は制御系と身体，環境との相互作用から決定される．特に筋緊張が速度に大きな影響を及ぼしていると考えられる．このような緊張系と環境との相互作用による歩行の創発は，適応的歩行のための重要な要素であると考えられる．

そこで空気圧人工筋によって駆動される二足歩行ロボット（図１）について，筋緊張と歩行速度の関係を実験的に検証した（図２）．図２の横軸はそれぞれ，拮抗する筋肉の駆動時間であり，これらを変化させることによって拮抗の強さを調整し，結果的に歩行速度を変えることが示されている．

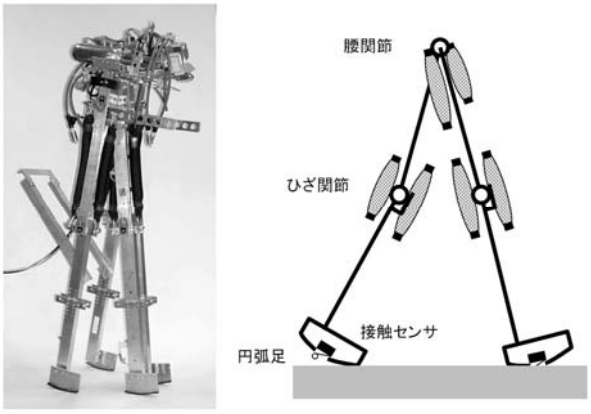


図１：空気圧人工筋駆動歩行ロボット

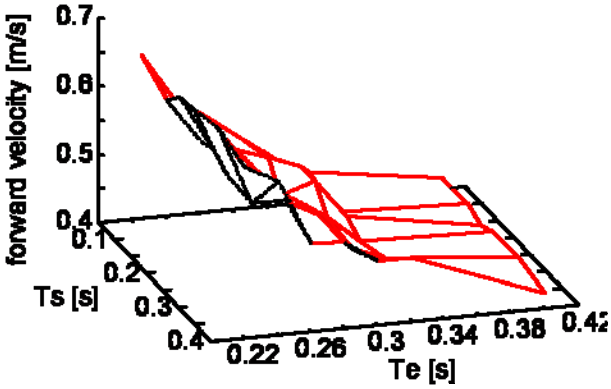


図２：主動筋と拮抗筋への給気時間と歩行速度の関係

C. 二関節筋を用いた跳躍方向制御

ヒトの筋骨格系においては，複数の関節にまたがる二関節筋が関節間の連動などに重要な役割を果たしており，また冗長な駆動系がもたらす効果は筋骨格のもたらす適応性を調べるうえで無視することができない．そこでヒトの下肢の基本的な筋骨格構造を模した跳躍ロボット（図３）を試作し，その機能を検証した．

ロボットには大腿直筋，ハムストリングス，腓腹筋の３つの二関節筋が装備されている．それぞれの筋肉は，股関節と膝関節，または膝関節と足首関節の連動をつかさどっており，他の一関節筋によって単独の関節を駆動した場合にも，これらの二関節筋の影響によって他の関節へと駆動力が伝達される．膝関節のみを駆動した場合，膝の伸展は腓腹筋を介して足首を駆動し，またハムストリングスを介して股関節を伸展させる．設計パラメータである各筋肉のモーメントアームにも影響を受けるが，図３のロボットの場合，これらの筋肉の緊張が大きくなるにしたがって，このような連動が起こり，結果的にロボットは回転を起こしにくくなることが実験的に示された（図４）．膝のみを駆動した場合に腓腹筋に空気を供給する時間を長くすることによって緊張を高めると，その強度にしたがってロボットの回転が抑えられる様子が見て取れる．また，図３のロボットは上半身が小さいため，大腿直筋とハムストリングスの影響は小さいが，下半身と上半身の割合がヒトのそれとほぼ同等のロボットを試作し，これらの二関節筋がもたらす影響についても実験的に調査した．

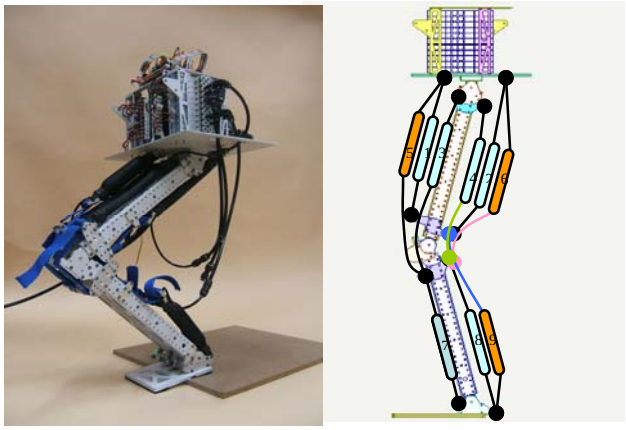
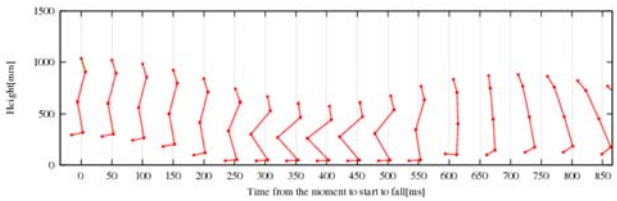
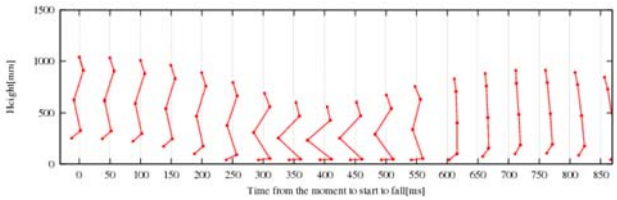


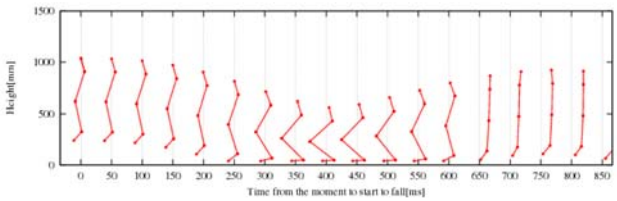
図３：二関節筋を持つ二次元跳躍ロボット



(a) 腓腹筋への吸気 0ms の場合



(b) 腓腹筋への吸気 10ms の場合



(c) 腓腹筋への吸気 150ms の場合

図４：腓腹筋への空気供給と跳躍の変化

IV. 四足ロボット（辻田）

A. 概要

四足ロボットについては，周期的な歩行を生み出すための位相リセット機能を持つ振動子型歩行制御系と，その運動を修飾する体幹の剛性について実験を行った．まず体幹を含め，全身が空気圧人工筋によって駆動されるような空気圧駆動四足ロボットを試作した．

歩行運動の安定性はロボットの身体メカニズムの力学特性に強く依存し，特に関節などの身体剛性が歩行運動の安定性確保に重要な要因となっていることが明らかになりつつある．ここではロボットの体幹の空気圧人工筋の圧力を変化させることにより剛性を変化させ，ウォークとトロットパターンにおける歩行の体幹の剛性の相違による安定性の相違を数値シミュレーションおよびハードウエア実験を通して検証した．その結果，それぞれのパターンにおいて，歩行運動が安定となる体幹の剛性が個別に存在することがわかった．

B. 体幹の剛性と歩容の安定性解析

本研究で開発したロボットを図５に示す．脚の各関節は，拮抗する空気圧人工筋によって駆動されている．また体幹のピッチ・ヨー方向にも４本の空気圧人工筋が装備されており，体幹の剛性を変えることができる．

このロボットの動特性をモデル化し，ポアンカレ写像を基にした固有値解析を行った．その結果を図６に示す．この解析では，振動子型制御系によって歩行のデューティ比を変化させたときの，体幹の弾性とポアンカレマップの最大固有値の関係が示されている．β が 0.75 （ウォークにおける代表値）付近では，体幹剛性が低い領域で歩行が安定であり，β が 0.50 （トロットにおける代表値）付近では，逆に体幹剛性が高い領域において歩行は安定化している．すなわち，それぞれのパターンにおいて，歩行運動が安定となる体幹の剛性が個別に存在することが明らかとなった．

同様に，実際の空気圧駆動四足ロボットで，クロール，トロットそれぞれについて，体幹の剛性と安定性を実験的に調べた結果を図７に示す．この場合もシミュレーションによる固有値解析と同様に，それぞれの歩行パターンにおいて，体幹の剛性に歩行安定性を実現するためには適度な値の領域が存在し，かつ，それぞれの領域が分化していることが明らかになった．

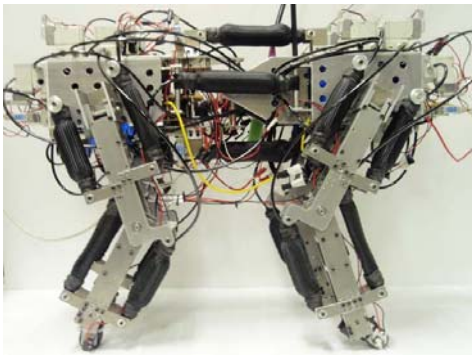


図５：空気圧人工筋駆動四足ロボット

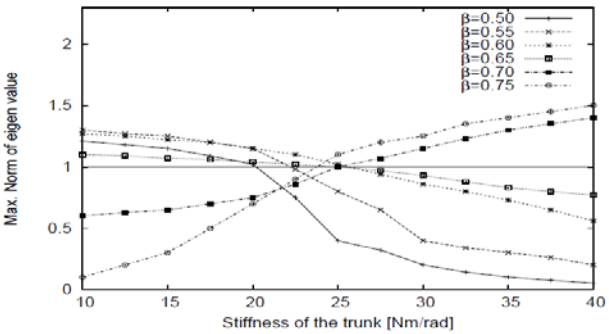


図６：ポアンカレマップの最大固有値

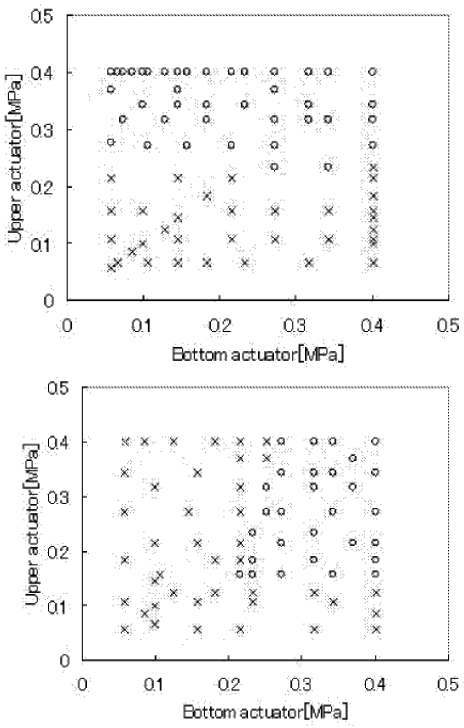


図７：空気圧四脚ロボットの体幹剛性に対する安定性．（上）クロール，（下）トロットの場合．

V. ヘビ型ロボット（井上）

A. 概要

紐状の身体をくねらせることにより，陸上のほとんどの環境に適応する動物であるヘビについて，その独特の運動様式のメカニズムを解明し，これを通じて運動様式と適応機能の関係性を明らかにすることを目的として研究を行った．

B. CPGモデルに基づく蛇行運動の適応

動物のリズム運動制御において，脊髄などに内在するCPG（中枢パターン発生器）と呼ばれる神経系が運動の生成・制御に関わっていることが指摘されている．凹凸のない平面上を蛇行するヘビでは，このような自励振動する神経素子の影響が支配的であることが想定されるため，CPGに基づく蛇行運動の制御系を開発し，この制御系によってヘビと同様の蛇行運動をシミュレーションおよびヘビ型ロボットにおいて発現することを確かめた．

さらに，水平面を蛇行するヘビにおいて，ヘビの腹と地面との摩擦係数が変動するとくねり運動のパラメータが適応的に変化することが知られている．ここでは，ヘビ腹面が地面から受ける反力情報が用いられていることが想定できるため，ヘビ型ロボットの腹に取り付けられた受動車輪が環境から受ける反力を計測するセンサをロボットに搭載し，反力情報をCPGにフィードバックするCPG制御系を開発してパラメータを最適化した結果，ヘビと同様の適応を実現した．

C. 仮想ヘビシミュレータの開発

従来の生物学による知見，実験動物の解剖・CT撮像による知見から，ヘビは一般的な哺乳動物に比較してきわめて長い体軸筋を多数駆動することで適応的なロコモーションを実現していることが分かった．この筋骨格構造が運動においてどのように作用するかを詳細に解析するため，動物実験から得た骨格の詳細な形状や筋付着点の座標，筋の束の断面上の座標等のデータを用いてコンピュータ内に仮想的なヘビの動力学モデルを構築した．モデルが再現する運動と実際のヘビにおいて計測した運動データの比較を通じて，個々の筋・骨格の力学的作用や筋に対する神経的制御のあり方に関する知見が得られることが期待される．

D. 人工筋を用いたヘビ型ロボット

動物の身体運動のダイナミクスに含まれる筋骨格系の粘弾性が適応性の発現に寄与していることが近年指摘されており，このような柔軟な身体を有するヘビ型ロボットとして，空気圧アクチュエータの拮抗配置による筋骨格系を持つヘビ型ロボットPAS-1を開発した．PAS-1は，近年人工筋として広く用いられているマッキベン型空気圧アクチュエータをジョイントの上下左右に配置した構造を持ち，3次元的運動が可能である．

図８：仮想ヘビシミュレータ

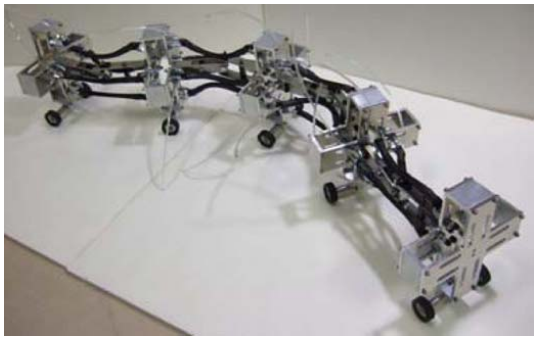


図９：空気圧人工筋駆動ヘビ型ロボット

PAS-1においては，電気モータによる制御においてとは異なり，精密な角度・トルク等の制御をしなくても，身体の受動的変形によって環境に適合した滑らかな運動が実現されることが予想される．そこで，空気圧アクチュエータをON/OFF制御する，すなわち特定のタイミングで高圧空気を注入する弁を開き，別のタイミングで排出弁を開くことを繰り返すことにより，速い運動であればこのような単純な制御によって滑らかな全身運動が実現されることが確認された．また身体の柔軟性を活用することで，複雑な形状の環境においても環境に倣った身体形状が受動的に形成され，適応性が向上することが確かめられた．

さらに，PAS-1に環境との力学的相互作用を計測する反力センサ，筋紡錘・腱器官センサを搭載した．これにより，反射等の脊髄神経回路の働きの解析を行い，環境に即応した適応運動を実現した．

さらにヘビの詳細な筋骨格系のデータに基づき，ヘビと同様の超多関節筋による駆動を実現する空気圧型ヘビ型ロボットPAS-2を設計した．PAS-2は2種類の筋（半棘筋-棘筋と腸肋筋）の7関節筋（1シャーシあたり実ヘビの3椎骨を対応させた）6本の束が左右各2本ずつ通る構造を持っている．このように実際のヘビの筋骨格構造を忠実に再現したハードウエアを開発し，これを用いて運動を解析することを通じて，ヘビ式運動様式における環境との力学的相互作用に関する知見が期待される．

歩行困難者補助のための反射運動系のモデル化に関する研究

横井浩史，瀧田正寿，北佳保里

***Abstract*—**この報告書は，特定領域研究「移動知」B班の公募研究（横井，瀧田）において，2010年度に実施された研究の成果についてまとめた報告書である．研究目的は歩行困難者のためのバイオフィードバックシステムの構築であり，この研究枠内でシステムを構成する主要な要素を整備することを目的とした．要素は，硬膜外計測BMIによる運動意図推定，筋反射を用いた歩行補助法，感覚フィードバックより構成されており，2010年度は筋反射の安定的な出力性能の確保とラットにおける硬膜外計測BMIの歩行運動に関する意図推定の性能について成果をまとめた．

I. 緒言

半身不随や下肢麻痺などの感覚運動系の疾患は，人の基本的移動手段を奪い，日常生活の利便性を大きく阻害する．本研究は，歩行困難者の歩行運動機能の再建に資することを目的として，運動意図推定のための感覚運動系の解明および機能再建スキームの構築を試みてきた．

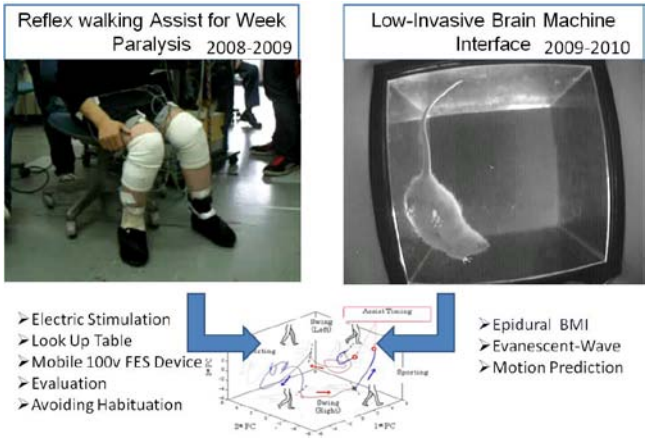


Fig.1 Concept of reflex walking assist based on low invasive BMI

我々のグループでは，「動物を用いた生理学的アプローチ」と，「人と機械の相互適応系を対象とする工学的アプローチ」を平行して行い，人の感覚運動系に適合する計測・制御システムを構築することを目的として，反射運動を利用した歩行補助法と，低侵襲型のBMI(Brain Machine Interface)を開発した． 以降，II, IIIには，電気刺激装置を用いた反射運動の誘発法とこれを用いた歩行補助の実験，及び，馴れによる刺激効果の低下に対する対策に関する成果について記述し，IVには，低侵襲型BMIの研究成果について述べる．

This work was supported in Grant-in-Aid for Scientific Research on Priority Areas "Emergence of Adaptive Motor Function through Interaction between Body, Brain and Environment - Understanding of Mobiligence by Constructive Approach -" from the Japanese Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology.

横井浩史：電気通信大学大学院知能機械工学専攻，Tel:042-443-5403，Email yokoi@mce.uec.ac.jp

瀧田正寿：産業技術総合研究所・人間福祉医工学研究部門・ニューロバイオニクスグループ，029-861-6632 FAX: 同-6633，E-mail: takita.m@aist.go.jp

北佳保里：東京大学大学院情報学環，Tel:042-443-5403，Email kita@robot.t.u-tokyo.ac.jp

II. 電気刺激によるバイオフィードバックを用いた反射運動誘発システムの開発

中枢神経系の損傷による上位運動ニューロン障害においても，末梢神経系や筋肉は機能しているため，脊髄や脳からの指令の代替となるシステムさえあれば，これらの機能を利用することが可能となる．この原理に基づき，2009 年度には，電気刺激により生体の制御や補助を行う機能的電気刺激（FES）を開発した．

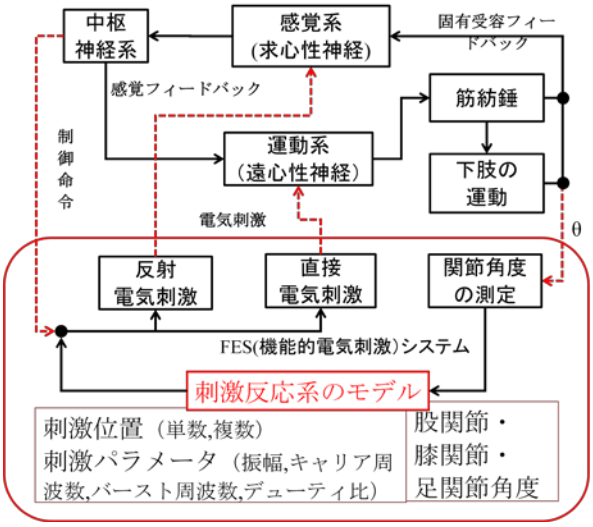


Fig.2. Modeling of Reflex Walk for FES System

FESシステムの出力する電気刺激は，双極性矩形波を基本波形とする低周波電気刺激であり，内部パラメータとして，振幅，キャリア周波数，バースト周波数，デューティ比を有する．内部パラメータは，利用者の制御入力に基づいて任意に調整可能である．この電気刺激を出力するために，アナログスイッチを16ビット組込マイクロコントローラにより制御する方式を用いて，専用デバイスFig4(a)を製作した．利用者は，このデバイスからの出力信号をFig4(b)に示す電極パッドにより，補助対象となる筋群の近傍か，または，神経組織の近傍に接着させる．

FESシステムを用いて，補助対象となる運動を誘発するために，Fig. 3に示す位置に電気刺激パッドを貼付し，運動と電気刺激との関係を調べた．実験は，各電気刺激位置への刺激に対する大腿関節，膝関節，足関節の関節角度変化を計測した．実験の様相をFig. 4に示す．

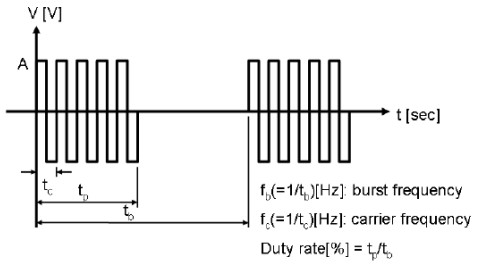


Fig.3.Wave Form of Functional Electric Stimulation

(a) Developed Device

(b) Surface Electrode

Fig.4. FES System

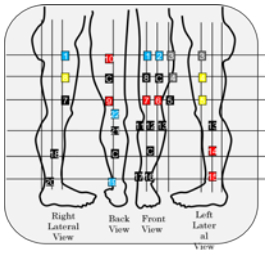


Fig.5. Test position of electrical stimulation

Fig.6. Experimental setting for Reflex Motion

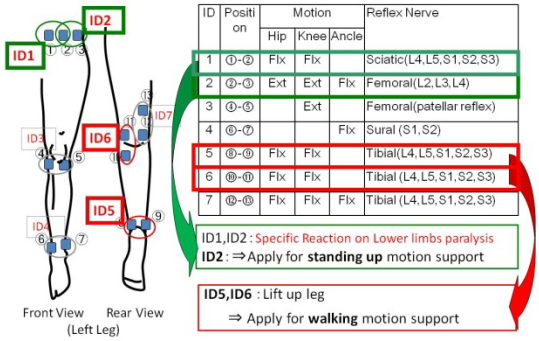
実験の結果，電気刺激のキャリア周波数の変化に対して，5種類の運動パターンが得られた．得られた特徴的な筋群の応答をTable 1に示す．図において，Reflexは反射による関節運動，Muscleは直接刺激による筋収縮と関節運動，Smallは微細な筋収縮，Slowは0.8[rad/s]以下のゆっくりした関節運動，Muscle twitchは内転を伴う関節運動，Noは運動が見られなかった場合を示している．

Table 1. Relation among stimulus position to reflex motion

No.	Carrier Freq [kHz]	Muscle Contraction	No.	Carrier Freq [kHz]	Muscle Contraction
1	1	Slow	12	1	No
	3	Slow, Reflex Act.		3	No
2	1	No	13	1	No
	3	Slow, Reflex Act.		3	No
3	1	No	14	1	No
	3	Muscle twitch		3	Muscle
4	1	Muscle twitch	15	1	No
	3	Slow		3	Muscle
5	1	No	16	1	No
	3	Slow		3	No
6	1	No	17	1	No
	3	Muscle		3	No
7	1	No	18	1	Small
	3	Muscle		3	Small
8	1	Muscle twitch	19	1	Slow
	3	Slow		3	Slow, Reflex
9	1	Muscle	20	1	No
	3	Muscle		3	No
10	1	Slow	21	1	No
	3	Muscle		3	No
11	1	No	22	1	No
	3	No		3	Reflex Act.

III. 反射運動を用いた歩行補助とその課題

上記で求めた電気刺激法と刺激位置を用いて，立ち上がり動作の補助と歩行補助を行った．刺激位置は，股関節近傍のID1とID2，および，膝関節裏側ID6，足関節アキレス腱外側ID5に対してその効果を確かめた．



ID	Position	Motion			Reflex Nerve
		Hip	Knee	Ancle	
1	①-②	Flx	Flx		Sciatic(L4,L5,S1,S2,S3)
2	②-③	Ext	Ext	Flx	Femoral(L2,L3,L4)
3	①-⑤		Ext		Femoral(patellar reflex)
4	⑥-⑦			Flx	Sural (S1,S2)
5	⑧-⑩	Flx	Flx		Tibial(L4,L5,S1,S2,S3)
6	⑩-⑪	Flx	Flx		Tibial (L4,L5,S1,S2,S3)
7	⑫-⑬	Flx	Flx	Flx	Tibial (L4,L5,S1,S2,S3)

Fig.7. Electrical stimulation position of reflex motion for standing up and walking

被験者の通常の起立動作に比べて，電気刺激による補助を行った場合，起立に要した時間は，5.4[s]から5.0[s]に減少し，7.0[%]改善された．また，1.8[s]から5.0[s]における関節角度の推移をFig.8に示す．Fig.8には，刺激のない場合の起立動作に比べ，刺激による補助を行ったほうが緩やかに遷移していることが示されている．

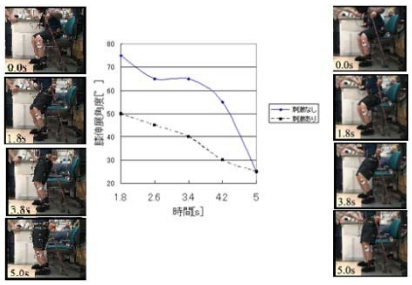


Fig.8. Time series data of knee angle of standing up motion

次に，歩行動作に対する補助を実施した．被験者の歩行において必要となる運動は，遊脚期における左下肢の尖足の改善を目的とした足関節の背屈運動および脚の持ち上げ動作，すなわち股関節および膝関節の屈曲運動である．
Fig.7に示した多チャンネルに対する刺激—運動のモデルを用いて，直接電気刺激と反射電気刺激を用いて，歩行動作を実現した．直接電気刺激では，前脛骨筋への直接電気刺激を行い，足関節の背屈運動を生成し，また，反射電気刺激により，膝裏の大腿2 頭筋部位下を通る脛骨神経を刺激し，脚の持ち上げ動作を生成した．これにより，被験者の運動意図を反映して，歩行速度を変更できることを確認した．最速の歩行速度は，健常人と同等の速度を実現した(Fig.9)．さらに，階段昇降についても歩行と同様の刺激条件で行い，麻痺足が階段に引っかかることなく，階段昇降を実施することが可能となった(Fig.10)．

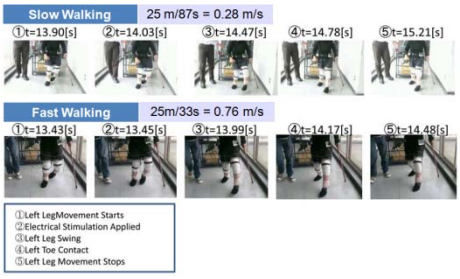


Fig.9. Reflex walking assist for arbitrary speed

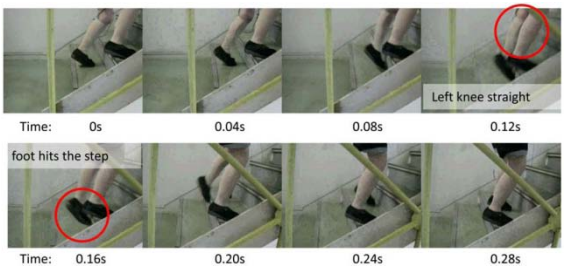
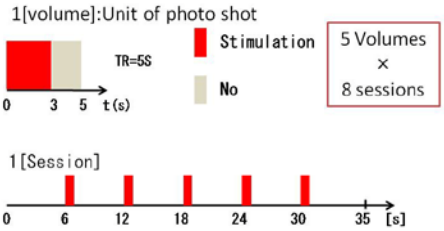
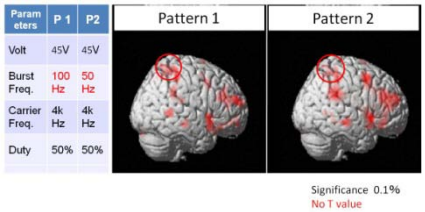


Fig.10. Reflex walking assist for climbing up steps.

次に，受動的な刺激入力に対しては，刺激に対する注意を集中することが困難であり，また，馴れの影響が強く働くなど，その効果を継続させることは難しい．単一の刺激入力に対する体性感覚野の賦活の様相をFig.12に示す．Fig12(a)は，MRI撮像時のブロックデザインを示しており，1[volume]は，TR=5[s]，刺激時間3[s]，休止時間2[s]により構成され，これを5[volume]×8を一単位として解析を行った．また，刺激パターンは，刺激電圧，Carrier周波数，Duty比を共通とし，Burst周波数を50Hz,100Hzの2種類P1,P2を用意した．その結果をFig12(b)に示す．両者の刺激パターに対して，体性感覚野に賦活は見られるものの，不鮮明であるとともに，T値の算出もできていない．



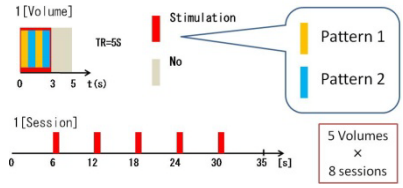
(a) Block design of f-MRI analysis



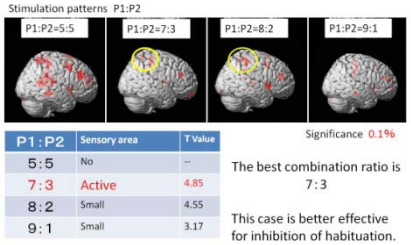
(b) f-MRI result for Pattern 1 and 2

Fig.12. f-MRI analysis for single pattern of electric stimulation

そこで，このような刺激入力に対する馴れの影響を減少させるために，複数の刺激パターンを連続的に入力し，部分的に変動させることにより動的パターンによる刺激法を提案し，2種のパターンの混合比率を最適化を行った．MRI撮像時のブロックデザイン(Fig13(a))は，上記と同様，1[volume]を，TR=5[s]，刺激時間3[s]，休止時間2[s]とし，刺激時間内にP1とP2を下記に示す比率で混合し刺激を行った．これを5[volume]×8を一単位として解析を行った．刺激パターンの比率は5:5, 7:3, 8:2, 9:1の4種類について行った結果をFig13(b)に示す．その結果，7:3の比率で刺激を与えた時に最もはっきり賦活が表れた．この刺激パターンの混合比率を用いて安定的に刺激を継続することが可能となった．



(a) Block design of f-MRI analysis



(b) f-MRI result for mixed pattern

Fig.13. f-MRI analysis for single pattern of electric stimulation

IV. ラットを用いた低侵襲型BMIの検討

BMI技術は高度で自然な外部機器の操作を可能にすると考えられ，身体障害者に対する運動機能の再建，さらに人全般に対する身体的，あるいは知的機能拡大が期待されている．本稿では従来よりも低侵襲なBMI技術を目指し，脳神経計測手法として硬膜外電極を使用してラットの運動時の計測を行った．また，得られた硬膜外電位から短時間フーリエ変換と人工ニューラルネットワーク（ANN）を用いて，運動状態の識別を行い，硬膜外電極において有効な電極位置と信号周波数帯を検証した．

硬膜外電極は頭蓋骨と硬膜の間に電極を置き，硬膜外電位を計測する方法により信号を得た（Fig. 1）．この計測法は，硬膜の外に電極を置くために脳漿を侵すことを避けられ，脳免疫系に対しても不干渉であることが特徴である．一方で神経活動の信号は硬膜を通過した後に計測されるため，ECoGに比べ減衰・重畳による情報量の減少が起きる点が欠点となるが，外部機器操作に十分な情報量が得られるならば問題はない（Fig. 2）．

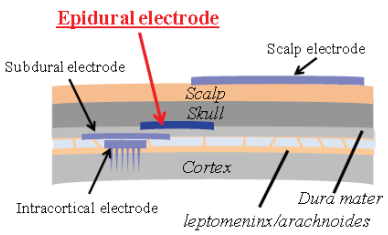


Fig. 13 The locations of an epidural electrode and conventional electrodes for recording cerebrum activities. The names of body tissues are written in italic letter.

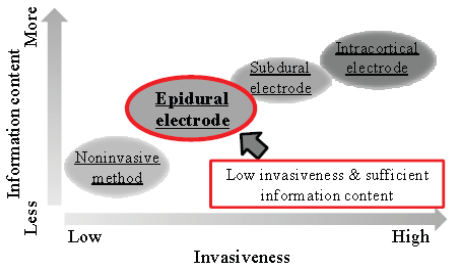


Fig. 14 The concept of epidural electrodes.

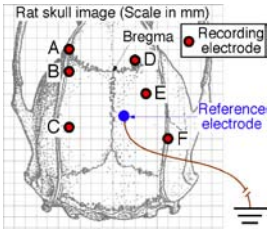


Fig. 15. Locations of the recording electrodes. The grid represents 1 mm^2. The locations were determined by relative distances from the bregma. “A-F” are the recording electrodes. The skull image is taken from [2]

実験ではラットに硬膜外電極を留置し，自由運動時の硬膜外電位によって運動状態を推定した．その結果から硬膜外電位計測により運動状態が推定可能であるか，またどのような電極位置，信号の周波数帯が有効であるかを検証した[3][4]．計測には生後9 週目のオスのSD ラットを用いた．計測電極には金めっきピンを用い，運動野を中心に6 ヵ所に配置した（Fig.3）．電極はデンタルセメントで頭蓋骨に固定した．また計測電極とは別に頭蓋骨へのアンカーねじを参照/接地電極とし，一級グラウンドと接続した．計測は参照電極と計測電極による単極誘導としたが，解析においては同相ノイズ除去のために2 種の電極間の差分を取ったものも用いた．信号はアンプにより1000 倍に増幅し，±10Vを12bit でA/D 変換した上で20kHz のサンプリングレートで記録した．また，ラットの自由運動を記録するため，電極による計測と同期してデジタルビデオカメラを用いた撮影も行った．計測実験は電極留置手術の1週間後に行った．ラットを450mm 四方のケージに入れ，自由運動を行う際の電位を記録した．

運動状態の推定に有効な電極位置，信号の周波数帯を検証するため，電極，使用周波数を変更させながら実際にSVM(Support Vector Machine) による識別を行い，その識別率を算出した．硬膜外電位の周波数解析には短時間フーリエ変換を用い，得られたパワースペクトルの組み合わせを特徴ベクトルとした．これらの特徴ベクトルをSVN への入力とし，映像で確認したラットの運動状態を出力として学習・識別を行った．

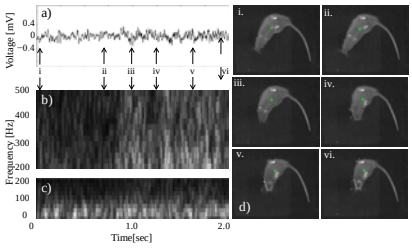


Fig. 16. Sample of the measured data. a)Differential potential between electrodes A and E during 2.0 seconds. b,c)Power spectra of a). Z scale is different between b) and c). d)Pictures of the rat recorded below the cage. Roman numbers at the upper left of the pictures indicate a time-line marked between a) and b). The rat set forefeet on ground during i–iii, and lifted them during iv–vi.

対象とするラットの運動状態として，停止(Stop)，安静状態(Rest)，歩行時に右前足を持ち上げている状態(RFF)，歩行時に左前足を持ち上げている状態(LFF)，及びケージの壁に向かって両前足を持ち上げている状態(BFF)を採用した．歩行状態の遷移は非常に短時間であるため，フーリエ変換の窓幅をおよそ0.05[sec]とした．この際の周波数解像度は約20Hz である．このパワースペクトルを5つずつ，0-100Hz，60-160Hz，100-200Hz，160-260Hz，200-300Hz，260-360Hz，300-400Hz，400-500Hz の組に分け，それぞれを特徴ベクトルとした．ただし，0-100Hz に関しては50Hz 近傍のハムノイズによる影響を避けるため，40-60Hz のパワースペクトルを除外している．電極に関しては，6 つの計測電極からペアを作り差分を取った15ch を用いた．

Table 2. Classification results of the motions. In the Motion section, RFF, LF,F and BFF mean right forefoot lifting, left forefoot lifting, and both forefeet lifting, respectively.

Num. of motions	Combination of motions	Accuracy [%]			
		Day 5	Day 6	Day 7	Day 13
Two	Stop- BFF	75.8	85.6	83.2	—
	Stop-RFF	89.0	87.1	80.2	81.1
	Stop-LFF	80.5	85.2	87.4	65.0
	Stop-Rest	96.1	89.7	98.6	97.3
	RFF-LFF	46.5	55.5	38.6	50.0
	RFF-BFF	70.8	68.0	77.1	—
Three	Stop-RFF-BFF	66.3	65.7	72.6	—
Four	Stop-RFF-BFF-Rest	73.2	71.2	77.3	—

それぞれの電極，周波数帯の特徴ベクトルを一動作あたり20 点程度ずつ取り出し，そのうち約1/3 を学習用データ，残りを識別率評価のための検証用データとした．学習用データは，動作を行った実験中時間が偏らないよう選択した．学習と識別は，運動状態からいくつかの組み合わせを作り，その組ごとに行った．ANN を用いず，無作為に運動状態を選んだ場合に正しいものを選択する確率は100/(組内の運動状態数)[%]である．手術から5，6，7，13日目となる，計測1，2，3，4 日目における全電極，周波数帯を含めた375 次元ベクトルを使用した識別率をTable 2に示す．計測を行った4 日間において，識別率の変化幅は一部を除き10%未満であった．数カ月単位の長期間の計測実験は実施出来なかったが，手術から10 日程度ならば本実験の手法にて計測・解析が可能であることが示されている．

IV. 結言

運動系の麻痺に対する補助方法を開発することを目的として，下肢の運動補助については，筋反射を対象とした電気刺激を用いた歩行困難者のためのバイオフィードバックシステムの構築した．電気刺激を行う下肢の場所に対する筋活動の様相を明らかにし，刺激反応地図を求めた．この刺激反応地図を用いて，起立動作，歩行動作について運動機能補助の可能性を確かめた．一方，運動推定については，ラットを用いた動物実験により，硬膜外計測信号から，左右の足の上下動について判別を行った．SVM を用いた判別によって，停止，両前足持ち上げ，右前脚持ち上げ，安静状態の 4 状態を 70%程度の精度で判別することが可能であることが確かめられた．

REFERENCES

[1] Alejandro Hernandez Arieta, Kato Ryu, Hiroshi Yokoi, Takashi Ohnishi, and Tamio Arai An fMRI Study on the Effects of Electrical Stimulation as Biofeedback. Proceedings of the 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 1-4244-0259-X/06/$20.00 ©2006 IEEE, pp 4336-4342, (2006)

[2] George Paxinos and Charles Watson, *The rat brain in stereotaxic coordinates*, Sydney: Academic Press, 1998.

[3] Takeshi Uejima, Kahori Kita, Toshiyuki Fujii, Ryu Kato, Masatoshi Takita, Hiroshi Yokoi, Motion Classification using Epidural Electrodes for Low-Invasive Brain-Machine Interface, 31st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2009), pp. 6469-6472, (2009)

[4] 上嶋健嗣，藤井俊行，加藤龍，瀧田正寿，横井浩史，硬膜外電位計測によるラットの運動状態推定の基礎研究，日本ロボット学会誌，Vol.27，No.7，pp. 30-36, (2009)

ラットーマシン融合システムと多機能神経電極による生体運動中枢の適応機能の解明

研究代表者 鈴木 隆文*, 連携研究者 満渕邦彦*

概要− 本研究課題は，身体環境条件を任意に変化させることが可能なシステムを，ラットと機械を融合させることにより構築し，さらに多機能神経電極を組み合わせて用いることによって，脳，特に運動中枢の環境適応特性を解明することを目指して行われた．ラットの運動野等の神経情報によって制御される車両システムを構築し，神経信号からの歩行速度や歩行方向の推定を行うとともに，様々な推定モデルの有効性を検討した．一例として状態空間モデルを用いることにより，歩行速度等の推定を行うと共に，車載時の脳の内部状態の変化をパラメータの変化によって解析する可能性を示した．動作に同期した電気刺激を行うことによるラット運動野の神経細胞の応答特性の変化についても検討を加えた．また，多機能神経電極の一例として，マイクロダイアリシスプローブ機能を備えた神経電極の開発を行った．

I. はじめに

本研究課題は，ラットと機械を融合させることにより，身体環境条件を任意に変化させることが可能なシステムを構築し，さらに多機能神経電極と統合的に使用することによって，脳，特に運動中枢の環境適応特性の解明を図ることを目指して行われた．融合させる機械としては，ラットの運動野（あるいはそれ以外の部位）の神経情報によって制御される車両システム（以降ではRatCarシステムと呼ぶ）を想定した．このようなシステムにおいては，運動指令信号（計測した神経信号から推定したもの）と人工効果器（の実際の動作）との関係を任意に設定，さらには動作中に変化させることが容易に実現できるが，さらにこうしたシステムの中で，多機能神経電極を用いることにより，脳の環境適応特性を様々な視点から検討することが可能になると考えた．近年，脳から計測した神経信号によって外部機器の制御を行う，いわゆるBrain-Machine Interface (BMI)システムの研究が革新的に進み，生体の運動野の神経信号でコンピュータのカーソルやあるいはロボットハンドなどの人工機器が制御可能であることが示されている．しかしながら，新しい機器を接続した際に，運動中枢がその身体環境の変化にどのように適応していくのかについては，未だ解明が進んでいない．この点にいち早く着目し，研究を進めることが，本研究課題の特徴である．

以降では，まずRatCarシステムの概要について述べたあと，RatCarへの接続時における神経発火の時間変化を解析するため，各神経ユニットと歩行速度との相関関係を表すモデルパラメータに着目した手法を提案し，実際にラットから計測した神経信号に対して適用できることを示す．また，多機能神経電極としては，半透膜と微小流路を統合することによりマイクロダイアリシスプローブ機能を備えた神経電極を開発中であり，これについても報告する．

II. 研究成果

A) RatCarシステム[1, 4, 5, 6]

A-I) 背景

RatCarシステムのBMIシステムとしての特徴は， 車体上に操作者たるラット自身を搭載し，システム全体として移動することを目指している点である．このときラットには単にデバイスを操作するに止まらず，視覚，髭感覚，体性感覚を介して，あたかも自身の四肢を用いて移動するかのように感覚フィードバックを与えることが可能である[1]．ここでは，このような環境下でラット脳が示すBMI への適応・変化の様子を解明可能な実験系の構築について述べる．すなわちRatCarシステムの枠組みにおいて，歩行速度を内部状態として表現する状態空間表現モデルを用い，これをKalman filter 型アルゴリズム[2]によって推定する. この際, 個々の神経細胞の発火頻度と歩行速度との相関関係を事前に同定するが，ここでも逐次的なKalman filter 型時間更新アルゴリズムを使用することによって，随時，両者の関係を観察することができる．まず非車載時における両者の相関関係変化の様子を示す．この結果は，車体あるいはBMI とは無関係に生じる変化量すなわちコントロール群として用いられるものである．

A-II) 方法

*東京大学大学院情報理工学系研究科システム情報学専攻

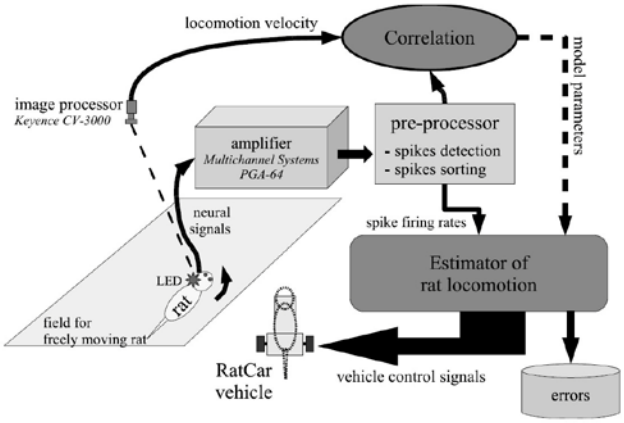


Fig. 1. RatCar system to estimate locomotion velocity of a rat by neural signals [6]

図1にRatCarのシステム構成の一例を示す．歩行計測のために回転型の歩行装置を用いることもある．被験動物としてはWistar 系ラット(オス) を用いている．典型的な例では，12 週齢前後のラット（この例では6匹）を用い，脳定位座標[3]に基づき，bregma 点から尾側0.7 mm, 右外側2.5 mm, 脳表深度1.6 mm の大脳皮質一次運動野に対して神経電極束を刺入している．この電極束は，直径40 μm のタングステン(W) 線にパリレンC(ポリクロロパラキシリレン)を厚さ5μm皮膜し，これを束ねて作成した．この埋め込み手術は東京大学動物実験委員会の定めるガイドラインに基づき，ペントバルビター ル麻酔下において行われた．

次に, 埋め込み手術の後1～14日の間にかけて, 図1 に示す実験系の平面上を，およそ60 秒間自由に歩行させるセッションを行った．ここで，神経信号は生体アンプ(Multichannel Systems PGA-64) を通じて5,000 倍/ 300 Hz . 5 kHz に増幅/ 帯域制限され，A/D ボード(National Instruments PCI-6071E) を介して25kHz サンプリングにてコンピュータに取り込まれた．一方，ラット頭部にはLED が固定され，この発光を画像処理装置(Keyence CV-3000) によって計測し，フレーム毎差分をとることによって，ラット歩行速度の近似値を得た．

神経信号およびラット歩行速度が同時入力されたコンピュータ上では，神経信号波形から個々の神経ユニットへの弁別，および Δt = 100ms 毎の発火頻度の算出を行い，これをラット歩行速度と対応付けることによって, 両者の対応関係を示すパラメータを得た. また，この対応関係を利用し，神経信号情報に基づき歩行速度を推定した．本アルゴリズムは，次の状態空間表現モデルを中心に構成される．

$$x(t+1) = Fx(t)+G\xi(t) \quad (1)$$

$$y(t)-\sum_{i=1}^{p} a_i y(t-i) = Hx(t)+\eta(t). \quad (2)$$

(ここでは $p=2$)

ここで，$x(t)$ は100 ms 毎の処理フレーム時刻t における歩行状態を表し，実測されたラット歩行速度と，その1, 2 階フレーム差分からなるベクトルである．また，$y(t)$ は，同じく100 ms 毎の神経発火頻度に対し，主成分分析による直交化と分散・期待値の規格化を施したものである．

さらに，状態遷移行列を

$$F \equiv \begin{pmatrix} 1 & \Delta t & 0 \\ 0 & 1 & \Delta t \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (\Delta t = 100\text{ms (bin size)}), \quad (3)$$

とし，システム誤差変換行列$G = I$ として固定値に設定し，逐次更新されるシステム誤差ベクトル，出力誤差ベクトルとして ξ ,η を置いた．

このとき，式(1) は神経発火に無関係な歩行速度変化の特性を表す状態遷移方程式であり，式(2) はパラメータ a_i によって規定される神経発火頻度y のユニット毎での自己回帰過程と歩行状態x とを行列H を介して関係づける出力方程式である. 特に歩行状態の実測値x と神経発火y の値が揃って与えられるとき, H およびa_i はKalman filter 型の観測更新アルゴリズムを用い，歩行速度の実測値と推定値の二乗誤差を最小化するようなモデルパラメータへと漸近的に最適化される．ただし，初期値は全て1 とした. 同時に, 歩行速度の推定値$x(t)$ そのものについても，時間更新・観測更新によって$y(t)$ からオンライン推定される．このモデルに対するH, a_i および$y(t)$ が更新される経過を用い，特にH の1 列目に現れる神経発火頻度と歩行速度の相関関係に着目し，この時間的な変化を観察した．

A-III) 結果，考察

Fig.2 に，結果の一例を示す．平面上を自由に歩行運

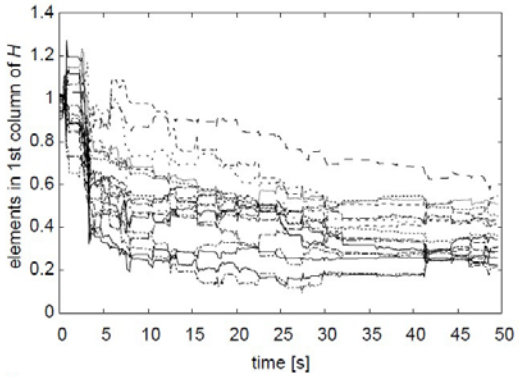


Fig.2 Identified model parameters to describe correlations between locomotion velocity and neural firing rates (each line corresponds to a sorted neural unit) [6]

動させたときの歩行速度の実測値および神経発火頻度情報の同時入力によって更新されるモデルパラメータ H（そのうち歩行速度との対応を示す1列目要素）の最適化過程である．全体的な傾向として，初期値1から冒頭の5秒間で激しいパラメータ値の変動が見られた後，時間経過につれて徐々に値が変化し，30～40 秒後には±0.1 程度の範囲内の変動に収束したことが分かる．他の試行・個体においても，パラメータの収束傾向や収束に要する時間の傾向は同様であったが，歩様・歩行以外の動作の有無に応じて，パラメータ変動の幅，歩行速度推定の精度は異なっていた．

本手法では，弁別された各神経ユニットと歩行速度との相関関係を歩行速度の推定と同時に連続して評価することが可能である．この関係が仮に時不変なものであれば，ラットの歩行速度によらず速やかに一定値へと収束することが予想される．Fig.2にも見られる通り，この関係が時間変化する様子は各ユニットによって異なり，比較的滑らかに推移するものや歩行以外の動作によって大きく変動するものも存在する．今後，このような特性を利用し，各ユニットの歩行に関する統計的性質を明らかにし，電極埋め込みおよびBMI 接続からの時間経過に応じた特性変化の比較に用いるほか，歩行推定の目的に対して適切なユニットを事前に選別し，推定精度の改善を図る予定である．

これ以外の試みとして，ラット運動野の神経細胞の応答特性を，レバー押し等の動作に同期した電気刺激を行うことによって人為的に変化させ得るかどうかの検証も行った．これは侵襲的BMIシステムにおいて，計測可能チャネル数が時間経過とともに生理的，構造的な影響の為に減少してしまう問題への対処を目指したものである．

B) 多機能神経プローブの開発

脳の適応機能解明に用いるための多機能神経プローブの開発を行った．ここでは，半透膜と微小流路を統合することによりマイクロダイアリシスプローブ機能を備えた神経電極について報告する[7]．

この電極においては，単一のプローブによって脳内の電気生理学的応答と生化学的応答をともに計測することを目指し，神経電極へのマイクロダイアリシス機能の付加を試みた．我々はこれまでに流路を備えた柔軟神経電極等の開発を行なってきており，その過程で培われたMEMS技術を用いた電極の作成方法[8など]を応用して本プローブが試作された。概念図をFig. 3 に，作成方法をFig. 4 に示す．

本研究で作成した神経プローブは1つの流路と4つの電極から構成される．高分子材料であるパリレンC（ポリクロロパラキシリレン）を用いて流路を形成し，その一部に半透膜を製膜した．一部に半透膜を有するこの流路は神経伝達物質の回収を可能とし，マイクロダイアリシスプローブとして機能する．なお、本研究では半透膜として酢酸セルロース膜を採用した．4つの電極は流路の近傍に配置され，流路による神経伝達物質の回収とともに、その周囲の脳神経細胞の電気的な活動が計測できるように設計された．

作成した神経プローブの写真をFig. 5 に示す, 往路、復路2本の流路と4つの電極を含むプローブの外形は幅1. 2㎜，コネクタ部を除いた長さは12㎜である．流路のサイズは幅170μm，高さ30～40μm，プローブ先端で折り返している流路の総延長はおよそ15㎜である．流路上へ貼られた半透膜の膜厚は約15μmであった．

III. おわりに

ラットーマシン融合システムを利用して脳の身体環境変化への適応能力の解明することを目的として，研究を行なった．具体的にはラットの運動野神経信号によって車両を制御するRatCarシステムにおける歩行状態推定精度の向上にむけて様々な推定モデルの有効性を評価するとともに，車体への接続時における神経発火の時間変化を解析するため，各神経ユニットと歩行速度との相関関係を表すモデルパラメータに着目した手法を提案し，実際にラットから計測した神経信号に対して適用できることを示した．動作に同期した電気刺激を行うことによるラット運動野の神経細胞の応答特性の変化についても検討を加えた．また，多機能神経電極の一つとして，マイクロダイアリシスプローブ機能を備えた神経電極の開発を行った．

参考文献

[1] O. Fukayama, N. Taniguchi, T. Suzuki, K. Mabuchi, Control of a vehicle-formed BMI system for rats by neural signals recorded in the motor cortex, *Proc. 3rd International IEEE EMBS Conf. on Neural Eng.*, 2007, pp. 394 – 397.

[2] R. E. Kalman and R. S. Bucy, New Results in Linear Filtering and Prediction Theory, *Trans. ASME, J. Basic Eng.*, Vol. 83D, No. 1, 1961, pp. 95 – 108.

[3] G. Paxinos and C. Watson, The Rat Brain in Stereotaxic Coordinates, Compact Third Edition, 1997, Academic Press.

[4] O. Fukayama, N. Taniguchi, T. Suzuki, K. Mabuchi: Automatic Adaptation of Vehicle Controller to Time-Varying Neural Signals Recorded in RatCar System; A Vehicle-formed BMI, Proc. of Joint 4th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 9th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, 253-256 (2008)

[5] O. Fukayama, N. Taniguchi, T. Suzuki, K. Mabuchi: RatCar system for estimating locomotion states using neural signals with parameter monitoring: Vehicle-formed brain-machine interfaces for rat, Proc. of 30th Annual International Conference of the IEEE EMBS, 5322-5325 (2008)

[6] 深山理, 谷口徳恭, 鈴木隆文, 満渕邦彦: 車体型BMI「ラットカー」搭載時におけるラット運動中枢神経活動の時間変化に関する基礎的検討, 第23回生体・生理工学シンポジウム論文集, 81-82 (2008)

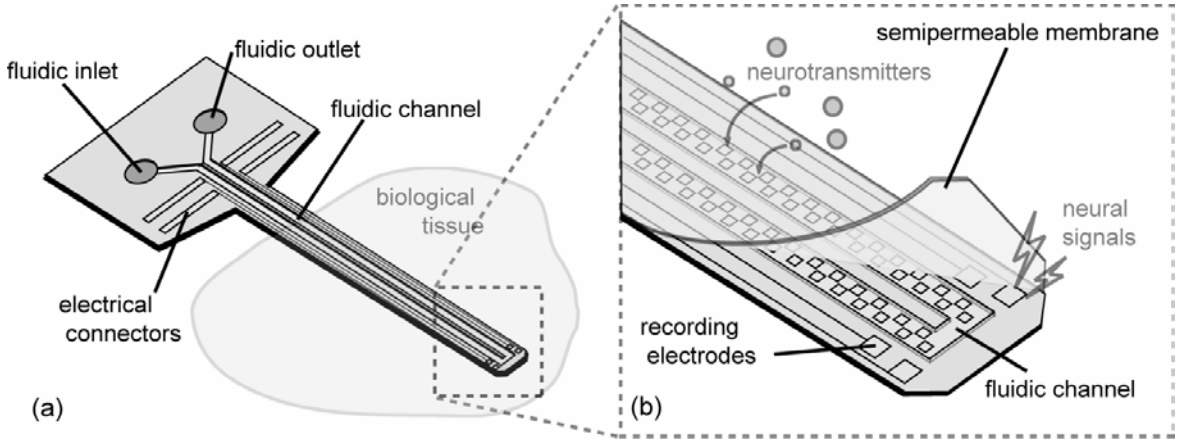


Fig. 3. Conceptual illustration of a probe. (a) Overview image of the probe. The probe is inserted into biological tissue. (b) Tip of the probe with recording electrodes and a fluidic channel. The fluidic channel is covered with a semipermeable membrane. When the probe is inserted into the brain, the microelectrodes record neural signals, and the fluidic channel collects neurotransmitter from the extracellular fluids around the point of interest [7]

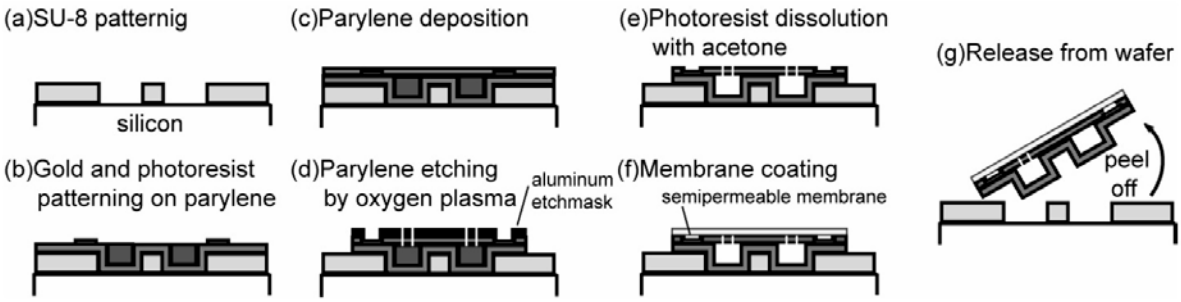


Fig.4 Fabrication process of the probe[7]

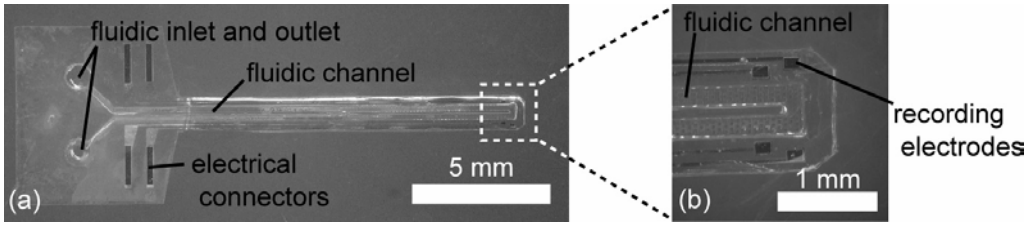


Fig.5 The probe was fabricated on a 25-μm-thick Parylene C substrate. (b) The fluidic channel is U-shaped at the tip of the probe [7]

[7] N. Kotake, T. Suzuki, K. Mabuchi, S. Takeuchi: A flexible parylene neural probe combined with a microdialysis membrane, Proc. of microTAS 2008, 1687-1689 (2008)
[8] S. Takeuchi, D. Ziegler, Y. Yoshida, K. Mabuchi, T. Suzuki, Parylene flexible neural probe with micro fluidic channel, Lab on a chip, Vol. 5, pp. 519-523 (2005).

情報を表現する神経活動における身体の役割をＢＭＩ法で解析する

櫻井芳雄　京都大学大学院文学研究科

Abstract — 本研究は、脳の情報表現（情報コーディング）と身体性の関係について、マルチニューロン活動の記録とブレインーマシン・インタフェース（BMI）を活用し明らかにすることを目指す。本特定領域研究に参加した４年間で、新しい高精度なBMIによる実験システムを開発した。そして、ラットのニューロン活動をBMIを介し行動の代わりとして機能させると、その発火頻度が短期間で大きく増大することがわかった。また特に海馬では、複数ニューロンの同期発火のみを行動の代わりとすると、発火頻度同様に同期発火も増大することがわかった。すなわちBMIを介し身体という拘束条件を取り去ることで、脳は自身のニューロンの発火頻度と同期発火を大きく変化させ得ることが明らかとなった。

Ⅰ．はじめに

個体の適応的行動には、まず環境を認識すること、すなわち有意な情報を外界から検出することが必要であり、それは脳独特の情報表現により初めて可能となる。脳の情報表現の実体は、かつて心理学者Hebbが提案したように、セル・アセンブリと呼ばれる神経細胞（ニューロン）の機能的集団の動的活動とその変化として記載可能であり、最近の神経科学的研究はその姿を次第に明らかにしつつある。しかし、心理学者Gibsonも指摘したように、環境内のどの情報がどのように有意であるかは、個体がその環境に働きかけることで初めて認識可能となる。すなわち、個体がその身体を働かせ環境と能動的に相互作用することにこそ、脳独特の情報表現の本質が現れているはずであり、その本質部分を実験的に捉えることが必要である。

Ⅱ．目的

本研究の目的は、まず高精度なブレインーマシン・インタフェース(BMI)を構築することである。次に、そのBMIを活用することで、身体の働きが脳の情報表現にどのような役割を持つかについて、実験的に明らかにすることを目指す。具体的には、ラットが身体による行動で課題を行う場合と、BMIにより身体を介さずニューロン活動が行動を代行する場合について、海馬と新皮質からマルチニューロン活動を記録し解析する。そして、情報表現における身体の役割について明らかにする。

Ⅲ．独自性

本研究は、従来の神経科学的研究のように、脳を単に情報を受け取り処理する受動的な装置とは捉えない。脳の情報表現における身体性の役割に注目し、神経活動と身体・環境の相互作用について実験的に解明するものである。また、本研究で用いるBMIシステムを確立するためには、新しいハードウエア技術（脳計測回路など）とソフトウエア技術（ネットワークモデルなど）の協調が必要であり、さらに、心理学的な行動実験と神経生理学的な記録実験も協調させる必要がある。すなわち本研究は、情報工学、心理学、ネットワーク理論、神経科学という異なる分野を融合させた学際的研究である。これらは全て「移動知」の目的に合致し、その推進に貢献できると思われる。

Ⅳ．成果１（独自方法の開発）

まず、マルチニューロン活動の長期間記録法を確立し、さらにそれを個々のニューロン活動へと高精度に分離する自動的スパイク・ソーティングのシステムRASICA (Realtime and Automatic Sorting with Independent Component Anaysis) を開発した。これは特殊電極（ドデカトロード）と独立成分分析（ICA）を組み合わせたマルチニューロン活動記録解析システムであり、それを組み込んだBMIシステムを構築し活用した（図１）。

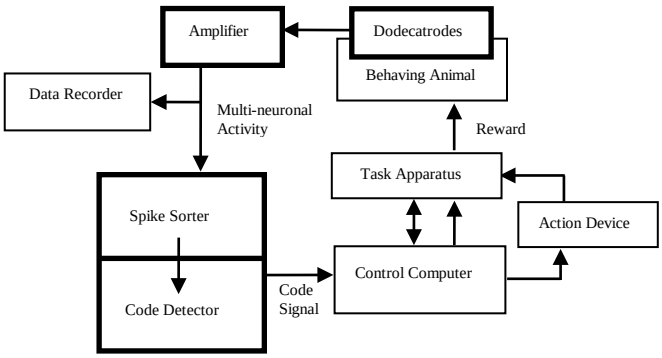


図１　BMIの全体システム。太枠内がRASICAに相当する。

次に、マルチニューロン活動を長期間にわたり安定して記録し続けるためのマイクロドライブと電極を開発した。また、数ヶ月にわたる長期間記録を保証するため、極小のポリカーボネイト（ＰＣ）ネジを頭蓋骨に埋め込む新たな手術法を開発した（図２）。ＰＣネジはデンタルセメント（レジン）および頭蓋骨との親和性が高いため、半年以上の長期間にわたり、マイクロドライブを頭蓋骨上に安定して固定出来た。

図２： 手術により固定用のＰＣネジを埋め込んだ状態。ＰＣネジは直径1.5ミリで、特殊なタップで頭蓋骨にネジを切った後に慢性的に埋め込む。この後で、電極の付いたマイクロドライブをデンタルセメントで固定する。

ラットの行わせる課題としては、まず最も基本的な自由反応課題（free operant課題）を中心に用いた（図３）。ラットが身体を使う場合、眼前にある小さな穴に鼻を入れる（ノーズポーク反応）ことで報酬を得ることが出来るが、BMIを介した課題では、穴の前には透明なアクリル版があり、特殊電極で検出されたマルチニューロン活動が身体運動の代わりとなり、餌を得ることが出来た。

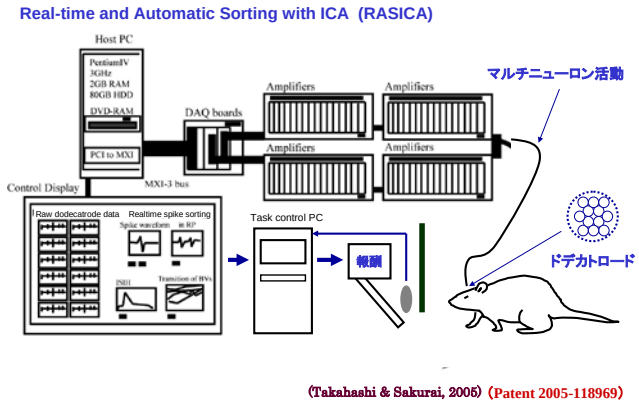


図３：自由反応課題におけるBMIシステム。特殊電極（ドデカトロード）と自動的スパイクソーティングシステム（RASICA）から構成されている。

また、ラットの移動行動を操作する目標接近課題と目標操作課題も開発し活用した（図４・５）。目標接近課題とは、ラットが反対側の壁へ移動して接近し、壁にある穴に鼻先を入れる（ノーズポーク）課題である。目標操作課題とは、同じ装置内で、ラットは自らが移動する代わりに、BMIを介したマルチニューロン活動により壁を接近させノーズポークする課題である。

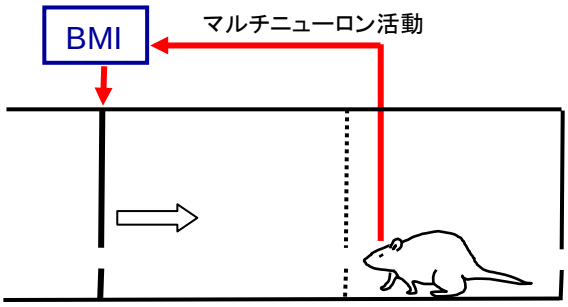


図４： 目標操作課題の概略図。マルチニューロン活動とBMIシステムが作る神経コードにより、左側の黒い壁（ノーズポーク用の穴があいている）がラットの方向へ接近する。

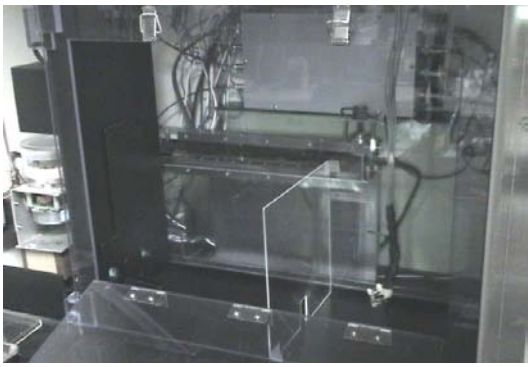


図５： 目標接近課題と目標操作課題用の装置の写真。左側の黒い壁（小さな穴が開いている）が、その後ろにある報酬ペレット提示装置と共に前方に移動する。

BMIを介し行動の代わりとした特定のニューロン活動を神経コード（neuronal code）と呼んだ。本BMIシステムは２種類の神経コードをリアルタイムに検出することができた。１つは一定時間内の発火頻度の加算値であり（発火頻度コード）、もう１つは一定時間幅でのニューロン間の同期発火である（同期発火コード）。これら２つのコードのいずれが行動の代わりとしてより機能するのか、また、各コードの機能とニューロンの種類や数との関係はどうかについて、解析を進めた。図６は発火頻度コードと同期発火コードの検出を示しており、特に複数ニューロンによるスパイ

クオーバーラップ問題を解決し同期発火を検出していることも示す。図７はBMIシステムを動作させ神経コードを検出しているコンピュータ画面である。

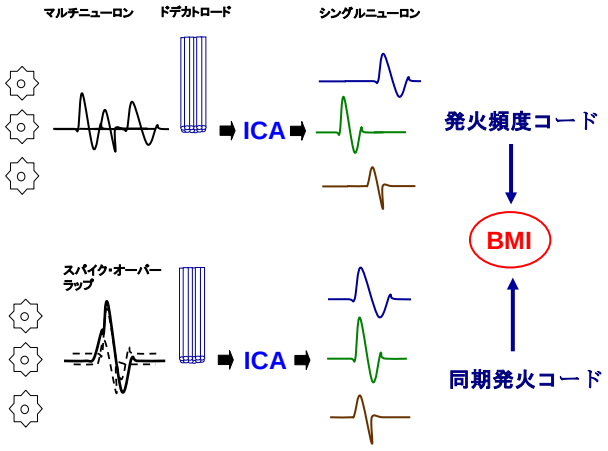


図６：RASICAによる発火頻度コードと同期発火コードの検出。ドデカトロードとICAを活用することで正確なスパイクソーティングと同期発火の検出が可能である。

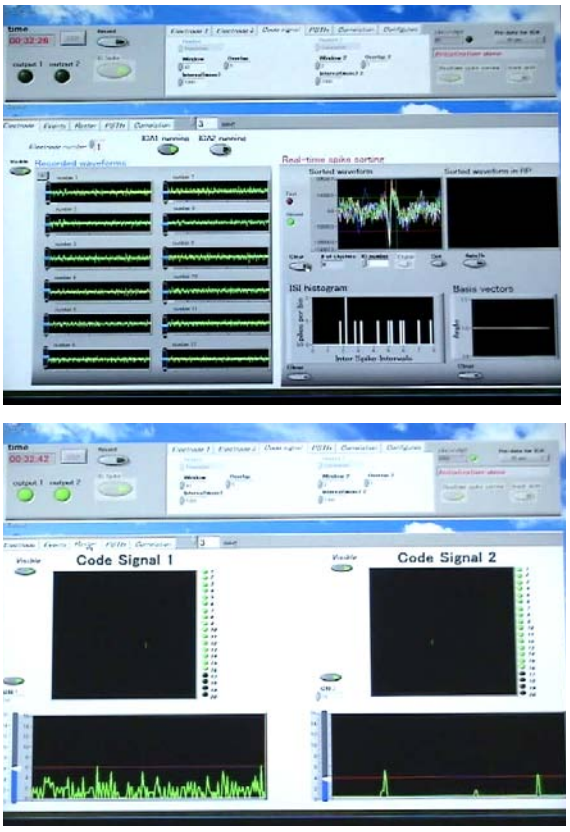


図７：RASICAによるBMIシステムのコンピュータ画面。上は12本の電極上のスパイクとICAで分離された個々のニューロンのスパイク波形を表示しており、下は分離された16個のニューロンによる発火頻度の加算値（画面左下）と同期発火の検出（画面右下）を表示している。

Ｖ．成果２（神経活動の変化）

自由反応課題において、BMIを介し行動の代わりとなったニューロン活動は、短時間で大きく増大した。図８は、行動による自由反応課題の結果（１日目）、発火頻度コードによる結果（２日目）、同期発火コードによる結果（３日目）である。縦軸は課題でラットが得た報酬量を示しているが、その増減は行動や神経コードの出現の増減を示している。記録部位は新皮質（運動野または体性感覚野）である。２日目の発火頻度コードは行動の代わりとして有効であり、コードの出現が増大すると共に報酬量も増大した。しかし３日の同期発火コードは有効でなく、コードの出現はほとんど増大しなかった。このことから、新皮質に関しては、ニューロンの発火頻度は神経コードとして有効であり、身体による行動の代わりとして機能し、報酬を得るために短時間で増大したが、同期発火は神経ードとして有効ではなく、行動の代わりとしては機能しないことがわかった。

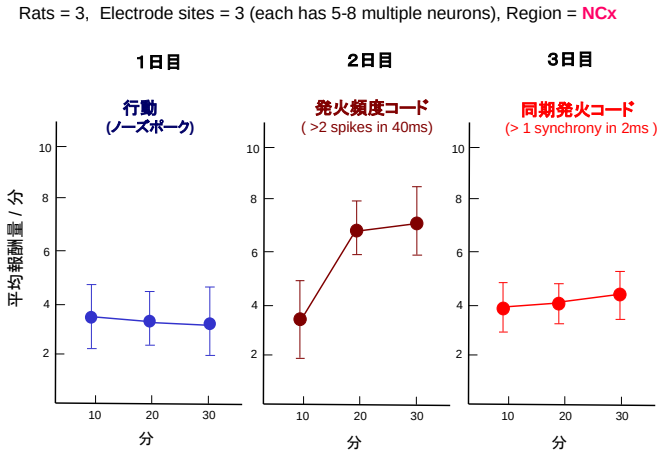


図８：行動と神経コードによる報酬量の変化。記録部位は新皮質。ラット３匹の結果を合わせている。発火頻度コードは、ニューロン集団（５～８個）が40ミリ秒間に２回以上発火すること、同期発火コードは、ニューロン集団内の２つ以上のニューロンが２ミリ秒以内に同期発火することである。

図９も同様のデータであるが、記録部位は海馬CA1である。２日目の発火頻度コードは有効であり、コードの出現が増大すると共に報酬量も増大した。また３日の同期発火コードも有効であり、コードの出現ははある程度増大した。このことから、海馬の同期発火は神経コードとして有効であり、身体による行動の代わりとして機能し、報酬を得るために短時間で増大することがわかった。

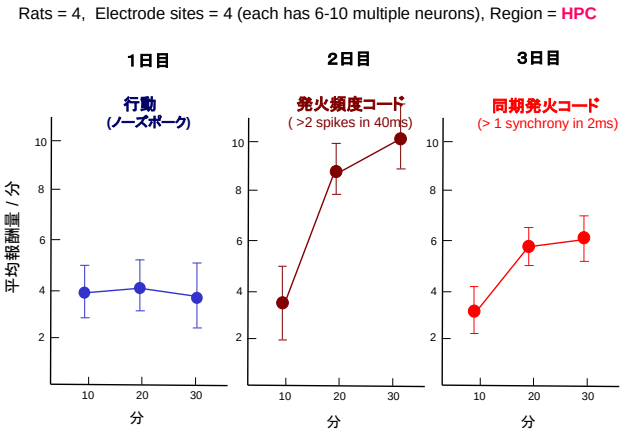


図９：行動と神経コードによる報酬量の変化。記録部位は海馬CA1。ラット４匹の結果を合わせている。

また、目標接近課題を行っている時と目標操作課題を行っている時の同じ海馬CA1のニューロン活動を解析した。目標接近課題ではそれらニューロン活動を記録しているだけであり、目標操作課題では、図８・９と同様の発火頻度コードにより壁を接近させた。図１０は、目標接近課題と目標操作課題をそれぞれ２日間訓練した際の発火頻度の変化である。目標操作課題においてのみ、すなわち海馬ニューロンの発火頻度により目標を操作し動作させる時のみ、発火頻度の増大が表れた。

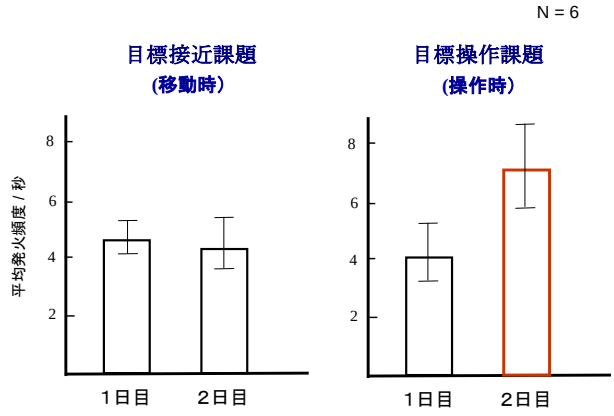


図９　目標接近課題と目標操作課題における海馬CA1ニューロンの発火頻度。目標操作課題では発火頻度コードにより壁を接近させた。

謝辞

本研究の実行と成果に関し、高橋晋氏（京都産業大学コンピュータ理工学部）、青柳富誌生氏（京都大学情報学研究科）、野村真樹氏（科学技術振興機構研究員）に心から感謝する。

主な文献

(1) Sakurai, Y., Takahashi, S. and Nomura, M. (2009) Dynamic changes of firing frequency and synchrony of the rat hippocampal neurons caused by BMI. *Proceedings of 3rd International Symposium on Mobiligence*, 206-210.
(2) Choi, K., Hirose, H., Sakurai, Y., Iijima, T. and Koike, Y. (2009) Prediction of arm trajectory from the neural activity of the primary motor cortex with modular connectionist architecture. *Neural Networks*, 22, 1214-1223.
(3) Takahashi, S. and Sakurai, Y.(2009) Information in small neuronal ensemble activity in the hippocampal CA1 during delayed non-matching to sample performance in rats. *BMC Neurscience*, 10, 115:1-11.
(4) Takahashi, S. and Sakurai, Y. （ 2009 ） Sub-millisecond firing synchrony of closely neighboring pyramidal neurons in hippocampal CA1 of rats during delayed non-matching to sample task. *Frontiers in Neural Circuits,* 3, 9:1-18.
(5) 櫻井芳雄 (2009) ブレイン・マシン・インタフェースと神経回路網の可塑的な再編成．*脳２１*，12, 42-47・
(6) 櫻井芳雄（2009） 脳と機械をむすぶーブレイン-マシン･インタフェースの目指すところ. *科学*, 79, 535-537.
(7) Takahashi, M., Lauwereyns, J., Sakurai, Y. and Tsukada, M. (2009) A code for spatial alternation during fixation in rat hippocampal CA1 neurons. *Journal of Neurophysiology*, 102, 556-567.
(8) Sakurai, Y. and Takahashi, S.(2008) Dynamic synchrony of local cell assembly. *Reviews in the Neurosciences*, 19, 425-440.
(9) 櫻井芳雄（2008）侵襲式ＢＭＩ（ブレインーマシン・インタフェース）の現状と課題．*日本機械学会誌*, 111, 916-919.
(10) Takahashi, S. and Sakurai, Y.（2007） Coding of spatial information by soma and dendrite of pyramidal cells in the hippocampal CA1 of behaving rats. *European Journal of Neuroscience*, 26, 2033-2045.
(11) Nomura, M., Sakurai, Y. and Aoyagi, T.(2007) Analysis of multineuron activity using the kernel method. *Journal of Robotics and Mechatronics,* 19, 364-368.
(12) 櫻井芳雄（2007）ブレインーマシン・インタフェースの現状と可能性． *システム/制御/情報*, 51, 464-472.
(13) Sakurai, Y., and Takahashi, S.（2006） Dynamic synchrony of firing in the monkey prefrontal cortex during working memory tasks. *Journal of Neuroscience*, 26, 10141-10153.

脳幹-中脳－基底核におけるやる気の生成、強化学習機構の解明

小林　康

大阪大学大学院・生命機能研究科・脳神経工学講座

概要　報酬に基づく強化学習理論では予測される報酬と実際に得られた報酬の差（報酬予測誤差）がどうやって計算されるかということが実験的、理論的に最も重要な問題の一つであると考えられている。脚橋被蓋核(PPTN)は脳幹の主要なアセチルコリン性細胞の核であり、古くから睡眠覚醒の調節、運動制御、注意や学習と関係が深いと考えられてきた[1]。2年間にわたる移動知による研究でPPTNのニューロン活動が、報酬予測誤差信号生成に重要な役割を果たしていることを示唆する神経生理実験データを得た。そして、研究成果をいくつかの学術雑誌に掲載[2-3]したので報告する。

I. 序論

中脳の黒質緻密部や腹側被蓋野のドーパミン細胞(DAcell)は報酬との連合で学習された手がかり刺激や報酬に対して一時的なバースト応答をすることによって大脳皮質、基底核などに報酬予測誤差（報酬に対する予測と現実に得られた報酬の差）を送り、強化学習における大脳皮質、大脳基底核でのシナプス可塑性を制御していると考えられている。

強化学習機構を解明する上で、「報酬予測誤差がDAcellでどのように計算されているのかということ」が生理学的、計算理論的に最も重要な問題の一つであると考えられる。DAcellはドーパミン放出によるシナプス可塑性の制御[5]という形で強化学習に重要な役割を果たしている。またDAcellはさまざまな部位から興奮性、抑制性（最近ではhabenulaなど）入力を受けているが、それぞれの入力信号の性質が計算論的に明らかにされていないために、いまだに報酬予測誤差の計算過程がわかっていない。

さらに、DAcellに対して興奮性入力がなければDAcellはバースト応答をすることが困難であるため、特にDAcellに対する興奮性入力の重要性が浮かび上がってくる。

脚橋被蓋核(PPTN)は脳幹の主要なアセチルコリン性細胞の核であり、古くから注意や学習と関係が深いと考えられてきた。PPTNが報酬情報処理に関係した大脳基底核、大脳皮質などから入力を受け、また、DAcellに対してPPTNが強力な興奮性入力を供給していることからPPTNからの興奮性入力が、DAcellにおける報酬予測誤差信号の生成に重要な役割を果たしていることが示唆される。

最近、従来の視床下核を標的にした脳内深部刺激（Deep Brain Stimulation, DBS）のみならず、PPTNを標的としたDBSがパーキンソン氏病による運動障害の改善に効果があるという報告が数多くなされている。また一方で、PPTNと学習や報酬情報処理の関係を示す知見が数多くなされている。これらの知見が相互に関係しているかどうかは今後の研究の発展を待たねばならないだろうが、ここでは特にPPTNの報酬情報処理機構に絞って議論したいと思う。

数多くの解剖学的、生理学的所見より、アセチルコリンシステムは中枢神経系におけるもっとも重要な神経伝達調節系のひとつであり、特に選択的注意などによってダイナミックに変化する神経活動を制御していると考えられている。

脚橋被蓋核(PPTN)はアセチルコリン、グルタミン酸作動性細胞を含み、脳幹のもっとも主要なアセチルコリン性細胞の核であり、古くから睡眠覚醒の調節、歩行制御、眼球運動、知覚、注意や学習と関係が深いと考えられてきた[1]。

解剖学的にPPTNは基底核群（視床下核、淡蒼球、 黒質など）と双方性結合をもっている。この基底核群との密接な結合関係から、最近ではPPTNが基底核群の一部として議論されることもある。さらに、PPTNは脳幹のカテコールアミンシステム（青班核：ノルアドレナリン作動性、 放線核：セロトニン作動性）とも双方的に結合がある。 この「基底核－PPTN－カテコールアミンシステム複合体」が随意運動や､様々な選択的注意に関係した行動をトリガーしていると考えられている。このように、高度な行動発現に対するPPTNの重要性を示す豊富な生理学、解剖学的知見に関わらず、PPTNの機能的重要性はよく理解されていない。また、PPTNは大脳基底核、視床下部外側野、大脳皮質、大脳辺縁系などから報酬関連入力を受け取り、またDAcellに多くの投射線維を送ること

が知られている。さらに、PPTNはDAcellに対して強力な興奮性シナプス入力を供給している。
また、PPTNの電気刺激によっておきるPPTNからのアセチルコリン放出によってDAcellのムスカリン受容体、ニコチン受容体の活性化が起こり、DAcellがphasicなバースト活動を引き起こすことなどから、PPTNからの興奮性入力がDAcellにおける報酬情報処理過程に重要な役割を果たしていることが示唆される。
最近のげっ歯類を使用した破壊実験と薬物投与実験によって、PPTNがさまざまな報酬による強化過程(摂食調節、ニコチン嗜癖、強化学習）に関与していることが示されている。また、PPTNを破壊するとDAcellが機能しなくなることが知られている。また、ネコを用いた生理実験によれば、PPTNが条件けされた手がかり刺激や報酬に関係した活動を示し、さらにリドカイン、ムシモルの局所注入によるPPTNの活動停止が一時的に動物の課題に対する動機付け(やる気、報酬への期待）を低下させることが示されている。
これらのさまざまな研究にも関わらず、報酬、動機付け（やる気）に基づく行動の制御という側面から見たPPTNの機能についてはこれまで詳しく調べられていない。眼球運動課題、特にサッケード課題では反応時間などが空間的注意や動機付けの影響を受けやすい[1]ので、動機付けに基づく行動の調節の解析に適していると思われる。本研究ではサルに手がかり刺激で報酬量を予測させるような視覚誘導性サッケード課題を行わせ、PPTNのニューロン活動を記録した[2]。

II. 実験方法
報酬条件付け視覚誘導性サッケード課題中のサルPPTNのニューロン活動記録

視覚誘導性サッケード課題において、サルは画面中央に呈示される注視刺激を一定時間注視し、その後注視刺激が消灯し画面周辺に標的が呈示されると、標的に向かってサッケードを行う。ただし一定時間注視し、正しくサッケードが行われた場合にのみ液体報酬が与えられる。我々は特に報酬による動機付けとの関連を調べるため、サルに手がかり刺激で報酬量の大小を予測させるような視覚誘導性サッケード課題（**図1A**）を行わせ、PPTNのニューロン活動を記録し、報酬予測誤差に対するPPTNのニューロン活動の寄与を調べた(**図1C**)。

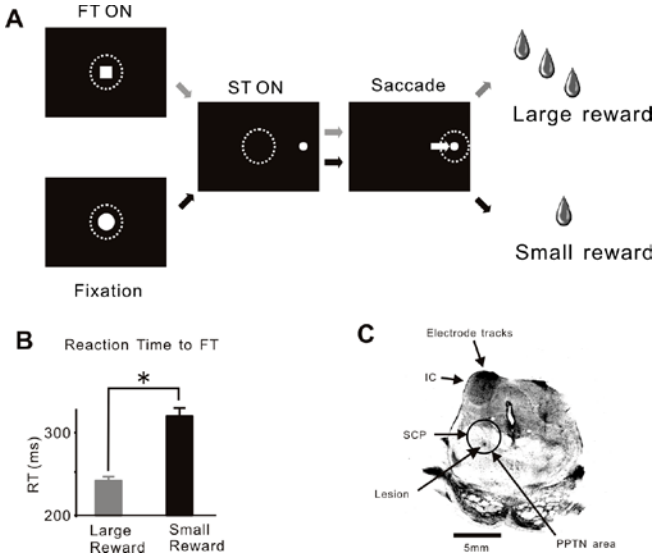


図1　実験方法の概要　(A) 報酬量予告サッケード課題：FT（注視刺激）の属性（形状や色など）によってサルに報酬量の大（■）小（●）が予告されている。(B) 予告報酬量によるST（サッケードターゲット）への反応時間の違い。(C)記録部位

III. 実験結果

サルに報酬量を予測させるサッケード課題をおこなさせると、手がかり刺激で期待される報酬量が多いと成功確率は高くなり、逆に報酬量が少なくなると成功確率は減少した。また、標的(ST)に対するサッケードの反応時間は大報酬が期待される試行では短くなった(図1C)。 このように、動物の報酬への期待を変化させるとPPTNのニューロン活動はどのようになるのだろうか。ニューロン活動記録の結果、PPTNにおいて、以下の2種類の報酬依存的なニューロン活動がそれぞれ独立したニューロン群から得られた。

1）　サルに報酬予告刺激を呈示すると活動が始まり、予測報酬量の大きさによって活動の大きさが変わる、課題終了まで続く持続的な活動（報酬予測反応：**図2A-C**）と、
2）　実際にサルに報酬が与えられると活動が始まり、実際に与えられた報酬量の大きさで大きさが変わる活動（実報酬反応：**図2D-F**）

この結果から脳内報酬予測の更新に必要な、記憶された予測報酬の情報と実際に得られた報酬の情報が、それぞれ分離独立した形でサル脳幹 PPTN に表現されているということが明らかになった。従って、報酬予測誤差計算に PPTN が重要な役割を果たしており、さらに DA neuron での報酬予測誤差計算過程に、報酬予測の短期記憶（ワーキングメモリー）情報と実報酬情報が関与している（短期記憶された報

酬予測情報と実報酬情報がPPTNで同時表現され、予測と現実の誤差が計算される）ということを明らかにした。

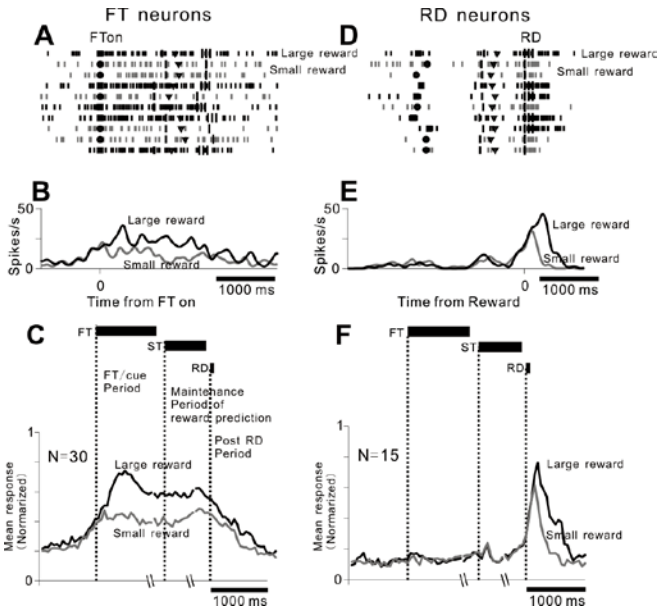


図2　PPTNで見つかった報酬予測反応と実報酬反応

A-C）予測報酬量の度合いによって大きさが変わるワーキングメモリー応答。

FT（注視刺激）の属性（形状や色など）によってサルに報酬量の大（黒）小（灰）が予告されている。ニューロン活動は予測報酬量の度合いによって大きさが変わる。また、報酬予告刺激が消灯し、報酬予告と無関係なサッケードを行っているときも報酬予測反応は持続されたままである。この応答は報酬が与えられ(RD)、課題が終了するまで持続される。

A, 黒線：大報酬が予測される試行の活動電位、灰：小報酬が予測される試行の活動電位（横軸：時間、縦軸：各試行, ■,●報酬量予告刺激:■報酬量大/●報酬量小,黒線：報酬量と無関係な周辺刺激呈示、▼報酬量と無関係な周辺刺激に向かうサッケード開始、青線:与えられた報酬（大3滴、小1滴））

B, ラスターグラム(A)を平均したもの。ラスターグラムの時刻は報酬予告刺激(FT)でそろえてある。

C, ３０個の報酬予測細胞のニューロン活動平均

D-F）実際に与えられた報酬に対する応答。

サルに実際に報酬が与えられた直後に起こり、与えられた報酬量（黒/大,灰/小）に従って大きさが変わるニューロン活動。このニューロン活動は報酬予測反応と違い短時間で終了する。また、課題の進行に従ってこの反応が変化することはない。

D, 黒：大報酬が予測される試行、灰：小報酬が予測される試行のラスターグラム

E, ラスターグラム(D)を平均したもの。ラスターグラムは報酬が与えられた時刻(RD)でそろえてある。

F, １５個の実報酬細胞のニューロン活動平均

FT: 報酬量予告刺激提示 ST: サッケード開始刺激提示 RD: ジュース報酬。

IV. 考察　PPTNの報酬情報処理

次に、これらのニューロン活動からPPTNにおける報酬情報処理について議論したい。PPTNで我々は動機付けに関係した（報酬予測的な）ニューロン活動を記録したが、このニューロン活動が強化学習に必要な報酬予測信号のどの要素（手がかり刺激と報酬量の連合、正確な報酬量、報酬タイミングの予測）を満たしているのか詳細に調べる必要がある。

ところで、PPTNはどこから動機付け、報酬予測に関連した信号を受け取っているのだろうか。　第一に興奮性信号は腹側線条体－腹側淡蒼球経路の二重抑制でやってくると思われる。この経路ではPPTNの興奮は二重抑制によって生じると思われる。

第二に興奮性信号源が扁桃体や視床下核である可能性が考えられる。また、第三に興奮性信号源が大脳皮質であるという可能性が考えられる。最近松村はパーキンソン氏病との関連からPPTNに対する大脳皮質由来（特に運動野）の入力に着目している。また、PPTNは帯状回や前頭葉から報酬予測信号を受け取っているのかもしれない。

また我々はPPTN　で報酬予測には無関係で、与えられた報酬に関係したニューロン活動を記録した。この実報酬信号は視床下部外側野からやってくると思われる。この経路は単シナプス性にPPTNを興奮させ、一過性のバーストを生じさせる。このPPTNでの一過性バーストがDAcellの「予期せぬ報酬に対する一時的な興奮性応答」を引き起こしているのかもしれない。今後このニューロン活動が強化学習に必要な実報酬信号のどの要素（報酬量の正確な計測、報酬予測との関連性）を満たしているのか詳細に調べる必要がある。

最近の研究から中脳のDAcellの活動が報酬予測誤差に関係しているということが示されてきた。それらの研究において、動物は刺激と報酬の条件付け学習を行っている。まず学習が初期の段階で、動物にとってある刺激による報酬の連合予測が不完全な状態では、DAcellは得られた報酬に対してのみ強力に反応する。また、条件刺激に対してはなんの反応も見られない。ところが学習が進行しある刺激による報酬の連合予測が完成していくと、DAcellにおける「与えられる量やタイミングが予測できる」、実際に与えられた報酬に対する反応がなくなり、さらに学習前には存在しなかった条件付け刺激に対する短潜時の一過性の応答が生じる。また、学習後、予期したはずの報酬が与えられない場合には報酬がもらえるはずの時点で抑制反応が見られる。

このようにDAcellは、「ある刺激によって量的、時間的に予想できる報酬に対しては、抑制性の報酬予

測信号によって得られた報酬に対する興奮性の報酬信号をうち消す」という形で予測報酬と実際に得られた報酬の差を検出している。

この、DAcellの特徴的な活動パターンはよく知られた計算モデルTD(temporal difference)理論で説明されている。TD理論においては、大脳基底核で生じた持続的な価値関数（手がかり刺激で生じ、報酬のタイミングで消滅するパルス上の報酬予測のワーキングメモリー(**図3**④)）が時間微分され、この時間微分された報酬予測信号（手がかり刺激によって一時的な興奮が起こり、報酬のタイミングで一時的な抑制が起きる）と興奮性の実報酬信号(**図3**③)が加算されて報酬予測誤差(**図3**①)としてDAcellで表現されていると考えられている。従来の時間差分的なTDモデルでは、DAcellに対する時間的に進んだ（速い）興奮性（大脳基底核内の二重抑制）の持続信号(**図3**④)と、時間的に遅れた（遅い）大脳基底核由来の抑制性の持続的信号(**図3**⑤)を加算することによって差分的に時間微分を実現している。これまでに示したサッケード中のサルのPPTNニューロン活動記録からわれわれは、DAcellに対する２種類の興奮性の信号（報酬予測信号(**図3**④)、実報酬信号(**図3**③)）が、PPTNからの直接の興奮性入力由来であると考える。では報酬予測的な抑制性の持続的信号(Fig. 4⑤)が存在すると仮定すると、その信号はどこから来るのであろうか。理論上は線条体からこの持続的な報酬量とタイミングの予測に関係した抑制性入力が一定の時間遅れでやってくると考えられている[38]が実体はまだ不明である。最近DAcellが量的にもタイミング的にも正確な報酬予測誤差を検出しているという報告がなされている。今後PPTNで報酬量とタイミング予測について詳細に調べ、報酬予測誤差計算過程においてPPTNが報酬量、タイミング予測に果たす役割について調べたい。

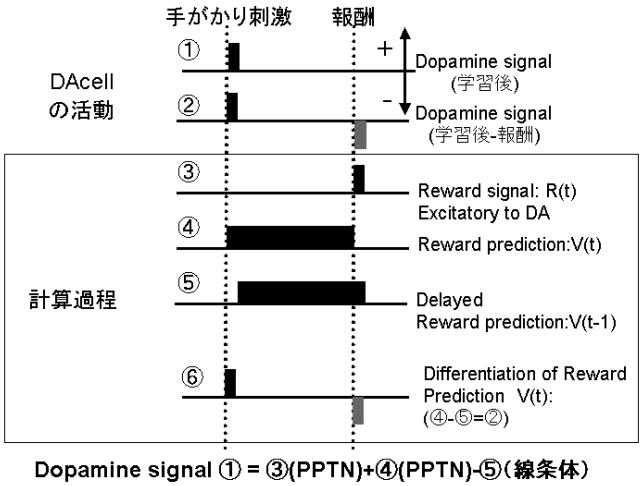


図3. DAcellの報酬予測誤差が計算される過程

参考文献

[1] **Y. Kobayashi**, Y. Inoue, M. Yamamoto, T. Isa, and H. Aizawa, "Contribution of pedunculopontine tegmental nucleus neurons to performance of visually guided saccade tasks in monkeys," *J Neurophysiol*, vol. 88, pp. 715-31, Aug 2002.

[2] K. Okada, K. Toyama, Y. Inoue, T. Isa, and **Y. Kobayashi**, "Different pedunculopontine tegmental neurons signal predicted and actual task rewards," *J Neurosci*, vol. 29, pp. 4858-70, Apr 15 2009.

[3] K. Okada, and **Y. Kobayashi**, "Characterization of oculomotor and visual activities in the primate pedunculopontine tegmental nucleus during visually guided saccade tasks," *Eur. J Neurosci*, vol 29 pp. 4858-4870, 2009.

移動知の基盤としての脊髄神経機構

関和彦

（国立精神神経センター･神経研究所・モデル動物開発部）

【はじめに】

私は平成19年度から22年度までの4年間、特定領域研究「移動知」において公募班員として活動した。この研究領域では「随意運動の制御における脊髄神経回路の機能解明」という研究テーマを軸に、覚醒行動下の霊長類の脊髄を対象とした実験的研究を進めてきた。当該研究期間のうち平成19年度は随意運動時の感覚情報処理の脊髄内機構、平成20年度は脊髄神経細胞群による随意運動時の筋活動生成様式、平成21年度及び22年度は脊髄単一細胞レベルでの筋活動生成様式について研究を進めてきた。移動知B班の研究テーマである適応的移動行動の発現や制御は中枢神経系の様々なレベルで行われていると想定される。その中で脊髄は運動器や感覚器から物理的に最も近く、感覚系の第一中継地点かつ運動系の最終中継地点という特徴を持っている。従って、脊髄における感覚情報処理はその後の中枢神経系における情報処理全てに影響を与え、一方脊髄における下降路などからの運動指令の修飾は発現される運動に直接的な影響を与える。従って脊髄は適応的行動制御の中枢のひとつと考える事ができるが、覚醒動物の運動出力の形成に脊髄がどのように関わっているのか、またその結果感覚器において生成される感覚情報が脊髄においてどのように制御されているのか、これらの点については実験的に明らかにする必要があった。4年という期間でこれらの問題について包括的な知識を供給することは不可能であった。しかし、それらを実験的に検証することが不可能ではないことを示すことができたと考えている。以下、個々の研究成果の概略をまとめる。

【研究方法の概要】

日本サルおよびアカゲサルを対象に実験を行った。行動訓練および記録実験の間、サルをモンキーチェアに座らせ、左手はイスに軽く固定した。また右腕も同様に肘部にて固定し、手首および指は伸展位にて、ﾏﾆﾋﾟｭﾚｰﾀﾞﾑ（タスク制御装置）に固定した。サルには手首屈曲伸展運動または精密把握運動の訓練を施し、実験に十分な試行回数を行えるようにさせた後、（１）頭部の動きを制限するための固定具、（２）前腕筋群の活動を記録するための筋電図電極、（３）末梢求心神経を刺激するためのカフ電極、および（４）脊髄からニューロン活動を記録するためのチェインバー(図1)、をそれぞれ外科的手術によって装着した。手術から回復後、次の手順で実験を行った。

まず、頭部に装着された固定具と脊椎に装着されたチェインバーをモンキーチェアに固定することによって、サルの動きを制限した。その後、脊椎チェインバーに、電極位置設定用のXY-stageおよび電極移動装置（マニピュレーター）を装着した。サルに運動課題を遂行させている間にマニピュレータによってガラス被覆を施

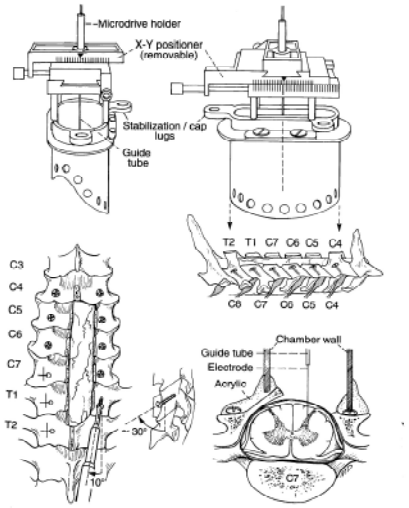


Fig. 1. Schematic diagrams of the surgical procedure for implanting a stainless steel chamber over a unilateral laminectomy of the C_5-T_1 vertebrae and of the system for advancing metal recording electrodes through the chamber into the spinal cord

したタングステン電極を脊髄内に挿入し、当該運動課題進行に応じて活動性の変化を示すニューロンを検索した。個々のニューロンへの入力の同定はカフ電極への電気刺激によって、またニューロンから運動神経核-筋への出力パターンはSpike-triggered averaging法によって同定した。

【随意運動にともなう感覚ゲーティングの脊髄内機構（平成19年度）】

Introduction: 動物は、自分をとりまく外部環境に関する必要な情報を得るために運動を行う。運動によって目的としている外部環境に到達し、その外部環境に関する情報を感覚受容器を用いて抽出し、それらが中枢神経系によって認知されるのである。「移動知」の概念として特徴づけられているこのような動物の動的な感覚抽出において最も重要な神経機構の一つは感覚神経系と運動神経系の相互作用であろう。つまりほとんどの場合、感覚情報の抽出は動的な運動の最中になされており、さらに末梢感覚受容器からの情報と運動指令に関わる情報は中枢神経系の様々なレベルで合流している事が知られている。古典的な生理学的研究ではこの感覚系と運動系の相互作用のうち、感覚→運動という情報の流れに焦点が当てられていた。例えば感覚入力が直接運動を引き起こす、脊髄反射や姿勢反射などはそのよい例である。しかし最近になって、運動→感覚という情報の流れ、つまり運動指令が感覚入力を制御している事を示唆する神経生理学的知見が多く報告されるようになった 。この場合、感覚入力はもはや受動的なものでなく、行っている運動によって強調されたり抑圧されたりといった制御の対象となる。つまり「動く」という行為自体がすでに感覚抽出の初期段階になっていると考えられる。平成19年度は、この運動指令系による感覚入力の制御の制御に関わる具体的な神経機構として脊髄内のシナプス前抑制の機能について調べた。

結果：皮膚神経刺激による単シナプス性応答のサイズは屈曲・伸展運動ともに動的運動時に小さかったが（$p < 0.05$）、一方ニューロンの発火頻度は動的運動時に最も大きかった。発火頻度がニューロンの興奮性を、単シナプス性ピークのサイズが刺激に対する応答性を反映していると考えると、この結果は皮膚神経からこれらのニューロンへの入力が、選択的に抑制されている事を示唆している。また、その抑制は筋電図開始前3-400msに始まることから、刺激に対する応答性の低下の一部は上位中枢からの運動指令に依存していると結論づける事が可能であった。最後に、上位中枢がどのような神経メカニズムを用いて皮膚神経入力を抑制しているかを、Wallの興奮性試験を用いて調べた。その結果、動的運動時に最も大きなシナプス前抑制が皮膚神経に引き起こされている証拠が得られた。以上の結果から、動的な運動時には皮膚神経から脊髄への入力がシナプス前抑制によって抑制され、そのシナプス前抑制の一部は上位中枢からの下降性指令によって、引き起こされていると考えられた。

【把握運動時における脊髄フィールド電位- 筋電図間のコヒーレンス（平成20年度）】

Introduction: ヒトやサルをはじめとする霊長類の中枢神経系では、神経細胞が周期的な活動を示す現象（発振、オシレーション）が数多く報告されている。特に、一次運動野におけるオシレーションが上肢運動制御と関連していることについて、多くの知見が存在している。例えば、手の示指と母指で物を把握する運動(精密把握運動)中に、サルの一次運動野から記録した局所電場電位(local field potential、LFP)がオシレーションを示すことが報告されている。また、このオシレーションが反対側の上肢筋活動と周波数領域での相関を示すことから（皮質-筋活動間コヒーレンス）、大脳皮質運動野において認められるオシレーションが把握運動の制御に機能的な役割を果たしていると考えられている。この皮質-筋活動間コヒーレンスの背景にある神経メカニズムとして、これまで大脳皮質でのオシレーションが下行路によって筋へと伝達されていることが考えられてきた。さらに近年になって、末梢からの求心性感覚入力が運動野のオシレーションの発生に関与していることが明らかになってきた。脊髄は、求心性感覚入力が下行性運動指令と一番初めに統合される部位である。特に脊髄介在ニューロンは、さまざまな運動中枢の下行性投射と末梢の求心性投射を収束して受けている(4)。従って、下行性・上行性のオシレーションが脊髄介在ニューロンでどのように統合されているのかを明らかにすることは、随意運動に関わるオシレーションの機能を理解する上で非常に重要であると言える。ところが、脊髄におけるオシレーションの存在およびその機能的な意義は現在までほとんど明らかにされていない。そこで平成20年度は、精密把握運動中のサル（図2）の脊髄からLFPを記録することで、脊髄においてオシレーションがどのように存在し

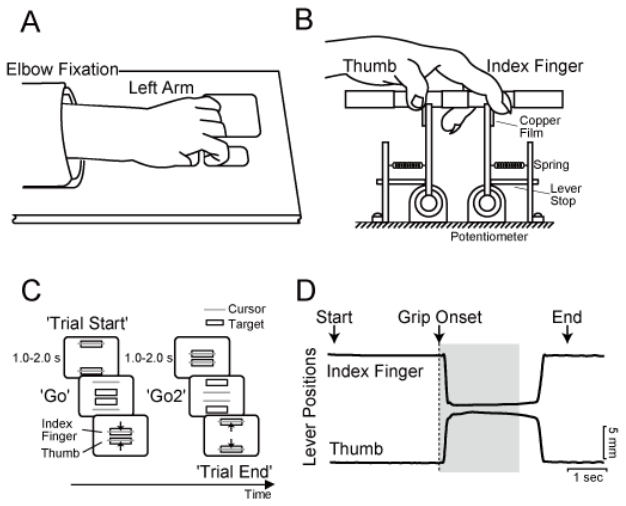


Fig. 2.
Experimental setup. A,B: diagrams of the custom-made manipulandum for the precision grip task in top view (A) and lateral view (B). C: Sequence of a trial. Lever positions were reported to the monkey as two visual cursor signals on the computer display (gray bars). Two target boxes were also displayed (black rectangles). D: Example of finger movements during a single trial. Upper arrows indicate the time point of each task event. Two traces show lever positions (upper: index finger, lower: thumb). Shaded area indicates the time range where frequency analyses were performed (from 0 to 2.048 sec after 'Grip Onset').

ているのか、また上肢運動制御においてどのような機能的な役割を持っているのかについて検討した。

結果：22箇所から記録された全てのLFPのうち、14箇所（64%）のLFPがオシレーションのピークを示し、これらのピーク周波数は全て10～30Hzの帯域に存在していた。また同時に記録された手内在筋（FDI）のEMGパワースペクトルは、両者ともに30Hz付近にピークを示していた。LFPおよびEMGのパワースペクトルにおいて、この２つペア間で相違は認められなかった一方、両者のコヒーレンススペクトルは大きく異なった特徴を示した。最初の例では、19～24.9Hzという非常に限局した周波数帯域で有意なコヒーレンスを示した(ピーク幅：5.9Hz、図中灰色部分)。一方、2つ目の例は、解析対象のほぼ全帯域にわたる周波数帯域で有意なコヒーレンスを示した（周波数帯域：10.3～95.2Hz、ピーク幅：85.0Hz)。次に、有意なコヒーレンスを示すLFP-EMGペア(n＝60組)を対象に解析を進めた。コヒーレンスのピーク幅は3～85Hzの範囲に広く分布し、かつ二峰性の分布をしていた。そこで、25Hzを基準として、より狭い帯域のピークを持つ群（narrowband（NB）群、n=50）と、より広い帯域でコヒーレンスを示す群（broadband（BB）群、n=10）にLFP-EMGペアを分類した。NB群は10～40Hzの帯域に限局した有意なコヒーレンスを示し、一方、BB群は10～95Hzにわたる有意なコヒーレンスを示した。このことから、脊髄-筋肉間コヒーレンスには10～40Hzに限局した狭帯域コヒーレンスと、10～95Hzにおよぶ広帯域コヒーレンスの二種類のタイプが存在することが示された。さらに解剖学的検索からNBコヒーレンスを示すLFPは0～3000μmまでの広い範囲から記録されるのに対して、BBコヒーレンスを示すLFPはより腹側の限局した部位（2000～3000μm）から記録された。以上の結果から、脊髄- 筋間のコヒーレンスに2モードの存在が確認された。そのうち、BBコヒーレンスは運動ニューロンが直接筋を動員するという生理学的事実を反映している一方、NBコヒーレンスは脊髄反射ループの振動性活動を介して動的筋力が制御されている事を示唆していた。

【把握運動の制御における脊髄介在ニューロンの役割（平成20-21年度）】

Introduction: 随意運動制御の神経機構を理解する上で最も困難な問題が、生体の筋骨格系の有する高度な冗長自由度である（1）。例えば、ヒトの手は39種類の骨格筋と27 種類の骨を有するため、物体を把握する際には目的物の形状や重さなどに応じて多数の筋の活動を同時に制御する必要がある。では、脳はこの高度な冗長自由度をどのように制御しているのであろうか？その仕組みの一つとして提唱されてきたのが「シナジー」、つまり上記の自由度がひとつの機能的単位として結合することによって多自由度の運動が制御されているという考え方である。そのシナジーの一つとして、運動に関連した多数の筋の共同的活動を生み出す筋シナジーの存在が想定されてきた。例えば把握運動では把握の種類に応じて必要な筋シナジーが存在し、脳は把握運動を行うために、個々の筋ではなくこの筋シナジーを制御する。筋シナジーを用いることによって、膨大であった自由度が脳によって制御可能なレベルに減少させることができるという考え方である。しかし、シナジーを生成する具体的な神経機構については現在までほとんど明らかにされていない。我々はこのような筋シナジーの形成に脊髄神経回路が関わっているという仮説をもとに2年間の研究を行った。

結果：３頭のサルの下位頸髄から、合計199個のニューロン活動が記録された。そのうち、大半のニューロンは運動に依存した発火頻度の変化を示した（n=160, 80%）。それらの変化が３つに大別できた。一つ目は動的運動時に発火頻度を変化させるタイプ（138/199、69%）、二つ目は静的張力維持時に発火頻度を変化さ

せるタイプ、そして三つ目に脱力相で発火頻度を変化させるタイプであった。１９９個のニューロンのうち、３つは運動ニューロンと同定された。本研究では脊髄介在ニューロンの活動を記録する必要があるので記録されたニューロンから運動ニューロンを同定し、データセットから除外する必要がある。そこで運動ニューロンの同定には以下の方法を用いた。まず、任意のニューロンの活動電位50個をトリガーに非整流筋電図を加算した。50個のトリガーは経シナプス的出力効果を評価するには少なすぎる事がすでに知られている。そこで、50個のトリガーで筋電図に興奮性の出力効果をもつニューロンは運動ニューロンとして解析から除外した。運動ニューロンとして同定された３つのニューロンは解析から除外し、残りの196個を用いて次の解析を行った。

解析対象となったニューロンそれぞれの活動電位を用いて、整流筋電図のSpike triggered averaging（STA）を行った。このSTA解析は合計3920のニューロン-筋ペアに対して行われた。そのうち、３０ニューロンが56の有意な筋出力を示した。その内訳は51ニューロンが促通効果、5ニューロンが抑制効果であった。さらにそれらの筋出力が純粋なスパイク後効果によるものか、または筋出力を示す他のニューロンの活動と単に同期しているだけなのかを調べた。両者はスパイク後効果の出現潜時および半減時間という二つの基準によって分類した[4]。21のニューロンによって生成された48のスパイク後効果がこの二つの基準を満たした。つまり、運動ニューロンに直接投射を持つニューロンにおけるスパイク後効果出現の最速潜時（脊髄への電気刺激(30μA以下)によって推定、手内筋4.7ms, 前腕筋3.7ms）より潜時が長く、さらに7ms以下の半減時間を示すスパイク後効果であった。これらのニューロンを我々は純粋な筋出力効果をもつpremotor介在ニューロンと定義した（PreM-INs）。

これら21　PreM-INｓの多く（13ニューロン、62%）は一つ以上の筋に出力効果を示していた。筋フィールドのサイズ（２）（単一PreM-INが何個の筋に出力を持っているか）は平均2.3個であった。その大多数（n=19）は促通性出力であり、残りの2ニューロンが抑制性出力効果を示していた。単一ニューロンの筋フィールドは主に手内在筋（4/13ニューロン、46%）または手内在筋- 外在筋間（4/13ニューロン、31%）において認められた。これらの筋は精密把握運動時に協調的に働く筋であった。以上の結果は脊髄ニューロン一つによっても、把握運動時に必要な筋群の共興奮を引き起こすことが可能なことを示唆していた。現在はこれらのニューロンと一次運動野に存在する皮質運動ニューロン細胞の筋支配パターンの相違について解析を進めている。この解析によって、筋シナジーが中枢神経系の複数領野によってどのように形成されているのかを明らかにする予定である。

【まとめ】

1.　動的な運動時には皮膚神経から脊髄への入力がシナプス前抑制によって抑制され、そのシナプス前抑制の一部は上位中枢からの下降性指令によって、引き起こされている事が示された。この実験によって随意運動時における脊髄内の感覚ゲーティング機構の一部が明らかになった。

2.　脊髄フィールド電位と筋電図活動間のコヒーレンスには二つのモードが存在することが明らかになった。そのうち、BBコヒーレンスは運動ニューロンが直接筋を動員するという生理学的事実を反映している一方、NBコヒーレンスは脊髄反射ループの振動性活動を介して動的筋力が制御されている事を示唆していた。

3.　脊髄介在ニューロンの多くは把握運動時に課題依存性の活動変化を示し、それらの一部において主に手内在筋または手外在筋の複数の筋への投射が確認された。この結果は脊髄ニューロン一つによっても、把握運動時に必要な筋群の共興奮を引き起こすことが可能なことを示しており、脊髄介在ニューロンが筋シナジー形成に関わる可能性を強く示唆していた。

【謝辞】

移動知B班の公募班員として活動させていただいた4年間の研究成果は本報告書にとどまらず、共同研究や領域会議を通じて多くの方々からご示唆やご議論をいただきました。この関連する方々に深謝いたします。

大脳基底核による最適運動制御

南部　篤

要旨―大脳皮質からの情報は、大脳基底核で処理された後、視床を介して再び大脳皮質に戻るというようにループ回路をなしている（大脳皮質―大脳基底核ループ）。大脳基底核の神経回路は、良く知られている直接路（大脳皮質―線条体―淡蒼球内節路）、間接路（大脳皮質―線条体―淡蒼球外節―視床下核―淡蒼球内節路）以外に、ハイパー直接路（大脳皮質―視床下核―淡蒼球内節路）があり、これらの３経路が、大脳基底核の出力核である淡蒼球内節の活動を変化させることにより、随意運動をコントロールしていると考えられる。大脳基底核が障害されると、パーキンソン病やジストニアなどの大脳基底核疾患において見られるように、随意運動の遂行が困難になる。これらの疾患の病態は、３経路を介した活動性のバランスが崩れることで、ある程度、説明がつく。一方、このような大脳基底核疾患において、大脳基底核の一部を小さく壊したり高頻度連続刺激を加えたり（脳深部刺激療法）すると、諸症状が改善されるが、そのメカニズムには不明な点が多い。

I. はじめに

大脳基底核（basal ganglia）は小脳とともに視床を介して大脳皮質の活動を制御し、随意運動やその他の高次脳機能をコントロールしている。大脳基底核は、大脳皮質の広い領域から入力を受けている。大脳基底核で処理された情報は、一部は脳幹に下行するものの、大部分は視床（thalamus, Th）を介して前頭葉を中心に大脳皮質に戻る。したがって、大脳皮質と大脳基底核は、大脳皮質―大脳基底核ループ（cortico-basal ganglia loop）を成している。

大脳基底核のうち線条体（striatum）が大脳基底核の入力部であり、大脳皮質から入力を受けている。線条体の投射ニューロンは伝達物質と投射部位によって、２種類に分けられる。これらのニューロンからなる以下の２種類の経路によって、線条体の情報は、出力部である淡蒼球内節（internal segment of the globus pallidus, GPi）と黒質網様部（substantia nigra pars reticulata, SNr）に送られる（図１）[1]。

１）直接路（direct pathway）：線条体の投射ニューロンのうち、GABA（γアミノ酪酸）、P物質を持っているニューロンが、直接、淡蒼球内節と黒質網様部に投射している経路。

２）間接路（indirect pathway）：線条体の投射ニューロンのうち、GABAとエンケファリンを持っているニューロンは、淡蒼球外節に投射している。淡蒼球外節（external segment of the globus pallidsu, GPe）と視床下核（subthalamic nucleus, STN）を順に経由して、多シナプス性に淡蒼球内節と黒質網様部に至る経路。

南部　篤、生理学研究所生体システム研究部門、総合研究大学院大学生理科学専攻、愛知県岡崎市明大寺町字西郷中３８(e-mail: nambu@nips.ac.jp)

II. ハイパー直接路：もうひとつの神経経路

ところで視床下核は大脳皮質より機能局在的な投射を受けており、線条体と同様に大脳基底核の入力部と考えられ[2,3]、直接路、間接路以外にも以下の経路が提唱された（図１）[4]。

３）ハイパー直接路（hyperdirect pathway）：大脳皮質から入力を受けた視床下核ニューロンが、淡蒼球内節・黒質網様部に投射している経路。ハイパー直接路は、大脳皮質からの興奮性入力を、直接路、間接路よりも速く淡蒼球内節・黒質網様部に伝えている。

実際、大脳皮質を電気刺激し、淡蒼球内節でニューロン活動の記録を行うと、早い興奮、抑制、遅い興奮の３相性の応答が記録される。様々な実験から、各応答成分は、それぞれ、ハイパー直接路、直接路、間接路を経由したものであることがわかってきた[5-8]。

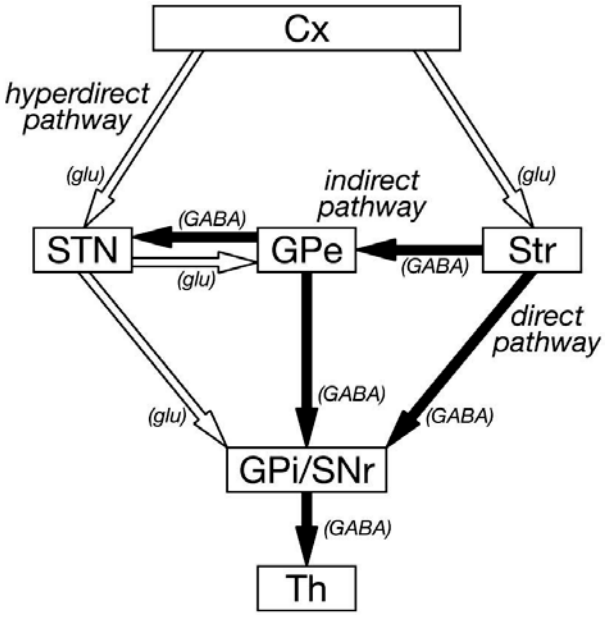


図１　大脳基底核を巡る神経回路
Cx：大脳皮質，DA：ドーパミン，direct pathway：直接路，GABA：γ-アミノ酪酸，glu：グルタミン酸，GPe：淡蒼球外節，GPi：淡蒼球内節，hyperdirect pathway：ハイパー直接路，indirect pathway：間接路，SNr：黒質網様部，STN：視床下核，Str：線条体，Th：視床。[4]を改変。

III. 淡蒼球内節の活動

淡蒼球内節は、大脳皮質からハイパー直接路、直接路、間接路を介して機能局在を保った投射を受けている。淡蒼球内節の上肢運動領域（淡蒼球内節の尾側で腹側２／３）のニューロンは、上肢の運動に際し活動を変化させる[9-12]。この活動変化は、線条体からのGABA作動性抑制性入力と視床下核からのグルタミン酸作動性興奮性入力、すなわちハイパー直接路、直接路、間接路からの入力を反映したものである。実際、これらの各入力が、淡蒼球内節の活動にどれほど貢献しているのかは不明である。しかし、上肢運動時の淡蒼球内節は、活動増加を示すニューロンの方が活動減少を示すものより多いことから[9-12]、視床下核からの入力の貢献が大きいと考えられる。

IV. 大脳基底核の機能

大脳基底核からの出力によって、投射先である視床ニューロンは常に抑制された状態にある（図２）。大脳皮質からの入力によって、線条体ニューロンが活動すると、線条体―淡蒼球内節・黒質網様部投射は抑制性なので、淡蒼球内節・黒質網様部ニューロンは一時的に抑制される。その結果、出力部からの連続した抑制が一時的に除かれ(脱抑制、disinhibition) され、投射先である視床ニューロンや、その先にある大脳皮質が興奮する。その結果、必要な運動が引き起こされる。

一方、ハイパー直接路や間接路は、淡蒼球内節・黒質網様部に興奮性の作用をもたらし、視床ニューロンに対する抑制を強めるように働く。各経路を介する伝達速度を考えると、まず、ハイパー直接路を介した情報が視床の活動を抑制し、次に直接路を介した情報が脱抑制し、最後に間接路を介した情報が抑制することになる。したがって、ハイパー直接路と間接路は、直接路によって引き起こされる運動の開始と終止を明確にしていると考えられる（図２）[4]。

ハイパー直接路、直接路、間接路は、このように時間的に働くばかりでなく、空間的にも働いている。解剖学的検索によれば、視床下核から淡蒼球内節への投射は、線条体からの投射に比べて、より広い領域で、細胞体の近い領域に終わっている。したがって、直接路は視床の限られた領域を脱抑制するのに対し、ハイパー直接路や間接路のように視床下核を経由する経路は、淡蒼球内節・黒質網様部の広い領域を興奮させ、したがって視床の広い領域を抑制することになる。すなわち、ハイパー直接路や間接路を介するシグナルは、引き起こされる運動とは関わらない視床の周辺領域を抑制し、不必要な運動を抑制している（図２）[4, 13-15]。

このように、ハイパー直接路、直接路、間接路を介するシグナルは、空間的、時間的に投射部位の活動に影響を与え、必要な運動を適切なタイミングで引き起こし、逆に不必要な運動を抑制するのに役立っている。

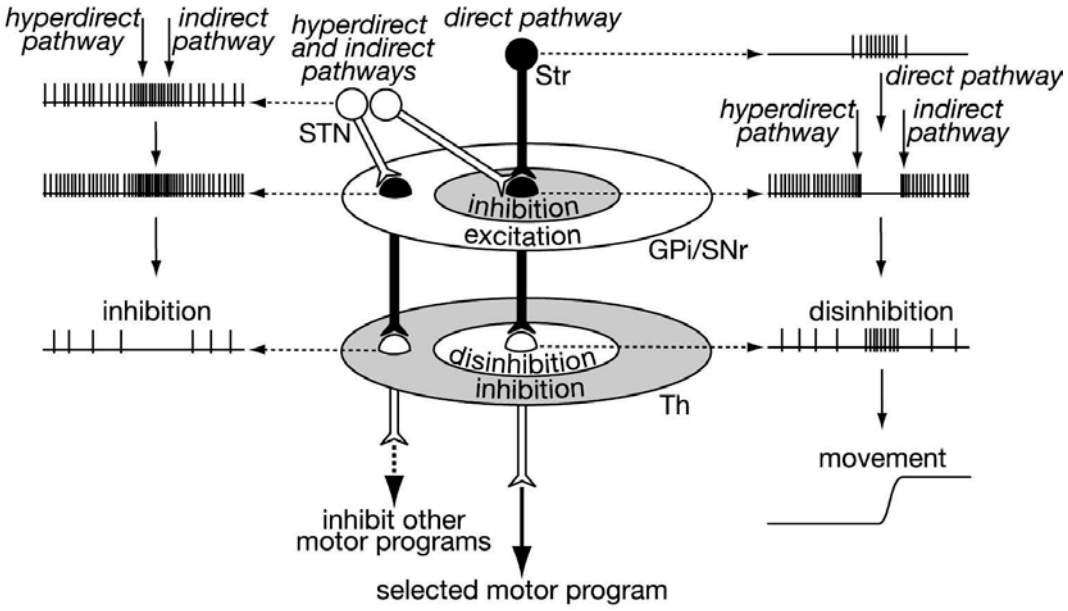


図２　大脳基底核の機能

随意運動の際の、線条体（Str）、視床下核（STN）、淡蒼球内節・黒質網様部（GPi/SNr）、視床（Th）の活動性の時間的分布を図の両側に、空間的分布を図の中央に示す。直接路（direct pathway）は、淡蒼球内節・黒質網様部のうち、必要な運動に関連している領域（中央部分）を抑制し、その結果、視床を脱抑制（disinhibition）することによって必要な運動のみを引き起こす。ハイパー直接路（hyperdirect pathway）と間接路（indirect pathway）は、淡蒼球内節・黒質網様部に、時間的・空間的に広い興奮をもたらす。その結果、視床の中央部分において、運動の開始と終了を明確化するとともに、それ以外の視床の周辺部において抑制を強め、不必要な運動を抑制していると考えられる。[16]を改変。

V.　大脳基底核疾患の病態

大脳基底核疾患は、運動量の多寡によって、運動開始や遂行が困難になる運動減少疾患（hypokinetic disorder）と、不随意運動を伴う運動亢進疾患（hyperkinetic disorder）とに大きく分けられる。また、筋緊張も、正常と比べて、亢進するか低下している。現在の説によれば、大脳基底核疾患の病態は、直接路と間接路のバランスが崩れ、大脳基底核の出力部の発射頻度が変化することにより、説明されている[17, 18]。たとえばパーキンソン病（Parkinson disease）の場合、黒質緻密部のドーパミン作動性ニューロンが変性・脱落し、ドーパミンによる線条体の直接路ニューロンへのドーパミンD1受容体を介した興奮性入力と、間接路ニューロンへのD2受容体を介した抑制性入力が無くなる。その結果、下流である淡蒼球外節の平均発射頻度低下、淡蒼球内節・黒質網様部の平均発射頻度亢進を招き、最終的に視床、大脳皮質運動野の活動が低下し無動や寡動を来す。

しかし、線条体ニューロンは自発発射が殆どないので、このような変化は線条体ニューロンや、その下流である淡蒼球外節・内節、黒質網様部ニューロンの平均発射頻度に与える影響は少ないと考えられる。一方、前節での大脳基底核のモデルを援用することにより、大脳基底核疾患の病態を次のように説明することができる。パーキンソン病の場合、実際に運動を遂行しようとして大脳皮質から線条体に入力が入ると、正常と比べて直接路のニューロンが興奮しにくく、間接路のニューロンが興奮しやすくなっている。このような変化によって、淡蒼球内節の抑制が減少し、また周辺の興奮が増大し、その結果、視床を十分、脱抑制できなくなり、無動や寡動が出現する（図３左）。

一方、運動亢進疾患の場合、ハイパー直接路と間接路の興奮性低下（ヘミバリスムで視床下核が破壊された際、あるいはハンチントン病で線条体―淡蒼球外節投射ニューロンが脱落した際）、あるいは直接路の活動性亢進（ジストニアの際）[19]により、大脳皮質の小さな活動が、淡蒼球内節に大きな抑制をもたらし、その結果、視床や大脳皮質を脱抑制するとともに、これらを十分抑制できなくなり、不必要な運動が不適当なタイミングで起こるようになり、これが不随意運動と解釈される（図４右）。

VI. 定位脳手術の治療メカニズム

パーキンソン病に対して淡蒼球内節や視床下核をターゲットとした脳深部刺激療法（deep brain stimulation, DBS）が広く行われるようになってきた[20-23]。パーキンソン病では運動時の視床下核および淡蒼球内節の活動性が増強しているため、視床下核を破壊することにより、症状が改善されると考えられる。

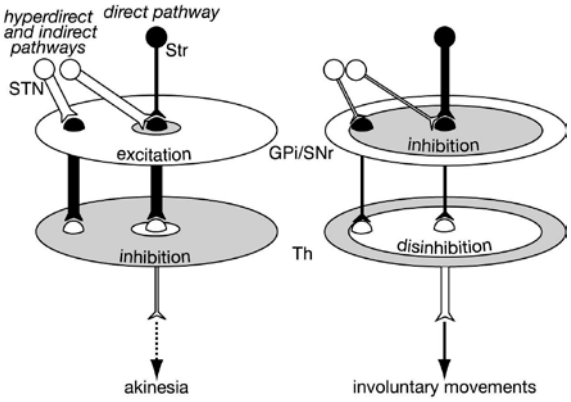


図４　大脳基底核疾患の病態
左、パーキンソン病の際には、直接路の活動性低下、ハイパー直接路・間接路の活動性亢進により、淡蒼球内節・黒質網様部の抑制が減少し、その結果、視床の脱抑制も減少し、運動を起こせなくなる、すなわち無動（akinesia）が生じる。右、ジストニアの際には、直接路の活動性亢進により、淡蒼球内節・黒質網様部の抑制が増大し、その結果、視床の脱抑制も増大し、不必要な運動が不適当なタイミングで引き起こされる、すなわち不随意運動（involuntary movement）が生じる。

一方、DBSの作用メカニズムは良くわかっていない。DBSには、通常、持続時間の短い（数十μs）高頻度（100Hz以上）刺激が用いられる。電極面積が広いため（約6mm^2）、1mA程度の電流が流れると考えられるが、電流密度は低い。このような高頻度連続刺激が、局所のニューロン活動を抑制することによって症状を改善させるという考えと、興奮させることによって症状を改善させるという全く相反する考えがある[23]。現在、それぞれを支持する実験結果や説などが出ているが、まだ決着がついていない。パーキンソン病では運動時の視床下核と淡蒼球内節の活動性が亢進しているが、DBSを加えることにより、そのような亢進した活動が次の核に伝達されるのをブロックすると解釈した方が良いかもしれない。

一方、ジストニアとくにDYT1ジストニアに対して淡蒼球内節をターゲットとしたDBSが著効を示すことがわかり、治療の第一選択となりつつある。しかし、ジストニアの際には、淡蒼球内節の活動性が下がっているのに、DBSがなぜ効果があるのか、そもそも局所のニューロンを抑制しているのか興奮させているのか、パーキンソン病に対するDBSの作用機序と同じなのか、不明である。ジストニアの症状が改善するには、数週から数ヶ月かかることから、何らかの可塑的な変化を伴っているのかもしれない。

VII.　おわりに

大脳基底核がどのような機能を果たしているのか、大脳皮質や小脳などと比べると、以前はよくわからない点が多かった。しかし、この２０年間で、大脳基底核に関する研究が飛躍的に進展してきた。これらの成果をもとに、大脳基底核の機能、および大脳基底核の

病態・治療法などに関して、統一的に説明しようと試みた。しかし、線維連絡を単純化しすぎていたり、説明のつかない現象も多い。

文献

[1] Alexander GE, Crutcher MD (1990) Functional architecture of basal ganglia circuits: neural substrates of parallel processing. Trends Neurosci 13 : 266-271

[2] Hartmann-von Monakow K, Akert K, Künzle H (1978) Projections of the precentral motor cortex and other cortical areas of the frontal lobe to the subthalamic nucleus in the monkey. Exp Brain Res 33 : 395-403

[3] Nambu A, Takada M, Inase M, Tokuno H (1996) Dual somatotopical representations in the primate subthalamic nucleus: evidence for ordered but reversed body-map transformations from the primary motor cortex and the supplementary motor area. J Neurosci 16 : 2671-2683

[4] Nambu A, Tokuno H, Takada M, (2002) Functional significance of the cortico-subthalamo- pallidal “hyperdirect” pathway. Neurosci Res 43 : 111-117

[5] Yoshida S, Nambu A, Jinnai K (1993) The distribution of the globus pallidus neurons with input from various cortical areas in the monkey. Brain Res 611 : 170-174

[6] Nambu A, Tokuno H, Hamada I, Kita H, Imanishi M, Akazawa T, Ikeuchi Y, Hasegawa N (2000) Excitatory cortical inputs to pallidal neurons via the subthalamic nucleus in the monkey. J Neurophysiol 84 : 289-300

[7] Kita H, Nambu A, Kaneda K, Tachibana Y, Takada M (2004) Role of ionotropic glutamatergic and GABAergic inputs on the firing activity of neurons in the external pallidum in awake-monkeys. J Neurophysiol 92 : 3069-3084

[8] Tachibana Y, Kita H, Chiken S, Takada M, Nambu A (2008) Motor cortical control of internal pallidal activity through glutamatergic and GABAergic inputs in awake monkeys. Eur J Neurosci 27 : 238-253

[9] Georgopoulos AP, DeLong MR, Crutcher MD (1983) Relations between parameters of step-tracking movements and single cell discharge in the globus pallidus and subthalamic nucleus of the behaving monkey. J Neurosci 3 : 1586-1598

[10] Hamada I, DeLong MR, Mano N (1990) Activity of identified wrist-related pallidal neurons during step and ramp wrist movements in the monkey. J Neurophysiol 64 : 1892-1906

[11] Nambu A, Yoshida S, Jinnai K (1990) Discharge patterns of pallidal neurons with input from various cortical areas during movement in the monkey. Brain Res 519 : 183-191

[12] Turner RS, Anderson ME (1997) Pallidal discharge related to the kinematics of reaching movements in two dimensions. J Neurophysiol 77 : 1051-1074

[13] Mink JW, Thach WT (1993) Basal ganglia intrinsic circuits and their role in behavior. Curr Opin Neurobiol 3 : 950-957

[14] Mink JW (1996) The basal ganglia: focused selection and inhibition of competing motor programs. Prog Neurobiol 50 : 381-425

[15] Hikosaka O, Takikawa Y, Kawagoe R. (2000) Role of the basal ganglia in the control of purposive saccadic eye movements. Physiol Rev 80 : 953-978

[16] Nambu A (2007) Globus Pallidus internal segment. In: Tepper JM, Abercrombie ED, Bolam JP (ed) GABA and the Basal Ganglia: From Molecules to Systems, Prog Brain Res 160. Elsevier, Amsterdam, pp135-150

[17] Albin RL, Young A B, Penney, JB (1989) The functional anatomy of basal ganglia disorders. Trends Neurosci 12 : 366-375

[18] DeLong MR (1990) Primate models of movement disorders of basal ganglia origin. Trends Neurosci 13 : 281-285

[19] Chiken S, Shashidharan P, Nambu A (2008) Cortically evoked long-lasting inhibition of pallidal neurons in a transgenic mouse model of dystonia. J Neurosci 28: 13967-13977

[20] Bergman H, Wichmann T, DeLong MR (1990) Reversal of experimental parkinsonism by lesions of the subthalamic nucleus. Science 249 : 1436-1438

[21] Hashimoto T, Elder CM, Okun MS, Patrick SK, Vitek JL (2003) Stimulation of the subthalamic nucleus changes the firing pattern of pallidal neurons. J Neurosci 23 : 1916-1923

[22] Jahanshahi M, Ardouin CMA, Brown RG, Rothwell JC, Obeso J, Albanese A, Rodriguez-Oroz MC, Moro E, Benabid AL, Pollak P, Limousin-Dowsey P (2000) The impact of deep brain stimulation on executive function in Parkinson's disease. Brain 123 : 1142-1154

[23] Lozano AM, Dostrovsky J, Chen R, Ashby P (2002) Deep brain stimulation for Parkinson’s disease: disrupting the disruption. Lancet Neurol 1 : 225-231

筋活動パラメータに基づいた神経疾患の定量的評価

李　鍾昊，鏡原康裕，筧　慎治

要旨−本論文では，手首運動を用いて神経疾患における異常運動の病態を定量的に評価する新しい方法を提案する。具体的には、パーキンソン病や小脳疾患における運動機能を表面筋電図信号に基づいて運動指令レベルから定量的に把握することを目指した．つまり疾患の病態をより根本的に評価するには、動きの原因である運動指令（筋活動）の異常を捉えることが望ましい．そこで我々は、手首運動を利用して異常運動だけではなく、その原因である筋活動の異常を同時に分析できるシステムを開発し、手首運動に関わる4個の筋活動（ECR、ECU、FCU、FCR）の中に、異常運動を十分に説明できる情報が含まれていることを確認した．今回は、4個の筋活動から各疾患における病態の評価及び診断に有用なパラメータを抽出することを試みた．これらのパラメータは単独でも筋活動のパターンを特徴付ける固有の機能的意味を持つが、組み合わせて評価することにより、疾患の位置づけや治療のナビゲーションへの応用等で有用性が増すと期待される．

I.　はじめに

従来神経疾患における定量的運動機能評価は専ら上肢運動の「動き」情報を分析し、各疾患における上肢運動機能を評価してきた[1,2]．つまり小脳疾患やパーキンソン病に対する運動失調，振戦など，異常運動の「動き」の評価について定量性の向上が図られた．しかし、手先の軌道の異常を捉えただけでは、不良設定性の問題により、その原因である関節の動き、更には筋活動（＝運動指令）の異常にさかのぼることは原理的に不可能であるため、動きをいくら高精度で分析しても異常運動の中枢機序に迫ることはできない。つまり、神経疾患の病態をより根本的に評価するには、「動き」の原因である運動指令（筋活動）の異常を捉えることが必要である[3,4]．そこで，我々は手首運動を用いて神経疾患における異常運動と筋活動の異常を分析できる定量的運動評価システムを構築し、手首の4個の主動筋の筋活動パターンの中に，手首の異常運動を十分に説明できる情報が含まれていることを確認した．さらに手首運動における原因の筋活動と結果の動き成分の因果関係を関節トルクレベルから同定を行い、異常運動を原因の運動指令である筋活動から詳細に分析できるようになった[5]．

そして本論文では、次のステップとして、種々の神経疾患における運動機能を表面筋電信号に基づいて運動指令レベルから定量的に把握できる方法を確立することを目指した．具体的には、4個の筋活動から小脳疾患やパーキンソン病における病態の評価及び疾患の診断に有用なパラメータを抽出した．特に、これらのパラメータは単独でも筋活動のパターンを特徴付ける固有の機能的意味を持つが、組み合わせて評価することによって疾患の位置づけや治療効果の視覚化ができるようになった．

李　鍾昊，筧　慎治 @(財)東京都医学研究機構　東京都神経科学総合研究所 認知行動研究部門 (e-mail:kakei-sj@igakuken.or.jp)．
鏡原康裕 @東京都立神経病院,脳神経内科.

II.　実験方法

A.　対象と実験内容

対象は，臨床的に小脳失調症を有する患者５名(平均年齢64.0歳；脊髄小脳変性症２名，多系統萎縮症２名，多発性硬化症1名)とパーキンソン病の患者４名（同70歳），神経疾患の既往のない健康成人６名（同47.17歳）を動員した．被験者全員において実験に先立って内容を説明して理解していただき，口頭あるいは書面による同意を得た．

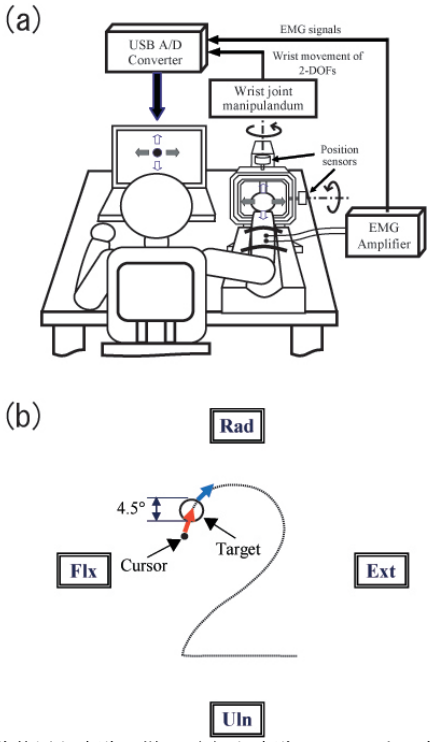


図１．実験装置と実験の様子（a）と実験タスクである指標追跡運動(b)

本研究で用いた実験装置である手首運動評価システムの概要と実験の様子を図１(a)に示す。被験者は椅子に座り、前腕を支持台に載せ、右手で人間用の手首関節マニピュランダムをつかむ。マニピュランダムに付いている２個の位置センサーにより手首関節の動きが計測され、被験者は手首の動きに連動する画面上のカーソルを上下左右に操作して実験課題を行う。この際、手首関節の動きと4チャネルの筋電信号を２KHzサンプリングレートで同時に記録および解析する簡単な仕組みをもつシステムである。実験タスクとして、被験者に等速（平均速度：6.2deg/sec）で動くターゲットを追跡する手首

運動を行うようにする．運動の開始点はモニターの左上（X=-10°，Y=8°）である。最初に、モニターの左上にターゲットが表示されると、被験者は手首を動かして連動するカーソルを開始点に移動しそこに保持する。3秒後、ターゲットがほぼ等速で数字２の軌道を描きながら動き始めるので、被験者は手首を動かして動いているターゲットの中に可能な限りカーソルを保ち続けるように指示した。各被験者はこのタスクを十分に理解できるように2－3回練習した後、5回ずつの本番のトライアルを行った。

その際，2自由度の手関節の位置と手首運動に関わる4個の主動筋（橈側手根伸筋(ECR)，尺側手根伸筋(ECU)，尺側手根屈筋(FCU)，橈側手根屈筋(FCR)）の活動を同時に記録した．筋電図は，一対の銀塩化銀表面電極を用いて表面電位を双極誘導し，差動増幅した筋電図を2kHz，12bit でサンプリングした．電極の直径は5mmで，電極間の距離が10mm となるように筋線維に沿って貼った．特に表面電極による筋電図記録では、記録されている筋肉の同定が重要である。我々の実験系における同定の信頼性を評価するために、予備実験として一人の被験者において表面筋電図とワイヤー電極による表面電極直下の筋肉からの直接記録と比較し、筋肉の同定と表面筋電図による記録の有効性を確認した．

B. 表面筋電図と運動指令

中枢神経系からの運動指令は脊髄運動ニューロンに到達し，筋肉を収縮させる．この筋肉収縮の興奮電位を皮膚上で計測したものが表面筋電図(以下筋電図)であり，測定した筋電図信号は、活動電位に対する筋収縮の遅れを補正するためにローパスフィルターを通す．このフィルターは神経生理学的な研究から，2次のローパスフィルターで十分なことが知られている[7]．また、この筋電図の大きさは筋張力と比例関係にある．しかし，測定した筋電図は皮膚抵抗や電極位置により記録される信号の大きさが異なるため，そのままでは定量的な分析には適当でない．そこで筋電図の大きさを関節トルクの値に換算する正規化を行った．各筋肉の最大活動方向(Preferred direction)に基づいて等尺性収縮時の関節トルクが0.8Nmのときの筋電図が1になるように正規化した．さらに正規化された筋電図を全波整流した後、２次のローパスフィルター（cut-off frequency: 2.2Hz)[8]を通して筋肉の推定張力を求めた。本研究では、以上のような処理を経た各筋肉の筋電図を脳から筋肉へ送られた運動指令とみなして解析を行った。

III. 実験結果

A．筋活動の異常パターンとパラメータ

健常被験者と小脳疾患の患者さんの指標追跡運動における軌道と筋電図信号の一例を図２に示す。図２(a)に示されたように、手首の動く方向に必要な筋肉だけを適切に活性化し、動くターゲットの中にカーソルを入れるなど、滑らかな追跡運動を行っている．その半面、小脳疾患の患者さんの場合は、主動筋の選択やその切り替えが悪いなどの異常な筋活動による軌道のブレを防ぐために、患者さんは追跡運動前も運動中も、全ての筋肉の活動を高く保つ同時活性化が起こっている．その結果、軌道の乱れや滑らかな追跡運動が無くなり、不規則的なステップ型の追跡運動[9]が見られている．つまり本研究で行った指標追跡運動はターゲットが滑らかに動くため、滑らかな運動指令(筋活動)の変化が要求される．またこのタスクをエネルギー消費の観点からみると、主動筋と拮抗筋の活動のコントラストが最大し、消費エネルギーを最小化することが理想的である。そこで我々は筋活動の変化や効率性の

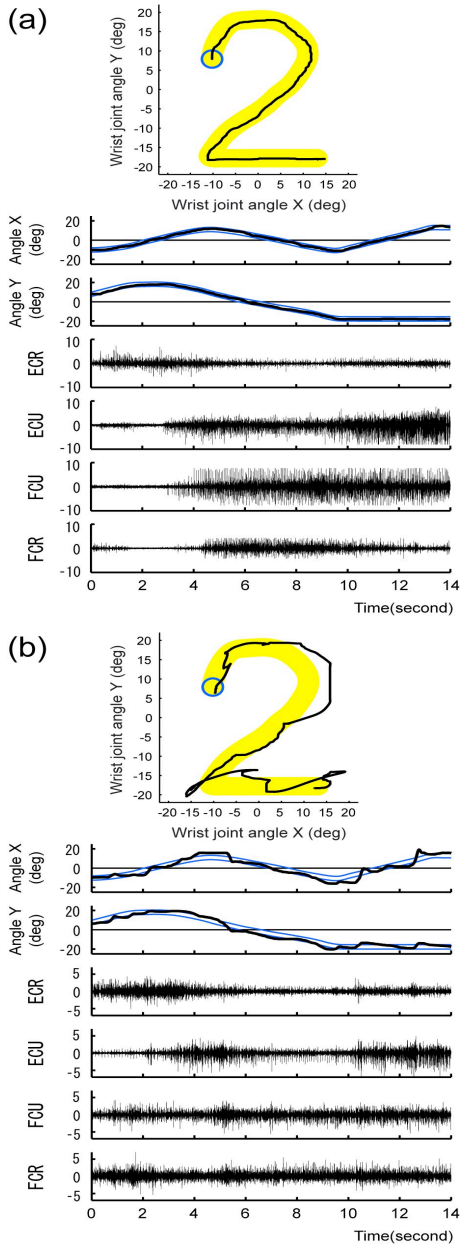


図２． 指標追跡運動における軌道と筋電図信号．(a)健常被験者の例． (b)小脳疾患の患者の例．

概念に基づいて神経疾患の異常筋活動パターンを特徴づける３つの筋活動パラメータ：総筋活動変動率(Variability of Total Contraction, VTC)、筋活動の方向性 (Directionality of Muscle Activity, DMA)、総筋トーヌス(Total Muscle Tonus, TMT)を抽出した．

1) 総筋活動変動率(Variability of Total Contraction, VTC)

総筋活動変動率(VTC)は各筋肉が出しているトルクの大きさの総和の変動率を表す。まず各筋肉が出しているトルクを式(1)のように計算する．

$$|\vec{T}_{Muscle}| = \sqrt{(a_x^{Muscle})^2 + (a_y^{Muscle})^2} \times e_{Muscle}(t) \qquad (1)$$

ここで、a_x^{Muscle} (≧0)とa_y^{Muscle} (≧0)は筋張力から関節トルク(X成分とY成分)に変換する筋骨格系のパラメータである.

$$VTC = \frac{\int\left(\sum_{Muscle=1}^{4}\left|\frac{d(|\vec{T}_{Muscle}|)}{dt}\right|\right)dt}{t} \quad (2)$$

そして、式(2)に示されたように、4個の筋活動(筋張力)の総和の瞬間変動の大きさを計算し、運動時間に対する平均値で求める.

2) 筋活動の方向性 (Directionality of Muscle Activity, DMA)

筋活動の方向性(DMA)は筋活動から求めた手首関節のトルクの大きさと各筋肉が出しているトルクの大きさの総和との比率で評価する.

まず式(3)を用いて4個の筋活動(筋張力)から手首関節トルクを次のように求める.

$$|\vec{\tau}_{EMG}| = \sqrt{(g_x(t))^2 + (g_y(t))^2} \quad (3)$$

ここで、$g_x(t)$と$g_y(t)$ は4個の筋活動(筋張力)から手首関節トルクのX成分とY成分を表す.

$$DMA = \frac{\int \frac{|\vec{\tau}_{EMG}|}{\sum_{Muscle=1}^{4}|\vec{T}_{Muscle}|}dt}{t} \quad (4)$$

そして、式(4)に示されたように、各筋肉が出しているトルクの大きさの総和に対する筋活動から求めた手首関節のトルクの大きさの比率を計算し、運動時間で正規化することによって求められる.

3) 総筋トーヌス(Total Muscle Tonus, TMT)

総筋トーヌス(TMT)は上述のＤＭＡと双対をなすパラメータであり、式(5)のように、1から筋活動から求めた手首関節のトルクの大きさと各筋肉が出しているトルクの大きさの総和との比率を引き算して求められる.

$$TMT = 1 - \frac{\int \frac{|\vec{\tau}_{EMG}|}{\sum_{Muscle=1}^{4}|\vec{T}_{Muscle}|}dt}{t} = 1 - DMA \quad (5)$$

B. 神経疾患と筋活動パラメータ

小脳疾患の患者とパーキンソン病患者の手首運動中の筋活動から筋活動パラメータ、特に総筋活動変動率(VTC)と総筋トーヌス(TMT)を抽出し、その有効性を検討した.

総筋活動変動率(VTC)は機能的に運動指令(筋活動)の変化の激しさを表す. 従って筋活動が突発的に大きく変動する場合に大きくなる. 例えば、図2(b)に示されたように小脳障害による運動失調では、運動の間中、４つの筋肉の活動が規則性なく突発的に大きく変動し続けるため、VTCが非常に高くなる(図3(a)). 対照的に、パーキンソン病においてはどの筋の活動も変化に乏しく、メリハリ (articulation) のない筋活動になるため、VTCは非常に低くなる(図3(a)). また、正常コントロールでは、メリハリのある活発な筋活動を示す場合には高めのVTCとなり、非常に滑らかな筋活動の変化を示す場合には低めのVTCとなり、その分布に幅があるのが特徴となる(図3(a)). VTCは運動指令の変化の滑らかさとは逆相関を持つパラメータであるが、その評価には運動生理学的な観点からも重要な意味がある. VTC以外にも総筋活動変動率の分散、総筋活動度、総筋活動度の分散、各筋肉の変動率等のパラメータがVTCとの相関が非常に高く、運動指令の変動の激しさを表現するパラメータとして有用である.

ＤＭＡは筋肉の活動がトルクに現れる効率の良さを表現するなら、ＴＭＴは逆に筋活動が同時活性化に消費され、トルクに現れない部分を評価する. この部分の筋活動は手首周りで釣り合い、関節トーヌスとして現れ、姿勢の保持に貢献していると考えられる. つまりＴＭＴは筋活動が平衡してトルクがゼロの時に最大値１をとり、逆に１個の筋のみが活動して他の筋の活動がゼロの時（実際にはあり得ない状況）に最小値０をとる. 結果として、図3(b)に示されたように小脳疾患とパーキンソン病の両方ともＴＭＴが大きくなることに対して、正常コントロールではＴＭＴは小さくなる.

従来の関節トーヌスという概念は、神経疾患の病態を評価するパラメータとして臨床の現場で極めて重要な役割を果たしてきた. ただし、ここでいう関節トーヌスは受動的な運動によるものであり、具体的には患者が脱力した状態で医師が患者の手足の関節を動かす際の主観的な抵抗として、半定量的に評価される. これに対して、ＴＭＴは運動中の関節トーヌスを反映する定量的パラメータであり、これまで臨床の現場では得られなかった全く新しい情報を提供する. さらに、運動中の関節トーヌスの推定は、実験室内で極めて高価で大がかりな計測器具と長い時間と極めて複雑な方法によるしかなかったため、ほとんど行われていない. 今回抽出した筋活動パラメータであるＴＭＴの計算は、運動中の関節トーヌスを極めて簡便に推定する方法を確立したことになり、その臨床的な意義は特筆すべきものと考えられる.

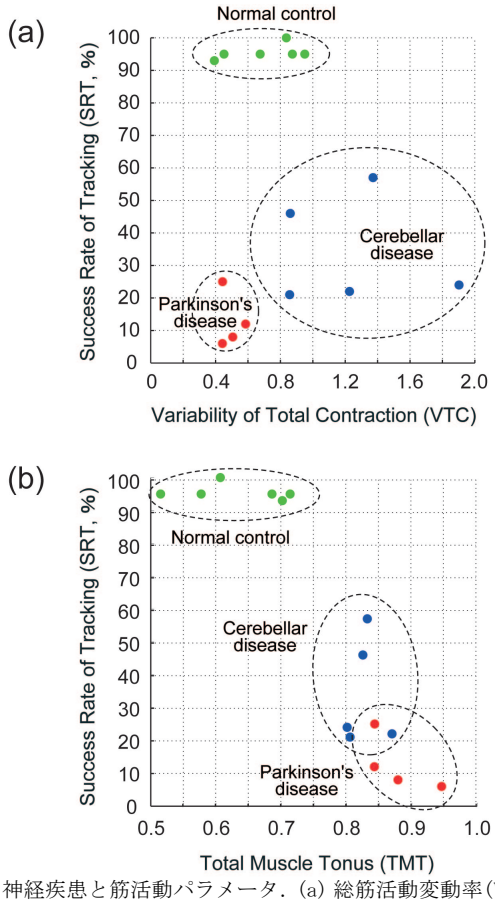


図３ 神経疾患と筋活動パラメータ. (a) 総筋活動変動率(VTC). (b) 総筋トーヌス(TMT)

C. 筋活動パラメータと疾患の位置づけ

以上のように運動のダイナミクスを十分に説明できる４個の筋活動から病態の評価および疾患の診断に有用な、ユニークで多様なパラメータを抽出した．特にこれらのパラメータは単独でも筋活動のパターンを特徴付ける固有の機能的意味を持つが、組み合わせて評価することにより、さらにその評価の意義と精度が向上する．

例えば総筋トーヌス(TMT)だけでは小脳疾患とパーキンソン病の区別は明らかではないが(図3(a))、図4(a)のように総筋トーヌス(TMT)と総筋活動変動率(VTC)を組み合わせて評価することにより、正常コントロールとパーキンソン病患者、小脳疾患患者が明瞭に異なるクラスターとして分類されることがわかる．さらに図4(b)のように運動の正確さの指標（追跡の成功率、SRV）を加えれば，正常コントロールと患者の間には大きなギャップが存在することが浮き彫りになる．また、正常コントロールと患者のクラスターの位置関係から、治療の目指すべき方向が明らかになり、さらには正常域への接近の程度から治療効果の評価を行えることになる．

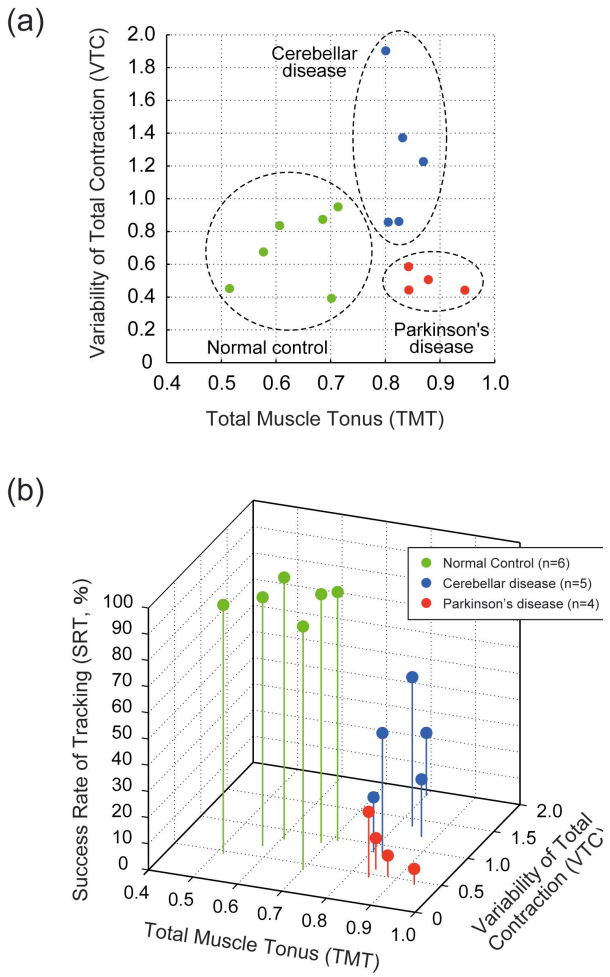


図４ 筋活動パラメータと疾患の位置づけ．(a) 2次元評価．(b)3次元評価

IV. 考察

本研究では手首運動を用いて神経疾患における異常運動の病態を定量的に評価した．特に表面筋電信号に基づいてパーキンソン病や小脳疾患における異常運動を運動指令レベルから定量的に評価する新しい方法を提案した．つまり従来には神経疾患における運動機能評価が専ら動きの情報だけを分析し，各疾患における上肢運動機能を評価してきた[1,2]．例えば村山らはデジタイザーとパーソナルコンピュータを組み合わせて、デジタイザー上での描円運動の速度、加速度成分の分析により、小脳疾患の患者やパーキンソン病の患者に対する上肢運動失調を定量的に評価してきた．しかし、手先の軌道の異常を捉えただけでは、不良設定性の問題により、その原因である関節の動き、更には筋活動（＝運動指令）の異常にさかのぼることは原理的に不可能であるため、動きをいくら高精度で分析しても異常運動の中枢機序に迫ることはできない．つまり、神経疾患の病態をより根本的に評価するには、「動き」を評価することより、「動き」の原因である運動指令（筋活動）の異常を直接評価する必要がある[3,4]．その目的で我々は手首運動における原因の筋活動と結果の動き成分の因果関係を関節トルクレベルから同定を行い、異常運動を原因の運動指令である筋活動から詳細に分析した[5]．その次のステップとして、我々は4個の筋活動に基づいて小脳疾患やパーキンソン病における病態の評価及び疾患の診断に有用な幾つかのパラメータを抽出した．特に総筋トーヌス(TMT)と総筋活動変動率(VTC)の筋活動パラメータを組み合わせて評価することにより、正常コントロールとパーキンソン病患者、小脳疾患患者が明瞭に異なるクラスターとして分類できた（図4(a)）．つまり正常コントロールと患者のクラスターの位置関係から、治療の目指すべき方向が明らかになり、さらには正常域への接近の程度から治療効果の評価を行えることになる．このように本論文で提案した方法は、様々な神経疾患による脳内のメカニズムの異常を運動指令(筋活動)レベルから定量化したパラメータに基づいて疾患の診断や治療のためのナビゲーションシステムに役に立つことが期待される．

文献

[1] R. Nakanishi, H. Yamanaga, C. Okumura, N. Murayama, and T. Ideta, “A quantitative analysis of ataxia in the upper limbs,” *Clinical neurology,* 1992, pp. 251-258.

[2] V. Sanguineti et al., “Cerebellar ataxia: Quantitative assessment and cybernetic interpretation,” *Hum Mov Sci.*, 2003, pp. 189-205.

[3] M. Manto, “Pathoplysiology of Cerebellar dysmetria: The imbalance between the agonist and the antagonist electromyographic activities,” *European Neurology*, 1996, pp. 333-337.

[4] P. Brown, DM. Corcos, and JC. Rothwell, “Does parkinsonian action tremor contribute to muscle weakness in Parkinson’s disease?,” *Brain*, 1997, pp. 401-408.

[5] Jongho Lee, Yasuhiro Kagamihara and Shinji Kakei, “Quantitative Evaluation of Movement Disorders in Neurological Diseases based on EMG Signals”， *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.*, 2008, pp.181-184.

[6] M. Haruno and DM. Wolpert, “Optimal control of redundant muscles in step-tracking wrist movements,” *J. Neurophysiol.*, 2005, pp.4244-4255.A. Mannard and R. Stein, “Determination of the frequency response of isometric soleus muscle in the cat using random nerve stimulation,” *Journal of Physiology*, 1973, pp. 275-296.

[7] A. Mannard and R. Stein, “Determination of the frequency response of isometric soleus muscle in the cat using random nerve stimulation,” *Journal of Physiology*, 1973, pp. 275-296.

[8] Y. Koike and M. Kawato, “Estimation of dynamic joint torques and trajectory formation from surface electromyography signals using a neural network model,” *Biological Cybernetics*, 1995, pp. 291-300.

[9] H. Beppu, M. Suda and R. Tanaka, “Analysis of cerebellar motor disorders by visually guided elbow tracking movement,” *Brain*, 1984, pp.787-809.

多角的計測に基づく
歩行の環境適応メカニズムの計算論的理解

花川　隆、田中悟志、大須理英子

要約 : 歩行の環境適応メカニズムを計算論レベルで理解するための知識の獲得と必要なシステム構築を目的として、（1）歩行運動の想像と観察課題を用いたfMRI実験による歩行計画の神経基盤の解明、（2）歩行分析と歩行時の脳血流測定による加齢に伴う虚血性白質障害患者の歩行障害病態解明、（3）経頭蓋磁気刺激、末梢神経刺激、筋電図とfMRIの同時計測システムによる運動制御に関わる脳活動と固有知覚入力処理に関わる脳活動を見分ける研究、（4）経頭蓋直流電気刺激による下肢筋力の増強と歩行リハビリテーション応用、（5）動作解析と脳活動（脳波、近赤外線スペクトロスコピー）同時計測系の構築を行った。

I. はじめに

直立二足歩行は安定した移動形態ではない。直立二足歩行を移動手段として用いるヒトでは、疾病や加齢に伴い歩行中に転倒する危険性が増加し、大腿骨頸部骨折などによる寝たきりの原因となる。また、二足歩行の獲得には生後一年以上という他の動物種と比較して極めて長い期間を要することも、生存や養育コストを考えると不利に思える。一方、二足歩行により上肢が自由になったことがヒトの知性を発達させる要因として寄与し、固有の文明を産み出す礎となった可能性はよく指摘される。すなわち、ヒトの直立二足歩行は、移動の安定性を犠牲にしても、上肢巧緻性と知性を発達させることで、地球上の環境により良く適応することを進化的に選択した結果であると考えられる。したがって、ヒト歩行を理解するためには、環境と身体、身体と脳、脳と環境の関係をそれぞれ規定するバイオメカニクス、運動制御、高次脳機能はリンクしているという視点から研究することが重要である。

本研究は、床反力や筋電図などキネティクス・ダイナミクス的生体情報と脳血流や脳波などの脳情報の同時測定系を構築することにより、歩行の中枢神経制御のモデル化に寄与する情報を蓄積し、歩行による環境、身体と脳の関係の理解に寄与することを意図している。さらに、得られた知見を活かし、新しい神経リハビリテーション法の開発や脳活動に基づき装具や外部装置を制御するbrain-machine interface（BMI）の開発に繋げることを目標としている。具体的には、平成18-21年の間に以下の5つの研究を推進し成果を上げた。

（1）歩行運動の想像と観察課題を用いた磁気共鳴機能画像（fMRI）による歩行計画の神経基盤の解明 [1]。

（2）加齢に伴う虚血性白質障害患者（age-related white matter changes, ARWMC）の歩行分析と歩行時の脳血流測定実験 [2]。

（3）経頭蓋磁気刺激（TMS）、表面筋電図（sEMG）とfMRIの同時計測システム [3] を応用し、末梢神経刺激（peripheral nerve stimulation, PNS）条件を加えることで、運動制御に関わる脳活動と運動の結果である固有知覚入力処理に関わる脳活動を見分ける研究 [4]。

（4）歩行リハビリテーション応用を目的として、経頭蓋直流電気刺激（tDCS）による下肢筋力の増強を試みる研究 [5]。

（5）床反力計、sEMGと高速カメラによる動作解析と脳波（EEG）、近赤外線スペクトロスコピー（NIRS）による脳活動同時計測系の構築。

II. fMRIによる歩行計画の神経基盤の解明

脳幹以下の神経機能が重要である四足歩行と比較して、ヒト直立二足歩行には複数の大脳皮質運動野の機能が重要であることを示す証拠が蓄積しつつあるが、異なる運動野がどのように歩行運動を制御しているのか不明である。最近、運動想像や運動観察パラダイムにより特定の運動野の活動が誘発されること、これらの運動野活動が運動の計画や他者運動の理解に関わる可能性が示唆されている。そこで、歩行想像と歩行観察中の脳活動を測定し、自己の歩行計画と他者の歩行計画理解に関わる大脳皮質運動野を明らかにする実験を行った [1]。

16名の健常被験者が説明と同意のもと実験に参加した。被験者はMRIガントリー内で仰臥位をとり、プロジェクターにより投射される各種の動画を見るよう指示された。自分が歩行している時のように変化する周囲の情景を観察しながら行う歩行の想像課題に加え、他者の歩行、足踏み運動や立位姿勢の観察課題を用い

本研究は、文部科学省科学研究補助金・特定領域研究（領域番号454 身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現－移動知の構成論的理解－）の補助を受けた。

花川　隆（研究代表者＠国立精神・神経センター神経研究所、〒187-8502　東京都小平市小川東町4-1-1、℡ 042-341-2711、Fax 042-346-1748、hanakawa@ncnp.go.jp）

田中悟志（研究協力者＠科学技術振興機構ERATO下條潜在脳機能プロジェクト）

大須理英子（連携研究者＠国際電気通信基礎技術研究所・脳情報研究所）

て実験を行った。脳活動は3テスラMRI（Siemens社Trio）を用いてT2*強調画像の連続撮像（TR=2.5秒）を行うことで測定し、課題に伴う血液動態反応変化を仮定した一般線形モデルにより統計解析を行った。

結果、背外側運動前野（PMd）と補足運動野（SMA）の一部が、歩行の観察と歩行の想像課題に共通した活動を示した（図1右）。われわれの過去の研究は、運動を想像する際には、運動計画に関わる領域が活動することを示している [6]。事実、MRI外における行動実験で、歩行中と想像課題中の単位距離当たり歩数の間に有意な相関を認めたことから（図1左）、歩行運動の想像の際には歩行計画に関わる領域が活動していると考えられる。

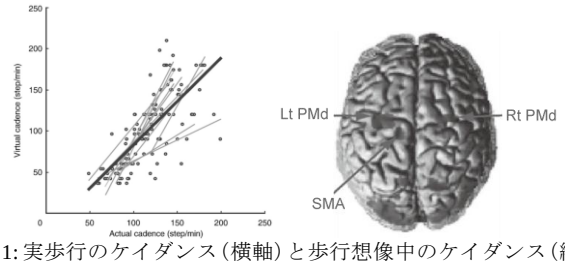


図1: 実歩行のケイダンス（横軸）と歩行想像中のケイダンス（縦軸）は優位に相関（左）。歩行想像と歩行観察で共通にみられる両側PMdとSMAの活動（右）。文献[1]より改変。

歩行運動計画に関わるPMdとSMAの活動は、他者の歩行運動を第三者の立場から観察する場合にも生じており、このことは他者の歩行運動の理解が、自らの運動計画プログラムを応用して行われていることを示唆する。本研究は、自らの運動と他者が行う運動の観察にともに関わる、いわゆる“ミラーニューロンシステム”が歩行についても存在する可能性を示唆するが、その証明は将来の研究を待つ必要がある。またこの研究は、他者歩行の視覚刺激により歩行リハビリテーションを促進する試みや、脳活動を利用して車椅子や歩行補助ロボットを動かすBMI開発などの応用研究に繋がる可能性がある。また、PMdとSMAは歩行の計画や他者の歩行計画の認知に広く関わるとされる“高次歩行表象”に相当する可能性があり、この領域の機能障害はいわゆる“高次歩行障害”の病態と関わるかもしれない。

III. ARWMCに伴う歩行障害の病態解明

高次歩行表象の機能異常に伴い、歩行失行あるいは高次歩行障害と呼ばれる歩行障害が生じるという考え方があるが、その実態は明確でない。高次歩行障害を呈する疾患の例として、高度のARWMCや多発性脳梗塞があげられる。一方で、ARWMC患者はパーキンソン症状が下肢や歩行に限局して現れるlower-body parkinsonismと呼ばれる特異な病態を呈することがある。そこで、ARWMC患者の一部が呈するパーキンソン病型または高次歩行障害の病態とSMAやPMdなどの高次歩行を表象する大脳皮質機能との関係を調べ、パーキンソン病の歩行障害の病態と比較することで、歩行制御の神経基盤の理解に貢献することを目的として、様々な程度の歩行障害を持つ20名のARWMC患者において、歩行分析とシングルフォトン断層像（SPECT）による歩行時脳血流評価を行った [2]。

臨床診断により、20名の患者は歩行障害群11名、非障害群9名に分類された。歩行分析（住友金属GATAL-ITS-60とベルテック9090S）では、歩行障害群における歩行速度減少、両脚支持期の増加、歩隔の増加が明らかになった。歩行時と安静時の脳血流の評価は、3ヘッド・ガンマカメラ型SPECT装置（Picker社製Prism 3000）と^{99m}Tc-ethyl cysteinate dimerを用いて行った。

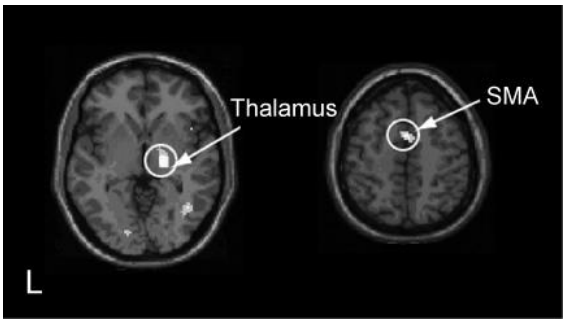


図2: ARWMC歩行障害群における歩行時脳血流低下部位 は補足運動野（SMA）、右視床（thalamus）並びに基底核の一部（globus pallidus）に認められた。文献[2]より改変。

一般線形モデルにより歩行時と安静時の脳血流を比較する統計解析を行った結果、SMA、一次運動野（M1）と一次体性感覚野の下肢・体幹領域、視覚野、脳幹、小脳に歩行時の活動増加を認め、健常高齢者やパーキンソン病における報告と一致した [7]。歩行障害群と非歩行障害群の比較を行うと、歩行障害群において、歩行時のSMA、視床、基底核の活動低下が示された（図2）。これら領域の活動は、歩行分析から得られた両脚支持期の長さと逆相関を示した。すなわち歩行障害が強い患者ほどSMAや視床の活動が低下していた。逆に、右PMdは歩行障害群でむしろ過剰活動を示しており、PMdはSMAの機能障害を補正するために代償的に働いている可能性が示された。

これらの結果は、ARWMCとパーキンソン病の歩行障害の病態にオーバーラップがあり、高次歩行障害とパーキンソン歩行の間に連続性があることを示唆する。ARWMCにおける基底核、視床、運動皮質機能の異常は、これらの領域を結ぶ白質線維の障害に伴うと推測される。現在、ARWMC患者群における拡散テンソルMRI画像の解析を進めており、この推測を支持する予備的結果が得られている（投稿準備中）。一方、このような歩行中脳活動の測定結果を解釈する上の困難は、脳活動変化が歩行障害の原因か、歩行障害の結果かが明確でない点である。このような解釈上の問題が生じる理由の一は、歩行を含む運動時の脳活動には、運動に伴う固有知覚入力処理が含まれていることによる。

IV. TMS/PNS-sEMG-fMRI同時計測系を用いた運動生成と固有知覚受容による脳活動の分離

TMSとfMRIの同時記録が可能になり、運動発生メカニズムの研究が進展すると期待されているが、運動閾値上のTMS刺激による誘発脳活動は、運動誘発の結果としての感覚処理に伴う脳活動を含むため、解釈には注意が必要である。そこでTMS- fMRIの同時計測システムを応用し、sEMGの同時計測と中枢神経系の運動指令を伴わないPNSによる筋活動誘発条件を併用することで、運動に伴い発生する固有知覚入力を補正することのできる脳機能イメージング手法の開発を行った。

TMS-sEMG-fMRIの同時計測システム開発研究には、19名の健康な右利き被験者が参加した [3]。MRI専用8の字コイルを刺激装置に接続し（Magstim社Rapid）、コイルが撮像中に動かないように専用器具で固定することでMRI-TMS同時計測を実現した。左M1へのTMS刺激を行いながら右短拇指内転筋（APB）に生じるsEMGを記録し（Neuroscan社SynAmp）、安静運動閾値（RMT）を決定した。fMRIは3テスラMRI（Siemens社Trio）を用いて行った。単発TMS刺激の頻度は0.07-0.125 Hzとの間で変化させ、強度は機械出力の5%または10%刻みで変化させた。刺激強度ごとのMEP平均振幅を計算し、fMRIデータは一般線形モデルにより統計解析を行った。

sEMGの同時計測により、単発刺激TMSによるMEPの刺激強度依存性変化をMRI環境で検出できた。運動閾値上の単発刺激TMSにより誘発された脳活動は、刺激直下のM1や体性感覚野、SMAの腹側から尾側帯状回運動野（SMAv/CCZ）、両側PMd、二次体性感覚野、視床、小脳などの体性運動関連領域に加え、聴覚野や、前頭前野、側頭葉の一部など体性運動に直接関連のない領域にも広く分布した（図3左）。直接刺激された左M1に加え、他の運動関連領域や聴覚野などから抽出したfMRI信号を、刺激強度の関数として評価した。左M1と遠隔運動領域であるSMAv/CCZに誘発されたfMRI信号を図3右に示す。M1の活動はRMTレベルから急速に増加し、SMAv/CCZの活動はRMT以下の強度でも上昇を認めたが、共に刺激強度に対して非線形的な応答を示した。RMT付近での急激な運動野活動増加の一部は、感覚入力処理に伴う神経活動増加に由来する可能性があるが、筋活動による固有知覚入力が運動を行っている間の脳活動に与える影響を明らかにした研究は知る限りない。

そこでPNSによる誘発筋活動条件を加え、運動生成に伴う脳活動と固有感覚入力に伴って生じる活動を同時に評価する手法の開発を行った [4]。34名の健常被験者において、TMSクリック音に合わせた自発運動と閾値上TMS刺激条件を行い、うち19名は右正中神経PNS条件での実験も行った。SynAmpまたはBrain Product社BrainAmpを用いてsEMGの同時計測を行い、一般線形モデルによりfMRI解析を行った。閾値上TMSによる脳活動は自発運動に伴う運動野脳活動と重複していたが、この重複部位にはPNSに伴う活動も認めたため、脳活動の分布からは目的の脳活動を分離できなかった。sEMGの大きさをすべての条件で定量化（mV × ms）したところ、閾値上TMS条件と比較してMNSでは有意にsEMG定量値が大きかった。そこでsEMG定量値で脳活動を標準化し、閾値上TMSとMNS条件の間で脳活動を比較したところ、M1とSMAを始めとする運動野に閾値上TMSで誘発され、かつ固有知覚重要では説明できない活動を検出することができた。本手法は、TMSによる運動生成と固有知覚入力に伴う脳活動を定量的に分離する初の試みであり、今後歩行運動を含めた様々な研究に応用できる可能性がある。また、脳機能を一過性に促進する反復刺激TMSやtDCSのリハビリ応用が注目されている現在、TMSやtDCSが脳機能を促進するメカニズムの理解にも重要な役割を果たすと期待される。

V. 経頭蓋直流電気刺激の歩行リハビリ応用

反復刺激TMSに代わる脳刺激法として、1-2 mA程度の微弱な直流電流を経頭蓋的に通電するtDCSが注目を集めている。tDCSで上肢の運動機能や運動学習を一時的に促進できたという報告があり、tDCSが運動障害からの機能回復を促進する有効な手段となる可能性を示

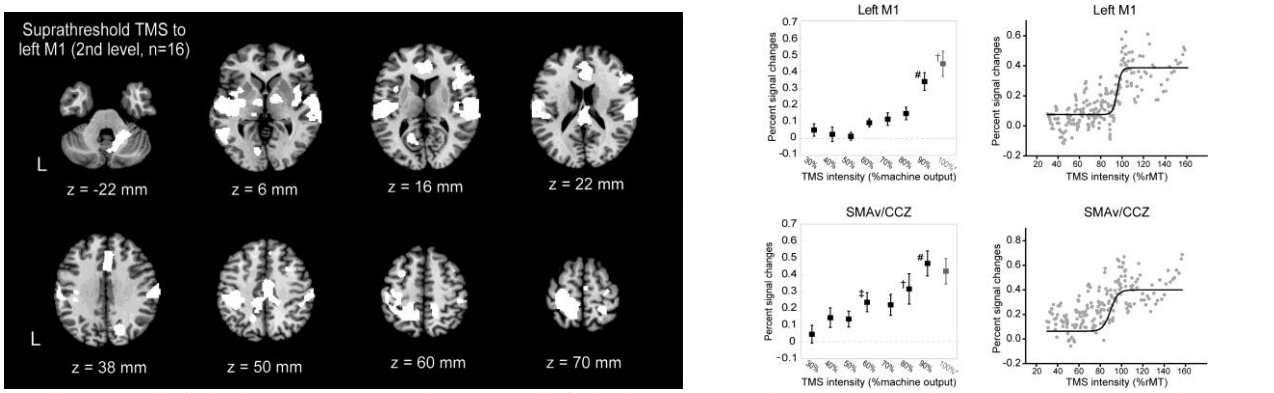


図3: 最も強い刺激条件（機械出力の95-110%）と弱い刺激条件（機械出力の30%）の比較により描出された、運動閾値上単発TMS刺激に伴う誘発脳活動（左）。左一次運動野（Left M1）と補足運動野-帯状回運動野（SMAv/CCZ）から抽出したTMS強度依存性fMRI信号変化（右）。文献[3]より改変。

しており興味深い。しかし、tDCSが歩行を含む下肢の運動機能に関してどのような影響を与えるかについてはまだ検討が行われていない。足指間挟力と反応時間という比較的単純な下肢運動機能についてtDCSの促進効果を検討し[5]、その結果に基づいて脳卒中後患者の下肢運動機能を促進する応用研究を開始した。

10名の健常被験者がインフォームドコンセントのもと実験に参加した。被験者はtDCSの施行前、施行中、施行30分後及び60分後に運動課題を行った。tDCSとして強度2 mA、10分間の直流電気刺激を、下肢M1領域に対して行った。運動課題として、指の挟力を計測する課題と視覚ターゲット刺激に反応してボタンを押す早さを評価する反応時間課題の2種類を用いた。被験者はそれぞれの課題を左下肢と左上肢で行った。陽極刺激、陰極刺激及び最初の10秒間だけ刺激を行うシャム刺激（偽刺激）の3種類の刺激セッションを設けた。セッション間には約一週間のインターバルをおいた。

足指間挟力については、陽極で足のM1を刺激している間と刺激終了30分後に、刺激前に比べて有意な筋力の増強が認められた（図4）。効果は一時的であり、60分後には刺激前と差のない値にまで戻っていた。陰極刺激あるいはシャム刺激に関しては、統計的に有意な刺激効果は観察されなかった。また手指間挟力に関しても、統計的に有意な効果は認められなかった。反応時間課題に関しては、上肢下肢ともに、どの種類の刺激によっても統計的に有意な効果は認められなかった。

M1への陽極tDCSにより、上肢だけでなく下肢の筋力も一時的に促進しうることが初めて示された。本研究により、tDCSが上肢のみならず下肢運動機能にも促進効果を及ぼすことが示され、tDCSが下肢運動機能障害及び歩行障害の機能回復を促進するために有効な手段となる可能性が示唆された。現在、tDCSが脳卒中後患者の下肢運動機能に与える影響の検討を行っている。さらにtDCS前後の下肢運動や歩行中脳活動を計測することで、tDCSがどのように運動機能を改善するのかを理解するためのシステム構築を行っている。

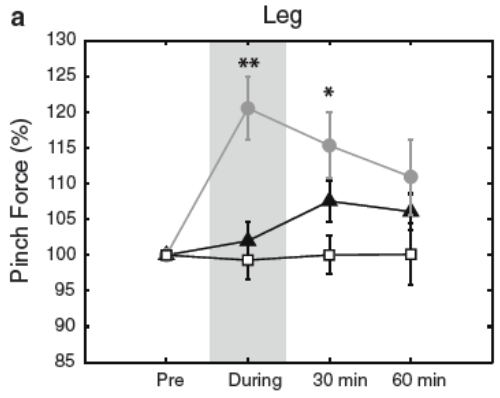


図4：tDCSの足指間挟力への影響。陽極刺激中と刺激30分後に足指間挟力の有意な促進が認められた。文献[5]より改変。
**p<0.01, *p<0.05

VI. 床反力、筋電図と脳活動の同時計測系の構築

歩行や姿勢に伴って動的に変化するキネマティクス、キネティクスやダイナミクスの変化と神経活動の相関を精密に照合し、計算論的理解に活かせるような質の情報を計測できるレベルにまで高めていくには、SPECTやfMRIで測定できる血液動態の変化よりもさらに時間解像度の良い手法を開発する必要がある。そこで、歩行・姿勢制御課題中に脳波とNIRSを同時に測定することのできるシステムを開発した。

歩行・姿勢制御に伴う動作解析のためピエゾ素子を使用した床反力計（キスラー社）とプラットフォーム、歩行や姿勢課題時に懸念される動作ノイズに強いアクティブ電極による8チャンネルEMGとサンプリング100 Hzの高速カメラを統合した計測システムを構築した。脳活動の計測系としてトレッドミル歩行時の計測にも応用可能なNIRS装置（島津製作所）とアクティブ電極による脳波計（Biosemi社）の同時計測が可能なNIRSプローブと電極の一体型フォルダーを導入し、動作解析と脳活動の同時計測システムを完成させた。

VII. 今後の展望

本研究で得られた歩行計画・歩行実行中の脳活動の計測による知識、運動生成と固有知覚受容に関わる脳活動を分離するための手法は今後動作解析と脳活動の同時計測系の結果解釈に活かすことで非侵襲計測による情報を計算論的理解に生かせる水準にまで洗練させていく。tDCSは脳卒中後やパーキンソン病などの神経疾患に伴う歩行障害や下肢運動障害のリハビリテーション促進に応用し、動作解析と脳活動の同時計測系によって評価を行っていく。

参考文献

[1] K. Iseki, T. Hanakawa, J. Shinozaki, M. Nankaku, H. Fukuyama. “Neural mechanisms involved in observation and imagery of gait movement” *Neuroimage*, vol. 41, no. 3, pp. 1021-1031, July 2008.

[2] K. Iseki, T. Hanakawa, K. Hashikawa, H. Tomimoto, H. Yamauchi, M. Hallett, H. Fukuyama. “Gait disturbance associated with white matter changes: a gait analysis and blood flow study” *Neuroimage*, vol. 49, no. 2, pp. 1659-1666, Jan 2010.

[3] T. Hanakawa, T. Mima, R. Matsumoto, M. Abe, M. Inouchi, S. Urayama, K. Anami, M. Honda, H. Fukuyama. “Stimulus-response profile during single-pulse transcranial magnetic stimulation to the primary motor cortex” *Cerebral Cortex*, vol. 19, no. 11, pp. 2605-15, 2009.

[4] H. Shitara, T. Shinozaki, M. Honda, K, Takagishi, T. Hanakawa. “Understanding of evoked activity in the motor network during suprathreshold transcranial magnetic stimulation to the primary motor cortex” (in submission)

[5] S. Tanaka, T. Hanakawa, M. Honda, K. Watanabe. “Enhancement of leg motor power by anodal transcranial direct current stimulation” *Exp Brain Res* vol. 196, no. 3, pp. 459-65, Jul 2009.

[6] T. Hanakawa, M. A. Dimyan, M. Hallett. “Motor planning, imagery and execution: a time-course study with functional MRI” *Cerebral Cortex*, vol. 18, no. 12, pp. 2775-88, 2008.

[7] T. Hanakawa. “Neuroimaging of standing and walking: Special emphasis on Parkinsonian gait” Parkinsonism Relat. Disord., vol. 12, suppl. 2, pp. S70-S75, October 2006.

C班：社会適応
研究活動報告

北海道大学　電子科学研究所　青沼仁志

I. はじめに

生物は，長い進化の歴史の中で様々な適応機能を進化させてきた．社会の構築は，ひとつの適応と捉えることができるが，個体が相互作用することでダイナミックに変化する環境ともいえる．C班の研究目的は，生物が構成する集団や社会を一つの環境要因として捉え，生物が社会における適応を実現するメカニズムを明らかにすることである.そこで，研究を推進するに当たり，Synthetic NeuroethologyとBrain-Machine Hybrid Systemの２つの方法論を確立し研究を展開している．これらの方法論では，社会適応を実現する仕組みについて，生理学実験から得られた知見を連結・統合する動的モデルの構築や生体素子と人工的素子を組み合わせた統合システムを構築して，その挙動を解析し，行動学実験でその妥当性を検証している．

我々は，社会適応のメカニズムについて，基盤的なメカニズムと高次的なメカニズムに分け，個々の適応のメカニズムを理解し，その背景にある共通性を理解しようとしている．社会適応の基盤となるメカニズムともいえる個体間の競合行動による順位形成，個体間の情報伝搬，社会構築や維持などのメカニズム解明には昆虫を題材にして研究を進め，また，高次的な社会適応機能である個体間の優劣関係の形成，他者認識や他者理解，さらに社会における適応障害疾患などのメカニズムの解明には，ヒトを含めた脊椎動物を題材にしている．C班では，様々な階層において社会適応を実現する仕組みについて研究をすすめ，最終的には各階層で得られた知見をつなぎ合わせたマルチスケールモデルを構築し，社会適応のメカニズムの理解をめざしている．

II. 研究内容と展望

社会適応を創り出す脳機能は，ヒトを含めたすべての動物の行動に大きく影響する根本的な機能でありながら，これまで殆ど研究対象とされなかった．社会適応を生み出す基盤的なメカニズムを研究する上で，昆虫は有効な題材となる．単独生活を営むコオロギやカイコと，社会性昆虫のミツバチやアリやシロアリなどの特徴的な行動に注目し，社会的適応を作り出すメカニズムの理解を深めた．昆虫は，哺乳類の脳に比べ100万分の1以下という非常に少ない神経細胞から構成された小規模な神経系をもつ．コオロギやカイコを使い，行動発現の動機づけ，闘争行動による優劣形成，交尾行動を司る神経システムの働きを調べている．さらに，社会性昆虫を使って，社会集団における情報の伝搬や共有，カーストの形成や維持，社会秩序の構築と維持などにかかわる分子機構から生理機構を調べた．行動実験，生理学実験，分子生物学実験を通して得られた詳細な知見をもとに，動的なモデルを構築し，そのモデルの計算機シミュレーションを行うことでモデル妥当性を検証し，必要に応じて修正を行った．この作業を繰り返すことで，個体行動と生理機構，個体行動と社会全体の振る舞いの間にあるギャップをつなぎ合わせ，社会適応を創り出すメカニズムの解析した．また，このようなアプローチにより昆虫の自律分散型システムといえる適応メカニズムを埋め込んだ新規な人工システムの開発が期待できる．

鳥類や哺乳類などの脊椎動物は，個体認識やコミュニケーションをはじめ，高度な社会を構築し維持している．情動，個体間のコミュニケーション，他者理解などは社会的適応行動の発現メカニズムを理解する過程で重要な課題である．音声コミュニケーションによる社会的適応行動の獲得機構を理解するためには鳴禽類(song bird)を使って研究を進めた．また，社会的地位の形成と，その社会構造の中で個々の個体が行動を決定する過程の脳機能についてはニホンザルを使って研究を進めた．ヒトの社会構造は，これまでに述べた動物に比べ，より複雑な社会構造を形成する．ヒトの社会適応のメカニズムの中で重要な要素のひとつに他者理解がある．他者理解のメカニズム解明は，統合失調症等の発生過程の理解につながる重要な課題である．

C班では，個別研究を進める過程で計画班と公募班，生物学研究グループと工学研究グループが有機的に連携しあい共同で研究を進めてきた．

計画班の青沼，公募班の長尾らの研究グループでは，計画班の太田らのグループと共同で，昆虫のコオロギでみられる闘争や交尾などの行動を題材にして，個体が以前の社会的な経験に基づいて行動を選択し発現するメカニズムを理解するため，個体の神経生理学的な研究結果，個体間相互作用で変化する行動学実験の結果，さらに集団としての挙動に関する知見を統合的に理解するためモデルの構築とシミュレーション実験を行った．闘争経験による行動選択，孵化後の幼虫期や成虫期における社会的な環境要因により可塑的に変容する行動などに伴う動機付けの神経生理機構の研究成果をもとに，行動レベルの動的モデルと，神経生理モデルを提案した．その結果，一酸化窒素や生体アミンなどの脳内作用物質の働き考慮した神経生理モデルにおいては，オープンループモデルに多重フィードバックを組み込みクローズドループモデルにすることで実際のコオロギの行動を再現できることが示せた．また，コオロギの内部モデル構築から集団挙動の再現を目指すボトムアップ的モデル化手法と，センサ系のマルチモダリティから内部構造を推定するトップダウン的モデル化手法による研究から，社会的経験に基づいた行動の選択・決定のメカニズムの全貌をの理解を目指している．また，コオロギの発達と成長過程における社会経験を考慮した神経内部モデルの構築とその機能について研究した．

計画班の倉林らのグループでは，Brain-Machine Hybrid System の方法論で，身体と脳と環境の相互作用によって創り出される適応能について，行動面からの解析と，生理学的な研究・分子生物学実験からの研究結果を統合して解析を行った．個体行動を司る脳内神経回路には，適応的行動を支える機能的なネットワーク構造が存在することが予想される．そこで，情報処理および相互作用ネットワークの機能解析と工学的再構成を試みた．昆虫操縦ロボット・昆虫脳操縦ロボットと分子遺伝学的・生理学的解析による適応能発現の解析を中心に，相対的に少数な神経細胞によってもたらされる情報処理機構および身体・環境との相互作用によって形成されるネットワークの機能的作用解析等によって，身体・脳・環境の相互作用と適応能の連関について解明を目指した．

昆虫の中には，比較的高度な社会構造を構築するものもいる．社会性昆虫と呼ばれる昆虫で，ミツバチ，シロアリ，アリなどの仲間である．そこで，これらの昆虫を使って，分業，栄養交換，カースト形成などを基盤としたコロニー（社会集団）の構築と維持について，統合的な研究を公募班のグループを中心に進めた．

三浦らのグループでは，社会性昆虫のコロニーにおける，カースト間の分業とコミュニケーションに基づいて社会行動に注目し，状況に応じた適切なカースト分化がシステマティックに制御されるメカニズムを明らかにした．オオシロアリを対象に形態形成・行動分化・生理機構・遺伝子発現などの解析を行い，その結果をもとに，構成論的な視点を導入したモデルを構築を行い，「超個体」と呼ばれる社会性昆虫シロアリでみられる社会性のメカニズムについての解釈を試みた．更に分析・解析が必要な要素に焦点を絞った解析を推し進めるとともに，各カーストでの神経支配・統合についての神経行動学的解析を推進し，社会行動の制御機構の理解に取り組んだ．さらに，竹内らを中心としたグループにより，魚類のメダカの群れ行動に関わる脳機能に必要な要素群（遺伝子，神経回路，脳領域）を同定し，これと併行して構成論的手法によりメダカの群れ行動を可能にする脳情報処理過程を推定するモデル構築を試みた．

辻らのグループでは，比較的少数の個体でコロニーを形成するトゲオオハリアリを使って研究を進めた．個体としては非力なアリが集団として高い機能を発揮する仕組みについて統合的な理解を進めた．アリのコロニーには個体の脳・神経ネットワークに相当する固定的な情報伝達処理システムは存在しないにもかかわらず，適切に集団行動が制御されるルールに内在するフィードバック機構が存在し，社会全体を「適応的状態」に自己組織化することを示した．アリがコロニーサイズに依存し，適切に行動を切り替える化学生態学的基盤と自己組織化的制御機構の解明を行い，そのようなシステムを自然発生させた進化力学的機構の考察を行った．また，これらの統合的な理解のため，シミュレーションおよび実ロボットによる制御機構のテストを行い，ロボット工学に応用につながる知見を集積した．また，自然選択で進化すると予測されるシステムと実際のアリのシステム，さらにロボットシステムの３者を比較し，社会の制御機構を進化させる「自然の設計原理」の解明を目指した．

伊藤らのグループは，ミツバチの採餌行動でみられるダンス言語と呼ばれる「８の字ダンス」を題材として，個体間の「コミュニケーション」によって，情報を共有し，知を蓄積することで集団を維持する仕組みについて研究をした．ダンス言語が社会性を維持するために重要な要素としての「情報の伝搬と共有」の基盤となるものと捉えた．巣内外の環境変化とミツバチのダンス行動や採餌行動を詳細に観察し，その結果を盛り込んだ数理モデルを構築した．計算機シミュレーションを行ったところ，情報伝搬の曖昧さが社会性の維持には重要であることが示唆された．

岡らは，キンカチョウを使い，情報の送り手（オス）に対して，情報の受け手（メス）が，オスのさえずりを認識する脳のメカニズムを調べることで個体認識のメカニズムの解明に挑んだ．catFISH法により，メスの海馬体領域で最初期遺伝子の発現を確認し，これまで解明されてこなかったコミュニケーション行動における海馬体の働きをあきらかにした．また，pHイメージングにより，さえずりに応答する神経回路の可視化，遺伝子銃と脂溶性蛍光色素を用いた網羅的な神経細胞可視化技術，という２つの可視化技術を併用することにより，海馬体でさえずり情報が処理されている仕組みについて理解を深めた．

藤井は，ニホンザルを使い社会脳の発現機構を研究した．サルが，周囲の社会的な環境を適宜認知し，その中で自己の欲求実現を最大化できるように無意識に行動する仕組みに注目した．その結果，個体は，現実と直結した脳の内部に作り上げた仮想空間とを介して環境を認知・操作し，行動を最適化することで社会的な行動を発現していることを示唆した．

加藤らは，他者理解の社会的な行動に重要であると考え，ヒトの視線や表情が理解される仕組み，社会的信号認知の理解，意図理解や共感のメカニズム等について研究を行った．統合失調症の研究から得られた知見を基に，社会適応能力を有する人工物やヒューマンインタフェイスの設計を考案した．社会的認知ができる人工物に必要となる機能として，人の行為の認知行動特性を取り入れた．また，意志作用感とその障害を説明する認知モデルについて研究し，行為の自他帰属性解明へのフォワードモデルを提唱した．

以上の研究成果から，個体は，他者との接触（相互作用）によって，常に自身の内部状態を更新し，その集団（社会）環境に応じた行動を選択する神経生理機構を持つことを明らかにした．このとき見られる脳におけるフィードバック構造と社会環境を通してのフィードバック構造，また，脳におけるフィードフォワード構造が社会適応のメカニズムには重要であることがわかった．

環境に適応するための高次行動を制御する神経生理機構のシステム的理解

青沼仁志（北海道大学）

要旨－生物は，時々刻々と変化する環境に応じた行動を発現できる．複数の個体が集まると集団や社会を形成する．すなわち，社会はひとつの環境要因として働き，動物は社会環境に応じて適応的に行動を発現している．この動物に特有の，社会環境への適応のメカニズムを明らかにするため，昆虫であるクロコオロギを題材に，闘争経験に基づく行動の決定と発現のメカニズムを研究してきた．闘争行動は，多くの動物で見られる社会行動のひとつである．コオロギでは，闘争行動は，体表フェロモンにより解発される．闘争行動の発現機構を理解するため，攻撃を誘発する化学物質の同定と有機合成を行った．また，攻撃誘導物質の脳内での情報処理機構の研究と，行動発現にかかわる脳内の一酸化窒素・生体アミン系の働きについて薬理行動学実験と神経生理学実験を行った．さらに，個体間相互作用による行動の発現メカニズムを理解するため，工学系グループと共同で動的モデルの構築とそのシミュレーションを行い妥当性の検討と検証を行った．

1. はじめに

生物は，長い時間をかけて様々な適応機能を進化させてきた．そのひとつが脳機能である．動物は，外界の環境変化に応じて行動を決定し発現する．動物は，しばしば集団や社会を形成する．社会は，ひとつの環境要因がとして働き，それぞれの個体行動を拘束する．我々の研究班では，動物が社会環境の中で状況に応じて行動を決定し発現する適応的なメカニズムの解明を目指した．

我々は，昆虫のクロコオロギで見られる社会行動のひとつでの闘争行動に焦点をあて，動物が刻々と変化する社会環境の中で，実時間で行動を決定し発現する際の神経生理機構を明らかにして，適応行動を司る神経系の設計や動作を理解しようとしてきた．昆虫は脊椎動物に比べ．体が小さく，脳神経系は小規模でわずか 10^6 個程の細胞から構成されている．ところが，その小規模な脳を使い，優れた感覚受容，情報処理，運動発現などのメカニズムをもち，環境に適応している．動物の学習・記憶・知能をはじめ，動機づけによる行動の修飾，階層的ルールに基づく行動選択や決定など，高次行動制御の神経生理学的機序を解明するためには，従来の行動観察や細胞レベルでの生理学的な解析に，構成論的アプローチを取り入れて，社会適応のメカニズムの解明に挑んできた．

2. 研究目的

本研究では，社会をひとつの環境要因として捉え，個体間相互作用や社会的経験に基づいて，個体が実時間で行動を決定し発現する神経生理機構を明らかにすることを目指している．動物が状況に応じて適応的に行動を発現する仕組みを理解するには，感覚情報の処理・統合や行動パターンを創り出す脳の働きとしての内部状態の調節機構を明らかにすることが重要である．昆虫は常に変化する環境情報を小規模な神経系で処理し，適切な行動を選択して環境に適応している．昆虫は外的および内的な環境要因に依存し，行動発現閾値や行動パターンをダイナミックに変動させて，適応的に行動する．特に，生殖や闘争などの社会的な経験は，引き続き起こる行動決定に大いに影響を与える[(1)]．

具体的には，クロコオロギの闘争行動を題材に社会適応のメカニズムを明らかにするため研究を行った．コオロギのオスは他のオスに遭遇すると互いに威嚇し闘争を始める．一方，闘争に敗れると，敗者は他の個体に遭遇しても攻撃をすることなく相手から逃げ出す忌避行動を示す．この闘争行動を題材に，化学感覚情報の受容から，脳内信号処理，異種感覚統合，行動発現にいたるシステム的な解析を行い，社会的適応行動の発現に関わる神経機構を解明しようとした．さらに，行動学実験や生理学実験から得られた知見をもとに，工学系のグループと共同で動的システムモデルの構築と計算機シミュレーションを行い，より深く社会適応のメカニズム理解に努めた．

3. 研究成果

社会的な経験に基づく柔軟でリアルタイムな行動の決定と発現を司るメカニズムを解明するため，昆虫の仲間のクロコオロギを使って，闘争行動を題材に研究を進めた．これまでに，各個体の内部状態が行動の発現に大いに影響を与えることを行動学実験と，システムモデルの構築と計算機シミュレーションから示唆してきた．攻撃行動を誘発する体表フェロモンの成分の化学分析と有機合成，異なるモダリティの刺激が攻撃

行動の発現に与える影響，一酸化窒素(NO)やオクトパミン(OA)をはじめとした生体アミンが攻撃行動の発現に及ぼす効果を薬理学的，生理学的な実験で調べた．実験から得られた結果をもとに，工学グループと共同で，動的行動モデルと神経生理モデルを改良し妥当性の検討を進めた．

図1. オスのクロコオロギ同士の闘争行動．体表物質を検出すると相手を威嚇し、次第に激しい攻撃行動へとかわる．

3-1　コオロギの攻撃誘発フェロモンと闘争行動

クロコオロギ(*Gryllus bimaculatus*)を実験材料に，社会行動のひとつである，闘争行動を題材に，社会的経験や個体間相互作用にもとづいて適応的な行動の決定と発現にかかわる神経メカニズムを調べた．

オスは他のオス個体に遭遇すると互いに威嚇しあい，どちらかが退かなければ，次第に激しい攻撃へと進展し，闘争が始まる (図1)．攻撃は，オスが，別のオスの体表物質を受容すると解発される．攻撃を誘発させる化学成分について，公募班の山岡（京都工芸繊維大学）等とともに，生化学分析と行動検定を行い，候補物質を突き止めた．

クロコオロギは，相手の体表に触角で触り，化学感覚情報を受容する．そこで，解剖学的に，脳内の空間的な配置を調べた．受容した情報は，脳内では化学感覚情報と機械感覚情報に分かれた別々の経路で処理されることが分かった．触角感覚神経から蛍光色素を導入して脳内の投射パターンを調べ， 49個ある糸球体の形態には個体差や雌雄差が少ないことが分かった．また，上位中枢への経路となる投射ニューロンでは，触角葉由来の投射ニューロンはキノコ体傘部の上方端と側角に，腹側域由来の投射ニューロンはキノコ体傘部や前大脳側部下側と上側に投射していることが分かった．すなわち，触角葉の時空間的な活動パターンで表現される化学情報と，腹側域で表現される機械情報が，高次中枢においても時空間的な活動パターンとして表現されることが示唆された[(2)]．

3-2　闘争経験による行動選択と視覚・機械感覚入力

オス同士の闘争で勝敗が決定して闘争が終結すると，勝者の闘争性はそのままの状態で維持され，相手が近づくと威嚇や攻撃をするのに対し，敗者では，他個体の存在に気づくと忌避行動を示し相手から速やかに離れる．この敗者で見られる忌避行動は，勝敗が決まってから比較的長い時間続くことから，コオロギが，社会的な経験や個体間相互作用によって行動を適応的に決定することを示している．

コオロギは，体表炭化水素を触角で検出し，相手がメスなら求愛行動を，オスなら攻撃行動を発現する．オス同士の闘争で敗れた敗者は，他個体から抽出された体表物質を提示するだけでも忌避行動を示す．このことから触角で受容する感覚が攻撃や忌避を引き起こす重要な鍵刺激であることが判明した．一方，闘争の際に触角が果たす役割を明らかにするために行動学実験を行った．左右両方の触角を切除した個体同士を対戦させると，攻撃行動を示す個体の割合が優位に減少した．このことから，オスが攻撃を仕掛けるには触角から入ってくる情報が必要であることが示唆された[(3)]．次に，触角を切除した個体では闘争性が減少しているのか確認するため，左右の触角を除去した個体と正常個体とを対戦させた．その結果，触角除去個体同士の場合と比較して有意に高い割合で攻撃行動を示した．さらに，触角を除去した個体と，正常な個体とを対戦させると，闘争行動の激しさのレベルは，正常個体同士の闘争行動と有意な差が見られない．すなわち，触角からの入力情報は，相手を感知し，攻撃を仕掛ける際には必要だが，相手から仕掛けられた攻撃に対する応戦には必要ないことを示した．これらの結果から，攻撃行動の発現には，触角からの化学感覚入力や機械感覚入力を介する経路と触角からの入力を介さない経路の２つが少なくとも存在することが示唆された．さらに，触角切除個体は正常個体に対して，明条件下でも暗条件下でも同様な攻撃行動を示すことから，触角を介さない経路には，相手個体の触角による体表面への機械感覚刺激が重要と考えられる．左右の触角を切除した個体で，敗退経験と忌避行動の関係を調べた．触角を除去した個体と正常な個体とを対戦させて，その闘争で触角を除去した個体が負けた場合，それぞれの個体を15分間それぞれ隔離して，その後， 同じ相手と再び対戦させたところ，触角を除去した個体では正常個体に比べ２度目の対戦で攻撃を示す割合が有意に増えた．つまり，闘争経験に基づく行動の切り替えには，上述の攻撃行動を発現する２つの経路のうち触角を介する経路が関与することが示唆された．

3-3　社会的順位の形成とNO/cGMPシグナル

行動決定の神経機構には，神経伝達や神経修飾の働きが重要である．薬理行動学実験から，闘争行動の発現には，NO/cGMPシグナル系が重要な役割を担うことを示した. 闘争の開始15分前に予めNOS阻害剤L-NAMEを頭部に注入し対戦させると，通常と同様に闘争が観察できる．ところが，対戦後隔離してから再び両者を対戦させると，敗者は再び相手を攻撃することが分かった（図２）．同様の結果は，sGCの阻害剤ODQを頭部に注入しても観察され，NO/cGMPシグナル伝達系が，闘争行動に深くかかわることがわかった．

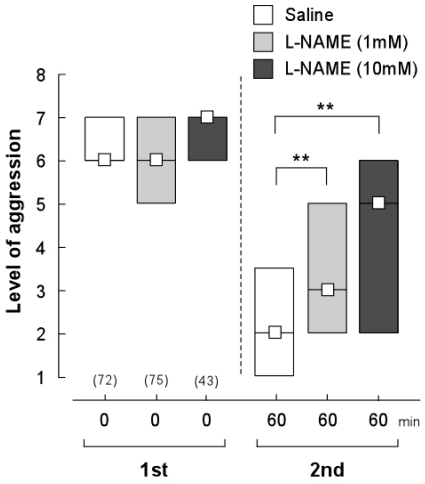


図2. NOS阻害剤L-NAMEの闘争行動に対する効果. L-NMAEを投与した個体では，敗者は２戦目でも攻撃行動を示した.

3-4　闘争行動の発現と一酸化窒素が機能するタイミング

コオロギの脳内におけるNO/cGMPシグナル伝達系が，闘争の発現に関与する．最初の対戦ではNO/cGMPシグナル伝達系を阻害しても闘争は起こる．ところが，闘争に敗れた個体は，２度目の対戦でも攻撃を行う．一方，触角を除去した個体では，敗者が２度目の対戦で攻撃をする割合が増えることから，触角を介して攻撃を発現する経路にNOがかかわることが示唆された．そこで，NOが，闘争行動のどの段階で機能的に働くのか調べるために，L-NAMEを最初の対戦前，もしくは，対戦後に投与し，NO産生のタイミングと闘争により敗退した後の行動決定の関係を調べた．最初の対戦直後にNOSの活性を阻害したところ，敗者個体は攻撃行動を示さなかったことから，NOは，最初の対戦時に働くことで，敗者は，闘争における敗退経験を記憶し，他個体に対する忌避行動を示すようになることが示唆された．オスコオロギでは，オスの体表物質による刺激で脳の触角葉からNOが放出されることから，触角で他個体を感知して威嚇や攻撃行動を始める時に放出されるNOが，敗者では敗退経験によるオスに対する忌避行動を持続的に発現することにかかわると考えられる．

3-5　闘争行動の発現にかかわるオクトパミンの作用

生体アミンは，闘争行動や生殖行動の発現に深く関与する．中でもオクトパミン(OA)は，闘争行動の発現に深く関与する．また，我々は，NOが，脳内のOAレベルを低下させる働きをもつことを示した．一方，闘争の前後で，コオロギの脳内の生体アミンレベルの変化を比較すると，闘争の終結直後には，特に，OAのレベルが低下した．また，アミンレベルの低下は，勝者と敗者の両者で見られるが，敗者ではより顕著にOAレベルが低下する．さらに，OAレベルの低下が闘争開始前の状態に戻るまでの時間は，敗者ではおよそ1時間程度かかり，勝者では敗者に比べて比較的早くもとの状態に戻ることが示唆された．

次に，OAが攻撃行動の発現や闘争性の強さにどのように影響を与えるか調べるため，薬理学的にOAレセプター阻害を投与し攻撃行動を観察した．その結果，OA阻害剤であるミアンセリンを投与すると，有意に攻撃性が低下することが分かった(図3)．すなわち，闘争時のNOは，OAの働きを抑制する作用があり，それにより攻撃行動が抑えられ，敗者では他個体に対して忌避行動を発現することが示唆された．

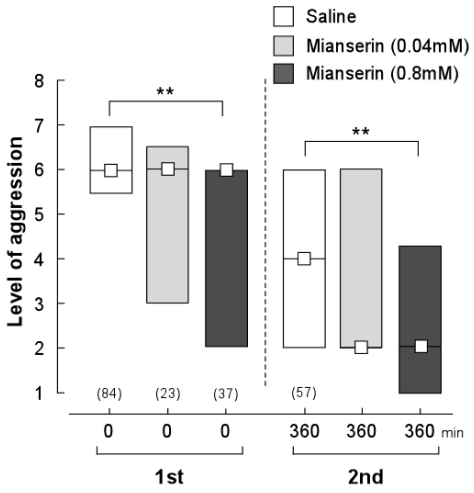


図3. OA阻害剤ミアンセリンの闘争行動に対する効果. ミアンセリンを頭部に投与した個体では，濃度依存的に，初戦での闘争生は低下した．さらに，6時間後に行った2戦目でも濃度依存的に闘争性が低下し, 敗者は忌避行動を示した.

そこで, さらにNO供与剤とOA阻害剤を同時に投与し，攻撃行動の発現や，敗者の忌避行動への行動切り替えにかかわる影響を調べた．OAの阻害剤ミアンセリンやエピナスチンを頭部に投与すると，攻撃行動の回復には有意に長い時間がかかるようになったが，これらの薬物はどれも闘争の直後に投与してもその効果は現れ

なかった．ところが，NOS阻害剤の L-NAMEとミアンセリンを同時に投与すると，それぞれの薬物の効果が打ち消されることが分かった．すなわち，NOとOAが中枢神経系のなかでは協調して働くことで，それぞれの個体の攻撃性を調節していることが示唆された（図4）[(5)].

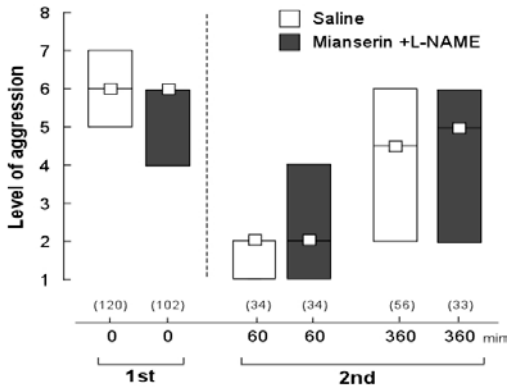


図4. NOS阻害剤L-NAMEとOA阻害剤ミアンセリンを同時に投与したときの攻撃行動の変化．ミアンセリンとともにL-NAMEを投与して，6時間後に2戦目の対戦を観察すると，ミアンセリンの効果が打ち消され，再び攻撃行動を示す．

4. まとめと展望

社会をひとつの環境要因として捉え，動物がどのように実時間で状況に応じた行動を決定し発現するのかを，昆虫のクロコオロギを使って闘争行動を題材に調べてきた．生理・生化学実験と行動学実験を組み合わせて，闘争での勝敗結果によって，闘争後に接触する他個体に対する行動の変化を調べたところ，ON/cGMPシグナル伝達系と，OAをはじめとしたアミン系の働きが重要な役割を担っていることを示した．我々は，これらの知見をもとに，工学系の研究グループ共同で，動的行動モデルと神経生理学モデルの構築を行い，その計算機シミュレーションで妥当性を検討してきた．また，実際のコオロギの行動とシミュレーション結果を比較しながらモデルの改良を共同で進めた．また，その過程で，個体密度にともなって闘争性が変化する行動発現のメカニズムについて，内部状態として働くNOやOAの役割を仮説として想定し, 内部状態の形成過程について考察した．行動モデルから，個体密度を変化させた時に起こる個体行動の挙動が，実際のコオロギを使い行動実験した時と似た挙動を示すのかを検証実験したところ，コオロギの集団では，構築したモデルと同様に，それぞれの個体が他個体と接触し，その相互作用で常に内部状態が更新されることが適応的な行動の発現に重要であることが示唆された．同様に，NO/OA系の働きをもとに構築した神経生理学モデルでも，オープンループモデルでは高密度状態の行動の挙動が説明できず，脳内での情報処理過程でのフィードバックと，他個体との接触による社会環境を通したフィードバックという多重フィードバック構造が社会適応を創り出す上で重要なメカニズムであることが理解できた．

図5. 社会適応を創り出す重フィードバック構造．脳神経系におけるフィードバック構造は，神経系と液性系が関与していると考えられる．社会環境を通したフィードバック構造は，他個体との相互作用や個体群間の相互作用などで形成される．

5. 参考文献

1. 青沼 仁志，長尾隆司，太田 順，川端邦明．浅間一 (2007) 社会的適応行動の動的モデリングと工学応用―コオロギの喧嘩行動を対象として―, 計測と制御　特集号「移動知：生物の社会適応機能の解明とその工学的応用 46 (12) 903-909.
2. Yoritsune A and Aonuma H (2007) 3-D atras of the cricket antennal lobe. Proc. International Symp. Mobiligence, 2: 187-190
3. Sakura M, Yoritsune A, and Aonuma H (2007) Fighting experiences modulate aggressive and avoidance behaviors in crickets against male cuticular substances. Proc. 2nd International Symp. Mobiligence, 2: 243-246
4. Aonuma H., Kitamura Y., Niwa K., Ogawa H. and Oka K. (2008) Nitric oxide-cGMP signaling in the local circuit of the cricket abdominal nervous system. *Neuroscience.*157: 749-761.
5. Sakura M., Kikuchi M. and Aonuma H. Role of nitric oxide and octopamine in the aggressive behavior of the cricket, Proc. 3rd International Symp. Mobiligence, 3 : 328-331 (2009)

コオロギの社会性発現機構の構成論的理解

東京大学　太田　順，　淺間　一，理化学研究所　川端邦明

Constructive understanding of the mechanism for formation of sociality in insect
Jun OTA, Hajime ASAMA, The Univ. of Tokyo,　Kuniaki KAWABATA, RIKEN

Abstract: 動的モデリング技術に基づく生物の社会的適応行動解明を目指して，コオロギの喧嘩行動と集団との関係について解析を行っている．コオロギに関する様々な階層のコオロギのモデリング手法について述べ，その妥当性について議論する．

Keywords: multi-agent robot systems, crickets, adaptive behavior

１．はじめに

本グループではオスクロコオロギの喧嘩行動を題材として，相互作用するクロコオロギ集団のモデル化および解析を行う．これより，生物の社会適応行動の基盤を明らかにすることを目指す．ここでは，動的モデリング技術を用いたアプローチにより，コオロギ群の相互作用を，神経生理レベルから行動レベル，群挙動レベルまで一貫して議論し，それらの機構の解明を目指している．以降２章において，クロコオロギ単体と集団的挙動との関係を表す行動モデル化について述べる．更にマルチモダリティ感覚と行動との関係について述べる．３章において，クロコオロギの神経生理モデルに基づいた群挙動の検証結果について述べる．さらに，４章において，クロコオロギの生育環境と成長の関係を表すモデル化について述べ，５章でまとめを述べる．

２．クロコオロギの行動モデル化

クロコオロギのオスはメスを獲得するためにフェロモンを用いて，オス同士，闘争行動とる特徴ある社会を構成する（Fig. 1）．自然界におけるクロコオロギは1m$_2$ あたり数匹程度の低密度な環境で生きているが，人工的にコオロギを高密度環境で生活させると，コオロギの振る舞いは一変しほとんどのコオロギがまるで共同生活によって協調性を身につけたかのように忌避行動を主として行い，闘争を行わなくなる．低密度と高密度の中間の密度（中密度）の環境においては，高密度と同様に主に回避行動を行う個体が群の大多数を占めるが，その中に1 匹あるいはごく少数の個体だけが闘争行動を示すようになり個体間の優劣を生じる．この現象を解析の対象とした．

Fig. 1 Fighting behavior of male crickets

オスクロコオロギにおける他者識別能力の解析を行うために，オスクロコオロギは闘争行動時に対戦相手に応じて行動を切り替えているかどうか，行動実験を行い解析した[1]．実験結果から，（ｉ）以前闘争で勝った相手・負けた相手に応じて行動を切り替えていない．また（ⅱ）対戦相手の優位さに応じて行動を切り替えていないことが分かった(Fig. 2)．すなわち，クロコオロギは闘争行動時において，対戦相手に応じて行動を切り替えていないということが分かった．

これらのオスクロコオロギの闘争行動や，環境適応に関する知見をふまえ，生理学的な知見を基にコオロギの外界情報取得からから行動選択に至るまでのモデル化を行った（Fig. 3）．そしてそのモデルを基に行ったシミュレーション（Fig. 4）から，実際のクロコオロギの喧嘩行動やそれに伴い生まれる社会性に対応する結果が得られた[2]．

クロコオロギにおける個体密度に応じて異なる優劣関係を形成するという現象を，移動ロボット群の制御アルゴリズムに応用し，活動度を調整する群ロボットアルゴリズムを提案した[3]．ロボット群の採餌作業モデルの用いたシミュレーション実験を行った．その結果，活動度を設定しないロボット群よりも，餌の出現頻度や作業環境の広さが変化する動的環境下において，良い適応性を示すことがわかった．

クロコオロギの闘争時には，マルチモダリティな感覚情報を用いた行動生成を行っている．ハンディキャップコオロギを用いることでそれらの関

係について行動実験を行い，多種感覚行動連関についてモデル化を行った[4]（Fig. 5）．

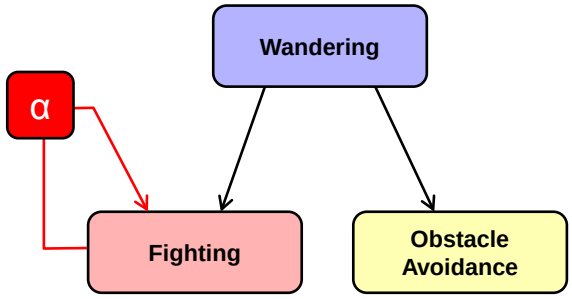
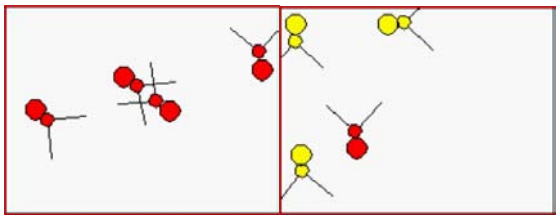


Fig. 3 Behavior Model of Crickets



(a) initial state (b) final state

Fig. 4 Example of simulation results

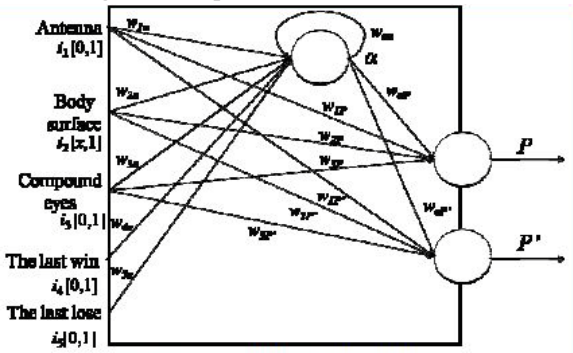


Fig. 5 Sensory-behavioral model [4]

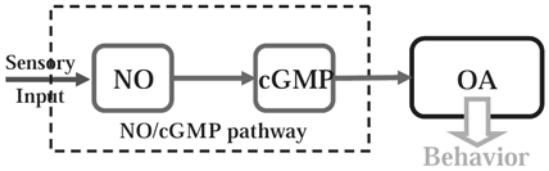


Fig. 6 NO/cGMP-OA model

３．クロコオロギの神経生理モデル化

本研究の目的は，クロコオロギの闘争行動における行動選択に関わる神経生理学による知見の動的なモデルの構築である．我々は，これを構成論的神経行動学アプローチと呼び，行動学の知見と比較することで，妥当性について議論した．

３．１　個体行動変容を再現可能なNO/cGMP-OAモデル

我々はクロコオロギ個体が闘争行動において経験や時間経過によって，選択する行動が変化することに着目した．そこで，クロコオロギ脳内での化学物質（一酸化窒素：NO,環状グアノシン一リン酸：cGMP,オクトパミン：OA）の生成と消費に関する知見に基づいた個体行動の変容を再現可能な NO/cGMP-OA モデルを構築した（Fig. 6）．

このモデルでは脳内の各化学物質の静的なデータと仮説をもとにした微分方程式によって，行動選択のダイナミクスを表現している．このモデルを用いた計算機実験により，経験にもとづいた個体行動の変容を再現することが確認された．

３．２　個体／群行動変容を同時に再現可能な拡張モデル

前述した NO/cGMP-OA モデルを用いた群計算機実験の結果から，実際のクロコオロギに観られる，密度による行動変容を説明することができなかった．そこで，我々は生体アミンと感覚情報感受性の変化や，生育密度による他個体との接触頻度変化に関する仮説から，NO/cGMP-OA モデルを拡張した（Fig.7）．

本モデルでは，他個体のオスフェロモンを感受した際，OA値と触角からの感覚入力感受性(Efficacy)値を比較し，Efficacyを闘争行動における行動選択の閾値として用いて行動選択を行うモデルとなっている．ここで，Efficacyとは一次嗅覚中枢における情報の伝達効率に相当するものを想定している．ここで，他者との接触時に，OA値がEfficacy値を上回る状態の際に喧嘩行動を選択し，これと逆の場合には無反応を選択する．また，喧嘩行動を選択した後，喧嘩行動中にOA値がEfficacy値を下回った場合，その個体は逃避行動を選択するものとなっている．

ここで，OA 値は前述の NO/cGMP-OA モデルのように振る舞うとし，闘争行動後の Efficacy(E)の変化を次のようにモデル化した．闘争に勝った経験により E を定めた値分減少させ，負けた経験により E を定めた値分増加させることとした．また，その後の Efficacy（E）の回復に関わる動特性を式(1)のように表現した．

$$E = A \times 10^{\alpha t} + B + g(F_{in}) \qquad (1)$$

ここで，A，B，αは定数，tは闘争終了後の時間を表す．闘争直後は強く経験を保持しているが時間経過とともに忘却されることが知られているため(未発表データ)，第1項及び第2項に経験を保持する効果を導入している．続いて第3項は接触による影響を表したものである．接触による影響は，他個体との接触時のみ影響を及ぼす要素とするため式(2)のように表現した．

$$g(F_{in}) = -\beta \times F_{in} \qquad (2)$$

$$F_{in} = \begin{cases} 1 & contact\ with\ another\ one \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

ここでβは接触による抑制性の影響の程度を，F_{in}は接触の有無を表わす．このような特性を持つ

EfficacyとOA量を参照することで行動選択を切り替えていくモデルとなっている．

このモデルを用いた計算機実験の結果，一回の闘争行動による経験から，個体行動が変化する現象を再現することができた．一方で，拡張モデルを持った群環境（４匹，フィールドの大きさを可変）での計算機実験を行った結果をFig. 8に示す．

ここで，$\beta = 0.005$と設定した場合に高密度環境では強気個体が出現せず，環境の面積を広げていくと強気個体数が増加するという生物学的知見の傾向と同様の結果を得た．このことから，構築したモデルにおいて，行動選択の閾値としてのEfficacyに対して，他個体との接触が抑制性の影響を持つことが群行動の変容に効果を示すことが分かった．つまり，クロコオロギ脳内での感覚入力感受性が闘争行動における行動選択に重要な役割を果たしている可能性があることがわかった．

４．生育環境の影響による成長のモデル化

脊椎，無脊椎動物の多くで，幼齢期の社会的隔離の結果，攻撃性が過剰に発達すると報告されている．昨今の研究では，ヒトにおいても“キレる子ども”と養育状況の相関関係から，同様の現象が注目されている．このような攻撃性発達の詳細な研究は，主に数種の脊椎動物で行われている．しかし無脊椎動物は，神経系が脊椎動物のものより小規模で個体差が少ない．また

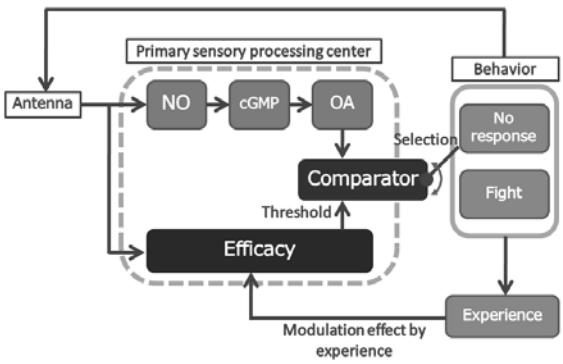


Fig. 7 Extended NO/cGMP-OA model with efficacy effect

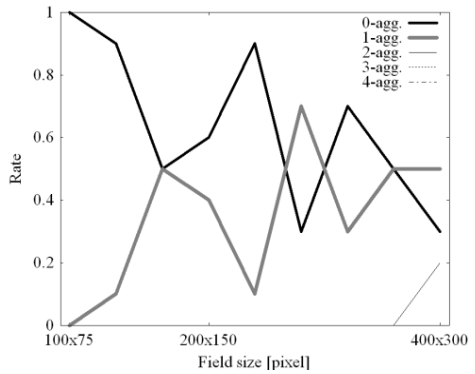


Fig.8 Simulation result

数種の昆虫で同様の現象が報告されていることから，本研究では昆虫を対象にして，現象理解に臨む．この現象が報告されている昆虫としてはショウジョウバエとクロコオロギがあり，後の解剖ないし生理実験による検証を考え，その体サイズから後者を採用した．本研究により攻撃性の種間共通的知見の解明が期待される．また将来的にそのモデルに基づく攻撃性の制御を目指す．

攻撃性は脳内の神経修飾物質であるOctopamine (OA)，Serotonin(5-HT)により調整を受けることが様々な生物学的研究から知られており，本研究では，まずこの関係をシステムとして再構成した（Fig. 9）．

5-HT神経はその受容体型が複数報告されているが，特に攻撃性に関するものとして，多くの生物で自己受容体の関与の有無が争点となっている（Fig. 10）．そこで自己受容体の役割である自己抑制の有無で，それぞれ5-HT神経系モデルを微分方程式で書き下した．投薬による予備実験でコオロギ脳内の5-HT量が喧嘩開始に関与することが確認され，また脳内5-HTは喧嘩に負けることで減少するという報告があることから，減少の回復速度が喧嘩の忘却速度と相関をもつと予想できる．そこで先の微分方程式を数値計算し喧嘩忘却率の実験値と比較したところ，忘却曲線は自己抑制を有するモデルでのみよく説明できた（Fig. 11）[5]．そこで本研究では5-HT神経系のモデルとして自己抑制有のモデルを採用した．OAは自己抑制無の条件でモデル化した．

以上のようにして内部モデルを構築し，このモデルを持った個体群で多体系シミュレーションを行った．生物学実験の知見に基づいて一回の喧嘩で減少する5-HT量，OA量を計算し，その回復の時定数を計算した．その上で，5-HTおよびOAが多いほど攻撃性が高くなるようなパラメータを用意した．過去の研究から，喧嘩をする相手の選び方は攻撃性の高さと相関があるとして，喧嘩のペアリング率をFig. 12のように設定した．更に，空間の広さを考慮するため，この喧嘩開始率に対し，空間の広さの逆数 ρ を乗じた．これで空間が広ければ根本的に接触が発生しないようになる．

提案モデルで喧嘩を開始し，内部パラメータとして5-HTの自己抑制に関わる受容体数を観察したところ，Fig. 13のように臨界的な広さが存在し，それより狭い空間では個体同士の受容体保有量が分岐すること，その集団の平均値が単調減少することがわかった．また，攻撃の強さFの形式的解析により，広いパラメータ領域で自己抑制型受容体の増加は攻撃性を単調に増加させることが判明した（Fig. 14）[6]．これは隔離飼育時に攻撃性が増加する実験事実とよく合致している．

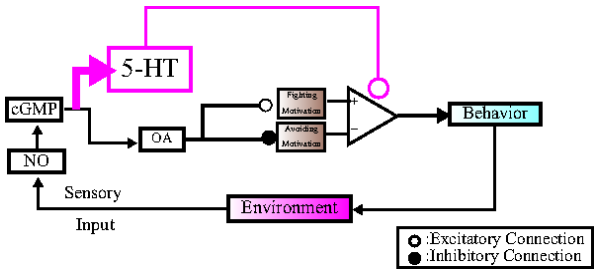


Fig. 9 Behavior is determined by an amount of Octopamine (OA). Behavior is neuro-modulated by an amount of serotonin (5-HT).

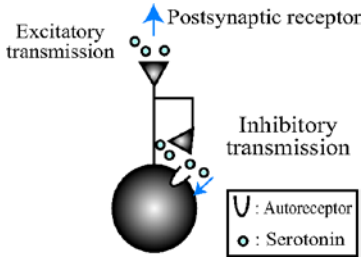


Fig. 10 Inhibitory effect caused by autoreceptor-like negative feedback [6]

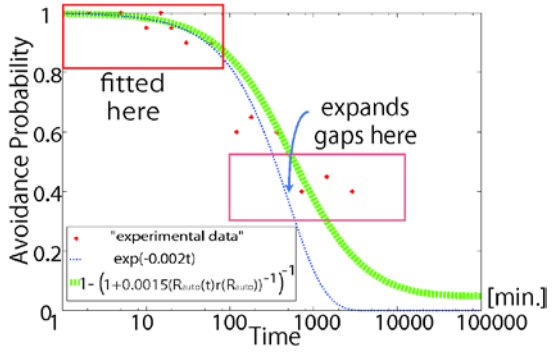


Fig. 11 It shows forgetting curves derived by the model with negative feedback (green), and the model without negative feedback (blue), and experimental data (discrete point).

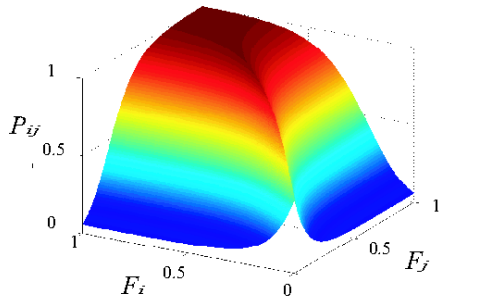


Fig. 12 It shows a probability of pairing between cricket i and j. Toughness of them (i. d. F_i and F_j) is determined by an amount of OA and 5-HT.

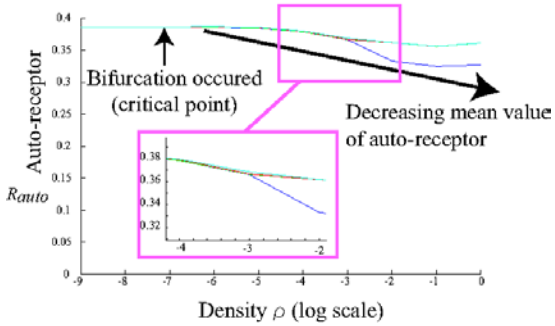


Fig. 13 Relation between spatial density ρ and an amount of auto-receptor. High density produces low auto-receptor.

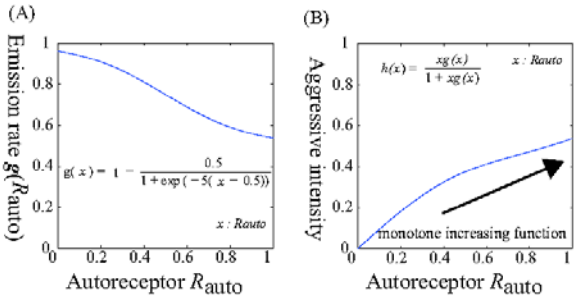


Fig. 14 Large amount of auto-receptor causes high aggressiveness.

５．おわりに

さまざまな階層におけるコオロギの動的モデルを構築し，シミュレーション等で評価を行った．喧嘩行動を行うコオロギの内部構造について仮説的知見を与えることができた．

参考文献

[1] Masatoshi Ashikaga, Midori Sakura, Mika Kikuchi, Tetsutaro Hiraguchi, Ryosuke Chiba, Hitoshi Aonuma, Jun Ota, Establishment of Social Status without Individual Discrimination in the Cricket, Advanced Robotics, 23, 5, 563/578 (2009).

[2] 足利昌俊，クロコオロギ群の闘争行動発現メカニズムのモデル化,東京大学博士論文，(2009).

[3] Masatoshi Ashikaga, Mika Kikuchi, Tetsutaro Hiraguchi, Midori Sakura, Hitoshi Aonuma and Jun Ota: Foraging Task of Multiple Mobile Robots in a Dynamic Environment Using Adaptive Behavior in Crickets, Journal of Robotics and Mechatronics, 19, 4, 466/473 (2007).

[4] Tatsuya Mizuno, Midori Sakura, Masatoshi Ashikaga, Hitoshi Aonuma, Ryosuke Chiba and Jun Ota, Modeling of the Effects of Multi-modal Inputs on the Aggressive Behavior using Handicapped Crickets, Proc. 3rd International Symposium on Mobiligence, 332-337 (2009).

[5]S. Yano. et al., Forgetting curve derived by serotonin hypothesis in Cricket,Gryllus Bimaculatus, Mobiligence in Awaji, (2009).

[6]S. Yano, et al., Development of Neurotransmitter Modulation on Aggression and Dominance Hierarchy in Cricket,Gryllus Bimaculatus, SICE2009, (2009).

生体の適応行動発現に対するネットワーク機能構造からの理解

C01-03　倉林大輔　神埼亮平

Adaptive behaviors emerged by functional structures in interaction networks

Daisuke Kurabayashi　Ryohei Kanzaki

Abstract– Insects have only a little brain but the behavior is highly adaptive. We consider that physical structure of the interaction network works on the creation of the brain function and model the behavioral processor that controlled by its structural disposition. In this research, we investigate mechanisms for intelligent behaviors through novel approach called bio-machine hybrid systems. We focus on (i) insect-driven robot to see adaptabilities, (ii) cyborg contained by insect-brain and mechanical body, and (iii) network property to expse the program behavior of a silkmoth.

Key Words: Bio-machine hybrid system, network, *Bombyx mori*

1　はじめに

本研究では，生物の持つ多様な環境適応能の中で，行動の選択・調整過程について研究を行った．

生物行動の発現機構の研究はこれまで脳機能に重点がおかれ，構成素子たる神経細胞を要素還元論的に分析するボトムアップアプローチが主であった．しかし脳を環境や身体から独立させて，その適応能を理解することは不可能である．つまり，脳を構成する素子・神経細胞からボトムアップに脳機能を推定しても，その機能の妥当性の評価・検証が困難で，適応的脳機能をとらえるには限界が生じる．

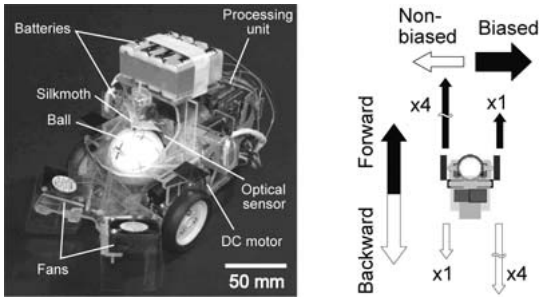
そこで我々は，ボトムアップアプローチを補完し，適応能そのものを評価・検証できる新たなアプローチ “昆虫-機械融合システム” を軸に据え，実験システムを通じた知見の統合によって，微小脳における移動知発現メカニズムの理解を行った．このシステムは，身体をロボットに置き換えることで，昆虫の移動により生じた感覚フィードバックを我々が自由に操作できる，新規な方法論を提供するものである．

これと並行して，神経細胞を模した最も単純な表現素子である位相振動子を用い，素子ではなく構造がもたらす機能について定式化し，同定に際して１つの可能性を示した．

なお，本研究では，雌の性フェロモン刺激によって，明瞭な本能行動であるフェロモン源定位行動を発現する 雄カイコガ (*Bombyx mori*) を主たるモデル生物とした．カイコガ雄は，雌の出す性フェロモンを感知すると，翅をはばたかせながら，まず少し前進 (Surge) した後，左右に 2，3 回ジグザクに動き (Zigzag-Turn)，最終的には回転 (Loop) する．この一連の行動中に，再びフェロモン刺激を受けると，行動パターンをリセットし，再び Surge から行動を開始する [1)-6)]．

2　昆虫操縦型ロボットによる適応能計測

「昆虫操縦型ロボット」は，搭載された昆虫の歩行運動によって操縦される移動ロボットである [7)]．移動ロボットのモータパラメタを操作して意図しない運動を引き起すことで，昆虫自身の持つ適応能力を評価できる．ここでは，このシステムによって得られた，カイコガのフェロモン源定位行動における視覚情報の役割と運動補償機構の知見について述べる．



(a) Overview　(b) Gain setting

Fig. 1: Experimental setup of insect-controlled robot.

2.1　視運動反応による本能行動の修飾

Fig. 1(a) に昆虫操縦型ロボットを示した [8)]．背中を固定された雄カイコガは，ロボット上のボールを歩行運動によって回転させる．光学センサによってこの回転は読み取られ，ロボットの運動として再現される．

まず，Fig. 1(b) に示すように，左右非対称なモータ回転のゲインを設定した条件（時計回り，もしくは反時計回りのバイアス）で，ロボットを操縦するカイコガが，視覚情報によってゲインのバイアスを補正し，フェロモン源へ到達できるか評価した．昆虫の多くは，自身の運動による背景の相対的な動き（Optic flow）を検出し，視運動反応（Optomotor response）と呼ばれる反射の系で経路の補正を行うことが知られている．しかし，カイコガではフェロモン刺激によって解発されるプログラム行動の影響が強く，その効果を行動学的に調べることは困難であった．本研究では，この視覚情報（Optic flow）の有無を，カイコガの前面に透明なカバー (視覚情報有)，もしくは白色のカバー (視覚情報無）を取り付けることで操作した．ロボットを雌性フェロモンの主成分である bombykol の流れる風洞 (1800(L) x 900(W) x 300 mm(H)) へ入れ，スタート地点より 60 cm 離れたフェロモン源への定位を観察した．

視覚情報の有無によるそれぞれの定位行動の軌跡（時計回りのバイアス 7 例）を Fig. 2 に示した．すべての実験の結果，Optic flow ありでは 7 個体 14 例中 11 例で定位に成功したのに対して，Optic flow なしでは 7

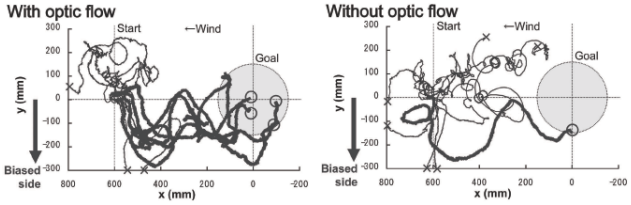


Fig. 2: Trajectories of the manipulated robot with (left) and without optic flow (right).

個体 14 例中わずか 4 例の成功にとどまった．また，通常の左右対称なゲインで走行中に，急に非対称なゲインに切替えたところ，バイアスを打ち消す方向へ有意に旋回を始める補償運動は，切り替え後 1 秒以内に起こることも分かった．以上から，カイコガは，視覚情報を定位行動中に利用しており，ゲイン操作に対して反射的な補償（視運動反応）を行い，フェロモン源へ定位できることが明らかになった．

2.2 時間遅れに対する感覚－運動系の応答評価

時々刻々と変化する環境に適応するためには，状況に即した行動を発現する必要がある．一方で，視覚情報による反射と嗅覚情報による本能行動とでは，それぞれの感覚－運動系の実時間性が大きく異なることが予想される．このことを確認するために，カイコガの歩行運動とロボットの運動との間に時間遅れ（0-1000 ms）を設定し，雌性フェロモン源に対する定位実験を行った．また，左右非対称なモータ回転のゲインを設定した条件でも同様の実験を行い，前述の視運動反射の実時間性を評価した．実験はそれぞれ 10 個体を用い，各時間遅れに対して 1 試行ずつ行い，適応性評価の指標として定位成功率を計算した．

Fig. 3 に，時間遅れに対する定位成功率の変化を示す．標準の左右対称なゲイン（1:1）の条件では，600 ms の時間遅れに対しても，80%の定位成功率を示した．また，1000 ms の遅れに対しても 50%の個体が定位に成功した．一方，左右非対称なゲイン（1:4）では，時間遅れに対して急激に成功率が低下し，400 ms の時間遅れで 50%にまで低下した

標準のモータゲイン（1:1）の条件で，時間遅れに対しても高い成功率を示したことは，フェロモン源定位行動にとって，時間遅れに厳密な実時間フィードバックがそれほど重要でないことを意味する．空気中で匂い分子は離散的に分布するため，濃度勾配に依存した化学走性（反射）による定位が難しいこと，そして，カイコガのフェロモン源定位行動が，反射（実時間フィードバックによる行動）ではなく，定型的な本能行動，すなわち感覚入力によって解発される定型的なプログラム行動であることはこの実験結果を強く支持する．一方，非対称なゲイン設定で，時間遅れに対する定位成功率が急激に低下したことは，この条件下では実時間フィードバックによる行動調節が強く働いていることを示唆する．このことは，視覚情報が，高速な実時間フィードバックによる反射の系によって行動の修飾に機能することを支持するものである．

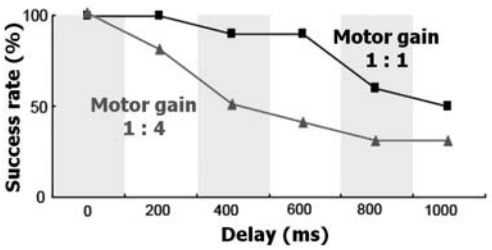


Fig. 3: Relationship between success rate of localization and delay of motor control of the robot.

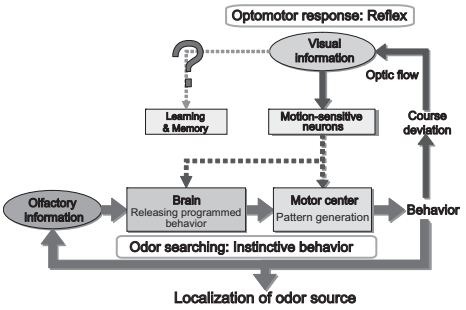


Fig. 4: A schematic drawing of the pheromone searching behavior of the silkmoth.

2.3 カイコガフェロモン源定位行動の適応性

本研究によって，本能行動であるフェロモン源定位行動と，反射である視覚フィードバックの 2 つの異なる感覚情報・行動発現機構が統合されることで，複雑な匂い環境や，身体性の変化に対しても高い定位能力を発揮することが示された（Fig. 4）．しかし，具体的な調節の経路，すなわち視運動反応の経路が，中枢レベルで直接プログラム行動を修飾するのか，それとも，より下位の運動パターン形成を修飾するのかは不明である．この点に関しては，次のような実験を検討している．このロボット上にイメージセンサを搭載して optic flow を検出し，視運動反応のモデルを用いて，視野を被覆したカイコガの操縦に割り込ませるのである．これにより Fig. 2 で見られるような補償が実現すれば，より下位のレベルでの統合が行われていることが予想される．このように，昆虫と機械を融合させた利点を活かすことで，実環境で振舞う昆虫の適応行動のメカニズムにさらに迫ることができよう．さらに，これまでは，複数感覚統合という比較的 ”hard-wired ”なしくみによる適応性について明らかにしたが，神経系の可塑性に基づく適応性にも焦点を当てて，昆虫操縦型ロボットを用いた学習実験の系を確立し，実験を進める予定である．

3 昆虫脳操縦ロボットによる適応行動発現

本章では，胸部神経節を介さずに機械身体を駆動する，昆虫脳操縦ロボットについて述べる．本研究では，計測系・情報処理系・駆動系・電源の全てを内包する昆虫脳操縦ロボットを完成させ，神経パルスからの運動再構成および定型行動観測を達成 [9] した．

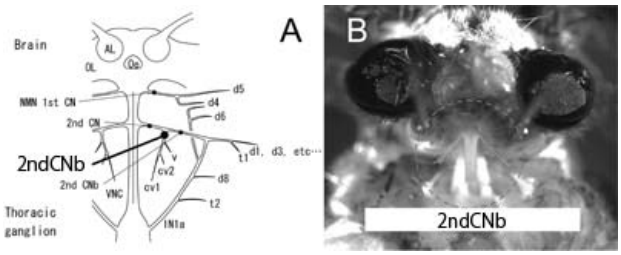


Fig. 5: Silkworm moth's nerves and 2ndCNb.

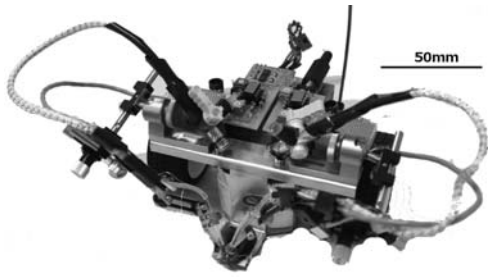


Fig. 6: Overview of the brain-machine hybrid system

3.1 神経信号の計測と行動への変換則

本研究ではカイコガの頚運動神経 2ndCNb から運動指令を計測する．2ndCNb は左右それぞれ 5 本の神経からなり，それぞれ頚を左右に振る筋肉に接続されている (Fig. 5:A)．腹や胸の神経節から脳へ戻る神経は切断してしまうため，カイコガの体性感覚は脳にフィードバックされない．脳において体感覚よりも視覚や嗅覚の入力が主に出力を決定していると考え，このような計測手法をとった．

無風状態で雄カイコガの片側または両側の触角に一過的なフェロモン刺激（幅 0.1 秒）を一回だけ与えた場合の計測結果 [10] を基準として，神経信号から行動の再構築を行った．定型行動中のカイコガは，平均回転角速度は約 $\pi/9$[rad/s]，最大回転角速度は約 $\pi/3$[rad/s]，平均前進速度は約 25[mm/s]，最大前進速度は約 80[mm/s] とされている [11]．

体軸角度を θ，体軸に対する頚の角度を ϕ とすると，$\dot{\theta} = a\phi + C$ と表現できる．ここで a，C は定数である．

次いで，測定された神経パルス信号から行動への変換則を求める．カイコガの頚の最大曲げ角度 ϕ_{max}，パルス計数周期を 10[Hz]，単位計測時間中の左右のパルス数をそれぞれ n_l，n_r とする．これらの値が二値的な値をとることから，適切なスレッショルドを h と設定し，スレッショルドを超えない範囲であればなめらかに変化することとする．

$$\phi = \begin{cases} \mathrm{sig}(n_d) * \phi_{max} & (\text{if} \quad |n_d| > h) \\ n_d * \phi_{max} & (\text{otherwise}) \end{cases} . \qquad (1)$$

式 (1) より，神経信号から体軸角度への変換を決定した．ここで $n_d \triangleq n_l - n_r$ である．

3.2 昆虫脳操縦システムの実装と実験

これまでの検討に基づき，カイコガ頭部・記録電極・アンプを含め，完全自律な移動神経計測システムを製作した (Fig. 6) ．

この実験システム用いて，風洞にて実験を行った．風洞は幅 840[mm]，長さ 1500[mm]，高さ 240[mm] で，吸気側のスリットにより整流され，排気ダクトにより外部へ放出されている．風洞内でフェロモン単発刺激を与え，その行動軌跡を解析した．実験における走行結果を図 7 に示す．図中右側が風上であり，昆虫脳操縦ロボットは左端から行動を開始した軌跡である．実験

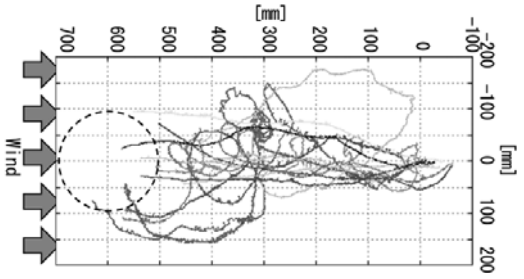


Fig. 7: Experimental trajectories.

では 14 個体のカイコガのうち 11 例で定位が見られた．この結果は，本研究にて製作した昆虫脳操縦システムが，実際のカイコガが発揮する行動について，定位を実現するのに十分な範囲での再現が可能であることを示している．このことは，実際のカイコガと異なる駆動方式及びボディサイズにおいても定位が可能であるとの結果であり，身体の機械による置換によって適応能を計測する，という昆虫脳操縦システムの目的が達成されていることを示している．

4 振動子回路網による機能構造モデル

本研究では，生体の直接的なモデル化と並行して，振動子を素子とした機能的構造のモデル化 [12][13] を進めた．カイコガのジグザグ歩行のように，生物は神経細胞単体の応答時間に比べ非常に長期の応答を発現できる．また，その神経系は複数の素子によって構成されている．このようなシステムを理解するために，振動子を素子とする回路網をモデルとし，構造によって発揮される長期応答 [14] と，これに基づく定型行動生機構の解析 [15] を行った．

自律発火を表現する最も単純な素子として位相振動子に着目する．素子の出力を状態量 ϕ_i の関数 $f(\phi_i)$ と表す．本報では $f(\phi_j) = \cos^{20}(\frac{\phi_j}{2})$ とし，パルスに近い形状とした．

複数の振動子からなる回路の出力 F を (2) とした．N は素子の総数である．

$$F(\boldsymbol{\phi}) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} f(\phi_i) \ , \ \boldsymbol{\phi} = [\phi_1, \phi_2, \cdots, \phi_N]^T \qquad (2)$$

ここで，各振動子の運動方程式を (3) と設計する．a_{ij} は素子 i と j が接続されているときに 1，それ以外で 0 となる係数で，接続関係を表現している

$$\dot{\phi}_i = \omega + \frac{\kappa}{N_i}\sum_{j=1}^{N} a_{ij} f(\phi_j) g(\phi_i) + \alpha_i + \beta_i \qquad (3)$$

ここで $g(\phi_i) = \sin(\phi_i)$ は入力感度を表す関数，α_i および β_i は応答開始および停止を与える外部入力とする．

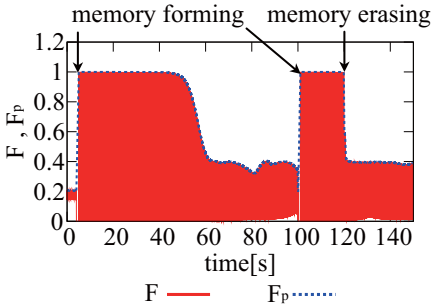


Fig. 8: Switching of F and F_p by external inputs

このとき，

$$\begin{aligned}\dot{\phi}_i &\approx \omega + \tfrac{\kappa}{2\pi N_i}\textstyle\sum_{j=1}^{N} a_{ij}\sin(\phi_i-\phi_j)\\ &\approx \omega + \tfrac{\kappa}{2\pi N_i}\textstyle\sum_{j=1}^{N} a_{ij}(\phi_i-\phi_j)\end{aligned} \tag{4}$$

と近似すると，ネットワークの接続関係を表すグラフラプラシアン L を用いてシステムの挙動を (5) と表すことができる．ただし $\mathbf{1}_N = [1, 1, \cdots, 1]^T$ の意である．

$$\dot{\boldsymbol{\phi}} = \omega\mathbf{1}_N + \frac{\kappa}{2\pi}L\boldsymbol{\phi} \tag{5}$$

素子の位相差をシステム平均値からのずれ $\psi_i(6)$ と考えると

$$\psi_i = \phi_i - \frac{1}{N}\mathbf{1}_N^T\boldsymbol{\phi} \tag{6}$$

であり，その挙動は (7) となり，もはや素子の固有振動数 ω と無関係に，ネットワーク構造 L のみによって挙動が求まる．

$$\dot{\boldsymbol{\psi}} = \frac{\kappa}{2\pi}\hat{L}\boldsymbol{\psi}\ ,\ \hat{L} \equiv (I - \frac{1}{N}\mathbf{1}_N\mathbf{1}_N^T)L \tag{7}$$

これらにより，応答時間，入力 α_i および β_i がグラフ上の制御理論を用いて解析・設計が可能となり，Fig. 8 のような出力 F 及びその縫絡線 F_P の長期応答，応答の再開，停止が発現可能となった．

これを規範とし，容量性結合 [15] を用いて回路を拡張することにより，カイコガ定型行動（直進・ジグザグ・旋回）を位相振動子という均質素子の構造によって生成することができることを示した．Fig. 9 は時刻 0 で応答動作指令（刺激入力）を与えた後の右（上段）及び左（下段）出力の時間発展を示している．これにより，刺激後左右交互に出力が高まった後，一方向の出力のみとなり，最終的に沈静化する，という行動出力が実現されている．

5 おわりに

本研究では，昆虫－機械融合システムの中核をなす実験システムを稼動させ，実験結果を得た。これらから，身体改変に対してカイコガが発揮する適応能の知見を得た．また，数理モデルを用いて，構造によってもたらされる機能によって定型行動的動作が実現可能であることが分かった．これらによって，脳の機能構造同定への道を開くことができ，微小脳のシステム同定という形で適応的行動の理解を行うことが可能となった．

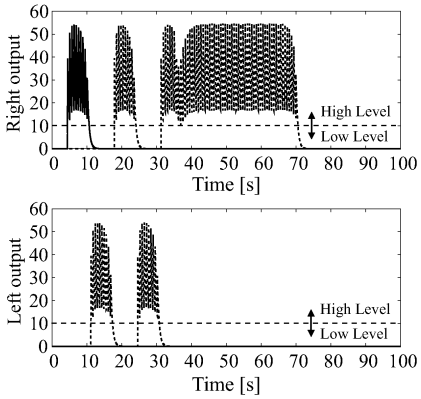


Fig. 9: Sequential pattern generated by the oscillator network

参考文献

1) R. Kanzaki, et al.: Self-generated zigzag turning of *Bombyx mori* males during pheromone-mediated upwind walking, Zool. Sci., **9**, 515/527, 1992.
2) L. Gatellier and R. Kanzaki: Short and long term habituation of the male silkmoth to female sex pheromone, 14th Int. Symp. on Olfaction and Taste, Kyoto, Japan, 247, 2004.
3) T. Mishima and R. Kanzaki: Coordination of flipflopping neural signals and head turning during pheromone-mediated walking in a make silkworm moth *Bombyx mori*, J. Comp. Physiol. A, **183**, 273/282, 1998.
4) S. Wada and R. Kanzaki: Neural control mechanisms of the pheromone-triggered programmed behavior in male silkmoths revealed by double-labeling of descending interneurons and the motor neuron, J. Neurol., **484**, 168/182, 2005.
5) 神崎: 昆虫の神経系と適応行動, 日本ロボット学会誌, **23(1)**, 27/31, 2005.
6) 神崎: 昆虫の環境適応行動の発現機構, 計測と制御, **44(9)**, 615/620, 2005.
7) N. Ando, et al.: Adaptability of pheromone tracking behavior of the silkmoth revealed by the insect-controlled robot, AMAM2008, 60/61, 2008.
8) S. Emoto, et al.: Insect- Controlled Robot - Evaluation of Adaptation Ability - J. Robotics and Mechatronics, **19**, 436/443, 2007.
9) 高嶋, 他：身体脳環の相互作用に能動的に介入する脳－機械融合系の構築, 日本ロボット学会誌（掲載予定）.
10) R. Kanzaki and T. Mishima: Pheromone-Triggered 'Flipflopping' Neural Signals Correlate with Activities of Neck Motor Neurons of a Male Moth,*Bombyx mori*, Zool. Sci., **13**, 79/87, 1996.
11) 長澤: 工学的再構成による昆虫の嗅覚情報処理モデルの評価, 博士論文, 東京大学, 2001.
12) T. Funato, et al.: Switching Mechanism of Sensor-Motor Coordination through Oscillator Network Model, IEEE Trans. SMC-B, **38(3)**, 764/770, 2008.
13) T. Funato and D. Kurabayashi: Network Structure for Control of Coupled Multiple Non-Linear Oscillators, IEEE Trans. SMC-B, **38,(3)**, 675/681, 2008.
14) T. Moriyama and D. Kurabayashi, An Oscillator Network with a Temporary Memory Function, IEEE ROBIO2008, 2024/2029, 2009.
15) 森山, 倉林：容量性結合を含んだ振動子網による匂い源探索パターン生成, 第 15 回ロボティクスシンポジア（発表予定）, 2010.

動物の社会行動を司る生理機能をモデルとした移動知研究

三浦徹[1]・竹内秀明[2]・石川由希[1]・北條賢[1]・淀井智也[1]・池本有助[3]・青沼仁志[4]・浅間一[3]
1 北大・地球環境，2 東大・理，3 東大・工，4 北大・電子研

要旨—

シロアリなどの社会性昆虫のコロニーには様々な機能を果たすカーストが存在し，複雑なコミュニケーションに基づく精巧な分業を行うことで社会行動を成立させている．また，メダカに見られるような群れ行動においても個体間の相互作用が重要な役割を果たす．我々は，動物にみられる組織的な行動とその分子基盤を明らかにすることで，生物社会の仕組みと進化を理解し，新たな生命システムを見いだすことを目的として，多角的に研究を進めている．本年度は，シロアリの分業を制御すると考えられるフェロモンの分析を精力的に行い，カースト特異的なタンパクや炭化水素の同定を行った．更に，社会行動の１つである防衛行動に焦点を当て，カーストによる行動の違いを見いだし，状況に応じて可塑的にカーストの行動が制御されていることを明らかとした．さらに，フェロモン分析が進展し，発生のゆらぎにより遺伝子ネットワークが構築されるというモデルの結果も得られた．更に魚の群れ行動についても行動学的および神経生物学的な知見が蓄積された．

緒言

生物の世界では，自己組織化や複雑系システム論で注目されているように，様々なレベルで個々のユニットが集合し，秩序ある総体を創り出す現象がしばしば見られる．本研究テーマでは，シロアリとメダカを用いた２つのサブテーマに関して研究を展開している．

サブテーマ１：オオシロアリのカースト分化と社会行動の制御

シロアリなどの社会性昆虫は，極めて秩序立った綿密な分業体制に基づく社会行動を行う［1]．コロニーには繁殖・非繁殖個体が存在し，さらに非繁殖個体は採餌・防衛などに従事する．このようにタスクに特殊化した形態や行動を示す個体をカーストと言い，「どのような発生機構でさまざまなカーストが生じるのか」「いかにしてカースト特異的な行動が発現されるのか」は，最も根本的な問題とされる．本稿ではオオシロアリの社会行動とカースト分化，更にそれらに基づく自己組織化機構に関する本年度の研究成果を報告する．

シロアリの社会行動は，血縁個体からなるカースト間の分業により精巧に組織化されている．各個体は発生過程で環境要因を感受して生理状態を変化させ，発生経路を切り替えて，様々なカーストになる［2]．我々は，シロアリにおけるカースト分化と社会行動の仕組みを詳しく調べるために，オオシロアリ*Hodotermopsis sjostedti*を用いて，生態から神経生理，分子機構，さらには数理モデルに至る多面的なアプローチでこの問題に取り組んでいる．

本年度は，カーストごとの生体アミン濃度の測定や，カースト間の行動傾向の違い，カーストによるフェロモンの相違などを明らかにした．また，モデル構築とシミュレーションにより，発生のゆらぎが遺伝子ネットワークのモジュール化に貢献することも明らかにした．

＜コロニー防衛に関する行動分化の定量化＞

シロアリは多くの捕食者の標的であるため、いかに適切に防衛するかがコロニーの繁栄にとって非常に重要な命題である。これまで、コロニー防衛のうち、敵への攻撃を主とする直接的な防衛行動は兵隊が、巣を建造、修復するという間接的な防衛行動はワーカーが主に担っていると考えられてきた。しかし一方で、直接的な防衛行動に関してもワーカーが何らかの役割を担っている可能性も指摘されてきた。実際、いくつかの種類においては、ワーカーがある程度の攻撃性をもち、特に他コロニーに対して敵対行動を示すことが知られている。また、テングシロアリ科の一種である*Nasutitermes exitiosus*のワーカーがアリに対して効果的な咬みつき攻撃するという古い報告もある。しかし、コロニーの防衛に関して、ワーカーと兵隊の役割の違いを定量的に比較した例はなかった。

カーストごとの攻撃性の違いを検討するため、我々は人工巣にオオシロアリ*Hodotermopsis sjostedti*の兵隊、ワーカー、補充生殖虫（王・女王に替わり生殖活動を行うようになった個体）を導入し、防衛行動の定量を試みた。単独では、兵隊、ワーカー、補充生殖虫の順に防衛行動（外敵に対する定位、咬みつきなど）の頻度が高く、これは野外で見られる傾向とよく一致していた。次に随伴するカーストによってこれらの攻撃性が変化するかを調べた。すると、兵隊や補充生殖虫の攻撃性はどんな場合でもほぼ一定であるが、ワーカーの攻撃性は随伴するカーストによって変化することが分かっ

た（Fig. 1）。補充生殖虫に随伴する場合、ワーカーは頻繁に外敵に攻撃したが、兵隊に随伴する場合は普段より低い攻撃性を示した。このことは、兵隊の存在がワーカーの攻撃性を抑制し、生殖虫の存在がワーカーの攻撃性を促進していることを示している。これまでシロアリにおいては兵隊の存在がワーカーの兵隊分化を抑制することが知られていた。しかし分化には一ヶ月以上かかるため、このメカニズムだけではコロニーの危機に対して短時間で対応することは出来ない。ワーカーが兵隊の存在によって攻撃性を変化させることで、シロアリは外敵に対して短時間で対応することができるのであろう。さらに、ワーカーは生殖虫にも兵隊にも分化しうるため、コロニーの生殖機能に貢献する可能性は補充生殖虫とよりは低いが、完全不妊である兵隊よりは高い。ワーカーがコロニー防衛に関して柔軟に攻撃性を変化させることで、コロニーにおいて生殖を担う個体を効果的に残すことができると考えられる（Fig. 1）。

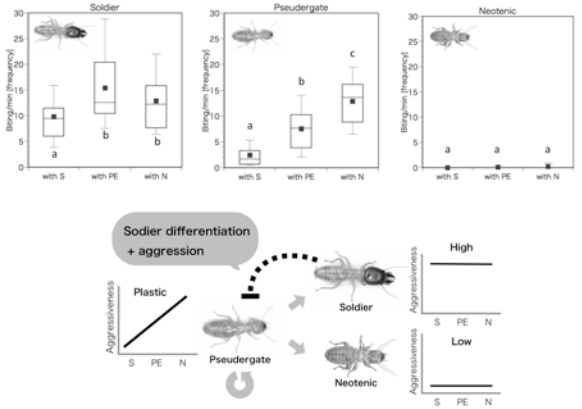


Fig. 1. オオシロアリのカーストによる攻撃性の相違．兵隊は，どのカーストと共存していても高い攻撃性を示す（上左）のに対し，ワーカーは状況依存的に攻撃性を変化させる（上中）．一方繁殖虫は常に攻撃性が低い（上右）．ワーカーの攻撃性は可塑的であり，おそらく兵隊の存在により抑制されていると考えられる（下）．

＜兵隊分化における生体アミンシステムの改変＞

これまでの我々の研究によって，シロアリのカーストのなかでも特徴的な形態・行動を示す兵隊の神経系で特殊化が起こっていることが示されている[3]．本年度は更に神経調節物質である生体アミンがどのようにこの行動分化に関わるのかを解析した．まず，兵隊およびワーカーの脳Brain及び食道下神経節SOGにおける生体アミン濃度をHPLCを用いて測定した．ドーパミンDA，セロトニン5HT，オクトパミンOA，チラミンTAを計測したが，兵隊とワーカーに有意差はなかった（Fig. 2）．オクトパミンの前駆体であるチラミンは兵隊で高い傾向が見られた．

生体アミンをはじめとする神経調節物質は，放出部位で局所的にはたらき，近傍にあるシナプス感受性を調節することが知られている．しかし今回用いたような神経節ごとの測定では，局所的な差が存在しても検出できなかったと考えられる．そこで次に，生体アミン抗体で生体アミン合成細胞を可視化し，カースト間で比較することで，局所的な差異の検出することを試みた．今回は単独性昆虫において攻撃性に関連すると考えられているオクトパミンに注目して解析を行った．免疫染色の結果，オクトパミン合成ニューロンは11個のクラスターに分かれて存在していた．兵隊とワーカーでこれらのニューロンを比較すると，DUM1,DUM2クラスターの最も大きいニューロン２個（DUM1-L, DUM2-L）が兵隊で肥大化していることが分かった（Fig. 3A）．その他のニューロンに関しては大きさの差は認められなかった．DUM1-L，DUM2-Lニューロンに関して細胞内染色で観察したところ，その投射部位には後大脳，大顎筋などが含まれていた（Fig.3B）．

本研究から，シロアリの神経系においては，DUM1-L，DUM2-Lニューロンが兵隊特異的に肥大化しており，これらのニューロンが後大脳や大顎筋に大量のオクトパミンを放出することによって，兵隊の行動分化をもたらしている可能性が示唆された．今後はDUM1-L，DUM2-Lニューロン投射部位のさらなる解析やantagonistやagonist投与による機能解析によって，兵隊の行動分化における生体アミンの機能を明らかする予定である．

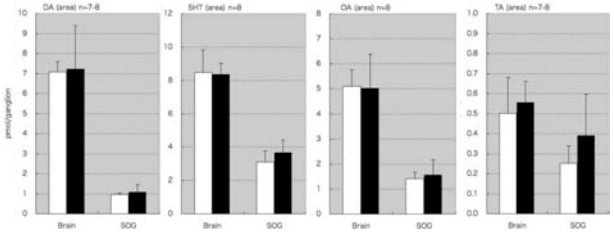


Fig. 2. オオシロアリの兵隊とワーカーにおいて，脳内・食道下神経節内の生体アミン量に顕著な違いはなかった．

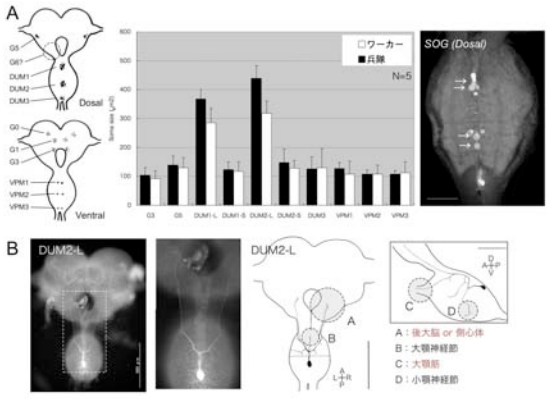


Fig. 3. オクトパミン合成ニューロンのうち，DUM1-L，2-Lが兵隊において肥大化していた．これらのニューロンの投射部位には後大脳，大顎筋などが含まれていた．

＜カースト特異的腹板腺タンパクの同定＞

シロアリの代表的な外分泌腺として，道しるべフェロモンを分泌することで知られる腹板腺がある．腹板腺の役割はワーカーにおいてはよく知られているが兵隊における腹板腺の役割は分かっていない．そこで，本研究では兵隊およびワーカー間の腹板腺におけるタンパク質レベルでの分化の解析を行った．まず，兵隊及びワーカーの腹板腺をそれぞれ解剖し，作成したタンパク質粗抽出液のサンプルを二次元電気泳動により分画した．これらのスポットパターンを比較することでカースト特異的に発現の見られるタンパク質の探索を行った．結果として，兵隊の腹板腺において発現量が有意に上昇している6個のタンパク質を発見でき，それらはどれも分子量が約15 kDaであることがわかった（Fig. 4）．また，ワーカーの腹板腺において発現量が有意に上昇するスポットは見られなかった．発現量が上昇しているタンパク質の存在が明らかになったことから，兵隊の腹板腺における機能分化の可能性が示唆された．今後はこれらのタンパク質の同定、機能解析を行うことで，兵隊における腹板腺の機能を明らかにしていく予定である．

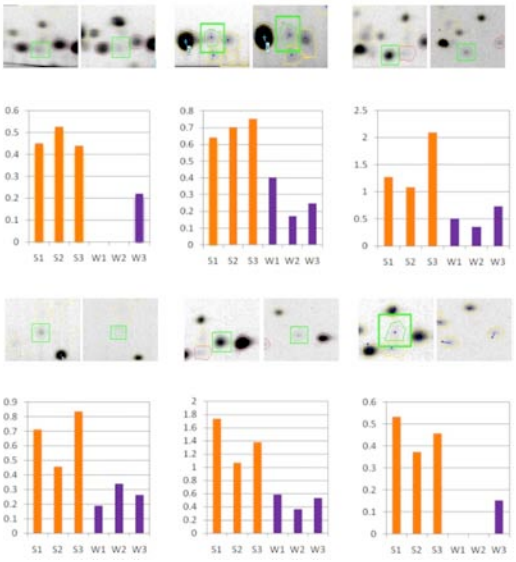


Fig. 4. 兵隊において発現量が2倍以上上昇するタンパク質スポットデータ（３回の再現性を比較）．兵隊においてのみ有意に発現量が上昇しているスポットが複数得られ、腹板腺の兵隊における特異的機能の存在が示唆された．グラフ縦軸は相対発現量．

＜個体間コミュニケーションに関わるフェロモン分子の探索＞

個体間のコミュニケーションは組織的な社会を保つのに欠かせない重要な能力である．視覚が発達していないシロアリは、嗅覚や味覚に関わる化学物質を用いたケミカルコミュニケーションがよく発達していることが知られている．同種他個体のコミュニケーションに関わる化学物質はフェロモンとよばれ，個体の生理状態を変化させる「プライマーフェロモン」と個体の行動に変化を与える「リリーサーフェロモン」の二つに分類される（Fig. 5）．これまでの我々の研究から，オオシロアリの外分泌腺においてカースト特異的な発達や遺伝子発現が確認されている．このことから、カースト特異的なフェロモンを介したコミュニケーションシステムの存在が示唆される．そこでオオシロアリの各外分泌腺に含まれるフェロモン分子を探索し，その機能を解析した．

各外分泌腺抽出物に対するワーカーの行動を調べた結果，兵隊とワーカーの腹板腺からは巣仲間を動員する道しるフェロモンが分泌されていることがわかった．さらに，兵隊とワーカー由来の道しるべフェロモンを同時に提示し，ワーカーがどちらのフェロモンに動員されるかを調べたところ，ワーカー由来の道しるべフェロモンに強い動員効果が確認された．このことから，ワーカーと兵隊は質的もしくは量的に異なる道しるべフェロモンを分泌している可能性が示唆された．

次に，ガスクロマトグラフィーを用いて各分泌腺に含まれる化学物質の検出を試みた．その結果、大顎腺には兵隊特異的な化学物質が含まれていることがわかった．シロアリでは兵隊頭部由来の化学物質は兵隊へのカースト分化を抑制していると考えられているが、現在までカースト分化を調節するようなフェロモン分子は同定されていない．今後，化学物質の構造決定や機能解析を行い、カースト分化を調節するプライマーフェロモンの特定を試みる予定である．

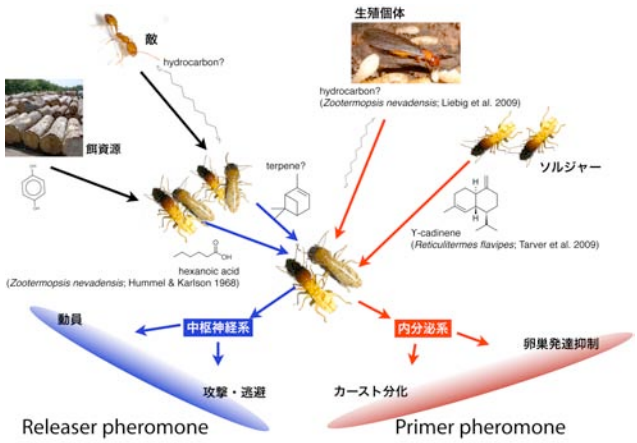


Fig. 5. オオシロアリの腹板腺からは巣仲間に対して動員活性を持つリリーサーフェロモンが分泌されていた（左）．また大顎腺には兵隊特異的な化学成分が含まれていることがわかり，カースト分化において何らかの機能を果たしている可能性が考えられる（右）．

＜発生過程のノイズにより促進される遺伝子発現ネットワークのモジュール進化モデル＞

これまで我々はシロアリのカースト分化モデルなどを発展させ，生物の表現型多型の進化モデルなどを構築し，シミュレーション解析を行ってきた[4]．それらの結果から，多型を生むためには発生過程の揺らぎ（ノイズ）が重要であることが分かってきた．そこで今年度は発生のノイズにより遺伝子ネットワークのモジュール化が促進されるかをモデル構築及びシミュレーションにより解析した．

生物における遺伝子発現ネットワークの多くがモジュール構造を有していることが明らかになっており，その構造の進化原理を探る研究が盛んに行われている．これまで，モジュール構造を有する個体ほど環境変動に対し比較的少ない突然変異で適応可能なため，変動する環境下において方向性淘汰が何度も繰り返される状況ではモジュール構造が進化する，という説が提案されている．我々は別の原理として，「発生過程で生じる遺伝子発現のノイズによる表現型の多様性」に対しても選択圧が働くことによって，モジュール構造の進化は促進される，という仮説をたてた．この仮説を検証するため，変動しない環境を前提とし，遺伝子発現にノイズを付加した遺伝子発現ネットワークを有する個体ベースの進化モデルを構築し，計算機シミュレーションを行なった（Fig. 6）．その結果，発生過程のノイズにより遺伝子発現のモジュール構造が進化することを示した．

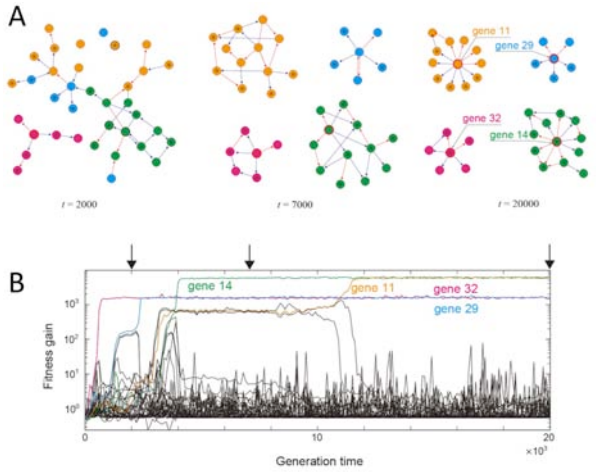


Fig. 6. A. 計算機シミュレーション結果 1：環境ニッチ分布の共分散に依存してモジュール構造が進化．それぞれの遺伝子ネットワークモジュールは hub 構造を有するクラスタを形成．B. 計算機シミュレーション結果 2：各モジュールに fitness gain が大きい gene が存在する．

サブテーマ２：メダカの群れ行動を可能にする脳情報処理過程の数理モデル化と分子神経基盤の解析．

研究分担者の竹内は，本年度は以下の３点を明らかにした．

(1) メダカ２個体の同調的行動は幼魚では生じない．幼魚は視運動反応が正常に生じることから，個体間相互作用に必要な脳機能は生後成長に伴って発達することを示した．

(2) メダカの生後の脳機能の発達の様式を記載する目的で，脳内で細胞増殖（神経新生）が生じている箇所を17カ所同定した[5]．

(3) メダカの環境適応（視運動反応）において，低周期（0.1ヘルツ）で変化する視覚刺激には反応するが，高周期（1ヘルツ）で変化する視覚刺激には反応しないことを示した．

このことからメダカは環境適応する過程で，外界情報をローパスフィルターで処理をしている可能性がある．

展望

本稿では，シロアリと魚類における社会行動の基盤の解明を目指した研究成果を報告した．今年度は，シロアリにおける行動の可塑性の制御およびフェロモンコミュニケーションなどの知見，メダカの群れ行動に関する行動神経学的知見などの成果が得られた．今後も引き続きそれらの知見や実験系を駆使し，社会行動の総合的な理解につなげたい．更に，包括的な社会システムの理解を目指し，新しい自律分散システムの設計など工学への応用に関しても貢献していきたい．

文献

[1]Wilson EO (1971) Insect Societies. Harvard.

[2] Miura T (2005) Developmental regulation of caste-specific characters in social-insect polyphenism. *Evol Dev* 7: 122-129.

[3] Ishikawa Y, Koshikawa S, Miura T (2007) Differences in mechanosensory hairs among castes of the damp-wood termite Hodotermopsis sjostedti (Isoptera: Termopsidae). Sociobiol 50: 895-907.

[4] Ikemoto Y, Ishikawa Y, Miura T, Asama H (2009) A mathematical model for caste differentiation in termite colonies (Isoptera) by hormonal and pheromonal regulations. Sociobiol 54: in press

[5] Kuroyanagi Y, Okuyama T, Suehiro Y, Imada H, Shimada A, Naruse K, Takeda H, Kubo T, Takeuchi H (2010) Proliferation zones in the adult medaka (*Oryzias latipes*) brain. *Brain Res.*: in press.

昆虫社会における自律分散的制御機構の進化

辻 和希，山岡亮平，菅原研，菊地友則，大西一志，下地博之，大槻久，辻井直，藤木悠里，
結城麻衣，八重樫和之，林叔克

I. アリの社会内コンフリクトのモデル

個体としては非力なアリが集団として高い機能を発揮するのはなぜか。超個体としてのアリのコロニーには個体の脳・神経ネットワークに相当する固定的な情報伝達処理システムは存在しない。かわりに、コロニーを構成する個体が移動しながら局所的情報に対し単純なルールに従い反応しているだけである。にもかかわらず適切に制御されるのは、これまでの研究によれば、ルールに内在するフィードバック機構が社会全体を「適応的状態」に自己組織化するからである。本研究では、まず（１）アリがコロニーサイズに依存し適切に行動を切り替える化学生態学的基盤と自己組織化的制御機構の解明を行い、つぎに（２）そのようなシステムを自然発生させた進化力学的機構の考察を目的とした。

コロニーサイズの変化に反応し女王やワーカーがどう行動や内部状態を切り替えるのが自然選択上生き残る戦略なのか、集団遺伝学的な数理モデル（動的ゲームモデル）を立て検討した（Ohtsuki & Tsuji 2009, 図 1,2）。その結果、単女王性女王１回交尾下でもワーカー間の相互産卵監視行動が進化しることが予測されたが、これは従来の理論とは異なる予測である。このモデルが予測するワーカー産卵およびその監視行動のコロニーサイズ依存性をトゲオオハリアリ(Kikuchi et al. 2008）でテストした。結果はモデルの予測（大コロニーではワーカー産卵が制御されないのが適応的）を強く支持するものであった。

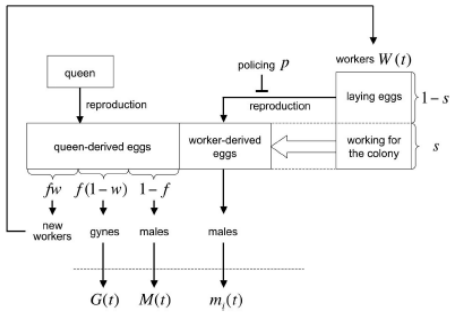


Figure 1: Scheme of our model (see table 1 for a description of the variables shown).

図 1. 動的ゲームモデルが仮定したコロニーの生活史のフローチャート

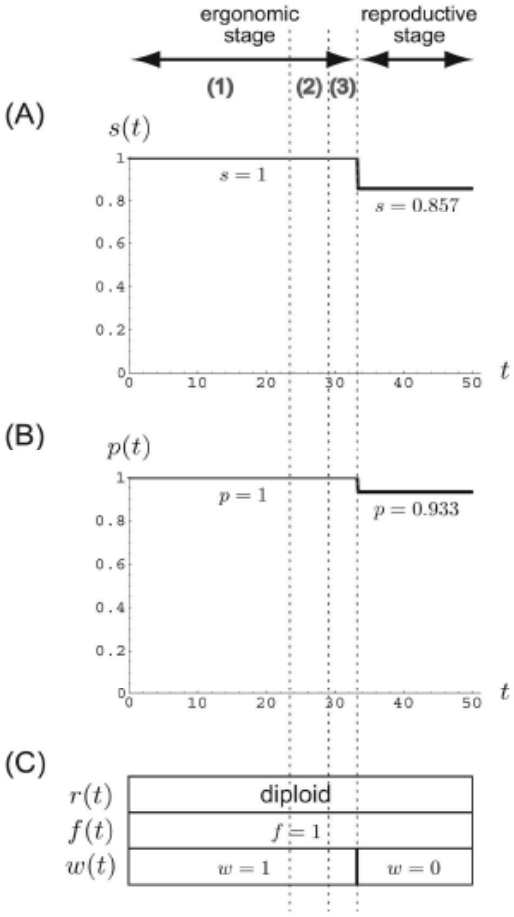


図 2. 動的ゲームモデルの解析結果

II. 個体間の化学コミュニケーション

一般的にアリは巣が乾燥したり、巣の一部が壊れたりすることにより生息環境が悪化すると、巣移動をおこなうことが知られている(Hölldobler et al. 1974; Smallwood J. 1982)。巣に含まれる全個体を確実かつ効率的に新たな営巣場所へと導くためには、巣移動の際の個体間コミュニケーションが重要な役割を担っていると考えられている。個体間コミュニケーションの

例として、これまで道しるべフェロモンの利用や、縦列行進や集団移動をおこなうことが報告されている(Liefke C. et al. 2001)。

動員行動の中でも、縦列行進（tandem running）は先導する個体(leader)と、誘導される個体(follower)から成り立っており、1度に1頭の個体のみを目的地まで導く。この際、followerはleaderの腹部や後脚を触角で繰り返し触れながら、leaderの後方を付いて行くことが観察され、2個体の連結にはleaderから分泌される何らかのシグナルがfollowerの定位行動を誘起し、行進を維持すると考えられている。この行動はハリアリ亜科に属するアリ種においては、腹部の背板の6番目と7番目の間の節間膜にある尾節腺から分泌される化学物質が関与することが示されている(Traniello & Hölldobler 1984; Hölldobler & Traniello 1980a, b)。また、縦列行進を形成するアリ個体についても、leaderとなる個体は外役である場合が多いといった報告もある(Möglich & Hölldobler 1974; Fukumoto Y & Abe T 1983）。

われわれのグループでは、沖縄に生息する日本産トゲオオハリアリ(*Diacamma* sp. from Japan)を用いて、本種の巣移動に関わる個体間コミュニケーションの解明を試みた。本種は30〜300個体の小規模なコロニーで生活しており、巣の環境が悪化すると縦列行進により巣移動を始めるということは1983年にFukumotoらによって報告されている。しかしながら、それ以後この現象についての研究はなされてきていない。

本研究では、日本産トゲオオハリアリ(*Diacamma* sp. from Japan)において、どのような個体がleaderになるのか確認するとともに、縦列行進を維持する機構を解明することを目的とし、行進中、followerが触れているleaderの腹部表面にfollowerの縦列行進維持に関わる化学シグナルが存在しているのか、もし存在するとすれば、どこから分泌されているのか、また、フェロモンはどのような化学的性質をもつのかを調べた。

実験室内で、巣移動を誘発し、その際の行動を観察した結果、本種において成虫の巣移動は全て縦列行進によりおこなわれていることが確認できた。また、その際のleaderは常に外役（巣外で採餌活動などをおこなう個体）であった。

Leader個体の切り離した腹部に対し、ほぼすべてのfollowerは定位したが、ヘキサンで体表面上の化学物質を除去した腹部は定位活性を失った。この活性は除去した体表面上の化学物質を再塗布することにより回復したことより、leader個体の腹部表面上にある化学物質が縦列行進時における2頭を強く結びつける化学シグナルが存在していることが示された（Fig. 1）。この化学シグナルが腹部のどこに由来するものかを調べたところ、腹部先端に開口しているDufour's腺が分泌源であると特定できた。各種クロマトグラフィーを用いて活性物質の精製を試みたところ、活性は最終的に不飽和炭化水素画分に溶出した（Fig. 2）。この画分には1ピークのみが検出され、GC分析およびGC-MS分析の結果を総合し、Heptadeceneであると推定できた。誘導体化により分子内の二重結合位置の特定を行った結果、活性物質は最終的に8-Heptadeceneと同定できた。

これまで、縦列行進に関わる化学物質について、さまざまな行動学的実験がおこなわれ、縦列行進を形成する2頭をつなぐ化学物質についても検討がなされてきた。しかしながら、分泌源の特定に至るものはあっても、活性物質が同定できた例はない。また、本種においては、同巣認識やカースト識別など、他の社会行動において鍵となる情報が体表上に存在する炭化水素群であることが示されている。同族化合物である8-Heptadeceneが縦列行進に関わることが明らかになったことより、縦列行進時には同時に受容されうる複数の化学情報をどのように処理し、行動を決定しているのか、さらなる研究をおこなう予定である。

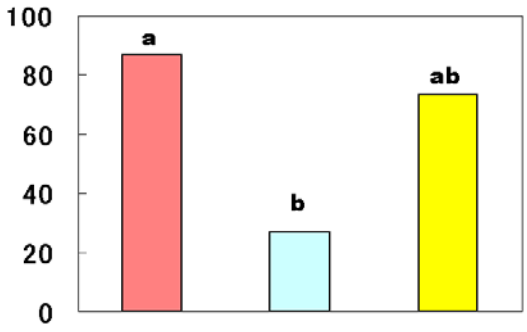


Fig. 1　体表成分中の縦列行進維持活性（n=15）
カイ二乗検定: $P<0.05$, Fisherの直接法(期待度数が5未満のため):両側 $P<0.0167$

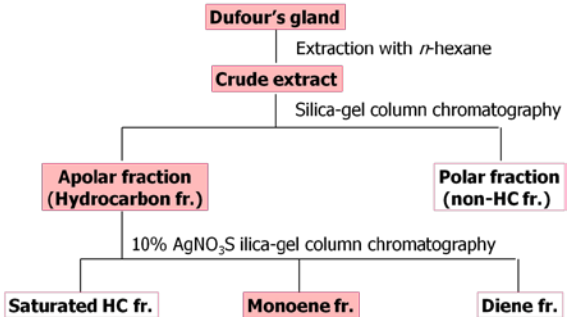


Fig. 2 縦列行進維持に関わる活性物質の精製

III. トゲオオハリアリの行動解析とモデル化

我々は行動レベルでアリの動きに注目し、単体アリの行動特性、少数働きアリが示す周期的な振る舞い、コロニー内における女王アリの行動のモデル化などのテーマを具体例として取り扱うことでアリがもつ社会性の仕組みに迫ることを目指した。 以下に各取り組みの結果を簡単に示す。

A. *単体アリの行動に見られるゆらぎの特性*

単体アリの行動を物理的な粒子と見立てて、その行動を観察すると、そこにどのような特性を見出すことができるであろうか？我々は巣も餌もない環境下での蟻の行動を記録し、単体の蟻における速度変化や方向転換の時系列解析を行った。ゆらぎの観点から行動特性解析を行ったところ、速度の分散と身体の向きの変化に関して時間に対するべき乗則があることを発見した。特に速度に関しては長時間にわたる相関(Fig. 1)があること、また、角度に関しては 1 秒程度の短時間相関はある一方、長時間では無相関になることがわかった。

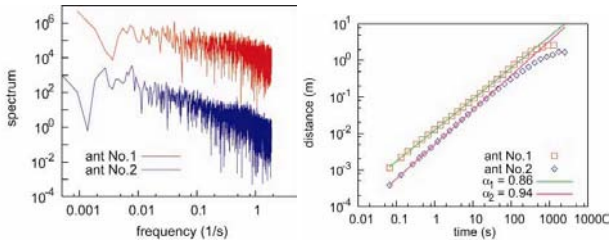


Fig.1. Spectrum of walking velocity (left) and fluctuations of the walking velocity (right).

これらの結果を踏まえて蟻の歩行を模擬する確率的なモデルを提唱した。

$$\begin{cases} L(t) = \bar{v}\cdot t + \int_{-\infty}^{t} ds\xi_L(s)(t-s)^{\alpha_L - \frac{1}{2}} \\ \theta(t) = \int_{-\infty}^{t} ds\xi_\theta(s) \end{cases} \quad (1)$$

B. *少数働きアリにみられるリズム現象と引き込み*

社会性昆虫の集団行動の基本は2個体間、もしくは少数個体間の局所的なやりとりにあると考えられる。したがって、餌や巣などがない単純化した状況下(Fig.2)にて少数のアリの行動を観察し、特に「近距離相互作用」と個体の行動の関係を解析することで、社会性の形成において基本的かつ本質的な相互作用の特性を明確にすることが期待できる。軌跡の計測を行ったところ、Fig.3に示すように空間的な偏りが生じることが分かった。また、軌跡が密になっているところが重なっていること、そこでの接触頻度が高いことから、アリには積極的にコンタクトをとるダイナミクスが存在することが示唆される。一方、移動速度に関する結果から、active-inactiveの繰り返しが生じることが分かった。さらに、active-inactiveが相互に現れることがあることから、アリの内部状態において、周期性の存在と引き込み的な相互作用が存在することが示唆される。本研究ではこの現象を理解へ向けて簡単な引き込みモデルを仮定し、シミュレーションを行った(Fig.4)。

$$\dot{\phi}_i = [\omega_i + \frac{K}{N}\sum_{j=1}^{N}\sin(\phi_j - \phi_i)]\delta(\vec{r}_j - \vec{r}_i) \quad (2)$$

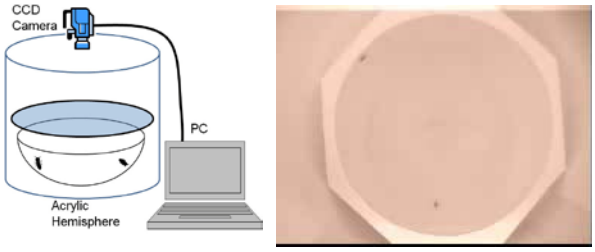


Fig. 2 Experimental setup

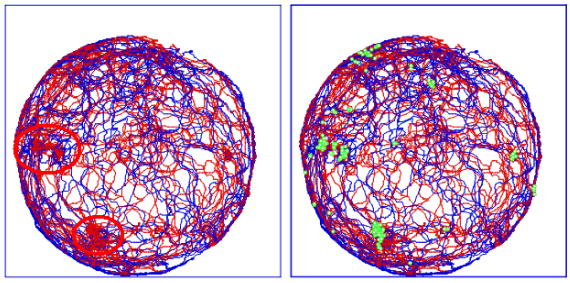


Fig.3. Trajectory of two ant workers (left) and contact points of them (right).

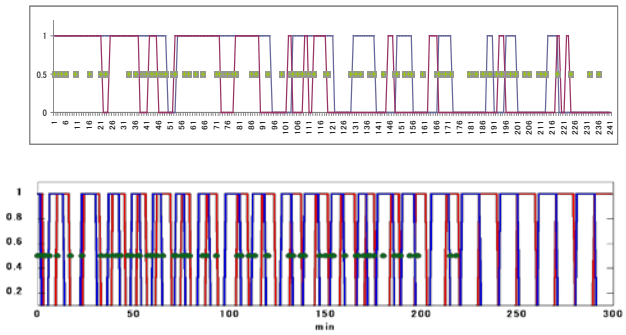


Fig.4. Binarized velocity of two ant workers and contact time(top). Simulation result (bottom).

C. *トゲオオハリアリの女王が示すパトロール行動のモデル化*

トゲオオハリアリの女王は移動と休止を繰り返しながら全ワーカーと接触する行動（パトロール行動）を示す。このときパトロール時間はコロニーサイズに依存することが報告されている。この行動において、女王はどのようなメカニズムでコロニーサイズを知るのであろうか？この行動を局所的な相互作用をベースとして理解できないだろうか？我々は女王、ワーカーそれぞれに簡単な内部状態を導入し、接触によりそれらが相互作用するモデルを構築し、この現象を定性的に再現することを試みた。女王アリの内部状態を I_g、ワーカーi の卵巣の発達具合を表す内部状態を I_{wi} とし、接触によりそれらの内部状態が相互作用するモデルを考える(Fig.5)。

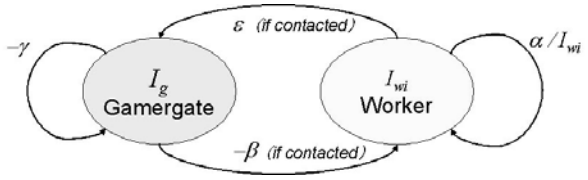


Fig. 5. Diagram of proposed model

この状態遷移図からそれぞれの内部状態の解を求めることができる。

$$\begin{aligned} \dot{I}_g &= -\gamma \cdot I_g + \varepsilon \cdot \delta(\vec{x}_g - \vec{x}_{w_i}) \cdot I_{w_i} \\ \dot{I}_{w_i} &= \alpha / I_{w_i} - \beta \cdot \delta(\vec{x}_{w_i} - \vec{x}_g) \cdot I_{w_i}, \end{aligned} \tag{3}$$

女王は内部状態に応じて移動時間τ_wと休憩時間τ_qを確率的に変動させるものとする。

$$\begin{aligned} \tau_q &= \langle C_0 \cdot I_g \rangle \\ \tau_w &= \langle C_1 \rangle \end{aligned} \tag{4}$$

以上のモデルに基づいてシミュレーションを行った結果を Fig.6 に示す。コロニーサイズが大きくなるにつれてパトロール回数、パトロール時間が増える特性が得られている。この結果は実験により得られている事実と定性的に合うものとなっている。

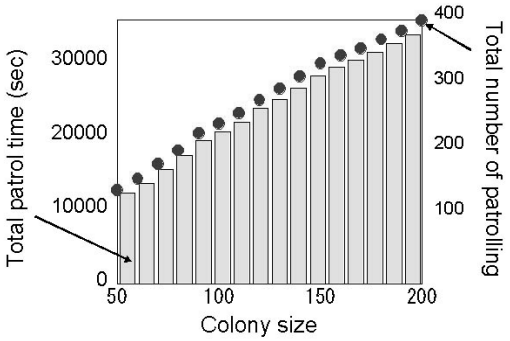


Fig.6. Total patrol time and total number of patrolling.

REFERENCES

[1] Kikuchi, T., Nakagawa, T., Tsuji, K. 2008 Changes in relative importance of multiple social regulatory forces with colony size in the ant *Diacamma* sp. from Japan. *Animal Behaviour* **76**：2069-2077.

[2] Ohtsuki, H., Tsuji, K. 2009 Adaptive reproduction schedule as a cause of worker policing in social Hymenoptera: a dynamic game analysis. *The American Naturalist* **173**: 747-758.

生工連携的手法によるメス鳥さえずり受容・識別メカニズムの定量的理解

岡浩太郎, 高山文博, 岩崎麻衣, 山本真千子, 萩原将文,伊澤栄一***

慶應義塾大学理工学部生命情報学科、情報工学科、社会学研究科***

***要旨*—メスキンカチョウ脳内で異種さえずりがどのように情報表現されているのかを調べ、音声識別の定量的モデルを構築するために研究を進めてきた。特に従来あまりさえずり研究では注目されてこなかった海馬体に注目し、種々の蛍光イメージング法を利用して、海馬体の細胞構築と神経活動計測を進めてきた。その結果海馬体が脊椎動物とは大きく異なった細胞構築を示すこと、またさえずりにより特徴的な神経応答を示すことを明らかにしてきた。過去4年間の本課題への取り組みでわかってきたこと、および今後の展望について説明する。**

Ⅰ. はじめに

キンカチョウはさえずり（Song）によってコミュニケーションを行っている。オスによるさえずりは多様であり、メストリはこのさえずりから繁殖相手を選択することが知られている。そのためメストリの脳内でどのようにオストリのさえずりを情報処理しているのか知ることは重要であるが、従来あまり研究されていない。そこで情報の受け手であるメス鳥が、その神経回路でどのように情報を処理し、歌を聞き分けているかに注目し、海馬体に狙いを定め、解剖学的、分子生物学的、および種々のイメージング技術を併用して明らかにしてきた。

ここではこの４年間に我々の研究グループが行ってきた研究について紹介し、何が明らかになり、今後何を行う必要がるのかについての展望を述べる。

Ⅱ. 海馬体の解剖学的な構築

鳥の脳は哺乳類とは大きく異なる神経構築でできている。哺乳類脳では新皮質に層状構造が見られるのが普通であるのに対し、鳥脳は神経核の相互結合により構成されているため、哺乳類脳に見られるような層構造を見出すことはできない。図1Aはメスキンカチョウ脳の断層像を示している。この図は異なる３種類の蛍光色素により細胞構築の違いを明らかにしたものであり、青は細胞体をDAPI染色したもの、赤は神経細胞をニッスル染色したものを示し、また緑は神経線維ミエリンを蛍光染色している。まずこれらの結果から脳深部ではミエリン化が進んでいることがわかる。またさらに小脳と海馬領域を強拡大して観察すると、その細胞構築が明らかとなってくる(図1.B)。ハト海馬の先行研究から海馬が小脳に接して脳内部に潜り込む箇所にはV字の構造が見られることが報告されており、この部位は哺乳類海馬の歯状回に対応するものと考えられている。キンカチョウ海馬でもハトと同様な細胞構築が観察されている(図1.B)。特に海馬体においては、その脳表面に強く緑色蛍光が見られることから、脳表面にミエリン化した神経線維が走行していることがわかった（図1.C）。

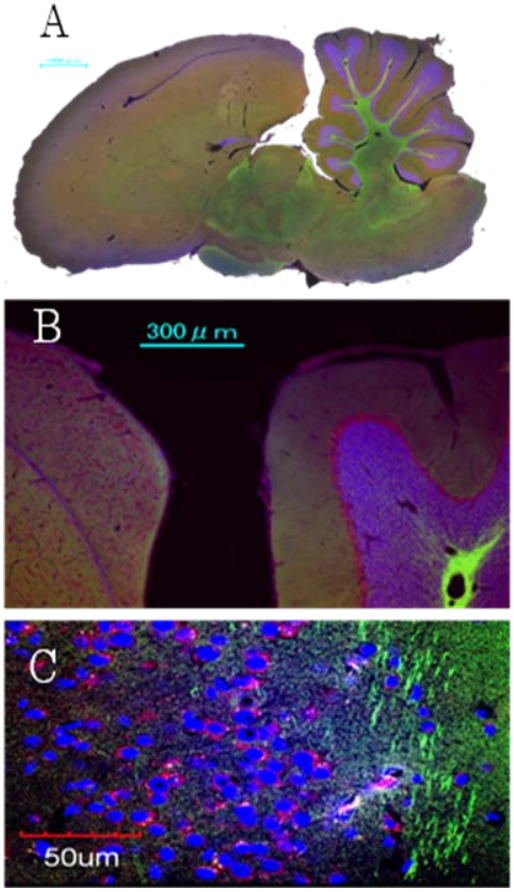


図 1 メス鳥脳の断面図

A:ほぼ脳正中線での断面図（４倍の対物レンズで計測したものを16枚張り合わせて作成。B: A図を強拡大したもの。海馬体は細胞の粗密で領域を分けることができる。C: Bの海馬部位の強拡大図。脳表層（図の左側）にミエリン（緑色）が観察できる。

さて図１のような標本を作製することにより神経構築を調べることはできるものの、実際にどのような神経細胞が特定の脳領域に存在し、またそれらの神経細胞がどのような神経回路を構成しているのかはわからない。しかしながらこれらの情報は構成論的な神経行動学研究では必須となる。特にさえずり受容の問題を考える場合には、海馬領域と聴覚野の間に直接的な神経接続があるのかどうかを明らかにする必要がある。

そこで我々は脂溶性蛍光色素を脳局所に添加し、細胞膜をこの色素が拡散することを利用した染色方法により、海馬と聴覚野との神経接続を調べることとした。具体的には摘出・固定した鳥脳の海馬体と聴覚野の双方に異なる蛍光を発する色素を局所注入し、後日連続切片を作製して染色される領域を調べた（図２）[1]。

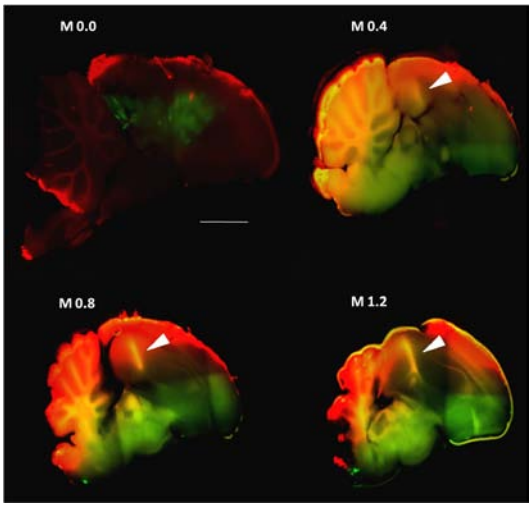


図 2 脂溶性蛍光色素を用いた海馬体と聴覚野神経接続の可視化
正中線(M0.0)から順に0.4, 0.8, 1.2 mm離れた箇所の連続切片像。矢頭の位置で聴覚野L2が２重に染色されている。

この染色結果から海馬領域と高次聴覚野L2とが直接神経接続されていることが判明した。従来 NCM (CAUDOMEDIAL NIDOPALLIUM)、CMM (CAUDOMEDIAL MESOPALLIU) などの高次聴覚野は鳥さえずりを他の音と識別している領域であると考えられていたが、これらの領域と隣接しているL2が海馬体と直接接続しているという知見は、海馬領域でさえずり識別が行われている傍証となるものと考えている。

次に海馬体の機能に迫ることを考え、海馬体の神経構築を網羅的に調べた。海馬での細胞構築を局所神経回路レベルで理解するには、ゴルジ染色などを用いることにより、詳細な細胞形態を調べる必要がある。しかしながらゴルジ染色法では個々の神経細胞の形態を細部まで調べることは可能ではあるものの、神経細胞同士の接続状態までを調べることは難しい。それは個々の細胞を別個に識別することが困難であるためである。

そこで本研究では遺伝子銃と脂溶性蛍光色素を用いた網羅的な細胞蛍光染色方法により、海馬体における神経構築を調べることとした[1, 2]。遺伝子銃とは元来生体組織や線虫などの小型の生物個体に物理的に遺伝子導入する方法のひとつであり、微細な金粒子に導入したい遺伝子プラスミド等を付着させ、ショットガンのように金粒子を組織に打ち込むことで遺伝子導入する装置である。本研究では金粒子を脂溶性蛍光色素DiI, DiO, DiDとその２つまたは3つの混合色素により染色し、その金粒子を直接海馬スライスに打ち込むことにより、海馬体での神経細胞構築を共焦点レーザ顕微鏡を用いて高速に検索するものである。実際に用いた蛍光色素と、それを打ち込むことにより得られた蛍光像を示す（図３）[1]。

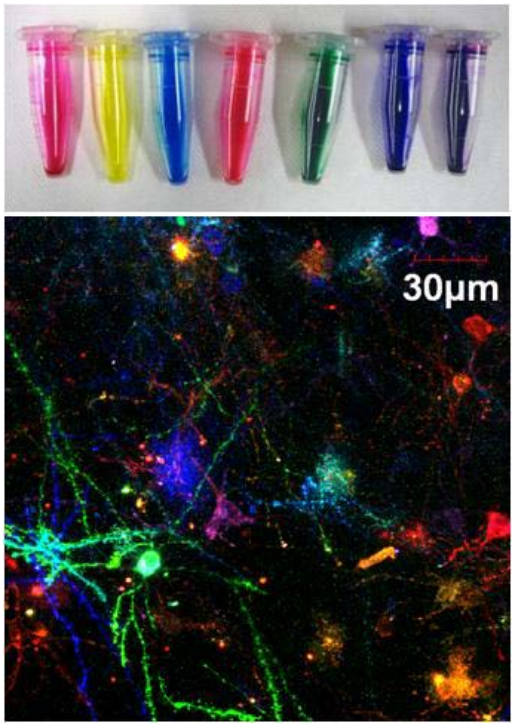


図３　遺伝子銃と脂溶性蛍光色素による海馬細胞構築の詳細なイメージング
上図は用いた蛍光色素のサンプルを示している。数はマルチカラーレーザ共焦点顕微鏡で観察した海馬体内部の神経細胞の様子。

この実験には断頭して急速に脳を取り出した、組織を固定していない海馬体スライス標本を用いている。遺伝子銃による色素導入後、30分程度で色素は金粒子がヒットした細胞を隅々まで染色できることがわかった。また図3下図は実際に得られた蛍光像を共焦点レーザ顕微鏡で観察したものである（表層から90 μMの共焦点像を深さ方向に重ねて表示している）。この蛍光像より、海馬体には広く脳表に水平な方向に広がる長い樹状突起を有する神経細胞と短い線維をもつ神経細胞など、種々の構成神経細胞があることが初めて明らか

となった（表１）。これらの神経細胞の幾種類かは、ゴルジ染色を用いた先行研究[3]では報告されていないものである。

表１　鳥海馬領域で見られる種々の神経細胞と細胞体サイズ

Types of neurons	Soma size
Multipolar neuron	10 – 20 μm
Basket neuron	12 – 15 μm
Stellate neuron	5 – 10 μm
Pyramidal neuron	9 – 25 μm
Bipolar neuron	10 – 15 μm
Net-like neuron	10 – 15 μm

III.　海馬体での神経応答解析

それでは海馬体では実際にさえずり受容に関わる神経活動が観察されるのであろうか？この問いに答えるには通常は微小ガラス電極等を用いた電気生理実験を行う必要がある。しかしながら生きた鳥でさえずりを聞いている際の電極応答を計測することは難しいため、本研究では神経興奮に伴う最初期遺伝子の発現パターンを調べることにより、まずさえずりに伴う神経細胞応答を調べることとした。そこでcatFISH（cellular compartment analysis of temporal activity by fluorescence in situ hybridization）法[4,5]を利用してさえずり識別部位を解析することを試みた。

最近になって*Arc*(activity-regulated cytoskeleton-associated protein, またはarg3. 1）という最初期遺伝子（IEGs）がキンカチョウやカナリアの聴覚回路において発現していることがわかってきた。この*Arc*の特徴的な点は、そのmRNAの細胞内局在が時間依存的であるということである。刺激を与えると一過的に核内で転写が起こり，核外へと移行し、最終的には刺激が伝わってきたポストシナプスまで移行することが知られている。この方法を用いると、単一細胞レベルで2種類の異なる刺激に対応するニューロンの応答を調べることが可能となる。そこでまずさえずりによりメス鳥脳のどの部位で神経活動が活性化しているかを調べた（図4）。

この結果、Hyperpallium, Brain Stem, Cerebellum, hippocampal formation (HF), caudal medial nidopallium (NCM)の5ヵ所の*Arc*の発現率を調べた結果、脳の部位によって*Arc*の発現率は大きく異なることがわかった。Brain StemとCerebellumでは*Arc*のシグナルは全く観察できなかった。さえずりを自ら生成するような運動課題を行っていないため、これらの部位で神経応答が観察されなかったのは妥当であるが、従来聴覚系とは関係しないと考えられていたHFで神経応答が観察されたことは興味深い。

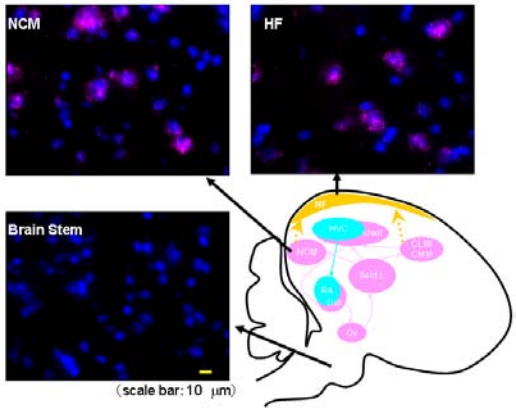


図４　さえずりを聞かせたことによる神経活動の可視化
さえずりを聴かせた後のメスキンカチョウ脳内での *Arc* の発現は、脳内の場所により異なっていた。NCM の他に、従来音声との関連が示されていなかった海馬体（HF）で細胞応答が検出された。

CMMとHFにおいて2種類のさえずりを聞かせた場合の神経細胞の応答を調べたところ、CMMとHFには異なるさえずりに応答する細胞ポピュレーションが存在することがわかった。これらの細胞ポピュレーションは一部オーバーラップしながらさえずりをコーディングしているものと考えられる。

以上の結果は、さえずり識別には海馬体は関与していないという従来研究と大きく異なるものであり、海馬神経回路を構成論的神経行動学の立場から調べることの重要性を示すものである。

上記に述べた最初期遺伝子を用いた応答神経細胞の解析方法は、細胞レベルでの神経応答知見が得られるという点で画期的ではあるものの、さえずりがリアルタイムに神経活動として計測できている訳ではない。また海馬体が鳥では脳表に存在することから、イメージングによる神経活動計測を行うには理想的な標本である。そこで神経細胞が興奮することにより細胞内pHが低下することに着目し、これをpH感受性蛍光色素ニュートラルレッドにより可視化する研究を進めた。本研究を行うためには、麻酔下の鳥の動きを抑制するなどの技術的にクリアしなければならない問題が多くあったが、特別な計測用チャンバーの利用等によりこれらの問題を解決し、神経応答をpHイメージとして計測することに初めて成功した[6]。音刺激には、ホワイトノイズ、地鳴き、pure song、逆再生song、複合的song（複数のsongを同時に流す）を用いた。音刺激後、応答を示さない場合と、直後に応答する場合があった。神経活動が観測できる場合でもそのタイプは大きく分けて興奮領域の伝播を伴うものと伴わないものの二種類に分類できた。（図5）。また海馬体はさえずりとは異なる単純な雑音音に対しては応答しないこともわかった[6]。

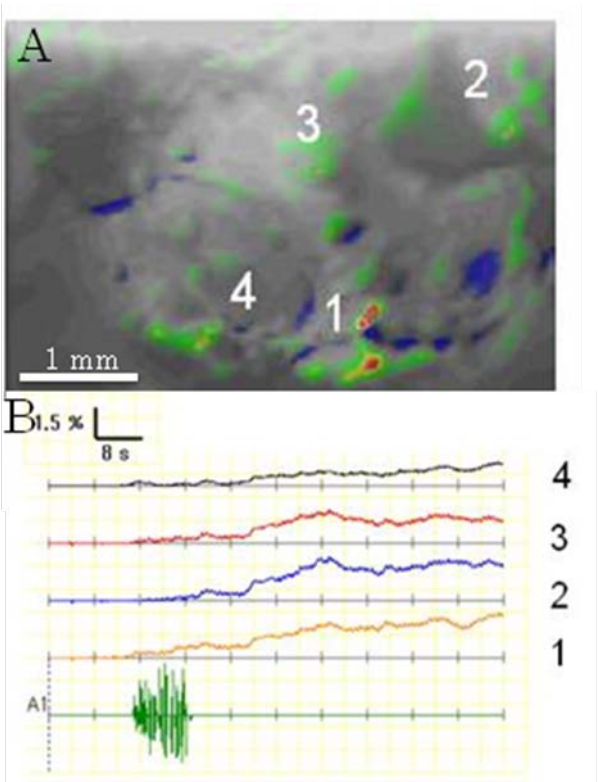


図５　音刺激伴う神経応答部位の位置（A）と４つの部位における神経活動の経時変化（B）（B）の一番下のトレースは音刺激を示している。

現在この計測系を用いることにより、異なるさえずりが異なる海馬領域を興奮させることを見出しつつある。本計測系は脳表からの観察に限られるものの、繰り返しのさえずり刺激に対する応答の減弱等を解析することにより、慣れなどの学習に関わるプロセスを解析できるものと期待している。

IV. まとめと展望

鳥海馬体は空間認知、性的刷り込みなどに役立っていることは従来より知られていたが、本研究からメス鳥がさえずりを認識する場合に特別な役割も担っていることがわかってきた。特に新規なイメージング技術をこの脳領域に適用することにより、大規模かつ網羅的な神経機能解析を行うための方法論を整えながら、「海馬がどのようにさえずりを識別しているのか？」について、定量的なモデル構築することを目指した研究を行ってきた。

神経回路を網羅的に調べる方法としては、特に脂溶性蛍光色素を利用したイメージング技術が細胞レベルの神経接続を解析するために強力なツールとなりうることがわかった。特に従来のゴルジ染色と同等な神経細胞形態観察が可能であるだけでな、隣接神経細胞間のシナプスレベルの接続までも明らかにできる可能性を示すことができた。しかしながら高等脊椎動物脳に見られるようなコラム構造等の特徴的な構造を見出すことができなかったため、今しばらくは詳細な神経構築を調べながら図6に示したようなコロナルセクション標本を用いたカルシウムイメージング等を利用して、生標本での情報伝搬を細胞レベルで解析する研究を継続して進める必要がある。

またpHイメージングにより脳表より神経活動を計測する方法は、メス鳥脳海馬体のさえずり識別について詳細に調査するための理想的なツールとなる。この方法と細胞レベルでの神経応答解析（catFISH法）を併用することにより、神経細胞レベルのネットワークと動態の知見を統合することが可能となり、さえずり受容の神経回路についての定量的モデルへの道が開かれるものと考えている。

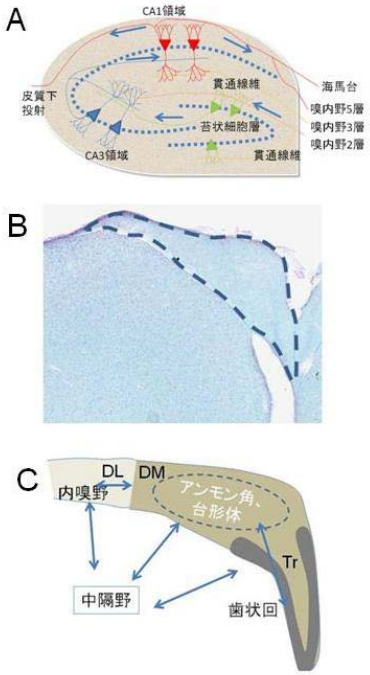


図６　哺乳類と鳥との海馬領域の比較
哺乳類海馬領域の神経接続（A）と、鳥海馬体のコロナルセクション（B）と神経投射関係（C）。

参考文献

[1] Yamamoto M , Takayama F, Fujimura A, Hotta K, Oka K. 2009. Proceedings of the 3rd international symposium on mobiligensce 285-290

[2] Gan WB, Grutzendler J, Wong WT, Wong RO, Lichtman JW. 2000. Multicolor "DiOlistic" labeling of the nervous system using lipophilic dye combinations. Neuron. 27(2):219-25.

[3] Montagnese CM, Krebs JR, Meyer G. 1986. The dorsomedial and dorsolateral forebrain of zebra finch, Taeniopygia guttata. Cell Tissue Res. 283: 263-282.

[4] Guzowski, JF, McNaughton BL, Barnes CA, and Worley PF. 1999. Environmental-specific expression of the immediate-early gene *Arc* in hippocampal neuronal ensembles, Nature Neurosci. 2: 1120-1124.

[5] Fujimura A, Hotta K, Oka K. 2007. Proceedings of the 2nd international symposium on mobiligensce 215-218.

[6] Takayama F,Yamamoto M , Horita H, Hotta K, Oka K. 2009. Proceedings of the 3rd international symposium on mobiligensce 291-294

統合失調症における sense of agency の異常

加藤元一郎(1)、前田貴記(1)、大武美保子(2)、淺間一(3)

(1) 慶応義塾大学医学部精神神経科

(2) 東京大学人工物工学研究センター

(3) 東京大学大学院工学系研究科精密機械工学専攻

要旨

独自のagency判断課題を作成し、統合失調症の臨床型によって sense of agency の異常パターンがどのように異なるかを検討した。妄想型統合失調症ではover-attribution、残遺型で under-attribution 、解体型では confusional pattern で、臨床型によって異なったパターンを示した。様々な現われをする統合失調症の自我障害の形成機構について考える上で興味深い結果である。

１．はじめに

統合失調症の一級症状でみられるような自我障害（Ichstörung）は、統合失調症に極めて特異的かつ本質的な症状であると考えられており、認知機能障害研究のターゲットとして重要である。しかし、自我障害は主観的体験であり、方法論的に評価することが困難であり、これまで科学的研究の対象とはなりえなかった。しかるに、近年、意識の神経科学、特に自己意識（ self-consciousness ）に関する神経科学が進められつつあり、特に統合失調症の自我障害との関連で注目されてきているのが、「 sense of agency （意志作用感・自己主体感）」 に関する研究である。 sense of agency とは、自己が行為や思考の作用主体（ agent ）であるという感覚、すなわち自己の身体運動や外界で生じる事象を自己によって制御（ control ）できるという主観的体験のことである（１）。

これまでに、いくつかの sense of agency 課題が考案されてきたが、主として、随意的行為とその結果として生じてくる外的事象の因果連関に関して、時間軸上で主観と客観について対比するという実験系で行われている。その手法には、主観的体験をどのように評価するかにより、大きく分けて以下の二つの方法がある。

一つは、随意的行為と外的事象との因果連関における物理的時間を操作し、それに応じた agency に関する主観的体験の変化について問うという explicit な手法で、多くの sense of agency 課題では、この方法をとっている。具体的には、コンピューターを用いて、被験者の操作（ key press, joy stick など）と画面上の反応に時間バイアス（ delay ）をプログラムしておき、被験者に自己が agent であると感じるかどうかについて問うものである。

例えば、Franckらの研究では、ジョイスティックを握る自己の画像をコンピューター画面に作成し、実際にジョイスティックを操作させる。画像は操作と連動して動くが、この時、被検者の操作と提示される画像との間に、応答性に関してバイアスが入る。つまり、被験者の意図と視覚フィードバックの間にズレが生じるようにプログラムされている。バイアスとしては、角度のバイアス（シフト）と時間のバイアス（遅延）とが用いられた。健常例が画像を自己と感じる閾値は、角度では15度と遅延では 150ms であったが、被影響体験のある患者では各々30度と 300ms であった。すなわち、被影響体験のある統合失調症患者ではズレに気づく閾値が高く、agencyを自分に帰属させるover-attribution傾向が認められた（２）。

いま一つは、随意的行為とその結果生じてくる外的事象において、時間体験そのものを問う implicit な手法である。例えば、自己の行為とそれに引き続いて起きる外的事象との‘時間的関連付け効果（ Binding Effect ）’ に関する Haggardらの研究がある（３）。 用いる課題は Libet 課題で、被験者がボタンを押して 250msec の time lag の後に音が鳴るようにしておき、被験者が主観的にはどれくらいの time lag として体験しているかについて問うものである。時間体験の問い方については、スクリーン上を時計回りに一定のスピードで回転する点を見ながら、ボタンを押したと感じたタイミングと音が鳴ったと感じたタイミングで、点がどこに位置していたかについて報告させ、間接的に主観的時間体験を測定する。自分で能動的・意図的にボタンを押すことによって音を鳴らす場合、物理的時間よりも短く体験している。このとき、行為は結果により近づけて、結果はより行為に近づけて体験している。これを、‘時

間的関連付け効果（ Binding Effect ）’ という。この研究は、①主観的時間体験は、物理的時間からみれば、ある種の‘錯覚’の構造を有していること（ perceptual compression of subjective time ）、 ②主体が能動的・意図的に関与する条件で初めてこのような‘錯覚’が生じるということを示した点で極めて重要である。特に、後者の知見、すなわち意図的な状況でのみみられるという知見は重要であり、彼らは‘ intentional binding ’とも表現している。統合失調症における‘時間的関連付け効果’については、単なる外的事象の継起を静的に観察する場合には健常人と差はないが、能動性を発動した場合の‘時間的関連付け効果’は、健常人よりも効果が強く現れる（４）。つまり、統合失調症では、能動性の発動様態によって時間的関連付けの意識が変化するが、能動性を発動する場合に、より強く関連付けられる傾向があるということである。この結果の意味するところは、統合失調症では、自己の行為と外界の事象とを異常に強く結び付けて、近づけて体験しているということである。いずれにしても、これまでの研究では、実験上、 over-attribution 傾向がとらえられてきた。

我々は、これまでのタスクに比べて施行が容易で、臨床的に重症な症例をも対象とし得るような新たな sense of agency task を考案し、臨床型によって、どのような異常パターンを示すかについて検討した。

２．方法

2.1　対象

DSM- Ⅳによって診断された慢性期の統合失調症患者 30 名。うち、妄想型 12 名、残遺型 12 名、解体型６名。コントロール群として、双極性障害８名。健常群 22 名。各グループの詳細は **Table 1** に示す。本研究は、桜ケ丘記念病院の倫理委員会に承認され、検査はインフォームドコンセントを得た上で施行した。

TABLE 1

	Paranoid type	Residual type	Disorganized type	Bipolar disorder in remission	Normal controls
	(N=12)	(N=12)	(N=5)	(N=8)	(N=22)
Age	39.8(14.5)	36.0(8.2)	42.8(9.5)	34.8(9.5)	33.9(9.7)
Gender	M 7, F 5	M 6, F 6	M 4, F 1	M 4, F 4	M 10, F 12
Education(years)	13.3(2.1)	14.1(2.5)	13.2(1.8)	13.4(1.8)	16.5(1.3)
Outpatient/Inpatient	10/2	10/2	4/1	7/1	—
Duration of illness(years)	12.8(12.1)	10.5(6.7)	23.0(7.2)	14.6(8.2)	—
Neuroleptic dosage (HP-mg)	12.1(11.5)	15.7(15.5)	33.2(17.5)	5.76(6.60)	—
GAF	53.0(15.4)	45.6(17.6)	27.2(3.0)	84.0(10.5)	—
PANSS (total score)	79.1(12.2)	85.8(17.0)	123.4(5.9)	—	—
Positive symptoms	21.4(5.7)	18.2(4.7)	23.4(2.6)	—	—
Negative symptoms	16.0(2.9)	24.4(4.3)	34.4(2.4)	—	—
General psychopathology	41.7(6.1)	43.3(9.8)	65.6(2.3)	—	—

Means(SD)

2.2　実験手続

14 インチのパソコンモニターを用いて施行。各試行は、 5mm 四方の四角形がスクリーンの下方から上方へ一定のスピード（ 22 m /sec ）で進む。被験者は、音を合図にボタンを押すように指示され、そのボタン押しに連動して四角形の piece が35mm上方へジャンプするようにプログラムしてある（**Figure 1** ）。その際、ボタン押しとジャンプの間に 0 ～ 1000msec（100msec毎）の delay をランダムに導入し **(Figure 2a)**、一試行毎に“piece を自分で動かした感じがするか否か?”あるいは“自分がコントロールしている感じがするか否か？”と agency 判断を行い、YES-NOの回答を求められる。また、 sham 条件として、ボタン押しにではなく、音に連動して反応する条件も設定（delay: －100ms, 0ms, 100ms） （ **Figure 2b** ）。各条件 10 試行で合計140 試行を行う。

グループごとに各条件の中央値（ median ）を計算し、各条件ごとに比較する。統計解析は Mann-Whitney's U 検定による。

FIGURE 1

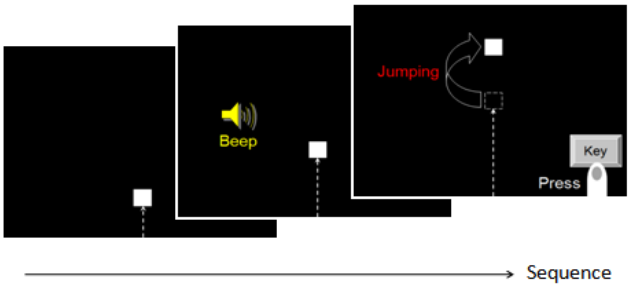
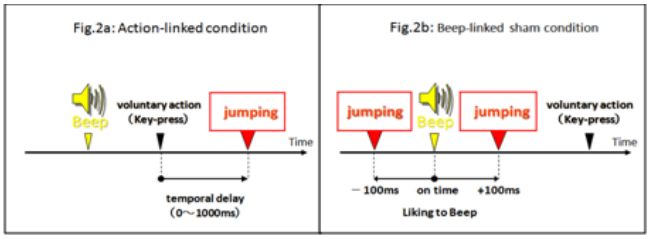


FIGURE 2



3．結果

健常群と比べ、妄想型では delay が長くても自己を agent と判断、すなわち self-agency の増強（ over-attribution ）、 残遺型では delay が少しでもあると自己が agent ではないと判断、すなわち self-agency の低下（ under-attribution ）がみとめられた。解体型では self-agency が一定せず over-attribution と nder-attribution とが併存しており、 agency 判断が混乱していた (confusional pattern)（**Figure 3**）(**Table 2**)。このように、統合失調症では、あらゆる臨床型において sense of agency の異常が認められるが、そのパターンは質的に異なるものであった。双極性障害では健常パターンを示した。 sham 条件については、健常群では、 YES 判断はみられないが、統合失調症では YES 判断がみられた（**Figure 3**）(**Table 2**)。

4．考察

統合失調症における sense of agency は臨床型によって異なるパターンを呈することを示した。妄想型においては、先行研究と同様に over-attributionを呈した。一方、残遺型統合失調症では、 under-attribution を示した。これまでの報告では、統合失調症において実験的に under-attribution をとらえた研究はない。今回の研究により、自我障害のシミュレーションモデル上で予想された、 under-attribution がはじめて実験上確認された。本研究では検査が平易なため、臨床的に重度の残遺型を対象とすることができたことによるものと考える。

先に紹介した Haggard らの‘ Binding Effect ’に関する研究によれば、統合失調症では、意図的・能動的に行為したときにのみ、健常人よりも強くbinding effectが現れるということであった。これは、主体の態度、すなわち能動性の発動様態が規定条件となって、統合失調症の自我障害dynamicに変化するということであり、自我障害は static なものではないということである。臨床型による agency 異常の差異は、主体の能動性に関連する strength of intention の機能状態の差異に因るのではないかと考えられる。すなわち、残遺型では strength of intention が低下しているために外界の事象に対して agency が低下するが、妄想型では strength of intention が保たれていおるために、‘ Binding Effect ’と同様に外界の事象と自己とが結びつくため agency が強まるのではないかと考えられる。自我障害は基本障害から直接的に導かれるものではなく、能動性の発動状態という非特異的要因が症状形成的に作用しているものと考えられる。

臨床的観点から言えば、あらゆる臨床型において agency の異常が認められることから、本テストが、統合失調症の客観的な診断マーカーとなりうるのではないかと考えている。

FIGURE 3

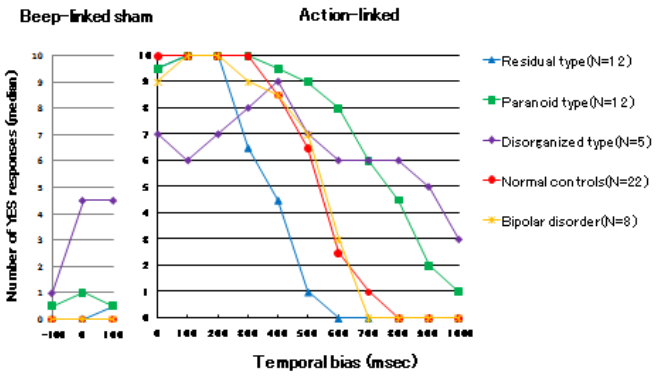


TABLE 2

		Paranoid VS NC			Residual VS NC			Disorganized VS NC			Bipolar VS NC		
Temporal bias (msec)		U	z	p	U	z	p	U	z	p	U	z	p
Beep-linked sham	-100	71	3.11	0.002	95.5	2.14	0.033	23.5	2.63	0.009	80.5	0.81	0.416
	0	63.5	3.18	0.001	88.5	2.22	0.026	0.5	4.19	<0.001	73.5	1.15	0.250
	100	91.5	1.71	0.087	94.5	1.59	0.112	2.5	3.37	0.001	75.5	0.73	0.468
Action-linked	0	131	0.04	0.969	125.5	0.26	0.798	15.5	2.61	0.009	75	0.66	0.511
	100	119	0.76	0.445	119	0.67	0.506	13	3.26	0.001	83	0.36	0.717
	200	128	0.23	0.814	101.5	1.56	0.119	0	4.26	<0.001	78	0.73	0.468
	300	130.5	0.07	0.946	50.5	3.19	0.001	25	2.16	0.030	62.5	1.39	0.165
	400	100	1.22	0.221	42	3.30	0.001	50	0.32	0.747	79.5	0.41	0.679
	500	78.5	1.96	0.050	44.5	3.19	0.001	53.5	0.09	0.925	84	0.19	0.850
	600	25.5	3.89	<0.001	73	2.26	0.024	18	2.37	0.018	80.5	0.36	0.716
	700	26	3.89	<0.001	68.5	2.62	0.009	17	2.39	0.017	67.5	1.03	0.302
	800	11	4.58	<0.001	99.5	1.58	0.114	16.5	2.71	0.007	69.5	1.12	0.263
	900	29	4.26	<0.001	124.5	0.48	0.629	4	3.95	<0.001	86.5	0.12	0.905
	1000	44	3.83	<0.001	130.5	0.11	0.913	3	4.22	<0.001	84.5	0.32	0.753

		Paranoid VS Bipolar			Residual VS Bipolar			Disoragnized VS Bipolar		
Temporal bias (msec)		U	z	p	U	z	p	U	z	p
Beep-linked sham	-100	31.5	1.50	0.135	40	0.81	0.416	10	1.34	0.181
	0	32	1.35	0.176	41	0.64	0.525	4	2.18	0.029
	100	41	0.59	0.554	42.5	0.47	0.642	4.5	2.03	0.042
Action-linked	0	40	0.66	0.507	43	0.41	0.681	8	1.82	0.069
	100	46	0.30	0.767	41	0.77	0.439	4.5	2.61	0.009
	200	44	0.44	0.656	41	0.67	0.504	0	3.09	0.002
	300	30.5	1.50	0.134	22.5	2.00	0.046	9.5	1.61	0.108
	400	27	1.71	0.087	16	2.48	0.013	20	0.00	1.000
	500	23	1.96	0.050	12.5	2.79	0.005	20	0.00	1.000
	600	8	3.13	0.002	20	2.32	0.020	6.5	2.04	0.041
	700	1	3.67	<0.001	33.5	1.61	0.108	5	2.29	0.022
	800	0.5	3.77	<0.001	46	0.30	0.767	4.5	2.59	0.010
	900	9.5	3.14	0.002	46	0.30	0.767	1	3.05	0.002
	1000	19	2.41	0.016	45.5	0.37	0.711	2	2.87	0.004

		Paranoid VS Residual			Paranoid VS Disorganized			Residual VS Disorganizd		
Temporal bias (msec)		U	z	p	U	z	p	U	z	p
Beep-linked sham	-100	51.5	1.33	0.185	23	0.13	0.897	16.5	1.05	0.294
	0	52	1.24	0.215	11.5	1.55	0.122	1.5	2.88	0.004
	100	69.5	69.50	0.877	10	1.75	0.081	8	2.00	0.046
Action-linked	0	68	0.25	0.802	7	2.54	0.011	10.5	2.14	0.032
	100	59	1.16	0.247	6.5	3.09	0.002	8.5	2.55	0.011
	200	57	1.14	0.254	0	3.55	<0.001	5	2.81	0.005
	300	21.5	3.04	0.002	9	2.41	0.016	22.5	0.80	0.425
	400	3.5	4.01	<0.001	12.5	2.00	0.046	2.5	2.92	0.003
	500	0.5	4.17	<0.001	13.5	1.77	0.076	1.5	3.06	0.002
	600	0.5	4.23	<0.001	16.5	1.46	0.146	0.5	3.30	0.001
	700	0	4.38	<0.001	18	1.27	0.203	1.5	3.53	<0.001
	800	0.5	4.36	<0.001	27.5	0.27	0.789	6.5	3.08	0.002
	900	11	3.76	<0.001	22	0.86	0.391	1	3.59	<0.001
	1000	22	3.25	0.001	17	1.43	0.154	1	3.59	<0.001

文献

1. Gallagher S:. Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science. Trends Cogn Sci 2000;4:14-21.

2. Franck N, Farrer C, Georgieff N et al. Defective recognition of one's own actions in patients with schizophrenia.: Am J Psychiatry. 2001 Mar;158(3):454-9.

3. Haggard P, Clark S, Kalogeras J. Voluntary action and conscious awareness.: Nature Neuroscience. 2002 5(4):382-385.

4. Haggard P, Martin F, Taylor-Clarke M et al Awareness of action in schizophrenia.: Neuroreport. 2003 May 23;14(7):1081-5.

コオロギ本能プログラムの発現と発達の調節のしくみ

長尾 隆司[1]、岸上 明生[1]、田森 佳秀[1]、佐々木 謙[1]、小川 宏人[2]

[1]金沢工大 人間情報システム研、[2]北大 生命理学部門 行動知能

要旨－昆虫はわずか数万個程度の神経で、性行動や闘争行動などの複雑な行動を状況に応じて発現する。コオロギの場合、生得的とされてきた本能的行動の発現や発達が生育環境によって大きく変化する。社会的経験を通して行動が発達するしくみが、行動の適応性を保証する共通原理としてコオロギにも組み込まれていると考えられる。その実現には性行動や闘争行動の動機づけを担っている生体アミンを中心としたホルモン調節系が深く関わっている。

１．はじめに

今日の技術をもってすれば、予測可能な環境変化に対応するロボットを作ることはもちろん容易いが、予測できない環境変化にも対応できるように学習させるとなると途端に話は難しくなる。だからこそ、工学的な視点からすれば、昆虫は、まさにデザインの宝の山である。にもかかわらず、昆虫はどちらかといえば生得的な定型的行動に注目されることが多く、これまでの動物生理学や神経行動学は、機械的な生得的解発機構の神経基盤の解明に精力を注いできた。

一方、分子生物学的な手法は行動への遺伝的アプローチにも大きな成果をもたらし、神経系や行動の発生に関わる遺伝子の役割が注目されるようになった。S. Benzer らに代表される行動遺伝学者達は、遺伝子には神経系の構造や機能、そしてその結果である行動のための回路図に関する情報が含まれているという立場を貫いてきた。果たして、行動の発現に必要な神経系の回路図は、どこまで遺伝子に書き込まれているのだろうか。

神経系の回路図とは、実体としての構造と isometric でなければならない。動物の神経系や行動のレパートリーの構成単位やモジュールをコードした遺伝子や遺伝子群は存在しておらず、遺伝子の中に神経系の回路図が書き込まれていないことは明らかである。一方で knock out や RNAi などを用いた genetic dissection によって、神経系の発生や行動の発達に関わる遺伝子が次々と明らかになっている。つまり、遺伝子に書き込まれているのは、神経系の回路図ではなく、神経系を構成するためのプログラムということになる。

環境変化に対応した適応的な行動を設計することが工学的に困難なのは、「どこまでを定型的な行動として組み込み、学習的な要素をどの程度組み込めばよいのかは、環境の変化の程度に依存する」からである。自然界に目を向けてみると、構造が複雑な脊椎動物は当然としても、昆虫のように構造が単純な動物であっても、実に巧妙な適応システムを身につけていることに驚かされる。その巧妙な適応システムが、わずか数万個のニューロンによって構成されていること自体が驚きだが、個体発生の過程においてそのようなシステムを発達させる仕組みが組み込まれていることには更に驚かされる。

人間からみれば、経験を通しての学習こそ、動物が自分をとりまく環境に適応するための最良の方法のように思えるが、部品数の少ない昆虫などにしてみればそれが最善の方法とは限らない。ふ化したての幼虫であっても、捕食者との初めての出会いに適切に行動しなければならない。つまり、個体が生き残るためには、発達のすべての段階で適応的な行動をとる必要がある。このように、昆虫の行動の発達には自然淘汰がデザインした巧妙な仕掛けが隠されている。

2　コオロギの生得的行動と動機づけ調節

脊椎動物に比べて極端に体のつくりが単純な昆虫では、定型的行動を引き起こす鍵刺激(あるいはそれを含むリリーサ)や IRM(生得的解発機構)といった考え方に基づいて多くの行動を説明することができる[1]。

クロコオロギの雄は、最終脱皮によって羽化すると、やすり状の突起のついた翅をこすり合わせて鳴く。雄は、雌に対して calling song と courtship song の 2 つの鳴き声を発する。前者は交尾相手の雌を近くに引き寄せるためのものであり、後者は近づいてきた雌を交尾に誘うためのものである。これら 2 つの鳴き声の他に、雄は闘争の際に発する aggressive song をもっている。雄の courtship song に誘われて雌が雄の背に馬乗りになると、精子の詰まった精包が雄から雌に渡されて交尾が完了する。

このような性行動のパターンはコオロギに生得的な

ものであり、一定の環境条件のもとで、一定の刺激を受けるとコオロギは決まりきった定型的行動を示すとされてきた。しかし、リリーサがあればコオロギは機械仕掛けのように同じ行動を起こすかといえばそうではない。体内の状態によってリリーサの有効、無効を調節する動機づけと呼ばれる機構が備わっており、生体アミンなどの神経ホルモンによる神経系への修飾作用などが知られている。

雄コオロギの性行動の各レパートリーの発現とリリーサの関係や中枢、体液での神経ホルモンの消長といった神経生化学的な分析の結果、雄コオロギの性行動の動機づけには、オクトパミンとセロトニンの 2 つの生体アミンが神経ホルモンとして拮抗的にはたらいていることが明らかになった(図 1)[2]。

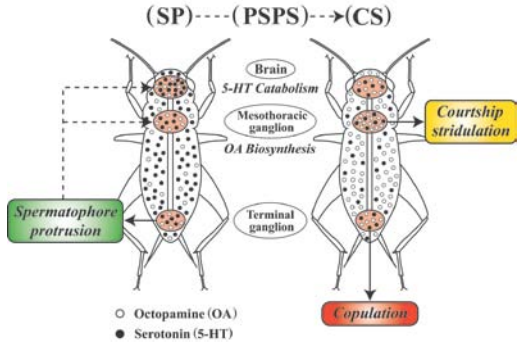


図 1　雄コオロギの性行動の動機づけを調節する神経ホルモン
精包準備時(SP)と求愛発音時(CS)における中枢と体液中の神経ホルモンの分布

3　性行動の発達

羽化、すなわち成虫になれば、コオロギは直ちに性行動ができるのではない。羽化したての雄、雌を同じケース内に入れておいても、その日のうちは性行動に関わるどんなレパートリーも現れない。そこで、羽化したての雄に対して性的に成熟した雌を、それとは逆に羽化したての雌に対して性的に成熟した雄を 12 時間ごとに出会わせた場合の性行動の発現を調べてみた。その結果、すべての個体が交尾を完了できるようになるには、雄の場合羽化後 3 日、雌では羽化後 1.5 日の時間経過が必要であることがわかった(図 2)。

発音行動に必要な効果器である筋肉や前翅などの部品は羽化とともに完成するが、行動プログラムを担う神経回路の基本構成は、遺伝子に書き込まれた仕様書にしたがっておそらく幼虫期に出来上がっているのだろう。そして、羽化後の時間経過とともに神経回路の仕上げやそれを取りまくホルモン環境が整備されていくものと考えられる。

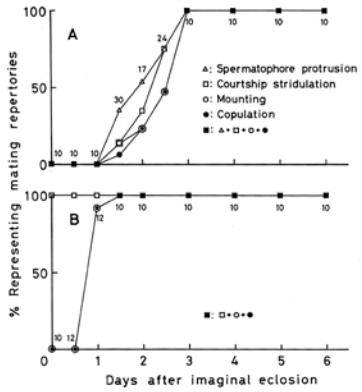


図 2　羽化後の性行動の発達
羽化後 12 時間ごとの雄(A)、雌(B)が示した性行動のレパートリーの発現率

4　コオロギの闘争行動

クロコオロギの雄は、他の雄と出会うと必ずといってよいほど闘争を行う。体重と勝敗の関係を調べたところ、明らかに重いコオロギほど勝つ傾向にあることがわかった。闘争行動を解析するためには、各個体の内部状態をできる限り均一にする必要がある。そこで、生育環境が発育におよぼす影響を一定にし、さらに社会的な環境条件を整えるために、コオロギを集団と隔離に分けて飼育した。

クロコオロギは飼育環境に応じて顕著なこみあい効果(crowding effect)を示す[3]ので、集団飼育を飼育密度で 3 段階に分けた。隔離は透明なケースと完全な遮光ケースの 2 種類を用いて行った。透明隔離のコオロギは、触覚のみが遮断されている状態なので、インターネットコオロギ(Internet cricket)と命名した。

5　生育環境が行動におよぼす影響

5.1　社会的経験と闘争行動

それぞれのグループから体重差が 100mg 以内の 2 匹を選んで闘場となるプラスチックケース内で出会わせ、闘争の勝敗と攻撃性を調べた。集団コオロギどうしの闘争では、短時間で終わる穏やかなものが多いのに対し、隔離コオロギどうしでは、激しい攻撃性を長く保持する個体が多く現れた。隔離コオロギは、集団コオロギに比べて明らかに攻撃性も活動性も高かった。同じように隔離したコオロギでも、隔離の期間が長いものほど高い攻撃性を示した。中でも、インターネットコ

オロギは、凶暴ともいえる異常な攻撃性[4]を示した。

5.2 性行動の発達と雌への攻撃

3 で述べたように、集団のコオロギの場合、羽化してから交尾ができるようになるまでに雄で 3 日、雌では 1 日半が必要である。雄の求愛に対して交尾拒否を示す雌も少なくないが、いくら交尾拒否を繰り返されても集団の雄は決して雌を攻撃しなかった(図 3A)。

それでは、他の雄に対して異常な攻撃性を示すインターネットコオロギの雄は、初めて出会う雌に対してどう振る舞うのだろうか。羽化したインターネットコオロギの雄に対して、12 時間おきに性的に成熟した集団コオロギの雌を出会わせてみた。羽化後 2 日半までは一匹として交尾に成功するものがおらず、6 割以上の雄が雌に対して攻撃を行った(図 3B)。しかも相手が雄の場合同様、高い攻撃性を示してひたすら相手を攻撃し続け、最後には相手を殺してしまうケースが多かった。しかし、羽化後 3 日目以降になると、次第に交尾ができる個体が増えていき、7 日目には全ての個体が交尾に成功した。交尾の成功率に呼応するかのように、雌への攻撃は次第に減少していき、羽化後 6 日目には見られなくなった(図 3)。

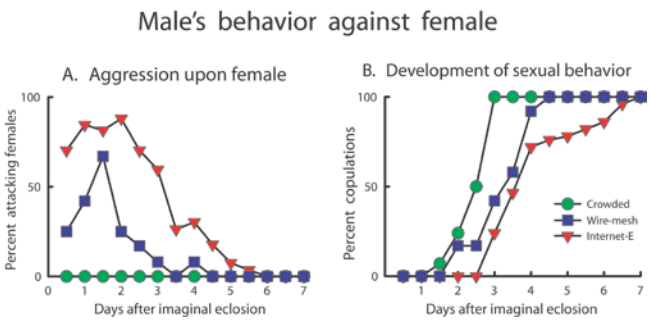


図 3 羽化後の雄の雌に対する行動の変化
羽化後 12 時間ごとに雄が成熟雌に対して示した攻撃率(A)と交尾率(B)

さらに、接触などによる社会的経験を制限するために、金網ケースで隔離したコオロギを、金網ケースごと集団コオロギの飼育ケース内に入れて育てた。羽化した金網隔離コオロギの雄に対して 12 時間おきに性的に成熟した集団コオロギの雌を出会わせた。金網隔離コオロギの雄は、羽化後 2 日目から交尾ができるものが現れはじめ、4 日半で全ての個体が交尾できるようになった(図 3A)。性行動の発達は、集団、金網隔離、インターネットコオロギの順に遅れた。

6 社会的経験による行動の発達調節

以上の結果から、生育時の社会的経験の程度が攻撃性や性行動の発達に深く関わっていることは明らかである。しかし、社会的経験の欠如によって性行動や闘争行動の発達が遅れはするが、定型的行動そのものがくずれることはなかった。3 の性行動の発達で述べたように、羽化後の 3 日間は雄の性行動が完成するための大切な時期である。そこで、卵から隔離したインターネットコオロギを羽化後一定時間隔離した後、12 時間おきに成熟した雌に出会わせた場合の交尾率と雌への攻撃率を調べてみた(図 4A)。

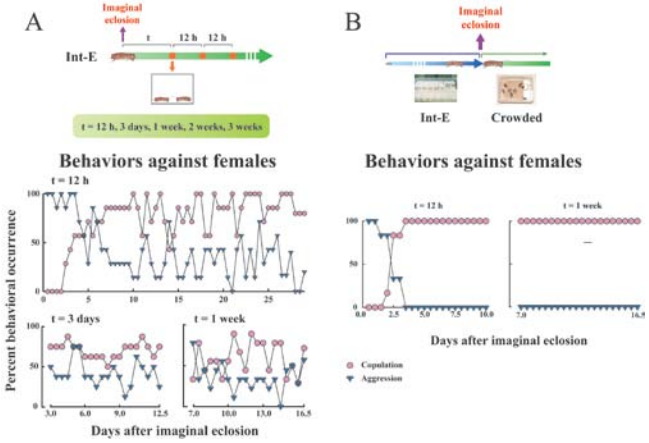


図 4 羽化前後の隔離飼育がインターネットコオロギの行動の発達におよぼす影響
インターネットコオロギを羽化後一定時間隔離した場合(A)と羽化後集団飼育した場合(B)の交尾率と雌への攻撃率

5.2 の図 3 では、羽化後 1 週間経過するとインターネットコオロギもすべて交尾を完了すると述べたが、その後観察を続けてみると、交尾ができず雌を攻撃するものが現れた(図 4A)。羽化後 3 日以上隔離した場合、交尾率は 100%にならず、雌への攻撃は消えなかった。そこで、羽化後すぐに一定時間インターネットコオロギを集団飼育させてから 12 時間おきに成熟雌と出会わせてみると、羽化後 3 日以降は交尾率が 100%となり、雌を攻撃するものは一匹もいなかった(図 4B)。

5.1 や 5.2 の結果では、コオロギの性行動の発達には幼虫期の社会的経験が不可欠であるように見える。しかし、隔離によって雌の存在が雄の性行動のリリーサとして機能しなくなっても、羽化直後の社会的経験によって回復することがわかった。そこで、幼虫期を集団飼育し、羽化後一定期間隔離した場合の性行動と闘争行動の発達を調べた。幼虫期を集団で過ごしても、羽化後隔離すると雌への攻撃と性行動の発達の遅れが現れた(図 5)。したがって、性行動の発達に不可欠なのは、幼虫期の社会的経験ではなく羽化後の社会的経験と考えられる。

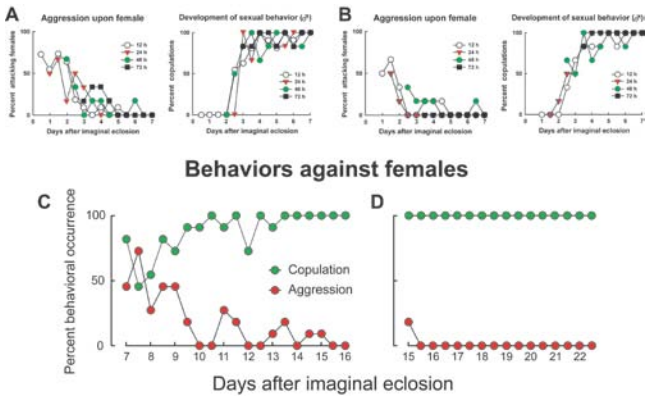


図 5　羽化後の隔離や社会的経験が集団飼育コオロギの行動の発達におよぼす影響
集団のコオロギを羽化後一定時間隔離(A)、羽化後も一定時間集団飼育(B)、羽化後 1 週間隔離(C)、成熟後 10 日間隔離した場合(D)

性行動の発達の遅れが羽化後 1 週間以内の社会的経験によって回復することから、性行動のプログラムそのものが隔離によって損なわれたとは考えにくい。むしろ、**3** で述べたように、本能プログラムの基本構成は、社会的経験とは無関係に構築されるが、リリーサを検知する機構やその後の行動の選択に関わる機構の完成に社会的経験が関わっている可能性が高い。

7　社会的経験のしくみ

コオロギがコミュニケーションに用いている主な感覚は、聴覚、触覚、そして体表化学物質による化学感覚とされている。成虫のコオロギは夜行性を示し、視覚情報が無くても交尾や闘争を行う。しかし、明期には視覚を活用していることが行動実験によって明らかになっている。同じ隔離でもインターネットコオロギは、遮光コオロギよりも高い攻撃性を示し性行動の発達も大きく遅れることから、行動の発達への視覚情報の関与が考えられるが、インターネットコオロギをケースごと集団飼育の中で飼育しても闘争行動や性行動の発達に変化は見られなかった。

そこで、行動の発達に関わる社会的経験の構成要素を絞り込むために、人為的な機械刺激と体表化学物質による化学刺激をインターネットコオロギの幼虫期に与えてみた。その結果、機械刺激では攻撃性は低下するが性行動の発達の遅れは解消されなかった。一方、化学刺激を与えた場合は、攻撃性に変化は見られず性行動の発達も遅れた。このことは、闘争行動の発達には幼虫期の機械刺激が重要だが、幼虫期の触れ合いに伴う機械刺激や化学刺激は性行動の発達に関わっていないことを裏付けている。

機械刺激や化学刺激を羽化直後から 1 週間インターネットコオロギに与えてみると、機械刺激は性行動の発達の遅れを解消できなかったが、化学刺激によって回復することがわかった。

以上の結果から、闘争行動の発達には幼虫期の機械刺激による社会的経験が重要であるが、性行動の発達には、羽化直後の化学刺激による社会的経験が深く関わっていることが明らかになった。

8　おわりに

社会生活を営む動物は、社会的経験による行動プログラムの変容可能性を組み込むことで進化してきた。コオロギは決して社会性昆虫ではないが、すべての動物がそうであるように、限られた資源をめぐって同種の他個体との間で闘争を行い、子孫を残すために同種の異性個体との間で繁殖活動を行う。このような個体維持と繁殖に関わる活動は、必然的に個体間の社会関係の上に成り立つものであり、その個体にとっては、社会関係を形成するまわりの個体も自分を取りまく環境のひとつである。

サルやネズミと同様に、コオロギも長期間の隔離によって攻撃性を増大させ、性行動の発達の遅れや異常を示すことがわかった。このことは、遺伝的に備わっているはずの本能プログラムが環境要因によって変容することを示している [5]。そして、行動が社会的な経験を通して発達するというしくみが、行動の適応性を保証するための基本原理として、高等動物だけでなく広く動物共通に組み込まれていることを意味している。

参考文献

[1] Tinbergen, N.: The study of instinct. Clarendon Press, Oxford. (1951)
[2] Nagao T., Tanimura T. and Shimozawa T.: Neurohormonal control of the mating interval in the male cricket, *Gryllus bimaculatus* DeGeer, *J. Comp. Physiol. A* 168:159-164 (1991)
[3] Iba, M., Nagao, T. and Urano A.: Effects of population density on growth, behavior and levels of biogenic amines in the cricket, *Gryllus bimaculatus*, *Zool. Sci.*, 12:695-702 (1995)
[4] Nagao, T. and Yamamoto, S.: Effects of social experience on aggressiveness and development of the sexual behavior in male crickets, *Comp. Biochem. Physiol.*, 124-A, S57:S38-5 (1999)
[5] Nagao T., Kishigami A., Sasaki K. and Tamori Y.: Neurohormonal control of development and motivation of instinctive behavior in male crickets, *Proc. 6th ABA Symp.* 125-126 (2009)

社会性適応のための行動変容機構の研究

伊藤悦朗（徳島文理大学香川薬学部）・池野英利（兵庫県立大学環境人間学部）・
大橋瑞江（兵庫県立大学環境人間学部）・木村敏文（兵庫県立大学環境人間学部）・
岡田龍一（徳島文理大学香川薬学部）

要旨―ミツバチは訪れた花の位置（情報）を8の字ダンスによって巣内の他のミツバチに伝える。われわれはこの行動を社会性維持のための「情報の伝搬と共有」のモデルとしてとらえ、8の字ダンスのコロニーへの効果を、行動観察の結果を盛り込んだ数理モデルによるコンピュータシミュレーションを用いて調べてきた。

生物データの取得のためにミツバチのダンス行動をビデオ撮影した。解析の結果、巣内ミツバチの歩行パターンと1秒あたりの最大移動距離、ダンスの発生場所の分布、ダンス情報の性質、追従バチの追従パターンなど、モデル構築に必要な多くのパラメータを取得した。これらのパラメータを利用して、ミツバチの採餌行動のマルコフモデルを構築後、シミュレーション実験を行った。その結果、われわれのモデルはミツバチの採餌行動をよく表現できていること、ダンスによる情報伝達は採餌の効率をあげていることがわかった。

これらと平行して、ミツバチの行動は巣内外の環境に柔軟に適応して調節されるので巣内外の環境を自動で経時的に計測するためのシステムも同時に構築した。また、効率よく行動パラメータを取得するために、ベクトル量子化法を用いた、ミツバチの自動追跡システムを開発した。これらのことから得られる結果を組み合わせることで、ダンス行動によるコロニー維持の効果や情報の伝搬様式などのより深い理解につながると期待される。

1 はじめに

われわれヒトが作っているような高度な社会を構成するには、個体間の「コミュニケーション」が必要不可欠である。ミツバチは餌場を他の働きバチに伝える「8の字ダンス」と呼ばれるコミュニケーションの能力をもっていることが知られている（図1；[1]）。この8の字ダンスは、翅を上下に震動させながらぶるぶると尻を振って直進する成分（尻振り歩行）とぐるりと円を描いて元の位置に戻ってくる成分からなる（図1）。これまでの研究の結果、尻を振りながら直進する向きと重力方向との角度が太陽に対する巣と餌場の角度を、尻を振って直進している時間が餌場までの距離を表していることがわかっている（図1）。

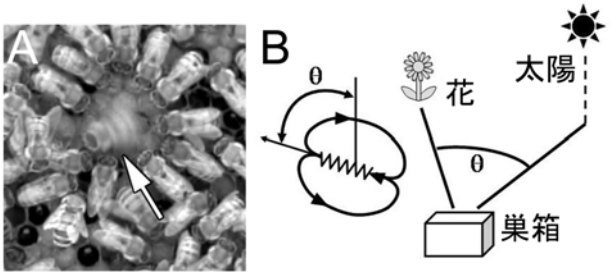


図１　8の字ダンスをするミツバチ（A）と、ダンスと餌場の関係（B）。

われわれは、8の字ダンスを社会性維持のための「情報の伝搬と共有」のモデルとしてとらえ、コロニーが得る利得という視点から8の字ダンスのコロニーへの効果を、行動観察の結果を盛り込んだ数理モデルによるコンピュータシミュレーションを用いて調べている 。

われわれは研究期間の4年間で、実際にミツバチの行動をビデオ解析してモデルに必要な生物データを取得し、そのデータと文献から得たデータを元にタイマー機能のついたマルコフ型の数理モデルを構築した。このモデルを元にシミュレーション実験で採餌行動におけるミツバチの8の字ダンスの効果を明らかにした。さらに、巣内外の温度、湿度、CO_2濃度などの環境データの自動計測システムと生物データの迅速な取得のための巣内ミツバチの自動追跡システムを構築した。これらの結果の一部はすでに学術誌に発表されている[2-5]。ここではそれらの研究成果を紹介する。

2 結果

2－1 実際のミツバチの行動の解析

2006-2007年の8-10月に、札幌市で午前8時30分から午後4時までミツバチの行動を記録した。巣箱から取り出した巣板をビデオカメラで毎秒30フレームで撮影したあと、歩行パターン、ダンスパターン、追従パターン、ダンス位置、ダンス情報などをひとこまずつ解析した。

ビデオ解析によってモデルとシミュレーションに不可欠な重要なパラメータを取得した。すなわち、（1）巣内でのミツバチの歩行機会のうち約80%は1秒あたり0.4 cm 以下であり、最大距離は約2 cm であった。10秒間ずっと歩行し続けることはまれであり、短時間（1秒）では体軸の前方に移動する傾向があるものの、長時間（10秒）では360度にほぼランダムに移動すること（図2A）、（2）尻振り走行は巣内のある場所で数回踊った後、移動し別の場所で再び踊るため、ダンス場所は巣内でクラスター状に分布する傾向があること（図2B）、（3）80 %以上の尻振り走行は角度にして最大で

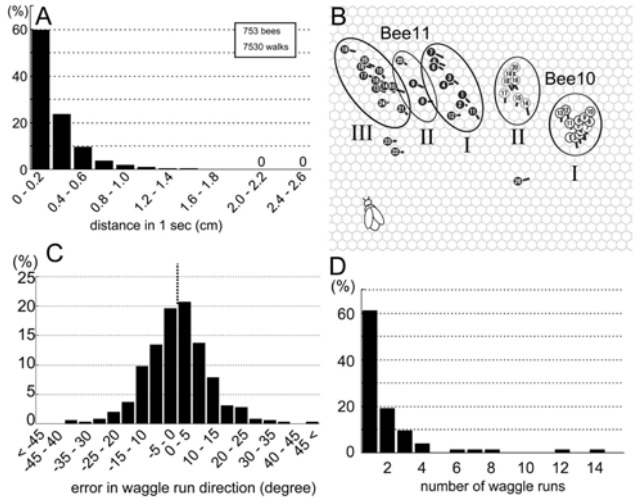


図２　取得した生物データの例。A: 巣内歩行パターン。0.4 cm 以下に全体の80% が含まれていた。B: ダンス場所。2匹のダンスバチを示している。それぞれ、2または3のクラスターになっていた。C: ダンスの示す方向情報の分布。±15度の誤差があった。D: 追従バチが連続して追従した尻振り走行数。80%のミツバチが高々２回しか追従しなかった。

±15度、距離に換算して約56%の尻振り走行が±15%の誤差を持つこと（図2C）、（4）追従バチの80%は高々2回しか続けて尻振り走行を追従しないこと（図2D）、などが明らかになった。

2－2 採餌行動のモデル化とシミュレーション

ミツバチの行動を、巣内で休止（resting）、巣内を歩行（wandering）、餌場の探索飛行（scouting）、餌場発見の成功（exploiting）、餌場発見の失敗（returning）、成功後の採餌飛行（foraging）、ダンス（dancing）、ダンスの追従（following）の8つに分類し、それらが確率的に遷移するマルコフ型モデルを構築した（図3）。

このモデルをもとに、われわれが行動解析から取得したパラメータと文献から得たパラメータを用いてシミュレーション実験を行った。実際のミツバチを用いた先行実験[6]とほぼ同様の条件で実時間8時間相当の採餌行動のシミュレーションを行ったところ、実際のミツバチコロニーの挙動とシミュレーション結果が高い精度で一致した（図4）。このことから、我々のモデルはミツバチの採餌行動をよく記述できていると結論した。

さらに、ダンス行動の効果を検証するために、このモデルを用いて4種類の仮想コロニーを設定した。コロニー1は餌場の位置を記憶しないし、ダンスもしない。コロニー2は餌場位置を記憶するがダンスしない、コロニー3は餌場を記憶してダンスをするがデタラメな位置情報を伝達する、コロニー4はダンスによって餌場を仲間へ伝達する。これらのコロニーの餌場訪問の回数を比較したところ、コロニー4は、コロニー3の2.2倍、コロニー1の6.2倍の平均約160回の訪問

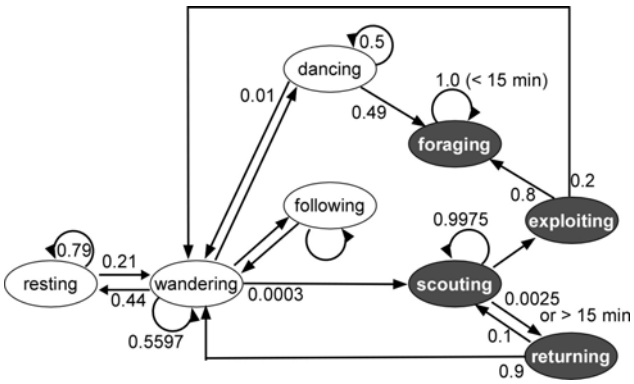


図３　構築した採餌行動のマルコフモデル。ミツバチの状態は確率的に遷移する。さらに、いくつかの状態にはタイマー機能がついている。

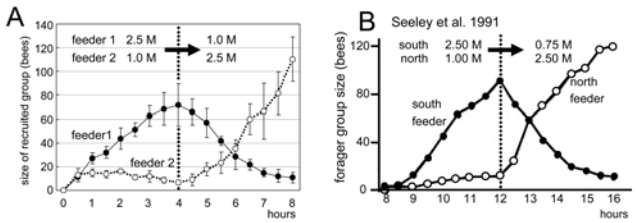


図４　シミュレーション実験と実際の生物実験の比較。可能な限り、生物実験と同じ条件でシミュレーションした。シミュレーションの結果（A）はSeeley らによる生物実験の結果（B）によく合致した。

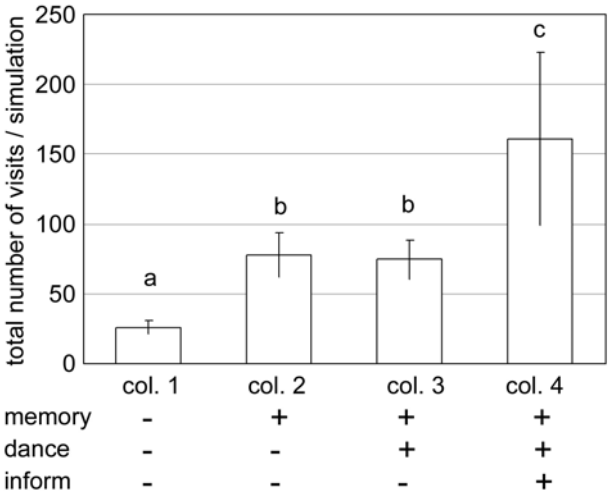


図５　仮想の４タイプのコロニーの餌場訪問回数の比較。コロニー４は有意に多くの回数餌場を訪問した。コロニー１が有意に少ない回数しか餌場を訪問しなかったことからランダムサーチが不利であることがわかる。カラムの上の文字は有意差のないグループを示している。

が観察された（図5）。コロニー4の訪問回数は他のコロニーに比べて有意に多かった。また、コロニー1の訪問回数は他のコロニーに比べて有意に少なかった（図5）。

2－3 ミツバチ巣内外の環境自動観測システム

ミツバチの採餌行動は巣内の環境によって影響を受ける。コロニーにおける炭素の流れはミツバチの活性と関連すると考えられるため、炭素循環モデルを構築することで、コロニーのエネルギー収支とミツバチの社会性行動との関連を理解することが可能となる。

女王を含む2枚の観察巣板を観察巣箱に入れ、巣箱ごと重量計に設置した。巣の入り口と換気孔を電気バルブを使って閉じて巣内環境を測定した。CO_2濃度を1秒毎に、温度、湿度、巣重量はそれぞれ5分毎に測定し、コンピュータに連続的に記録した。巣を出入りするミツバチを観察巣箱の入り口の赤外線カメラで数えた。さらに、デジタルカメラで巣板の両側を撮影し、コロニー内のミツバチ個体数を目視で数えた。2009年7月7日から11日まで、姫路市兵庫県立大学新在家キャンパス内で測定した。

1時間おきに5分間、単位時間当たりのCO_2 濃度増加速度 ΔC (ppm s^{-1}) を、直線回帰の傾きから求めた。さらに炭素放出量 C_{out} (g hr^{-1}) を次式を用いて算出した。

$$C_{out} = \frac{PV}{RT} \cdot \Delta C \cdot gC \cdot 10^{-6} \cdot 3600 \quad (1)$$

ここで Pは大気圧で1 (atm), Rは気体定数で0.082 ($\ell \cdot \mathrm{atm} \cdot \mathrm{mol}^{-1} \cdot \mathrm{K}^{-1}$), gC は炭素質量で12 (g), Vは巣箱の体積で19.5 (ℓ) 、T (K)は巣内温度を表す。

2008年8月と2009年5月に、巣に戻った採餌バチの数と採餌バチが持ち帰る平均の蜜量及び花粉量を測定し、炭素流入量C_{in} を下記の計算式で求めた。

$$C_{in} = N_{forage} \cdot Q_{nector} \cdot P_{nector} \cdot C_{nector} + N_{forage} \cdot Q_{pollen} \cdot P_{pollen} \cdot C_{pollen} \quad (2)$$

ここでは、全採餌バチ(N_{forage})に対する蜜と花粉を運ぶハチの割合(P_{nector} と P_{pollen})を6:4とした。蜜に含まれる炭素の濃度(C_{nector}) を0.343 g g^{-1} (40%ショ糖と等価)、花粉に含まれる炭素(C_{pollen})を30% とした。採餌バチ1匹が運ぶ蜜と花粉の量(Q_{nector} と Q_{pollen})は、巣を出入りする1個体の平均重量の差から、それぞれ40 mg、10 mgと推定した。

測定期間中、コロニーは採餌に伴う蜜と花粉の収集により1日に最大3.59 g hr^{-1} の炭素流入が認められた(図6)。1日の炭素流入量は8-15 g day^{-1}であった。一方、0.66 g hr^{-1} の炭素が呼吸として流出した。1日の総炭素放出量は20 g day^{-1}となり、コロニーはエネルギーの消費量が貯蓄量を上回り、貯蔵した蜜や花粉の一部を消費していたと推測された。採餌による炭素流入量と呼吸による炭素放出量の差で見積もられたコロニーの炭素収支量は16.2-7.9 g day^{-1}であった。また、この3日間に40-80 g day^{-1} の重量減少が認められた 。また、ミツバチコロニーの炭素動態は、コロニー内外の温度や水分、CO_2濃度と有意に相関があった(表1)。

ミツバチコロニーのような多くの要素で構成されるシステムは、安定でかつ適応的な特性を持つことから、新たな情報処理や制御機構の開発においても有効な知見をもたらすことが期待できる。

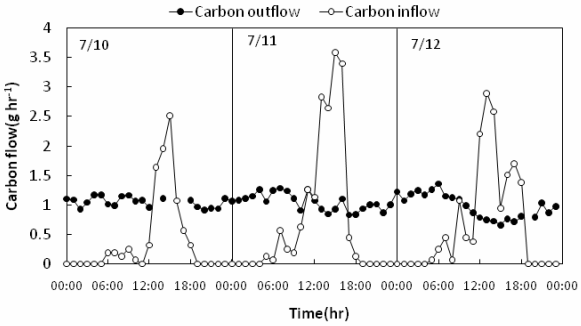


図6　ミツバチコロニーの炭素フロー
●が炭素流出量を、○が炭素流入量を表している。どの日も午後早くに炭素流入のピークが認められる。

表1　炭素フローと環境因子との相関係数

	C outflow	C inflow	C balance
Hive			
Temperature	***-0.71***	***0.66***	***0.55***
Humidity	***0.74***	***-0.56***	***-0.44***
CO_2 conc.	***0.64***	***-0.60***	***-0.52***
Control			
Temperature	***-0.72***	***0.66***	***0.54***
Humidity	***0.45***	***-0.30***	***-0.22***
CO_2 conc.	***0.50***	-0.18	-0.08
Difference of control and hive			
Temperature	0.14	-0.02	0.03
Humidity	***0.72***	***-0.59***	***-0.47***

イタリックで表された数値は統計的に有意な相関であることを示す($p < 0.05$).

2－4 行動解析のための複数ミツバチ追跡システム

ミツバチの社会性を解明する上で巣板内にいるミツバチの詳細な動きを知ることは重要であり、モデルやシミュレーションのパラメータを得る上でも不可欠である。我々はこれらの作業の効率化を目的に、画像処理技術を用いた行動解析のための複数ミツバチ追跡システムを開発している。昨年度、我々は各フレームでミツバチ個体を自動で検出し、個体の識別番号を付与するシステムを創出した。このシステムでは、ミツバチの位置の時間変化を追跡することで、移動軌跡を求めることができた。実験ではフレームごとに 500匹以上の個体を自動で検出し、約350個体の移動軌跡が得られた。

今年度は行動解析に利用できるシステムへ改良した。行動解析には、個体ごとの動きを視覚的に確認すると共に、個体の位置、移動速度、移動方向、移動距離が必要となる。

移動軌跡を抽出できた個体についてそれぞれの位置を各フレームで算出すると、移動距離 l_i は次の式で求めることができる。

$$l_i = \sum_{t=s_i}^{e_i-\Delta t} \left| p_i(t+\Delta t) - p_i(t) \right|$$

ただし、時間 t における個体 i の x 、y の位置を$x_i(t), y_i(t)$ として、$p_i(t) = (x_i(t), y_i(t))$ である。また、Δt は単位時間、s_i, e_i はそれぞれ個体 i の追跡開始時間、追跡終了時間である。時間 t における移動方向 $\theta_i(t)$は次の式から得られる。

$$\theta_i(t) = \arctan \frac{y_i(t+\Delta t) - y_i(t)}{x_i(t+\Delta t) - x_i(t)}$$

ビデオカメラで記録した観察巣箱映像 100 秒（720 x 480 ピクセル, 30fps）に対して、実験を行った。Δt=1*(s)*として、10 秒ごとの移動距離と巣板に対する移動方向を求めた。さらに、移動距離から単位時間あたりの移動速度を計算した。追跡できた個体のほぼ 8 割が 10 秒間に 15 mm 以下の移動距離であった。移動方向については、左上方向に移動する個体が多かった。このような情報は 8 の字ダンスのような特徴的な動き（図7）を検出するためには重要であり、このシステムは行動解析を行う上で、強力なツールになると考える。

3 本研究の成果と工学的貢献

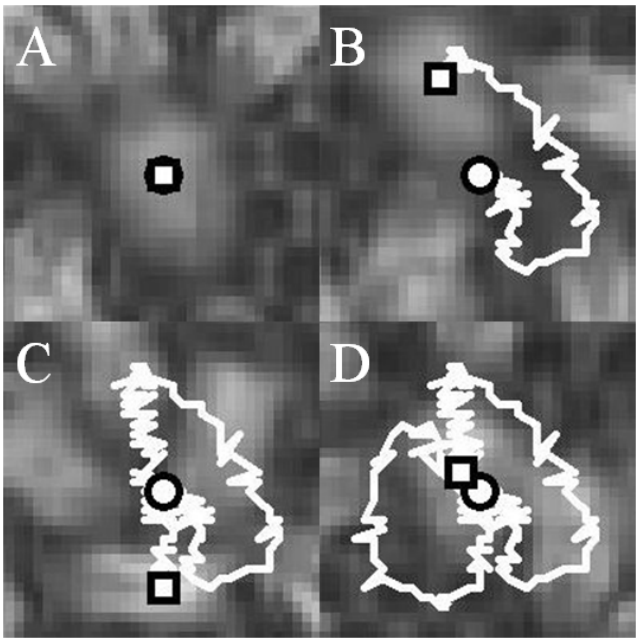


図7 8 の字ダンスの検出。ミツバチは 8 を描いていることがわかる。○はスタート地点、□はミツバチの位置を示す。画像の順番はアルファベット順である。

本研究期間でわれわれは以下のような成果を得た。（1）行動解析からミツバチのダンスには大きな誤差があることや追従バチの多くはダンスをほとんど追従しないことなどを見つけた[2, 3]。（2）行動解析から得られたパラメータを用いて採餌行動の数理モデルを構築しシミュレーションした結果、ダンス行動が確かに採餌に有利であることを見つけた[3, 4]。（3）ミツバチの社会的適応行動に影響を与える巣内環境の持続的な観測システムを構築した[5]。（4）ミツバチの行動解析の効率化を図るためにベクトル量子化法を用いて複数ミツバチを自動で追跡するシステムを開発した。

われわれの研究からミツバチはダンス行動によって効率的な採餌が行われていることが示唆されたが、その一方でミツバチのダンス情報には大きな誤差が含まれていることも明らかになった。つまり、ダンスをしてもなお、採餌の失敗の確率が高いと予想される。しかし、もし採餌に向かうハチの数が多ければ、コロニーレベルでは結果として情報を平均化したのと同じことになる。ミツバチの場合、多くの仲間を採餌に動員することによって、情報の曖昧さを補っているのかもしれない。この点が、失敗が許されない工業製品の設計原理とは大きく異なる点である。

最後に、ミツバチの8の字ダンス行動は情報伝達だけでなく、コロニーの維持機構という点にも着目すると、例えば、多エージェントによって散在する鉱物資源の採取や災害時の瓦礫の撤去などに適用可能なアルゴリズムを創出するなど、システム工学に応用可能な要素を含んでいる。今後の研究で領域を超えるような発見や設計原理の提案に結び付くと期待される。

4 参考文献

[1] K. von Frisch, *The dance language and orientation of bee*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, London, 1993

[2] R. Okada, H. Ikeno, N. Sasayama, H. Aonuma, D. Kurabayashi, and E. Ito “The dance of the honeybee: how do honeybees dance to transfer food information effectively?”, *Acta Biol Hung*, vol. 59 (suppl), pp. 157-162, 2008

[3] R. Okada, H. Ikeno, H. Aonuma, and E. Ito “Biological insights into robotics: honeybee foraging behavior by waggle dance”, *Adv Robotics* vol. 22, pp. 1665-1681, 2008.

[4] R. Okada, H. Ikeno, T. Kimura, M. Ohashi, H. Aonuma, and E. Ito. “Markov Model of Honeybee Social Behavior”, Information *in press*, 2010.

[5] M. Ohashi, R. Okada, T. Kimura, and H. Ikeno “Obeservation system for the control of the hive environment by the honeybee (*Apis mellifera*)”, *Behav Res Methods*, vol. 41, pp 782-786, 2009.

[6] T.D. Seeley, S. Camazine, and J. Sneyd. “Collective decision-making in honey bees: how colonies choose among nectar sources”, Behav. Ecol. Sociobiol., vol. 28, pp. 277-290, 1991

サル前頭葉ネットワーク構造の社会文脈依存的変化

竹中 一仁, 柳川 透, 長坂 泰勇, 藤井 直敬

***Abstract*— We aimed to develop novel approach to describe social brain function by modulation of neural network structure. We recorded neural activity from Japanese macaque by using electrocorticogram (ECoG) array implanted on lateral frontal cortex and applied Granger Causality (GC) analysis to measure causal relationship between regions. The analysis showed that causal relationship from prefrontal cortex and premotor cortex to frontal eye field was suppressed when human competitor sat next to the macaque regardless of hierarchical conditions. The findings suggest that the method is useful for describing complex neural functions in terms of network relationship between brain regions.**

I. INTRODUCTION

我々ヒトは、極めて社会的な生き物である。社会との関わりの中で正しく振る舞う能力、つまり社会的適応能力は、自分が現在埋め込まれている社会環境文脈の変化に応じて自分自身の行動を切り替える脳機能と言い換える事が可能である。我々の脳がもつ社会的適応機能については、社会行動学的な研究は比較的多く行われきたが、神経科学的な研究はまだ十分であるとは言えない。その理由として様々な技術的困難が挙げられるが、最大の問題点は、社会的適応行動が発現する現実的環境を実験環境として用いることが困難であったことにある。

これまでの神経科学的手法では、検証しようとする仮説に対して最適化した行動課題を設定しその課題で設定した以外の環境変数を全て一定にした状況で研究を行っていた。この方法は限られた範囲の適応的行動の仕組みを理解するには有効であった。しかし、他者の行動を含んだ予測困難な現実的社会環境での適応的行動の脳内メカニズムを理解するためには、より多くの課題変数を扱わなければならず、より自由度の高い現実的環境での実験を行う必要があるが、それを行う方法が確立されていなかった。

また、脳機能計測に関しても問題があった。社会的適応機能は、環境がもつ複雑な文脈情報を多面的に理解し、その瞬間のルールに合わせて、行動を適応的に制御するしくみである。そうであるなら、それを実現する脳機能も、脳内の複数の領域が統合的に働く事が必要なのは間違いない。しかし、これまでの脳機能計測は、脳内の多領域からの同時記録を、十分な空間、時間解像度をもって記録する事が出来なかった。そのため、脳内複数領野が同時に働く仕組みを理解することが出来なかった。

さらに、もし複数領野からの神経活動が記録出来たとしても、行動と脳活動の自由度が極めて高いため、行動と神経活動を相関づけるために、多次元情報を解析するための方法も整備されていない。つまり、社会的適応機能を明らかにするには、環境情報と脳神経活動を含む多次元情報を記録、解析するための新しい方法が必要とされる。

竹中一仁：東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻
柳川 透, 長坂 泰勇, 藤井 直敬：理化学研究所 脳科学総合研究センター

そこで、我々はこの問題を解決するために、社会的適応能力の高いサルを対象として、多次元生体情報記録手法という技術を開発し、これまで社会的脳機能の解明を試みてきた [1][2]。多次元生体情報記録手法は、モーションキャプチャによる身体拘束の少ない行動計測と、複数脳領域からの神経活動記録技術を統合したものである。我々はこれまで、前頭前野と頭頂葉の神経細胞活動が、社会的文脈に応じて切り替わる行動の変化に応じて変化する事を明らかにしてきた。しかし、その際に用いられた神経活動記録手法は、脳内の狭い領域をカバーしたに過ぎず、ネットワークレベルの脳活動を調べる事が出来なかった。そこで、本実験では、ECoG と呼ばれる電極を用いて、ニホンザルの前頭前野から頭頂葉にかけての広い領域を記録対象とし、社会的文脈依存的な適応行動と大脳皮質神経活動との関係をネットワークレベルで明らかにすることを目的とした。

II. METHOD

A. Recording

本実験では、ECoG と呼ばれる電極を用いて神経活動を計測した。ECoG は皮質表面に複数の電極を配置し、比較的広い領域から電気信号を同時に計測する。本実験では 64 電極をニホンザルの左半球の前頭前野から頭頂葉にかけて配置した (Fig.1)。これにより 64 次元の時系列データを 1042Hz のサンプリングレートで記録した。また同時にモーションキャプチャによる身体行動の計測も行った。

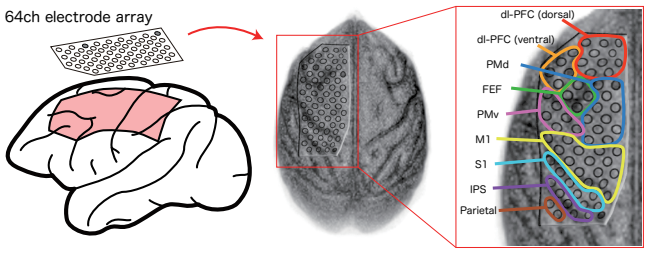


Fig. 1. ECoG array position

B. Task

サルの神経活動に対して社会的な環境が及ぼす影響を見るために、実験は社会的に異なる 3 環境下で実験者がサルにえさをやるというタスクを行った (Fig.2)。1 番目の環境 (MonkeyAlone) では、実験はサルと実験者のみで行い実験者はサルの左右にエサをおきすべてのトライアルでサルはエサを獲得した。2 番目の環境 (MonkeyHigh) では、実験はサルと実験者以外にもう一人ヒトがサルの隣に座った環境で行うが、ヒトは何もしなかった。これは他者が存在するが、それがサルにとっては自分より下位の個体である場合を想定している。この場合も、サルはすべてのトライア

ルでエサを獲得した。3 番目の環境 (MonkeyLow) では、MonkeyHigh と同様にサルの隣にヒトが存在するが、今度はサルとヒトの間にエサがおかれた場合には、ヒトがエサをとるようにした。これはサルにとって自分よりも上位の個体が存在する場合を想定している。この場合、サルのどちら側にエサがおかれたかによって、サルがエサを獲得できるトライアルとできないトライアルかが生じる。このような 3 環境を、お互いの相対位置を変えながら計測した。

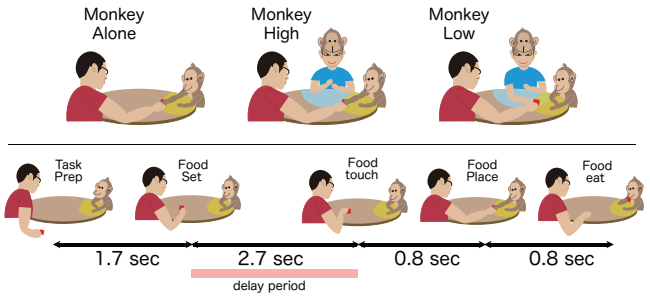


Fig. 2. Social Condition Task

C. Analysis

複数領域の神経活動の間のネットワーク関係を調べるために、ECoG によって計測された 64 次元の時系列データに対して、GrangerCausality(GC) とよばれる統計的因果指標を用いた [3]。これはある 2 つの時系列データ $\{x_t\}, \{y_t\}$ があった場合に、一方の時系列を予測するのに、他方の時系列が寄与するかどうかを因果の指標とするものである。すなわち x_{t+1} を予測する AR(auto-regressive) モデルを複数作り、$\{x_t\}$ のみを使った場合 (Eq.1) と、$\{x_t\}$、$\{y_t\}$ の両方を使った場合 (Eq.2) との間の予測誤差の違いを因果の指標とする (Eq.3)。

$$x_{t+1} = A \cdot X_t^{(m)} + \epsilon_t^x \quad (1)$$

$$x_{t+1} = B \cdot X_t^{(m)} + C \cdot Y_t^{(m)} + \epsilon_t^{x|y} \quad (2)$$

$$GC = log(Var(\epsilon_t^x)) \quad log(Var(\epsilon_t^{x|y})) \quad (3)$$

ただしここで $X_t^{(m)}$ は $\{x_t\}$ を m 次まで時間埋め込みしたベクトルとする。($X_t^{(m)} = (x_t, x_{t\ \ 1}, \cdots, x_{t\ \ m})^t$). 本研究では、この次数を決定するため赤池情報量規準 (AIC) を計算したが、パラメータ数が 4 次程度までは AIC の値は急激に減少したが、最小値を持たずその後も漸近的に減少していくため、次数をやや多くとり埋め込みベクトルは 10 次とした。

定義からわかるように、GC は予測モデルに基づいた指標であるため、値に方向性を持つ。すわなち電極 A から電極 B への GC と電極 B から電極 A への GC は異なる値を持つ。これは従来よく使われてきた相関関係などと大きく異なる点である。

このような GC は計測される時系列データが定常であることを仮定しているが、神経活動とそのネットワークは状況に応じてダイナミックに変化することが予想される。そこで計測された時系列を幅 500 サンプルの時間窓で抽出し、その時間窓を 100 サンプルずつずらしながら GC の計算を行った [4]。

III. Result

実験は 1 頭のニホンザルに対して 4 日間行い、3 環境でそれぞれおよそ 240 トライアルのデータを計測した。

それぞれの条件においても、エサを置く位置やサルとヒトの位置関係などの様々なパラメータが存在する。特に右手を使ったか左手を使ったが、といった運動の左右差や、サルがヒトより下位な条件下で発生するサルがエサを獲得できない状況は神経活動に大きな差異を生むことが予想される。今回は社会的条件の影響を調べるため、そのような差の生まれない delay 期間に焦点を絞って解析を行った。この期間ではどちらにエサがおかれるかがまだ決定しておらず、サルの運動計画や報酬予測の影響は少ないと考えられる。

A. Behavior

サルはタスク中はエサを獲得できる場合 (Alone 条件、High 条件および Low 条件でヒトでない側にエサがおかれた場合) には必ずエサを獲得した。またモーションキャプチャのデータを解析した結果、エサへのリーチングに関しては社会的な条件によって手先速度が変化するといったことはなかった。

B. Event Related Potential

まずはじめに、各電極の時系列データそのものの傾向を見るために、トライアル中の各時刻の電極の値をイベントで整列した。Fig.3-A は電極ごとに平均 0、分散 1 に正規化した後の時系列データを、delay 期間の終わりで整列したものである。また Fig.3-B はそれらの間の平均値の差を t 検定によって検定した際の有意確率である。

これを見ると、時刻 1s を中心として特定の電極の活動が増加しているが、このパターンの発生と社会的環境との間には関係がみられないことがわかる。また delay 期間においては、特に特徴的なパターンは発生していなかった。

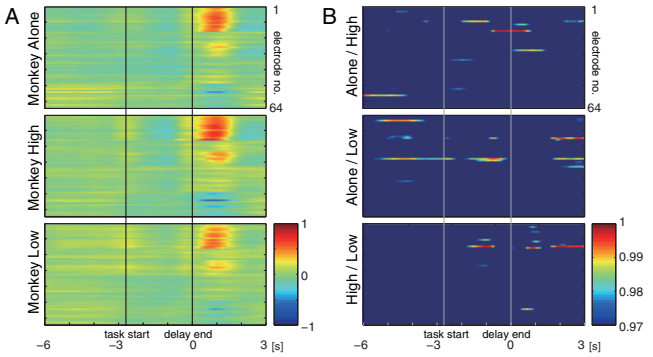


Fig. 3. Event Related Potential

C. Granger Causality

次に各電極の活動ではなく電極間の関係、すなわちネットワークとしての活動をみるために GC を計算した。GC は電極間の関係を示し方向性を持つので、その次元はもとのデータ次元の 2 乗のオーダーであり、時系列の変化を直接見るのは困難である。そこで、まずは GC を delay 期間で平均したもので傾向を見た (Fig.4)。

Fig.4 上段は delay 期間中の各電極間の GC の平均を示している。この両者をみると、まず社会的な条件に関わらず特定のパターンがあることがわかる。また Fig.4 下段はそれぞれの条件間 (Alone-High, Alone-Low, High-Low) の GC の差の絶対値をとったものである。これをみると、特定の電極間の因果関係のみが社会的な条件によって変化しているのがわかる。

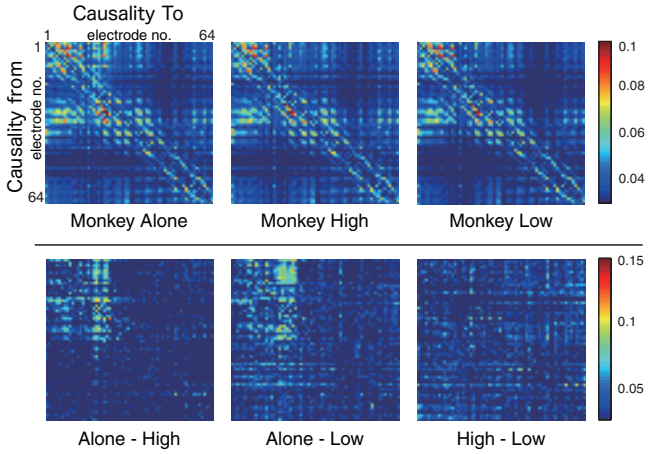


Fig. 4. GC matrix between electrode

社会的な条件によって最も因果関係に差が出た電極のペアは電極 6(領域:PFCd) から電極 21(領域:EFE) であった。この電極間の GC についてより詳しく調べるため、GC の確率分布をした寝たのが Fig.**??**である。左がヒストグラム、中央が中間値および四分位点、右が累積分布関数を示している。ヒストグラムをみると、3 条件であまり違いが見られないが、中間値は Alone 条件のみでおおきくなっており、累積分布関数をみると Alone 条件の分布の裾が正の方向に広がっていることがわかる。これに対し、社会的条件に対する因果関係の差が大きくなかった電極の組み合わせにおいては、累積分布関数においても差はみられなかった。

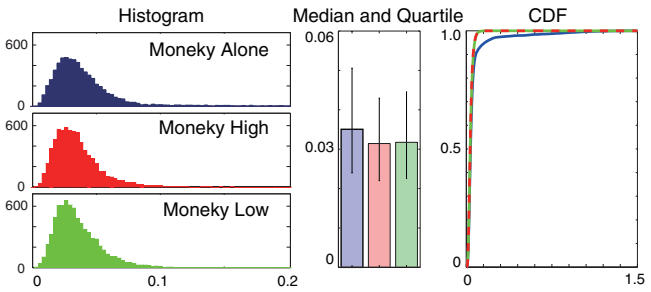


Fig. 5. GC distribution from Elec.6 to Elec.21

以上のように電極単位で社会的条件によって因果関係が変化するものとしないものがあることがわかったが、Fig.4 をみると因果関係に影響を受ける電極は近い空間ごとに似た傾向を示していると予想される。そこで因果関係のマトリクスを Fig.1 で示した領域ごとに平均化した。結果を.6 に示す。Alone 条件と High,Low 条件の間で “PFCd から FEF” と “PMd から FEF” の 2 つの因果関係が特に大きな差を示している。

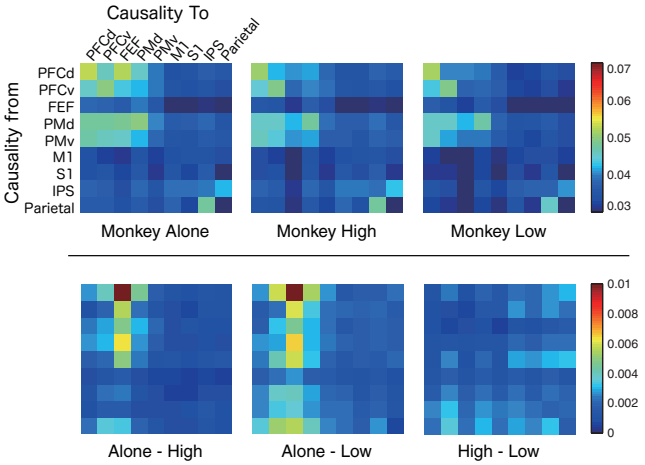


Fig. 6. GC matrix between region

最後にこのように因果関係がどのような時間変化を伴っているのかをみるために、各自国での GC の値を Fig.3 と同じ形式で図示した。ただし GC は次元が多く可視化が困難なため、特に変化の大きい PFCd から他領域への因果 (Fig.7) と他領域から FEF への因果 (Fig.8) のみ図示した。これをみると、やはり PFC から PM までの前頭皮質内での因果関係の値が大きく、社会的な条件によって変化するのは “PFCd から FEF” と “PMd から FEF” という特定の因果関係であることがわかる。またこの条件による因果関係の違いはある特定の瞬間に発生するのではなく delay 期間中は継続的に発生しており、delay 期間が終わりサルがリーチング運動を開始すると同時に差が消失していることがわかる。

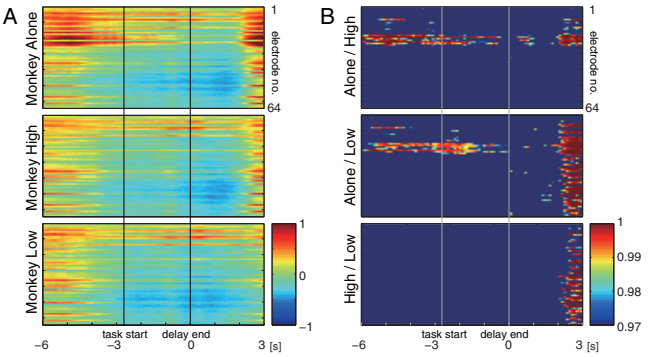


Fig. 7. GC time-series from PFCd

D. Causal Network

これまでに解析した電極間の因果関係に従って、脳内の因果的なネットワークを記述することができる。delay 期間での GC の値を用いてネットワーク構造を描いた図が Fig.9 である。社会的な条件に関わらず、PFCd、PFCv、PMd、PMv が相互に関係するような因果関係が存在しており、これに対し隣にヒトがいない Alone 条件でのみ PFCv,PMv と FEF の間で因果関係が発生している。また対照的に S1,M1 といった運動そのものに関係するような領域は delay 期間ではあまり多領域と関連を持っていないと考えられる。

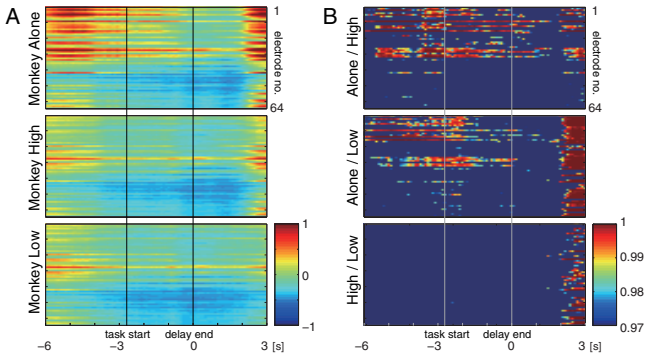


Fig. 8. GC time-series into FEF

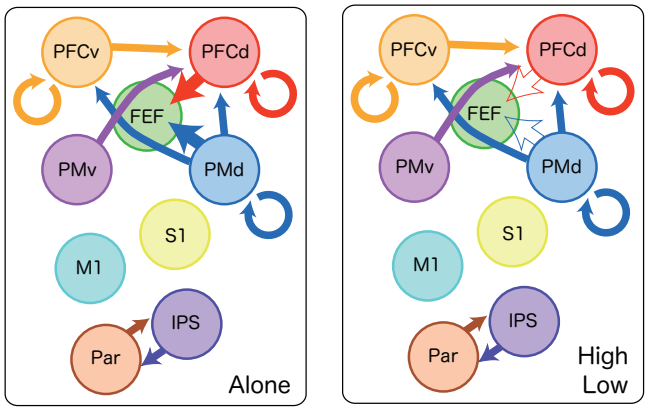


Fig. 9. Granger Causal network in delay period

IV. Conclusion and Future Works

A. Conclusion

本研究では、脳の単一部位の活動をみるのではなく複数の部位での活動の関係をみることで、これまでの方法ではみることのできなかった脳のネットワークとしての機能の差を解析することを試みた。その結果 ECoG においては、社会的な条件の差は各電極の神経活動ではなくそれらの関係を因果指標を用いて記述したものに対して発現することを確かめた。また、その因果関係の差は脳全体に発生するのではなく、ある特定の部位間の関係のみに影響することを発見した。

具体的には、“隣にヒトが存在するか” ということに対応して因果関係は変化するが、そのヒトとサルとの相対的な序列に関してはあまり変化を及ぼさなかった。これは delay 期間を経たあとのリーチング運動時には Monkey-High 条件と Monkey-Low 条件で行動そのものが異なることを考えると興味深い。すなわち隣の他者を気にするということ自体が、脳の機能的なネットワーク構造を変化させている可能性を示唆している。

またサル単独の場合に存在した因果関係が隣にヒトがいる場合に消失しているが、これは実際に各々の領域の活動がより独立になったという可能性以外に、今回計測していない皮質下の領域との関係がより強くなり相対的に皮質上の領域との関係が弱くなったとも考えられる。

B. Future Works

本研究は ECoG という他領域から同時に神経活動を計測する技術によって初めて可能になったものであるが、今後はより広い領域を覆うこと、あるいは針電極と組み合わせることでより深い領域の神経活動も同時に計測し、それらの関係を解析していくことが期待される。

また今回はヒトが隣にいるかどうかという条件に焦点をしぼって解析を行ったが、他者との間での相互作用がおこる社会的環境においては無数の条件パラメータが存在しており、またそれを統制することは容易ではない。そのような環境下で神経活動と強く関連するような条件を適切に抽出する手法も今後必要になっていくと考えられる。

References

[1] N. Fujii, S. Hihara, and A. Iriki, “Dynamic Social Adaptation of Motion-Related Neurons in Primate Parietal Cortex,” *PLoS ONE*, vol.2, no.4, e397, 2007.

[2] N. Fujii, S. Hihara, and A. Iriki, “Social cognition in premotor and parietal cortex,” *Social neuroscience*, vol.3, no.3-4, pp.250-260, 2008.

[3] C.W.J. Granger, “Investigating causal relathios by econometric models and cross-spectral methods,” *Econometrica*, vol.37, no.3, 1969, pp 424-438.

[4] Y. Zhang, Y. Chen, SL. Bressler and M. Ding, “Response preparation and inhibition: The role of the cortical sensorimotor beta rhythm,” *Neuroscience*, vol.156, no.1, pp 238-246, 2008.

D 班：移動知の共通原理

大阪大学　大須賀公一

1．はじめに

D 班では様々な生き物に見られる移動知の共通原理について考察する．これまでにD班では，「階層構造」，「多重フィードバック構造」，「多重最適化」，「予測構造」などの作業仮説を示してきた．これらを力学系の言葉で統一的に表現できれば移動知の共通原理の一つがみえてくると考えられる．本稿では，そのような指針に基づいた研究活動の結果表出した「移動知の原理の候補」を示す．それは「移動知の陰的制御と陽的制御による双対構造」である．

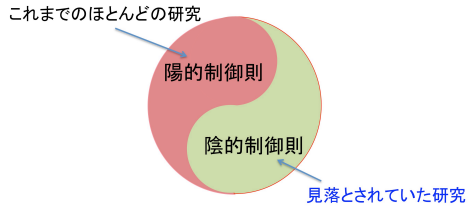


Fig.1 移動知の双対構造

2．D班の構造

D 班の研究グループを示し，Fig.2 にD班で考察してきた作業仮説とD班内の研究グループの関係を示す．

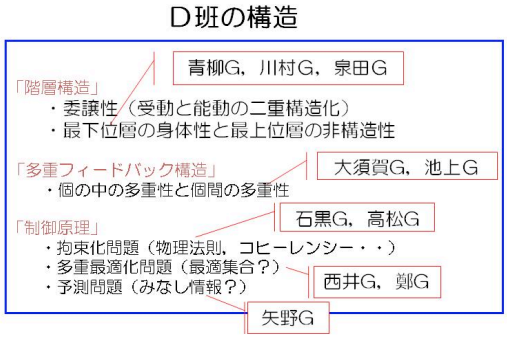


Fig.2 移動知構造と研究分担

D01-01 大脳皮質運動関連領野が創る「見なし情報」による随意運動制御）（研究代表者：矢野雅文・東北大学）

D01-02 移動知の力学的共通原理の発見と展開－人工物と生物の共通理解－（研究代表者：大須賀公一・大阪大学）

D01-03 単純な運動機能を有する結合振動子系から探る移動知発現の力学的共通原理（研究代表者：石黒章夫・東北大学）

D01-11 生命の自律性解明のためのロボットの自律運動生成実験とハエの探索行動実験（研究代表者：池上高志・東京大学）

D01-12 蝶の羽ばたき飛翔における環境創成による移動知発現のメカニズム（研究代表者：泉田啓・京都大学）

D01-13 動的素子のネットワークに於ける環境に対する適用メカニズムの研究）（研究代表者：青柳富誌生・京都大学）

D01-14 ばらつきを許容する生体の運動計画とその実現アルゴリズム（研究代表者：西井 淳・山口大学）

D01-15 真正粘菌変形体の環境依存の動的ネットワーク形成による適応行動と機能創発（研究代表者：高松敦子・早稲田大学）

D01-16 生体の運動習熟過程の計測とモデル化（研究代表者：川村貞夫・立命館大学）

3．共通原理仮説

本章では，D 班の研究内容を総合した結果生まれた移動知の共通原理の候補を紹介する．

まず，移動知の設計原理を理解するためには，生物の運動制御系の設計原理を解明する必要がある．そこで，生物を従来の制御工学的に表現しようとすると，いくつかの問題点にぶつかる．中でも，制御対象と制御則，場（環境の一部）を明確に分離できないという「不可分性」が本質的である．そのような考えから生物制御系を表現しようとすると Fig,3 のようになる．

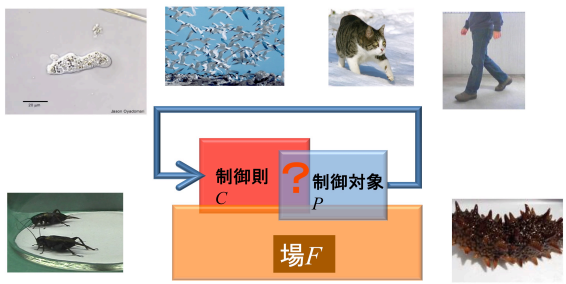


Fig.3 生物制御系のとらえ方

ここで生物を制御系として捉えたときこれまでのとらえ方と異なる点がいくつかあり，それを下に示す．

・ 制御対象と制御則と場の境目がはっきりしない．
・ 基本的に閉ループ系である．
・ 制御対象と制御則の境界は固定的ではない．
・ 自己言及的である（目標値を内部で発生できる）．
・内部エネルギー発生源をもっている．

このうち，第一番目の性質が最も重要であり，それが解決できるとそれ以外の項目も理解できるようになると考える．そこでのポイントは「如何に重なり部分を捉えるか」である．

このような議論をより深く進めるにあたって，議論展開が不明確にならないためには，制御対象や制御則などの用語を改めて定義しておかねばならない．そしてそのためには，定義の起点として，その対象物を注

目している「主体とその意図」の存在を仮定することからはじめよう．詳細な検討は省略するが，多くの人工物の場合，主体はその人工物の設計者や使用者になる．あるいは生物の場合，主体はその生物に興味がある解析者，あるいは自然界（あるいは遺伝的に発現する本能）であるとみなそうということである．また，考えるレベルによっては，ここで注目している運動制御系よりも上位に構成されている情報処理系（例えば脳など）が主体と考えた方がいい場合もある．

上のような準備のもとで，まず，すべてが含まれている空間全体を「環境 E」としよう．その中に，主体の「意図（あるいはそれによって生成された運動目的）T」が存在し，それに従って運動させたいと意図されている考察の対象が存在しているとする．このとき，その対象のことを「制御対象 P」と呼ぶ．すなわち

$$P=\mathcal{P}(T) \tag{1}$$

である．本稿では，制御対象は意図があってはじめて意味が生まれるものという立場をとっている．

そして，環境の一部分であって制御対象を含み，かつ，特にいま注目している意図に直接関連し，その意図の達成に効果的に働く集合が存在する場合，それを「場：F」と定義する．環境は主体とその意図とは無関係に存在しているが，場は意図 T や制御対象 P に依存して存在・不存在が定まることがあり，あるいは，物理的には存在していても意図に因って場としての意味が表出したり消失したりすると考えている．すなわち

$$F=\mathcal{F}(E,T,P) \tag{2}$$

である．上式における T や P の寄与度は場合によって異なる．またいうまでも無く，環境 E の変化に応じて場 F も変化する．

次に，意図 T，場 F，制御対象 P が存在する中で，制御対象を意図にそって運動させるのに有効に働く要素がある場合，それを「制御則 C」と呼ぼう．すなわち

$$C=\mathcal{C}(E,T,P) \tag{3}$$

である．最後に，場 F，制御対象 P，制御則 C をあわせた全体を「制御系 S」と呼ぶ．すなわち

$$S=\mathcal{S}(F,P,C) \tag{4}$$

である．

以上のような準備のもとで，要素間の重なりに対する一つの回答として，「制御対象，制御則，場の３要素に加えて，３要素の間に第４の要素を考える」ことを提案する．この第４の要素を「陰的制御則:C_I」と名付ける．そして従来からの意味の制御則を「陽的制御則：C_X」と呼ぶことにする．すなわち，制御則 C は陰的制御則と陽的制御則の合成で構成される．次式参照．

$$C = C_X \oplus C_I \tag{5}$$

ただし，演算 $A \oplus B$ は要素 A と B との間に共通要素がないとしたときの複合を意味するものとする．さらに，形式的に陰的制御則は次のように３つの部分制御則の合成で構成されると考える Fig.4 参照）．

$$C_I = C_F \oplus C_P \oplus C_{FP} \tag{6}$$

ただし，

C_{FP} ：場・制御対象と陽的制御則との相互作用の結果生まれる陰的部分制御則

C_P :制御対象と陽的制御則との相互作用の結果生まれる陰的部分制御則

C_F :場と陽的制御則との相互作用の結果生まれる陰的部分制御則

である．

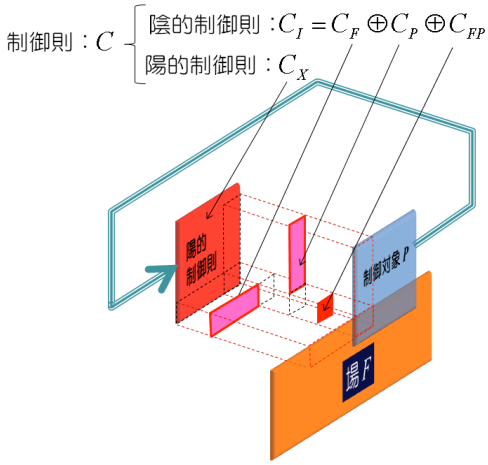


Fig.4　移動知制御系の内部構造仮説

陰的制御則 C_{FP} は次のような性質を持っていると考えられる．

- 意図 T，場 F と制御対象 P との相互作用をもつことで生まれた制御則である．
- 場 F と制御対象 P との相互作用がなくなると消える．
- 場 F あるいは意図 T がリアルタイムに変化すると，それと共にリアルタイムに変化する．
- 陰的制御則 C_{FP} は，無数に存在する場 F と制御対象 P との関係を集約して表現されたものである．

以上から，「移動知」を以下のように理解する．

[存在] 生物のリアルタイム環境適応機能（＝移動知）の必然性は陰的部分制御則 C_{FP} の存在性からきている．

[機能] 生物のリアルタイム環境適応機能（＝移動知）とは，環境 E の変化とともに時々刻々変化する場 F に応じて変化する陰的部分制御則 C_{FP} を有効活用すべく陽的制御則 C_X をリアルタイムに適応させる能力である．

[理解] 生物のリアルタイム環境適応機能（＝移動知）を理解するには，陽的制御則 C_X と陰的制御則 C_{FP} を併せた理解が必要である．その際，陰的制御則 C_{FP} は場を切り離しては議論できないため，生物を場から切り離してその個体の制御能力を解明しても，それは C_X のみの理解にとどまり，望んでいるリアルタイム環境適応能力（＝移動知）の理解には到達しない．

４．まとめ

本稿では移動知の共通原理をもとめて活動しているＤ班において明示化されてきた移動知機構の構造について述べた．現段階での結論の一つは，移動知は「陰的制御と陽的制御の双対構造を持っている」ということである．

大脳皮質運動関連領野が創る「見なし情報」による随意運動制御

東北大学電気通信研究所 矢野雅文

1 序論

環境に合わせて目的を設定・達成する行動が随意運動である．システムが仮設する「みなし情報」は随意運動制御に必要な最上位の拘束条件となり，それにより運動目的が設定される．運動目的を実現するために，各階層構造内で必要となる拘束条件は仮設された「みなし情報」に依存して決定される．これら拘束条件生成充足機構は大脳皮質運動領野を中心として小脳や基底核などを含む階層構造として実現されていると考えられる．さらに，環境及びシステムの状態の予測不可能的変化に対応するためには,「見なし情報」を環境との相互作用から時々刻々生成し，それをリアルタイムで充足する必要がある．これらの過程こそが，随意運動を実行するために運動制御系すなわち大脳皮質運動関連領野に求められる計算論的課題となる。我々は平成 17 年度から 21 年度において，二足歩行モデルの構築，腕到達運動制御機構のモデル化と予測不可能環境における腕到達運動に関する心理物理実験，冗長アクチュエータを有するアームロボットの構築，を行った．

2 筋緊張レベル制御系を備えた二足歩行モデル

歩行は地面と脚の力学的な接触が不連続に繰り返される運動であり，重力場内で行われるので，身体に加わる瞬間的な外力や荷物などの定常的負荷，路面状況による負荷の変化にリアルタイムに対応する必要がある．そのため，歩行系がリアルタイムに環境に適応するためには，歩くことにより自分自身の神経生理学的/ 身体力学的な特性，すなわち筋緊張レベルを変化させる機構が必要不可欠である．しかしながら適切な身体特性は実際に「歩く」ことでしかわからない．我々は二足歩行モデルを構築し，環境と身体との力学的相互作用項である床反力情報を用いて筋緊張レベルを適切に設定し続けることで，歩行運動におけるロバストな環境適応能力が得られること明らかにした．

モデルの制御系は位相調節と筋緊張調節の 2 つの制御パスを持ち，身体系は片脚 5 筋, 腰部 4 筋の計 14 筋，体重 60kg とした (Fig.1)．歩行は重力場で行われるので，身体に加わる瞬間的な外力や荷物などの定常的負荷，路面状況による負荷の変化にリアルタイムで対応することが必要になる．環境/状況変化に即した身体剛性の調節を働かせた結果，定常歩行中の不意の外乱 (60kg の負荷) に対しても適切に応答し歩行を維持し続けることが分かった (Fig.2)．また提案モデルが臨床現場で観察されている様々な運動失調の理論的解析に有用であることを示した．

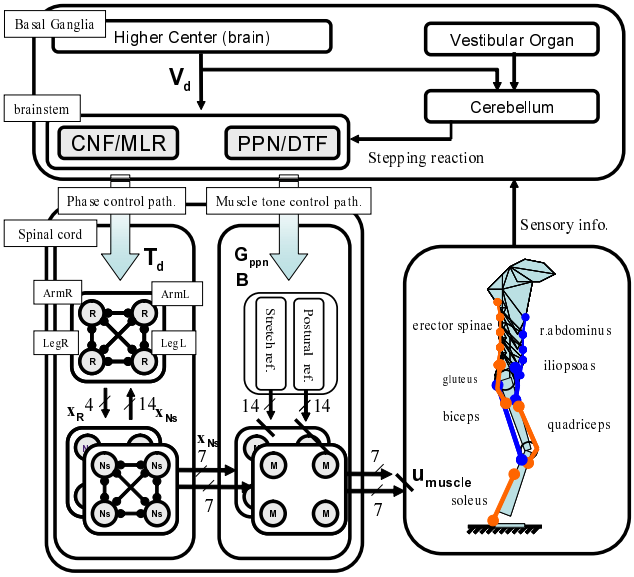


Fig. 1 Bipedal walking model.

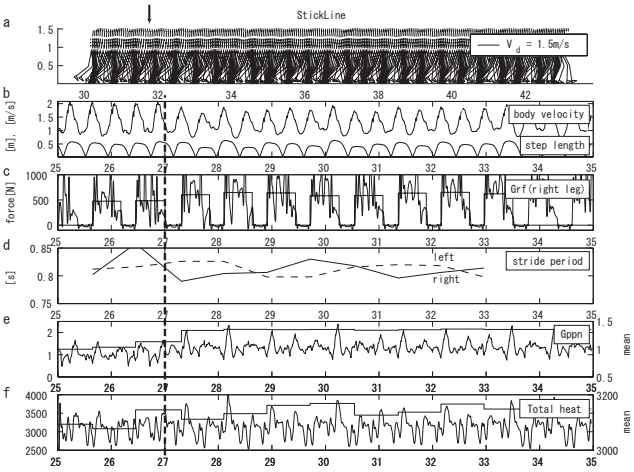


Fig. 2 Simulation result. 20kg weight is added to the waist during a walk.

3 腕到達運動制御機構モデル

腕到達運動制御の計算論的課題を明確にする上で，Fig.3 に示す運動インピーダンスマップは有用である．列にあたる要素はそれぞれ “力” と “運動” の次元を表し，行はそれぞれ手先空間，関節空間，筋空間という身体配置空間を表す．列間のあるいは配置空間同士の変換には，それぞれ行列が必要となる．腕到達運動制御の計算論的課題は手先空間から筋空間への変換に必要な行列を定めることである．しかしながら，生命システムの身体は冗長で不良設定性が存在するため，制御系には行列を決定するための拘束条件が必要となる．予測不可能的変化に対応するためには，拘束条件自体が適応性を有す

る必要がある．我々は，腕到達運動に必要な変換行列をリアルタイムかつ自律分散的に決定することで拘束条件自体に適応性を導入する制御手法として以下の 2 つを提案した．

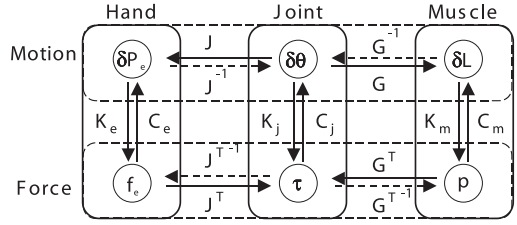


Fig. 3 An impedance map of the body for reaching movement.

3.1 運動学的情報に基づく自律分散的モデル

平面内を運動する 3 関節 3 リンク系冗長腕を考え (Fig. 4)，運動実行中に運動学的情報がリアルタイムで得られるとする．上位拘束としての目標手先ベクトルをリアルタイムのセンサ情報から生成する．

$$\boldsymbol{v}_d = G_t(\boldsymbol{x}_d - \boldsymbol{x}), \tag{1}$$

ただし，$\boldsymbol{x}_d, G_t, \boldsymbol{x}$ はそれぞれ，目標手先位置，時間ゲイン，現在手先位置である．$\boldsymbol{v}_d$ を動き易い関節に分配するために，関節に対する速度指令 $\tilde{\boldsymbol{v}_{di}}$ を，次の自律分散的なネットワークに基づき決定した:

$$\tilde{\boldsymbol{v}_{di}} = \Pi_{j\neq i}^{m}(1-k_j)\boldsymbol{v}_{di}^{l} + \Sigma_{j\neq i}^{m} k_j \boldsymbol{v}_{di}^{cj}, \tag{2}$$

ここで，$\boldsymbol{v}_{di}^{l}$ は，$\boldsymbol{v}_d$ に対して寄与できる最大のベクトル (局所ベクトル, Fig.4 A)，$\boldsymbol{v}_{dj}^{ci}$ は，関節 i から関節 j に要請される指令 (カップリング速度, Fig.4 B) である．k_i はセンサ情報により更新される動き易さの指標であり，動き易い時に 1，動きにくいときに 0 に近づく:

$$k_i = \exp[-4\ln 2(\|\boldsymbol{v}_{di}^{l} - \boldsymbol{v}_i\|^2 + \ _1)/(\|\boldsymbol{v}_{di}^{l}\|^2 + \ _2)], \tag{3}$$

速度指令は式 (4)(5) によりトルク指令へ変換される．

$$\dot{\ }_{di} = \tilde{\boldsymbol{v}_{di}} \ \ \boldsymbol{e}_{xi}/\|\boldsymbol{a}_i\|, \tag{4}$$

$$_{di} = G_i(\dot{\ }_{di} - \dot{\ }_i). \tag{5}$$

モデルは，予測不可能的に変化する環境においても運動目的を達成することができ，関節粘性の変化，ターゲット位置の変化，特異姿勢からの運動においても柔軟に対応し，5 自由度系への拡張も容易であった (Fig. 5)．

自律分散的に表現された個々の制御器 (4) および (5) は次のような行列表現にまとめることができる：

$$\dot{\boldsymbol{\theta}}_d = \left[\boldsymbol{K}_l\boldsymbol{D}^{-1}\boldsymbol{J}^T + \boldsymbol{D}^{-1}{\boldsymbol{J}_\perp}^T\boldsymbol{J}\boldsymbol{D}^{-1}\boldsymbol{K}_c{\boldsymbol{J}_\perp}^T\right]\boldsymbol{v}_d, \tag{6}$$

$$\boldsymbol{\tau}_d = \tilde{\boldsymbol{J}}(\boldsymbol{\theta},\dot{\boldsymbol{\theta}})^T G_t(\boldsymbol{x}_d - \boldsymbol{x}) - \boldsymbol{G}\dot{\boldsymbol{\theta}}. \tag{7}$$

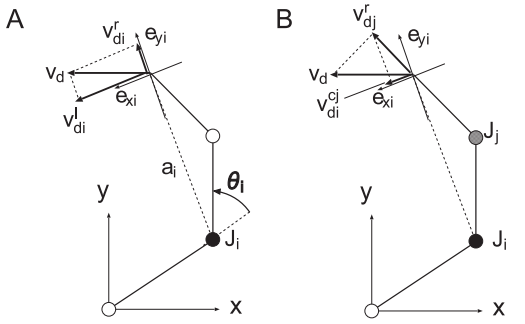


Fig. 4 Three-joint arm model. A: Definition of local vector for joint i and its residual vector. B: Definition of coupling term relating joint j and joint i.

また，式 (8) を可変ヤコビアンとよぶ：

$$\tilde{\boldsymbol{J}}(\boldsymbol{\theta},\dot{\boldsymbol{\theta}}) \equiv \left[\boldsymbol{G}\boldsymbol{K}_l\boldsymbol{D}^{-1}\boldsymbol{J}^T + \boldsymbol{G}\boldsymbol{D}^{-1}{\boldsymbol{J}_\perp}^T\boldsymbol{J}\boldsymbol{D}^{-1}\boldsymbol{K}_c{\boldsymbol{J}_\perp}^T\right]^T. \tag{8}$$

可変ヤコビアンは，動き易さの指標 k_i の関数であり，運動中にその性質は状況に応じて適切に変化する．すなわち，本制御器は，腕到達運動における不良設定問題を解消するために必要となる変換行列をセンサ情報に基づき実時間で生成する．このような自律分散的な不良設定問題の解消方法は，予測不可能な環境変化に適応する有効な手段ととらえることができる．

3.2 動力学情報に基づく姿勢制御モデル

身体に加わり姿勢を変化させる力やトルクは，筋自体が出力する “能動的成分” と運動や外力によって生じる “受動的成分” に分けられる．ここでは能動的成分を筋トルク，受動的成分を相互作用トルクとする．相互作用トルクは，関節を介して授受される慣性力，反作用力，反作用トルクより定義される．

生物の筋肉や関節には様々な特性を持つ機械受容器が備わっており，身体各部位に加わる力情報を検知することができる．そこで本モデルでは，能動的成分である筋トルクと，受動的成分である相互作用トルクを機械受容器でリアルタイムに検知できるとした．

受動的成分を直接制御することは不可能だが，身体姿勢が変化すればその成分も相対的に変化する．受動的成分が能動的成分をサポートできる方向に各リンクの姿勢を変化させれば，身体姿勢は局所的なエネルギー効率最適解にむかう．個々の関節に配置された制御器は筋トルクと相互作用トルクとを比較，筋肉が楽できる姿勢変化方向を決定し，目標姿勢変化トルクを生成する．目標姿勢変化トルクは動力学的情報に基づく姿勢制御指令として働く．

上記アルゴリズムを自律分散的に実装したモデルに対して手先負荷を加えると姿勢が変化した (Fig.6)．最終到達姿勢は解析的に得られたトルク二乗和最小姿勢と一致

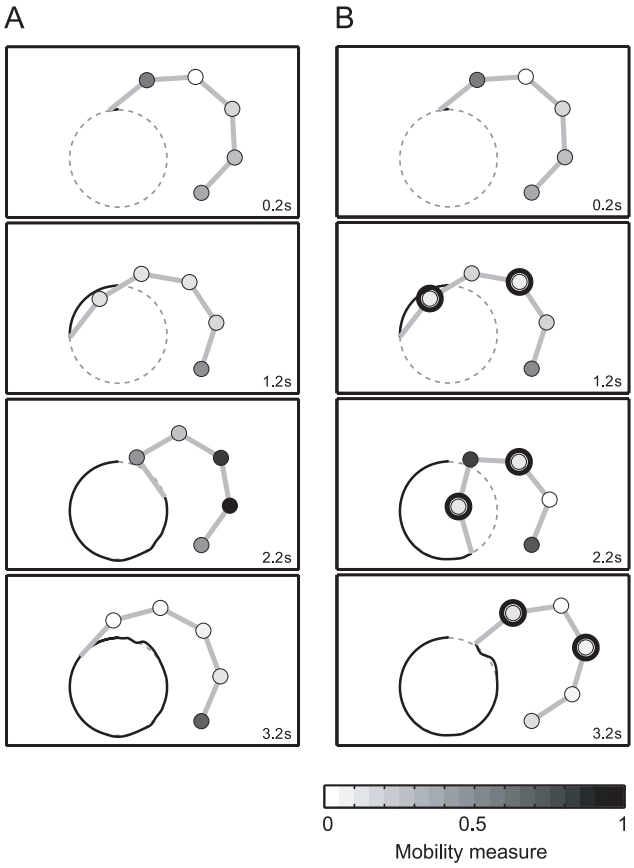


Fig. 5 Rotating movements by 5 dof arm. A: Normal condition. B: Perturbed condition, in which the viscosity of the two joints 3 and 5 were abruptly increased from 0.4 to 10 kg m^2/s during motion(shown by tick circles). Joint color shows which joint is instantaneously mobile. Black: mobile joint($k_i = 1$). White: immobile joint($k_i = 0$).

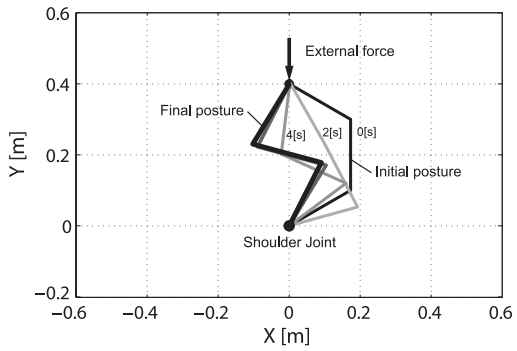


Fig. 6 Simulation result of the posture controller. External force (10N) was added to the hand. As a result, model was able to change own posture to the analytically optimal posture. The stick figure was traced every 1.0 second.

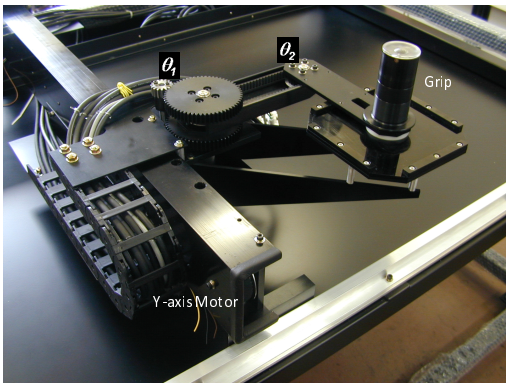


Fig. 7 Slider mechanism of the Manipulandum.

した．この結果は，Fig.3 のインピーダンスマップにおける “ 力” の次元，すなわち動力学的情報のパスを利用して運動姿勢を最適化したことを示す．このような制御を用いれば，上位中枢が決定した運動目的（拘束条件）を下位神経系が外部負荷に応じて再設定することができ，それにより随意運動をより環境適応的に実行することが可能となる．

4　予測不可能環境における行動発現

我々は，新規環境に対する運動の適応過程解明を目的とし，到達運動中に様々な視覚的・力学的擾乱を加えた際の運動軌跡を計測するマニピュランダムを開発した (Fig.7)．機構的特徴は，位置追従制御と手先への負荷制御とが機構的に分離独立していることである．位置追従制御に伴い被験者が感じるフリクションは数 N 程度であり，被験者は手先追従時に余分な力を入れることなく運動することが可能である．また，手先位置をリアルタイムに測定し PC-プロジェクターシステムにより手先情報を与えることで，視覚座標－身体座標の関係を任意に設定できる．これにより座標変換に関する認知・学習の影響を低減し，日常生活に近い自然な状態で運動を計測することが可能となった．

予測不可能的に環境が変化する場合の適応過程を検討する心理物理実験として，目標到達運動において，試行ごとに異なる回転座標変換を視覚的手先位置に加えたときの運動の計測を行った．結果の典型例を Fig.8 に示す．被験者は，実際に動くことで始めて視覚回転変換情報を取得し，その情報に基づいて運動を修正しゴールへ到達する．1 試行内で実行されるこの過程は，予測不可能な環境への対応を繰り返すことで，よりすばやく実行できるようになることを確認した．また，タスクにおける予測不可能性の程度が，この適応過程に影響することも見出した．

5　アームロボットの構築

我々が提案してきた随意運動制御則は，身体の関節・筋の冗長性及び豊富な感覚器からの情報という生物としての特徴を最大限に生かすことで，リアルタイム環境適応的運動を生成するものとなっている．提案制御則の実世界における有効性を検証するため，冗長な制御自由度を有し様々な感覚器を備えた水平面内 2 関節 6 筋の冗長アームロボットの設計・開発を行った (Fig. 9)．冗長筋による関節駆動のもっとも大きな特徴は，姿勢維持のために拮抗筋同士の共収縮によって関節インピーダンスを

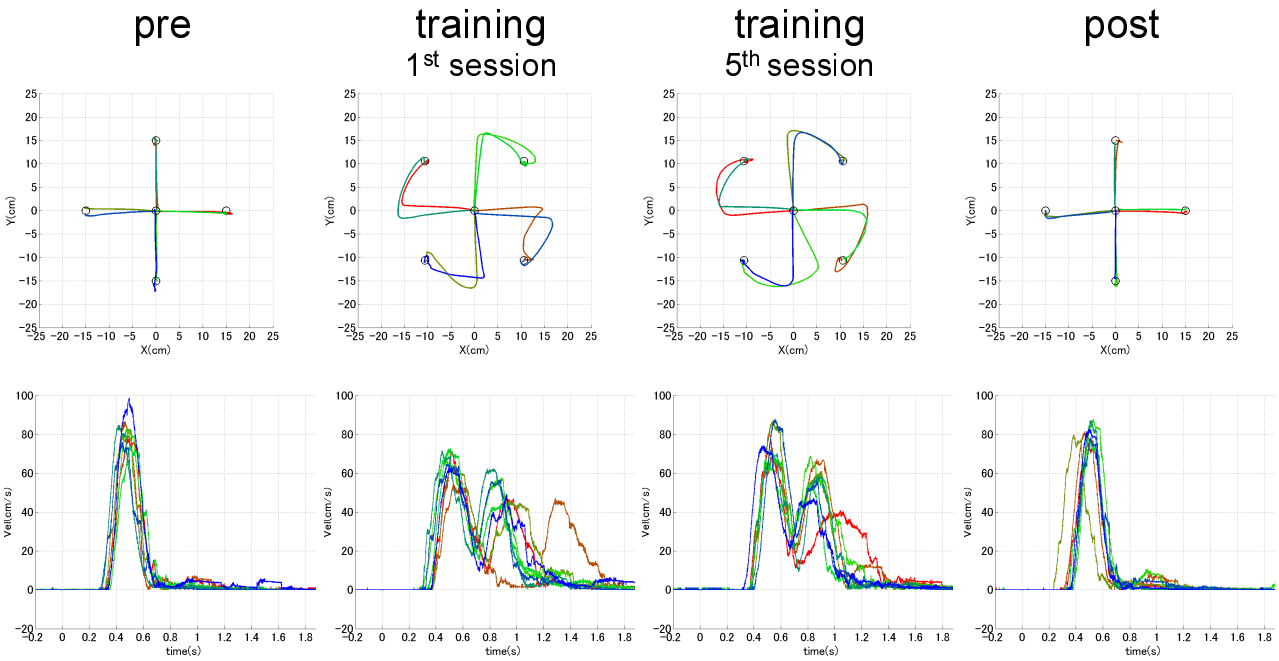


Fig. 8 Typical reaching movements during the visual rotation task. The visual rotation angle (VRA) is 0 degree in pre- and post-sessions, and one of 0, $\pm 45, \pm 90, \pm 135$, or 180 degree during training sessions. In this figure, panels of the training sessions only show the results when $VRA = 45$ degree. Top, trajectory of the hand-end; Bottom, velocity profile of the hand-end.

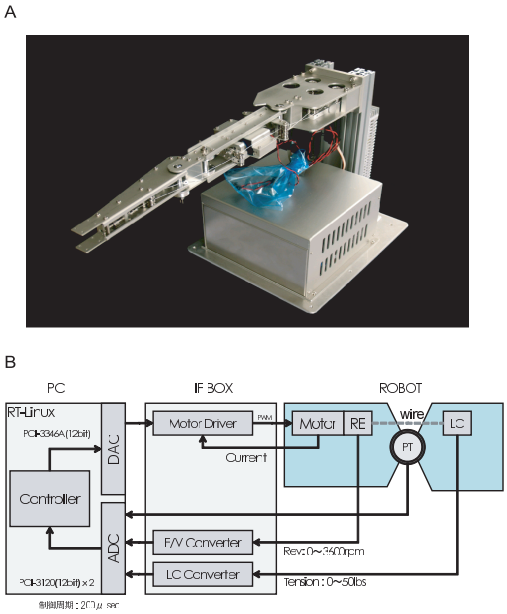


Fig. 9 The robot system with 2-joints-6-muscles. A:Overview. B: Block diagram of the control system.

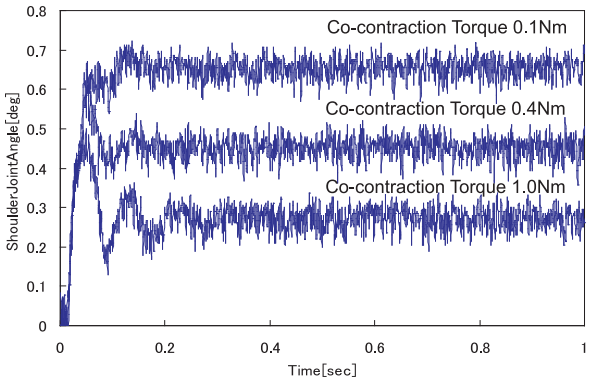


Fig. 10 Modulation of joint impedance due to co-contraction.

制御できることである．そこで開発したロボットシステムの動作試験として，共収縮によって関節のインピーダンスを制御できるかを評価した．Fig.10 は共収縮拮抗トルクを 3 段階に設定し，外乱を与えたときの関節角度の時間遷移を表したものである．共収縮拮抗トルクの大きさによって，収束する関節角度が変わることが分かる．これらの結果から共収縮によって関節インピーダンスを調節することが可能であることが分かった．

6 結論

本研究では，歩行及び腕到達運動において，環境や身体の情報に基づいた拘束条件のリアルタイムな生成・充足機構が，運動制御システムが予測不可能的に変化する環境で機能するために必要不可欠であることを明らかにした．本研究において提案した制御手法は，実世界で柔軟に機能するシステムの原理的機構となりうる．

D01-02 班: 移動知の力学的共通原理の発見と展開

大須賀公一（大阪大学），鄭心知（京都高度技術研究所），
大金邦成（九州大学），足立二郎（北海道大学）

I. はじめに

D 班は移動知の共通原理を探求することをその目的としており，これまでに様々な移動知の構造仮説を考案してきた．その結果，一つの仮説として陰的制御と陽的制御の双対構造という考えを生み出すに至った．

本報告では，陰的制御の一般的考察を行うための第一段階として，いくつかの特解を示す．特解の存在によって一般解の存在を仮説しようという立場である．

具体的には，非常にシンプルであるが多くの重要な示唆を含んでいると考えられる例として「マニピュレータの姿勢制御問題」の中に見られる陰的制御を取り上げる．その他には歩行や走行問題にみられる陰的制御なども特解として見つけられているが，誌面の都合からそれらは参考文献の紹介にとどめておく．

II. 陰的制御則

本章では，生物制御独特の問題である「不可分問題」（本報告書 D 班の総括参照）への一つの攻略法として埋め込み問題を定義し，その一つの解として陰的制御則を考える．

A. 重なりの捉え方

生物制御における不可分問題には様々な様相があり，制御対象，制御則，場の三者がほぼ分離できていると見なせる場合から，実質的に融合して事実上分離は不可能にみえる場合までと広いスペクトルを有していると考えられる．本章では，このように定性的な状況を定量化する工夫について考察する．ポイントは「重なっている」という定性的な感覚をどう捉えるかである．

例えば，前章の除脳猫をはじめとして，生物の運動にはしばしば脳神経系の寄与が小さいと考えられるものがみられる．その最も極端な例として捉えられる受動的ロコモーションや，R.Pfeifer らが提案している Morphological computing などの研究結果 [1] をなどを外挿すると，制御系からいわゆる制御則を取り除いてもまだ何らかの意味の制御則が残っているのではないか，という類推が得られる．

我々は，前章でみたいくつかの事例を考察し発展させた結果，この「３要素間の重なり」をそれらの間に「制御則的な働きを果たす何らかの第４の要素が挟み込まれている」と捉えることで形式的に分離することが一つの有効な考え方であろうという推察を得るに至った．すなわち，不可分問題を考察するための一つの考え方として，Fig.1 のように見なすことを提案する．

そして，もし何らかの制御則が埋め込まれていると見なせるならば，その部分の制御則を次のように定義しよう．

定義 *1:* **陰的制御則と陽的制御則：**意図 T，制御則 C と制御対象 P あるいは場 F との相互作用の結果，制御対象や場にある種の制御則が存在するとみなされるとき，その制御則を「陰的制御則 C_I (Implicit Control Law)」と呼び，制御則から陰的制御則を除いたものを「陽的制御則 C_X(Explicit Control Law)」と呼ぶ．すなわち，制御則 C (Control Law) は陰的制御則 と陽的制御則 の合成で構成される．次式参照．

$$C = C_X \bigoplus C_I \tag{1}$$

演算 $A \bigoplus B$ は要素 A と B との間に共通要素がないとしたときの複合を意味するものとする．

さらに，形式的に陰的制御則は次のように３つの部分制御則の合成で構成されると考える（Fig.1 参照）．

$$C_I = C_{FP} \bigoplus C_P \bigoplus C_F \tag{2}$$

ただし，

C_{FP} ：場・制御対象と陽的制御則との相互作用の結果生まれる陰的部分制御則
C_P ：制御対象と陽的制御則との相互作用の結果生まれる陰的部分制御則
C_F ：場と陽的制御則との相互作用の結果生まれる陰的部分制御則

である． □

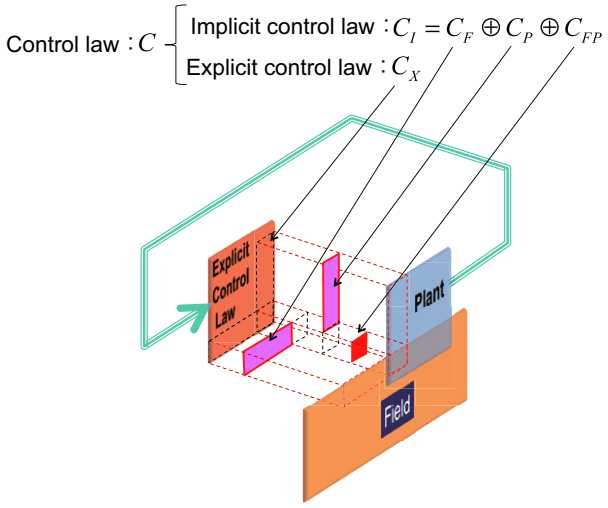


Fig. 1. Structure of implicit control law

除脳ネコや粘菌，アメーバなどをみると，陽的制御則がなくても（あるいは効果が小さくなっても）ある種の運動が実現できているようにみえる．また，生物から脳神経系を完全に除去した（すなわち，完全に陽的制御則がない）ものとみなせる受動的動歩行に関する様々な結果をみると，陰的制御則は確かに存在しているように思える．一方で，

大阪大学大学院工学研究科機械工学専攻，大阪府吹田市山田丘２－１，
osuka@mech.eng.osaka-u.ac.jp

これらの運動は単なる非線形力学的現象であり，それ以上でもそれ以下でもないという捉え方も成立する．確かにそういう側面をあるが，筆者らの目標は単に生物運動の説明ではなく，上で定義した陽的制御則の設計原理を理解したいということである．そのためには，眼前の挙動を単なる力学現象としてひとまとめにして理解するよりも，その中に陰的制御則を見いだして陽的制御則はそれを活用すると考えたほうが生物制御の理解へとつながるだろうと考えている．

B. 陰的制御則の特解

これまでの議論から，生物制御を考える際のターゲットが絞られ，その第一歩として陰的制御則を導入してきたので，本節ではこの陰的制御則について考察する．

陰的制御則を一般的に求めることはまだできていないが，ある特殊な場合の陰的制御則を例示することはできる．いわば,「特解」なら示せるということである．現段階では，何等かの特解を示すことで，それを含む「一般解」も存在するに違いないという推測（期待）を持っているということである．

特解を求める方法の一つとして考えられるのは，考察の対象に分解や解剖学的操作などを施すことなく，何らかの場における有意味な運動を実施することでフィードバックループが消え（フォードフォワードになり），陽的制御則が見えなくなる（制御入力が 0 になる）状況を作りだすことである．逆に，そのような状況を生む意味のある運動が見つかれば具体的な陰的制御則が見つかるということである．そのための運動が満たすべき条件は次のようなものである．

定義 *2:* **運動条件**：次の 2 つの条件を満たす運動を開ループ非干渉化運動と呼ぶ．

条件 1 その運動が意味のある運動であること（現実的な状況での運動）．

条件 2 その運動自体が安定であること（すなわち入力を 0 で実現可能）． □

本節では上の運動条件を満たすある種の運動を考え，陰的制御則の具体例を示す．これまでに受動的ロコモーション関係にいくつかの特解が存在することをみてきたが [2]，ここでは最もシンプルな特解を示すことで移動知との関連を考察する [3]．いま Fig.2 左上のように，重力加速度 g による下向きに作用する力が存在する環境下におかれた腕（以下一端拘束された n 自由度マニピュレータとする）の姿勢制御問題を考える．ただし，簡単のため関節はすべて回転関節で紙面に垂直方向に回転軸があり，関節にはクーロン摩擦項はなく，すべての関節にトルクを加えることができるものとする．また自由空間の運動を考える．

この問題の範囲で上の条件を満たす運動として，Fig.2 右上のように「意図 T：鉛直下向きに姿勢を制御する」ことが考えられる．実際，鉛直下向きの姿勢制御は現実的な姿勢制御問題であり，しかも直観的に鉛直下向きは重力によって安定になるため，先にあげた運動条件を満たしている．以下，これを確認して本ケースにおける陰的制御則を明示する．すなわち埋め込み問題を解く．

まず，本マニピュレータの運動方程式を書くと

$$J(\ )\ddot{\ } + c(\ ,\ \dot{\ }) + B\dot{\ } + h(\ ,g) = u \qquad (3)$$

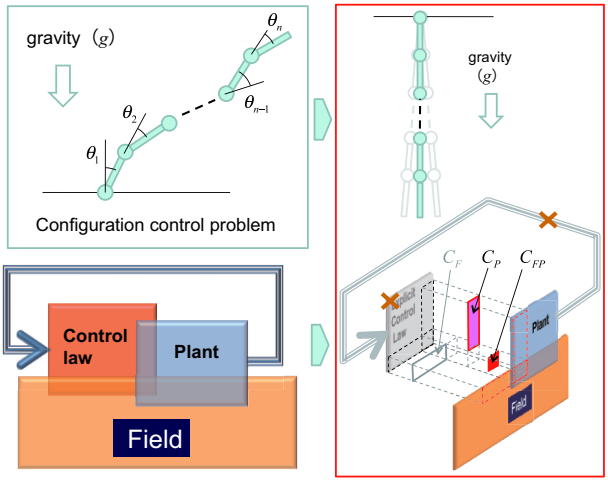


Fig. 2. From closed loop system to open loop system

となる．ここで，$\ = [\ _1,\ _2,\ \ ,\ _n]^T$ は関節角度ベクトルで Fig.2 右上のような鉛直下向きになったところを $\ = 0$ とする．また，u は n 次元入力トルクベクトル，$J(\ )$ は慣性行列，$c(\ ,\ \dot{\ })$ は遠心力・コリオリ力，$B\dot{\ }$ は粘性摩擦力項，$B = diag\,[B_1, B_2,\ \ ,B_n]$ は各関節に存在する粘性摩擦係数．$h(\ ,g)$ は重力項であり，$h(\ ,0) = h(0,g) = h(0,0) = 0$ を満たしている．

このとき，次の結果が得られる．

結果 *1:* マニピュレータの姿勢制御問題 T における陰的部分制御則 C_P，C_{FP} は

$$C_P \ : \ u_P = -B\dot{\ } \qquad (4)$$

$$C_{FP} \ : \ u_{FP} = -h(\ ,g) \qquad (5)$$

である．また，この場合の場 F は重力場である．Fig.3 参照．

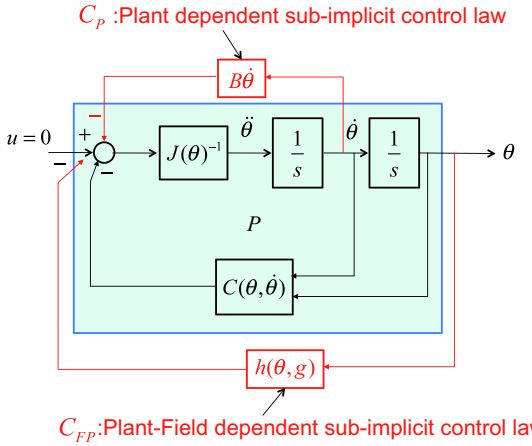


Fig. 3. Two implicit control laws

証明）マニピュレータ (3) において，目標姿勢を $\ _d = [0, 0,\ \ ,0]^T = 0$ とすれば，$u = 0$ のとき $lim_{t\to\infty}\ (t) = \ _d$ となる．この事実に対する証明から（例えば [4] 参照），u_P は状態の漸近安定性を生み出しており，u_{FP} は，マニピュレータの姿勢を目標姿勢に制御している．またこの場合には $u = 0$ なので陽的制御則は無い（したがって C_F はない）．さらに，$u_P = -B\dot{\ }$ は重力加速度 g の変化に対

しては普遍であり，$u_{FP} = -h(\ ,g)$ は重力加速度 g，マニピュレータの物理パラメータによっても変化する．そして，u_P と u_{FP} は意図 T に沿った効果を発生しており，したがってこの場合の重力場は場 F となっている．以上の考察と，C_P と C_{FP} の定義より，(4) 式は制御対象依存の陰的部分制御則 に，(5) 式は場・制御対象依存の陰的部分制御則 になっているとわかる．いずれも，いま考えている意図 T に有効に働くので陰的制御則とみなしている点に注意されたい．この事は逆に言うと，意図 T に応じては同じ要素でも制御則にも外乱にもなり得ることを意味している．また場 F についても同様で，ここで考えた意図 T の場合には重力場が場 F になっている，ということである． □

上の例では，3つの陰的部分制御則のうち，C_P と C_{FP} を例示したが，C_F については触れなかった．この陰的部分制御則は陽的制御則 C_X と場 F との間に生まれるとしている．したがって，この陰的部分制御則を有する個体には必然的に陽的制御則の存在が要求される．すなわち，素朴な意味で高度な運動制御能力を有していると考えるべきであろう．また具体的には，場とのやり取りを力学的相互作用で行うのではなく，情報的相互作用で行っていると考えなくてはならないかもしれない．これについてはまだ十分な考察ができていないが，矢野らのみなし情報 [5] の生成に深く関連しているように思われる．今後の課題である．

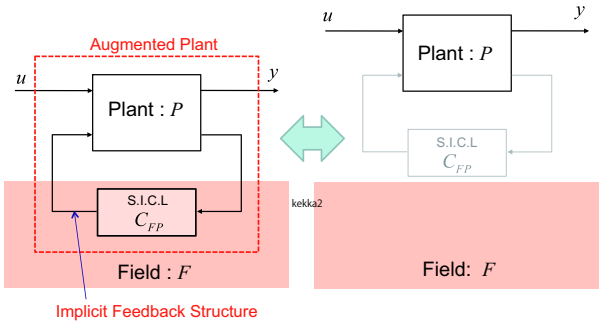
III. 陰的制御則と移動知

前章で，生物制御系における不可分問題に対する一つの解として陰的制御則を導入したが，実はこの陰的制御則は，生物が持っているリアルタイム環境適応機能（すなわち移動知）の発現に対する重要な鍵になっていると考えられる．本章では3つの陰的部分制御則の内，最も環境適応機能に関係が深いと考えられる C_{FP} について，環境適応機能という観点から，詳細に検討する．

これまで直感的に，「陰的部分制御則 C_{FP} は場 F と制御対象 P との相互作用によって生まれるものである」と表現をしてきたが，実際，先のマニピュレータの姿勢制御問題（意図 T）においては，マニピュレータが場 F（重力場）におかれることで陰的部分制御則 C_{FP} は生まれており，重力加速度が 0 になる，すなわち場を取り除くと C_{FP} は消失する．さらに意図 T が変わると，それまで場であったものが場では無くなり別の場が表出することもある．まとめると次のようになる．Fig.4 参照.

> 陰的部分制御則 C_{FP} は，意図 T，場 F と制御対象 P との相互作用をもつことで生まれた陰的制御則であり，場 F と制御対象 P の間にフィードバック構造が生まれたことによって得られる．このようにして生まれるフィードバック構造を「陰的フィードバック構造（Implicit Feedback Structure）」と呼ぶ．
> 陰的部分制御則 C_{FP} は，場 F と制御対象 P との相互作用がなくなると消失する．
> 陰的部分制御則 C_{FP} は，制御対象 P が不変であっても場 F あるいは意図 T がリアルタイムに変化すると，それと共にリアルタイムに変化する．
> 陰的部分制御則 C_{FP} は，無数に存在する場 F と制御対象 P との関係を集約して表現されたものである．

これまでの考察を総合すると，生物が持っているリアルタイム環境適応機能に対する次のような筆者らの解釈が得られる．



(a) If Plant and Field are interacted, then Implicit Feedback Structure is constructed.

(b) If Plant and Field are decoupled, then, Implicit Feedback Structure is disappeared.

Fig. 4. Appearance and disappearance of C_{FP}

まず，何らかの意図 T を持った（あるいは与えられた）生物を想定する．このとき，この生物を取り巻く環境 E は様々な要因で変化する（環境そのものの変化もあれば生物が移動することによって生物から見た環境が変化することもある）．それに対して生物は，その変化に対応して自分自身全体が意図 T に沿うように，制御系内に何等かの調整機構を内蔵させていると考えられる．もしそうであるなら，その調整が可能なのは設計の自由度が許されている陽的制御則 C_X であるという考察が導かれる．なぜなら，陰的制御則 C_I は場 F や制御対象 P などに依存した拘束がかけられているので直接的な設計はやりにくいと考えるからである（ただし，意図 T によって間接的に設計可能な場合もある）．

次に，環境 E，意図 T，制御対象 P が存在し，それらの相互作用によって場 F と陰的制御則 C_I が表出され，その設定において何らかの陽的制御則 C_X が構成されており，全体としてある秩序状態になっている状況から考えよう．そのとき，環境に変化があった場合，その変化がどのように波及してゆくかを考察してみる（意図 T は変化しないとしておく）．環境の変化は，場 F の変化を生み，それと連動して陰的部分制御則 C_{FP} の変化を誘導させる．生物の目標が常に自分自身を意図 T に沿うように行動させることだとすると，環境の変化は，当初設定されていた陽的制御 C_X の不整合性を生む．すなわち，意図 T に沿わない行動になってしまうことを意味する．そのため，意図 T に沿うためには，生物の陽的制御則 C_X は陰的部分制御則 C_{FP} の変化にリアルタイムに適応的に対処できる能力を兼ね備えておく必然性が生まれる．この対処は「繰り返し学習」では対応できない．なぜなら場 F の変化がリアルタイムになっており，同じ場 F が続かないからである．

その調整は，環境の変化を反映している陰的制御則 C_{FP} を併せた制御則 C が制御系全体を力学的に合理的になるようになされると推察される．以上から次の結論を明示しておく．

結論 *1:* **移動知：**生物が持っているリアルタイム環境適応能力（＝移動知）を以下のように理解する．

存在　生物のリアルタイム環境適応機能創出（＝移動知）の必然性は陰的部分制御則 C_{FP} の存在性からきている．

機能　生物のリアルタイム環境適応機能（＝移動知）と

は，環境 E の変化とともに時々刻々変化する場 F に応じて変化する陰的部分制御則 C_{FP} を有効活用すべく陽的制御則 C_X をリアルタイムに適応させる能力である．Fig.5 参照．

理解　生物のリアルタイム環境適応機能（＝移動知）を理解するには，陽的制御則 C_X と陰的制御則 C_I を併せた理解が必要である．その際，陰的制御則 C_I は場を切り離しては議論できないため，生物を場から切り離してその個体の制御能力を解明しても，それは C_X のみの理解にとどまり，望んでいるリアルタイム環境適応能力（＝移動知）の理解には到達しない．□

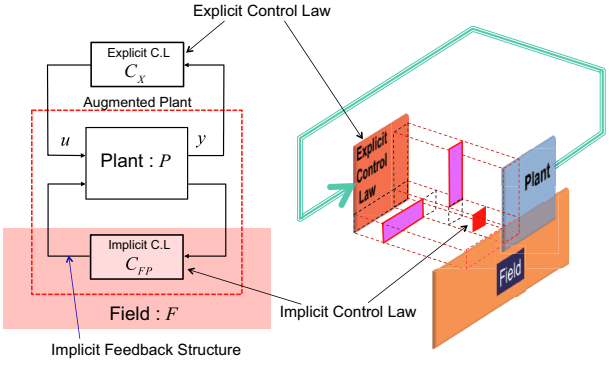


Fig. 5.　Explicit Control Law and Implicit Control Law

生物のリアルタイム環境適応機能（＝移動知）を理解するには陰的制御則と陽的制御則の両方の理解が必要であることを論理的に導いてきたが，その意味では，従来からのこの分野における研究は陽的制御則の探求に集中していたと言える．今後の課題は,「陰的制御則の実態を見極め，それに整合した陽的制御則がどのように設計されているかを再探求する」である．

IV. おわりに

様々な動くものをみていると，なぜこんなに簡単な制御則しか内蔵されていないのに，このように合目的な作業が実現できるのだろうか，と疑問に思うことがある．この感覚は生物でも人工物でも味わうことがある．特に微小脳しか持っていない昆虫の動きなどをみるとしばしばそのように感じる．このようなとき，筆者らは，制御対象と場の相互作用によって陰的制御則が生まれており，それが陽的制御則を補完しているに違いないと考えている．ロボットに対してリアルタイム環境適応機能を期待する場合，まさに同じような問題に直面すると言えよう．いくら陽的制御則の能力を高めても昆虫のような環境適応能力が見えてこない理由の一つに陰的制御則を考慮してこなかったことがあるのではないだろうか．

移動知（あるいはロボットの知能）を考える際には陽的制御と陰的制御の両方をあわせて取り扱わなくてはならない，というのが本稿の主張である (Fig.**??**).

有本らは「日常の物理」などと言いその重要性を指摘している [6]．本稿の主張は，そのような考え方の換言であるとも言えるが，筆者らには陰的制御則という考え方によって考えるべき問題の所在がこれまで以上に明確化できたと考えている．もちろん，これでリアルタイム環境適応機能が理解できたわけではなく，それを理解するためには何を理解しなくてはならないか，がわかったという段階である．

ここで紹介した議論はまだまだ仮説の段階で，今後はより多くの例題の探索と理論解析，そして，生物における陰的制御則の発見を目指す必要がある．それと同時に，最初に述べた生物制御系独特のいくつかの特徴を合理的に説明することができるモデルの提案も今後の課題である．また,「場」を制御系の外と考えるのではなく，一体化して陽に考慮する制御系を考えると興味深いに違いない．そして，このようなことで得られた制御系の設計原理をもとに，逆に人工物の制御系の構成法を考える問題へと展開できる．

また，生物学の用語に「生態学的ニッチェ（生態学的地位）」という言葉がある [12]．動物は自分の周りの環境をなんらかの意味で改造する，このとき，そうやって作り上げたものが生きてゆく上で有効に働くあらたに環境になるとき,「ニッチ構築」をしたという．1 章であげたシロアリの蟻塚構築やビーバーのダムなどもその好例だと言われている．すなわち,（本稿では）場が制御対象などに働きかけをするという図式を想定しているように見えるが，実は制御対象が場を改変して自分に有利なような環境を得ることもある．このような相互作用はどんどんエスカレートして進化に通づると考えられている．

このように，制御対象と場との相互作用は文字通り相互に作用し合い，全体の力学系として意図からみて安定な存在になるように全体として動いている，と見なすべきだと考える．本稿によると制御対象と場の橋渡しをするのが陰的制御則だと考えられる．概念的に考えられていたニッチェ構築の定量的な表現と説明ができる可能性を感じる．今後はこのような観点からの考察も深める必要がある．

REFERENCES

[1] R.Pfeifer , F. Iida and G. Go´mez: Morphological computation for adaptive behavior and cognition, International Congress Series 1291, pp.22-29(2006)

[2] 大須賀，石黒： 受動的ロコモーションに埋め込まれた適応機能， 計測と制御，Vol.48, No.9, pp. 711?717 (2009)

[3] 大須賀，石黒，鄭：制御系に埋め込まれた Implicit Feedback Structure について，計測自動制御学会，第 38 回制御理論シンポジウム予稿集，pp.271-276(2009)

[4] 有本卓：ロボットの力学と制御，朝倉書店（2002）

[5] 矢野，冨田，牧野： 随意運動のための「見なし情報」の創発， 計測自動制御学会，計測と制御，Vol.44, No.9，pp.590-595(2005)

[6] 有本卓：”巧みさ”とロボットの力学，毎日コミュニケーションズ（2008）

[7] 大須賀，足立： システム制御へのアプローチ，コロナ社 (1999)

[8] 高草木薫： 大脳基底核による運動制御機構，日本ロボット学会誌，Vol.23，No.1，pp.2-5(2005)

[9] P.D. MacLean： The triune brain in evolution: role in paleocerebral functions, Springer(1990)

[10] C．H．ウォディントン（岡田ら訳）：発生と分化の原理，共立出版 (1975)

[11] 津田一郎： カオス的脳観—脳の新しいモデルをめざして，サイエンス社 (1990)

[12] 長谷川眞理子： ニッチェ構築と人類進化，遺伝 別冊，No.20, pp.129-132 (2007)

結合振動子系から探る移動知の力学的共通原理

石黒章夫（東北大学）　清水正宏（東北大学）　郷原一寿（北海道大学）

***Abstract*— This paper discusses experimental verifications of a two-dimensional modular robot called "Slimebot", consisting of many identical modules, each of which has simple motile functions. We have so far investigated a fully decentralized algorithm able to control the morphology of the modular robot in real-time according to the environment encountered. One of the most significant features of our approach is that we explicitly exploit "emergent phenomena" stemming from the interplay between control and mechanical systems. In order to verify our proposed control scheme, we have constructed real physical Slimebot. Experiments with 10 modules suggest that this robot exhibits significant abilities, i.e., adaptivity, scalability.**

I. はじめに

生物は，形と機能とのつながりを時空間的にうまく結びつけることにより，適応的機能を発現している [1]．自然界には，様々な形態を有する生物が生存しており，それらは，身体部位間の相対的位置関係を動的に改変することで，歩く，飛ぶ，泳ぐといった環境に適した移動機能を発現している．一方で，工学においてこれらの適応的機能の実現に向けた設計原理の理解は，いまだに概念の域にとどまっているのが現状である．本研究では，モデル生物としてアメーバ様生物（真正粘菌変形体，等）[2][3] に着目する．なぜならば，形と機能の関係をもっとも単純かつ原初的な様式で結びつけているのが，可変形態型の身体を有するアメーバ様生物だからである．自然界のアメーバ様の生物 (粘菌等) は，関節を有する手足ではなく，自身の原形質を体内で流動させることにより形態変形を伴ったロコモーション (原形質流動) を行う．すなわち，身体の形状変化とロコモーション機能が直接的に連関しているのである．そこで，本研究では，モジュール間の相対位置関係を改変することにより，形態変形・移動を可能とするモジュラーロボットに着目する．

これにより，筆者らは，アメーバ様生ロコモーションを工学的に実現することで，適応的形態変形を可能とするロボットの設計原理の理解へ向けた知見抽出を試みる．従来のモジュラーロボット研究においては，自律的な移動を可能とするモジュラーロボットが開発されてきた [4]-[11]．しかしながら，それらは中央集権的・計画的な制御方策や電磁的・機械的に剛性の高いモジュール間結合方策が採用されており，環境との相互作用を通して状況依存的な振る舞いが創発するような方策は採用されてはいなかった．また，設計論の観点からは，設計者が明示的に設計可能であるのは，制御系と機構系のみであるということに注意しなければならない．

上記の考察を通して筆者らは，これまで大自由度を有する二次元モジュラーロボット（Slimebot）を開発 [12] し，実時間かつ合目的的に形態変形を可能とする制御系と機構系の設計方策に関する考察を進めてきた（Fig.1 参照）．Slimebot はその制御系と機構系に (1) 機能性素材の有する力学的特性の活用，ならびに (2) 非線形振動子の相互引き込み現象の活用という二つの工夫を主として導入した．そして，前者をモジュール間の受動的かつ自発的な着脱機構として，後者をロコモーションの生成機構として活用することにより，実時間適応性が発現することをシミュレーションのみならず実機を用いた検証実験により確認した．

本稿では，特定領域研究「移動知」において筆者らの取り組んできた，結合振動子系から探る移動知研究を報告する．

Fig. 1.　A real physical Slimebot consisting of 10 modules.

II. SLIMEBOT の機構系と制御系

本研究では，シミュレーションにおいて，環境適応性，拡縮性さらには，真正粘菌変形体の生物実験結果との定性的一致が確認されてきた．さらに，これらのシミュレーション結果に基づき，Slimebot の実機を開発した．本節では，提案してきたモジュラーロボット Slimebot について，その機構系の構造ならびに，制御系を述べる．

A. 機構系

各モジュールは Fig.2, 3 に示すような機構系を有する．各モジュールは，目的方向の光を検知するセンサを有しており，Slimebot はその光を目指して動く走光性を示す．各モジュールの移動は，腕の伸縮と地面との摩擦を活用することにより生成される．したがって，各モジュールは自走機能を持たず，複数のモジュールが協調してはじめてモジュールの移動が可能となる．Fig.2 に示すように，各モジュールは，移動を生成するために伸縮可能な複数の腕（DC モータとラック&ピニオン機構）と地面との接地摩擦の大小を制御できる機構（DC モータとウォームギア機構）を有している．

また，Fig.3 に示すように，モジュール間の結合は機能性素材 (ベルクロテープ) を介して行われる．接触すると互いが容易に結合し，そして剥離強さ以上の力がかかると自動的に離れるという，この素材自体が有する力学的特性

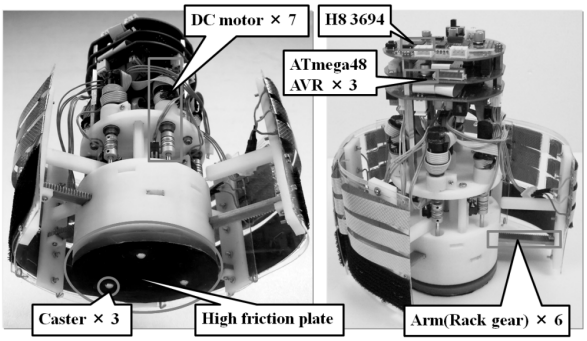


Fig. 2. Photo of the real physical module. The module has 7 DC motors. 6 motors of which are for extension/contraction of the arms, and the rest is for the ground friction control mechanism.

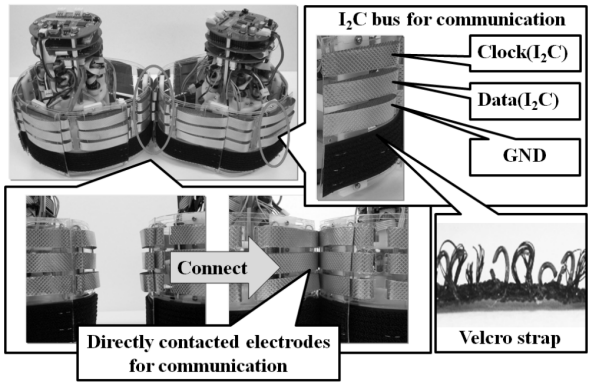


Fig. 3. The physical connection control mechanism by exploiting genderless velcro straps.

を活用することで，形態制御に自発的かつ創発的特性が発現することが期待される．換言すると，無理な応力のかかるモジュール間が脱離することから，常に，身体に局所的に応力の集中することのない形態が実現される．ここで，結合したモジュール間においては局所的な通信（I_2C バスの電気的な直接接触）が可能である．

B. 制御系

本節では，提案するモジュールを複数個集めてモジュール群を形成した場合，これを群としてのコヒーレンシーを維持しながら合目的的に形態を改変可能な制御方策を述べる．本研究では，各モジュールに非線形振動子を実装し，これら振動子間（結合したモジュール間）の相互引き込みを通して，各モジュールが有する腕の伸縮ならびに接地摩擦制御のタイミングの整合を図る．以下，その制御方策を端的に紹介する (Fig.4 参照) [1].

各モジュールは，自身が移動する「Active モード」と，自身は移動しない「Passive モード」と呼ばれる二つの基本動作モードを持つ．Active モードでは，各モジュールは結合している腕の伸縮を意図的に行うと同時に，地面との摩擦を低くすることで群内における移動を生成する．一方，Passive モードは，各モジュールは腕を自然長に戻すと同時に地面との摩擦を高くするモードである．このモードにあるモジュール自身が動くことはないものの，Active モードにあるモジュール群が効率よく進むための支点として機能する．Active モードと Passive モードは，次式のような VDP (van der Pol) 振動子の位相状態により切り替わる：

$$\alpha_i \ddot{x}_i - \beta_i (1 - x_i^2)\dot{x}_i + x_i = 0 \tag{1}$$

ここで，α_i は振動数を，そして β_i は非線形振動のリミットサイクルに収束する速度をそれぞれ規定するパラメータである．次に，結合した振動子間の互いの位相差を平均化するように作用する，単純な拡散的相互作用を採用する．説明の便宜上，相互作用前のモジュールの振動状態を x_i^{tmp}，相互作用によって更新された状態を x_i と表すことにする．具体的に用いた式を以下に示す:

$$x_i = x_i^{\mathrm{tmp}} + \varepsilon \left(\frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} x_j^{\mathrm{tmp}} - x_i^{\mathrm{tmp}} \right) \tag{2}$$

式中の N_i は，時刻 t においてモジュール i に隣接するモジュールの数を表している．

ここで，複数の VDP 振動子が式 (2) に従って相互作用する際に，一部の振動子に対して式 (1) における α_i の値に変化を与えることで，振動子間に有意な位相分布を構成することができる．ここでは，ロコモーションを効果的に発現させるために，次式のように α_i の値を設定した：

$$\alpha_i = \begin{cases} 0.7 & : \text{if the goal light is detected} \\ 1.3 & : \text{if the module is outer surface} \\ 1.0 & : \text{otherwise} \end{cases} \tag{3}$$

以上のような設定により，モジュール群内部に自発的に生成された位相勾配に比例するようにモジュールの腕を伸縮させることで，Slimebot のアメーバ様ロコモーションは発現する．効率的なロコモーションの生成のために，二つの動作モードの切り替えタイミングは，式 (1) による VDP 振動子の位相と対応づけられる．動作モード切り替えのタイミングが進行波としてモジュール群内部の位相が最も進んだ点（VDP 位相勾配の頂上）からその周囲へ伝播する．この際，各モジュールの Active モードにおける腕の伸縮に必要な力を，最近接モジュールとの位相差に比例するように与える．この結果，各モジュールの実効的な腕の伸縮量は等位相面の法線方向で最も顕著となり，モジュールは VDP 位相勾配の頂上に向かって移動する．

III. シミュレーション結果

以上の機構系，制御系に基づき，Slimebot の動力学シミュレーションを行った．ここでは，特に，環境適応性検

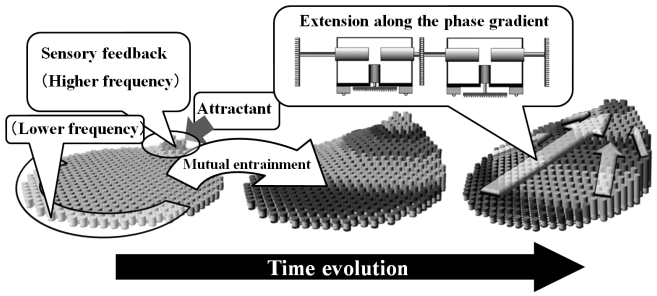


Fig. 4. Generation of locomotion.

[1]詳細については，参考文献 [12] を参照されたい．

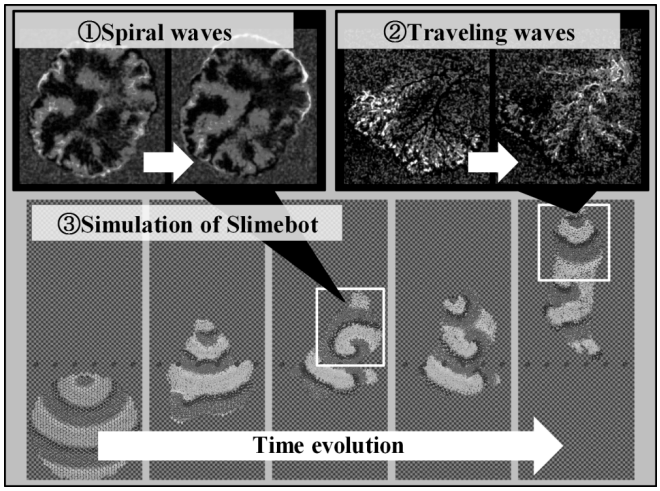


Fig. 5. Representative data of qualitative agreements between the Slimebot and rhythmic protoplasmic movement in the true slime mold. Note that no active control mechanism that precisely specifies connection/disconnection among the modules is implemented. Instead, a spontaneous connectivity control mechanism exploiting a functional material, *i.e.*, genderless Velcro strap, is employed. Experimental results(*i.e.*, a1 and a2) of true slime mold were provided by Prof. Takamatsu, Waseda University.

証と粘菌との定性的比較を紹介する．Slimebot は，力学環境に応じて自身の形態変形に伴い結合振動子系のトポロジを動的に改変する．改変された振動子群のネットワークは，Slimebot の次の動作を出力する．これらの因果関係が繰り返されることにより，力学的に最も無理のない形態に変形しながら環境に適応することを可能としている．

そこで，Slimebot の環境適応性を検証するために，円筒状の障害物が配置された環境下において，1000 個のモジュールから構成される Slimebot を配置した．そして，障害物の方向に向かってロコモーションを開始するように誘引刺激を与え，その後の時間発展を観察した．結果を Fig. 5 に示す．ここで，モジュール群の色の差は，VDP オシレータの位相差を示す．図から，Slimebot は，障害物の存在する環境下において，自身の形態を変形しながら障害物を乗り越えている様子が見て取れる．また，興味深いのは，適応の過程において真正粘菌変形体と同様に螺旋波，進行波が観察されていることである．このことから，Slimebot は真正粘菌との定性的一致を示していることが示唆される．

IV. 実験結果

以上に述べた機構系と制御系の下で，アメーバ様モジュラーロボット Slimebot の実機による実験的検証を行った．以下では，予備的な検証として実機モジュール間の相互引き込みに関する検証を行い，その後，10 個のモジュールから構成される Slimebot 実機による拡縮性，環境適応性の検証を行った．

モジュール間の相互引き込みに関する検証: ここでは，モジュール間の局所通信の安定性を検証した．Fig. 6 は，2 個のモジュール間において結合の着脱が繰り返される状況下で，モジュールに実装された VDP 振動子が頑健かつ安定に相互引き込みを行う様子を示している．これは，モジュール間の物理的な結合の着脱が起こり，VDP 振動子間のトポロジが改変を受けても動的な位相調整が可能であることを示している．

拡縮性の検証: Fig.7 に，拡縮性の検証結果を示す．ここでは，初期状態として，3 個のモジュールと 7 個のモジュールに分離している Slimebot を配置し，図中左方向から誘引刺激を与える．このとき，(a) 実験開始直後は分離している Slimebot はそれぞれロコモーションを開始する．(b) やがて，合体して一つにまとまった Slimebot となる．(c) (d) その後，一つにまとまった Slimebot のままロコモーションを継続する様子が確認された．ここでは，実験を通して Slimebot の身体性（*i.e.*, モジュール数，結合トポロジ

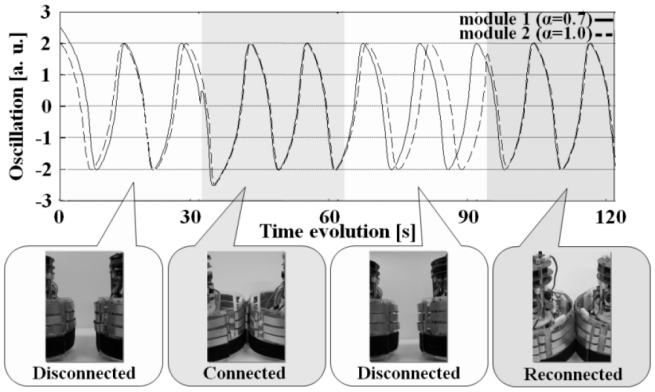


Fig. 6. A verification of connection mechanism.

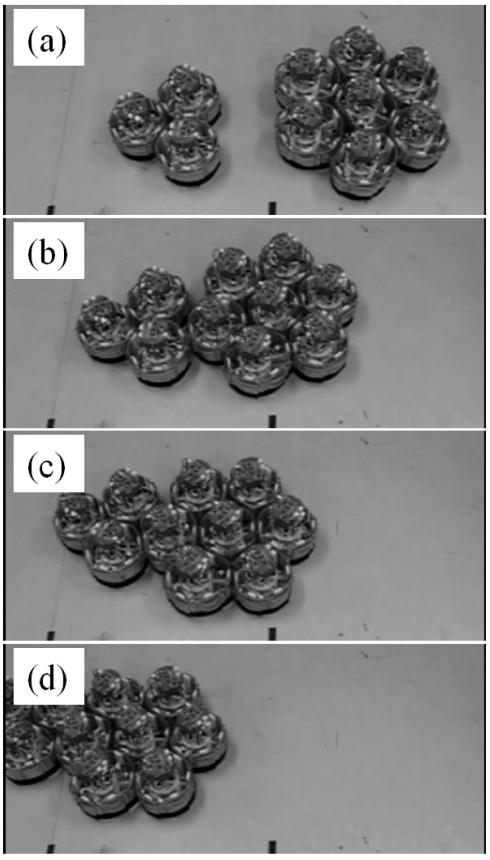


Fig. 7. Experimental verification of the scalability. See from (a) to (d).

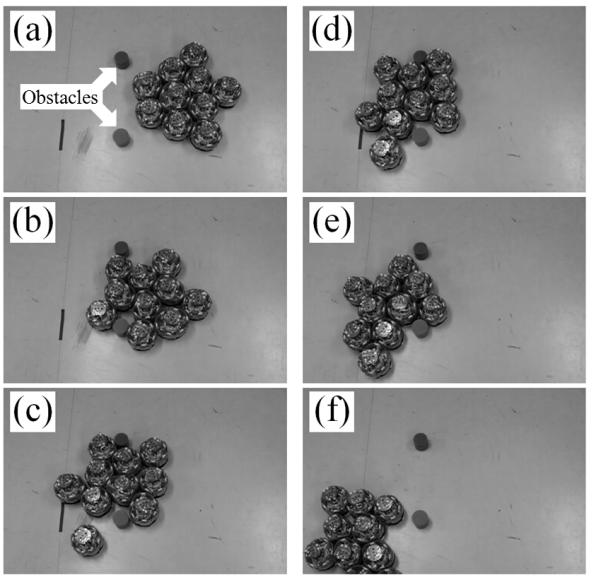


Fig. 8. Experimental verification of the adaptivity with 10 modules in the environment containing two cylindrical obstacles. See from (a) to (f). Note that these behavior are not pre-programmed, but are totally emergent through the interplay between the control system (*i.e.*, coupled oscillators), the mechanical system (*i.e.*, velcro strap) and the environment (*i.e.*, two cylindrical obstacles).

）が変化しても，状況依存的にロコモーション機能を発現できていることに注意されたい．

環境適応性の検証: Fig. 8 に，環境適応性の検証結果を示す．ここでは，円筒状の障害物（図中の青色の物体）の存在する環境において，10 個のモジュールから構成される Slimebot が，状況に応じてモジュール間の相対位置関係を改変させることで変形し，環境を走破している様子を示す．興味深いことに，Fig. 8(c)(d) において，一度脱離したモジュール（図中の左下）が再結合している．これは，ベルクロテープと表面張力効果 [12] により達成されている．ここでは，変形の手順に関する制御を一切行っていないことに注意されたい．モジュールの動く方向，モジュール間着脱の位置，タイミングは全て，自律分散的に実現されており，制御系，機構系，環境間の相互作用の下で創発した結果である．

V. まとめ

移動知を発現するためには，「行動主体の振る舞い生成に創発の余地を残すように制御系と機構系を設計すべし」，「環境との相互作用の結果，行動主体の振る舞いがはじめて決まるようにすべし」というのは，重要な設計原理となりうる．しかしながら，これをどのように具体的に実現するかは依然として明らかではない．本研究で取り組んできた真正粘菌変形体に着目したモジュラーロボット Slimebot では，受動的・自発的なモジュール間着脱機構から生み出される「現在進行中の動きに対して自然で無理のない形態変形」を活用している．このようなメカニズムは，結合振動子系による陽的制御に対して，陰的制御として働く．具体的には，モジュール間の結合の着脱を決定するのはベルクロテープの降伏応力であるために，最終的に無理な応力集中が無いような形態がつくられる．実際，Fig. 8 に示した結果は，このような陰的制御機構が内在することで初めて実現した結果である．本研究では，結合振動子系によるアメーバ様ロボット Slimebot において陽的制御と陰的制御の適切なカップリングが重要であることが示唆された．

謝辞

本研究の一部は，文部科学省科学研究助成金特定領域研究「身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現ー移動知の構成論的理解ー」(領域番号 454) ,「東北大学脳科学グローバル COE 脳科学を社会に還流する教育研究拠点」の援助によって行われた．ここに感謝の意を表します．また，真正粘菌の実験結果は，早稲田大学 高松敦子教授のご厚意により掲載した．ここに謝意を表します．実機開発に際しては，松澤 亮氏，加藤 拓真氏，武田 孟氏，八幡 慎太郎氏から有益な助言を受けた．ここに謝意を表します．

REFERENCES

[1] H. Asama, et al., “System Principle on Emergence of Mobiligence and Its Engineering Realization”, *in Proc. of the 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2003, pp.1715–1720.

[2] H. Miura and M. Yano, “A Model of Organization of Size Invariant Positional Information in Taxis of Physarum Plasmodium - A Reaction-Diffusion System Regulated by Phase of Chemical Oscillation -”, *Progress of Theoretical Physics*, Vol. 100, 1998, pp.235–251.

[3] A. Takamatsu, et al, “Spatiotemporal Symmetry in Rings of Coupled Biological Oscillators of Physarum Plasmodial Slime Mold”, *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 87, No. 7, 2001, pp.0781021–4.

[4] T. Fukuda and Y. Kawauchi, “Cellular Robotic System (CEBOT) as One of the Realization of Self-Organizing Intelligent Universal Manipulators”, *in Proc. of IEEE ICRA*, 1990, pp.662–667.

[5] S. Murata, H. Kurokawa, and S. Kokaji, “Self-Assembling Machine”, *in Proc. of IEEE ICRA*, 1994, pp.441–448.

[6] A. Kamimura, S. Murata, E. Yoshida, H. Kurokawa, K. Tomita, and S. Kokaji, “Self-Reconfigurable Modular Robot – Experiments on Reconfiguration and Locomotion –”, *in Proc. of 2001 IEEE/RSJ IROS*, 2001, pp.590–597.

[7] M. Dorigo, et al., “Evolving Self-Organizing Behaviors for a Swarm-bot”, *Autonomous Robots*, 2004, pp.223–245.

[8] M. W. Jorgensen, E. H. Ostergaard and H. H. Lund, “Modular ATRON: Modules for a Self-Reconfigurable Robot”, *in Proc. of 2004 IEEE/RSJ IROS*, 2004, pp.2068–2073.

[9] M. Yim, C. Eldershaw, Y. Zhang, and D. Duff, “Self-reconfigurable Robot Systems: PolyBot”, *Journal of the Robotics Society of Japan*, Vol.21, No.8, 2003, pp.851–854.

[10] M. Asadpour, et al., “Graph Signature for Self-Reconfiguration Planning”, *in Proc. of 2008 IEEE/RSJ IROS*, 2008, pp.863–869.

[11] S. Miyashita, et al., “Peltier-Based Freeze-Thaw Connector for Waterborne Self-Assembly Systems”, *in Proc. of 2008 IEEE/RSJ IROS*, 2008, pp.1325–1330.

[12] A. Ishiguro, M. Shimizu, and T. Kawakatsu, “Don’t Try to Control Everything!: An Emergent Morphology Control of a Modular Robot”, *in Proc. of 2004 IEEE/RSJ IROS*, 2004, pp.981-985.

生命の自律性解明のための ロボットの自律運動生成実験とハエの探索行動実験

池上高志, 嶋田正和
東京大学大学院、総合文化研究科、広域システム系

Abstract: ロボットの制作／シミュレーションとハエの自律運動の解析を通じて、人工と自然のシステムにおける自律性の意味を考える。2008 年には、ハエの自律運動にみられる異常拡散、運動を構成する実効的な自由度が時間的に変動すること、ロボットにおける第三の時間スケールの導入の必要性ついて報告した。2009 年は、生物システムと工学システムの双方に重要な「ロバストネス」に注目し、LEGO Mindstorm を使った実験 [6] と、自走する油滴システムを用いた化学実験 [5] を行った。

1 研究目的

生命と無生命の違いのひとつに自律性の有無がある。自律性とは、自発的に動機付けをし、認識／行動をすることである。どんな複雑な機械も制作者が与えない限り、動機あるいは行動の目的を自分でつくることはできない。しかしどんな単純な生命システムもこの意味で自律的である。したがって生命とは何か、を考える上で自律性を理解することは重要かと思われる。

これまでに自律性の生成に関する理論的なアイディアとして、環境との相互作用を作ったり消したりする自律的相互作用のダイナミクス (autonomous coupling) = AC [7] や、新しいカオス的遍歴現象（Embodied Chaotic Itinerancy=）ECI [9] を池上は提唱してきた。

他の特徴として、ロバストネスがある。ロバストネスは、外部的内部的な摂動に対して、その機能を維持するものと定義しよう [10]。これは生物系、工学系にとって非常に重要な性質である。この問題に関し、われわれは以前シミュレーションモデルを研究し、”ホメオダイナミクス”という新しい構成原理を提案した [8]。システムは、パラメターや境界条件を変化させて環境へ適応する。これによってわれわれはホメオダイナミック状態とよぶある特別な状態へと導かれる。

これらの理論モデルをもとに、人工と自然の自律性に関して研究を進めて行くのが、本プロジェクトの目的である。ここで考える自律性は、身体を持って運動するという観点を取り入れた形で考えなくてはいけない。身体性は単に物理的なサイズをもつことではなく、環境とのあいだで行為を自己組織化するための媒介性をもたなくてはならない。

本プロジェクトではこの理論をロボット実験とハエの実験を使って、実証的に展開していく。具体的には、2008 年は、ロボット miuro の設計とハエの運動軌跡の解析実験。2009 年は、Lego MIND storm を使ったロボット設計と実験、および油滴の新しい自走実験を中心に行った。

2 方法論

1. 2008 年

   初年度は、ECI を小型ロボット (Fig.1) に応

Figure 1: Appearance of the robot MIURO [1]

Figure 2: A fruit fly in a cage [11]

用し、ipod から流れる音楽にあわせて、ダンススタイルを変遷させる自律運動を研究した。こうした自律的なスタイルの変遷を、実際の生物（ここではハエを使って）行い、自律走行の行動解析実験を行なった（Fig. 2)。

1) 株式会社 ZMP のロボット「Miuro」(ミューロ）を用い、自律運動をするロボットをどのように作り出すかを研究する。Miuro は動くスピーカーとでもいうべきロボットで音楽と身体運動パターンを結びつけている。ミューロに PC からプログラムをおくり、自律的に音楽と運動パターンを関係つけて行く仕組みをデザインした。

２）イエバエとショウジョウバエを用いたハエの自律運動の動物行動実験を行なう。ケージの中にハエを一匹入れ、数カ所に砂糖水をたらして、ハエの探索パターンを定量的に調べる。記憶の変異体を持つショウジョウバエ

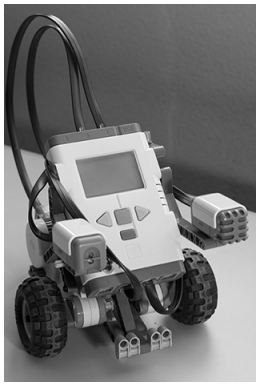


Figure 3: The Lego Mindstorms platform[6]

を使って記憶構造との関係をつける。

2. 2009 年

ロバストネスに関し、移動ロボット (Fig.3) と自律運動する油滴 [3](Fig.4) を用いて調べる。

1) ロボットは、Lego Mindstorms NXT (Fig. 3) を用いる。これは、モーターやセンサーや他の構造モジュールから組み立てて作る。実際の部屋の中でこのロボットを動かし、ターゲット探索を行う。

2)　油滴システムは、純粋なオレイン酸 (NuChek Prep, Elysian, MN) を用い、これをアルカリ水溶液 (pH 11) と反応させることで自走する油滴を作り出し、実験を行う。また、0.5 M のニトロベンゼン (Kanto Chemical Co., Inc.) をこの油滴に加えることで、油滴を安定化し、油滴のサイズを変化させることができる。

3　成果

3.1　ロボット実験 1

Miuro（ミューロ）実験でに分かったこととして、３番目の時間スケールを導入の必要性が認識され

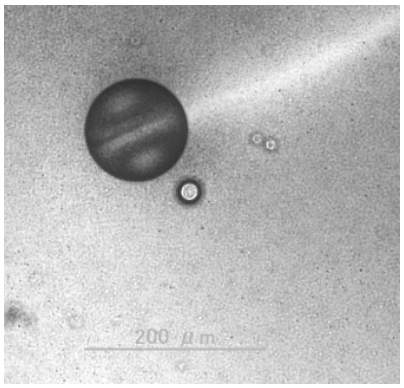


Figure 4: Characteristic convection flow pattern is visible in the moving droplet.[5]

た。神経ネットワークの状態遷移の時間スケールが約 5msec(NTS)、ロボットとコンピュータの通信が約 100msec(RTS) である。このままではカオス的遍歴運動 (ECI) はみられないので、約 30msec ごとに神経ネットワークの状態をサンプルし、それを使って運動をつくると、ダンスとして音楽と相関を作りつつ、それが自発的に壊れて行くパターン、カオス的遍歴をつくることができる。このサンプルする時間スケール (MTS) がうまく調整されることが不可欠である。またこのカオス的遍歴を相互情報量を使って計量することも行った [2]。

3.2 ロボット実験 2

Lego の Mind Storm を組み立てて、光と音のセンサーを持たせる [6]。入力は、少し複雑だが 7 つあり、現在の入力と過去の入力の差分によりインプットの値が変化する。また、4 つのモーター出力（右回転、左回転、前進、後退）との結線を、ヘッブ則により、変化させる。いま、環境に音と光の両方の目標を置き、グリッドに仕切ったアリーナの各点から始めて、目標にたどりつけるかを調べた。その結果、光に頼るのが一番ロバストで、音と光の両方を使うことでむしろロバストネスは減少した。音にノイズを加えたときには、光も信号として使うことで音だけよりもロバストとなった。

3.3 ハエの自走実験

局所的な Autoregression(AR) 法を用いることで、ハエの軌跡の時系列データから探索運動の自由度の変遷などを解析した結果、その探索行為に異常拡散（記憶効果のあるような）が観察され、最低２つの運動のスタイルを自発的にスイッチしながら運動することが分かった　[11]。また、記憶能力が劣るようなショウジョウバエの変異体を用いやが、異常拡散などその運動の振る舞いを変化させることはなかった [4]。また、エサがあるなしに関わらず，ハエは異常拡散を示すことが明らかとなった [11]。ただし、記憶変異体のハエは自分でそこには入らないような不思議な禁止区域をつくることがわかった。

3.4 油滴

油滴の自走運動の解析を行った。これは、以前から Hanczyc、池上らによって進められてきたもの [3] で、アルカリ水溶液中で無水オレイン酸がミセル様の物体をつくり、運動を開始する。今回は油滴にニトロベンゼンを混ぜて安定化させ、そのサイズ依存性を調べ解析した。結果、油滴はあるサイズ付近で形が変形しはじめ、より前進運動を好む馬蹄形に変形することが観測された。またさらにサイズを増すことで、複雑な振動モードを示すことも分かった。サイズに伴う運動モードの変化を、Stop-go の時間間隔分布や、相関関数の時間依存性から調べたが、ほとんどの場合にベキ則を示し、ハエの運動との類似性が見られた [5]。

4 結論

このプロジェクトから次の 3 点が指摘できる。

1) 人工と自然のシステムにおける自律性は、coupling/de-coupling から理解可能であろう。な

ぜなら、システムを問わずこの傾向は観察されている。将来的には、多チャンネルの coupling/decoupling 系の研究が必要であろう。

2) 人工と自然のシステムにみられる「ロバストネス（頑強性）」を考えるのに、新しい原理が必要である。ホメオダイナミクスはその候補となる。ロバストネスは、システムと環境との間の自己調節機構の結果とみることができる。ロバストネスを作り出す機構がどのように決定されるかは、すぐには分からない。しかし、このロボットの実験や化学実験はさまざまなパラメターがあり、プラットホームとして有効である。

3) システムの内部の時間スケールを生成し、その階層構造を研究することは、今後やらなければならないことである。LEGO ロボットのタイムスケールをいろいろ変えてみることで、ロバストネスの度合いをいろいろと変化させることができる。現在それを研究中である。

References

[1] Aucouturier, J.-J. and Ogai, Y. and Ikegami Using chaos to trade-off synchronization and autonomy in a dancing robot, Trends and Controversies, IEEE Intelligent Systems ２３ ２ 74-85 2008.

[2] Aucouturier,J.J. and Ikegami, T,, The Illusion of Agency: Two Engineering Approaches to Compromise Autonomy and Reactivity in an Artificial System Adaptive Behavior, Oct 2009; vol. 17: pp. 402 - 420.

[3] Hanczyc, M., Toyota,T., Ikegami, T., Packard, N. and Sugawara, T. ” Chemistry at the oil-water interface: Self-propelled oil droplets ”J. Am. Chem. Soc.; (2007); 129(30) pp 9386 - 9391.

[4] 堀部直人、「ショウジョウバエの記憶と学習にもとづく適応戦略: 歩行軌跡のモデル選択と時系列解析 」（東京大学修士論文、2008)

[5] Horibe, N. Hanczyc, M.M. and Ikegami, T., Shape and Motion dynamics in Self-Moving Oil Droplets, in the proceedings of the 3rd Mobiligence conference (2009) pp. 367-371.

[6] Hubert, J. Matsuda, E., Silvermann, E. and Ikegami, T A Robotic Approach to Understanding Robustness, in the proceedings of the 3rd Mobiligence conference (2009) pp. 361-366.

[7] Iizuka, H. and T.Ikegami Simulated autonomous coupling in discrimination of light frequencies, Connection Science, 17 (2004) pp.283-299.

[8] Ikegami, T and Suzuki, K From Homeostatic to Homeodynamic Self, BioSystems 91388-400 2008

[9] Ikegami, T., Simulating Active Perception and Mental Imagery with Embodied Chaotic Itinerancy, Journal of Consciousness Studies Vol.14 (2007) pp.111-125.

[10] Silverman, S. and Ikegami, T. Robustness in artificial artificial life. In Proceedings of Complex ’09 Conference, Tokyo, 2009.

[11] Takahashi, H., Horibe, N., Shimada, M. and Ikegami, T., Analyzing the House Fly’s Exploratory Behavior with Autoregression Methods ,JPSJ77 84802 2008

蝶の羽ばたき飛翔における環境創成による移動知発現のメカニズム

泉田　啓（京都大学），飯間　信（北海道大学），平井規央（大阪府立大学）

1．はじめに

蝶の羽ばたき飛翔は，生成される流場を環境とする，移動知の一例である．ここでは特に，羽ばたきにより創成される渦列流場という環境が安定化とマヌーバに与える影響という観点から，飛翔における蝶の適応的行動能力を発現するメカニズムを解析する．具体的には，生体の蝶の実験観測による生物学的な解析と様々なモデルの構築をとおした工学的な実現というシステム論（構成論）的アプローチにより調査する[1]．今年度は以下の項目を実施した．

A. 生物学的アプローチ　アサギマダラ蝶を経常的に供給できるようにした．実験装置を構築して観測実験を行い，蝶の運動と空気力を計測した．可能な能動的動作を知るために，マイクロ CT を用いて解剖学的理解を進めた．

B. 工学的アプローチ　飛翔安定化およびマヌーバビリティ(状態遷移能力)を探るために 2 次元数値モデルを構築し，大摂動に対する回復過程と、飛翔の数理構造の解析に基づいた遷移制御の研究を行っている．　3 次元数値モデルを構築し，実験観測データと比較して，数値モデルの妥当性や精度を検討した．また，羽ばたき飛翔の周期解の探索，渦列流場と翅の柔軟性が安定性に及ぼす影響について検討した．

2．蝶の観測実験

図 1 に示す実験装置を構築し，蝶の運動と空気力を計測した．まず，胸部を天秤に固定したアサギマダラ蝶を風洞中に置き，一様流中で羽ばたかせる．その際の運動を高速ビデオカメラで 3 方向から撮影し，同時に蝶に働く空気力を天秤で計測する．撮影されたビデオ映像から身体上の特徴点位置を計測し，関節角といった運動学パラメータに変換する．次に，流路内で蝶を自由飛翔させ，ビデオ映像から関節角のみならず，胸部の位置姿勢を計測する．

胸部固定実験の結果は，昨年の報告書に記載した．計測された自由飛翔の運動を図 2，連続する 3 回の羽ばたき運動を図 3 に示す．羽ばたき周期が概ね一定である，翅を打ち下ろす運動は概ねコサイン曲線で，腹部角は逆位相になることなどは，胸部固定実験と変らない特徴である．関節角の動作が僅かに異なるだけで，胸部運動が大きく変ることがわかる．

3．蝶の解剖学的観測

アサギマダラの飛翔に関わる筋肉を明らかにするために，冷凍保存した標本を用いて（Comscantecno ScanXmate-A080S）により，CT 撮影を行った．撮影は，翅を水平にした状態，上部に振り上げた状態，下部に打ち下ろした状態の 3 通りで解像度は 18 μm である．得られた画像は，コンピューター上で 3D に合成し（図 4），様々な方向から画像を解析した．

また，筋肉の付着点を明らかにするために骨格の形状を調べる．一定時間 10%KOH 水溶液に浸した標本を実体顕微鏡下で観察（図 5）した． Ehrlich and Davidson (1961)， Ehrlich (1958) によるオオカバマダラ，Emoto（1983）によるギフチョウの筋肉と骨

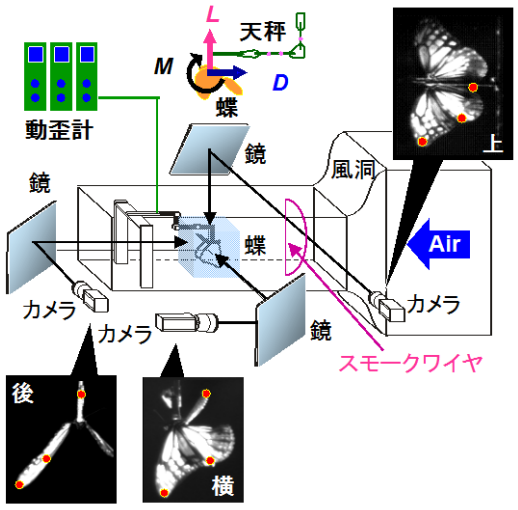


図 1 ：羽ばたく蝶の運動と空気力の計測システム

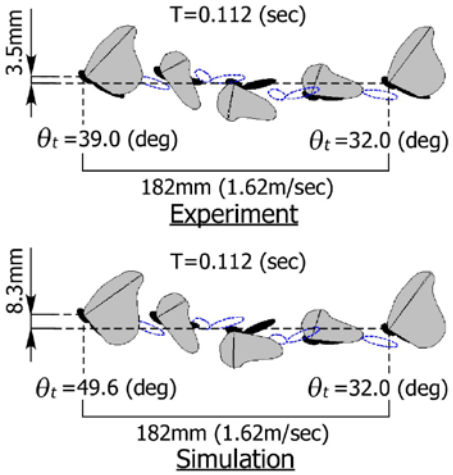


図 2：アサギマダラ蝶の自由飛翔の実験計測データ(上)と3次元モデルにその関節動作をさせた場合の飛翔運動(下)

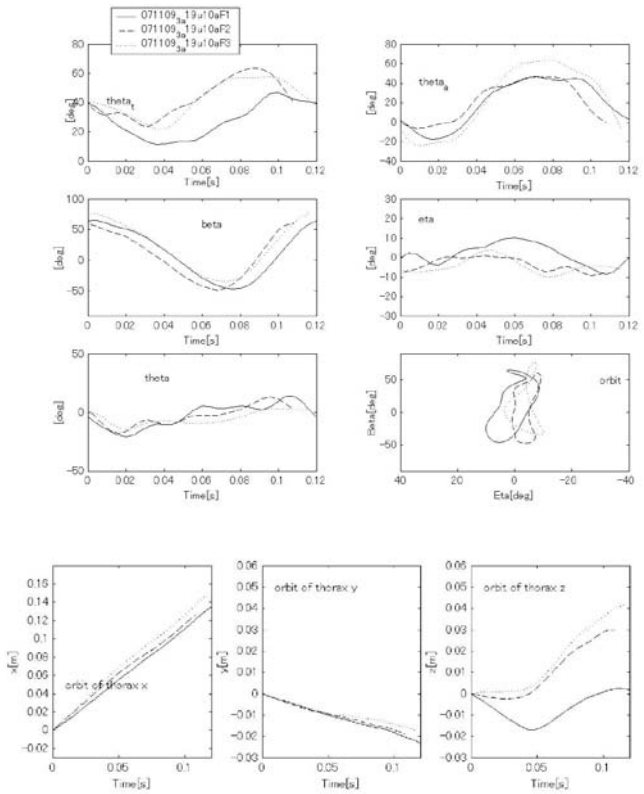


図３：アサギマダラ蝶の自由飛翔の実験計測データ. 連続する３回の羽ばたき動作と胸部運動.

格の構造などを参考に各部の同定をおこなった.

主要な間接飛翔筋である背縦走筋，背腹筋など大型の筋肉が同定され，構造や付着点が明らかになった．直接筋については，翅の基部について詳細に骨格と筋肉の関係を観察した．その結果，骨格では左側面からの写真で，翅を前後に動かす筋肉と関係する basalare，subalare や pleural wing process が確認された．また，左翅基部の背面からの写真で costal sclerite，1st-4th axillary，postalar plate などが確認された．CT 画像では，関連する basalar mascle，axillary mascle，subalar mascle などの直接筋が確認された.

以上から，本種においても他の鱗翅類で知られるように，羽ばたきの主要な動作は大型の間接筋によるものの，直接筋とそれにつながる骨格によって翅の前後方向の動作も可能であると考えられた.

４．２次元数値モデルによる検討

昨年度の結果に基づいてアサギマダラの飛翔モードの解析とそれを応用したマヌーバビリティ（状態遷移能力）を研究した．環境と個体の相互作用が作る飛翔モードはアサギマダラのパラメータ近傍で遷移を起こす．それを利用して僅かなパラメータ変化により状態遷移を起こすことができることを示す.

昆虫飛翔で特徴的なのは翼から生み出される渦に

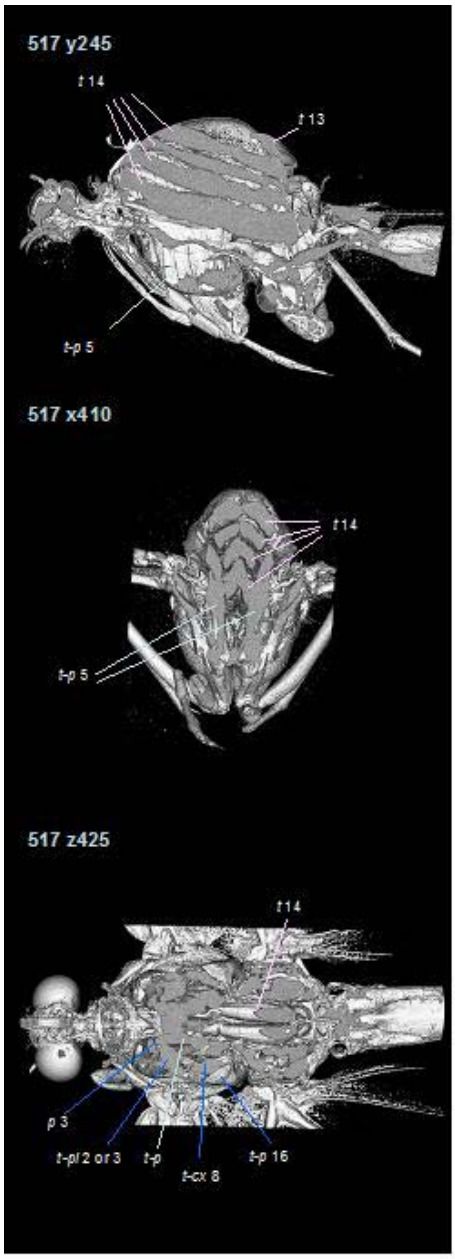


図４：アサギマダラ蝶のマイクロCTによる撮影画像から合成された3D画像

より周囲に環境を生み出し，その環境と翼の相互作用により望む運動を実現する点にある．このような環境特性の解析理論を遠方場に着目して構築し，幾つかの応用例を示す[3][4]とともに，より低いレイノルズ数で，はばたき運動を利用した推進モデルについても考察した[5]. この場合流体環境という意味では同じであるが流れの特性が異なるためターゲットにしている蝶の飛翔とは特性が全く異なる[6].

次にアサギマダラの 2 次元飛翔モデルを構築した. 文献[7]のモデルを拡張し，重心の水平・鉛直運動は考慮するが，理想的なピッチング角制御を仮定し，常に一定角が保たれるとしたモデルを用いた(図６).

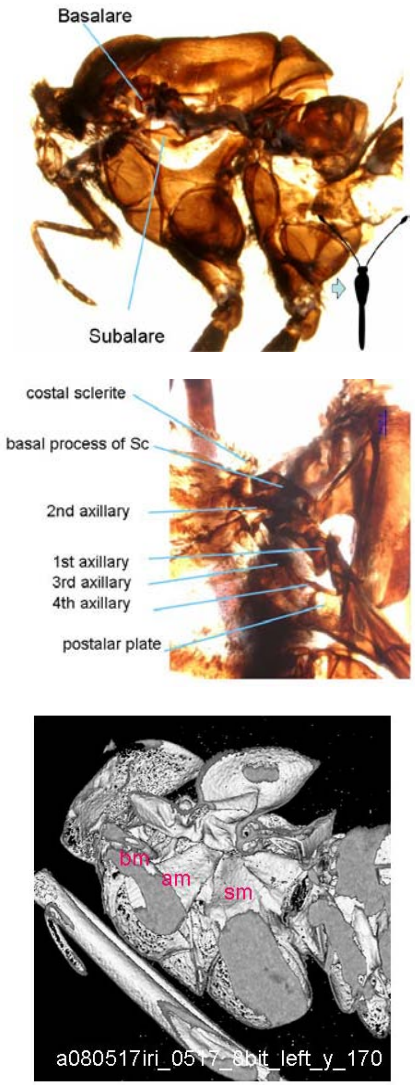


図５：アサギマダラ蝶の外骨格とマイクロCTによる3D画像

この仮定により渦とはばたき翼の相互作用による状態遷移能力の違いを見ることが可能となった．このモデルは周囲の渦運動を考えても重心運動は安定である．パラメータはアサギマダラの計測値[8]を用いた．ただし，2 次元モデルであるのでそのまま用いると水平飛行ができなかったため，翼面積をすこし大きくしてモデルパラーメータを設定している．このモデルを用いて，解析した結果は２つある．

一つはこのモデルに渦対を用いて大摂動を加えた場合の回復過程である[9]．この場合，回復にかかる時間はおおむね 10 周期程度で摂動の強さにはあまり依存しない（図７）．一方，摂動の強さがある臨界値を超えると回復過程が遷移を起こすことがわかった．この臨界値は摂動の特徴的な流速で表すと，モデル後方に形成される流れの特徴的な速度に近く，摂動の特徴的速度がこの流速より小さい場合は摂動過程はスケーリングすることにより普遍的な回復過

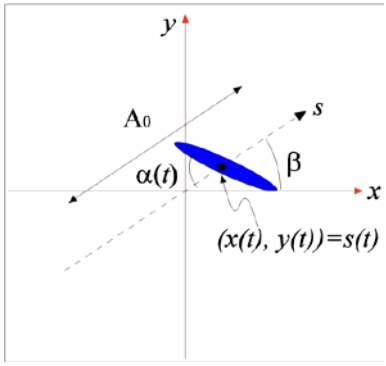


図６：２次元モデル．角度α は与えられた運動を行い，位置x, y は環境（渦）から決まる力

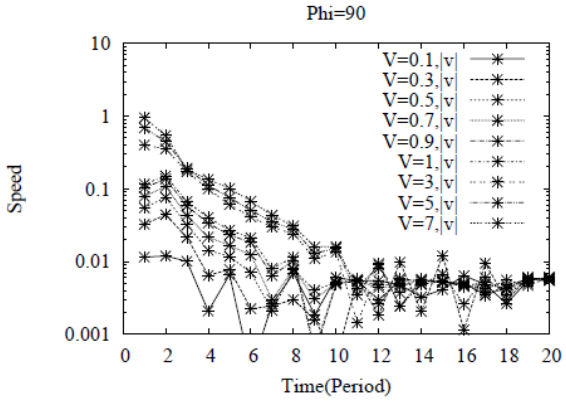


図７：安定性回復の一例．前方から空気の固まり（渦対）をぶつけた後，定常状態に収束する様子．横軸は時間（周期），縦軸は定常状態と摂動を受けた場合との一周期平均の速度差を表す．10周期程度でほぼ元にに戻っている．

程を示すことがわかった．

もう一つは，制御の試みである．ここで用いたパラメータは実際の蝶から採用したものであり，そのパラメータ値を用いた飛行では制御など生物の運動や移動知に関係する重要な数理構造が埋め込まれていることが予想される．そこで，ここで採用したパラメータ値を基準に，1)重力加速度 g　2)はばたきの振幅 A_0 3）はばたき面の角度 β を 変えたところ，これら３つのどの場合においても採用値からすこしずらしたところで飛翔モードが（ほぼ）水平飛行から下降飛行へと遷移を起こすことがわかった．これはパラメータをわずかに変更するだけで飛翔モードが大きく変化することを意味し，制御に関して有用であることを示唆している．そこではばたき面の角度 β を採用値（80 度）と 75 度（飛翔モードは下降飛行）の間を 20 周期毎に切り替えた．

図８にその時の一周期平均速度の時系列を示す．（ほぼ）水平飛行のモードから下降飛行への切り替

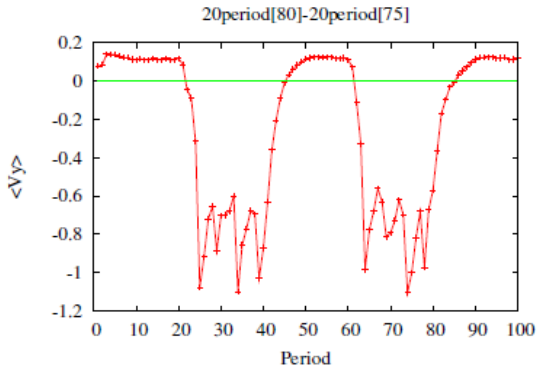


図８: 飛翔制御の一例．20周期毎にはばたき面の角度 β を5度だけ変えた場合の一周期平均速度の時系列．（ほぼ）水平飛行と平均速度が負の下降飛行のモードが切り替わっている．

わりの際はわずか数周期でモードが切り替わっているが，逆の場合は定常状態に達するまでに 10 周期程度の時間を擁している．この切り替わりの際最初にできる渦パターンは定常状態で見られるものと上下が逆であるため，この際できる渦パターンをうまく制御するようなはばたき運動を発見できればより迅速に遷移が起こせるものと期待される．

５．３次元数値モデルによる検討

渦法の一種であるパネル法による 3 次元モデルを開発している．今年度は，計算コードに改善を加えて計算精度を向上させた．得られたモデルに実験で計測された関節動作をさせたときの自由飛翔運動を図２に実験結果とともに示す．多少違いはあるものの数値モデルは実物の蝶と同じ関節動作で飛翔し，モデルの精度が確認できた．

このモデルを用いることにより文献[1]と同様に，後流の自由渦による空気力を考慮する方が考慮しない場合より安定であることが示された．後流の自由渦が，蝶の飛翔の安定化に本質的な役割を担うことがわかる．この系は，胸部運動の誤差を抑制する直接的なフィードバック制御は持たないが，後流の自由渦を伴う流れ場により，安定化効果が生じている．このことは「身体」が翅で「流れ場」と空気力をやりとりする際，後流の自由渦が存在することで，ある種のフィードバック安定化効果をもつ相互作用を生じていることになる．これは，流れ場が持つ力学的特性を介してこの系にもたらされた移動知の共通原理，陰的制御と捉えることができる．

構造柔軟性により生体の蝶で生じる翅の変形に起因して飛翔安定性がどのように変化するか解析した[2]．これまでのモデルで飛翔軌道探索によって得ら

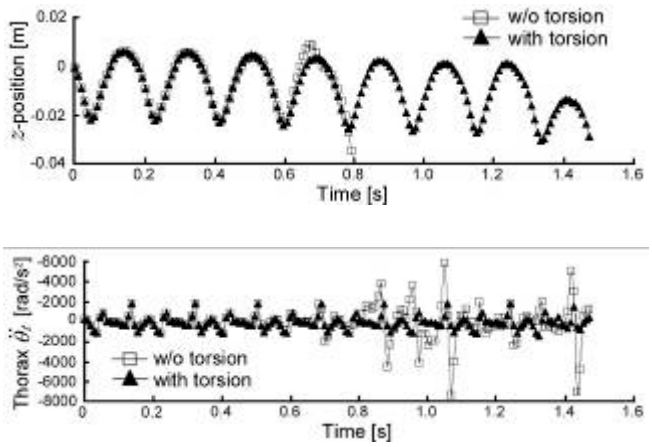


図９: 翅のねじれの有無による羽ばたき飛翔の変化．飛翔高度(上)と胸部角加速度(下)

れた羽ばたき運動，および，翅のねじれをモデル化した場合の羽ばたき運動の軌道を図９に示す．墜落時に観られる胸部角の加速度 $\ddot{\theta}_t$ の振動が，翅のねじれにより抑えられている．これは，墜落の原因の一つと考えられる胸部角の振動の発散を翅の構造柔軟性が減衰したためであると考えられる．これは，翅の構造柔軟性という身体の力学的特性により系にもたらされたフィードバック安定化効果である．preflex の一種であるとともに，移動知の共通原理の陰的制御と捉えることができる．

謝辞

慶応大学の荻原直道博士には CT 画像を撮影頂いた．記して感謝する．

参考文献

[1] K. Senda, M. Sawamoto, M. Kitamura, T. Obara, Towards Realization of Stable Flapping-of-Wings Flight of Butterfly, International Symposium on Adaptive Motion in Animals and Machines, 2008, 62-63.

[2] K. Senda, M. Sawamoto, M. Kitamura, T. Obara, Effects of Flexibly Torsional Wings in Flapping-of-Wings Flight of Butterfly, World Automation Congress, 2008, pp. 1-6.

[3] 飯間 信, Analysis of hovering insect in two-dimensional space, 数理解析研究所講究録, 1631, 98-106, 2009

[4] 飯間 信，昆虫飛翔の数値モデルと理論モデル，研究集会 PPM2008 報告集, 54-59, 2009

[5] M. Iima and A. S. Mikhailov, Propulsion hydrodynamics of a butterfly micro-swimmer, Europhysics Letters, 85, 44001, 2009

[6] 飯間 信，飛翔と泳ぎの数理解析，日本応用数理学会 2009 年度年会講演予稿集, 1802, 2009

[7] M. Iima, A two-dimensional aerodynamic model of freely flying insects, J. Theor. Biol., 247 (2007) 657–671.

[8] K. Senda, M. Sawamoto, M. Kitamura, T. Tanaka, Stabilization of Flapping-of-Wing Flight of Butterfly. Considering Wakes in *Bio-mechanisms in Swimming and Flying*, Springer, 2007, 193-204.

[9] 飯間 信，平井 規央，泉田 啓，アサギマダラ飛行の2次元モデルにおける大摂動からの回復過程に関する数値的研究，日本流体力学会年会 2009 講演論文集, 2009

動的素子のネットワークに於ける環境に対する適応メカニズムの研究

研究代表者　青柳　富誌生　京都大学情報学研究科

***Abstract*— 動物が外部環境に応じて高度な適応能力を発揮するのは、外部環境の情報をモニターしながら次の行動を決定し、能動的に環境に働きかけることが本質にある。それを可能にしているのは脳・神経系であり、その適応メカニズムの基本的プロセスを研究することは重要である。神経系や粘菌・歩行などの生体系では、しばしば振動的リズムが重要な運動の基本的要素である。その観点で、可塑的ネットワーク力学系に関して以下の３つの研究を行った。最初の研究は、周期発火しているニューロン集団を考え、その発火状態により結合強度が変化していく状況を非常に一般的な枠組みで解析した。このような系は神経活動が結合変化の影響を受ける一方、神経活動に依存して結合もまた時間変化することで多様な振る舞いを示す。解析の結果、3 つの典型的な挙動を示すことがわかった。系の持つ機能性に関してヘッブ的な学習ルールの場合は二値記憶と同等の記憶能力があり、STDP 的な学習ルールではいろいろなタイミングや時間的シーケンスが記憶可能であることを示している。2 番目の研究では，シナプス可塑性（STDP）により形成された神経ネットワークが、外部刺激のパターンを記憶する能力があるだけでなく、外部から一様な同期発火を受けることで、記憶した発火パターン間を学習した順番に従い遷移する現象 (Synchrony-induced switching behavior) が見られることを示す。最後に，神経ネットワークの形成は一般的にどの様な規則で行われているのか、情報量最大化という観点から統一的な理解を試みる。高度な知性を発揮するには再帰的なシナプス結合は不可欠であると考えられるが、そのようなリカレントネットワークでの情報量最大化の理論的研究はあまりなされていない。本研究では、発火状態の遷移の過程において情報損失をなるべく少なくする (Recurrent Infomax) ように構成される学習アルゴリズムを構築し、自発発火から刺激に対する応答までの実験結果を統一的に理解可能であることを示した。以上の結果は、BMI や培養神経系を用いた環境との相互作用の実験的検証を行う次のステップに進む際に、抽象的な意味での移動知の理解の基礎となると考えている。

I. はじめに

神経ネットワークの最も顕著な特徴として、シナプス結合強度が活動パターンに応じて動的に変化する可塑性がある [1], [2]。これは、神経ネットワークの高度で柔軟な情報処理を実現するための学習や記憶の神経基盤であり、活発に研究が行われている。環境に対する適応メカニズムの基盤として、以上のことは極めて重要である。また、そこではＤ班において移動知の基本的原理と推定されている陰的制御則の基礎理論への手がかりがあるのではと考えている。

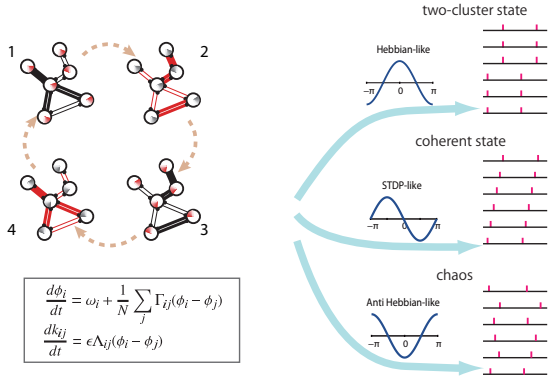


Fig. 1.　結合が前後の振動状態の位相に応じて変化する振動子ネットワーク。周期発火しているニューロンのネットワークと思えば、結合の変化は前後のニューロンの発火タイミングの関数として変化する学習則と見なせる。構造安定に出現する３つの状態は、結合の変化規則がヘッブ則に近い場合は２クラスター状態（２状態の情報を保持）、STDP に近い場合はコヒーレント状態（位相関係の情報を保持）、反ヘッブ則に近い場合はカオス状態を示す。

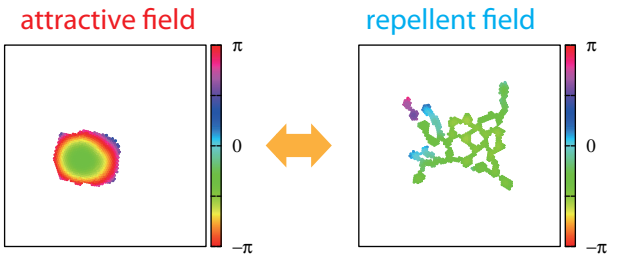


Fig. 2.　移動する振動子集団の典型的な二つの形態。集団は環境が良いときには円状の形を形成し、悪い環境の時はツリー状のネットワーク構造となる。色は振動子の位相を示す。

この４年間を通じて研究した、その根幹に関わる３つの研究結果を以下に報告する。

II. 結合が変化するリミットサイクル振動子集団のダイナミクス

結合が与えられたときの周期発火しているニューロンの力学系は、位相振動子モデルで本質的に記述できることが知られている。問題は、結合の変化規則であるが、前後の２ニューロンの位相差にのみに依存するルールを考える。これは、絶対的な時間ではなく、相対的な時間差が物理的に意味があることの反映である。学習ルールを規定する $\Lambda(\phi)$ や位相の結合関数

$\Gamma(\phi)$ の形に依存して、最終状態はどの様な動的振る舞いが生じるか、系統的に調べておけば、個別的に調べられた今までの知見を見直し、今後の研究にも重要な指針を与えることができるであろう。興味深いことに、学習関数の形に応じて３つの典型的な状態が構造安定なものとして出現することがわかってきた [4]。学習ルールが Hebb 的、すなわち近い位相のニューロンの結合は正の方向へ強化し、異なる位相のニューロンの結合は負の方向へ強めるルールにすると、最終的に２クラスター状態に分かれる。２グループのニューロンの比は初期条件などに応じて色々な値を取り得る。学習ルールが非対称 STDP 的、すなわち位相差の符号に学習ルールが依存する場合、最終的にニューロン間の発火順序を保持するコヒーレントな定常状態に落ち着く。学習ルールは反 Hebb 的なルール、いつまでたっても定常状態に収束せず、カオス状態となる。上の３つの状態において、初期状態に設定した位相と最終状態との間の相互情報量を取ると、コヒーレントな状態が一番情報量が多く、次に２クラスター状態であり、ほぼゼロに近いカオス状態となる。ここから、Hebb 的な学習ルールは２値記憶と同等の連想記憶能力があり、ＳＴＤＰ的な学習ルールは色々なタイミングや時間的シーケンスが記憶可能であることを示している。(図 1)

また、上のモデルの拡張版として、位相勾配に従い移動する振動子が 2 次元平面上において相互作用している系に関しても研究を行った。相互作用は媒質に広がる化学物質の濃度などを通じておこなうことで、実効的結合が変化する可塑的ネットワーク集団と見なせる。この系は、振動数を上昇させる物体に対しては近づく誘引的挙動を，振動数を減少させる物体に対しては離れる忌避的挙動を示す。また振動数変化によってフィールド全体を誘引的状態から忌避的状態に設定することで，集団形態が円状の集団状態から枝状の状態に自発的に変化することがわかった（図 4)。これは、実際に粘菌で観測されている実験事実とも符合する結果である。

III. 同期入力の機能的役割

次の研究では、生理学実験で数多く観測されている状況依存の同期発火に関して、その機能的役割を評価した。その検証のため、興奮性ニューロンと抑制性ニューロンのネットワークモデル考えた。興奮性シナプス結合は STDP の学習ルールに従うものとしており、抑制性結合は一様な固定した結合としている。また、外部入力として二つのタイプの入力を考える。ひとつは刺激入力層であり、試行時の初期パターンや学習時のトレーニング用パターンの入力などを行う。学習時に用いるトレーニングパターンは A,B,C の三つの基本パターンから構成されており、各パターンでは、特定のニューロンが周期的に発火しており、発火しているニューロン同士が特定の位相関係を保っている。学習時には、この３つの基本パターンが決まった順番で刺激入力層に提示される。概念的には、このパターンは外界のある種の事象の因果関係を表現しており、その規則を神経活動パターンに表現したものと見なされる。もう一つの外部入力は活性化入力層と呼ばれるものであり、全てのニューロンへ一様に投射される入力である。この入力は神経ダイナミクスの同期入力の効果を調べるために用いる。神経生理学的観点からは、回路網全体を活性化させるためのバックグラウンド入力と見なせ、各ニューロンが適切な条件下で意味のある発火を行えるように回路全体の活性化を行う入力と考えることができる。活性化入力層には同期・非同期の二つのモードがある。非同期モードでは、スパイク列はポアソン過程によりランダムに生成される。学習時には、常に非同期モードを用いる。同期モードでは、一定比率のニューロンが同期的に発火しており、残りのニューロンはランダムに発火している状態である。その比率の違いにより同期の度合いをコントロールする。本研究では発火率の違いによる効果を排除するため、何れのモードでも、平均発火率は 25Hz の一定の値に設定してある。

本研究での主に問題とするのは以下に説明する事である。STDP 学習を完了した後に、結果として形成された神経ネットワークではどのような神経活動パターンを示すのか?最初に非同期的モードに活性化入力層を設定したケースを考察しよう。そこでは活性化入力層のバックグラウンド入力により、各ニューロンが刺激入力に適切に反応し発火できるようになっており、更に STDP 学習により形成されたリカレント興奮性結合により、刺激入力がなくても発火活動が維持される状況になっている。典型的な発火パターンを図３ a に示した。ネットワークの発火パターンを上図に、活性化入力パターンを下図にラスタープロットとして示した。最初、ネットワークは非同期モードにあり、パターン A の状態に安定している。この場合はネットワークは通常の連想記憶的性質を持っていると考えられる。興奮性シナプス結合に関しては、図３ b に示される通り、３つの基本的な対角ブロックが見られる。これは学習パターンにおける３つの基本パターンを STDP 学習した結果であり、各パターンを連想記憶的に想起することを可能にしている。加えて、非対角ブロックにも結合が存在するが、これは基本パターン間の遷移から形成された結合であり、パターン間の遷移は頻度が少ないことから若干弱い結合となっている。非対角ブロックの結合が弱いことにより、結果として対角ブロックの結合が支配的となり、２つの基本パターンが安定に想

起される結果となる [12]。

興味深いのは、図３ａに示されるとおり、短時間の一様同期入力がこの弱い結合を活性化し、パターン間の遷移を促す事ができる点である。すなわち、活性化入力層が同期モードに短時間スイッチすることで、パターン A からパターン B へ遷移が起こる。更に重要な点は、一様同期入力は、学習時に提示したパターンの順番に従った遷移を引き起こす事ができる点である。力学的観点でこの現象を解釈すると、一様非同期入力の際には、システムは STDP 学習により形成された幾つかのアトラクターをもっている (図３ｃ左)。しかし、アトラクター間の弱い結合により学習されていた遷移のパスを一様同期入力が活性化し、学習した順番に従ったアトラクター間遷移を引き起こすことが可能である (図３ｃ右)。

IV. Infomax for recurrent neural networks

人も含めた動物が移動という手段を獲得した事は、抽象的には外部環境の情報を得て、その内容から生存に有利となるような能動的な最適な行動を取るという意味と、より有用な情報を取得するため自ら移動するという二つの意味があるように思える。そのため、得られた情報を柔軟に処理し行動を決定するための専用の器官として、神経系が発達したと考えられる。それでは、神経系は外部の情報をどの様に処理するのであろうか？外部の情報に基づき学習し環境に適用する神経基盤の原理は何か？その原理の一つとして、情報量最大化の原理 [7] がある。従来の提唱されている理論では、入力と出力のパターンの相互情報を最大化するように回路を決定するもので、高次機能に不可欠と考えられる再帰的結合を考慮した研究はほとんどなされていない。その一番の理由は、再帰結合があると、入力に対する出力が一意に決まらず、履歴やネットワークの構造から決まるアトラクターなどの力学的特性が重要になり、簡単に出力の確率分布および相互情報量が計算できないからである。本研究では、ある種の近似を行うことにより、この困難を克服し、リカレントネットワークでも情報量最大化を行う結合の学習則を導くことに成功した（図４）。導出された学習則は必ずしも局所的なルールではなく、生物学的妥当性には疑問が残る。しかし、この学習則により視覚野のニューロンの刺激選択性 [8] や、自発発火状態における synfire chain[9]、間欠的バースト発火などの現象 [10] が統一的に説明できる。図５に結果の一例として、学習後に示された間欠的バースト発火を示した [11]。特に、バーストサイズの冪的振る舞いが再現できているのが興味深い。これ以外にも、抑制性シナプス結合は比較的一様に広く弱い結合が形成されるが、興奮性結合はごく少数の特定の強い結合が形成される事も示さ

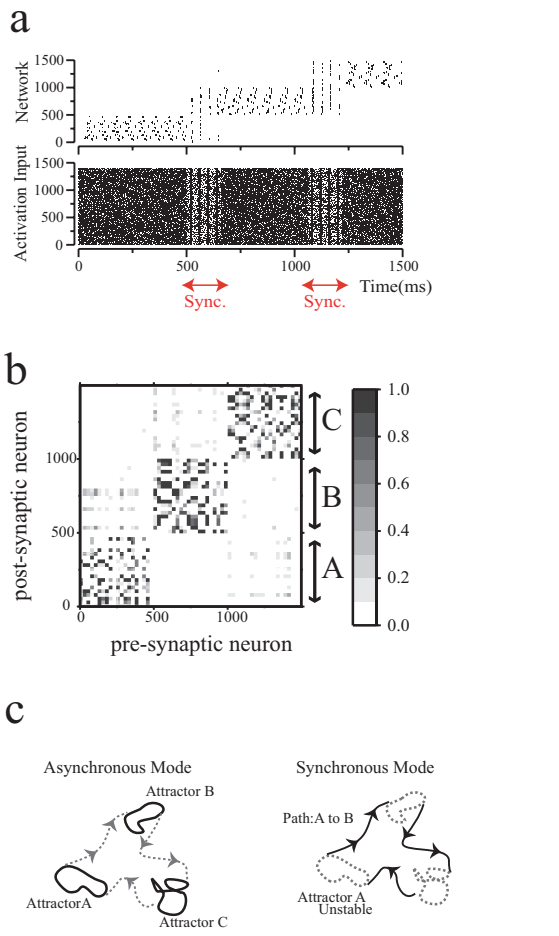


Fig. 3. STDP 学習後の神経ネットワークにおける一様同期入力の典型的な効果。a:同期入力によるアトラクター遷移の様子。活性化入力層が非同期モードの時は、特定の学習したパターンのいずれかが持続的に発火する。一時的に同期モードにすることで、学習時に遷移した順番に従い、パターンの遷移が起こる。b:STDP 学習後の興奮性シナプス結合（最大値で規格化）記憶した３つのパターンに対応する対角ブロックパターン (A, B and C) が見られる。また、非対角ブロックには、学習時に提示した順序に応じた弱い結合 (A → B, B → C, and C → A) が見られる。c. 力学系として見たときの同期入力の効果の概念図。同期により、学習していたパターン間の因果関係を読み出す事ができる。この際、一様な同期入力で良いことが重要であり、同期はパターンの因果関係を読み出す一種のコードとしての役割を果たす。

れており、これは高次の情報を処理する神経系一般に見られる事と合致する。

V. 結論と今後の課題

最初の結果は、同期スパイクは生物において、外界の刺激と一連の行動を関係づけるシグナルの役割を果たしている可能性を示唆している。この結果から、神経ネットワークのダイナミクスの特性を変化させることで、情報の流れをコントロールすることが、同期発火活動の一つの可能な役割ではないかと推測できる。また、実際に実験で観測された認知や行動

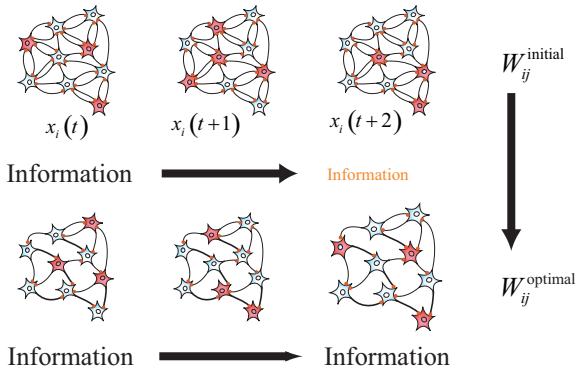


Fig. 4. 再帰結合のある神経ネットワークのの情報量最大化 (Recurrent Infomax)。時間的に変化する発火パターンの前後の情報量を最大化するように結合を構成する。

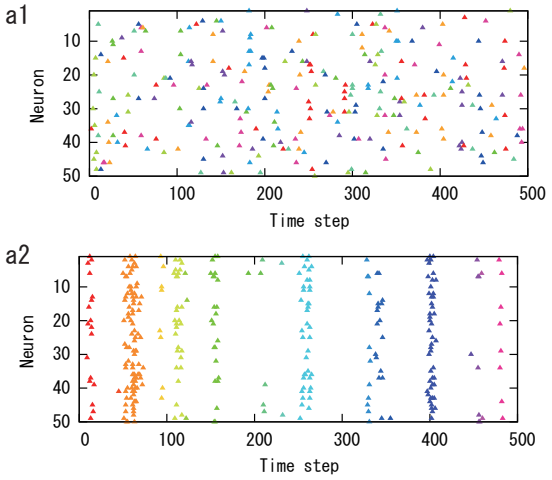


Fig. 5. 信頼性が低い神経細胞（入力が十分強いのに発火する確率が 50%）のネットワークにおける学習前後の自発発火状態。ランダムな発火の学習前 (a1) から間欠的なバースト状の発火に学習後 (a2) は変化する。

に伴った神経同期活動を、これらの結果を用いて再解釈することが可能ではないかと考えている。次に、リカレントネットワークでの情報量最大化の原理によるシナプス結合形成の理論であるが、これは情報を最大限活用して環境に適応する為には極めて自然な原理である。また、この原理から神経系の情報処理との関係が不明瞭な自発発火状態（バーストサイズの冪分布等）の現象が説明できることも興味深い。今後、これらの知見を基礎に、ブレインマシンインターフェイスや培養神経系の実験データの解析を行い、具体的に環境との相互作用や情報と移動の関係など、更に踏み込んだ研究を進めていく予定である。

VI. ACKNOWLEDGMENTS

本研究の成果に関して、共同研究者の野村真樹博士、青木高明博士、田中琢真博士に感謝する。

REFERENCES

[1] D. O. Hebb, *The Organization of behavior: A Neuropsychological Theory*. Wiley, New York, 1949.

[2] G. Q. Bi and M. M. Poo, “Synaptic modifications in cultured hippocampal neurons: dependence on spike timing, synaptic strength, and postsynaptic cell type,” *J. Neurosci.*, vol. 18, pp. 10 464–10 472, Dec. 1998.

[3] H. Cateau and T. Fukai, “Local synchrony formed by spike-timing-dependent plasticity working on asynchrony-favoring neurons,” *Neurosci. Res.*, vol. 58, p. S53, 2007.

[4] T. Aoki and T. Aoyagi, “Co-evolution of phases and connection strengths in a network of phase oscillators,” *Phys.Rev.Lett.*, vol. 102, Issue 3, pp. 034101, 2009.

[5] E. Salinas and T. J. Sejnowski, “Correlated neuronal activity and the flow of neural information.” *Nat. Rev. Neurosci.*, vol. 2, pp. 539–550, 2001.

[6] G. Q. Bi and M. M. Poo, “Synaptic modifications in cultured hippocampal neurons: dependence on spike timing, synaptic strength, and postsynaptic cell type.” *J. Neurosci.*, vol. 18, pp. 10 464–10 472, 1998.

[7] R. Linsker, “Self-organization in a perceptual network,” *Computer*, vol. 21, no. 3, pp. 105–117, 1988.

[8] A. J. Bell and T. J. Sejnowski, “An information-maximization approach to blind separation and blind deconvolution.” *Neural Comput.*, vol. 7, no. 6, pp. 1129–1159, 1995.

[9] M. Abeles, *Corticonics*. Cambridge: Cambridge. Univ. Press, 1991.

[10] J. M. Beggs and D. Plenz, “Neuronal avalanches in neocortical circuits,” *J. Neurosci.*, vol. 23, no. 35, pp. 11 167–11 177, Dec 2003.

[11] T. Tanaka, T. Kaneko and T. Aoyagi, “Recurrent infomax generates cell assemblies, neuronal avalanches, and simple cell-like selectivity .” *Neural Comput.*, vol. 21, no. 4, pp. 1038–1067, 2009.

[12] T. Aoki and T. Aoyagi, “Synchrony-induced switching behavior of spike pattern attractors created by spike-timing-dependent plasticity.” *Neural Comput.*, vol. 19, no. 10, pp. 2720–2738, 2007.

ばらつきを許容する生体の運動計画とその実現アルゴリズム

西井淳
山口大学大学院理工学研究科

***Abstract*—**高い自由度をもつ身体を有す生体がなんらかの運動を行うとき，この自由度を如何に拘束し，そして活用するかが問題となる。本年度はヒトの歩行とバッタの跳躍について, その運動のばらつきを手がかりにして冗長な自由度を束ねる関節間協調がどのように働いているかを検討した。その結果，ヒトの二足歩行においては遊脚中に足を前に降り出す際のつまづき易い瞬間や地面から衝撃をうける接地の瞬間などにおいては関節間協調 (シナジー) を用いて巧みに足先の位置や速度を調整している事がわかった。さらにバッタの跳躍においては胴体の回転を抑える関節間協調が働いていることを確認した。本稿ではこれらの結果を概説し，また，バッタの関節間協調は簡潔な陰的制御で実現されていると考えられることを説明する。

I. はじめに

20 世紀前半に活躍したロシアの生理学者 Bernstein は，運動における重要な問題は自由度を操ることにあると考え「運動の巧みさ」と関連づけて議論した [1]。そして,「熟練した鍛冶屋は正確に一定の位置を鎚で打つにも関わらずその関節軌道にはばらつきがある」と指摘し, 生体は冗長な自由度を駆使してタスクを達成する一方で，タスク達成において重要でない点にはあまり注意を払っていないと述べた。実際に生体の様々な運動を計測してみると, 十分習熟していると思われる運動であってもその運動軌道にはある程度のばらつきが観察される。この試行毎の運動軌道のばらつきを分析することにより, 生体が様々な運動を行う際に注意を払っている点がどこかを知ることができれば, 生体が運動実行時に如何に自由度を拘束・活用して適応的な運動を実現しているか，その制御メカニズムを知る手がかりにもなる。以下ではこのような運動のばらつきによりヒトの歩行やバッタの跳躍においてどのように冗長な自由度が活用されているかを関節間協調に注目して解析した結果を示す。

II. 歩行における関節間協調

筆者らはこれまでに, ヒトの二足歩行時の遊脚軌道は着地直前の足の引き戻しを条件とする消費エネルギー最小規範に基づいた軌道に近いことを示唆する結果を得てきた [2]。また，着地直前の引き戻しは着地時の衝撃を抑え歩行の安定化に重要であることことがいくつかの研究により示されている [3], [4]。ヒトの歩行時の脚運動軌道にはばらつきが存在するが (図 1)，もし着地直前の引き戻しが上記のように歩行の安定化に重要ならば，着地直前の足先位置もしくは速度のばらつきは抑えられているはずである。この際，単に各関節角のばらつきを抑えるだけでなく，股，膝，踝関節の関節間協調を活用している可能性もある。本研究ではこのような関節間協調は実際に存在するか，さらに着地以外の時刻においても歩行の安定化に寄与するような何らかの関節間協調が存在するのかを股関節に対する足先の運動に注目した UCM 解析によって検討した [5], [6], [7]。

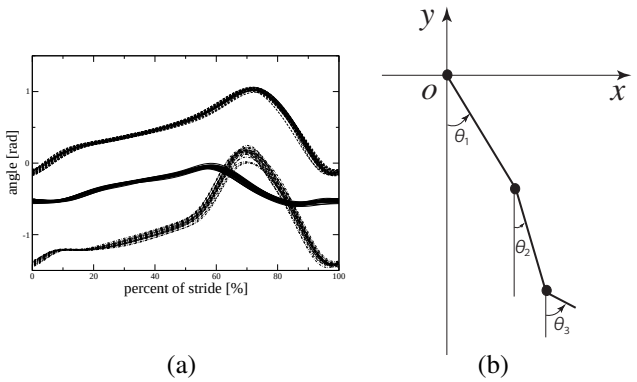


図 1.　ヒトの歩行中の関節角度変化。(a) は時刻 0%のとき上から順に股関節角度 (実線)，膝関節角度 (破線)，踝関節角度 (一点鎖線) を示す。時刻 0%は接地開始時刻であり，時刻 100%は遊脚終了時刻である。股，膝，踝関節角度の定義は (b) に示す。

A. 実験手法

1) 歩行計測方法*:* 被験者の体側片側の股，膝，踝の各関節と第五中足骨の基部 (以下では足先と書く) に反射マーカーをとりつけ, トレッドミル上で 3, 4.5, 6 km/h で歩行する際の矢状面上の様子をモーションキャプチャシステム (ひまわり SP200，ライブラリ社製) により 200fps で撮影した。取得データは遮断周波数 6Hz の 6 次バターワースフィルタによってスムージングを行った。被験者は健常な 20 代 4 名で，被験者には実験の目的は伝えていない。計測前にはトレッドミル上の歩行に慣れるための練習も行なった。

2) 関節運動のばらつきの解析*:* 関節運動のばらつきの解析に用いた UCM 解析について簡単に述べる。UCM とは，冗長な変数 (関節角度等) がタスク達成という拘束下でつくる多様体を指す [8]。例えば，股関節に対する足先の目標位置を実現するための股，膝，踝関節角度の組合せは無

山口大学大学院理工学研究科，753-8512　山口市吉田　1677-1
nishii@sci.yamaguchi-u.ac.jp

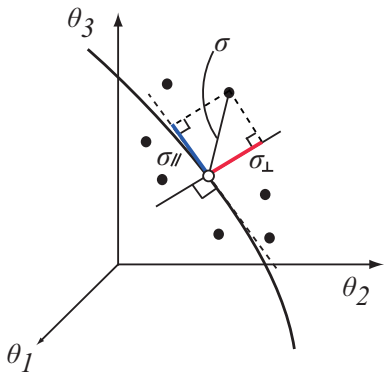


図 2. UCM に注目したばらつきの解析。座標軸は脚の各関節角度を, 黒丸は歩行における着地等のある注目した瞬間における一歩毎の関節角度を，また，白丸はその平均値を表し，曲線はこの足先の平均位置を実現しうる角度の組合せ (UCM) を表す。$\sigma^{\parallel}$ および $\sigma^{\perp}$ は白丸で表す点における UCM の接線方向および接線に直交する方向の偏差をあらわす。前者は足先の位置には影響を与えない偏差成分であり，後者は影響を与える偏差成分である。

数にあり，その関節角度の組合せの作る多様体を UCM と呼ぶ。例えば，歩行中の脚が接地する瞬間に注目し, その 1 歩毎の姿勢を比べたとき, 関節角度にはばらつきがあっても腰に対する足先位置が変化していないならば，脚関節は足先位置のばらつきを抑える関節間協調 (シナジー) があると判断する。この場合の UCM は, 腰に対する足先の平均位置を実現する関節角の組み合わせを表現する多様体であり, 一歩毎の関節角がこの UCM 上に分布するならば関節間協調により足先位置が調整されていることを意味する。本研究での具体的な解析方法は以下の通りである。

本研究では，各被験者に対してそれぞれ歩行中の 25 周期 (接地開始時から遊脚終了時まで) の関節角度軌道を計測し，歩行周期で正規化した。このときの k 歩目の軌道を ${}^{k}(t) = \left(\theta_1^k(t), \theta_2^k(t), \theta_3^k(t)\right)^T$ で表す (図 1(b))。ここで，添字 $i = 1, 2, 3$ はそれぞれ股，膝，踝関節を表す。さらに被験者毎に平均軌道 $\bar{}(t) = \left(\bar{\theta}_1(t), \bar{\theta}_2(t), \bar{\theta}_3(t)\right)^T$ を計算し，これに対する 1 歩毎の偏差 $\boldsymbol{\sigma}^k(t) = {}^{k}(t) \quad \bar{}(t)$ の分布に対して UCM 解析を行った。

もし, 偏差 $\boldsymbol{\epsilon}(t) = \quad (t) \quad \bar{}(t)$ が次式を満たすならばその偏差は足先の高さ $y(\ )$ に影響を与えない。

$$\nabla y \cdot \boldsymbol{\epsilon} = 0$$

このような偏差を $\boldsymbol{\epsilon}^{\parallel}$ と以下では書く。各試行毎の角度の偏差 $\boldsymbol{\sigma}^k(t)$ を $\boldsymbol{\epsilon}^{\parallel}(t)$ 方向に射影した成分の大きさが足先の高さに影響を与えない偏差成分であり, その大きさの平均値を $\sigma^{\parallel}(t)$ と書く (図 2)。また，上 $\boldsymbol{\epsilon}^{\parallel}$ に直交する $\boldsymbol{\sigma}^k$ の成分の大きさが足先の高さに影響を与える偏差成分であり, その大きさの平均値を $\sigma^{\perp}(t)$ と書く。

各関節角度のばらつき成分のうち，$\sigma^{\parallel}$ が $\sigma^{\perp}$ より大きければそこには関節間協調が存在していると言える。そこ

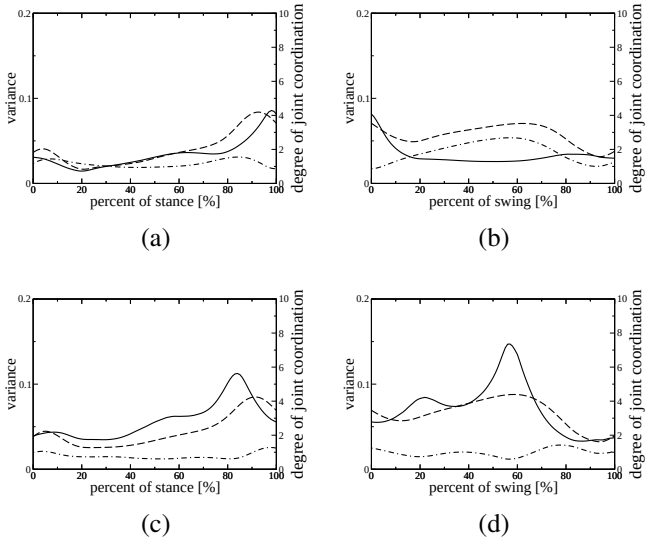


図 3. 歩行中の腰に対する足先位置に注目した脚関節間協調. (a) と (b) はそれぞれ股関節に対する足先の水平位置のばらつきを抑えるような協調があるかに着目して，また，(c) と (d) は股関節に対する足先の高さのばらつきを抑えるような協調があるかに着目してそれぞれ接地相と遊脚相について解析した結果である。(a)(b) において実線は協調度 S_x, 破線は $\sigma_x^{\parallel}$, 一点鎖線は $\sigma_x^{\perp}$ を表し, (c)(d) において実線は協調度 S_y, 破線は $\sigma_y^{\parallel}$, 一点鎖線は $\sigma_y^{\perp}$ を表す。歩行速度は時速 4.5 km であり, 4 人の被験者それぞれの歩行データについて UCM 解析を行った結果を平均したものである。

で，次式で与えられる値を協調度を表す指標 S とした。

$$S(t) = \frac{\sigma^{\parallel}(t)}{\sigma^{\perp}(t)}.$$

以上では, 股関節に対する足先の高さのばらつきを抑える関節間協調があるかについて解析する方法を紹介したが，本研究では関節に対する足先の水平位置, 高さ, 速度の水平成分, 鉛直成分のそれぞれに関してばらつきを抑えるような関節間協調があるかを調べた。以下ではそのそれぞれに関する協調度等の記号に x, y, vx, vy という添字をつけて区別する。

B. 実験結果

1) 足先位置のばらつきを抑える関節間協調について*:* 図 3 は, 時速 4.5km の歩行において股関節に対する足先の水平位置と高さのばらつきを抑える関節間協調があるかについて UCM 解析を行った結果である。これらの図より, 歩行の周期ほぼ全体に渡って協調度 S_x, S_y の値が 1 より大きく，足先の位置のばらつきを減らす関節間協調が存在することがわかる。ただし, S_x はやや低い値にとどまっており, 関節間協調は足先の水平位置よりも高さの調整に活用されていることを示している。

接地相においては両脚支持期に入る接地時刻 83%の付近で協調度 S_y が高くなっており，両脚支持に入る際の腰の高さのばらつきを抑える関節間協調が生じていることがわかる (図 3(b))。遊脚期には接地期よりも，全般に協調度

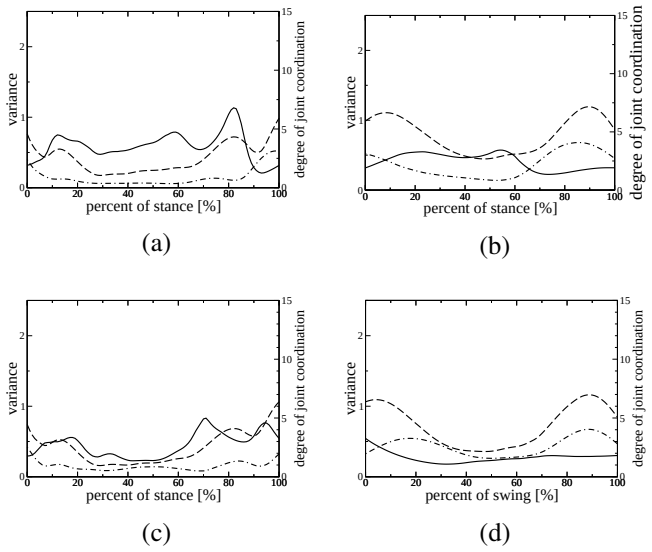


図 4. 歩行中の腰に対する足先速度に注目した脚関節間協調. (a) と (b) は股関節に対する足先速度の水平方向成分のばらつきを抑えるような協調があるかに着目し，また (c) と (d) は股関節に対する足先の垂直方向成分のばらつきを抑えるような協調があるかに着目してそれぞれ接地相と遊脚相について解析した結果である。(a)(b) において実線は協調度 S_{vx}, 破線は $\sigma^{\parallel}_{vx}$, 一点鎖線は $\sigma^{\perp}_{vx}$ を表し, (c)(d) において実線は協調度 S_{vy}, 破線は $\sigma^{\parallel}_{vy}$, 一点鎖線は $\sigma^{\perp}_{vy}$ を表す。歩行速度は時速 4.5km であり, 4 人の被験者それぞれの歩行データについて UMC 解析を行った結果を平均したものである。

S_y が高く (図 3(c)(d))，特に遊脚中期の足先が最も床に近づく時 (遊脚時刻 60%頃) には，協調度 S_y が著しく増加する (図 3(d))。このことは関節間協調により足先の高さを調整することでつまづきを回避している事を示唆する。また，遊脚終期 (遊脚時刻 95%付近) から着地にかけては $\sigma^{\parallel}_x$, $\sigma^{\perp}_x$, $\sigma^{\parallel}_y$, $\sigma^{\perp}_y$ のいずれも減少しており (図 3(b)(d))，接地時には脚姿勢が一定になるように制御されていることを示唆する。以上の結果は計測を行ったどの歩行速度に関してもほぼ共通して観察される結果であった。

2) 足先速度のばらつきを抑える関節間協調について*:* 図 4 は, 時速 4.5km の歩行において股関節に対する足先速度の水平成分と垂直成分のばらつきを抑える関節間協調があるかについて UCM 解析を行った結果である。協調度 S_{vx}，S_{vy} はいずれも歩行周期のほぼ全体に渡って 1 以上の値となっており，股関節に対する足先の速度のばらつきを減らすような関節間協調が生じていることがわかる。また, 接地相において両脚支持期の開始前 (接地時刻 20%付近) と終了前 (接地時刻 80%付近) において S_{vx} が大きくなっており, 股関節の水平方向成分のばらつきを低く抑える関節間協調が働いていることがわかる (図 4(a))。

遊脚終期から着地 (時刻 95-100%) においては，$\sigma^{\parallel}_{vx}$, $\sigma^{\perp}_{vx}$, $\sigma^{\parallel}_{vy}$, $\sigma^{\perp}_{vy}$ いずれの値も減少する (図 4(b)(d))。すなわち，毎回着地における足先の着地速度を一定にすることで，着地時に床から受ける衝撃を同程度にしていると考えられる。以上の結果は計測を行ったどの歩行速度に関してもほぼ共通して観察される結果であった。

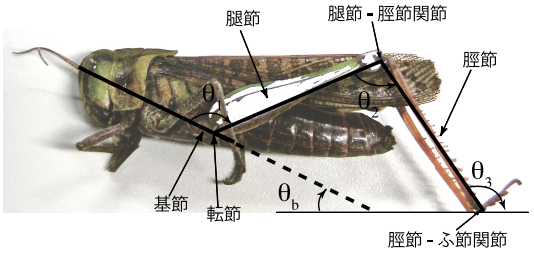


図 5. トノサマバッタの関節。腿節は, 撮影画像において位置を確認しやすくするために着色している。

C. 歩行における関節間協調

以上の結果より，ヒトの歩行においては関節間協調が活用されており, 特に両脚支持期開始時の腰の高さや，両脚支持期開始・終了時の腰の水平速度のばらつきを抑える関節間協調は強く働いていることがわかった。さらに，着地直前における遊脚の足先の位置と速度のばらつきも抑えられている事も実験結果は示している。はじめにも述べたように，着地直前の脚のひきつけ運動が歩行安定化に有効であることがいくつかの研究により示唆されており，特に Wisse は着地時の脚の速度制御が安定化に有効であることを数理的手法で述べている [3]。本研究結果は，ヒトはこのような速度制御に加えて両脚姿勢の調整も行うことによって歩行の安定化を図っていることを示唆している。また，遊脚中期の足先が最も床に近づく時にも足先位置の鉛直方向のばらつきを抑えるような関節間協調が顕著にみられた。脚歩行ロボットを製作する際，遊脚時に足が地面に接触しないように前に振り抜くことは，転倒をさけるための重要なポイントの 1 つであるが，ヒトは関節間協調を活用して，つまずきを防いでいる事を本研究結果は示唆している。

III. バッタの跳躍における姿勢制御

トノサマバッタの跳躍は，跳躍開始から離陸までの数 10 ms 程度の間に後肢で強い力を出して実現されている。生物の脚で出すことが出来る力は関節まわりの回転を生むトルクであるので，各関節トルクの組み合わせを綿密に計画しないと, 跳躍時に胴体は回転してしまうはずであるが, 多くの場合跳躍における胴体の回転は抑えられている。では，跳躍時の脚軌道は実際に綿密に計画されており跳躍毎のばらつきは少ないのだろうか。それとも, 脚軌道には跳躍毎にばらつきがあるが関節間の協調によって胴体の回転を抑えているのだろうか。この問題を考察するために, トノサマバッタ (*Locusta migratoria*) の跳躍運動についても UCM 解析を行った。

A. 実験方法

バッタの跳躍の様子を高速度カメラ (ひまわり SP200, ライブラリ社製) により 1000fps で撮影し, 体軸, 基節-転節

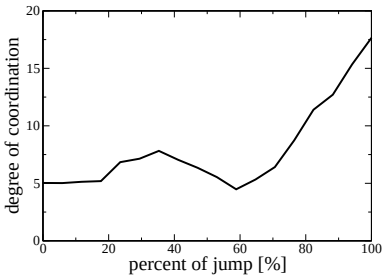


図 6. トノサマバッタの跳躍動作中の関節間協調. 体軸の水平面に対する角度が変化しないような関節間協調の大きさ S を示す。

関節, 腿節-脛節関節, 脛節-ふ節関節の角度を計測した (図 5)。体軸の角度は計測したその他の関節角度を使って表現できるが, その関係式より体軸の角速度を 0 にするような関節間協調が見られるかを調べるために跳躍の各瞬間について UCM 解析を行った。解析に用いたバッタは 4 匹であり，それぞれの 7 回から 20 回の跳躍について，前肢が地面が離れてから後肢の脛節-ふ節関節が地面から離れるまでの時間で関節軌道を正規化したデータについて UCM 解析を行い，その 4 匹の解析結果の平均を求めた。また，以下ではこの解析の対象とした期間における運動を跳躍運動と呼ぶことにする。

B. 実験結果

図 6 は, 跳躍動作の各瞬間において体軸の水平面に対する角度を一定に保つ関節間協調の度合い S を示しており, 常に高い関節間協調が生じていることがわかる。バッタが跳躍により移動するためには, 関節トルクを発生する際の仕事が胴体の回転エネルギーに奪われるのは得策ではない。上記の結果は, バッタは跳躍において関節間協調によって効果的に筋肉による仕事を跳躍のための運動エネルギーに変換していることを示唆する。

IV. 関節間協調を生むメカニズム

前節でバッタの跳躍において体軸の回転を抑えるような関節間協調が観察されることを示した。バッタの跳躍を観察すると跳躍中に脚を滑らしたときにも体軸の回転は起きにくい。前節での解析の対象とした跳躍運動は長くても 20 ms と極めて短時間のものであるので, 神経系により関節運動をフィードバック制御しているとは考えにくい。どうやらバッタは非常に簡潔な仕組みでこのような関節運動を実現しているようである。跳躍運動の原動力は腿節-脛節関節部にある半月状器官と脛節部の腱 (apodeme) に蓄えられた弾性エネルギーを解放することによって得られている。バッタの重心位置はほぼ基節部の位置と一致するが, 基節部の関節の回転摩擦を無視でき，跳躍時に発生する力は腿節-脛節関節部のトルクのみと仮定すると, 跳躍中に重心に常に同じ方向の力を加えることができ, 実際の跳躍中のバッタの重心運動をよく説明することができる [9]。同じ仮定にたてば，胴体を回転させることなく跳躍運動を行えることは容易に推察出来る。このバッタの例は，関節間協調を行っているように見える運動が, 実は極めてシンプルな物理系のデザインで実現されているらしいという点で魅力的に思われる。

ヒトの歩行における関節運動に関してはどのようなメカニズムが背景に隠されているかはまだ不明であるが，2 関節筋により複数の関節間に物理的拘束を作る等の簡潔な方法で実現している可能性もある。この点の検討は今後の課題である。

V. まとめ

本稿ではヒトの歩行やバッタの跳躍の運動において関節間協調が巧みに活用されていることを紹介した。また，バッタの例では関節間協調が物理系の設計により容易に実現出来る場合があることを紹介した。特に移動等の生物にとって生存に関わる基本的な運動については, 物理系の活用により神経系による制御を単純化した陰的制御が活用されていることが多いと考えられる。なんらかの関節間協調が生体の運動に観察された時，その実現プロセスが神経系等の制御によるのか，バッタの例のように物理系が駆使された陰的制御が活用されているのかを判断することは必ずしも容易ではない。しかし, この点を考察することは生体が進化の過程で獲得してきた適応的な運動を実現する仕組みを知る上で非常に重要であると考えられる。

REFERENCES

[1] N. A. ベルンシュタイン, デクステリティ 巧みさとその発達 (訳：工藤和俊，佐々木正人), 金子書房, 2003.

[2] A. Fujii, H. Suenaga, Y. Hashizume, and J. Nishii, “Variability of leg swing trajectories and their optimality,” *Proc. of 4th International Symposium on Adaptive Motion in Animals and Machines*, pp. 173–174, Jun 2008.

[3] M. Wisse, C. G. Atkeson, and D. K. Kloimwieder, “Dynamic stability of a simple biped walking system with swing leg retraction,” *Lecture Notes in Control and Information Sciences*, vol. 340, pp. 427–443, 2006.

[4] 松野 善幸, 石田 怜, 大脇 大, 西井 淳, 石黒 章夫, “適応的動作のための筋肉群の時空間励起方策,” 第 20 回自律分散システム・シンポジウム資料, pp. 273–278, 2008.

[5] S. Kaichida, Y. Hashizume, and J. Nishii, “An analysis of leg trajectories of human walking from the view point of joint coordination,” *Proc. of the 3rd International Symposium on Mobiligence 2009*, pp. 409–412, 2009.

[6] 垣内田 翔子, 橋爪 善光, 西井 淳, “ヒトの歩行における脚運動制御の考察,” 第 24 回生体・生理工学シンポジウム論文集, pp. 287–290, 2009.

[7] S. Kaichida, Y. Hashizume, and J. Nishii, “An analysis of joint coordination during human walking,” *Abstract of Progress in Motor Control 2009*, pp. A1–43, 2009.

[8] J. P. Scholz and G. Schöner, “The uncontrolled manifold concept: Identifying control variables for a functional task,” *Exp Brain Res*, vol. 126, pp. 289–306, 1999.

[9] M. Burrows and G. Morris, “The kinematics and neural control of high-apeed kicking movements in the locust,” *J Exp Biol*, vol. 204, pp. 3471–3481, 2001.

真正粘菌変形体の環境依存の動的ネットワーク形成による適応行動と機能創発

高松 敦子 [1,*], 加川 友己 [1,†], 伊藤 昌明 [1], 岡本 力 [1], 横谷佳世子 [1],
五味 拓真 [1], 平井友 [1], 遠藤辰弥 [1], 荒船智史 [1], 渡邊 晋 [1],
松本 秀明 [1], 手老 篤史 [2,3], 中垣 俊之 [2]
[1] 早稲田大学 先進理工学部 電気・情報生命工学科,
〒 112-0004 東京都新宿区大久保 3-4-1
[2] 北海道大学　電子科学研究所,
〒 060-0812 北海道札幌市北区北 12 条西 6 丁目
[3] 科学技術振興機構　さきがけ

***Abstract*— 真正粘菌変形体 (*Physarum polycephalum*) は多核単細胞のアメーバ様細胞である。細胞の厚みを振動させながら環境中を這いまわり、環境からの情報を細胞の状態・形態にフィードバックしながら行動する。一見、特異な生物だが、「移動知」という概念から見た場合、生物実験系のモデル生物として最適な生物システムのうちの１つであろう。**

この細胞は振動性の細胞であり、どの部分を人工的に切り取ってきても細胞の機能を失うことなく独立な細胞として振動し行動できるので、ほぼ同一の要素が集合した要素集団系（結合振動子系）として捉えることができる。この細胞全体を眺めて見ると管状構造のネットワークで構成されている。管内では原形質流動という往復流動が見られ細胞の部分間、つまり、要素間の相互作用はこの流動を通して行われている。興味深いことに、この細胞は環境の状況に応じてその形態 (管ネットワークの形態) と振動周期を著しく変化させる。つまり、管ネットワークの幾何が生物としての機能に大きな影響を与えていることが予想される。

本研究では、管ネットワークのトポロジーと形態に着目し、各環境でのネットワークの構造解析を行った。その結果、忌避環境では、Tree-graph 状のネットワークを形成し、限られた材料で効率的に現環境から遠くへ触手を伸ばしていることがわかった。このとき、Tree-graph 状の形態が低燃費であることも酸素消費量を計測により確かめた。一方、誘引環境では、太い管から細い管をフラクタル的に分岐させたメッシュ状のネットワークを形成し、誘引物質表面との接触面積を最大限にした形態をしていることがわかった。これらのことから粘菌において形態による環境適応機構の存在を明らかにした。本研究で着手した数理モデルを発展させ、適応機構のメカニズムを明らかにすることが残された課題である。

I. はじめに

生物は体中に酸素や栄養分を行き渡らせるために輸送管ネットワークを形成している。我々ヒトを含めた動物でいえば、血管ネットワークであり、植物でいえば葉脈や道管などである [1]。個体群にまで拡張すれば、蟻補食時のトレイルパターン [2] やヒトが作る道路網 [3]、さらには人工物として電力網なども含まれる。これら輸送管ネットワークの形態は生物の種、状況に応じて異なっており、その結果、何かしら生物としての機能差が生じているはずである。本稿では、真正粘菌変形体 *Physarum polycephalum* という巨大なアメーバ様の原生生物を例に輸送管ネットワークの形態による環境適応機構を探る。

*atsuko_ta@waseda.jp, †現所属:早稲田大学 ナノ理工研究機構

II. 真正粘菌変形体から学ぶ

真正粘菌変形体 (以降、単に粘菌と呼ぶ) は、細胞サイズが数ミリからメートル単位にまでおよぶ。この細胞を２つに切り分けても別々の個体として生存でき、逆に、２つの細胞を接触させておくと１つの細胞に融合して１個体として行動する。このような切り貼りが可能なのは、１つの細胞に多数の核を含む多核単細胞生物だからである。単細胞としては非常に大きな細胞体を維持するために、粘菌は細胞自体が輸送管ネットワークであるという特殊な形態を発達させた。粘菌は細胞の厚みを振動させながら環境中を這い回り、拡がっていく。その際、ネットワーク状に張りめぐらされた管状構造が形成される。この管の中では原形質流動という流れが生じており、細胞内小器官とともに栄養分、酸素などが細胞の隅々まで運搬される。

粘菌は変形菌と呼ばれ細胞の形は自由自在に変化する。しかも、環境に応じてその形は特徴的である (Fig. 1) [4]。栄養分が豊富で培地の表面が足場として堅固な場合には、全体の形は薄いシート状となる。一方、忌避物質を含ませた足場の弱い軟らかい培地上では、樹状となる。

本研究では、外部環境に応じて輸送管ネットワーク形態が著しく変化する現象について、(1) 環境依存のネットワーク構造の特徴を抽出し、(2) 環境適応の観点から生物機能がどのように機能的、効率的になっているかを調べ、粘菌の輸送管ネットワークの適応機構の解明を目指す。

III. 環境依存形態解析 (横谷, 高松) [4]

まず、環境パラメータに応じて、形態がどのように変化するか定量的に調べた。Fig. 1 には、環境パタメータとして、誘引物質濃度 (オートミール抽出液濃度)、忌避物質濃度 (KCl 濃度)、培地表面の硬さ (寒天濃度) を設定し、培養８時間後の形態をまとめたものを示している。これらの形態について、フラクタル次元、円形度、面積、扁平度などを調べ定量化した。また、形態先端の拡がり角、培地との接触角を調べ、変形体先端と環境との局所的な相互作用も定量化した。これらの結果に基づいて後述する §VII で、粘菌パターン形成のネットワーク上の数理モデル化を行った。

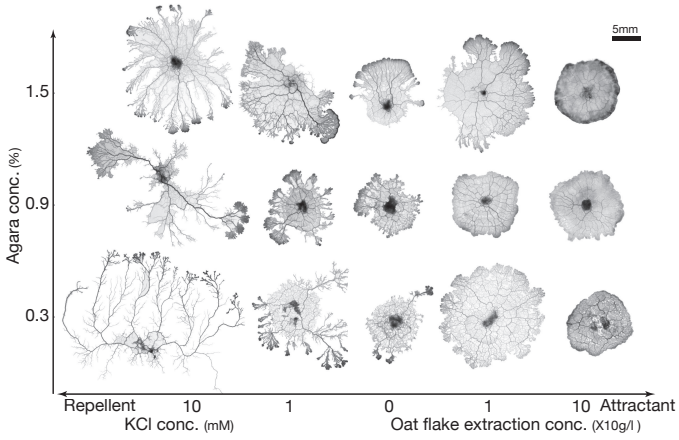


Fig. 1. Environment dependent morphology in plasmodium of *Physarum polycephalum* [4]. After 8 hours cultivation under constant temperature at 25° and humidity at RH85 %. Initial weight of plasmodia were 0.005 ± 0.001 (g).

IV. ネットワークトポロジーの解析 (伊藤) [5]

ここでは、粘菌の輸送管ネットワークのトポロジーを次のように定義した。管構造のつながりにだけ注目し、管が合流する点を頂点 (vertex)、合流点間を結ぶ管構造を辺 (edge) と定義して頂点間の連結情報を調べた [5]。

これらの頂点とリンク情報から、粘菌輸送管ネットワークトポロジーについて、通常の複雑ネットワーク解析でよく用いられる平均次数 (mean degree; 隣接頂点数の平均値) $< k >$、クラスター係数 (Clustering coefficient) C、平均頂点間距離 (mean node-node distance) L [6]、2 次元上ネットワーク解析に有用であるメッシュ度 (Meshedness coefficient) M [7] を計算した。

代表的な結果を Fig.2 に示す。誘引環境と忌避環境の 2 つの環境条件において培養した粘菌の成長過程を観察した。その画像に基づいてネットッワーク解析し、頂点数 n と、平均頂点間距離 L およびメッシュ度 M との関係として示している。

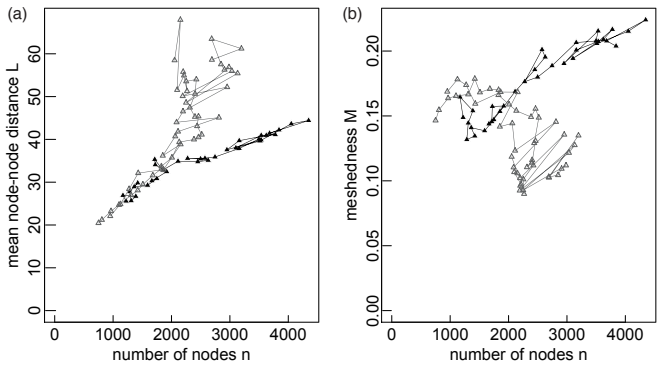


Fig. 2. Mean node-node distance and meshedness.(a)n-L plot. (b)n-M plot. Closed triangles and open triangles denote the data for 1.5 w/v% agra medium with 10 w/v% oat extract and 0.3 w/v % agar medium with 10 mM KCl, respectively. Lines are connected in order of time.

平均頂点間距離 L は、ネットワークがどれだけ拡がりを持つかの目安となる。Fig.2(a) に頂点数 n と平均頂点間距離 L の関係を示している。誘引環境の場合には L はゆっくりとした増加傾向にあり、一方、忌避環境の場合には途中までは誘引環境より少し早いか、ほぼ同じ増加傾向を示すが、あるノード数を境に急激に L をのばしているのがわかる。

メッシュ度 M は 2 次元平面上のネットワーク内の任意の多角形面がつくるサイクル構造の密度を示す [7]。Fig.2(b) に各条件における頂点数 n とメッシュ度 M の関係を示している。M はネットワークを構成するサイクルの構造がどのような多角形であるのかを見積もるのに直感的に役立つ。例えば、Tree-graph であれば $M = 0$, 六角格子では 0.15–0.25, 四角格子では 0.65–1.00 と見積もられる。このことから、粘菌輸送管ネットワークは 6 角格子と Tree-graph の中間の形状であり、誘引環境では 6 角格子に近く、忌避環境で Tree-graph に近いネットワークとなっていると言える。

V. ネットワーク形態の解析 (岡本) [8], [9]

2 次元平面上を広がるネットワークでは、次数よりも頂点間相互作用強度の方が、また、辺の数として数え上げた頂点間距離よりも実長さの方が、ネットワークの特徴を知る上でむしろ重要な指標となると考えられる。そこで、それぞれに対応して、管径や管実長さの分布を粘菌の成長過程において調べた。誘因環境では、培養初期ではあまりはっきりとした管構造は形成されないが、次第に管径の分布は小さいものから大きいものまで指数またはべき分布的な連続的分布をしていること、別の言い方をすると、フラクタル構造をとることがわかった。一方、無栄養あるいは忌避環境では、培養初期では連続的な分布をしているものもあるが、次第に太い管 (0.3mm 前後) が形成され、最終的に 0.3–0.4mm にピークを持つ分布となることがわかった。このことは、2 次元上のネットワークでは、スケール・フリー的な性質が相互作用強度分布に埋め込まれていることを示唆するかも知れない。忌避環境では、その構造が崩れることも興味深い。今後、分布検定も含めた精緻な解析が必要である。

VI. 粘菌振動パターン (高松) [9]

粘菌は振動性細胞であり、ネットワーク形態に依存して振動パターンが変化することが期待される。誘引環境初期の細かい管で構成されたメッシュ状のネットワークでは、波長の短い螺旋パターンが観察された。一方、忌避環境の太い管で構成された樹状のネットワークでは、波長の長い横断的な振動波パターンが観察された。§VII で述べるネットワークモデルで、この観測事実と比較する。

VII. ネットワークモデル (加川, 高松) [4], [10]

ここでは、環境依存の粘菌の輸送管ネットワーク形態について簡単な数理モデルに基づいた検証を試みる。§III では、粘菌と環境の局所的な相互作用が環境に依存することを明らかにした。その観測事実基づき、三角格子上に頂点と辺が成長するセルオートマトン的モデルを構築した。本モデルでは、誘引物質と忌避物質の含有量に応じて辺の広がる範囲を変化させ、また、培地の硬さの応じて、新しい頂点を設定する確率を変化させた。その結果を、Fig.3 に示している。Fig. 1 と比較するとよく再現出来ていることが確認できる。このことから、変形体では、環境との局所

相互作用と、変形体内での局所相互作用でマクロなパターンが形成されていることが示唆された。

次に、ネットワーク形状に依存した振動パターンについて、結合振動子モデルを構築して観察した。ここでは、同心円状に広がるメッシュ状ネットワークを用意し、動径方向と円形方向の結合強度を変化させ、擬似的にメッシュ状のネットワークと木グラフ状のネットワークを生成した。その結果、§VI で観察された振動パターンの一部が、ネットワーク形状の応じて生成されることを確認した。

ここで述べた、ネットワーク生成モデルと、結合振動子モデルを組み合わせることで、より現実的な粘菌数理モデルを構築し、次に述べる、粘菌の環境適応行動生成のメカニズムを数理的立場から明らかにすることが、今後の課題である。

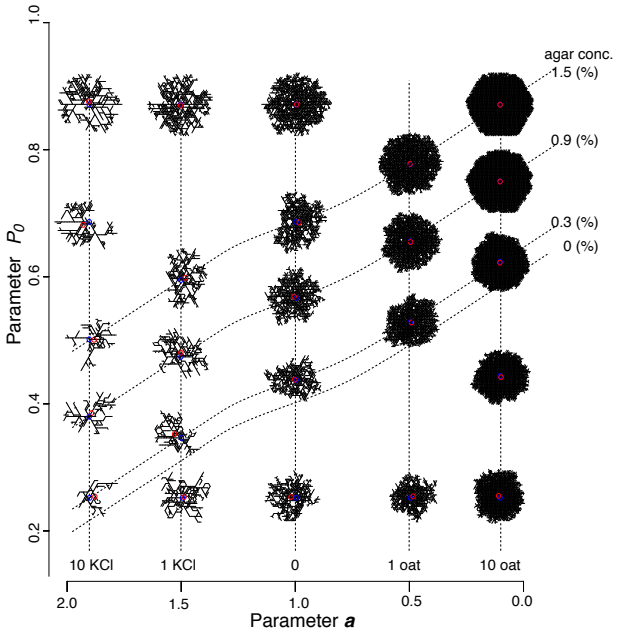


Fig. 3. Simulation results with the network growth model. Only edges are shown with lines. The diameter of the triangle lattice plane is 29: the maximum numbers of vertices and edges are 1519 and 4422, respectively. Blue circles show initial positions. Red circles show centroids of the final patterns. Dashed lines denote the parameter values for the experimental conditions.

VIII. 粘菌ネットワーク形態と生物機能 (五味, 平井, 遠藤, 横谷, 高松

粘菌が環境に応じて形態を変化させることは、生物機能としてどのような役割があるか考察するために、まず、様々なネットワーク形状におけるエネルギー消費量 (単位時間あたりの酸素消費量) を計測した。栄養状態、培養時間などの条件はそろえ、ネットワークの形態だけを制御した粘菌を用い、ネットワークの形態と酸素消費量関係を調べた結果を Fig.4 に示した。ここで、ネットワーク形態の指標としてフラクタル次元を用いている。フラクタル次元が低下するに応じて、酸素消費量も低下することが示された。つまり、忌避的状態の粘菌ネットワークはエネルギー消費も最低限となる低燃費型のネットワーク形状であることがわかつった。

次に、粘菌の振動パターン、管成長、行動の関係を調べた。Fig. 5 に、成長する粘菌で観察された振動パターン (振動数分布) の時系列変化と、重心座標の移動の対応関係を図示している。成長の初期過程では、振動数分布は 1 つのピークを持つが、しばらくすると、高振動数成分と低振動数成分に分岐する。そのとき、粘菌の移動が始まり、中間環境および忌避環境では、最終的に低振動数成分が残り、移動が継続する。このとき、管径の分布は比較的太いところにピークを持つことがわかっている。つまり、太い管径によるネットワークが、ゆっくりとした、また、長波長の振動を生成し、それが、効率的な移動を生成すると考えられる。

さらに、複雑な環境における粘菌の行動を調べるために、２つの異なる環境の境界に粘菌を置き、その時の成長パターンと移動の様子を調べた。Fig.6 に、境界の左右に広がる粘菌の面積比をプロットしたものを示す。左右で誘引・忌避のはっきりとした環境差がある場合、粘菌は忌避環境には全く広がることなく、誘引環境をすぐさま選択している (a)。一方、左右の環境差が曖昧なとき、一旦一方の培地に移動するが、その後、逆の培地に少し移動し、さらに、また逆というように、いわば ”迷い”のような行動を示す。最終的に、一方向の培地を選び、その後は迷うことなく行動する様子が見られた (b)。このとき、それぞれの培地に広がる粘菌の形態は、これまでに見てきた環境依存のパターンとほぼ同様のパターンが見られた。この”迷い”行動の中にこそ、移動知の本質が隠されている可能性がある。

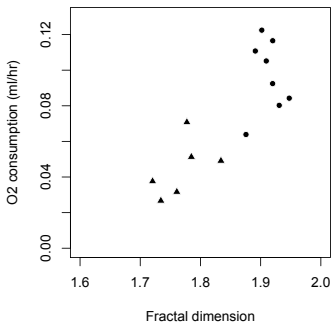


Fig. 4. Relation of oxygen consumption with fractal dimension in tree-structured plasmodium in 0.3 % agar medium (triangles) and mesh-structured plasmodium in 1.5 % (circles). Weights of plasmodium are 0.10 ± 0.01 (g).

IX. その他の取り組み (渡邊, 手老, 中垣, 松本, 荒船)

この他に、モジュラーロボットとの比較行動解析[1]、鉄道ネットワークにおける輸送量最適化 [11]–[13]、粘菌の位相応答曲線解析 [14][2]の問題に取り組んだ。

X. まとめと今後の課題

本研究では、まず、環境に依存して形態を変える粘菌輸送管ネットワーク形態の定量的解析を行った。メッシュ度の解析結果から、誘引環境では 6 角格子状に近いネットワークを形成し、忌避環境では Tree-graph 状に近いネットワークを形成していることがわかった。しかし、頂点数と

[1]東北大学 清水, 石黒との共同研究
[2]京都大学 大田, 青柳との共同研究

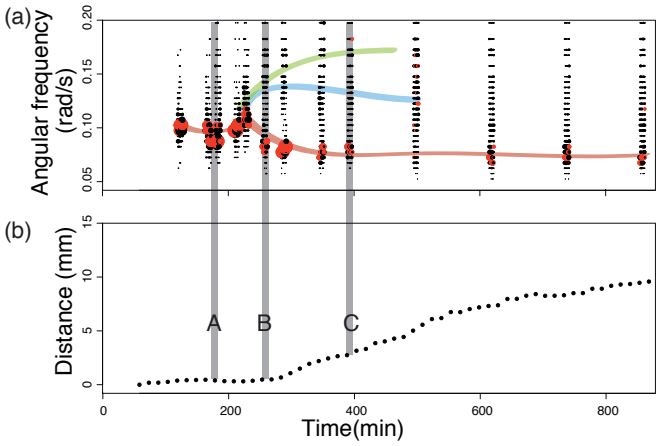


Fig. 5. Bifurcation of oscillation frequency (a) and trajectory of centroid position (b). (a) The density of oscillation frequency versus time were plotted with dots whose diameter are proportional to the frequency density. The large dots represent the main peaks in the histograms. Hand-writing curves follows the primary, second and third peaks in the histograms. (b) Centroid position of the plasmodium calculated from the binary image was plotted. Origin was set when the plasmodium was set up at first. Plasmodium was cultured at neutral conditions, 0.9 w/v% agar medium without chemicals.

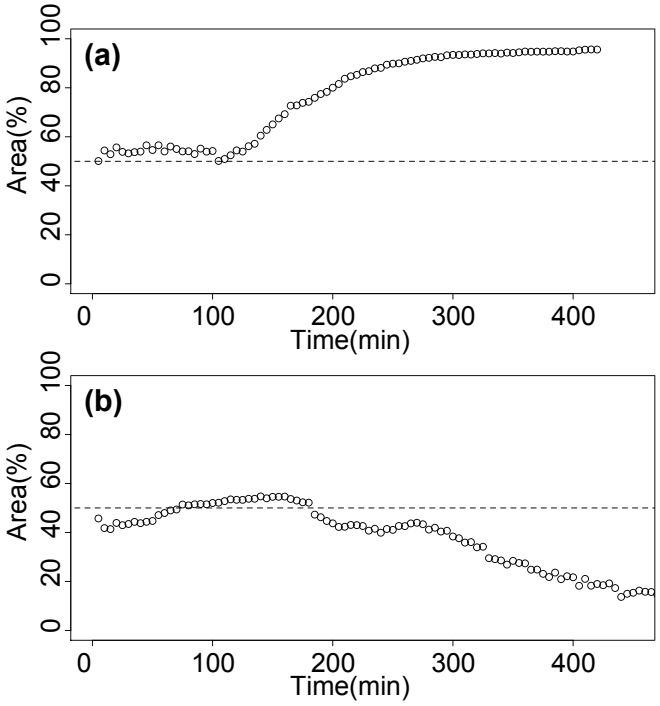


Fig. 6. Determination behavior placed at a boundary of two different conditions (a) Nutrient contained (up) vs harmful condition (down); 0.9 % agar with 1 w/v % oat extract and 0.3 % agar with 10 mM KCl. (b) Nutrient contained (up) vs hard substrate (down); 0.9 % agar with 1 w/v % oat extract and 1.5 % agar without chemicals.

平均頂点間距離の関係の解析から格子または Tree-graph において頂点が一様に付け加えられて成長するようなネットワークではないことがわかった。頂点数の時系列データから、特に、忌避環境では途中から頂点が減少している様子が見られる。このことから、ネットワークの成長過程で頂点および辺が生成・消滅するような過程を考える必要があり、現在その解析を行っている。

第 II 節で掲げた粘菌の輸送管ネットワークの適応機構の解明という最終ゴールに対しある程度の成果を得た。これまでの観測事実に基づいて環境適応機能について次のように定性的にまとめられる。忌避環境にいる粘菌は限られた材料で、低燃費で、また、きるだけ触手を遠くまで伸ばしより良い環境を発見する最も効率の良い形状は Tree-graph 状である。一方、栄養培地にいる粘菌はできるだけそこから移動しないように、また、密度の高いネットワークをフラクタル的に張りめぐらし効率よく栄養分を吸収するために格子状のネットワークを形成するのがよさそうである。しかしこのことを科学的に議論するには実際に移動効率はどうか、栄養分の吸収・輸送効率はどうか、異なる環境の発見確率は Tree-graph 状のとき本当に高いのか、という点について定量的に計測していく必要がある。それらの結果と比較可能なネットワーク形成の数理モデルを構築し、迷い行動も含めた適応的行動のメカニズムを明らかにすることが今後の大きな課題である。

REFERENCES

[1] Nelson, T. and Dengler N., Leaf cascular pattern formation. The Plant Cell, 9, 1121-1135 (1997).

[2] Burton J. L., and Franks, N. R., The foraging ecology of the army ant *Ection rapax* An Ergonomic enigrama? Ecol. Entomol. 10, 131-141 (1985)

[3] Barthélemy, M. and Flammini A., Modeling urban street patterns. Phys. Rev. Lett, 100, 138702 (2008).

[4] Takamatsu, A., Takaba, E. and Takizawa,G., Environment-dependent morphology in plasmodium of true slime mold *Physarum polycephalum* and a network growth model. J. theor. biol. , 256, 29-44 (2009).

[5] 伊藤 昌明, 高松 敦子, 生物の輸送管ネットワークの環境適応機構から学ぶ, 第 51 回自動制御連合講演会予稿集, 336-340 (2008).

[6] Newman M. E. J., The Structure and Function of Complex Networks, SIAM Review, 45, 167-256 (2003)

[7] Buhl, J., Gautrais, J., Solé, R. V., Kuntz, P., Valverde, S., Deneubourg, J.L., Theraulaz, G. Efficiency and robustness in ant networks of galleries. Eur. Phys. J. B 42, 123-129 (2004).

[8] 岡本力, 伊藤昌明, 高松敦子 (2010) 真正粘菌変形体の成長過程における輸送管ネットワークの形態解析, 第 22 回自律分散システム・シンポジウム資料, pp.165-170, 名古屋大学

[9] A. Takamatsu, R. Okamoto, M. Ito, and T. Gomi, (2009) “Adaptation by environment-dependent-dynamical network in Physarum”, Proceedings of 3nd International Symposium on Mobiligence in Awaji, 357-360.

[10] Y. Kagawa and A. Takamatsu, “Synchronization and spatiotemporal patterns in coupled phase oscillators on a weighted planar network”, *Phys. Rev. E*, Vol. 79, pp. 046216, 2009.

[11] S. Watanabe, A. Tero, A. Takamatsu, T. Nakagaki, “Raid grid optimization by an algorithm inspired from Physarum”, Proceedings of 3nd International Symposium on Mobiligence in Awaji, 399-402.

[12] S. Watanabe, A. Tero, A. Takamatsu, T. Nakagaki, “Rail grid optimization by an algorithm biologically inspired from an amoeba-like organism of true slime mold”, Proceedings of the 2009 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, Hokkaido, 356-359.

[13] 渡邊晋, 手老篤史, 高松敦子, 中垣俊之 (2010) 粘菌アルゴリズムを用いた鉄道路線の輸送量最適化, 第 22 回自律分散システム・シンポジウム資料, pp.131-136, 名古屋大学

[14] 松本秀明, 高松敦子, 太田絵一郎, 青柳富志生 (2009) 重み付きスパイクトリガー平均法を用いた真正粘菌変形体における位相応答曲線の計測, , 第 15 回創発システム・シンポジウム, 富山

生体の運動習熟過程の計測とモデル化

川村 貞夫，満田 隆，植村 充典，関本 昌紘，伊坂 忠夫 （立命館大学）

I．はじめに

本究では，人間が習熟によって消費エネルギーの少ない運動を実現できることに注目する．スポーツや作業の熟練では，高速又は高精度な運動をするために，適切に脱力することが重要と考えられる．このような運動の習熟過程を解明するために，本研究では，人間の運動計測から得られた特徴を基盤に，筋骨格モデルやロボットモデル等の数理モデルにおいて，運動の習熟モデルを提案する．筋骨格系を有する人間の運動制御は，複雑な制御系を必要とするように思える．しかし，本研究からは，感覚器から筋肉への線形変換等の構造が簡単な方法によって，運動の習熟モデルを構築できることを示す．線形変換等によって，目標とする運動が実現でき，エネルギー消費が少なくできる事実は，人間のような筋骨格系の動力学や運動学の特徴を生かした方法の存在を示したこととなる．これらは，本「移動知」で考える陰的制御[1]と理解することもできる．結果的に本研究で対象とする多関節構造体での運動制御では，従来必要と思われてきた運動学，動力学，逆運動学，逆動力学等が必要ないことを数理モデルによって示す．本研究の全体構成をFig．１に示す．

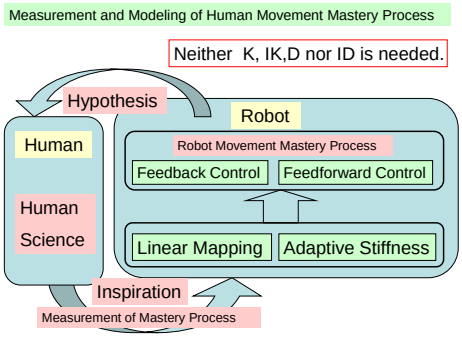


Fig.1 Realization of a movement mastery process model

II．生体計測

人間の上肢平面運動を実験対象とし，Fig.２に示す実験環境を設定する．手先運動負荷と手先位置計測のために，平面内を動く２関節アームを製作した．実験中，被験者はアーム先端部にあるハンドルを把持している．弾性力場を与えるために，それぞれの関節部分にはバネ（バネ定数：4.52N/mm）が取り付けられており，このバネ弾性力が被験者の手先に加わる．また，被験者の手先位置は，アームの関節部分に取り付けられたロータリーエンコーダ情報とアームの幾何学情報から計算され，運動中，目標位置とともに，リアルタイムでディスプレイ上に表示される．ディスプレイ上の手先位置は，目標位置の半径4[cm]未満にあるときには青色，それ以外のときには赤色で表示され，運動中，被験者はそれを確認できるようになっている．さらに今回は，手先情報計測とともに，表面筋電計測装置(ML880PowerLab 16/30 (AD instruments 社製)，DL-141(S&ME社製))を用いた，６つの筋：上腕二頭筋，上腕三頭筋外側頭，腕橈骨筋，大胸筋，三角筋後部，上腕三頭筋長頭の筋電図計測（サンプリング：4kHz）を行った．

目標運動は，Fig.2に示すようなy軸方向に0.2[m]離れた２点間の周期運動とし，2[s]で１往復する正弦波が目標軌道関数として与えられた．実験は，１往復の運動を１回の運動として全部で196試行，試行毎に止めることなく，リズミカルに行われた．この実験では，持続的な筋の緊張状態が続くため，運動中の疲労を考慮し，被験者の自己申告により途中で適度（7～8回程度）の休憩を取った．

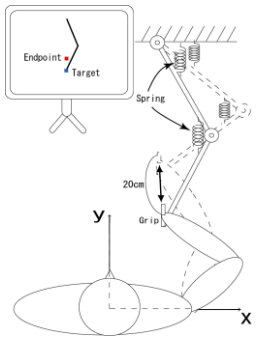


Fig.2 Experimental system

これらの表面筋電計測結果から，試行を重ねるにつれて，上腕三頭筋長頭，大胸筋には有意な傾向は見られなかったものの，上腕二頭筋，腕橈骨筋，上腕三頭筋外側頭には増加傾向，三角筋後部には減少傾向が見られた．全体として，顕著に習熟過程を表面筋電のみから明確に示す結果は見いだせなかった．ただし，被験者からのヒアリングでは，運動に習熟するにしたがって，不必要な筋の緊張は緩むとの報告があった．

III．適応剛性による運動の省エネルギー化

A．関節剛性と運動パターンの同時適応制御

人間の歩行等を観察すると，重力から発生するポテンシャルエネルギーと各関節の弾性エネルギーの特徴をうまく利用して，筋が発生するエネルギーを小さくしていると思われる．すなわち，歩行運動習熟によって，弾性と能動的筋活動を，巧妙に補い合う制御を実現していると思われる．そこで，本研究では多関節構造体の最小トルク周期運動生成が、関節速度の線形フィードバックにより実現できることを利用する[2][3]．その上で，本研究ではロボットの関節剛性と運動パターンを適応的に調節することで，最小トルクで歩行運動を生成する制御方法を提案した．運動パターンの調節則には遅延フィードバックの構造を用いた．

B. 問題設定

本研究では，下記のようなロボットのダイナミクスを対象とする．

$$\mathbf{R}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}}+\left\{\frac{1}{2}\dot{\mathbf{R}}(\mathbf{q})+\mathbf{S}(\mathbf{q},\dot{\mathbf{q}})+\mathbf{D}\right\}\dot{\mathbf{q}}+\mathbf{g}(\mathbf{q})+\mathbf{K}(\mathbf{q}-\mathbf{q}_e)=\boldsymbol{\tau} \quad (1)$$

周期運動を生成しながらアクチュエータトルクを最小化することが本研究の目的である．そこで，評価関数J は以下のように設定する．

$$J=b\int_0^T \boldsymbol{\tau}^T\mathbf{A}^{-1}\boldsymbol{\tau}\mathrm{d}t \quad (2)$$

C. 最適アクチュエータトルク

式（２）の評価関数を最小化するアクチュエータトルク $\boldsymbol{\tau}_{\mathbf{opt}}$ は，次式のように関節速度 $\dot{\mathbf{q}}$ の線形フィードバックで表せる[2]．

$$\boldsymbol{\tau}_{\mathbf{opt}}=\mathbf{A}\dot{\mathbf{q}} \quad (3)$$

この関係は，エネルギーに基づいた解析や，ハミルトン・ヤコビの方程式を用いた解法で示せる．

本解析結果は，速度の線形フィードバックにより最小トルクで周期運動を生成できるという意味で，従来の線形システムで用いられてきた共振と一致する．よって，本解析結果は従来の共振を多関節構造体に拡張したものとみなせる．

D. 制御則

本研究では，以下のような制御則を提案する．

$$\boldsymbol{\tau}=-\mathbf{K}_{\mathrm{v}}\left(\dot{\mathbf{q}}-\dot{\mathbf{q}}_{\mathbf{d}}\right)+\hat{b}\mathbf{A}\dot{\mathbf{q}} \quad (4)$$

$$\dot{\hat{b}}=-\gamma_a\dot{\mathbf{q}}^T\left(\dot{\mathbf{q}}-\dot{\mathbf{q}}_{\mathbf{d}}\right) \quad (5)$$

$$\dot{\mathbf{q}}_{\mathbf{d}}(t)=(1-\alpha)\dot{\mathbf{q}}_{\mathbf{d}}(t-T)-\alpha\dot{\mathbf{q}}(t-T) \quad (6)$$

$$\dot{\mathbf{k}}=\boldsymbol{\Gamma}\mathbf{Q}\left(\dot{\mathbf{q}}-\dot{\mathbf{q}}_{\mathbf{d}}\right) \quad (7)$$

提案制御則は、式（4）の $-\mathbf{K}_{\mathrm{v}}\left(\dot{\mathbf{q}}-\dot{\mathbf{q}}_{\mathbf{d}}\right)$ と式(6)の遅延フィードバックの構造と式(5)，(7)のパラメータ調節則により構成される．遅延フィードバックにより $\dot{\mathbf{q}}\to\dot{\mathbf{q}}_{\mathbf{d}}$ となれば、式(4)は式(3)の最適制御と一致する．また，$\dot{\mathbf{q}}\to\dot{\mathbf{q}}_{\mathbf{d}}$ は周期運動を生成することも意味する．よって，本制御則は制御対象の詳細な情報や複雑な数値計算を用いずに，周期運動を最小トルクで生成できることが特徴である．

E. シミュレーション

提案方法の有効性を確認するため，数値シミュレーションを行った．シミュレーションモデルは，Fig. 3 の歩行ロボットとした．シミュレーションの結果，提案制御則は周期運動を生成しつつ，アクチュエータトルクは式(3)の状態になった．よって，最小トルクで歩行運動を生成できることが確認できた[4]．

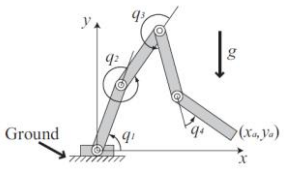


Fig. 3　Simulation Model

IV. ２関節６筋モデルの線形変換による運動制御

A. 概要

ここの対象モデルは，Fig. 4のような２関節６筋のアームモデルである．アーム手先の視覚情報を得て，どのように筋肉を運動させるかが問題となる．ただし，問題を簡略化するために，感覚器から筋肉への運動には動的遅れはないと仮定する．したがって，ここでの目的は，冗長・干渉駆動系である筋骨格構造について，感覚から運動への線形変換によって，フィードバック制御およびフィードフォワード制御の実現を示すことである．さらに，初めの運動時には拮抗的配置の筋肉の両方が緊張し，運動の習熟に伴って，不必要な拮抗筋の緊張が少なくなる運動習熟の過程を実現する方法を提案する．

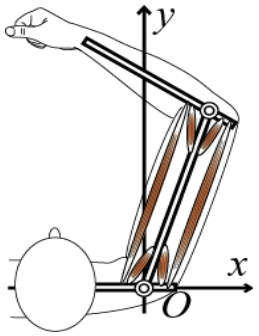


Fig.4 Arm Model with 2DOF and 6 muscles

B. 手先座標から筋長へのマッピングの線形性評価と二関節筋を利用したマッピングの対角化

視覚目標へのリーチング動作は通常，アームの逆運動学，つまり目標位置のデカルト座標からアームの関節角度へのマッピングによって行われる．この変換は非線形式として表される．一方，位置をデカルト座標ではなく視空間座標として表現すると，手先位置から関節角度への変換が線形式で近似できることが示されている[5]．マッピングが線形式としてあらわされると制御を単純化できる．本研究では，上記研究を筋骨格モデルに適用して，手先位置と筋長のマッピングの線形性を評価した．視空間は，輻輳角と視線方向角で定義される．上肢は肩関節と肘関節で構成される２リンク２関節モデルとし，水平面を運動するものとする．本研究では以下３つのモデルを用いて筋長を計算した．

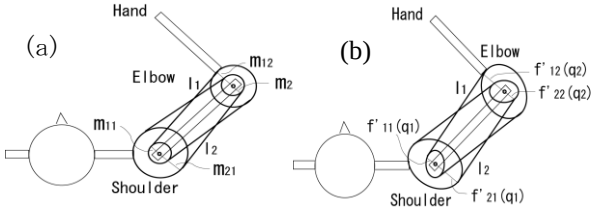


Fig.5　musculo-skeletal models

モデル1　プリーモデル（Fig. 5（a））
　　モーメントアームが一定としたモデル．
モデル2　筋が骨格に直接付着したモデル(Fig. 4)
モデル3　Pigeonらによる解剖モデル[6]
　モデル1における単関節筋の長さは関節角度に比例

するので，筋長と手先位置のマッピングは線形近似できる．また，モデル2とモデル3では，上腕二頭筋の筋長が頭部からの距離のみで線形近似できることがわかった．

この知見の工学的応用として，モデル1における肩関節と肘関節のモーメントアーム比を調節することによりマッピングを対角化する手法を提案した．つまり，上腕二頭筋の筋長は頭部からの距離のみに比例し，上腕三頭筋の筋長は頭部からの方向のみに比例する筋骨格モデルを提案した．Fig. 5(b)に示すようにプーリー形状を変えて，モーメントアームが関節角度によって変化するモデルを採用すると，マッピングの線形化と対角化の近似精度をあげることができる．上腕二頭筋に対してモーメントアームの最適化を行ったところ，解剖モデルのモーメントアームと類似の結果が得られた．

C. 線形変換によるフィードバック制御

Fig. 4に見られるアームの関節トルク $\boldsymbol{\tau}$ (2x1) と筋張力 $\boldsymbol{\alpha}$ (6x1) の間には次式の関係が成り立つ．

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{W}(\mathbf{q})\,\boldsymbol{\alpha} \tag{8}$$

ただし，$\mathbf{W}(\mathbf{q})$ (6x2) は行列であり，$\mathbf{q}$ (2x1) は関節角度ベクトルである．（詳細は参考文献［8］）

ここで，本研究では次のロバストセンサフィードバック制御則を提案する．

$$\boldsymbol{\alpha} = \mathbf{M}\left[\,\mathbf{K_p}(\mathbf{x_d} - \mathbf{x}) - \mathbf{K_v}\dot{\mathbf{x}}\,\right] \tag{9}$$

ただし，$\mathbf{M}$ (2x6) は適切な定係数行列であり，$\mathbf{K_p}$ (2x2) は位置フィードバックゲイン行列，$\mathbf{K_v}$ (2x2) は速度フィードバック行列，$\mathbf{x}(t)$ (2x1) はアームの手先位置を表すベクトル，$\mathbf{x_d}$ (2x1) は手先の目標位置を表すベクトル，$\dot{\mathbf{x}}$ は速度ベクトルである．ここでは，簡単化のため重力は無視する．

もし，運動学的パラメータが正確に求まる場合，行列 $\mathbf{M}$ は容易に次式のように設定できる．

$$\mathbf{M} = \mathbf{W}^{+}\mathbf{J}^{\mathbf{T}} \tag{10}$$

ただし，$\mathbf{W}^{+} = \mathbf{W}^{\mathbf{T}}(\mathbf{W}\mathbf{W}^{\mathbf{T}})^{-1}$ (6x2) は擬似逆行列であり，$\mathbf{J}$ (2x2) は関節座標系から作業座標系へのヤコビ行列である．制御系の安定性と目標位置 $\mathbf{x_d}$ への収束性は理論的に示されている [7]．しかしながら，各座標間の関係が正確に求まらない場合，運動学パラメータは誤差が含まれる．パラメータ誤差に対する制御系のロバスト性は，人間の運動制御にとって非常に重要と考えられる．本研究では，ロバスト性が確保される条件として，次式の関係を明らかにした[8]．

$$\mathbf{WMJ} > \mathbf{0} \tag{11}$$

シミュレーション結果でも，行列 $\mathbf{M}$ の要素が定数であっても安定な動作が実現されることを確認している．具体的には，(12)式のような定数行列を設定した．手先は目標位置に収束し，各筋間の内力は適当な範囲に収まった．筋が収縮力しか発揮できないことを考慮

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & -1 & 1 \end{bmatrix}^{T} \tag{12}$$

し，本シミュレーションでは式(9)の $\boldsymbol{\alpha}$ の各要素が負になったとき，筋力は 0 に設定した．

運動の安定性はリアプノフ関数を用いて証明され，幾何学的条件，PDゲイン比条件，ゲイン条件が明確に得られた．さらに，シミュレーション結果から筋骨格構造ロボットで，目標運動に収束することが確認された．詳細は参考文献［8］参照されたい．

筋力 α を正に保った状態での制御を可能とするために以下のPIDフィードバック制御も可能である．

$$\alpha = M\left[K_p(x_d - x) - K_v\dot{x} + \int_0^t K_i(x_d - x)d\sigma\right] + \alpha_0$$

$$\alpha_0 = \begin{bmatrix} 60 & 60 & 60 & 60 & 60 & 60 \end{bmatrix}^{T} \tag{13}$$

ここで，注目すべきは，筋力同士の内力を構成するバイアス項 α_0 も適当な定数で与えてよいことである．すなわち，筋ベクトルの運動方向と内力方向がお互いに干渉している状態でも目標値への収束は保証されることが示された．

D. 線形変換によるフィードフォワード制御

目標運動を時間的な軌道として与え，この目標運動を繰り返し動作の過程で実現する「繰り返し学習制御」を適用する．運動学習は以下に示される．

$$\begin{aligned} \alpha_k &= M\left[K_p(x_d - x) - K_v(\dot{x}_d - \dot{x})\right] + \alpha_{fk} + \theta\alpha_0 \\ \alpha_{fk} &= Mf_k \\ f_{k+1} &= f_k + \Phi(\dot{x}_d - \dot{x}) \end{aligned} \tag{14}$$

ただし，$\theta = 60, \quad \alpha_0 = \begin{bmatrix} 1, 1, 1, 1, 1, 1 \end{bmatrix}^{T}$

運動学習後のシミュレーション結果で各筋力の時間変化をFig.6に示す．この場合も，(12)式の線形変換行列を

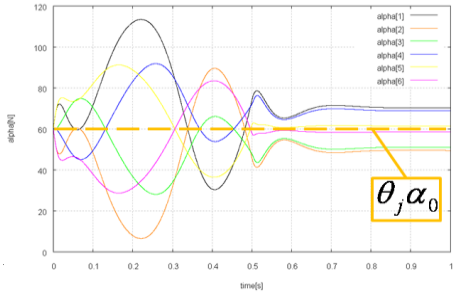


Fig.6 Simulation results of each muscular force

利用する．すなわち，センサ座標系での軌道追従誤差を適当な線形係数行列Mによって変換し，筋力として運動学習を行う．その際，筋配置等の幾何学的な情報を利用していない点が特徴である．

E. 筋内力低下の習熟モデル

Fig.6の結果は，筋力αの各要素をすべて正とできる．しかし，θを大きく設定する必要がある．これは，拮抗筋にあらかじめ大きな内力を与えることになる．人間が未習熟時に拮抗筋をすべて緊張させている状態に近い．習熟によって拮抗筋の不要な筋力を減少させるモデルは以下のように構成できる．

$$\alpha_{kj} = M\left[K_p\left(x_d - x\right) - K_v\left(\dot{x}_d - \dot{x}\right)\right] + \alpha_{fkj} + \theta_j \alpha_0$$

$$\alpha_{fkj} = Mf_k$$

$$f_{k+1} = f_k + \Phi\left(\dot{x}_d - \dot{x}\right)$$

$$\theta_{j+1} = \lambda\theta_j \quad 0 < \lambda < 1 \qquad (15)$$

Fig.6に示されるように，繰り返し学習制御で得られた筋力αの各成分で，θの値（θ＝60）以下の部分を削除して，再度繰り返し学習制御を行う．この学習過程の繰り返し回数をｊと表記する．θの値以下で開始した学習制御によって得られる筋力αの各成分は，ゼロに近い成分が少なくなっているので，ｊ＝２のために，θの値にλ（０＜λ＜１）をかけて，次のθｊとする．本シミュレーションでは，λ＝0.9とした．この結果，ｋ＝１５，ｊ＝１３で，各筋力は，Fig7に見られるような形となり，目標運動を正確に実現しつつ，拮抗筋の緊張は低減されたパターンを獲得した．

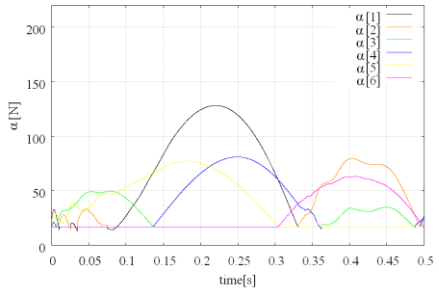


Fig.7 Simulation result of internal force reduction

Ⅴ. おわりに

人間の運動習熟で重要と思われる関節の弾性の適応調節および筋骨格系の内力の低下を可能とする運動学習モデルを提案した．通常，人間では筋の弾性要素のために，内力が大きい場合には関節剛性も高まり不自然な運動を生み出している．筋構造に剛性特性を入れて，剛性の視点からも運動の習熟を検討することが今後の課題の一つである．本研究で得られた結果は，Fig.1に示されるように，人間の運動制御の解明への役立てられることが期待できる．一方，線形変換による視覚から運動への制御方法は，既存の産業用ロボット等への応用が興味深い．たとえば，線形変換によれば，関節角座標系をセンサによって計測する必要がない．すなわち，エンコーダ等のセンサや信号処理部をもたなくても，ビジュアルフィードバックが可能となる[9]．これらの結果は，ロボットを最少の要素で実現する場合や関節角度が計測困難な場合に有効であり，工学的に新しいロボット創造の手がかりとなると思われる．

REFERENCES

[1] Koichi Osuka Akio Ishiguro, Xin-Zhi Zheng, Yasuhiro Sugimoto, Dai Owaki”Implicit Control Law: A Common Principle of Mobiligence” Proceedings. of the 3rd Interantional Symposium on Mobiligence in Awaji, November 19-21, 2009

[2] M. Uemura, K. Kanaoka, S. Kawamura, ”A New Control Method Utilizing Stiffness Adjustment of Mechanical Elastic Elements for Serial Link Systems”, IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2007) , pp.1437-1442, 2007.

[3] M.Uemura and S.Kawamura”Resonance-based Motion Control Method for Multi Joint Robot through Combination Stiffness Adaptation and Iterative Learning Control” Proc. of the 2009 International Conference on Robotics and Automation (ICRA2009) pp.1543-1548

[4] M.Uemura, K.Kimukra and S.Kawamura”Generation of Energy Saving Motion for Biped Walking Robot through Resonance-based Control Method” Proc. of the 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2009) pp.2928-2933

[5] 満田隆,丸典明,冨士川和延,宮崎文夫,”視空間に基づくビジュアルサーボイング”,計測自動制御学会論文集,vol.33.no.1,pp.35-41,1997

[6] Pascale Pigeon, L’Hocine Yahia and Anatol G. Feldman, “Moment arms and lengths of human upper limb muscle as functions of joint angles”, J.Biomechanics, Vol.29, No.10, pp.1365-1370, 1996

[7] Kenji Tahara and Zhi-Wei Luo,“On Dynamic Control Meahcnisms of Redundant Human Musculo-Skeletal System“ pp.217-247 Advances in Robot Control, Springer 2006 (Editor S. Kawamura and M. Svinin)

[8] Sadao Kawamura, Yuuji Hayashi, Takashi Mitsuda, Mitsunori Uemura, Masahiro Sekimoto, and Tadao Isaka”Stability Conditions of Feedback Robot Motion Control Based on Linear Transformation from Vision to Motion ”Proceedings. of the 3rd Interantional Symposium on Mobiligence in Awaji, November 19-21, 2009

[9] 川村 貞夫、早矢仕 侑治、満田 隆、植村 充典、関本 昌紘「視覚から運動への線形変換に基づくフィードバック運動制御の安定条件　－ロボットにエンコーダは不要か？－」第27回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2009)予稿集　2009

メンバーリスト

■=総括代表　■=計画班　■=公募班

担当		氏名	所属・役職	
総括代表者		淺間　一	東京大学　大学院工学系研究科・教授	■
A01-01	代表者	伊藤　宏司	東京工業大学　大学院総合理工学研究科・教授	■
A01-01	分担者	郷古　学	東京工業大学　大学院総合理工学研究科・助教	■
A01-01	連携研究者	中原　裕之	理化学研究所　理論統合脳科学研究センター・チームリーダー	■
A01-02	代表者	近藤　敏之	東京農工大学　大学院共生科学技術研究院・准教授	■
B01-01	代表者	高草木　薫	旭川医科大学　医学部・准教授	■
B01-01	分担者	稲瀬　正彦	近畿大学　医学部・教授	■
B01-01	分担者	北澤　茂	順天堂大学　医学部・教授	■
B01-01	分担者	中里　泰三	順天堂大学　医学部・客員准教授	■
B01-01	分担者	吉見　建二	順天堂大学　医学部・助教	■
B01-01	分担者	中陳　克己	近畿大学　医学部・講師	■
B01-01	分担者	森　大志	山口大学　農学部・准教授	■
B01-01	分担者	柳原　大	東京大学　大学院情報学環・学際情報学府・准教授	■
B01-01	分担者	松山　清治	札幌医科大学　保険医療学部・教授	■
B01-01	分担者	小山　純正	福島大学　共生システム理工学類・教授	■
B01-01	分担者	奥村　利勝	旭川医科大学　医学部・教授	■
B01-02	代表者	荻原　直道	慶應義塾大学　理工学部・専任講師	■
B01-02	分担者	土屋　和雄	同志社大学　理工学部・教授	■
B01-02	分担者	杉本　靖博	大阪大学　大学院工学研究科・助教	■
B01-02	分担者	青井　伸也	京都大学　大学院工学研究科・助教	■
B01-02	分担者	中務真人	京都大学　大学院理学研究科・教授	■
B01-03	代表者	細田　耕	大阪大学　大学院工学研究科・准教授	■
B01-03	分担者	井上　康介	茨城大学　工学部・助教	■
B01-03	分担者	木村　浩	京都工芸繊維大学　大学院工芸科学研究科・教授	■
B01-03	分担者	辻田　勝吉	大阪工業大学　工学部・准教授	■
B01-03	分担者	田熊　隆史	大阪工業大学　工学部・講師	■
C01-01	代表者	青沼　仁志	北海道大学　電子科学研究所・准教授	■
C01-02	代表者	太田　順	東京大学　人工物工学研究センター・教授	■
C01-02	分担者	淺間　一	東京大学　大学院工学系研究科・教授	■
C01-02	分担者	川端　邦明	理化学研究所　川端知能システム研究ユニット・ユニットリーダー	■
C01-02	連携研究者	千葉　龍介	首都大学東京　システムデザイン学部・助教	■
C01-03	代表者	倉林　大輔	東京工業大学　大学院理工学研究科・准教授	■
C01-03	分担者	神崎　亮平	東京大学　先端科学技術研究センター・教授	■
D01-01	代表者	矢野　雅文	東北大学　電気通信研究所・教授	■
D01-01	分担者	坂本　一寛	東北大学　電気通信研究所・助教	■
D01-01	分担者	牧野　悌也	東北大学　電気通信研究所・助教	■

D01-02	代表者	大須賀　公一	大阪大学　大学院工学研究科・教授	
D01-02	分担者	鄭　心知	京都高度技術研究所　研究部・主席研究員	
D01-02	分担者	足立　二郎	北海道大学　大学院理学研究科	
D01-02	分担者	大金　邦成	九州大学　大学院数理学研究院	
D01-03	代表者	石黒　章夫	東北大学　大学院工学研究科・教授	
D01-03	分担者	清水　正宏	東北大学　大学院工学研究科・助教	
D01-03	分担者	郷原　一寿	北海道大学　大学院工学研究科・教授	
評価		北村　新三	兵庫県立工業技術センター・所長	
評価		鈴木　良次	金沢工業大学・教授	
評価		森　茂美	生理学研究所・名誉教授	
評価		Rolf Pfeifer	チューリッヒ大学　情報工学科・教授	
評価		Sten Grillner	カロリンスカ研究所・教授	
評価		Avis H. Cohen	メリーランド大学　生物学科・教授	
A01-11	代表者	松島　俊也	北海道大学　大学院理学研究院・教授	
A01-12	代表者	小池　康晴	東京工業大学　精密工学研究所・教授	
A01-12	連携研究者	奥田　次郎	京都産業大学　コンピュータ理工学部・准教授	
A01-12	連携研究者	神原　裕行	東京工業大学　精密工学研究所・助教	
A01-12	連携研究者	松田　哲也	玉川大学　脳科学研究所・講師	
A01-13	代表者	小川　正	京都大学　大学院医学系研究科・講師	
A01-13	分担者	熊田　孝恒	産業技術総合研究所　人間福祉医工学研究部門・グループリーダー	
A01-14	代表者	沢田　康次	東北工業大学　工学部・教授	
A01-15	代表者	村田　哲	近畿大学　医学部・准教授	
A01-16	代表者	稲邑　哲也	国立情報学研究所　情報学プリンシプル研究系・准教授	
A01-17	代表者	谷　淳	理化学研究所　脳科学総合研究センター・チームリーダー	
A01-17	分担者	有江　浩明	理化学研究所　脳科学総合研究センター・助手	
A01-17	分担者	菅野　重樹	早稲田大学　理工学術院・教授	
B01-11	代表者	横井　浩史	東京大学　大学院工学系研究科・准教授	
B01-11	分担者	瀧田　正寿	産業技術総合研究所　人間福祉医工学研究部門・主任研究員	
B01-12	代表者	鈴木　隆文	東京大学　大学院情報理工学系研究科・講師	
B01-12	連携研究者	満渕　邦彦	東京大学　大学院情報理工学系研究科・教授	
B01-13	代表者	櫻井　芳雄	京都大学　大学院文学系研究科・教授	
B01-14	代表者	小林　康	大阪大学　大学院生命機能研究科・准教授	
B01-15	代表者	関　和彦	国立精神神経センター　神経研究所・モデル動物開発部・部長	
B01-16	代表者	南部　篤	生理学研究所　統合生理研究系・教授	
B01-17	代表者	筧　慎治	東京都医学研究機構　東京都神経科学総合研究所・研究員	
B01-17	連携研究者	戸松　彩花	東京都医学研究機構　東京都神経科学総合研究所・流動研究員	

B01-17	連携研究者	李　鍾昊	東京都医学研究機構　東京都神経科学総合研究所・流動研究員
B01-18	代表者	花川　隆	国立精神・神経センター　神経研究所・室長
B01-18	連携研究者	大須　理英子	国際電気通信基礎技術研究所　脳情報研究所・主任研究員
C01-11	代表者	三浦　徹	北海道大学　大学院地球環境科学研究院・准教授
C01-11	分担者	竹内　秀明	東京大学　大学院理学系研究科・助教
C01-11	連携研究者	淺間　一	東京大学　大学院工学系研究科・教授
C01-11	連携研究者	青沼　仁志	北海道大学　電子科学研究所・准教授
C01-12	代表者	辻　和希	琉球大学　農学部・教授
C01-12	分担者	山岡　亮平	京都工芸繊維大学　大学院工芸科学研究科・教授
C01-12	分担者	菅原　研	東北学院大学　教養学部・准教授
C01-13	代表者	岡　浩太郎	慶応義塾大学　理工学部・教授
C01-13	分担者	萩原　将文	慶応義塾大学　理工学部・教授
C01-13	分担者	伊澤　栄一	慶応義塾大学　大学院社会学研究科・特別研究准教授
C01-14	代表者	加藤　元一郎	慶応義塾大学　医学部・准教授
C01-14	連携研究者	大武　美保子	東京大学　人工物工学研究センター・准教授
C01-15	代表者	長尾　隆司	金沢工業大学　人間情報システム研究所・教授
C01-15	分担者	田森　佳秀	金沢工業大学　人間情報システム研究所・准教授
C01-15	分担者	岸上　明生	金沢工業大学　人間情報システム研究所・准教授
C01-15	分担者	佐々木　謙	金沢工業大学　人間情報システム研究所・准教授
C01-15	分担者	小川　宏人	北海道大学　大学院理学研究院・准教授
C01-16	代表者	伊藤　悦朗	徳島文理大学　香川薬学部・教授
C01-16	分担者	池野　英利	兵庫県立大学　環境人間学部・教授
C01-16	分担者	大橋　瑞江	兵庫県立大学　環境人間学部・准教授
C01-16	分担者	木村　敏文	兵庫県立大学　環境人間学部・助教
C01-16	分担者	岡田　龍一	徳島文理大学　香川薬学部・学術研究員
C01-17	代表者	藤井　直敬	理化学研究所　脳科学総合研究センター・チームリーダー
D01-11	代表者	池上　高志	東京大学　大学院総合文化研究科・教授
D01-11	分担者	嶋田　正和	東京大学　大学院総合文化研究科・教授
D01-12	代表者	泉田　啓	京都大学　大学院工学研究科・教授
D01-12	分担者	飯間　信	北海道大学　電子科学研究所・助教
D01-12	分担者	平井　規央	大阪府立大学　大学院生命環境科学研究科・助教
D01-13	代表者	青柳　富誌生	京都大学　大学院情報学研究科・講師
D01-14	代表者	西井　淳	山口大学　大学院理工学研究科・准教授
D01-15	代表者	高松　敦子	早稲田大学　理工学部・教授
D01-15	連携研究者	中垣　俊之	北海道大学　電子科学研究所・准教授
D01-16	代表者	川村　貞夫	立命館大学　理工学部・教授
D01-16	分担者	満田　隆	立命館大学　情報理工学部・教授
D01-16	分担者	関本　昌紘	立命館大学　総合理工学研究機構・ポストドクトラルフェロー

D01-16	分担者	伊坂　忠夫	立命館大学　理工学部・教授	
D01-16	分担者	植村　充典	立命館大学　理工学部・助教	

研究業績・受賞・特許

研究業績

2005 年度

1. Naohiro Saito, Hajime Mushiake, Kazuhiro Sakamoto, Yasuto Itoyama, Jun Tanji, Representation of Immediate and Final Behavioral Goals in the Monkey Prefrontal Cortex during an Instructed Delay Period, Cerebral Cortex, 15, 10, 1535 - 1546, 2005
2. Yoshinari Makino, Masafumi Yano, Pictorial Cues Constrain Depth in da Vinci Stereopsis, Vision Research, 46, 1-2, 91-105, 2006
3. Toshiyuki Kondo, Koji Ito, Periodic Motion Control by Modulating CPG Parameters based on Time-Series Recognition, Lecture Notes in Artificial Intelligence, 3630 (Proceedings of 8th European Conference, ECAL2005), 3630, , 906-915, 2005
4. Masahiko Inase, Bao-Ming Li, Ichiro Takashima, Toshio Iijima, Cue Familiarity Is Represented in Monkey Medial Prefrontal Cortex during Visuomotor Association Learning., Experimental Brain Research, 168, 1-2, 281-286, 2006
5. Oshio Kenichi, Atsushi Chiba, Masahiko Inase, Delay Period Activity of Monkey Prefrontal Neurons during Duration-Discrimination Task., European Journal of Neuroscience, 2006
6. Hirohumi Harada, Kaoru Takakusaki, Shinichi Kita, Mitsuyoshi Matsuda, Satoshi Nonaka, Takashi Sakamoto, Effects of Injecting GABAergic Agents into the Medullary Reticular Formation upon Swallowing Induced by the Superior Laryngeal Nerve Stimulation in Decerebrate Cats., Neuroscience Research, 51, 395-404, 2005
7. Hiroto Yamada, Nobuhiko Takahashi, Satoshi Tanno, Miho Nagamine, Kaoru Takakusaki, Toshikatsu Okumura , A Selective Orexin-1 Receptor Antagonist, SB334867, blocks 2-DG-Induced Gastric Acid Secretion in Rats, Neuroscience Letters, 376, 2, 137-142, 2005
8. Kaoru Takakusaki, Kazumi Takahashi, Kazuya Saitoh, Hirofumi Harada, Toshikatsu Okumura, Yukihiko Kayama, Yoshimasa Koyama, Orexinergic Projections to the Midbrain Mediate Alternation of Emotional Behavioral States from Locomotion to Cataplexy., Journal of Physiology, 568, 3, 1003-1020, 2005
9. Kaoru Takakusaki, Kazuya Saitoh, Satoshi Nonaka, Toshikatsu Okumura, Naoyuki, Miyokawa, Yoshimasa Koyama, , Neurobiological Basis of State-Dependent Control of Motor Behaviors, Sleep and Biological Rhythms, 2006
10. Futoshi Mori, Katsumi Nakajima, Shigemi Mori, Cortical and subcortical neural mechanisms for controlling bipedal gait in humans and Japanese macaques, Human Movement Science , in press
11. Taizo Nakazato, Striatal Dopamine Release in the Rat during a Cued Lever-press Task for Food Reward and the Development of Changes over Time Measured Using High-speed Voltammetry., Experimental Brain Research, 166, 1, 137-146, 2005
12. Shigeru Kitazawa, Kenji Kansaku, Sex difference in language lateralization may be task-dependent, Brain, 128, 5, E30, 2005
13. Shinya Yamamoto, Shunjiro Moizumi, Shigeru Kitazawa, Referral of tactile sensation to the tips of L-shaped sticks, Journal of Neurophysiology, 93, 5, 2856-2863, 2005
14. Kenji Kansaku, Shigeru Muraki, Shinji Umeyama, Yasunori Nishimori, Tomoyuki Kochiyama, Shigeru Yamane, Shigeru Kitazawa, Cortical activity in multiple motor areas during sequential finger movements: an application of independent component analysis, Neuroimage, 28, 3, 669-681, 2005
15. Shigeru Kitazawa, Daniel M Wolpert, Rhythmicity, randomness and synchrony in climbing fiber signals, Trends in Neurosciences, 28, 11, 611-619, 2005
16. Shigeru Kitazawa, Daniel M Wolpert, Response to Gilbert: Rhythmicity, randomness and synchrony in climbing fiber signals, Trends in Neurosciences, 29, 2, 66-67, 2006
17. Sho Kakizawa, Taisuke Miyazaki, Dai Yanagihara, Masamitsu Iino, Masahiko Watanabe, Masanobu Kano, Maintenance of Presynaptic Function by AMPA Receptor-Mediated Excitatory Postsynaptic Activity in Adult Brain, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 102, 52, 19180-19185, 2005
18. Yukihiro Takayasu, Masae Iino, Wataru Kagegawa, Hiroshi Maeno, Kei Watase, Keiji Wada, Dai Yanagihara, Taisuke Miyazaki, Okiru Komine, Masahiko Watanabe, Koichi Tanaka, Seiji Ozawa, Differential Roles of Glial and Neuronal Glutamate Transporters in Purkinje Cell Synapses, Journal of Neuroscience, 25, 38, 8788-8793, 2005
19. Shinya Aoi, Kazuo Tsuchiya, Locomotion Control of a Biped Robot Using Nonlinear Oscillators, Autonomous Robots, 19, 3, 219-232, 2005
20. Shinya Aoi, Kazuo Tsuchiya, Bifurcation and Chaos of a Simple Walking Model Driven by a Rhythmic Signal, International Journal of Non-Linear Mechanics, 41, 3, 438-446, 2006
21. Shinya Aoi, Kazuo Tsuchiya, Self-stability of a Simple Walking Model Driven by a Rhythmic Signal, Nonlinear Dynamics, in press
22. Shinya Aoi, Kazuo Tsuchiya, Stability Analysis of a Simple Walking Model Driven by an Oscillator with a Phase Reset Using Sensory Feedback, IEEE Transactions on Robotics, in press
23. Katsuyoshi Tsujita, Hiroomi Toui, Kazuo Tsuchiya, Dynamic Turning Control of a Quadruped Locomotion Robot using Oscillators, Advanced Robotics, 19, 10, 1115-1133, 2005
24. Masato Nakatsukasa, Eishi Hirasaki, Naomichi Ogihara, Energy expenditure of bipedal walking is higher than that of quadrupedal walking in Japanese macaques, American Journal of Physical Anthropology, in press
25. Y. Matsumoto, S. Unoki, H. Aonuma and M. Mizunami, Nitric oxide-cGMP signaling is critical for cAMP-dependent long-term memory formation, Learning & Memory, 13, 1, 35-44, 2006
26. Jun Ota, Multi-agent Robot Systems as Distributed Autonomous Systems, Advanced Engineering Informatics, 20, 1, 59-70, 2006
27. Hiroshi Kimura, Kazuo Tsuchiya, Akio Ishiguro, Hartmut Witte (Eds.), , Adaptive Motion of Animals and Machines, Springer (2006), 2006
28. Taizo Nakazato, Maki Kagohashi, Kenji Yoshimi, Influence of pH on Voltammetric Measurement of Dopamine., Bigenic Amines, 2006
29. Taizo Nakazato, L-DOPA Itself Causes Increased Activity in Rats: the Clinical Implications. , The Probable Roles of Dopa as a Neurotransmitter. Eds: Misu Y and Goshima Y, CRC Press, NY, 229-241, 2005
30. K. Niwa, J. Sakai, T. Karino, H. Aonuma, T. Watanabe, T. Ohyama, O. Inanami and M. Kuwabara, Reactive oxygen species mediate shear stress-induced fluid-phase endocytosis in vascular endothelial cells, Free Radical Research, 40, 2, 167-174, 2006
31. J. Nagamoto, H. Aonuma and M. Hisada, Discrimination of conspecific individuals via cuticular pheromones by males of the cricket Gryllus bimaculatus, Zool. Sci, 22, , 1079-1088 , 2005
32. Kanzaki R, Nagasawa S and Shimoyama I, Neural basis of odor-source searching behavior in insect brain systems evaluated with a mobile robot, Chem Senses, 30, suppl 1, i285-i286, 2005
33. Wada S and Kanzaki R, Neural control mechanisms of the pheromone-triggered programmed behavior in male silkmoths revealed by double-labeling of descending interneurons and the motor neuron, J Comp Neurol , 484, , 168-182, 2005
34. Iwano M and Kanzaki R, Immunocytochemical Identification of Neuroactive Substances in the Antennal Lobe of the Male Silkworm Moth Bombyx mori, Zool Sci, 22, , 199-211, 2005
35. Namiki S, Kazawa T and Kanzaki R, Basic characteristics of neuronnetwork components in the antennal lobe of the silkmoth, Chem Senses, 30, , A149-A150, 2005
36. Yamasaki T, Isokawa T, Matsui M, Ikeno H and Kanzaki R, Reconstruction and simulation for three-dimensional morphological structure of insect neurons, Neurocomputing, 2006
37. Yoshinari Makino, Hisanori Makinae, Tsukasa Obara, Masafumi Yano, Brain Regions Related to Odor Learning and Memory in Terrestrial Slug, Inciralia Fruhstorferi: Two Lobes of the Cerebral Ganglion Show Different Spatiotemporal Activities, Proceedings of the 11th International Symposium on Artificial Life and Robotics, OS7-1, 2006
38. Ikuo Matsuo, and Masafumi Yano, A Computational Model of Echolocation: Restoration of an Acoustic Image from a Single-Emission Echo, The Journal of the Acoustical Society of America (149th Meeting of the Acoustical Society of America), 117, 4, 2553, 2005
39. Masashi Ito, Masafumi Yano, A Local Vector Coding for High Quality Voice Analysis/Synthesis, The Journal of the Acoustical Society of America (150th Meeting of the Acoustical Society of America), 118, 3, 2024, 2005
40. Koji Ito, Takeshi Sakurada, Makoto Doi, Toshiyuki Kondo, Impedance Adaptation of Arm Movements under Dynamic Environments, Proceeding of SICE Annual Conference 2005, WP1-03-02, , 3305-3310, 2005
41. Koji Ito, Takahiro Shioyama, Toshiyuki Kondo, Lower-limb Joint Torque and Position Controls by Functional Electrical Stimulation (FES), Proceeding of Complex Medical Engineering (CME2005), 559-564, 2005
42. Tomoaki Nagano, Toshiyuki Kondo, Koji Ito, Motion Pattern Generation for Multi-link System based on Distributed Kinematics and Dynamics with Time Delay, Proceedings of SICE Annual Conference 2005, MA2-01-6, 2005
43. Akira Mura, Masahiko Inase, Self Generated Action Monitoring by Mirror Neurons in the Inferior Parietal Cortex., Proceedings of Vision Science Society 5th Annual Meeting, Satellite Workshop, From Eye to Hand: The Role of Vision in Grasping, 2005
44. Atsushi Chiba, Kenichi Oshio, Masahiko Inase, Neuronal Activity in the Monkey Striatum during a Duration Discrimination Task., Proceedings of Neuroscience 2005, 35th Annual Meeting of Society for Neuroscience, 413.5, 2005
45. Kaoru Takakusaki, The Control of Basal Ganglia on Postural Muscle Tone And Locomotion, 35th International Union of Physiological Science, 2005
46. Kaoru Takakusaki, Kazuya Saitoh, A New Category of Spinal Interneurons That Mediate Atonia in Cats, Proceedings of Neuroscience 2005, 35th Annual Meeting of Society for Neuroscience, 863.17, 2005
47. Hirohumi Harada, Kaoru Takakusaki, Yoshio Bando, Satoshi Nonaka, GABAergic Control of Swallowing in Cats, Proceedings of Neuroscience 2005, 35th Annual Meeting of Society for Neuroscience, 573.24, 2005
48. Futoshi Mori, Katsumi Nakajima, Hideo Tsukada, Shigemi Mori, Primary, supplementary and premotor cortices are involved in the execution and control of operant-trained bipedal treadmill walking in Japanese monkey,, Proceedings of the 2006 International Congress on Gait & Mental Function, 2006
49. Naomi Wada, Futoshi Mori, Norihiro Kato, Shinji Hirano, Wakana Iwamoto, Go Suzuki, Shigemi Mori, Kinematic and electromyographic studies on rat bipedal-walking model, International Society for Postural and Gait Research XVIIth Conference, 2006
50. Norihiro Kato, Shinji Hirano, Wakana Iwamoto, Go Suzuki, Futoshi Mori, Naomi Wada, Shigemi Mori, Influence of bipedal walking on neural systems: spinal reflexes in the lumbar spial cords in rat bipedal walking models, International Society for Postural and Gait Research XVIIth Conference, 2006
51. Kenji Yoshimi, Taizo Nakazato, Kazue Takahata, Seiichiro Shimazu, Akira Komatsu, Nobutaka Hattori, Yoshikuni Mizuno, Voltammetric Measurement of Striatal ExtracellularDopamine Changes Induced by Physiological Stimuli and Trace Amine Mimetics, , 2005
52. Maki Kagohashi, Taizo Nakazato, Shigeru Kitazawq, Yoshikuni Mizuno, Dopamine Release in the Rat Striatum during the Cued Lever-press Task and the Effect of Serotonin Neuron on Its Release,, , 2005
53. Shigeru Kitazawa, Where tactile stimuli are ordered in time, Neuroscience Semiar Series 2005, 2005
54. Shigeru Kitazawa, Frames of reference for tactile perception,, Cognition and Action, JSPS-UCL symposium, 2005
55. Shigeru Kitazawa, Where tactile signals are ordered in time, ESF-EMBO Symposium on Three-Dimensional Sensory and Motor Space: Probabilistic Mechanisms of Learning and Development in Sensorimotor Systems. , 2005
56. Shigeru Kitazawa, Inferring the level of language comprehension during story listening,, Neuroethics of Nurturing the Brain, Annual Meeting 2005, Japanese Society for Neuroscience, 2005
57. Shinya Aoi, Kazuo Tsuchiya, Transition from Quadrupedal to Bipedal Locomotion, Proceedings of the 2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Edmonton, Canada (IROS2005), 3419-3424, 2005
58. Shinya Aoi, Kazuo Tsuchiya, Turning of a Biped Robot Driven by Nonlinear Oscillators, Proceedings of the 3nd International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines, Illmenau, Germany (AMAM2005), 2005
59. Shinya Aoi, Kazuo Tsuchiya, Feedback Control of a Simple Walking Model Driven by an Oscillator, Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Orlando, FL (ICRA2006), accepted
60. Katsuyoshi Tsujita, Manabu Kawakami, Kazuo Tsuchiya, Optimal Gait Pattern of a Quadruped Locomotion Robot, Proceedings of the 3nd International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines, Illmenau, Germany (AMAM2005), 2005
61. Naomichi Ogihara, Eishi Hirasaki, Masato Nakatsukasa, Energy efficient bipedal locomotor strategy in bipedally-trained Japanese macaques, Proceedings of the 3nd International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines, Illmenau, Germany (AMAM2005), 2005
62. Takashi Takuma, Koh Hosoda, Minoru Asada, Stabilization of Biped with Pneumatic Actuators against Terrain Changes, Proceedings of the 2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, (IROS2005), 2775-2780, 2005
63. Koh Hosoda, Takashi Takuma, Ballistic Control for 2D/3D Pneumatic Actuated Walking Robots, Proceedings of 3rd International Symposium on Adaptive Motion in Animals and Machines, 2005
64. H. Kimura, Y. Fukuoka, H. Katabuti, Mechanical Design of a Quadruped Tekken3 & 4 and Navigation System Using Laser Range Sensor, Proceedings of International Symposium on Robotics (ISR2005), 2005
65. Z.G Zhang, Y. Fukuoka and H. Kimura, Adaptive Running of a Quadruped Robot Using Delayed Feedback Control, Proceedings of IEEE Robotics and Automation (ICRA2005), 3750-3755, 2005
66. K. Inoue, S. Ma, C. Jin, Optimization of CPG-Network for Decentralized Control of a Snake-Like Robot, IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2005), 730-735, 2005
67. T. Fujiki, K. Kawabata, H. Asama, Adaptive Action Selection of Body Expansion Behavior in Multi-Robot System using Communication, Intelligent Autonomous Systems 9, 632-639, 2006
68. Chomchana Trevai, Jun Ota and Tamio Arai, Self-organizing Planner for Multiple Mobile Robot Exploration and Patrol, Intelligent Autonomous Systems 9, 622-631 , 2006
69. Masao Sugi, Yusuke Tamura, Makoto Nikaido, Jun Ota, Tamio Arai et al., Human Supporting Production Cell Attentive Workbench , Intelligent Autonomous Systems 9, 740-747, 2006
70. Tetsuro Funato, Daisuke Kurabayashi, Masahito Nara, Control of a Nolinear Oscillator Network via Structural Transition, Distributed Autonomous Robotic Systems, 7, 2006
71. Gou Nishida, Masaki Yamakita, Formal Distributed Port-Hamiltonial Representatio of Field Equation, Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Decision and Control, 12-25, 2005
72. Akio Ishiguro, Hiroaki Matsuba, Tomoki Maegawa, Masahiro Shimizu, A Modular Robot That Self-Assembles, Proceedings of the 9th International Conference on Intelligent Autonomous Systems (IAS-9), 585-594, 2006
73. Kazuhiro Sakamoto, Toru Onizawa, Masafumi Yano, Competition Between Spatial and Temporal Factors in Simple Apparent Motion is Modulated by Laterality, Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Development and Learning (ICDL-05), 175-179, 2005
74. Kazuhiro Sakamoto, Hajime Mushiake, Naohiro Saito, Jun Tanji, Transient Synchrony and Dynamical Representation of Behavioral Goals of the Prefrontal Cortex, Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Development and Learning (ICDL-05), 207-211, 2005
75. D. Hatakeyama, E. Ito, H. Aonuma and K. Elekes, Distribution of glutamate-like immunoreactive neurons in the adult and developing nervous system of gastropod molluscs (Lymnaea stagnalis L.), Clin Neurosci, 58, S1, 39, 2005
76. Yasuhiro Sugimoto, Koichi Osuka, Stability Analysis of Passive-Dynamic-Walking focusing on the Inner Structure of Poincare Map, Proc. of 12th International Conference on Advanced Robotics (ICAR 2005), 2005
77. Yasuhiro Sugimoto, Koichi Osuka, Stability Analysis and Walking Control of Passive-Dynamic-Walking with an approximate analytical Poincare map, Proc. of IROS Workshop on Morphology, Control and Passive Dynamics,, 2005
78. Koichi Osuka, Yasuhiro Sugimoto, A Stability Principle of Passive Dynamic Walk –Feedback Structure Embedded in the Poincare Map–, Proceedings of the 3nd International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines, Illmenau, Germany (AMAM2005), 2005
79. H. Kimura, Y. Fukuoka and T. Mimura, Dynamics Based Integration of Motion Adaptation for a Quadruped Robot, Adaptive Motion of Animals and Machines, 215-224, 2005
80. Futoshi Mori, Katsumi Nakajima, Shigemi Mori, Control of bipedal walking in the Japanese monkey, M. fuscata: Reactive and anticipatory control mechanisms, Adaptive Motion of Animals and Machines , 249-259, 2006
81. Shigemi Mori, Futoshi Mori, Katsumi Nakajima, Higher nervous control of quadrupedal vs bipedal locomotion in non-huma primates; Common and specific properties, Adaptive Motion of Animals and Machines , 53-65, 2006
82. Naomichi Ogihara, Nobutoshi Yamazaki, Computer simulation of bipedal locomotion: Toward elucidating correlations among musculoskeletal morphology, energetics, and the origin of bipedalism, Ishida, H, Tuttle, R, Pickford, M, Ogihara, N, Nakatsukasa, M (eds), Human Origins and Environmental Backgrounds, Springer, New York, 167-174, 2006
83. Masato Nakatsukasa, Eishi Hirasaki, Naomichi Ogihara, Locomotor energetics in nonhuman primates: A review of recent studies on bipedal performing macaques, Ishida, H, Tuttle, R, Pickford, M, Ogihara, N, Nakatsukasa, M (eds), Human Origins and Environmental Backgrounds, Springer, New York, 157-166, 2006
84. Eishi Hirasaki, Naomichi Ogihara, Masato Nakatsukasa, Primates trained for bipedal locomotion as a model for studying the evolution of bipedal locomotion, Ishida, H, Tuttle, R, Pickford, M, Ogihara, N, Nakatsukasa, M (eds), Human Origins and Environmental Backgrounds, Springer, New York, 149-155, 2006
85. 伊藤宏司, 身体知システム論―ヒューマンロボティクスによる運動の学習と制御―, 共立出版, 2005
86. 高草木 薫, 睡眠時気における筋緊張制御機構, 睡眠ハンドブック (朝倉書店) , 2006
87. Kaoru Takakusaki, Kazuya Saitoh, Makoto Kashiwayanagi, The Pedunculopontine Nucleus and the Basal Ganglia in Locomotion, Recent Breakthroughs in Basal Ganglia Research, (ed by E. Bezard),, 2006
88. 柳原大, 運動の学習・記憶と小脳長期抑圧, 日本運動生理学会・運動生理学シリーズ7: 運動と高次神経機能―運動の脳神経能を探検する 杏林書院, 180-189, 2005
89. 神崎亮平, 安田隆, 下山勲, 昆虫の脳からマイクロマシンへ, 「もうひとつの脳~微小脳の研究入門」 山口・冨永・桑沢編, 培風館, pp.23-54, 2005
90. 安藤規泰, 岡田公太郎, 神崎亮平, 昆虫の脳による情報処理機能の特性とその利用の展望, 昆虫テクノロジー研究とその産業利用 シーエムシー出版, pp.264-276, 2005
91. 闘羊一, 櫻井健志, 神崎亮平, 昆虫の嗅覚, 「匂いと香りの科学」渋谷・市川編 朝倉書店, 2006
92. 岡田公太郎, 神崎亮平, 昆虫, 香りの百科事典 丸善株式会社, pp.477-480, 2005
93. 加沢知毅, 岡田公太郎, 神崎亮平, 昆虫の脳におけるフェロモンと匂いの情報処理と行動発現機構, ブレインテクノニュース, 111, , 17-22, 2005
94. 矢野 雅文, 冨田 望, 牧野悌也, 実環境における2足歩行の創発的リアルタイム制御, 日本ロボット学会誌, 23, 1, 11-16, 2005
95. 矢野 雅文, 冨田 望, 随意運動のための「見なし情報」の創発, 計測と制御, 44, 9, 590-595, 2005
96. 杉本晴博, 大須賀公一, 受動的動歩行の安定性に関する一考察 –ポアンカレマップの構造解析からのアプローチ–, システム制御情報学会論文誌, 18, 7, 255-260, 2005
97. 近藤敏之, 伊藤宏司, 拘束条件の実時間選択による運動生成, 計測と制御, 44, 9, 596-601, 2005
98. 高草木 薫, 浅間 一, 移動知 : 行動からの知能理解 - 構成論的観点と生物学的観点から -, 計測と制御, 44, 9, 580-589, 2006
99. 北澤 茂, 和田 真, 時間順序の知覚, 生体の科学, 57, 1, 37-43, 2006
100. 柳原大, Closed loop としての小脳・脳幹・脊髄系と歩行運動の適応制御, 体育の科学, 56, , 28-31, 2006

101. 柳原大, タイミング動作のトレーニング, 体育の科学, 55, , 425-427, 2005
102. 細田耕, 非限定環境に適応する二足歩行ロボット, 計測と制御, 44, 9, 609-614, 2005
103. 細田耕, 動特性を利用した空気圧拮抗駆動二足歩行, システム制御情報, 49, 10, ４１１－４１６, 2005
104. 木村浩, 張祖光, 脚式移動におけるCPG(Central Pattern Generator)の役割-適応的な歩行・走行生成の統一的理解に向けて-, 計測と制御, 44, 9, 602-608, 2005
105. 青沼 仁志, 昆虫に見る行動の動的選択機構, 計測と制御, 44, 9, 621-627, 2005
106. 太田 順, 適応的行動と協調の発現原理, 計測と制御, 44, 9, 628-633, 2005
107. 神崎亮平, 昆虫の環境適応行動の発現機構, 計測と制御, 44, 9, 615-620, 2005
108. 池野英利, 西岡拓人, 関羊一, 神崎亮平, コンテンツマネージメントシステムを用いた神経細胞データベースの開発, 日本神経回路学会誌, 13, , 1-8, 2006
109. 櫻井健志, 関羊一, 西岡孝明, 神崎亮平, 昆虫のフェロモン受容と匂い識別の分子・神経基盤, 比較生理生化学, 2006
110. 高草木 薫, 子どもの脳と睡眠, 運動などの様に影響するのか、脳のネットワークが発達する仕組み, 毎日ライフ（毎日新聞社）, , 1, 45-47, 2005
111. 矢野雅文, 環境に適応する２足歩行のモデル化, 計測自動制御学会第18回自律分散システムシンポジウム資料, 211-216, 2006
112. Kazuhiro Sakamoto, Hajime Mushiake, Naohiro Saito, Jun Tanji, Neuronal Synchrony and Representation of Behavioral Goals in the Prefrontal Cortex of the Monkey during a Path-Planning Task, Neuroscience Research（第28回日本神経科学大会）, 52, suppl. , s148, 2005
113. 坂本一寛, 千葉直輝, 矢野雅文, 視覚野のボトムアップ型物体中心座標系表現の生理モデル, ２００５年日本神経回路学会予稿集, 95-96, 2005
114. 松尾行雄, 矢野雅文, エコー一定位に基づいた物体の音響イメージ復元の計算論, 日本音響学会聴覚研究会資料 H-2005-52, 305-310, 2005
115. Yoshinari Makino, Masafumi Yano, ダ・ヴィンチ・ステレオプシスにおける両眼奥行きの絵画的手がかりによる拘束, Pictorial Depth Cues Constrain Stereoscopic Depth in da Vinci Stereopsis, Neuroscience Research（第28回日本神経科学大会）, 52, suppl. , s104, 2005
116. 吉原佑器, 冨田望, 浅野智孝, 牧野悌也, 矢野雅文, 拘束条件生成充足による実環境下の随意運動制御へ-制御パラメータのリアルタイム調節へ-, Control of Voluntary Movement in Indefinite Environment based on Constraints Self-Emergence/Self-Satisfaction - Real-time Coordination of Control Parameters-, 計測自動制御学会第18回自律分散システム・シンポジウム資料, 157-162, 2006
117. 伊藤二, 矢野雅文, 局所変化率に基づく有声音声の分析と合成, 2005 年日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, 2-6-3, 2005
118. 安池誠, 牧野悌也, 矢野雅文, 時空間ダイナミクスによる匂い情報コーディング, 信学技報 IEICE Technical Report（NC 研究会）, NC, 2005-5, 23-26, 2005
119. 冨田 望, 矢野 雅文, 筋張弱調節系による身体力学特性のリアルタイム制御, 計測自動制御学会第6回システムインテグレーション部門学術講演会 SI2005, 613-614, 2005
120. 冨田 望, 矢野 雅文, 実時間筋張弱調制御によるヒト歩行特性の創発的獲得, Emergence of Walking Properties from Real-time Control of Muscle Tone 計測自動制御学会第 18 回自律分散システム・シンポジウム資料, 175-178, 2006
121. 飯田俊介, 近藤敏之, 伊藤宏司, 位相振動子と軌道生成モデルによる二足歩行制御系の環境適応機構の提案, 第５回計測自動制御学会システム・インテグレーション部門講演会 CD-ROM, 2F1-3, 2005
122. 千葉啓, 生塩研一, 稲瀬正彦, 時間弁別課題中のサル線条体の応答様式, Phasic Neuronal Activity in the Monkey Striatum during Duration Discrimination Task., 第82回日本生理学会大会（Proceedings of the 82nd Anual Meeting）, 55, Suppl, S181, 2005
123. 村田哲, 中嶋克己, 稲瀬正彦, 頭頂葉ミラーニューロンによる自己動作の視覚フィードバック制御, Visual Feedback Control during Self Generated Action by Parietal Mirror Neurons., 第82回日本生理学会大会（Proceedings of the 82nd Anual Meeting）, 55, Suppl, S180, 2005
124. 中嶋克己, 稲瀬正彦, 森大志, 村田哲, 森茂美, 無拘束サルにおける四足歩行に関連した一次運動野の神経活動, Neuronal Activity in Primary Motor Cortex Related to Quadrupedal Locomotion in a Freely-Moving Monkey., 第82回日本生理学会大会（Proceedings of the 82nd Anual Meeting）, 55, Suppl, S175, 2005
125. 千葉啓, 梶本禮義, 生塩研一, 稲瀬正彦, 磁気刺激によるラット脊髄損傷部位の検出, 第20回日本生体磁気学会大会論文集（日本生体磁気学会誌特別号）, 18, 1, 174-175, 2005
126. 千葉啓, 生塩研一, 稲瀬正彦, 時間弁別課題中のサル線条体の神経細胞活動, Neuronal Modulation in the Monkey Striatum Related to Duration Discrimination Task., 第28回日本神経科学大会（Abstracts of the 28th Annual Meeting of the Japanese Neuroscience Society, Neuroscience Research）, 52, Suppl, S220, 2005
127. 中嶋克己, 稲瀬正彦, 森大志, 村田哲, 森茂美, 四足歩行遂行中における サル一次運動野の神経活動, Discharge Activity of Neurons in Primary Motor Cortex during Quadrupedal Locomotion in a Freely Moving Monkey., 第28回日本神経科学大会（Abstracts of the 28th Annual Meeting of the Japanese Neuroscience Society, Neuroscience Research）, 52, Suppl, S149, 2005
128. Kaoru Takakusaki, Spinal Snternеurons Mediating Muscular Atonia in Cats, 第82回日本生理学学会（Proceedings of the 82nd Anual Meeting）, 55, Suppl, S182, 2005
129. 高草木 薫, 運動系から観た睡眠制御の神経生物学的基盤（Neurobiological Basis of Sleep Regulation with reference to the Motor Control）, 第30回日本睡眠学会学術集会（シンポジウム）,
130. Kaoru Takakusai, Basal Ganglia Control Brain Function, 第28回日本神経科学大会（Abstracts of the 28th Annual Meeting of the Japanese Neuroscience Society, Neuroscience Research）, 52, Suppl, S32, 2005
131. Yoshio Bando, Kaoru Takakusaki K, Ryuuji Terayama, Shigetaka Yoshida, Conduction Properties of Corpus Callosum in Mice in Vivo, 第28回日本神経科学大会（Abstracts of the 28th Annual Meeting of the Japanese Neuroscience Society, Neuroscience Research）, 52, Suppl, S67, 2005
132. 高草木 薫, Locomotion, Postural Muscle Tone And the Basal Ganglia, 第20回日本大脳基底核研究会（The 20th Annual Meeting of the Japanese Basal Ganglia Society）,
133. 高草木 薫, 行動発現の神経基盤, 第18回自律分散システムシンポジウム,
134. 籠瀬麻紀, 中里 泰三, 北澤 茂, 水野美邦, 線条体ドパミン放出とレバー押し課題行動に与えるセロトニンの影響, 日本神経学会抄録集, 不明, 2005
135. Maki Kagohashi, Taizo Nakazato, Shigeru Kitazawa, Yoshikuni Mizuno, Development of Wireless Voltammetry for Measuring Dopamine and Serotonin. , Neuroscience Research, S221, 2005
136. 籠瀬麻紀, 中里 泰三, 北澤 茂, 水野美邦, 無線ボルタメトリー装置によるドーパミン、セロトニンの同時測定, Measurement of Dopamine and Serotonin Using Wireless Voltammetry, 日本神経精神薬理学会講演抄録, 53, 2005
137. 中里 泰三, In Vivo Voltammetry とその応用, 神経科学領域における分子モニタリングシンポジウム・演題要旨集, 12-13, 2005
138. 村田哲, 中嶋克己, 稲瀬正彦, 頭頂葉ミラーニューロンによる自己動作の視覚フィードバック制御, Visual Feedback Control during Self Generated Action by Parietal Mirror Neurons., 第82回日本生理学会大会（Proceedings of the 82nd Anual Meeting）, 55, Suppl, S180, 2005
139. 中嶋克己, 稲瀬正彦, 森大志, 村田哲, 森茂美, 無拘束サルにおける四足歩行に関連した一次運動野の神経活動, Neuronal Activity in Primary Motor Cortex Related to Quadrupedal Locomotion in a Freely-Moving Monkey., 第82回日本生理学会大会（Proceedings of the 82nd Anual Meeting）, 55, Suppl, S175, 2005
140. 中嶋克己, 稲瀬正彦, 森大志, 村田哲, 森茂美, 四足歩行遂行中における サル一次運動野の神経活動, Discharge Activity of Neurons in Primary Motor Cortex during Quadrupedal Locomotion in a Freely Moving Monkey., 第28回日本神経科学大会（Abstracts of the 28th Annual Meeting of the Japanese Neuroscience Society, Neuroscience Research）, 52, Suppl, S149, 2005
141. 石川敬行, 田熊隆史, 細田耕, 浅田稔, 拮抗型空気圧人工筋を持つ3次元2足ロボットの試作と歩行の実現, ロボティクス・メカトロニクス '05 予稿集, 2005
142. 細田耕, 田熊隆史, 拮抗型空気圧二足歩行における床面の動特性の影響, SICE システム・情報部門講演会予稿集, 2005
143. 田熊隆史, 細田耕, 空気圧拮抗駆動型歩行ロボットにおける受動性, 第 6 回 計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーション部門講演会, 2005
144. 張祖光, 木村浩, 福岡泰宏, 遅延フィードバックを用いた四脚走行制御, 第18回自律分散システム・シンポジウム予稿集, 2006
145. 藤木智久, 川端邦明, 澤間 一, 環境の複雑さを考慮した移動ロボット間通信を含んだ行動獲得, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集, 627-628, 2005
146. 藤井 紘輔, 太田 順, Trevai Chomchana, マルチロボットシステムによる複数可動物体搬送作業, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集, 623-624, 2005
147. 足利 昌俊, 平口 鉄太郎, 佐倉 緑, 青沼 仁志, 太田 順, コオロギ集団における多様的振るまいのモデル化, 第18回自律分散システム・シンポジウム資料, 189-194, 2006
148. 田村 雄介, 杉 正夫, 太田 順, 新井 民夫, 人間の手先運動に基づくリーチング検出と把持対象物体の予測, 第18回自律分散システム・シンポジウム資料, 149-152, 2006
149. 舩戸徹郎, 倉林大輔, 奈良維二, 振動子網制御のための構造的性質の解析, 計測自動制御学会自律分散システム・シンポジウム, 195-200, 2006
150. 舩戸徹郎, 倉林大輔, 栄松良太, 下根孝章, 非線形振動子の構造的性質に基づく挙動の考察, 計測自動制御学会創発システム・シンポジウム予稿集, 10, 2005
151. 松場朋明, 前川知毅, 清水正宏, 石黒章夫, 制御系と機構系間の相互作用を活用した自己組み立て, 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会 2005 (SSI2005) 講演論文集, 101-106, 2005
152. 杉本靖博, 大須賀公一, 解析的なポアンカレマップを用いた受動的歩行における分岐現象の解析, 第１１回 ロボティクスシンポジア, , 2005
153. 荻原直道, 杉本靖博, 青井伸也, 土屋和雄, 身体筋骨格構造に内在する移動知, 第18回自律分散システムシンポジウム, 2006
154. 長野智晃, 近藤敏之, 伊藤宏司, 情報伝達に時間遅れを伴う分散制御系による多リンク系の運動生成, 第18回 自律分散システム・シンポジウム講演論文集, 123-128, 2006
155. 飯田俊介, 近藤敏之, 伊藤宏司, 位相振動子と軌道生成モデルによる環境適応機構の提案, 第18回 自律分散システム・シンポジウム講演論文集, 271-275, 2006
156. 土井 真, 近藤 敏之, 伊藤 宏司, 上肢到達運動における動的環境に対する筋・関節の協調適応機構, 第18回 自律分散システム・シンポジウム講演論文集, 129-134, 2006
157. 今井 努, 近藤 敏之, 伊藤 宏司, 複数の動的環境に対する人間の運動学習, 第 18 回 自律分散システム・シンポジウム講演論文集, 169-174, 2006
158. 塚本昌彦, 近藤敏之, 伊藤宏司, 動作の立ち上がり時に着目した非定常 EMG による筋電義手制御, 電子情報通信学会技術報告, 105, 577, 41-44, 2006
159. 大脇大, 石黒章夫, 非線形バネを活用した安定な二脚受動走行の実現, 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会 2005 (SSI2005) 講演論文集, 95-100, 2005
160. 清水正宏, 川勝年洋, 石黒章夫, 力学系の時空間構造に基づく移動知理解に向けての一考察 ?モジュラーロボットを用いた事例研究?, 第18回自律分散システム・シンポジウム資料, 217-222, 2006
161. 松場朋明, 前川知毅, 清水正宏, 石黒章夫, 制御系―機構系間の有機的連関を通した自己組み立て・自己修復, 第18回自律分散システム・シンポジウム資料, 61-66, 2006
162. 大脇大, 石黒章夫, 非線形弾性要素を有する二脚受動走行機構の安定性解析, 第18回自律分散システム・シンポジウム資料, 111-116, 2006
163. 山田康成, 渡邊航, 石黒章夫, 可変弾性要素を活用した制御系と機構系の有機的連関に関する一考察 ?ヘビ型ロボットを用いた事例研究?, 第18回自律分散システム・シンポジウム資料, 135-138, 2006
164. 大須賀公一, 受動的動歩行のどこがおもしろいの?, 第 6 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (SI2005) , 2005
165. 佐藤智紀, 馬書根, 井上康介, 蛇型ロボットの自律分散制御システムの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'05 講演論文集, 2005
166. 井上 康介, 馬 書根, 住 孝明, 佐藤 記一, ヘビ型ロボットの自律分散制御―接地面摩擦係数の変動に対する運動の適応―, 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会 (SSI2005), 2005
167. 坂本一寛, 虫明元, 斉藤尚宏, 丹治順, 前頭前野神経細胞の同期発火と発火頻度の機能的意義, 電子情報通信学会信学技報 (信学技報), NC2005-4, 105, 82, 4,
168. 伊藤二, 矢野雅文, 局所変化率に基づく有声音声の符号化, 電子情報通信学会信学技報 (信学技報), EA, 2005-2, 7-12, 2005
169. 伊藤二, 矢野雅文, 同時音声知覚におけるスペクトル遷移の役割, 電子情報通信学会信学技報 (信学技報), EA, 2005-36, 13-18, 2005
170. 山﨑貴之, 磯川悠次郎, 松井伸之, 池野英利, 神崎亮平, 共焦点レーザ顕微鏡画像に基づく昆虫神経細胞モデルの再構築, 信学技報 Technical Report of IEICE, NC2004-196, 2005-03, 19-24, 2006

● 2006 年度

171. Yoshinari Makino, Masafumi Yano, Pictorial Cues Constrain Depth in da Vinci Stereopsis, Vision Research, 46, 1-2, 91-105, 2006
172. Naohiro Saito, Hajime Mushiake, Kazuhiro Sakamoto, Yasuto Itoyama, Jun Tanji, Representation of Immediate and Final Behavioral Goals in the Monkey Prefrontal Cortex during an Instructed Delay Period, Cerebral Cortex, 15, 10, 1535 - 1546, 2005
173. Kazuhiro SAKAMOTO, Takayuki SUGIURA, Toshihiko KAKU, Toru ONIZAWA and Masafumi YANO, Spatiotemporal balance in competing apparent motion is not predicted from the strength of the single-motion percept, Perception, 35, 947-957, 2006
174. Hajime Mushiake, Naohiro Saito, Kazuhiro Sakamoto, Yasuto Itoyama, and Jun Tanji, Activity in the Lateral Prefrontal Cortex Reflects Multiple Steps of Future Events in Action Plans, Neuron, 50, 631-641, 2006
175. Yoshinari Makino, Hisanori Makinae, Tsukasa Obara, Haruki Miura and Masafumi Yano, Observations of Olfactory Information Flows within Brain of the Terrestrial Slug, Incirialia fruhstorferi, Proceeding of 2006 International Joint Conference on Neural Networks , 7605-7612, 2006
176. Masashi Ito, Masafumi Yano, High-quality voice modification based on Local Vector Coding, Proceeding of AES Japan Conference, P-17,
177. Taiichiro Watanabe, Keita Motonami, Kazuhiro Sakamoto, Jun Deguchi, Risato Kobayashi, Ken Komiya, Keiji Okumura, Takafumi Fukushima, Hiroyuki Kurino, Hajime Mushiake, and Mitsumasa Koyanagi, Intelligent Neural Implant Microsystem Fabricated Using Multi-Chip Bonding Technique, 2005 International Conference on Solid State Device and Materials, 462-463, 2005
178. Masashi Ito, Masafumi Yano, Pitch determination and sinusoidal modeling for time-varying voiced speech, The Journal of the Acoustical Society of America (4th joint meeting of ASA/ASJ), 120, 5, 3376, 2006
179. YOSHIHARA Yuki, TOMITA Nozomi, ASANO Tomotaka, MAKINO Yoshinari, YANO Masafumi, Control of Reaching Movement in Unpredictably Changing Environment by Constraints Emergence and Satisfaction, Proc. of SICE-ICASE International Joint Conference 2006, SP02-2, 2006
180. TOMITA Nozomi, YANO Masafumi, Real-time Control of Bipedal Movement based on Basal ganglia and Brainstem Systems, Proc. of SICE-ICASE International Joint Conference 2006, 4499-4502, 2006
181. Masashi Ito, Masafumi Yano, A Local Vector Coding for High Quality Voice Analysis/Synthesis, The Journal of the Acoustical Society of America (150th Meeting of the Acoustical Society of America), 118, 3, 2024, 2005
182. Kazuhiro Sakamoto, Toru Onizawa, Masafumi Yano, Competition Between Spatial and Temporal Factors in Simple Apparent Motion is Modulated by Laterality, Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Development and Learning (ICDL-05), 175-179, 2005
183. Yoshinari Makino, Hisanori Makinae, Tsukasa Obara, Masafumi Yano, Brain Regions Related to Odor Learning and Memory in Terrestrial Slug, Incirialia Fruhstorferi: Two Lobes of the Cerebral Ganglion Show Different Spatiotemporal Activities, Proceedings of the 11th International Symposium on Artificial Life and Robotics, OS7-1, 2006
184. Kazuhiro Sakamoto, Hajime Mushiake, Naohiro Saito, Jun Tanji, Transient Synchrony and Dynamical Representation of Behavioral Goals of the Prefrontal Cortex, Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Development and Learning (ICDL-05), 207-211, 2005
185. Ikuo Matsuo, and Masafumi Yano, A Computational Model of Echolocation: Restoration of an Acoustic Image from a Single-Emission Echo, The Journal of the Acoustical Society of America (149th Meeting of the Acoustical Society of America), 117, 4, 2553, 2005
186. Koji Ito, Takahiro Shioyama and Toshiyuki Kondo, Lower-limb Joint Torque and Position Controls by Functional Electrical Stimulation (FES), in J. L. Wu et al (eds.): Complex Medical Engineering, Springer, 240-249, 2006
187. Shunsuke Iida, Toshiyuki Kondo, Koji Ito, An Environmental Adaptation Mechanism for a Biped Walking Robot Control Based on Elicitation of Sensorimotor Constraints, From Animals to Animats 9, Lecture Notes in Computer Science, Proceedings of 9th International Conference on Simulation of Adaptive Behavior (SAB'06), 4095, 174-184, 2006
188. Toshiyuki Kondo, Evolutionary design and behavior analysis of neuromodulatory neural networks for mobile robots control, Applied Soft Computing, 7, 189-202, 2007
189. J.L.Wu, K.Ito, S. Tobimatsu, T. Nishida, F. Fukuyama, Complex Medical Engineering, Springer, 2007
190. Toshiyuki Kondo, Koji Ito, A Proposal of Continuous Time Recurrent Neural Networks with Neuromodulatory Bias for Adaptation to Un-experienced Environments, SICE-ICASE Joint Conference 2006 (SICE-ICCAS06), 5067-5070, 2006
191. Koji Ito, Tsutomu Imai, Naoki Tomi and Toshiyuki Kondo, Decomposition of Internal Models in Motor Learning Under Mixed Dynamic Environments, SICE-ICASE Joint Conference 2006 (SICE-ICCAS06), 5061-5066, 2006
192. Tomoaki Nagano, Toshiyuki Kondo and Koji It, A Distributed Motor Control System based on Spinal Cord and Musculoskeletal Mechanisms, Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 192-197, 2006
193. Koji Ito, Tsutomu Imai and Toshiyuki Kondo, Motor Adaptation to Dynamic Environments in Arm Reaching Motions, Proceedings. of XVIII IMEKO WORLD CONGRESS, 2006
194. Toshiyuki Kondo, Koji Ito, A design principle of adaptive neural controllers for realizing anticipatory behavior in reaching movement under un-experienced environments, Proceedings of The Third Workshop on Anticipatory Behavior in Adaptive Learning Systems (ABiALS'06), 2006
195. Toshiyuki Kondo, Koji Ito, A Neuromoduratory Neural Networks Model for Environmental Cognition and Motor Adaptation, Proceedings of IEEE World Congress on Computational Intelligence (WCCI2006), 9865-9870, 2006
196. Jun Izawa, Takahito Shimizu, Toshiyuki Aodai, Toshiyuki Kondo, Hiroaki Gomi, Shigeki Toyama, Koji Ito, MR Compatible Manipulandum with Ultrasonic Motor for fMRIStudies, Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2006), 3850-3854, 2006
197. Tetsunari Inamura, Naoki Kojo, Masayuki Inaba, Situation Recognition and Behavior Induction based on Geometric Symbol Representation of Multimodal Sensorimotor Patterns, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 5147–5152, 2006
198. Tetsunari Inamura, Naoki Kojo, Kazuyuki Sakamoto, Masayuki Inaba, Interactive intent imitation for humanoid robots based on dynamic attention prediction and control, 50th Anniversary Sumit of Artificial Intelligence, 2006
199. Ei-Ichi Izawa, Naoya Aoki, Toshiya Matsushima, Neural correlates of the proximity and quantity of anticipated food rewards in the ventral striatum of domestic chicks, European Journal of Neuroscience, 22, 1502-1512, 2005
200. Naoya Aoki, Ryuhei Suzuki, Ei-Ichi Izawa, Andras Csillag, Toshiya Matsushima, Localized lesions of ventral striatum, but not arcopallium, enhanced impulsiveness in choices based on anticipated spatial proximity of food rewards in domestic chicks, Behavioural Brain Research, 168, 1-12, 2006
201. Naoya Aoki, Andras Csillag, Toshiya Matsushima, Localized lesions of arcopallium intermedium of the lateral forebrain caused a handling-cost aversion in the domestic chick performing a binary choice task, European Journal of Neuroscience, 24, 2314-2326, 2006
202. Toshiya Matsushima, Neural control of foraging decision making in the domestic chicks, International IBRO workshop (International Brain Research Organization, Budapest, 26 January, 2006), 2006
203. Fumihiko Ishida, Yasuji E Sawada, Semianalytical transient solution of a delayed differential equation and its application to the tracking motion in the sensory-motor system, Physical Review E, ７５, 12901, 2007
204. Kenshi Watanabe, Kenichi Ohkubo, Sumiaki Ichikawa, and Fumio Hara, Classification of Object Shapes Utilizing Tactile Spatiotemporal Differential Information Obtained from Grasping by Single-Finger Robot Hand with Soft Tactile Sensor Array, Journal of Robotics and Mechatronic, １９, 1, 2007
205. Akira Murata, Hiroaki Ishida , Representation of bodily self in the multimodal parieto-premotor network, In: Representation

and Brain, edited by Shintaro Funahashi, Springer Verlag, (in press)
206. Raos, V., Umilta, M-A., Murata, A., Fogassi, L. & Gallese, V,Functional properties of grasping-related neurons in ventral premotor area F5 of the Macaque monkey.,J Neurophysiol. ,95,2,709-729,2006
207. M. Ito, K. Noda, Y. Hoshino, J. Tani,Dynamic and interactive generation of object handling behaviors by a small humanoid robot using a dynamic neural network model,Neural Networks,19, 323-337,2006
208. K. Noda, M. Ito, Y. Hoshino, J. Tani,Dynamic generation and switching of object handling behaviors by a humanoid robot using a recurrent neural network model,Lecture Notes in Artificial Intelligence(SAB2006),4095, 185-196,2006
209. H. Arie, J. Namikawa, T. Ogata, J. Tani, S. Sugano,Reinforcement learning algorithm with CTRNN in continuous action space,Lecture Notes in Computer Science(ICONIP2006),4232, 387-396,2006
210. Oshio Kenichi, Atsushi Chiba, Masahiko Inase,Delay Period Activity of Monkey Prefrontal Neurons during Duration-Discrimination Task.,European Journal of Neuroscience,23,10,2779-2790,2006
211. Atsushi Chiba, Kenichi Oshio, Masahiko Inase,Cue and Delay Responses of Monkey Striatal Neurons during a Duration Discrimination Task.,Proceedings of Neuroscience 2006, 36th Annual Meeting of Society for Neuroscience, 572.2,2006
212. Takakusaki K, Saitoh K and Kashiwayanagi M. ,The pedunculopontine nucleus and the basal ganglia in locomotion., In: Recent Breakthroughs in Basal Ganglia Research, (ed by E. Bezard), 133-149,2006
213. Takakusaki K, Saitoh K, Nonaka S, Okumura T, Miyokawa N, Koyama Y. ,Neurobiological basis of state-dependent control of motor behavior. ,Sleep and Biological Rhythms.,4, 87-104,2006
214. Yamada H, Tanno S, Takakausaki K, Okumura, T.,Intracisternal injection of orexin-A prevents ethanol-induced gastric mucosal damage in rats.,Journal of Gastroenterologyion (in press),
215. Takakausaki K, ,Forebrain control of locomotor behaviors,Brain Research Review, (in press),
216. Adachi M, Nonaka S, Katada A, Arakawa T, Ota R, Harada H, Takakusaki K, Harabuchi Y.,Carbachol injection into the pontine reticular formation depresses laryngeal muscle activity and airway reflexes in decerebrate cats,Neuroscience Research (in press),
217. Takakausaki K, ,What are the Neurophysiologic Substrates of Normal and Abnormal Gait? ,Journal of Neurology (in press),
218. Takakusaki K,Forebrain control of locomotor behaviors,Wenner-Gren Founda- tions International Symposium: "Networks in Motion", 2006
219. F. Mori, K. Nakajima, A. Tachibana, and S. Mori.,Obstacle clearance and prevention from falling in the bipedally walking Japanese monkey, Macaca fuscata. ,Age and Aging.,35,S2,19-23,2006
220. F. Mori, K. Nakajima, and S. Mori., Control of bipedal walking in the Japanese monkey, M. fuscata, Reactive and anticipatory control mechanisms,In: Kimura, H., Tsuchiya, Ishiguro, A., and Witte, H. (Eds.), Adaptive Motion of Animals and Machines, Springer, p.249-p.250 (2006), 249-250,2006
221. F. Mori, K. Nakajima, Tachibana, A., Tsukada, H., and S. Mori.,Primary, supplementary and premotor cortices are involved in the execution and control of operant-trained bipedal treadmill walking in Japanese monkey (M. fuscata). ,The 1st International Congress on Gait and Mental Function,
222. Satoshi Shibuya, Toshimitsu Takahashi, Shigeru Kitazawa,Effects of visual stimuli on temporal order judgments of unimanual finger stimuli,Experimental Brain Research, DOI 10.1007/s00221-006-0829-4.,2007
223. Kenji Yamamoto, Mitsuo Kawato, Shinya Kotosaka, Shigeru Kitazawa,Encoding of movement dynamics by Purkinje cell simple spike activity during fast arm movements under resistive and assistive force fields.,Journal of Neurophysiology,97,2,1588-1599,2007
224. Makoto Miyazaki, Shingya Yamamoto, Sunao Uchida, Shigeru Kitazawa ,Bayesian calibration of simultaneity in tactile temporal order judgment.,Nature Neuroscience ,9,7,875-877,2006
225. Makoto Wada, Kenji Yoshimi, Noriyuki Higo, Yong-Ri Ren,Hideki Mochizuki, Yoshikuni Mizuno, Shigeru Kitazawa,Statistical parametric mapping of immunopositive cell density. ,Neuroscience Research,28,11,96-102,2006
226. Nakazato T, Kagohashi M, Yoshimi M. ,Influence of pH on voltammetric measurement of dopamine. ,Biogenic Amines, 20, (in press),2006
227. Shigeru Kitazawa,Reversal of subjective temporal order due to sensory and motor integrations,Attention and Performance XXII Sensorimotor foundations of higher cognition. , 2006
228. Shigeru Kitazawa,Where tactile signals are ordered in time,Cognition and Action, The 29th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, 2006
229. Shigeru Kitazawa,Discussion from a neurophysiological viewpoint,Developing cross-modal representation of objects and space International Conference on Infant Studies 2006, 2006
230. Kagohashi M., Moizumi S Yoshimi K. Nakazato T, Kitazawa S.,Wireless voltammetry: dopamine measurement in the freely moving rat., Soc. Neurosci., (Suppl) 592.1, ,2006
231. Yoshimi K., Kagohashi M., Moizumi S, Hattori N, Nakazato T, Kitazawa,Week-long voltammetric recording in the rat striatum: circadian rhythm of dopamine level.,Soc. Neurosci., (Suppl) 469.1, ,2006
232. Futoshi Mori, Katsumi Nakajima, Atsumichi Tachibana, Shigemi Mori ,Obstacle Clearance and Prevention from Falling in the Bipedally Walking Japanese Monkey, Macaca fuscata.,Age and Aging.,35,S2,19-23,2006
233. Dai Yanagihara,Role of the cerebellum in adaptive control of locomotion.,Proceedings of SICE-ICASE International Joint Conference, 4493-4494,2006
234. Nakatsukasa, M., Hirasaki, E., Ogihara, N.,Energy expenditure of bipedal walking is higher than that of quadrupedal walking in Japanese macaques,American Journal of Physical Anthropology,131, 33-37,2006
235. S. Aoi, K. Tsuchiya,Bifurcation and Chaos of a Simple Walking Model Driven by a Rhythmic Signal,International Journal of Non-Linear Mechanics,41,3,438-446,2006
236. S. Aoi, K. Tsuchiya,Stability Analysis of a Simple Walking Model Driven by an Oscillator With a Phase Reset Using Sensory Feedback,IEEE Transactions on Robotics,22,2,391-397,2006
237. S. Aoi, K. Tsuchiya,Self-stability of a Simple Walking Model Driven by a Rhythmic Signal,Nonlinear Dynamics,48,1-2,1-16,2007
238. S. Aoi, K. Tsuchiya,Gait Transition from Quadrupedal to Bipedal Locomotion of an Oscillator-driven Biped Robot,International Journal of Advanced Robotic Systems, (in press),
239. S. Aoi, H. Sasaki, K. Tsuchiya,A Multi-legged Modular Robot That Meanders: Investigation of Turning Maneuvers Using its Inherent Dynamic Characteristics,SIAM Journal on Applied Dynamical Systems, (in press),
240. Nakatsukasa, M., Hirasaki, E., Ogihara, N.,Energy expenditure of bipedal walking is higher than that of quadrupedal walking in Japanese macaques,American Journal of Physical Anthropology,131, 33-37,2006
241. S. Aoi, K. Tsuchiya,Bipedal Locomotion Control Using Nonlinear Oscillators,Dynamic Walking 2006, 2006
242. S. Aoi, K. Tsuchiya,Feedback Control of a Simple Walking Model Driven by an Oscillator,IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1990-1996,2006
243. S. Aoi, K. Tsuchiya,Turning Maneuvers of a Multi-legged Modular Robot Using Its Inherent Dynamic Characteristics,IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 180-185,2006
244. Y.Sugimoto, K.Osuka,Implicit Feedback Structure in Passive Dynamic Walking,Dynamic Walking 2006, 2006
245. Ogihara, N., Nakatsukasa, M., Sugimoto, Y., Aoi, S., Tsuchiya, K.,Adaptive locomotion mechanisms inherent in the musculoskeletal structure,SICE-ICASE International Joint Conference 2006, 2006
246. Hase, K., Obinata, G., Nakayama, A., Ogihara, N., Usui, T., Tasaki, Y.,Large-scale forward dynamics simulation with a whole-body musculoskeletal model,5th World Congress of Biomechanics, 2006
247. Zu Guang Zhang, Hiroshi Kimura and Yasuhiro Fukuoka,Autonomously generating efficient running of a quadruped robot using delayed feedback control,Advanced Robotics,20,6,607-629,2006
248. Zu Guang Zhang, Hiroshi Kimura and Kunikatsu Takase,delayed feedback control,Journal of Vibration and Control,12,12,1361-1383,2006
249. Takashi Takuma, Koh Hosoda,Controlling the Walking Period of a Pneumatic Muscle Walker,International Journal of Robotics Research,25,9,861-866,2006
250. Hiroshi Kimura, Yasuhiro Fukuoka and Avis H. Cohen,Biologically Inspired Adaptive Walking of a Quadruped Robot,Philosophical Transactions of the Royal Society A,365,1850,153-170,2007
251. Zu Guang Zhang, Hiroshi Kimura, and Yasuhiro Fukuoka,Self-Stabilizing Dynamics for a Quadruped Robot and Extension Towards Running on Rough Terrain,Journal of Robotics and Mechatronics,19,1, 2007
252. K.Tsujita and T.Masuda,Simulation Study on Acquisition Process of Locomotion by using an Infant Robot,International Journal of Advanced Robotic Systems, (in press),2006
253. K.Tsujita, A.Morioka, K.Nakatani, K.Suzuki and T.Masuda,Oscillator-controlled Bipedal Walk with Pneumatic Actuators,KSME International Journal, (in press),2006
254. Takashi Takuma, Koh Hosoda,Controlling Walking Velocity of a Pneumatic Actuated Biped by Changing Hip Passivity,Dynamic Walking 2006, Poster-22,2006
255. Koh Hosoda, Takashi Takuma, and Athushi Nakamoto,Design and Control of a Running Biped with Pneumatic Artificial Muscles,Dynamic Walking 2006, 2006
256. Tsuyoshi UENO, Yutaka NAKAMURA, Takashi TAKUMA, Tomohiro SHIBATA, Koh HOSODA, Shin ISHII,Fast and Stable Learning of Quasi-Passive Dynamic Walking by an Unstable Biped Robot based on Off-Policy Natural Actor-Critic,International Conference on Intelligent Robots and Systems, 5226-5231,2006
257. Koh Hosoda, Takashi Takuma, and Atsushi Nakamoto,Design and Control of 2D Biped that can Walk and Run with Pneumatic Artificial Muscles,IEEE-RAS/RSJ International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 2006), CD-ROM,2006
258. K.Tsujita, A.Morioka, K.Nakatani, K.Suzuki and T.Masuda,Oscillator-controlled Bipedal Walk with Pneumatic Actuators,Proc. of Int. Conf. of Motion and Vibration Control, 670-675,2006
259. K.Tsujita and T.Masuda,Simulation of Acquisition of Locomotoin of an Infant Robot,Proc. of IEEE/RSJ IROS2006, 4929-4934,2006
260. Takaaki SUMI, Kousuke INOUE, Norikazu SATO, Shugen MA,Development of an Environmentally Adaptable Snake-Like Robot --Construction of a Neural Osillator Network Capable of Changing Ground Friction--,Proceedings of 3rd International Conference on Brain-inspired Information Technology, 82,2006
261. Y. Ninomiya, Y. Kayama, Y. Koyama. ,Postnatal development of cholinergic neurons in the mesopontine tegmentum revealed by histochemistry. ,Internatl J Develop Neurosci,23, 711-721,2005
262. K. Takahashi, Q.-P.Wang, J.-L.Guan, Y. Kayama, S. Shioda and Y. Koyama ,State-dependent effects of orexin on the serotonergic dorsal raphe neurons in the rat.,Reg. Peptide ,126, 43-47,2005
263. Q.-P. Wang, Y. Koyama, J.-L. Guan, Y. Kayama, K. Takahashi, and S. Shioda.,The orexinergic synaptic innervation of serotonin- and orexin 1 receptor-containig neurons in the dorsal raphe nucleus. ,Reg. Peptide ,126, 35-42,2005
264. Y. Yasoshima, N. Kai, S. Yoshida, S. Shiosaka, Y. Koyama, Y. Kayama Y., K. Kobayashi,Subthalamic neurons coordinate basal ganglia function through differential neural pathways ,J. Neurosci. ,25, 7743-7753,2005
265. K. Takakusaki, K. Takahashi, K. Saitoh, H. Harada, T. Okumura, Y. Kayama, Y. Koyama,Orexinergic projections to the midbrain mediate alternation of emotional behavioral states from locomotion to cataplexy,J. Physiol. ,568, 1003-1020,2005
266. T. Sakurai, R. Nagata, A. Yamanaka, H. Kawamura, N. Tsujino, Y. Muraki, H. Kageyama, S. Kunita, S. Takahashi, K. Goto, Y. Koyama, S. Shioda, M. Yanagisawa,Input of orexin/hypocretin neurons revealed by genetically encoded tracer in mice.,Neuron,46, 297-308,2005
267. T. Kodama, S. Usui Y. Honda, M. Kimura,High Fos expression during the active phase in orexin neurons of a diurnal rodent, Tamias sibiricus barberi,Peptides,26,4,631-638,2005
268. T. Kodama, and Y. Koyama,Nitric oxide from the laterodorsal tegmental neurons: Its possible retrograde modulation on norepinephrine release from the axon terminal of the locus coeruleus neurons. ,Neuroscience ,138, 245-256,2006
269. K. Takakusaki, K. Saito, T.Nonaka, T. Okumura, N. Miyokawa, Y. Koyama.,Neurobiological basis of state-dependent control of motor behaviors.,Sleep and Biological Rhythms ,4, 87-104,2006
270. Y.Tamakawa, A. Karashima, Y. Koyama, N. Katayama and M. Nakao,A Quartet Neural System Model Orchestrating Sleep and Wakefulness Mechanisms,J Neurophysiol ,95, 2055-2069,2006
271. K. Takahashi JS.Lin, K. Sakai ,Neuronal activity of histaminergic tuberomammillary neurons during wake-sleep states in the mouse,J. Neuroscience,26,40,10292-10298,2006
272. K. Nakamura, Y. Koyama, K. Takahashi, et al., ,Requirement of tryptophan hydroxylase during development for maturation of sensorimotor gating,J Mol Biol ,363, 345-354,2006
273. Osamu Fukayama, Noriyuki Taniguchi, Takafumi Suzuki, Kunihiko Mabuchi,Estimation of Locomotion Speed and Directions Changes to Control a Vehicle Using Neural Signals from the Motor Cortex of Rat,Proceedings of the 28th IEEE EMBS Annual International Conference, 1138-1141,2006
274. Yasuhiro Kato, Itsuro Saito, Takayuki Hoshino, Takafumi Suzuki, Kunihiko Mabuchi,Preliminary Study of Multichannel Flexible Neural Probes Coated with Hybrid Biodegradable Polymer,Proceedings of the 28th IEEE EMBS Annual International Conference, 660-663,2006
275. Takashi Sato, Takafumi Suzuki, Kunihiko Mabuchi,A new multi-electrode array design for chronic neural recording, with independent and automatic hydraulic positioning.,Journal of Neuroscience Methods,160, 45-51,2007
276. Sakurai, Y.,How can we detect ensemble coding by cell assembly.,Representation and Brain, 2007 (in press)
277. Sakurai, Y., Takahashi, S.,Dynamic synchrony of firing in the monkey prefrontal cortex during working memory tasks,Journal of Neuroscience,26, 10141-10153,2006
278. Koike, Y., Hirose, H., Sakurai, Y., Iijima, T.,Prediction of arm trajectory from a small number of neuron activities in the primary motor cortex.,Neuroscience Research,56, 146-153,2006
279. Takahashi, S., Sakurai, Y. ,Sub-millisecond synchronization among pyramidal neurons in hippocampal CA1 of rats during delayed non-matching to sample task.,36th Society for Neuroscience Annual Meeting., 2006
280. Hirokawa, J., M. Bosch, Sakata, S., Sakurai, Y., Yamatori, T.,A distinct area of rat visual cortex mediates behavioral enhancement by audiovisual integration.,36th Society for Neuroscience Annual Meeting., 2006
281. Sakurai, Y.,Brain plasticity revealed with brain-machine interfaces,1st International Conference on Advanced Medical Engineering and Informatics. , 2006
282. Nomura, M., Sakurai, Y., Kitano, K. & Aoyagi, T.,Applying the kernel method to multi-neuronal spike trains.,1st Symposium on Complex Medical Engineering, ,2006
283. Aso T, Hanakawa T, Matsuo K, Toma K, Shibasaki H, Fukuyama H, Nakai T.,Subregions of human parietal cortex selectively encoding object orientation.,Neuroscience Letters, (in press),
284. Sawamoto N, Honda M, Hanakawa T, Aso T, Inoue M, Toyoda H, Ishizu K, Fukuyama H, Shibasaki H. ,Role of the striatum in cognitive slowing in Parkinson's disease. ,Neurology, (in press),
285. Yamada M, Namiki C, Hirao K, Hanakawa T, Fukuyama H, Hayashi T, Murai T,Social cognition and frontal lobe pathology in schizophrenia: A voxel-based morphometric study. ,Neuroimage, (in press),
286. Mikuni N, Okada T, Nishida N, Taki J, Enatsu R, Ikeda A, Miki Y, Hanakawa T, Fukuyama H, Hashimoto N ,Comparison between motor evoked potential recording and fiber tracking for estimating pyramidal tracts near brain tumors. ,Journal of Neurosurgery,106,1,128-133,2007
287. Yamamoto A, Miki Y, Urayama S, Fushimi Y, Okada T, Hanakawa T, Fukuyama H, Togashi K.,Diffusion tensor fiber tractography of the optic radiation: analysis with 6-, 12-, 40- and 81-directional motion probing gradients; a preliminary study. ,Americal Journal of Neuroradiology ,28,1,92-96,2007
288. Mikuni N, Oakada T, Taki J, Matsumoto R, Nishida N, Enatsu R, Hanakawa T, Ikeda A, Miki Y, Urayama SI, Fukuyama H, Hashimoto N.,Fibers from the dorsal premotor cortex elicit motor-evoked potential in a cortical dysplasia. ,Neuroimage,34,1,12-18,2007
289. Takaya S, Hanakawa T, Hashikawa K, Ikeda A, Sawamoto N, Nagamine T, Ishizu K, Fukuyama H. ,Prefrontal hypofunction in patients with intractable mesial temporal lobe epilepsy. ,Neurology ,67,9,1674-1676,2006
290. Kikuta K, Takagi Y, Fushimi Y, Ishizu K, Okada T, Hanakawa T, Miki Y, Fukuyama H, Nozaki K, Hashimoto N,"Target bypass": a method for preoperative targeting of a recipient artery in superficial temporal artery-to-middle cerebral artery anastomoses.,Neurosurgery,59,4,ONS-320-327,2006
291. Okada T, Miki Y, Mikuni N, Kikuta K, Urayama S, Hanakawa T, Fukuyama H, Hashimoto N, Togashi K,Diffusion tensor tractography of corticospinal tract using 3-T combined with white matter stimulation mapping: an integrated approach to validate the corticospinal tract localization.,Radiology,240,3,849-857,2006
292. Fukui H, Murai T, Shinozaki J, Aso T, Fukuyama H, Hayashi T, Hanakawa T.,The neural basis of social tactics: An fMRI study.,Neuroimage,32, 913-920,2006
293. Bohlhalter S, Goldfine A, Matteson A, Garraux G, Hanakawa T, Kansaku K, Wurzman R, Hallett M.,Neural correlates of tic generation in Tourette syndrome: an event-related functional MRI study.,Brain,129,8, 2029-37,2006
294. Callan D, Tsytsarev V, Hanakawa T, Callan A, Katsuhara M, Fukuyama H, Turner R.,Perception and covert generation of song and speech.,Neuroimage,31,3,1327-1342,2006
295. Crinion J, Turner R, Grogan A, Hanakawa T, Noppeney U, Devlin JT, Aso T, Urayama S, Fukuyama H, Stockton K, Usui K, Green D, Price CJ.,Language control in the bilingual brain.,Science,312,5779,1537-1540,2006
296. Hanakawa T, Honda M, Zito G, Dimyan MA, Hallett M. ,Brain activity during motor behavior triggered by arbitrary cues and spatially-constrained cues: An fMRI study in humans. ,Experimental Brain Research,172,2,275-282,2006
297. Le Bihan D, Urayama S, Aso T, Hanakawa T, Fukuyama H,Direct and fast detection of neuronal activation in the human brain with diffusion MRI.,Proceedings of Natonal Academy of Science USA,103,21,8263-8268,2006
298. Fushimi Y, Miki Y, Kikuta K, Okada T, Kanagaki M, Yamamoto A, Nozaki K, Hashimoto N, Hanakawa T, Fukuyama H, Togashi K,Comparison of 3.0- and 1.5-T three-dimensional time-of-flight MR angiography in moyamoya disease: a preliminary experience.,Radiology,239,1,232-237,2006
299. Kikuta K, Takagi Y, Nozaki K, Hanakawa T, Okada T, Fushimi Y, Miki Y, Fukuyama H, Hashimoto N,Early experience with 3-tesla magnetic resonance tractography in the surgery of cerebral AVMs in and around the visual pathway. ,Neurosurgery,58,2,331-337,2006
300. Garraux G, Goldfine A, Bohlhalter S, Lerner A, Hanakawa T, Hallett M. ,The midbrain hypothesis in Tourette's syndrome: a reappraisal using voxel-based morphometry.,Annals of Neurology ,59,2,381-385,2006
301. Okada T, Miki Y, Fushimi Y, Hanakawa T, Kanagaki M, Yamamoto A, Urayama S, Fukuyama H, Hiraoka M, Togashi K,Diffusion tensor fiber tractography: Intra-individual comparison using 3 T and 1.5 T MRI.,Radiology,238,2,668-678,2006
302. Fridman E, Immisch I, Hanakawa T, Bohlhalter S, Waldvogel D, Kansaku K, Wheaton L, Wu T, Hallett M.,The role of the dorsal stream for gesture production.,Neuroimage,29,2,417-428,2006
303. Hanakawa T,Neuroimaging of standing and walking: Special emphasis on Parkinsonian gait ,Parkinsonism and Related Disorders ,12,Suppl 2,S70-75,2006
304. Ihara M, Tomimoto H, Ishizu K, Yoshida H, Sawamoto N, Hashikawa K, Fukuyama H.,Association of vascular parkinsonism with impaired neuronal integrity in the striatum.,Journal of Neural Transmission, (in press),
305. Miyamoto JJ, Honda M, Saito DN, Okada T, Ono T, Ohyama K, Sadato N.,The representation of the human oral area in the somatosensory cortex: a functional MRI study.,Cerebral Cortex,16,5,669-675,2006
306. Qiu Y, Noguchi Y, Honda M, Nakata H, Tamura Y, Tanaka S, Sadato N, Wang X, Inui K, Kakigi R.,Brain processing of the signals ascending through unmyelinated C fibers in humans: an event-related functional magnetic resonance imaging study.,Cereb Cortex,16,9,1289-1295,2006
307. Aramaki Y, Honda M, Okada T, Sadato N.,Neural correlates of the spontaneous phase transition during bimanual coordination.,Cereb Cortex,16,9,1338-1348,2006
308. Aramaki Y, Honda M, Sadato N.,Suppression of the non-dominant motor cortex during bimanual symmetric finger movement: a functional magnetic resonance imaging study.,Neuroscience,141,4,2147-2153,2006
309. Saito DN, Okada T, Honda M, Yonekura Y, Sadato N.,Practice makes perfect: the neural substrates of tactile discrimination by Mah-Jong experts include the primary visual cortex.,BMC Neurosci,5,7,79,2006
310. Kiyoji Matsuyama K, Suguru Kobayashi, Mamoru Aok,Projection patterns of lamina VIII commissural neurons in the lumbar spinal cord of the adult cat: an anterograde neural tracing study.,Neuroscience,140,1,203-218,2006
311. Ying Cao, Yutaka Fujito, Kiyoji Matsuyama, Mamoru Aoki. ,Effects of electrical stimulation of the medullary raphe nuclei on respiratory movements in rats.,Journal of Comparative Physiology A: Sensory, Neural, and Behavioral Physiology,192,5,497-505,2006
312. Ying Cao, Kiyoji Matsuyama, Yutaka Fujito, Mamoru Aoki. ,Involvement of medullary GABAergic and serotonergic raphe neurons in respiratory control: electrophysiological and immunohistochemical studies in rats.,Neuroscience Research,56,3,322-331,2006
313. Kiyoji Matsuyama, Masanori Ishiguro, Suguru Kobayashi, Mamoru Aoki ,Characteristics of the interlimb coordination between fore- and hindlimbs during hopping movements in decerebrate rabbits,Neuroscience Meeting Planner of Neuroscience 2006 (36th Annual Meeting of the Society for Neuroscience), 648.14,2006
314. M. Nakanishi, T. Nomura, S. Sato,Stumbling with optimal phase reset during gait can prevent a humanoid from

falling, ,Biological Cybernetics,95:5,503-515,2006
315. Y. Yasutake, S. Taniguchi, T. Nomura,Non-Asymptotical Postural Stabilization Strategy during Human Quiet Stance.,Proceedings of the 28th IEEE EMBS Annual International Conference, New York City, USA, Aug 30-Sept 3, 1189-1192,2006
316. T. Ishikawa, Y. Kaji, T. Nomura.,Sensory perception of unexpected sudden changes in floor level during human gait.,Proceedings of the 28th IEEE EMBS Annual International Conference, New York City, USA, Aug 30-Sept 3, 4474-4477,2006
317. Kazuhiko SEKI, Tomohiko Takei,Primary afferent depolarization evoked by natural stimulation of cutaneous afferent in monkey,006 Neuroscience Meeting Planner. Atlanta, GA: Society for Neuroscience, 2006. Online., 627-54.8/P13628,2006
318. Tomohiko Takei, Kazuhiko SEKI,Involvement of the primate spinal neurons in the control of precision grip,006 Neuroscience Meeting Planner. Atlanta, GA: Society for Neuroscience, 2006. Online., 54.9/P14,2006
319. Tomohiko Takei, Kazuhiko SEKI,Spinomuscular coherence in monkey performing a precision grip task,Society for neural control of movement annual meeting abstract booklet, (in press),2007
320. Ott S. R., Aonuma H., Newland P.L. and Elphick M.R. ,Nitric oxide synthase in crayfish walking leg ganglia: segmental differences in chemo-tactile centers argue against a generic role in sensory integration,J. Comp. Neurol.,501, 381-399,2007
321. Watanabe T., Kikuchi M., Hatakeyama D., Shiga T., Yamamoto T., Aonuma H., Takahata M., Suzuki N. and Ito E.,Gaseous neuromodulator-related genes expressed in the brain of honeybee Apis mellifera,Develop. Neurobiol. , (in press),2007
322. Ikeno H, Nishioka T, Hachida T, Kanzaki R, Seki Y, Ohzawa I, Usui S,Development and application of CMS based database modules for neuroinformatics. ,Neurocomputing, (in press),2007
323. Wagatsuma A., Azami S., Sakura M., Hatakeyama D., Aonuma H. and Ito E.,De novo synthesis of CREB in a presynaptic neuron is required for synaptic enhancement involved in memory consolidation,J. Neurosci. Res.,84, 954-960,2006
324. Matsumoto Y., Unoki S., Aonuma H. and Mizunami M.,Nitric oxide-cGMP signaling is critical for cAMP-dependent long-term memory formation,Learn. Mem.,13,1,35-44,2006
325. Delago A. and Aonuma H. ,Experience based agonistic behavior in female crickets, Gryllus bimaculatus,Zool. Sci.,23, 775-783,2006
326. Iwasaki M., Delago A., Nishino H. and Aonuma H.,Effects of previous experiences on the agonistic behaviour of male crickets Gryllus bimaculatus,Zool. Sci.,23, 863-872,2006
327. Niwa K., Sakai J., Karino T., Aonuma H., Watanabe T., Ohyama T., Inanami O. and Kuwabara M.,Reactive oxygen species mediate shear stress-induced fluid-phase endocytosis in vascular endothelial cells,Free Radical Res.,40,2,167-174,2006
328. Yamasaki T, Isokawa T, Matsui M, Ikeno H and Kanzaki R,Reconstruction and simulation for three-dimensional morphological structure of insect neurons. ,Neurocomputing ,69, 1043-1047,2006
329. Kitamura Y., Aonuma H., Oka K. and Ogawa H.,Acetylcholine enhances nitric oxide production in the terminal abdominal ganglion of the cricket, Gryllus bimaculatus,Society for Neuroscience, 351,2006
330. Suzuki M., Kimura T., Ogawa H., Aonuma H., Kitamura Y., Hotta K. and Oka K.,Peripheral nervous plexuses control squid chromatophore organs,Society for Neuroscience, 353,2006
331. Tomohisa Fujiki, Kuniaki Kawabata, Hajime Asama,Adaptive Action Selection of Body Expansion Behavior in Multi-Robot System using Communication,Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics,11.2, 2007
332. Yusuke Fukazawa, Chomchana Trevai, Jun Ota and Tamio Arai:,Acquisition of Intermediate Goals for an Agent Executing Multiple Tasks,IEEE Transactions on Robotics,22,5,1034/1040 ,2006
333. T.Fujiki, K.Kawabata, H.Aonuma, H.Asama,A Computational Model of the Adaptive Action Selection in Cricket Fighting Behavior by NO/cGMP Cascade, The 2nd International Workshop by Research Group of Invertebrate Nervous System of Japan, 8,2006
334. Ashikaga, M., Hiraguchi, T., Sakura, M., Aonuma, H. and Ota, J.,Modeling of Adaptive Behaviors of Crickets,5th Forum of European Neuroscience Abstract Book (FENS Forum Abstracts), 3,A129.1,2006
335. M. Ashikaga, M. Kikuchi, T. Hiraguchi ,M. Sakura, H. Aonuma and J. Ota,Modeling of fighting behaviors in crickets, The 2nd International Workshop by Research Group of Invertebrate Nervous System of Japan, 7,2006
336. Yusuke Tamura, Masao Sugi, Jun Ota and Tamio Arai,Prediction of Target Object Based on Human Hand Movement for Handing-Over between Human and Self-Moving Trays,Proc. 15th IEEE Int. Symp. Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN06), 189/194,2006
337. Yusuke Tamura, Masao Sugi, Jun Ota and Tamio Arai,Handling-over between Human and Self-Moving Tray,Proc. XVIII IMEKO World Congress Metrology for a Sustainable Development, 2006
338. Daisuke Kurabayashi, Katsunori Urano, Tetsuro Funato,Tetsuro Funato: Emergent Transportation Networks by Considering Interactions between Agents and their Environment,Advanced Robotics, (in press),2007
339. Daisuke Kurabayashi, Kunio Okita, Tetsuro Funato,Obstacle avoidance of a mobile robot group using a nonlinear oscillator network,IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 186-191,2006
340. Tetsuro Funato, Hitoshi Aonuma, Daisuke Kurabayashi, Masahito Nara,Development of oscillator network model for behavioral processing,nd International Workshop by Research Group of Invertebrate Nervous System of Japan, 29-31,2006
341. Tetsuro Funato, Daisuke Kurabayashi, Masahito Nara,Synchronization Control by Structural Modification of Nonlinear Oscillator Network,8th International Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems, 41-50,2006
342. Daisuke Kurabayashi, Tomohiro Inoue, Akira Yajima, Tetsuro Funato,Emergence of small-world in Ad-hoc communication network among individual agents,Intelligent Autonomous Systems 9, 605-612,2006
343. Comette R, Koshikawa, S, Hojo M, Matsumoto T, Miura T,A caste-specific cytochrome P450in the damp-wood termite Hodotermopsis sjostedti (Isoptera, Termopsidae).,Insect Molecular Biology,15, 235-244,2006
344. Garcia J, Maekawa K, Constantino R, Matsumoto T, Miura T,Analysis of the genetic diversity of Nasutitermes coxipoensis (Isoptera: Termitidae) in natural fragments of Brazilian cerrado savanna using AFLP markers. ,Sociobiology,48, 267-279,2006
345. Miura T,Caste development and division of labor in the processional nasute termite Hospitalitermes medioflavus in Borneo. ,TROPICS,15, 275-278,2006
346. Okada Y, Tsuji K, Miura T ,Morphological differences between sexes in the ponerine ant Diacamma sp. (Diacamma: Ponerinae).,Sociobiolgy,48, 527-541,2006
347. Hojo M, Matsumoto T, Miura T ,Cloning and expression of a geranylgeranyl diphosphate synthase gene - Insights into the synthesis of termite defense secretion. ,Insect Molecular Biology,16, 121-131,2007
348. Katoh H, Matsumoto T, Miura T,Alate differentiation and compound-eye development in the dry-wood termite Neotermes koshunensis (Isoptera, Kalotermitidae). ,Insectes Sociaux,54, (in press),2007
349. T. Miura,Heterochrony and modularity of the caste polyphenism in termites,XV Congress IUSSI Proceedings, 103,2006
350. R. Comette, S. Koshikawa, T. Matsumoto, T. Miura,Juvenile hormone and caste differentiation in the damp-wood termite Hodotermopsis sjostedti: histogical and molecular approaches focused on the soldier differentiation,XV Congress IUSSI Proceedings, 36-37,2006
351. S. Koshikawa, T. Miura,Gene expression analysis during caste differentiation in the damp-wood termite - perspective for genome-wide analysis,XV Congress IUSSI Proceedings, 104,2006
352. S. Miyazaki, T. Murakami, N. Azuma, S. Higashi, T. Miura,Soldier-specific modification of the mandibular motor neurons in termites,XV Congress IUSSI Proceedings, 255,2006
353. Y. Ishikawa, T. Miura,Soldier-specific modification of the mandibulat motor neurons in termites,XV Congress IUSSI Proceedings, 872-873,2006
354. A. Ishikawa, T. Miura,Developmental regulation of the wing polyphenism in aphids,XV Congress IUSSI Proceedings, 229,2006
355. M. Hojo, T. Matsumoto, T. Miura,Geranylgeranyl diphosphate synthesis is related to the biosynthesis of defendice secretion in Nastitermes takasagoensis (Isoptera: Termitidae).,XV Congress IUSSI Proceedings, 222,2006
356. K. Maekawa, S. Mizuno, S. Koshikawa, T. Miura,Compound eye development during caste differentiation in the termite Reticulitermes speratus (Isoptera: Rhinotermitidae).,XV Congress IUSSI Proceedings, 225,2006
357. T. Matsumoto, T. Miura, S. Koshikawa, R. Comette, K. Maekawa, O. Kitade, T. G. Myles,Phylogeny, evolution and colony composition of the primitive damp-wood termites (Termopsinae, Termopsidae, Isoptera) in asia and north america,XV Congress IUSSI Proceedings, 178-179,2006
358. Takeuchi, H., Paul, R. K., Matsuzaka, E., and Kubo, T. ,EcR-A expression in the brain and ovary of the honeybee,Zool. Sci., (in press),200 7
359. Uno, Y., Fujiyuki, T., Takeuchi, H., Morioka, M. and Kubo, T.,Identification of proteins whose expression is up- or down-regulated in the mushroom bodies in the honeybee brain using proteomics.,FEBS Lett.,581,1,97-101,2007
360. Hideaki Takeuchi,Gene expression in the Honeybee Brain Mushroom Body and its Gene Orthologues. ,Evolution of Nervous Systems (Elsevier),1, 457-469,2006
361. Fujiyuki,T., Ohka,S., Takeuchi,H., Ono,M., Nomoto,A., and Kubo,T. ,Prevalence and phylogeny of Kakugo virus, a novel insect picorna-like virus that infects the honeybee (Apis mellifera L.), under various colony conditions. ,J. Virol. ,80,23,11528-11538 ,2006
362. Paul, R. K., Takeuchi, H. and Kubo, T. ,Expression of two ecdysteroid-regulated genes, Broad-Complex and E75, in the brain and ovary of the honeybee (Apis mellifera L.),.,Zool. Sci.,23,12,1085-1092,2006
363. Kunieda, T. Fujiyuki, T. Kucharski, R. Foret, S., Ament, S. A., Toth, A.L., Ohashi, K, Takeuchi, H, Kamikouchi, A., Kage, E., Morioka, M., Beye, M., Kubo, T., Robinson, GE., Maleszka, R.,Carbohydrate metabolism genes and pathways in insects: insights from the honey bee genome. ,Insect Mol. Biol,15,5,563-576,2006
364. Yamazaki, Y., Shirai, K., Paul, R. K., Fujiyuki, T., Wakamoto, A., Takeuchi, H., and Kubo, T.,Differential expression of HR38 in the mushroom bodies of the honeybee brain depends on the caste and division of labor. ,FEBS Lett.,580,11,2667-2770,2006
365. Hori, S.,Takeuchi, H., Arikawa, K., Kinoshita, M., Ichikawa, N., Sasaki, M., and Kubo, T.,Associative visual learning, color discrimination, and chromatic adaptation in the harnessed honeybee Apis mellifera L. ,J. Comp.Physiol. A,192,7,691-700,2006
366. Lehman, H. K., Schulz, D. J., Barron, A. B., S. A., Wraight, L., Hardison, C., Whitney, S., Takeuchi, H., Paul, R. K., and Robinson, G. E.,Division of labor in the honey bee (Apis mellifera): The role of tyramine beta-hydroxylase, ,J. Exp.Biol.,209,14,2774-2784,2006
367. The Honeybee Genome Sequencing Consortiu,Insights into social insects from the genome of the honey bee Apis mellifera. ,Nature,443,7114,931-949,2006
368. Mamiko Ozaki,Ant nestmate and non-nestmate discrimination by a sensillum,15th Internatoinal Union for the Study of Social Insects , 130,2006
369. Wakako Omura, Mamiko Ozaki, Ryohei Yamaoka,Behabioral and electrophysiopogical investigation on taste response of the termite Zootermopsis nevadensis to wood extractives,J. Wood Sci.,52, 261-264,2006
370. Kazumitsu Hanai, Mamiko Ozaki, Daigo Yamauchi, Yasuhiro Nakatomi, Chihiro Yokoyama and Keniji Fukui,Scale free dynamics involved in the locomotion activity of ant and mouse,WSEAS Transactions on Biology and Biomedicine,3, 511-515,2006
371. Takayuki Watanabe, Mika Kikukchi, Dai Hatakeyama, Takumi Shiga, Takehiro Yamamoto, Hitoshi Aonuma, Masakazu Takahata, Norio Suzuki, and Etsuro Ito,Gaseous neuromodulator-related genes expressed in the brain of honeybee Apis mellifera,Developmental Neurobiology, (in press),
372. Takayuki Yamasaki, Teijiro Isokawa, Nobuyuki Matsui, Hidetoshi Ikeno, Ryohei Kanzaki,Reconstruction and simulation for three-dimensional morphological structure of insec neurons,Neurocomputing,69, 1043-1047,2006
373. Hidetoshi Ikeno, Takuto Nishioka, Takuya Hachida, Ryohei Kanzaki, Yoichi Seki, Izumi Ohzawa, Shiro Usui,Development and application of CMS based database modules for neuroinformatics,Annual Computational Neuroscience Meeting 2006, 60,2006
374. Tadahiro Taniguchi, Tetsuo Sawaragi,Incremental Acquisition of Behaviors and Signs based on Reinforcement Learning Schema Model and STDP, ,Advanced Robotics, (in press),2007
375. Tetsuo Sawaragi, Yukio Horiguchi and Yuji Kuroda,Editing and Distributing Human Skills within community via Fragmentary Annotations on Image Data,Preprints of the 8th IFAC Symposium on Automated Systems Based on Human Skill and Knowledge, CD-ROM,2006
376. Tetsuo Sawaragi and Yukio Horiguchi,Human-Robot Collaboration: Technical Issues from a Viewpoint of Human-Centered Automation,Proc. of International Symposium on Automation and Robotics in Construction 2006, CD-ROM,2006
377. Tetsuo Sawaragi, Yukio Horiguchi and Akihiro Hina,Safety Analysis of Systemic Accidents Triggered by Performance Deviation,Proceedings of SICE-ICASE International Joint Conference 2006, 1778-1781 ,2006
378. Yukio Horiguchi, Ryuichi Fukuju and Tetsuo Sawaragi,An Estimation Method of Possible Mode Confusion in Human Work with Automated Control Systems,Proceedings of SICE-ICASE International Joint Conference 2006, 943-948,2006
379. T. Taniguchi, T. Sawaragi,Symbol emergence by combining a reinforcement learning schema model with asymmetric synaptic plasticity,Proceedings in 5th International Conference on Development and Learning, CD-ROM,2006
380. T. Taniguchi, T. Sawaragi,Incremental Acquisition of Compositional Schemata based on Behavioral Learning,Proceedings of 6th International Workshop on Epigenetic Robotics, 187,2006
381. Kazuki Tsuji, Tomonori Sasaki, Hideaki Mori,Shigeto Dobata, Eisuke Hasegawa ―:Evolutionary Dynamics of altruists vs. social parasites in the ant Pristomyrmex punctatus,XV IUSSI (the International Union for the study of social insects) Congress Proceedings, 122,2006
382. Kazuki Tsuji, Hisashi Ohtsuki,Reproductive allocation conflict causes worker policing in hymenopteran societies,XV IUSSI Congress Proceedings, 131,2006
383. Yasukazu Okada, Kazuki Tsuji, Toru Miura,Behavioral ontogeny followed by reproductive division of labor in the Japanese ponerine ant Diacamma sp.,XV IUSSI Congress Proceedings, 246,2006
384. Shigeto Dobata, Tomonori Sasaki, Masakazu Shimada, Kazuki Tsuji,Spatially explicit model for altruist-cheater population dynamics in the ant Pristomyrmex ounctatus,XV IUSSI Congress Proceedings, 256,2006
385. Mayuko Suwabe, Hitoshi Ohnishi, Tomonori Kikuchi, Kazuki Tsuji,Distributional amd seasonal activity patterns of exotic and native ants in Okinawa island,XV IUSSI Congress Proceedings, 263,2006
386. J. Le Breton, G. Takaku, K, Tsuji,Brood parasitism in an invasive population of the pest ant Pheidole megacephala.,Insectes Sociaux,53,2,168-171,2006
387. Kikuchi, T., Tsuji, K., Ohnishi, H., Le Breton, J.,Caste-biased acceptance of non-nestmates in a polygynous ponerine ant,Animal Behaviour, (in press),2007
388. Kazuki Tsuji,Life history strategy and evolution of insect societies: age structure, spatial distribution and density dependence. ,V. E. Kipyatkov (ed.): Life Cycles in Social Insects: Behaviour, Ecology and Evolution. St. Petersburg University Press, St. Petersburg, 156 p., 21-36,2006
389. K. Oka, A. Fujimura, K. Hotta, H. Ogawa,Analysis of vocal communication between mail and female zebra finches.,Fifth East Asian Biophysics Symposium & Forty-Fourth Annual Meeting of the Biophysical Society of Japan, 2P370,2006
390. Tomoko Akiyama, Motoichiro Kato, Taro Muramatsu, Satoshi Umeda, Fumie Saito, Haruo Kashima,Unilateral amygdala lesions hamper attentional orienting triggered by gaze direction.,Cerebral Cortex, (in press),2007
391. Tomoko Akiyama, Motoichiro Kato, Taro Muramatsu, Takaki Maeda, Tsunekatsu Hara, Haruo Kashima,Gaze-triggered orienting is reduced in chronic schizophrenia. ,Psychiatry Research, (in press),2007
392. K. Sasaki and K. Asaoka,Swallowing motor pattern triggered and modified by taste information in larvae of the silkworm, Bombyx mori,Journal of Insect Physiology,52, 528-537,2006
393. H Shiga, J Murakami, T Nagao, M Tanaka, K Kawahara, I Matsuoka and E Ito,Glutamate release from astrocytes is stimulated via the appearance of exocytosis during cyclic AMP-induced morphologic changes,Journal of Neuroscience Research,84, 338-347,2006
394. K. Sasaki and K. Harano,Potential effects of tyramine on the transition of reproductive workers in honeybees (Apis mellifera L.),Physiological Entomology,32, (in press),2007
395. K. Harano, M. Sasaki and K. Sasaki,Effects of reproductive state on rhythmicity, locomotor activity and body weight in European honeybee, Apis mellifera (Apidae: Hymenoptera) queens,Sociobiology,49, (in press),2007
396. J Murakami, H Aonuma and T Nagao,Nitric oxid mediated biogenic amine system in the agonistic bihavior of cricket.,KIT International Symposium on Brain and Language 2005, 23,2006
397. K. Harano, K. Sasaki and T. Nagao,Dopamine levels associated with physiological and behavioral changes after mating in European honeybee queens,8th Asian Australian Apicultural Conference Proceedings, 32,2006
398. K. Harano, K. Sasaki, T. Nagao and M. Sasaki,Decline of dopamine levels after mating and its association with behavioral changes in European honeybee queens.,11th Biological Sciences Graduate Congress Proceedings, 18,2006
399. K. Sasaki, K. Yamasaki and T. Nagao,Physiological correlates of brain biogenic amines with dominance and reproductive behaviors in primitive paper wasps Polistes chinensis,KIT International Symposium on Brain and Language Proceedings, 28-29,2006
400. K. Harano, K. Sasaki and T. Nagao,Dopamine levels associated with physiological and behavioral changes after mating in European honeybee queens,KIT International Symposium on Brain and Language Proceedings, 24-25,2006
401. T. Narita, K. Harano and K. Sasaki,Involvement of dopamine and its receptor with transition of reproductive states in honeybee workers,KIT International Symposium on Brain and Language Proceedings, 21-22,2006
402. M. Sugiyama, K. Sasaki, T. Nagao and K. Iwabuchi,Involvement of biogenic amines with escape behaviors of host Acanthoplusia agnate parasitized by endoparasitic wasp Glyptapanteles pallipes,KIT International Symposium on Brain and Language Proceedings, 26-27,2006
403. Y Tamori and N Tomita,Orbital representation of auditory perception,The 10th meeting of Association for the Scientific Study of Consciousness, 2006
404. K Mogi and Y Tamori,Making good hidden figures,The 29th European Conference on Visual Perception, 2006
405. K. Sasaki,Reorganization of the central nervous system responding to changes in social environment in insects,ESB Special Seminar, 2007
406. Hihara S, Notoya T, Tanaka M, Ichinose S, Ojima H, Obayashi s, Fujii N, Iriki A,Extension of corticocortical afferents into the anterior bank of the intraparietal sulcus by tool-use training in adult monkeys.,Neuropsycologia,44,13,2636-46,2006
407. N. FUJII, S. HIHARA, A. IRIKI,Conflicting social environment represented in primate parietal cortex,Atlanta, GA: Society for Neuroscience, 2006., 63.6,2006
408. N. FUJII, D. ABLA, N. KUDO, S. HIHARA, K. OKANOYA, A. IRIKI, Prefrontal cortex manipulates abstract odour knowledge,Atlanta, GA: Society for Neuroscience, 2006., 263.17,2006
409. M. Iribe, K. Osuka,Analogy between Passive walking robot and Phase Locked Loop circuit,Proceedings of the SICE-ICASE International Joint Conference 2006 (SICE-ICCAS 2006), CD,2006
410. M. Iribe, K. Osuka,Analysis and stabilization of the passive walking robot via analogy with the Phase Locked Loop circuits,Proceedings of the IEEE-RAS/RSJ International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 2006), CD,2006
411. M. Iribe, K. Osuka,A designing method of the passive dynamic walking robot via analogy with the Phase Locked Loop circuits,Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2006), CD,2006
412. Akio Ishiguro,Hiroaki Matsuba,Tomoki Megawa,Masahiro Shimizu,A Modular Robot That Self-Assembles,Intelligent Autonomous Systems,9, 585-594,2006
413. Akio Ishiguro,Masahiro Shimizu,Toshihiro Kawakatsu,A Modular Robot That Exhibits Amoebic Locomotion,Robotics and Autonomous Systems,54, 641-650,2006
414. Akio Ishiguro,Mobiligence: The Emergence of Adaptive Motor Function through Interaction Among the Body, Brain, and Environment,50th Anniversary Summit of Artificial Intelligence, 2006
415. Masahiro Shimizu, Takafumi Mori, Akio Ishiguro,A Development of a Modular Robot That Enables Adaptive Reconfiguration ,2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 174-179,2006
416. Akio Ishiguro, Tomoki Maegawa,Self-Assembly Through the Interplay between Control and Mechanical Systems ,2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 631-638,2006
417. Takuya Umedachi, Akio Ishiguro,A Development of a Fully Self-contained Real-time Tunable Spring ,2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 1662-1667,2006
418. Dai Owaki, Akio Ishiguro,Enhancing Stability of a Passive Dynamic Running Biped by Exploiting a Nonlinear Spring ,2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 4923-4928,2006

419. Tomoki Maegawa, Akio Ishiguro,Self-reconfiguration by a Modular Robot That Has a Cell- differentiation Ability,SICE-ICASE International Joint Conference 2006, 2073-2077,2006
420. Masahiro Shimizu, Takafumi Mori, Toshihiro Kawakatsu, Akio Ishiguro,An Adaptive Morphology Control of a Modular Robot,SICE-ICASE International Joint Conference 2006, 4509-4514,2006
421. Dai Owaki, Akio Ishiguro,Enhancing Self-stability of a Passive Dynamic Runner by Exploiting Nonlinearity in the Leg Elasticity ,SICE-ICASE International Joint Conference 2006, 4532-4537,2006
422. H. Shioya, K. Gohara,Generalized phase retrieval algorithm based on information measures ,Optics Communications,266,1,88-93,2006
423. M. Nagayama, T. Uchida, K. Gohara,Temporal and Spatial variations of Lipid Droplets during Adipocyte Division and Differentiation,J. Lipid Res.,48,1,9-18,2007
424. K. Gohara,Fractals in Hybrid Systems,Proceedings of Nonlinear Theory and Application, 171-174,2006
425. M. Uchida, Y. Maehara, H. Shioya and W.T. Huang,Unsupervised Weight Parameter Estimation Method for Ensemble Learning,Proceedings of Joint 3rd International conference on Soft computing and Intelligent systems and 7th International Symposium on advanced Intelligent Systems (SCIS & ISIS 2006), 416-421,2006
426. D. Kitakoshi, H. Shioya and R. Nakano,Stochastic Information Expressed in an Mixture Model of Bayesian Networks - Applying to Adaptive Learning for Mobile Robots in Actual Environments,Proceedings of Joint 3rd International conference on Soft computing and Intelligent systems and 7th International Symposium on advanced Intelligent Systems (SCIS & ISIS 2006), 636-643,2006
427. H. Diebner and I. Tsuda,Fundamental Interfaciology: Indistinguishability and Time's arrow,Proceedings of the Foundation of Information Science 2005, 1-16,2005
428. H. Fujii and I. Tsuda,Interneurons: their cognitive roles - A perspective from dynamical systems view,The Fourth IEEE International Conference in Development and Learning - from Interaction to Cognition., 1-6,2005
429. Y. Yamaguti, S. Kuroda and I. Tsuda,A mathematical model for the hippocampus:Toward the understanding of episodic memory,Abstracts: The 8th RIES-Hokudai International Symposium on [bi], 108-109,2006
430. K. Matsumoto and I. Tsuda,Controlling engine data: Nonperiodic fluctuations in a spark ignition engine of motorcycle and its stabilization,Abstaracts:The 8th RIES-Hokudai International Symposium on [bi], 110-111,2006
431. S. Tadokoro, Y. Yamaguti, I. Tsuda and H. Fujii,Chaotic itinerancy in gap junction-coupled class I* neurons,Abstracts: The 8th RIES-Hokudai International Symposium on [bi], 112-113,2006
432. Masaki Nomura, Toshio Aoyagi,Stability of Synchronous Solutions in Weakly Coupled Neuron Networks,Progress of Theoretical Physics,113, 911-925,2005
433. Takashi Takekawa, Toshio Aoyagi, Tomoki Fukai,Synchronization properties on slow oscillatory activity in a cortex network model,Progress of Theoretical Physics Supplement,S161, 356-359,2006
434. Masaki Nomura, Takuma Tanaka, Takeshi Kaneko Toshio Aoyagi,Phase analysis of inhibitory neurons involved in the thalamocortical loop,Progress of Theoretical Physics Supplement,S161, 310-313,2006
435. Takaaki Aoki, Toshio aoyagi,A Possible Role of Incoming Spike Synchrony in Associative Memory Model with STDP Learning rule, International Symposium on Oscillation,Progress of Theoretical Physics Supplement,S161, 152-155,2006
436. Takaaki Aoki, Toshio aoyagi,Synchrony-induced switching behavior of spike-pattern attractors created by spike-timing dependent plasticity,Neural Computation, (in press),
437. Takaaki Aoki, Toshio aoyagi,Self-Organizing maps with Asymmetric Neighborhood function,Neural Computation, (in press),
438. Masaki Nomura, Toshio Aoyagi,Stability Analysis of Synchronous and Asynchronous Behavior in Periodically Spiking Neurons,The First International Conference on Complex Medical Engineering-CME2005,OS06.4 , CD-ROM ,2005
439. Y. Taniai, J. Nishii,Optimality of the minimum endpoint variance model based on energy consumption,Brain-inspired IT II: Decision and Behavioral Choice Organized by Natural And Artificial Brains,1291, 101-104,2006
440. Takeuchi, H., Paul, R. K., Matsuzaka, E., and Kubo, T. ,EcR-A expression in the brain and ovary of the honeybee,Zool. Sci.,in press,,,2007
441. Uno, Y., Fujiyuki, T., Takeuchi, H., Morioka, M. and Kubo, T.,Identification of proteins whose expression is up- or down-regulated in the mushroom bodies in the honeybee brain using proteomics.,FEBS Lett.,581,1,97-101,2007
442. Hideaki Takeuchi,Gene expression in the Honeybee Brain Mushroom Body and its Gene Orthologues. ,Evolution of Nervous Systems (Elsevier),1,,457-469,2006
443. Fujiyuki,T., Ohka,S., Takeuchi,H., Ono,M., Nomoto,A., and Kubo,T. ,Prevalence and phylogeny of Kakugo virus, a novel insect picorna-like virus that infects the honeybee (Apis mellifera L.), under various colony conditions. ,J. Virol. ,80,23,11528-11538 ,2006
444. Paul, R. K., Takeuchi, H. and Kubo, T. ,Expression of two ecdysteroid-regulated genes, Broad-Complex and E75, in the brain and ovary of the honeybee (Apis mellifera L.).,Zool. Sci.,23,12,1085-1092,2006
445. Kunieda, T. Fujiyuki, T. Kucharski, R. Foret, S., Ament, S. A., Toth, A.L., Ohashi, K, Takeuchi, H, Kamikouchi, A., Kage, E., Morioka, M., Beye, M., Kubo, T., Robinson, G.E., Maleszka, R.,Carbohydrate metabolism genes and pathways in insects: insights from the honey bee genome. ,Insect Mol. Biol,15,5,563-576,2006
446. Yamazaki, Y., Shirai, K., Paul, R. K., Fujiyuki, T., Wakamoto, A., Takeuchi, H., and Kubo, T.,Differential expression of HR38 in the mushroom bodies of the honeybee brain depends on the caste and division of labor. ,FEBS Lett.,580,11,2667-2770,2006
447. Hori, S.,Takeuchi, H., Arikawa, K., Kinoshita, M., Ichikawa, N., Sasaki, M., and Kubo, T.,Associative visual learning, color discrimination, and chromatic adaptation in the harnessed honeybee Apis mellifera L. ,J. Comp.Physiol. A,192,7,691-700,2006
448. Lehman, H. K., Schulz, D. J., Barron, A. B., S. A., Wraight, L., Hardison, C., Whitney, S., Takeuchi, H., Paul, R. K., and Robinson, G. E.,Division of labor in the honey bee (Apis mellifera): The role of tyramine beta-hydroxylase, ,J. Exp.Biol.,209,14,2774-2784,2006
449. Yasuaki Kuroe and Kei Miura,Generation of Oscillatory Trajectories with Specified Stability Degree Using Recurrent Neural Networks,Proc. of International Joint Conference on Neural Networks,,,6510-6517,2006
450. Yasuaki Kuroe and Yuriko Taniguchi,Models of Self-Correlation Type Complex-Valued Associative Memories and Their Performance Comparison,Proc. of International Joint Conference on Neural Networks,,,605-609,2006
451. Yasuaki Kuroe and Hitoshi Iima,A Learning Method for Synthesizing Spiking Neural Oscillators,Proc. of International Joint Conference on Neural Networks,,,7613-7617,2006
452. Yoshihiro Mori, Yasuaki Kuroe and Takehiro Mori",A Sysnthesis Method of Gene Networks Based on Gene Expression by Network Learning,Proc. of SICE-ICASE International Joint Conference,,,4545-4550,2006
453. Nishikawa I., Iritani T., Sakakibara K.., and Kuroe Y.,"Phase Synchronization in Phase Oscillators and Complex-Valued Neural Networks and its Application to Traffic Flow Control",Progress of Theoretical Physics Supplement,,161,"302-305",2006
454. "Nishikawa I., Iritani T., and Sakakibara K.,"Improvements of the Traffic Signal Control by Complex-valued Neural Networks",Proceedings of IEEE World Congress on Computational Intelligence 2006,,,"1186-1191",2006
455. Nishikawa I., Sakamoto H., Nouno I., Iritani T., Sakakibara K.and Ito M.,"Prediction of the O-glycosylation sites in Protein by Layered Neural Networks and Support Vector Machines",Lecture Notes in Artificial Intelligence 4252,,PartII,"953-960",2006
456. Nouno, I.,Sakamoto, H.,Iritani, T., Sakakibara, K., Nishikawa, I. and Ito, M.,"Prediction of Mucin-type O-glycosylation by Latered Neural Networks and Support Vector Machines",Proceedings of the 17th International Confetence on Genome Informatics 2006,,,P111_1-2,2006
457. Sakakibara K., Noishiki M., Watanabe S., Tamaki H. and Nishikawa I.,"Hierarchical Approach with Informational Feedback for Pickup and Delivery Problems",Proceedings of the International Symposium on Scheduling 2006,,,48-53,2006
458. Khoa N.L.D., Noishiki M., Sakakibara K., and Nishikawa I.,"Stock Price Forecasting using Neural Networks with Inputs selected by Genetic Algorithm",Proceedings of the 5th International Conference on Research, Innovation and Vision for the Future,,,,2007
459. Khoa, N. L. D.,Sakakibara, K.,Nishikawa, I.",Stock price forecasting using back propagation neural networks with time and profit based adjusted weight factors,Proceedings of SICE-ICASE 2006,,,5484-5488,2006
460. "Noishiki M., Sakakibara K., Nishikawa I., Tamaki H. and Nakayama K.","Autonomous Distributed Genetic Approach for Route Planning Problems",Proceedings of SICE-ICASE 2006,,,6075-6079,2006
461. Sakakibara K., Noishiki M., Tamaki H. and Nishikawa I.","A Study on Distributed Meta-Heuristic Approach for Route Planning",Proceedings of SICE-ICASE 2006,,,4977-4980,2006
462. Kazuhiro Sakamoto, Hajime Mushiake, Naohiro Saito, Jun Tanji,Neuronal Synchrony and Representation of Behavioral Goals in the Prefrontal Cortex of the Monkey during a Path-Planning Task, Neuroscience Research（第28回日本神経科学大会）,52,suppl. ,s148,2005
463. 坂本一寛, 虫明元, 斉藤尚宏, 丹治順,前頭前野神経細胞の同期発火と発火頻度の機能的意義,電子情報通信学会信学技報 (信学技報)NC2005-4,105,82,4,
464. 矢野雅文,環境に適応する２足歩行のモデル化,計測自動制御学会第18回自律分散システムシンポジウム資料, 211-216,2006
465. 坂本一寛, 千葉直輝, 矢野雅文,視覚野のボトムアップ型物体中心座標系表現の生理モデル,２００５年日本神経回路学会予稿集, 95-96,2005
466. 松尾行雄, 矢野雅文,エコー定位に基づいた物体の音響イメージ復元の計算論,日本音響学会聴覚研究会資料 H-2005-52, 305-310,2005
467. Yoshinari Makino, Masafumi Yano,ダ・ヴィンチ・ステレオプシスにおける両眼奥行きの絵画的手がかりによる拘束, Pictorial Depth Cues Constrain Stereoscopic Depth in da Vinci Stereopsis, Neuroscience Research（第28回日本神経科学大会）,52,suppl. ,s104,2005
468. 安池誠, 牧野悌也, 矢野雅文,時空間ダイナミクスによる匂い情報コーディング,信学技報 IEICE Technical Report（NC研究会）,NC,2005-5,23-26,2005
469. 矢野 雅文, 冨田 望,実環境における 2 足歩行の創発的リアルタイム制御, 日本ロボット学会誌23,1,11-16,2005
470. 矢野 雅文, 冨田 望, 牧野悌也,随意運動のための「見なし情報」の創発,計測と制御,44,9,590-595,2005
471. Yoshinari Makino, Masafumi Yano,ダ・ヴィンチ・ステレオプシスにおける両眼奥行きの絵画的手がかりによる拘束, Pictorial Depth Cues Constrain Stereoscopic Depth in da Vinci Stereopsis,Neuroscience Research（第28回日本神経科学大会）,52,suppl. ,s104,2005
472. 吉原佑器, 冨田望, 浅野智孝, 牧野悌也, 矢野雅文,拘束条件生成充足による実環境下の随意運動制御～制御パラメータのリアルタイム調節～, Control of Voluntary Movement in Indefinite Environment based on Constraints Self-Emergence/Self-Satisfaction - Real-time Coordination of Control Parameters-,計測自動制御学会第18回自律分散システム・シンポジウム資料, 157-162,2006
473. 伊藤仁, 矢野雅文,局所変化率に基づく有声音声の符号化,電子情報通信学会信学技報 (信学技報),EA,2005-2,7-12,2005
474. 伊藤仁, 矢野雅文,同時音声知覚におけるスペクトル遷移の役割,電子情報通信学会信学技報 (信学技報),EA,2005-36,13-18,2005
475. 伊藤仁, 矢野雅文,局所変化率に基づく有声音声の分析と合成,2005 年日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, 2-6-3,2005
476. 冨田 望, 矢野 雅文,筋緊張調節系による身体力学特性のリアルタイム制御,計測自動制御学会第6回システムインテグレーション部門学術講演会 SI2005, 613-614,2005
477. 冨田 望, 矢野 雅文,実時間筋緊張制御によるヒト歩行特性の創発的獲得, Emergence of Walking Properties from Real-time Control of Muscle Tone, 計測自動制御学会第 18 回自律分散システム・シンポジウム資料, 175-178,2006
478. 渡部泰一郎、小林吏悟、坂本一寛、本波啓太、小宮謙、出口淳、福島誉史、虫明元、栗野浩之、小柳光正,マルチチップボンディング技術を用いた脳インプラント集積化デバイスの開発,第 66 回応用物理学会学術講演会資料 , 10p-N-6 p.1137,2005
479. 松尾行雄、麻柄隆、矢野雅文,エコー定位に基づいた面の表現モデル, 日本音響学会聴覚研究会資料, H-2006-49,275-279,2006
480. 坂本一寛、虫明元、齋藤尚宏、山本勝利、合原一幸、丹治順,パスプランニング課題実行期のサル前頭前野における同期的神経活動,第２９回　日本神経科学大会資料, PS1P-F088,2006
481. 坂本一寛, 大堀歩, 杉江雄生, 佐々木博昭, 川上進, 矢野雅文,大円・小円変換を用いた大脳皮質 V4 野の形体視モデル, 日本神経回路学会 第 16 回全国大会論文集　, P1-06,2006
482. 杉江雄生, 川上進, 坂本一寛, 矢野雅文,直線の到達時間を検出する運動視神経網モデル, 日本神経回路学会第 16 回全国大会論文集　, P3-03,2006
483. 冨田 望, 矢野 雅文,実環境における２足歩行の創発的リアルタイム制御,第２１回日本大脳基底核研究会－大脳基底核・大脳皮質の機能関連－　資料集, 18-21,2006
484. 吉原佑器, 冨田望, 牧野悌也, 矢野雅文,拘束条件生成充足による実環境下の随意運動制御　―動力学パラメータ推定による制御則の自律的遷移―,第 19 回自律分散システム・シンポジウム資料, 31-36,2007
485. 冨田 望, 浅野 智孝, 矢野 雅文,拘束条件生成充足による随意運動の制御スキーム,第 19 回自律分散システム・シンポジウム資料, 37-42,2007
486. 柴田克成、伊藤宏司,階層型ニューラルネットにおける中間層での適応的空間再構成と中間層レベルの汎化に基づく知識の継承,計測自動制御学会論文集,43,1,54-63,2007
487. 伊藤宏司,バイオメカトロニクスと認知・行動機能,人工知能学会誌,22,2, 2007
488. 近藤敏之, 伊藤宏司,環境認知と運動適応の神経回路モデル - 回転粘性力場下の上肢到達運動学習,第 19 回 自律分散システム・ジンポジウム講演論文集, 25-30,2007
489. 遠藤 豪, 近藤敏之, 伊藤宏司,環境との相互作用による自律的行動生成のための感覚運動写像の獲得,第 19 回 自律分散システム・ジンポジウム講演論文集, 21-24,2007
490. 登美直樹, 伊藤宏司, 近藤敏之,複数環境下における内部モデルの分離学習,第 19 回 自律分散システム・ジンポジウム講演論文集, 49-54,2007
491. 櫻田　武, 五味　裕章, 井澤　淳, 伊藤　宏司,力場環境適応課題による左右協調運動制御系の解析,第 19 回 自律分散システム・ジンポジウム講演論文集, 55-60,2007
492. 郷古　学, 伊藤　宏司,環境の分節化と予測に基づく内部モデルの獲得,第 19 回 自律分散システム・ジンポジウム講演論文集, 43-48,2007
493. 登美直樹, 伊藤宏司, 近藤敏之,複数の動的環境下における運動学習-環境動特性の分離学習について,第21回生体・生理工学シンポジウム論文集, 381-384,2006
494. 櫻田　武, 五味　裕章, 井澤　淳, 伊藤　宏司,新奇力場学習を用いた左右協調運動特性に関する考察,第 21 回生体・生理工学シンポジウム論文集, 385-388,2006
495. 近藤敏之, 伊藤宏司,移動知における環境適応 - リーチング運動を例とした環境認知と運動適応の神経回路モデル -,第 1 回一般公開シンポジウム 講演資料集, 21-25,2006
496. 真野拓郎, 松宮一道, 塩入　諭, 栗木一郎,視覚探索における刺激配置と時間配列の無意識的学習効果,電子情報通信学会技術研究報告（ヒューマン情報処理）,HIP2006-84, 87-90,200６
497. 藤田克哉, 真野拓郎, 松宮一道, 塩入　諭, 栗木一郎,文脈手がかり効果における意識的学習と無意識的学習,VISION,１９,１,80,200７
498. 藤田克哉, 真野拓郎, 松宮一道, 塩入　諭, 栗木一郎,意識的学習の文脈手がかり効果への影響,映像情報メディア会技術研究報告（ヒューマンインフォメーション）,３１，３月発表予定,200７
499. 稲邑　哲也,模倣するロボットの知能,日本機械学会誌,109,1051,300-301,2006
500. 川瀬　利弘, 辛　徳, 佐藤　誠, 小池　康晴,接触タイミング予測における視覚と触覚の関係,第７回（社）計測自動制御学会　システムインテグレーション部門講演会講演論文集, 864-865,2006
501. 永田 雄一, 岩野 耕治, 杉内 肇,詳細人体モデルによる手の運動シミュレーション―筋腱ネットワークモデルの実装―, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 '06 講演論文集, 2A1-D09,2006
502. 永田 雄一, 岩野 耕治, 村松 聡, 杉内 肇,詳細人体モデルによる手の運動シミュレーション,第24回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 1M31,2006
503. 前田 雄介, 潮田 達也,人間の行うピボット操作のモデリング,2007 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, L07,2007
504. 松島俊也,利益の追求と逸脱―生態学的および進化的背景―,電子情報通信学会 NC 研究会（札幌、2006 年 1 月 23 日）, 2006
505. 松島俊也, ヒヨコの経済学,特定領域「移動知」第一回シンポジウム（洞爺湖、2006 年 6 月 24 日）, 2006
506. 松島俊也,Impulsive choice in domestic chicks: context dependence and dissociation between delay and handling cost, 日本神経科学会（京都、2006 年 7 月 19 日、Neuroscience Research）, 2006
507. 松島俊也, ヒヨコの選択―経済的合理性と情報利得―,北海道実験動物研究会平成 18 年年次大会（招待講演、札幌、2006 年 7 月 30 日）, 2006
508. 松島俊也,情報を喰う脳,日本動物学会・日本植物学会合同　北海道支部大会　市民公開講座（札幌、2006 年 7 月 30 日）, 2006
509. 影山三朗、松島俊也,収益低減と喪失機会に対するヒヨコの選択：最適パッチ利用モデル, 日本比較生理生化学会年次大会（浜松、2006 年 7 月 27 日）,
510. 松島俊也,基底核と最適採餌,特定領域「統合脳」平成 18 年度夏のワークショップ　統合シンポジウム大脳基底核（招待講演、札幌、2006 年 8 月 23 日）, 2006
511. Tommaso Pecchia, Anna Gagliardo, Paolo Ioale, Toshiya Matsushima, Giorgio Vallortigara,Olfactory lateralization in homing pigeons: navigational performance after unilateral treatments on the olfactory system,第77回日本動物学会年次大会（島根、2006 年 9 月 22 日）, 2006
512. 伊澤栄一、松島俊也, ヒヨコの線条体はよき報酬の「近さ」と「量」の表象を持つ,第 77 回日本動物学会年次大会（島根、2006 年 9 月 22 日）, 2006
513. 松島俊也, ヒヨコの選択：利潤率予期推定の脳内機構,北海道大学ニューロサイエンス談話会（札幌、2006 年 10 月 18 日）, 2006
514. 松島俊也, ヒヨコの経済学：意思決定の神経生態学,「ダイナミックスから見た生命的システムの進化と意義」　第二回研究会　（招待講演、国際高等研究所、2006 年 10 月 12 日）, 2006
515. Toshiya Matsushima, Tiaza Bem-Sojka,Multi-modular algorithm for foraging choices,特定領域「移動知」A+B 班合同班会議（仙台、2006 年 11 月 20 日）, 2006
516. 松島俊也, ヒヨコの経済学：よき利潤率に基づく選択,「脳を活かす」研究会　「脳を読む」分科会（招待講演、大阪、2006 年 12 月 15 日）, 2006
517. 松島俊也, 採餌選択と生態的合理性,「脳と心のメカニズム」　第 7 回冬のワークショップ「Neuroeconomics」　（招待講演、ルスツ、2007 年 1 月 10 日）, 2007
518. 松島俊也,行為決定の生態的合理性と脳内機構,筑波大学「先導的国際的な「こころ」の研究者の育成」イニシアチブ（招待講演、筑波、2007 年 1 月 19 日）, 2006
519. 松島俊也、青木直哉, ヒヨコの経済学：採餌効率に基づく選択,認知科学,１２,３,177-187,2005
520. 高地康宏・沢田康次,視覚情報の断続化による追従運動の先行性の強化,計測自動制御学会論文誌（投稿中）, 2006
521. 高地康宏・沢田康次, ヒトの視覚―運動制御系におけるフィードバック強度とフィードフォワード強度のトレードオフ,電子情報通信学会　総合大会予稿集, 未定,,2006
522. 高地康宏,　沢田康次,　大里司*　,相互追従実験におけるヒトと機械の力学的コミュニケーションの研究,計測自動制御学会東北支部　第 230 回研究集会, 230,9,2006
523. 高地　康宏, 沢田　康次,相互追従実験におけるヒトと機械の協調運動パターン,電子情報通信学会　信学技報, HCS2006,２７,2006
524. 大里　司, 高地康宏, 沢田康次, リズミックな音刺激を与えたときの追従運動特性,電子情報通信学会　総合大会予稿集, 未定, 200７
525. 渡邊健士, 大久保賢一, 市川純章, 原文雄,接触の局所的な時空間差分情報を用いた軟性触覚センサアレイシステムによる物体の形状, 大きさ, 軟らかさの同時類別, 日本機械学会論文集 Ｃ 編,72,７２１,2964-2971,2006
526. 渡邊健士, 大久保賢一, 市川純章, 原文雄,接触の局所的な時空間差分情報を用いた軟性触覚センサアレイシステムによる触覚情報処理―接触の強さ情報を含めた処理法による対象物体形状の類別―, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会’2006, 2P2-B10,2006
527. 渡邊健士, 大久保賢一, 市川純章, 原文雄,軟性触覚センサアレイシステムによる接触の局所的な時空間差分情報を用いた対象物体性状類別における性状情報の抽出物理,第 16 回インテリジェント・システム・シンポジウム, ２C1-1,2006
528. 大久保賢一, 渡邊健士, 市川純章, 原文雄,接触強さ情報を駆使した軟性触覚センサアレイシステムにおけ

る角柱形状類別,第24回日本ロボット学会学術講演会講演概要集, 1C17,2006
529. 村田　哲, 石田裕昭,自己と他者の身体の脳内表現,電気通信学会技術研究報告書,106,410,41-44,2006
530. 石田裕昭、村田　哲,サル頭頂葉 VIP 野における自己と他者の身体像のマッチング機能,日本生理学雑誌・第９９回近畿生理学談話会抄録,68,11,417,2006
531. 村田　哲,ミラーニューロンと自他区別の神経機構,京都大学霊長類研究所 2006 年度共同利用研究会 「自己と他者を理解する━比較認知発達的アプローチ━」資料, 17,2006
532. Akira Murata,Bodily self and others representation in the parietal cortex.,神経回路学会2006年度時限研究会資料, 3,2006
533. Ishida H, Inase M, Murata A ,Shared body representation of self and other in the ventral intraparietal area (VIP) of the macaque,Neuroscience research,55,Suppl 1,S228,2006
534. 有江浩明, 尾形哲也, 谷淳, 菅野重樹,CTRNN を用いた連続な状態空間における強化学習法の提案,ロボティクス・メカトロニクス講演会 2006 講演論文集, 2A1-E07,2006
535. 有江浩明, 尾形哲也, 谷淳, 菅野重樹,CTRNN を用いた強化学習法による連続な行動出力の獲得,第 24 回日本ロボット会学術講演会予稿集 CD-ROM, 1K32-1,2006
536. 鈴木貴晴, 有江浩明, 尾形哲也, 谷淳, 菅野重樹,隠れ状態を有する連続な状態空間での強化学習法の提案,第７回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会（SI2006）講演論文集, 596-597,2006
537. 千葉惇, 生塩研一, 稲瀬正彦,磁気刺激による M-SHRSP の脳卒中発症の予防と検出, Prophylastic Effect and Detection against Stroke by Magnetic Stimulation.,第83回日本生理学会大会 （Proceedings of the 83rd Anual Meeting, The Journal of Physiological Sciences）,56,Suppl,S242,2006
538. 千葉惇, 梶本禮義, 生塩研一, 稲瀬正彦,パルス磁気刺激による M-SHRSP の脳卒中発症抑制効果,第21回日本生体磁気学会大会 （日本生体磁気学会誌）,19,1,258-259,2006
539. 千葉惇, 生塩研一, 稲瀬正彦,M-SHRSP に対するパルス磁場の影響, Prophylastic Effect of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation (rTMS) agaist Stroke in Malignant Stroke-Prone Spontaneously Hypertensive Rats (M-SHRSP).,第 28 回日本比較生理生化学大会 （Proceedings of the 28th Anual Meeting, Comparative Biochemistry and Physiology）,145B,3-4,67,2006
540. 千葉惇, 生塩研一, 稲瀬正彦,時間弁別課題遂行中のサル線条体の遅延期活動, Delay Period Activity of the Monkey Striatum in Duration Discrimination Task.,第29回日本神経科学大会 （Abstracts of the 29th Annual Meeting of the Japanese Neuroscience Society, Neuroscience Research）,55,S1,S230,2006
541. 中陦克己, 森大志, 村田哲, 稲瀬正彦,ニホンサルの四足歩行運動における一次運動野の神経細胞活動, Neuronal Activity in Primary Motor Cortex during Quadrupedal Locomotion of the Japanese Monkey.,第29回日本神経科学大会 （Abstracts of the 29th Annual Meeting of the Japanese Neuroscience Society, Neuroscience Research）,55,S1,S247,2006
542. 石田裕昭, 稲瀬正彦, 村田哲,VIP 野における自己と他者の身体像のマッチング機能, Shared Body Representation of Self and Other in the Ventral Intraparietal Area (VIP) of the Macaque.,第29回日本神経科学大会（ Abstracts of the 29th Annual Meeting of the Japanese Neuroscience Society, Neuroscience Research）,55,S1,S2287,2006
543. 石田裕昭, 稲瀬正彦, 村田哲,サル頭頂葉 VIP 野における自己と他者の身体像のマッチング機能,第 99 回近畿生理学談話会（日本生理学雑誌）,68,11,147,2006
544. 小山純正, 高草木薫,オレキシンによる筋緊張の調節,医学のあゆみ,220,4, 2007
545. 野中聡, 太田亮, 片田彰博, 原田広文, 高草木薫, 原渕保明,音刺激による喉頭フィードバック機構,日本気管食道学会会報,５７,２,73-79,2006
546. 高草木薫,網様体脊髄路と筋緊張の制御,Clinical Neuroscience, (in press),
547. 高草木薫,運動制御とリハビリテーション,長崎理学療法学会, (in press),
548. 高草木薫,睡眠時の筋緊張制御機構, 「睡眠学」朝倉書店, (in press),
549. 高草木薫,運動制御と理学療法,第17回　長崎県理学療法士会学会, 2006
550. 高草木薫,歩行における基底核の役割 ,第２１回　日本大脳基底核研究会, 2006
551. Takakusaki K,The Basal ganglia and gait control,第29回　日本神経科学学会, 2006
552. 高草木薫,筋緊張の制御機構とその異常,厚生省ジストニア研究班　第５回ジストニア研究会, 2006
553. Takakusaki K,Synaptic mechanisms acting on motoneurons with reference to the basal ganglia control of locomotion.,第83回　日本生理学会, 2006
554. 高草木薫・齋藤和也,大脳基底核による歩行運動制御のメカニズム,第87回　北海道医学大会, 2006
555. 森大志,二足歩行サルモデルを用いた姿勢・歩行運動の制御に関わる脳機能解明の試み, 第 36 回日本臨床神経生理学会学術大会, 2006, 2006
556. 森大志,二足歩行運動と脳：サル歩行モデルからの考察,第112回日本解剖学会学術集会, 2007
557. 森大志,脳ってすごい：立つこと，歩くことと脳,文部科学省（独立行政法人科学技術振興機構）スーパーサイエンスハイスクール事業, 山口高校特別講義, ,2006
558. 北澤　茂,朗読音声聴取時の脳活動　―独立成分分析の fMRI への応用―,第４９回ＢＮＭ研究会, 2006
559. 北澤　茂,時間順序判断における異種感覚の統合,ヒト高次脳機能における感覚間統合日本心理学会第70回大会, 2006
560. 北澤　茂,触覚が生じる場所,第７回 日立中研・基礎研合同研究会“脳精神科学の基礎と応用―脳と感性―”, 2006
561. 北澤　茂,脳の中の時間　～我々は理想的な観測者か?～,情報処理学会　第122回ヒューマンインターフェース研究会　招待講演, 2007
562. 北澤　茂,触覚はいつどこで生まれるのか,人間総合科学会 第4回学術大会シンポジウム脳とこころ―五感が生み出す“こころ”, 2007
563. 中陦克己, 森大志, 村田哲, 稲瀬正彦,ニホンサルの四足歩行運動における一次運動野の神経細胞活動, Neuronal Activity in Primary Motor Cortex during Quadrupedal Locomotion of the Japanese Monkey.,第29回日本神経科学大会 （Abstracts of the 29th Annual Meeting of the Japanese Neuroscience Society, Neuroscience Research）,55,S1,S247,2006
564. 柳原大,Closed loop としての小脳・脳幹・脊髄系と歩行運動の適応制御,体育の科学,56, 28-31,2006
565. 柳原大,運動におけるパターン生成の神経機構,脳神経科学イラストレイテッド改訂第２版　（森　寿、真鍋俊也、渡辺雅彦、岡野栄之、宮川　剛 編）　羊土社, 226-232,2006
566. 荻原直道,数理モデルを用いた霊長類筋骨格系の機能形態学的解析,多摩動物公園飼育研究会, 2006
567. 江木直子, 中務真人, 荻原直道,霊長類の上腕骨遠位部内部構造の比較, 日本古生物学会, 2006
568. 平崎鋭矢, 中務真人, 荻原直道,ニホンザルの二足歩行訓練効果 - キネマティクスと足圧分布からみて, 信学技報（電子情報通信学会 ME とバイオサイバネティックス研究会）,106,330,29-32,2006
569. 荻原直道, 青井伸也, 杉本靖博, 中務真人, 土屋和雄,精密筋骨格モデルを用いたニホンザル歩行メカニズムの探求,信学技報（電子情報通信学会 ME とバイオサイバネティックス研究会）,106,330,33-36,2006
570. 荻原直道, 重見聡史,ヒトのからだと ASIMO のからだ,公開フォーラム「ヒトの進化とロボットの進化―その行く末を探る」, 2006
571. 加賀谷美幸, 荻原直道, 中務真人,霊長類における胸郭形状の定量的比較,第60回日本人類学会大会, 2006
572. 石田英實, 中野良彦, 荻原直道, 中務真人, 清水大輔, 国松　豊, 高野　智,膝蓋骨の形態からみたアフリカ産中新世類人猿の体移動様式,第60回日本人類学会大会, 2006
573. 荻原直道,神経筋骨格系の構造改変と二足歩行の獲得,第60回日本人類学会大会, 2006
574. 荻原直道、中務真人,ニホンザル四肢筋骨格構造の機構解析,第60回日本人類学会大会, 2006
575. 荻原直道, 青井伸也, 杉本靖博, 中務真人, 土屋和雄,ニホンザル歩行運動のシステムバイオメカニクス―神経筋骨格モデルによる歩行知能の探求―,特定領域研究「身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現―移動知の構成論的理解―」第一回一般公開シンポジウム, 2006
576. 荻原直道,数理モデルを用いたニホンザル筋骨格構造の機能形態学的解析,計測自動制御学会第39回自律分散システム部会研究会, 2006
577. 青井伸也, 荻原直道, 土屋和雄,ニホンザルの詳細な骨格モデルとキネマティクスデータに基づく歩行生成, システム・情報部門学術講演会 2006 講演論文集, 95-100,2006
578. 遠山大介, 青井伸也, 土屋和雄,ネコの神経筋骨格モデルに基づく歩行生成,第19回自律分散システム・シンポジウム資料, 201-206,2006
579. 木村麻衣, 青井伸也, 土屋和雄,ヒトの神経筋骨格モデルに基づく歩行生成,第19回自律分散システム・シンポジウム資料, 207-212,2006
580. 杉本靖博, 青井伸也, 荻原直道, 土屋和雄,周期運動に対する筋骨格系の安定化作用に関する一考察,第 7 回計測自動制御学会制御部門大会, 2007
581. 大須賀公一, 中谷和弘, 杉本靖博,四脚受動的動歩行について,第6回計測自動制御学会制御部門大会, 2007
582. 平田健太郎, 大須賀公一, 杉本靖博,むだ時間系の安定解析と受動歩行の遅延フィードバック制御,第 6 回計測自動制御学会制御部門大会, 2007
583. 中谷和弘, 杉本靖博, 大須賀公一,四脚受動的動歩行のシミュレーションによる歩行解析,システム・情報部門学術講演会 2006 講演論文集, 2006
584. 中本厚, 田熊隆史, 細田耕,歩行・走行を実現する空気圧拮抗駆動 2 足ロボットの開発と実験,ロボティクス・メカトロニクス講演会 2006, 2P1-B14,2006
585. 佐崎泰介, 田熊隆史, 細田耕,人工筋肉を装備したロボットアームの弾道学的な運動生成,第 24 回日本ロボット学会学術講演会, 3A13,2006
586. 田熊隆史, 細田耕,拮抗配置した空気圧アクチュエータを有する受動歩行ロボットの速度制御,システム・情報部門学術講演会 2006, 105-110,2006
587. 佐藤 記一, 井上 康介, 住 孝明, 馬 書根,環境適応型ヘビ型ロボットの開発 ―接地面摩擦センサを有したロボットシステムの開発―, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'06 講演論文集, 1A1-D13,2006
588. 住 孝明, 井上 康介, 佐藤 記一, 馬 書根,ヘビ型ロボットの適応的ロコモーション ―地面摩擦変動への適応―,第16回インテリジェント・システム・シンポジウム 講演論文集, 37-40,2006
589. 住 孝明, 井上 康介, 佐藤 記一, 馬 書根,環境適応型ヘビ型ロボットの開発―接地面摩擦変動に適応した神経振動子ネットワークの構築―,計測自動制御学会 第 19 回自律分散システムシンポジウム資料, 239-244,2007
590. 木村貴英, 延本直大, 辻田勝吉, 増田達也,振動子系を用いた４脚歩行ロボットの視覚誘導制御, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集, 1A1-D16,2006
591. 蘭卓真, 木村貴英, 辻田勝吉, 増田達也,振動子を用いた歩行制御系を持つ 4 脚ロボットの視覚誘導歩行,第４９回自動制御連合講演会論文集, SU81-1,2006
592. 井之浦隆志, 鈴木健二, 辻田勝吉, 増田達也,空気圧アクチュエータを用いた２脚ロボットの振動子ネットワークによる歩行制御,第４９回自動制御連合講演会論文集, SU81-2,2006
593. 小山純正,視床下部オレキシンニューロンの活動特性,Clinical Neuroscience ,23,2,232,2005
594. 辛島彰洋、玉川雄一、小山純正、片山統裕、中尾光之,睡眠-覚醒リズムを制御する神経機構の数理モデル, 信学技報　,106,79,19-24,2006
595. 小山純正　高草木薫,オレキシンによる筋緊張の調節,医学の歩み,220,9,5442-5448,2007
596. 小山純正,視床下部オレキシンニューロンの活動特性,Clinical Neuroscience ,23,2,232,2005
597. Yoshimasa Koyama ,Orexinergic regulation of muscular tonus ,Jpn J Physiol Neurophysiol ,55, S19,2005
598. Yoshimasa Koyama,Neural mechanisms that induce blood pressure fluctuation during REM sleep.,Neurosci Res,52, S44,2005
599. 小山純正,睡眠,生命の基本を司る本能的脳機構 シンポジウム資料, 27,2006
600. 児玉亨,睡眠調節に関わる神経伝達物質,生命の基本を司る本能的脳機構 シンポジウム資料, 29,2006
601. 小山純正,勃起中枢から見たＥＤ診断について基礎医学の視点からーラットにおける勃起中枢の解析ー, 日本性機能学会雑誌　,21,2,129,2006
602. 深山理, 谷口徳恭, 佐藤尚, 齋藤紗依里, 鈴木隆文, 満渕邦彦,運動野を介したラット-車体融合システム ～神経信号に基づく車体制御～,第 7 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演集, 868-869,2006
603. 谷口徳恭, 大久保達夫, 深山理, 佐藤尚, 鈴木隆文, 満渕邦彦,運動野神経信号取得に適した電極配置の検討-簡易多チャンネル神経電極アレイによる評価-,第21回生体・生理工学シンポジウム論文集, 147-150,2006
604. 深山理, 谷口徳恭, 齋藤紗依里, 鈴木隆文, 満渕邦彦,運動野神経信号によるラット搭載車制御システムの開発 ～神経発火の時系列変化に基づく歩行状態推定モデル～,第21回生体・生理工学シンポジウム論文集, 159-162,2006
605. 櫻井芳雄, 脳の情報表現を見る, 2007 （印刷中）
606. 櫻井芳雄,マルチニューロン活動とブレインーマシンインターフェース,生体の科学,54,4,292-297,2006
607. 櫻井芳雄,マルチニューロン活動 ― セル・アセンブリ ― ブレインーマシン・インターフェース,生理心理学と精神生理学,24,1,57-67,2006
608. 廣瀬秀顕, 崔圭完, 櫻井芳雄, 小池康晴, 飯島敏夫,ユーザーにやさしいブレイン・マシンインターフェース,第46回日本生体医工学会大会, 仙台. （2007 年４月）, 2007
609. 櫻井芳雄,脳の情報表現と可塑性をブレインーマシン・インタフェースから見る,第４回北海道大学脳科学教育研究センターシンポジウム, 札幌 （2006 年12 月）, 2006
610. 櫻井芳雄, 高橋晋,細胞集成体の実験的検証とブレインーマシン・インタフェース,第29回日本神経科学学会大会, 京都. (2006 年７月). , 2006
611. 廣瀬秀顕, 崔圭完, 吉里信一郎, 櫻井芳雄, 小池康晴, 飯島敏夫,サル運動前野・一次運動野神経活動から上肢の連続的な到達運動および姿勢制御を再現する,第 29 回日本神経科学学会大会, 京都. (2006 年７月), 2006
612. 廣川純也, Miquel Bosch, 坂田秀三, 櫻井芳雄, 山森哲雄,ラット二次視覚野 V2LM は視聴覚統合による反応速度促進を媒介する,第29回日本神経科学学会大会, 京都. (2006 年７月), 2006
613. 高橋宗良, 大橋崇紀, 櫻井芳雄, 塚田稔,想起情報と感覚入力の一致性検出機構へのラット海馬 CA1 野の関与,第29回日本神経科学学会大会, 京都. (2006 年７月), 2006
614. 高橋晋, 櫻井芳雄,行動中のラット海馬 CA1 におけるサブミリ秒の情報コード,第 29 回日本神経科学学会大会, 京都. (2006 年７月), 2006
615. 櫻井芳雄,脳―機械直接通信型インターフェイス・システムに関する研究開発,第 2 回戦略的情報通信研究開発推進制度（ＳＣＯＰＥ）成果発表会, 東京. (2006 年６月). , 2006
616. 中川寧子、松本理器、池田昭夫、三國信啓、松橋眞生、花川　隆、福山秀直、下濱　俊,一次体性感覚野の皮質異形成に伴い難治部分発作と皮質反射性ミオクローヌスを示した１例,臨床神経学,46,5,335-338,2006
617. 花川　隆、美馬達哉,経頭蓋磁気刺激と脳機能画像の同時計測,臨床脳波,48,11,665-670,2006
618. 花川　隆、本田　学,“頭の回転の速さ”の脳内メカニズムを探る,脳と神経,58,7,583-592,2006
619. Hanakawa T, Mima T, Abe M, Anami K, Urayama S, Honda M, Fukuyama H.,A motor network study by concurrent fMRI and TMS technique.　,神経科学の道具としての fMRI 研究会・資料,
620. Kiyoji Matsuyama, Masanori Ishiguro, Suguru Kobayashi, Mamoru Aoki ,Characteristics of fore- and hindlimb movements during the midbrain stimulus-evoked locomotion in decerebrate rabbits,The Journal of Physiological Sciences,56,Suppl,S191,2006
621. Kiyoji Matsuyama, Masanori Ishiguro, Suguru Kobayashi, Mamoru Aoki ,Role of supraspinal structures in coordinating activities of hindlimb muscles during hopping in decerebrate rabbits,Neuroscience Research,55,Suppl,S126,2006
622. Y. Yasutake, T. Nakamura, T. Nomura,Intermittent neural intervention during human quiet stance,IEICE Technical report BME2006-61, 10,17-20,2006
623. 関　和彦,随意運動の制御におけるｼﾅﾌﾟｽ前抑制の役割,ブレインサイエンスレビュー, , 155-178,2007
624. Tomohiko Takei, Kazuhiko SEKI,Role of primate spinal neurons in controlling precision grip,Neuroscience Research , (in press) ,2007
625. Kazuhiko SEKI, Tomohiko Takei,Primary afferent depolarization は自然刺激によって誘発されるか,Japanese Journal of Physiology, , ,(in press),2007
626. 関洋一, 櫻井健志, 神崎亮平,昆虫の匂い情報処理と行動発現機構, 「匂いと香りの科学」渋谷・市川編　朝倉書店 （印刷中）, 2007
627. 神崎亮平,第２章「昆虫の微小脳による環境情報処理と行動発現」, シリーズ21 世紀の動物科学　第８巻「行動とコミュニケーション」（岡、蟻川編）、培風館 （印刷中） , 2007
628. 大塚晃嗣, 浦田宏樹, 礒川悌次郎, 関洋一, 上浦尚武, 松井伸之, 池野英利, 神崎亮平,昆虫神経細胞分類システム,自己組織化マップ・その発展―医学・生物学から社会学まで（仮題）（徳高 編）』シュプリンガー・ジャパン株式会社 （印刷中）, 2007
629. 櫻井健志, 関洋一, 西岡孝明, 神崎亮平,昆虫のフェロモン受容と匂い識別の分子・神経基盤,比較生理生化学,23,2,11 月 25 日,2006
630. 頼経篤史, 佐倉　緑, 青沼仁志,クロコオロギの社会的経験による攻撃行動と回避行動の切り換え,第 7 回（社）計測自動制御学会・システムインテグレーション部門・講演論文集, 876-877,2006
631. 礒川悌次郎, 山﨑貴之、関洋一、松井伸之, 池野英利, 神崎亮平,共焦点レーザ顕微鏡画像に基づく昆虫神経細胞構造の再構築,電子情報通信学会論文誌,D J89-D,8,1877-1886,2006
632. 太田 順,ロボット工学から「脳」の働きを解明する,ネイチャーインタフェイス, 31,35/37,2006
633. 藤木智久, 川端邦明, 淺間　一,昆虫の適応的行動選択を実現する神経回路モデルに関する研究　-神経修飾物質による行動調整機能のシミュレーションによる検証-,ロボティクス・メカトロニクス講演会 2006 講演論文集, 1A1-D15(1)-1A1-D15(2),2006
634. 池本有助, 川端邦明, 淺間　一,生物におけるカースト発現機構の数理モデル,第 16 回インテリジェントシステムシンポジウム講演論文集, 29-32,2006
635. 藤木智久, 川端邦明, 池本有助, 青沼仁志, 淺間　一,昆虫の適応的行動選択を実現する神経回路モデルに関する研究―NO/cGMP カスケードによる適応的行動選択のモデル化-,第16回インテリジェントシステムシンポジウム講演論文集, 23-26,2006
636. 中島佳奈子, 森下壮一郎, 加沢知毅, 関　洋一, 大武美保子, 神崎亮平, 淺間　一, 三島健稔,カイコガの脳における神経細胞形状の自動抽出,第７回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会論文集, 880-881,2006
637. 藤木智久, 足利昌俊, 川端邦明, 太田　順, 青沼仁志, 淺間　一,適応的行動選択を実現する昆虫の神経回路モデルに関する研究　-複数個体環境下における行動選択モデルの検証-,第 7 回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会論文集, 878-879,2006
638. 新井航平,大武美保子,川端邦明,池本有助,前田貴記,加藤元一郎,　淺間一,行為の自他帰属性の解明へのフォワードモデルからのアプローチ, 自律分散システムシンポジウム, 2007
639. 足利 昌俊, 菊池 美香, 平口 鉄太郎, 佐倉 緑, 青沼 仁志, 太田　順,コオロギ群の喧嘩行動を規範とした移動ロボット群の探餌行動,第16回インテリジェントシステムシンポジウム講演論文集, 17/22,2006
640. 足利 昌俊, 菊池 美香, 平口 鉄太郎, 佐倉 緑, 青沼 仁志, 太田 順,コオロギ群の喧嘩行動をモデルとした動的環境下における移動ロボット群の探餌作業,第７回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会論文集, 876/877 ,2006
641. 千葉 龍介, 藤田 武久, 太田 順, 新井 民夫, 植山 剛,障害物の存在を考慮したパレタイジング作業における環境整備法, 日本ロボット学会第24回学術講演会予稿集, 1K34,1/2,2006
642. 太田 順,社会的適応行動の神経機構モデリング―コオロギの喧嘩行動を対象として, 文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「身体･脳･環境の相互作用による適応的運動機能の発現―移動知の構成論的理解―」第１回一般公開シンポジウム講演資料集, 30/33,2006
643. 舩戸徹郎、倉林大輔,複数の固有振動を持つ振動子網の構造遷移による挙動制御,計測自動制御学会論文集,42,8,934-940,2006
644. 舩戸徹郎、倉林大輔、奈良維仁、青沼仁志,振動子網を用いた行動遷移メカニズムの考察,生命リズムと振動子ネットワーク, 46-49,2006
645. 舩戸徹郎、倉林大輔、奈良維仁、青沼仁志,振動子網を用いた行動制御モデルの考察,第24回日本ロボット学会学術講演会, 1K33,2006
646. 奈良維仁、舩戸徹郎、倉林大輔,構造操作による振動子網のパターン遷移とその実験的考察,2006 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 1A1-D09,2006
647. 藤田愛, 三浦徹,シロアリの消化共生系と栄養生態, しろあり,143,　8-13,2006
648. 北條優, 三浦徹,シロアリ兵隊における防衛物質の合成, しろあり,145,　3-8,2006
649. 越川滋行, 三浦徹,シロアリのカースト分化と遺伝子発現の解析?ソシオゲノミクスへの展望?, 日本生態学会誌,57, (in press),2007
650. 三浦徹, 石川由希,シロアリのコロニーにみる社会行動とカースト機能の発現,計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集, 872-873,2006

651. 三浦徹，越川滋行，Richard Cornette，藤田愛，石川由希，北條優，前川清人，松本忠夫,シロアリのカースト分化機構はどこまでわかったか,第53回日本生態学会大会講演要旨集, 207,2006
652. 前川清人，水野さやか，越川滋行，三浦徹,ヤマトシロアリの生殖虫分化と複眼の発達,第53回日本生態学会大会講演要旨集, 207,2006
653. Cornette Richard，松本忠夫，三浦徹,シロアリのカースト分化における幼若ホルモンの役割,第53回日本生態学会大会講演要旨集, 344,2006
654. 越川滋行，三浦徹,シロアリのカースト分化と遺伝子発現の解析?ソシオゲノミクスへの展望?,第53回日本生態学会大会講演要旨集, 142,2006
655. 岡田泰和，辻和希，三浦徹,トゲオオハリアリにおける表現型多型の分子社会生物学的研究,第53回日本生態学会大会講演要旨集, 344,2006
656. 今井眞木，三浦徹,ミジンコにおいて捕食者に誘導される表現型多型の発生制御に関する研究,第53回日本生態学会大会講演要旨集, 369,2006
657. 本郷紗希子，石川麻乃，松本忠夫，三浦徹,アブラムシの翅多型機構に関する生態発生学?I. 翅形成に関する組織形態学的解析?,第53回日本生態学会大会講演要旨集, 167,2006
658. 宮崎智史，村上貴弘，東典子，東正剛，三浦徹,カドフシアリ Myrmecina nipponica における中間型繁殖カーストの発生学的起源,第53回日本生態学会大会講演要旨集, 208,2006
659. 石川由希，三浦徹,オオシロアリにおける兵隊の防衛行動と神経系の特殊化,第53回日本生態学会大会講演要旨集, 343,2006
660. 石川麻乃，本郷紗希子，三浦徹,アブラムシの翅多型機構に関する生態発生学?II,第53回日本生態学会大会講演要旨集, 369,2006
661. 三浦徹,シロアリにおける兵隊特異的リポカリンタンパクの機能と進化,日本進化学会2006年大会プログラム・要旨集, 69,2006
662. 北条優，松本忠夫，三浦徹,タカサゴシロアリにおける防衛物質の合成に関わる兵隊特異的遺伝子の同定,日本進化学会2006年大会プログラム・要旨集, 97-98,2006
663. 石川麻乃，三浦徹,分散と繁殖のトレードオフをめぐるアブラムシ表現系多型の発生制御,日本進化学会2006年大会プログラム・要旨集, 98,2006
664. 石川由希，三浦徹,兵隊シロアリの防衛行動を支配する神経系の進化,日本進化学会 2006 年大会プログラム・要旨集, 99,2006
665. 越川滋行，松本忠夫，三浦徹,オオシロアリの兵隊分化時における形態形成と遺伝子発現の解析,日本進化学会2006年大会プログラム・要旨集, 100,2006
666. 和田綾子、尾崎まみこ,アリのケミカルコミュニケーション,比較生理生化学,24,1,3-17,2007
667. 花井一光，山内大吾，里路裕司，中川恵津子，大橋乙予，尾崎まみこ，山岡亮平,アリのコロニー識別行動のビデオ解析,Studia humana et naturalia, 39,90-98,2005
668. 尾崎まみこ、城所碧,何が敵・味方を教えるか　アリ社会を支える固体識別化学センサー,化学と生物,44,9,633-636,2006
669. 海田幸江，桑原大樹，尾崎まみこ，山岡亮平,クロオオアリの攻撃性を低下させるオクトパミンとその受容体について,日本動物学会，７８ ,2006
670. 池野英利、西岡拓人、関洋一、神崎亮平,コンテンツマネージメントシステムを用いた神経細胞データベースの開発,日本神経回路学会誌,１３,１,１１?１８,２００６
671. 礒川悌次郎、山崎貴之、関洋一、松井伸之、池野英利、神崎亮平,共焦点レーザ顕微鏡画像に基づく昆虫神経細胞構造の再構築,電子情報通信学会論文誌,J89-D,8,1877-1886,2006
672. 池野英利、神崎亮平、青沼仁志、高畑雅一、水沼誠、松井伸之、泰山浩司、横張文男、臼井支朗,無脊椎動物脳プラットフォーム,日本神経回路学会第16回全国大会講演論文集，２２４?２２５,2006
673. 谷口 忠大, 椹木 哲夫,報酬設計を通した社会的相互作用による行為概念群の構築：シェマ理論に基づいた累増的強化学習,知能情報ファジィ学会誌 ,18,4,8–13,2006
674. 椹木哲夫,システム論的視点からみる熟練技能,バルブ技法,21,2,629–640,2006
675. 椹木哲夫,システムと人：信頼性とヒューマンマシンシステム,計測と制御（掲載予定）,46,4, 2007
676. 袴着, 堀口, 椹木,運動感覚による自己定位を支援するロボット遠隔操縦系の設計,第 50 回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集, 35-36,2006
677. 袴着, 堀口, 椹木,移動体の遠隔操縦において操作系に埋め込まれた制約構造の知覚?移動間協応への影響について,第22回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, 549-554,2006
678. 堀口, 福寿, 椹木,入出力関係の類似性がユーザによる自動化システムのモード認識に及ぼす影響について,ヒューマンインタフェースシンポジウム 2006 論文集, 109-114,2006
679. 堀口, 福寿, 椹木,ユーザ操作とシステム挙動の対応構造に注目した状況認識向上のための人間?機械間インタファクション設計,第49回 自動制御連合講演会 講演論文集, CD-ROM,2006
680. 堀口, 福寿, 椹木,ドライバによる自動運転システムの動作モード認識を支援するインタラクション設計に関する研究,SICE システム・情報部門学術講演会 2006 講演論文集, 237-240,2006
681. 袴着, 堀口, 椹木,知覚行為と移動行為の協調構造の分析と移動体操作系設計への適用,第 19 回自律分散システム・シンポジウム資料, 245-250,2007
682. 谷口忠大, 椹木哲夫,シェマモデルと STDP 則の結合による記号過程の創発,第20回人工知能学会全国大会, CD-ROM,2006
683. 谷口忠大，小川賢治，椹木哲夫,動的目標変化を含む協調タスクに対する状況弁別型強化学習機構の適用,第５０回システム制御情報学会研究発表講演会, 61–62,2006
684. 田渕一真，谷口忠大，椹木哲夫,模倣学習と強化学習の調和による効率的行動獲得,第20回日本人工知能学会全国大会, CD-ROM,2006
685. 田渕一真，谷口忠大，椹木哲夫,観察模倣と自律強化の融合による学習機構に関する研究,第５０回システム制御情報学会研究発表講演会, 29–30,2006
686. 谷口忠大，椹木哲夫，小川賢治,状況弁別型強化学習機構に基づく 自己閉鎖的な他者意図推定の実現,第49回 自動制御連合講演会, CD-ROM,2006
687. 田中勇作，谷口忠大，堀口由貴男，中西弘明，椹木哲夫,自動化機械に対するユーザの複数内部モデルの構成過程,第19回 自律分散システム・シンポジウム,97–102,2007
688. 谷口忠大，椹木哲夫,シェマモデルと STDP 則の結合による記号過程の創発,第12回創発システムシンポジウム, CD-ROM,2006
689. 辻　和希 ,血縁淘汰・包括適応度と社会性の進化,齋藤成也，佐藤矩行，長谷川眞理子（監修）進化学　６巻　行動・生態の進化，岩波書店,6, 55-120,2006
690. Hayashi, R., Tsuji, K. ,Spatial distribution of turtle barnacles on the green sea turtle, Chelonia mydas. Ecological Research,Ecological Research , (in press),2007
691. Suwabe, M., Ohnishi, H., Kikuchi, T., Tsuji, K. ,Nestmate discrimination in the queenless ponerine ant Diacamma sp. from Japan.,Entomological Science, (in press),2007
692. Takaki Maeda, Motoichiro Kato, Haruo Kashima,The sense of agency in schizophrenia：disturbance of the self.,第28回日本生物学的精神医学会、第36回日本神経精神薬理学会、第49回日本神経化学会大会　合同年会　抄録集, P35,2006
693. 新井航平、大武美保子、川端邦明、池本有助、前田貴記、加藤元一郎、淺間一,行為の自他帰属性の解明へのフォワードモデルからのアプローチ,計測自動制御学会　第１９回自律分散システムシンポジウム資料, 125-129,2006
694. 佐々木 謙，山崎 和久,フタモンアシナガバチのワーカーにおける脳内アミンと産卵・順位行動との関係,第50回日本応用動物昆虫学会大会講演要旨集, 156,2006
695. 佐々木 謙，朝岡 潔,味覚情報によるカイコ幼虫の飲み込み運動リズムの調節,第28回日本比較生理生化学会大会講演要旨集, 37,2006
696. 村上 準, 青沼 仁志, 長尾 隆司,闘争行動時の NO 信号伝達系によるクロコオロギ脳内アミンレベルの調節,日本動物学会第77回大会, 71,2006
697. 佐々木謙，朝岡潔,周期的運動パターンの形成とその調節,New Food Industry,48, 41-47,2006
698. 田森 佳秀,神経活動の時空間パターンとクオリアの表現,「ニューロインフォマティクス」（甘利俊一監修、臼井支朗編） オーム社, 2007
699. 成田 朱紀，佐々木 謙，佐藤 俊幸，小原 嘉明,セイヨウミツバチの卵巣発達に対するドパミンの影響,第25回動物行動学会大会講演要旨集, 28,2006
700. 佐々木 謙,社会性膜翅目のカースト転換における脳内アミンの関与,昆虫ウォークショップ 06 講演要旨集, 11,2006
701. 佐々木 謙，吉田 祐太郎，荒屋 賢治，朝岡 潔,カイコの形態形成突然変異系統における神経系の再構成と配偶行動の異常,第51回日本応用動物昆虫学会大会講演要旨集, 2007
702. 竹中一仁，日原さやか，中原裕之,入来篤史，國吉康夫，藤井直敬,選択的エサとり行動におけるサルの意思決定の推定,計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2N1-5,2006
703. 入部正継, 大須賀公一,PLL 回路との相似性を用いた受動歩行ロボットの一設計方法,第49 回自動制御連合講演会, SU8-1-3,2006
704. 大須賀公一,移動知の適応機構についての一推測,第７回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集, 862-863,2006
705. 大須賀公一,受動的動歩行に隠されている環境適応機能,第７回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集, 29-32,2006
706. 杉本 靖博・大須賀 公一・杉江 俊治,連続型遅延フィードバック制御に基づく脚ロボットの準受 動的歩行安定化制御,日本ロボット学会誌,23,4,53-60,2005
707. 大須賀公一,「コウモリ」と「工学」,日本機械学会論文集 C,72,716,1015-1020,2006
708. 大須賀公一,受動的動歩行に隠された謎とは？,日本機械学会誌,109,1051,436-437,2006
709. 大須賀公一,ダイナミクスベースト制御の「こころ」 ,日本ロボット学会誌,24,7,23-25,2006
710. 伊藤，大須賀，石黒，古山,実世界の性質を利用した知覚と制御,日本ロボット学会誌,24,7,33-37,2006
711. 大脇　大，松野　善幸，石黒　章夫,パルス化CPG を活用した二脚歩行ロボットの高効率実時間適応制御,第49 回 自動制御連合講演会, SU9-2-6,2006
712. 清水　正宏，石黒　章夫,アメーバ様ロコモーションを可能とするモジュラーロボットの創発的形態制御,計測自動制御学会 （SICE）システム・情報部門学術講演会 2006, 111-114,2006
713. 大須賀 公一, 石黒　章夫, 鄭　心知,移動知の適応機構についての一推測,第7回 計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーション部門講演会, 862-863,2006
714. 河野　紀明, 清水　正宏, Max Lungarella, 石黒　章夫,不均質な着脱特性を有するモジュラーロボットから発現する適応的運動機能,第19回　自律分散システム・シンポジウム資料, 15-20,2007
715. 前川　知毅, 鈴木　雄也, 清水　正宏, 石黒　章夫,モジュラーロボットによる異方性を有する形態への自発的な自己組み立て,第19回　自律分散システム・シンポジウム資料, 151-156,2007
716. 佐藤 智紀, 坂井 善行, 大脇 大, 石黒 章夫,身体剛性の動的改変による四脚歩容遷移時の初期値依存性の緩和,第19回　自律分散システム・シンポジウム資料, 213-218,2007
717. 大脇　大,松野　善幸,石黒　章夫,運動軌道の「あそび」に着目した制御系と機構系の有機的連関 -二脚歩行ロボットを用いた事例研究-,第19回　自律分散システム・シンポジウム資料, 219-222,2007
718. 渡邉　航, 梅舘　拓也, 石黒　章夫,可変弾性要素を活用した制御系と機構系のウェルバランスト・カップリング -2 次元ヘビ型ロボットを用いた事例研究-,第 19 回　自律分散システム・シンポジウム資料, 233-238,2007
719. 石黒　章夫, 清水　正宏,川勝　年洋,単純な運動機能を持つ結合振動子系から創発する知能,物性研究, 2007
720. 石黒　章夫,しぶとさを持つ人工物の実現を目指して,日本機械学会誌,109,1049,281-284,2006
721. 石黒　章夫,知の基盤としてのしぶとさの創成,日本ロボット学会誌,24,7,800-803,2006
722. 石黒 章夫,松場 弘明,前川 知毅,清水 正宏,制御系 - 機構系間の連関を通した自己組み立て・自己修復の実現,日本ロボット学会誌,24,7,881-888,2006
723. 石黒　章夫,制御系と機構系の有機的連関から創発する知能-しぶとさやたくましさを持つ人工物の構築を目指して-,第50回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集, 27-30,2006
724. 清水　正宏, 川勝　年洋, 石黒　章夫,制御系と機構系間の相互作用に着目した移動知の力学的理解,ロボティクス・メカトロニクス講演会 2006, 1A1-D05,2006
725. 森　貴章, 清水　正宏, 石黒　章夫,創発的形態制御を目指したモジュラーロボット実機の開発,ロボティクス・メカトロニクス講演会 2006, 1A1-D07,2006
726. 大脇　大, 石黒　章夫,機構系ダイナミクスの能動的改変による環境適応走行運動の実現,ロボティクス・メカトロニクス講演会 2006, 1A1-D10,2006
727. 梅舘　拓也, 田中　直人, 山田　康武, 石黒　章夫,高い実装性を有する実時間可変弾性機素の開発-拮抗筋型関節駆動機構への適用-,ロボティクス・メカトロニクス講演会 2006, 1P1-B23,2006
728. 佐藤　智紀, 大脇　大, 石黒　章夫,身体ダイナミクスの動的変動による四脚ロボットの歩容遷移安定化,ロボティクス・メカトロニクス講演会 2006, 2A1-E34,2006
729. 渡邉　航, 山田　康武, 石黒　章夫,実時間可変弾性要素を活用したヘビ型ロボットの開発-制御系と機構系の有機的連関を目指して-,ロボティクス・メカトロニクス講演会 2006, 2A1-E36,2006
730. 前川　知毅, 石黒　章夫,細胞分化を導入したモジュラーロボットによる自己組み立て,ロボティクス・メカトロニクス講演会 2006, 2P2-C31,2006
731. 石黒　章夫,単純な運動機能を有する結合振動子系から創発する知能 - 生命状態を持つような人工物構築を目指して -,第15回相互作用と賢さ研究会, 2006
732. 石黒　章夫,単純な運動機能を有する結合振動子系から創発する知能 - アメーバ様ロコモーションからのアプローチ -,生命リズムと振動子ネットワークプログラム&アブストラクト, 26-45,2006
733. 石黒　章夫,生命状態を持つような人工物はいかにして構築できるか - 単純な運動機能を有する結合振動子系からのアプローチ -,生体・生命工学研究会, 2006
734. 前原洋祐, 内田真人, 塩谷浩之, 大森隆司,アンサンブル学習における符号を保つ重み正規化手法に関する検討, 電子情報通信学会論文誌D,89,10,2370-2375,2006
735. 伊藤孝男、津田一郎,フィードバック回路を持つネット枠における入力シグナルの伝播と保持,物性研究,87,4,598-599,2007
736. 津田一郎,脳の数理ー動的脳の側面から,数学,58,2,133-150,2006
737. 津田一郎,脳の中のカオス,数学通信,11,1,6-14,2006
738. 佐藤譲、津田一郎,水滴系のカオス,岩波書店, 1-102,2006
739. 津田一郎,カオス１ー力学系入門,シュプリンガー東京, 1-227,2006
740. 津田一郎,カオス２ー力学系入門,シュプリンガー東京, 1-227,2006
741. 青柳富誌生,神経ネットワークにおける情報表現と機能発現,システム/制御/情報,49,12,482-487,2005
742. Takaaki Aoki, Toshio aoyagi,Effect of incoming spike synchronization on retrieving information from sequential associative memory,Neuroscience Research,52, S208,2005
743. Takashi Takekawa, Toshio Aoyagi, Tomoki Fukai,Synchronized activities during slow-wave sleep in a cortex network model,Neuroscience Research,52, S94,2005
744. Masaki Nomura, Toshio Aoyagi,Synchrony-asynchrony dynamics of inhibitory neurons in the thalamocortical loop,Neuroscience Research,52, S34,2005
745. Tanaka Tanaka, Fumino Fujiyama, Masaki Nomura, Toshio Aoyagi, Takeshi Kaneko ,Roles of presynaptic AMPA receptors on corticostriatal terminals in up-states of medium-sized spiny neurons,Neuroscience Research,55, S120,2006
746. Takashi Takekawa, Masaki Nomura, Toshio Aoyagi, Tomoki Fukai,Synchrony-Induced transition behaviors organized under spike-timing dependent plasticity for retrieving the memorized patterns,Neuroscience Research,55, S180,2006
747. Takaaki Aoki, Toshio Aoyagi,Synchronization properties of a reduced model with a variety of firing patterns,Neuroscience Research,55, S239,2006
748. 谷合 由章, 西井 淳,生体ノイズの影響下におけるリーチング運動の消費エネルギーに基づく最適性,電子情報通信学会技術報告, (in press),
749. 橋爪 善光, 西井 淳,自然淘汰における利他的行動の出現とそれに伴う共有語彙の獲得,電子情報通信学会技術報告, (in press),
750. 藤井　彰広, 末長　宏康, 谷合 由章, 西井 淳,筋代謝特性を考慮した消費エネルギー最小規範に基づくヒトの遊脚運動の考察,電子情報通信学会技術報告, (in press),
751. 宮崎 裕子, 日置 智子, 西井 淳,周期的な運動を獲得する階層的学習モデル,電子情報通信学会技術報告, (in press),
752. 伊藤 昌明, 高松 敦子,真正粘菌の成長に伴って形成する管のネットワーク構造解析,第 16 回「非線形反応と協同現象」研究会, 15,2007
753. 高松 敦子, 伊藤 昌明,輸送機能のあるネットワークの解析 -真正粘菌ネットワークを例として-,第 16 回「非線形反応と協同現象」研究会, 15,2007
754. 高松 敦子,複雑な振舞いをする細胞観察のための構成論的アプローチ-真正粘菌変形体に見られる自発遷移現象-,共創と複雑系シンポジウム予稿集, 46-49,2005

● 2007 年度

755. Ito, M.* and Yano, M.,Sinusoidal modeling for nonstationary voiced speech based on a local vector transform,The Journal of the Acoustical Society of America,121,3,1731-1741,2007
756. Nozomi Tomita*, Masafumi Yano,Bipedal Robot Controlled by the Basal Ganglia and Brainstem Systems
757. Adjusting to Indefinite Environment,Proc. of 2007 IEEE/ICME International Conference on Complex Medical Engineering,116-121,2007
758. Yuki Yoshihara*, Nozomi Tomita, Yoshinari Makino, and Masafumi Yano,Control of Voluntary Movement in Indefinite Environment- Real-time Optimization of Reaching Patterns by Constraints Emergence and Satisfaction - ,Proc. of 2007 IEEE/ICME International Conference on Complex Medical Engineering,107-110,2007
759. Tomita, N.*, Asano, T., Makino, Y. and Yano, M.,Real-time and Distributed Autonomous Control of 2-joints Arm with Biarticular Muscles,Proceedings of the 3rd International Symposium on Measurement, Analysis and Modeling of Human Functions,39-46,2007
760. Y. Yoshihara*, N. Tomita, Y. Makino, and M. Yano,Autonomous Control of Reaching Movement by 'Mobility Measure',International Journal of Robotics and Mechatronics,19,4,448-458,2007
761. Y. Yoshihara*, N. Tomita, Y. Makino, M. Yano,Autonomous Decentralized Control of Redundant Arm in 3D Space by Mobility Measure,2nd International Symposium on Mobiligence,81-84,2007
762. M. Yano*, Y. Yoshihara, N. Tomita, Y. Makino,Voluntary Movements Controlled by Mi-Nashi Created in the Motor Cortices,2nd International Symposium on Mobiligence,22-25,2007
763. 吉原佑器*，冨田望，牧野悌也，矢野雅文,拘束条件生成充足による実環境下の随意運動制御　–動力学パラメータ推定による制御則の自律的遷移–,第19回自律分散システム・シンポジウム資料,31-36,2007
764. 冨田 望*，浅野 智孝, 矢野 雅文,拘束条件生成充足による随意運動の制御スキーム,第 19 回自律分散システム・シンポジウム資料,37-42,2007
765. 松尾行雄*，辻村誠幸，伊藤仁，矢野雅文,コウモリ型模擬外耳の伝達関数の測定,日本音響学会　聴覚研究会資料,H-2007-49,275-279,2007
766. 冨田 望*, 矢野 雅文,実環境における 2 足歩行の適応的制御,日本機械学会 2007 年度年次大会(MECJ-07),2007
767. 坂本一寛*・吉田　隼・虫明　元・斎藤尚宏・合原一幸・丹治 順,錐体細胞と介在細胞の比較,生理学会東北談話会 2007,2007
768. 坂本 一寛* 吉田 隼　 虫明 元　斎藤 尚宏　 合原 一幸　 丹治 順,サル前頭前野興奮性細胞・抑制性細胞における行動目標表現の遷移,信学技報 IEICE Technical Report NC2007-39,NC2007-39,37-38,2007
769. Kazuhiro Sakamoto*, Shun Yoshida, Hajime Mushiake, Naohiro Saito, Kazuyuki Aihara and Jun Tanji,Transition of goal representation of putative pyramidal neurons and interneurons in the primate prefrontal cortex ,神経科学学会2007(Neurosci. Res. Suppl.),58,suppl 1,115,2007
770. 冨田望*,二足歩行の工学的理解,Brain medical,19,4,87-95,2007
771. 冨田 望*，矢野 雅文,環境適応的な随意運動を可能とする自律分散制御機構,計測自動制御学会第20回自律分散システム・シンポジウム 2008,2008
772. Ito, M.* and Yano, M.,Articulatory feature estimation for nonstationary vowels based on a local vector coding,19th international congress on acoustics (Madrid), CAS-03-005,2007
773. Matsumoto, J., Makino, Y., Miura, H. and Yano, M.,Hippocampal model for spatial learning by using reward related cells,Proceedings of Neuro2007 (The 30th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society), ,O1P-G02,2007

774. Makino Y, Yasuike M, Naka Y, Miura H, Yano M,Olfactory computation using spatiotemporal pattern of network activity for odor representation,NEUROSCIENCE RESEARCH(The 30th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society),58,S103-S103,2007
775. Masakatsu Tsukamoto, Toshiyuki Kondo and Koji Ito,A Prosthetic Hand Control based on Nonstationary EMG at the Start of Movement,Jr. of Robotics and Mechatronis,19,4,381-387,2007
776. Koji Ito, Makoto Doi, Toshiyuki Kondo,Feed-forward Adaptation to a Varying Dynamical Environment during Reaching Movements, Jr. of Robotics and Mechatronis,19,4,474-481 ,2007
777. Toshiyuki Kondo and Koji Ito,An Environment Cognition and Motor Adaptation Model by Eliciting Sensorimotor Constraints based on Time-series Observations,Jr. of Robotics and Mechatronis,19,4,395-401 ,2007
778. Toshiyuki Kondo,Evolutionary design and behavior analysis of neuromodulatory neural networks for mobile robots control,Applied Soft Computing,7,189-202,2007
779. Toshiyuki Kondo, Koji Ito,An Intrinsic Neuromodulation Model for Realizing Anticipatory Behavior in Reaching Movement under Unexperienced Force Fields,in M.V. Butz et al. (eds.): Anticipatory Behavior in Adaptive Learning Systems: Advances in Anticipatory Processing, Springer,4520,254-266,2007
780. J.L.Wu, K.Ito, S. Tobimatsu, T. Nishida, F. Fukuyama,Complex Medical Engineering,Springer,2007
781. Manabu Gouko, Naoki Tomi, Tomoaki Nagano and Koji Ito,Self-Organized Learning Model for behavior emergence and its application to mobile robot,Proceedings of The 3rd International Symposium on Communications, Control and Signal Processing (ISCCSP2008),in press,2008
782. Koji Ito, Masakatsu Tsukamoto and Toshiyuki Kondo,Discrimination of Intended Movements based on Nonstationary EMG for A Prosthetic Hand Control, Proceedings of The 3rd International Symposium on Communications, Control and Signal Processing (ISCCSP2008),in press,2008
783. Tomoaki Nagano, Manabu Gouko and Koji Ito, Distributed Motor Control System With Transmission Time Delay,Proceedings of The 3rd International Symposium on Communications, Control and Signal Processing (ISCCSP2008),in press,2008
784. Manabu Gouko, Naoki Tomi, Tomoaki Nagano and Koji Ito,Behavior emergence model for performing multiple tasks,Proceedings of 2008 IEEE International Conference on Distributed Human-Machine Systems (DHMS2008),in press,2008
785. Tomoaki Nagano, Manabu Gouko and Koji Ito,A 3-dimensional Distributed Motor Control System With Transmission Time Delay,Proceedings of 2008 IEEE International Conference on Distributed Human-Machine Systems (DHMS2008),in press,2008
786. Takeshi Sakurada, Hiroaki Gomi, Kojj Ito,Implicit interaction between bimanual cyclic finger movements examined by kinematic and force field adaptation tasks,SfN Final Program,56,2007
787. Takayuki Nozawa, Toshiyuki Kondo,Lattice Molecular Automata with Reversibility,2nd International Workshop on Natural Computing,2007
788. Manabu Gouko, Koji Ito,An Action Generation Model Using Time Series Prediction,Proceedings of International Joint Conferences on Neural Networks 2007,602-607,2007
789. Naoki Tomi, Manabu Gouko, Koji Ito, Toshiyuki Kondo,Decomposition of Internal Models in Arm Movements under Mixed Force,Proceedings of The second International Symposium on Mobiligence,69-72,2007
790. Manabu Gouko, Koji Ito,A predictive modules selection model for an action generation,Proceedings of The second International Symposium on Mobiligence,65-68,2007
791. Koji Ito, Toshiyuki Kondo,Feedforward Adaptation to a varying dynamical environment in arm movements,Proceedings of The second International Symposium on Mobiligence,26-29,2007
792. Toshiyuki Kondo, Yuya Kobayashi,Simultaneous Learning of a Mouse Operation with Conflicting Rotational Transformations,Proceedings of 2nd International Symposium on Mobiligence,73-76,2007
793. Naoki Tomi, Manabu Gouko, Koji Ito, Toshiyuki Kondo,Decomposition of Internal Models in Arm Reaching Motions under Mixed Dynamic Environments,Proceedings of The 3rd International Symposium on Measurement, Analysis, and Modeling of Human Functions (ISHF2007),55-60,2007
794. Takeshi Sakurada, Hiroaki Gomi, Jun Izawa, Koji Ito,Bimanual finger control mechanism related to the force field and visual adaptation,Proceedings of The 3rd International Symposium on Measurement, Analysis, and Modeling of Human Functions (ISHF2007),47-54,2007
795. Mitsuru Takahashi, Manabu Gouko, Koji Ito, Toshiyuki Kondo,Reconstruction of Motor Function by Combining Electroencephalogram (EEG) with Functional Electrical Stimulation (FES),Proceedings of The 3rd International Symposium on Measurement, Analysis, and Modeling of Human Functions (ISHF2007),67-73,2007
796. Koji Ito,Mobiligence: Adaptive Motor Behaviors in Dynamic Environments,Proceedings of The 3rd International Symposium on Measurement, Analysis, and Modeling of Human Functions (ISHF2007),11-16,2007
797. *Toshiyuki Kondo, Yuya Kobayashi,Simultaneous Learning of Computer Mouse Operation with Conflicting Rotational Transformations, The Third International Symposium on Measurement,Proceedngs of 3rd International Symposium on Measurement Analysis and Modeling of Human Functions (ISHF2007),55-60,2007
798. Koji Ito, Makoto Doi, Toshiyuki Kondo,Feedforward Adaptation to Stable and Unstable Dynamics in Arm Movements,Proceedings of 15th Meditierranean Conference on Control and Automation (MED2007),1-6,2007
799. 郷古 学, 伊藤 宏司,環境変化の予測情報を利用するモジュール切り替え型行動生成モデル,電子情報通信学会論文誌D,91-D,3,2008
800. 伊藤宏司,バイオメカトロニクスと認知・行動機能,人工知能学会誌22,2,179-184,2007
801. 柴田克成, 伊藤宏司,階層型ニューラルネットにおける中間層での適応的空間再構成と中間層レベルの汎化に基づく知識の継承,計測自動制御学会論文集,43,1,54-63,2007
802. 長野智晃, 近藤敏之, 伊藤宏司,脊髄と筋骨格系の機構に基づく分散運動制御系,計測自動制御学会論文集,43,5,369-376,2007
803. 櫻田武, 五味裕章, 伊藤宏司,短期的学習にともなう両指運動の協調性変化,第20回自律分散システム・シンポジウム講演資料集,73-78,2008
804. 郷古 学, 登美 直樹, 長野 智晃, 伊藤 宏司,行動創発のための自己組織的学習モデルと移動ロボットへの応用,第20回自律分散システム・シンポジウム講演資料集,91-94,2008
805. 野澤孝之, 近藤敏之,可逆Lattice Molecular Automataにおける自己組織化構造の安定性,第20回自律分散システム・シンポジウム講演資料集,187-192,2008
806. 橋本怜子, 郷古学, 伊藤宏司,機能的電気刺激(FES)による多点接触フィードバックに関する基礎研究,第20回自律分散システム・シンポジウム講演資料集,293-298,2008
807. 高橋光, 郷古学, 伊藤宏司,脳波(EEG)と電気刺激(FES)による運動機能再建手法の開発,第20回自律分散システム・シンポジウム講演資料集,299-304,2008
808. 登美直樹, 長野智晃, 郷古学, 伊藤宏司,対象物操作における内部モデルの獲得と腕運動制御機構,第20回自律分散システム・シンポジウム講演資料集,305-310,2008
809. 伊藤宏司,環境への予期適応と内部モデル,システム・情報部門学術講演会2007講演論文集,49-54,2007
810. 登美直樹, 郷古学, 伊藤宏司,到達運動における環境動特性の分離学習,システム・情報部門学術講演会2007講演論文集,55-58,2007
811. 近藤敏之, 野澤孝之, 小林裕也,相反する運動技能の同時学習と環境文脈による選択,システム・情報部門学術講演会2007講演論文集,59-62,2007
812. 櫻田武, 五味裕章, 井澤淳, 伊藤宏司,指の体性感覚情報が左右指運動に与える影響,Neuro2007 抄録集(CD-ROM) P1-e04,2007
813. 野澤孝之, 近藤敏之,可動性を備えた自己組織化構造を実現する可逆CAの構築,合同エージェントワークショップ&シンポジウム2007講演資料集,2007
814. 郷古 学, 登美 直樹, 長野 智晃, 伊藤 宏司,行動創発のための自己組織的学習モデル,第25回日本ロボット学会学術講演会, 1D15,2007
815. 長野 智晃, 郷古 学, 伊藤 宏司,マニピュレータのための空間速度ベクトルを用いた再帰的ラグランジュ法,第25回日本ロボット学会学術講演会, 1M16,2007
816. 登美直樹, 郷古学, 伊藤宏司,速度依存力場と位置依存力場の分離学習,第13回創発システム・シンポジウム講演資料集,111-112,2007
817. 近藤敏之, 小林裕也,相反する道具操作の同時学習と環境文脈による内部モデル選択,第17回インテリジェント・システム・シンポジウム,2007
818. 櫻田武, 五味裕章, 伊藤宏司,左右指運動中における体性感覚情報の役割と腕姿勢に依存した運動の協調性,MotorControl研究会抄録集,24,2007
819. K. Takakusaki, R. Ohta, H. Harada.,Modulation of the excitability of hindlimb motoneurons by the basal ganglia efferents to the brainstem in decerebrate cats. ,2nd Mobiligence International Symposium in Awaji, 2007,161-165,2007
820. R. Ohta R, K. Takakusaki, H. Harada, S. Nonaka, Y. Harabuchi.,Contribution of GABAergic receptors on neurons in the lateral lemniscus to the control of swallowing in decerebrate cats.,2nd Mobiligence International Symposium in Awaji, 2007,170-174,2007
821. Y. Koyama, K. Takahashi, T. Kodama, K. Takakusaki,Hypothalamic regulation of muscular tonus -Involvement of orexinergic and GABAergic neurons,2nd Mobiligence International Symposium in Awaji, 2007,166-169,2007
822. K. Takakusaki, R. Ohta, H. Harada.,Modulation of the excitability of hindlimb motoneurons during fictive locomotion by the basal ganglia efferents to the brainstem in decerebrate cats.,37th Annual Meeting of Society for Neuroscience, San-Diego, CA, USA, 2007.,2007
823. R. Ohta R, K. Takakusaki, H. Harada, S. Nonaka, Y. Harabuchi.,Contribution of GABAergic receptors on neurons in the lateral lemniscus to the control of swallowing in decerebrate cats. ,37th Annual Meeting of Society for Neuroscience, San-Diego, CA, USA, 2007.,2007
824. K. Takakusaki,Forebrain control of locomotion,Japan _ Italy International Seminar Scientific Program "Motor Adaptation / Learning Analysis and Its Application to Neuro-Rehabilitation", Tokyo, JAPAN,2007
825. K. Takakusaki,Role of cholinergic projections from the pedunculopontine tegmental nucleus (PPN),International NSCC workshop, Tokyo, JAPAN,2007
826. K. Yoshimi, A. Suzuki, G. Oyama, M. Kagohashi, N. Hattori, T. Nakazato, Y. Einaga, S. Kitazawa.,Diamond microelectrodes for in vivo dopamine detection,37th Annual Meeting of Society for Neuroscience (SFN) San Diego,2007
827. A. Suzuki, T. Ivandini A, K. Yoshimi,A. Fujishima, G. Oyama, T. Nakazato, N. Hattori, S. Kitazawa, Y. Eianga. ,Fabrication of Boron-Doped Diamond Microelectrodes for in vivo Analysis of Dopamine,Material Research Society (Boston, MA),2007
828. B. Bloem, I. Toni, F. Mori and J. Nielsen,Functional imaging of axial motor control,International Society of Posture and Gait Research,2007
829. F. Mori and K. Nakajima,Adaptive locomotor control in bipedal walking monkey,SICE Annual Conference,2007
830. K. Nakajima, F. Mori, A. Murata, M. Inase,Neuronal Activity in Cortical Motor Areas of an Unrestrained Japanese Monkey Walking on a Treadmill, The 2nd International Symposium on Mobiligence,35-38,2007
831. K. Nakajima, F. Mori, A. Murata, M. Inase,Neuronal Activity in Cortical Motor Areas of an Unrestrained Japanese Monkey Walking on a Treadmill, The 2nd International Symposium on Mobiligence,35-38,2007
832. K. Takakusaki,What are substrates for normal and abnormal gait?,16th International Parkinson Diease Treatment Symposium, Tokyo, JAPAN, 2007,2007
833. K. Takakusaki,Forebrain control of locomotor behaviors,Brain Research Review,57,192-198,2008
834. H.Yamada, S. Tanno, K. Takakusaki, T.Okumura.,Intracisternal injection of orexin-A prevents ethanol-induced gastric mucosal damage in rats,Journal of Gastroenterology,42,336-341,2007
835. K. Takakusaki,What are substrates for normal and abnormal gait?,Journal of Neurology (in press),
836. M. Adachi, S. Nonaka, A. Katada, T. Arakawa, R. Ota, H. Harada, K. Takakusaki, Y. Harabuchi,Carbachol injection into the pontine reticular formation depresses laryngeal muscle activity and airway reflexes in decerebrate cats,Neuroscience Research (in press),
837. K. Takakusaki,Basal ganglia modulation of fictive locomotion in decerebrate cats,Neuroscience Research (Suppl),58,S34,2007
838. N. Kamiyama, H. Matsui, K. Takakusaki, M. Kashiwayanagi.,Insulin-like grouth factor-1 and 2-aminoethoxydiphenyl borate induce extracellular calcium influx in mouse olfactory sensory neurons,Journal of Physiological Science (Suppl),57,S98,2007
839. M. Kagohashi, T. Nakazato, K. Yoshimi, S. Moizumi, N. Hattori, S. Kitazawa, Wireless voltammetry recording in unanesthetised behaving rats,Neuroscience Research ,60,1,120-127,2008
840. T. Nakazato, M. Kagohashi, K. Yoshimi,Influence of pH on voltammetric measurement of dopamine,Biogenic Amines,20,1-2,23-30,2006
841. A. Suzuki, A. T. Ivandini, K. Yoshimi, A. Fujishima, G. Oyama, T. Nakazato, N. Hattori, S. Kitazawa, Y. Einaga,Fabrication, Characterization, and Application of Boron-Doped Diamond Microelectrodes for in Vivo Dopamine Detection ,Analytical Chemistry,79,22,8608-8615,2007
842. S. Ohmae, X. Lu, Y. Uchida, T. Takahashi, S. Kitazawa S,Neuronal activity related to anticipated and elapsed time in macaque supplementary eye field. ,Experimental Brain Research, 184(4):593-8, 2008
843. Y. Uchida, X. Lu, S. Ohmae, T. Takahashi, S Kitazawa.,Neural activity related to reward size and rewarded target position in primate supplementary eye field.,Journal of Neuroscience,27,50,13750-13755,2007
844. S. Kitazawa, S. Moizumi, A. Okuzumi, F. Saito, S. Shibuya, T. Takahashi, M. Wada, S. Yamamoto. ,Reversal of subjective temporal order due to sensory and motor integrations,In: Attention Perform edited by Haggard P, Kawato M, and Rossetti Y. Oxford Univ Press,73-97,2007
845. S. Moizumi, S. Yamamoto, S. Kitazawa.,Referral of tactile stimuli to action points in virtual reality with reaction force. ,Neuroscience Research ,59,1,60-67,2007
846. K. Yamamoto, M. Kawato, S. Kotosaka, S. Kitazawa.,Encoding of movement dynamics by Purkinje cell simple spike activity during fast arm movements under resistive and assistive force fields.,Journal of Neurophysiology,97,2,1588-1599,2007
847. S. Shibuya, T. Takahashi, S. Kitazawa.,Effects of visual stimuli on temporal order judgments of unimanual finger stimuli. ,Experimental Brain Research ,179,701-709,2007
848. 高草木 薫,運動とパターンジェネレーター ; 運動の定型性,厚生省ジストニア班会議 東京,2007
849. K. Takakusaki,Neuronal mechanisms of muscle co-contraction with reference to the pathogenesis of dystonia,小児神経学会サテライトシンポジウム,2007
850. 高草木 薫,筋緊張の制御機構とその異常,第5回日本ジストニア研究会, 東京,2007
851. 高草木 薫,姿勢筋緊張と脊髄反射弓,第87回北海道医学大会生理系分科会, 札幌,2007
852. 森 大志, 中陦克己,二足歩行運動と脳 : サル歩行モデルからの考察,第112回日本解剖学会,2007
853. 森 大志, 中陦克己,歩行運動における適応制御と大脳皮質,第20回自律分散システム・シンポジウム,2008
854. 千葉惇, 生塩研一, 稲_正彦,経頭蓋的磁気刺激によるラット H 反射の影響,The Journal of Physiological Sciences,57,Suppl,S158,2007
855. 中陦克己, 森大志, 村田哲, 稲_正彦,ニホンサルの四足歩行運動における一次運動野の単一神経細胞活動,The Journal of Physiological Sciences,57,Suppl,S158,2007
856. 生塩研一, 千葉惇, 稲_正彦,時間弁別課題の刺激呈示期間におけるサル前頭前野ニューロンの活動,Neuroscience Research,58,Suppl. 1,S116,2007
857. 千葉惇, 生塩研一, 稲_正彦,時間弁別課題中のサル線条体の手がかり期の神経細胞活動,Neuroscience Research,58,Suppl. 1,S213,2007
858. 中陦克己, 森大志, 村田哲, 稲_正彦,ニホンサルのトレッドミル歩行における一次運動野の神経細胞活動,Neuroscience Research,58,Suppl. 1,S150,2007
859. 千葉惇, 生塩研一, 稲_正彦,磁気誘発筋電図による施灸効果の検出,日本生体磁気学会誌20,1,310-311,2007
860. 千葉惇, 生塩研一, 稲_正彦,悪性高血圧症脳卒中易発性ラット(M-SHRSP)に対する連続パルス磁気刺激による脳卒中の予防効果,第2回日本磁気科学会年次大会プログラム・要旨集,131-132,2007
861. 中陦克己, 森大志, 村田哲, 稲_正彦,ニホンサルの四足歩行運動における一次運動野の単一神経細胞活動,第87回日本生理学会大会抄録集,57,Suppl,S158,2007
862. 中陦克己,霊長類の大脳皮質における歩行制御機序,第1回Motor Control研究会資料,12,2007
863. 中陦克己, 森大志, 村田哲, 稲_正彦,ニホンサルのトレッドミル歩行における一次運動野の神経細胞活動,Neuroscience Research,58,Suppl. 1,S150,2007
864. 中陦克己,大脳皮質と歩行,第22回日本大脳基底核研究会資料,12,2007
865. 柳原大,種々の遺伝子変異マウスを用いた小脳性歩行失調の解析と歩行の適応制御における小脳の役割,Motor Control研究会,2007
866. 柳原大,モータースキル遺伝子の発掘のための基礎的研究と今後の展開,第６２回日本体力医学会大会,2007
867. 柳原大,歩行と心拍条件付け学習における下オリーブ核—登上線維系入力の役割,文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「移動知」・東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会,2007
868. 柳原大,運動・スポーツと脳,岩手スポーツコンベンション 2007,2007
869. K. Yoshimi, A. Suzuki, G. Oyama, M. Kagohashi, N. Hattori, T. Nakazato, Y. Einaga, S. Kitazawa.,Diamond electrode for in vivo dopamine detection in the brain,Neuro2007（神経科学会・神経化学会合同）横浜,2007
870. 吉見建二, 大山彦光, 籠橋麻紀, 中里泰三, 北澤茂, 服部信孝,生理的モノアミン伝達促進剤(-)BPAPのマウス線条体ドパミン放出に対する作用,第48回日本神経学会総会 平成19年5月16日~18日 名古屋,2007
871. 大山彦光, 吉見建二,籠橋麻紀, 中里泰三, 北澤茂, 服部信孝,In vivo voltammetry法によるマウス線条体細胞外ドパミン高速測定系の確立,第48回日本神経学会総会 平成19年5月16日~18日 名古屋,2007
872. 吉見建二, 籠橋麻紀, 大山彦光, 名取司保子, 鈴木あかね,栄長泰明, 下泰司, 中里泰三, 北澤茂, 服部信孝 , 高速 ・ 低侵襲の線条体ドパミン測定,2nd Movement Disorder Society Japan (MDSJ) 2007,2007
873. 吉見建二, 籠橋麻紀, 大山彦光, 名取司保子, 鈴木あかね,栄長泰明, 下泰 司, 中里泰三, 北澤茂, 服部信孝, 高速 ・ 低侵襲の線条体ドパミン測定,2nd Movement Disorder Society Japan (MDSJ),2007
874. 太田 亮, 高草木 薫, 原田 広文, 野中 聡, 原渕 保明,嚥下に対する中脳橋移行部外側領域の役割,第２３回日本大脳基底核研究会, 旭川,2007
875. 高草木 薫,運動制御と姿勢制御,日本ボバース研修会, 東京,2007
876. 高草木 薫,脚橋被蓋核—網様体脊髄路系と筋緊張の制御,Clincal Neuroscience,25,4,401-404,2007
877. 高草木 薫,睡眠と筋緊張調節,睡眠ハンドブック（印刷中）,
878. 高草木 薫,歩行の神経機構 _Review-,Brain Medical,19,4,303-315,2007
879. 高草木 薫, 奥村 利勝,哺乳類の睡眠,細胞工学 （印刷中）,
880. 森 大志, 中陦克己,二足歩行サルモデルを用いた姿勢・歩行運動の制御に関わる脳機能解明の試み,神経内科,67,5,438-446,2007
881. 中陦克己, 森 大志,歩行と大脳皮質,Brain Medical,19,4,33-339,2007
882. 中陦克己, 森大志,歩行と大脳皮質,Brain Mrdical,19,4,33-39,2007
883. 森大志, 中陦克己,サル二足歩行モデルを用いた姿勢・歩行運動の制御にかかわる脳機能解明の試み,神経内科,67,5,2007
884. 柳原大,歩行と小脳,Brain Medical,19,4,49-58,2007
885. 柳原大,脳と体： 運動オンチの謎に脳科学で迫る,東京大学第58回駒場祭公開講座,2007
886. Shinya Aoi, Yuuki Sato, Kazuo Tsuchiya,Investigation of the Effects on Stability of Foot Rolling Motion Based on a Simple Walking Model,IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2007),2987-2992,2007
887. Ogihara, N., Aoi, S., Sugimoto, Y., Nakatsukasa, M., Tsuchiya, K,System biomechanics study of locomotion in the Japanese monkey,The 2nd International Symposium on Mobiligence,41-44,2007
888. Ogihara, N., Aoi, S., Sugimoto, Y., Nakatsukasa, M., Tsuchiya, K,A constructive simulation study of locomotion in the Japanese moneky based on a neuro-musucloskeletal model,International Workshop on Mobiligence,2007
889. S. Aoi, K. Tsuchiya,Adaptive Behavior in Turning of an Oscillator-driven Biped Robot,Autonomous Robots,23,1,37-57,2007
890. N. Ogihara, E. Hirasaki, H. Kumakura, M. Nakatsukasa,Ground-reaction-force profiles of bipedal walking in bipedally trained Japanese monkeys,Journal of Human Evolution,53,302-308,2007
891. Kagaya, M., Ogihara, N., Nakatsukasa, M,Morphological study of the anthropoid thoracic cage: scaling of thoracic width and analysis of rib curvature,Primates,in press
892. Y. Sugimoto, S. Aoi, N. Ogihara, K. Tsuchiya,The Stabilizing Function of Musculoskeltal System for Periodic Motion,2nd International Symposium on Mobiligence,2007
893. Y. Sugimoto, K. Osuka,Hierarchical Implicit Feedback Structure in Passive Dynamic Walking,2007 IEEE/RSJ

International Conference on Intelligent Robots and Systems,2007
894. 青井伸也、土屋和雄、荻原直道、杉本靖博,ヒトの神経筋骨格モデルに基づく歩行生成 −FB 制御機構の考察−,第 8 回 SICE SI 部門講演会,2007
895. 土屋和雄、青井伸也、荻原直道,神経-筋骨格モデルに基づく動物の歩行解析,日本機械学会 創立 110 周年記念 2007 年度年次大会,2007
896. 吉松祐香、青井伸也、土屋和雄,ヒトの２次元筋骨格モデルに基づくλモデルを用いた歩行生成,第 51 回システム制御情報学会研究発表講演会,2007
897. 佐藤友紀、青井伸也、土屋和雄,シンプルモデルに基づく足のローリング運動の歩行安定性に与える影響についての考察,第 51 回システム制御情報学会研究発表講演会,2007
898. 江木直子、中務真人、荻原直道,小型霊長類四肢骨間筋筋の繊維密厚の変異,第 61 回日本人類学会大会,2007
899. 中野良彦、荻原直道・巻島美幸、清水大輔、加賀谷美幸、國松 豊、石田英実,現生霊長類とナチョラピテクスにおける骨盤形態の対捍制約特徴による比較,第 61 回日本人類学会大会,2007
900. 荻原直道、中務真人,ニホンザル筋骨格系の構造制約が二足歩行適応に及ぼす影響,日本機械学会 2007 年度年次大会,2007
901. 荻原直道、中務真人,ヒトの直立二足歩行の起源を探る−モデル解析によるアプローチ,日本進化学会第 9 回大会,2007
902. 荻原直道,Bipdedal locomotion in Japanese monkeys: towards understanding the origin of human bipedalism,第１回浅田共創知能システムシンポジウム,2007
903. 荻原直道、平野真嗣、中務真人、青井伸也、杉本靖博、土屋和雄,ニホンザル筋骨格系の３次元動態の推定と可視化,第 23 回日本霊長類学会大会,2007
904. 江木直子、中務真人、荻原直道,ロリス科の四肢骨繊密骨構造とその荷重耐性適応についての解釈,第 23 回日本霊長類学会大会,2007
905. 荻原直道,３次元精密筋骨格モデルに基づくニホンザル２足・４足歩行の運動解析,生理学研究所第１回 Motor Control 研究会,2007
906. 中野良彦, 荻原直道、巻島美幸、清水大輔、加賀谷美幸、国松豊、石田英実,非計測的特徴からみたナチョラピテクスの骨盤形態,第.44 回日本アフリカ学会大会,2007
907. 平崎鋭矢、中務真人、荻原直道,ニホンザルモデルを用いた二足歩行能の進化に関する考察,第 112 回日本解剖学会総会・全国学術集会,2007
908. 杉本靖博, 青井伸也, 荻原直道, 土屋和雄,筋の力-速度関係が周期運動の安定化に果たす役割に関する一考察,第 20 回 自律分散システム・シンポジウム,2008
909. 荻原直道,直立二足歩行の進化と筋骨格系の構造改変,BRAIN MEDICAL,19,381-386,2007
910. Takashi Takuma and Koh Hosoda,Utilizing Joint Compliance for Controlling Walking Velocity of the Passive Dynamic Walker,2nd International Symposium on Mobiligence,2007
911. Takashi Takuma and Koh Hosoda,Controlling Walking Behavior of Passive Dynamic Walker utilizing Passive Joint Compliance,IEEE/RSJ 2007 International Conference on Intelligent Robots and Systems,2975-2980,2007
912. Zu Guang Zhang, Toshiki Masuda, Hiroshi Kimura and Kunikatsu Takase,Towards Realization of Adaptive Running of a Quadruped Robot Using Delayed Feedback Control,IEEE Robotics and Automation,4325-4330,2007
913. Christophe Maufroy, Hiroshi Kimura and Kunikatsu Takase,Biologically Inspired Neural Controller for Quadruped,IEEE Robotics and Biomimetics,1212-1217,2007
914. K.Inoue, T.Sumi, S.Ma,CPG-based Control of a Simulated Snake-like Robot,IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems,1957-1962,2007
915. K.Inoue, T.Sumi, N.Sato, S.Ma,CPG-based Adaptable Control of a Snake-like Robot,SICE Annual Conference 2007,2161-2164,2007
916. Takashi Takuma and Koh Hosoda,Terrain Negotiation of a Compliant Biped Robot Driven by Antagonistic Artificial Muscles,Journal of Robotics and mechatronics,19,4,423-428,2007
917. Koh Hosoda and Takashi Takuma and Atsushi Nakamoto and Shinji Hayashi,Biped Robot Design Powered by Antagonistic Pneumatic Actuators for Multi-Modal Locomotion,Robotics and Autonomous Systems,56,1,46-53,2008
918. Hiroshi Kimura, Chris Maufroy and Toshiki Masuda,Emergence of Quadrupedal Gaits as Interaction among the Brain, Body and Environment,2nd International Symposium on Mobiligence,113-116,2007
919. Chris Maufroy and Hiroshi Kimura,Towards a General Neural Controller for Quadrupedal Locomotion,2nd International Symposium on Mobiligence,117-120,2007
920. Yuji Otoda and Hiroshi Kimura,Bipedal Walking Using Natural Dynamics and Delayed Stepping Reflex,2nd International Symposium on Mobiligence,121-124,2007
921. Toshiki Masuda and Hiroshi Kimura,Realization of Adaptive Running of a Quadruped Robot Using Delayed Feedback Control and Phase Resetting,2nd International Symposium on Mobiligence,125-128,2007
922. Yuji Otoda, Hiroshi Kimura and Kunikatsu Takase,Efficient Bipedal Walking Using Delayed Stepping Reflex,SICE Annual Conference 2007,2170-2174,2007
923. K.Tsujita, T.Inoura and T.Masuda,Development of Oscillator-controlled Biped Walker with Pneumatic Actuator,Proc. of Int. Symp. on Mobiligence,129-132,2007
924. K.Tsujita, T.Inoura and T.Masuda,Oscillator-controlled Bipedal Walker with Pneumatic Actuators,Proc. of SICE Annual Conference 2007,2165-2169,2007
925. K.Tsujita, T.Inoura, T.Kobayashi and T.Masuda,daptive locomotion control of a legged robot with pneumatic actuators,Proc. of Int.Conf. on Robotics and Biomimetics 2007,1218-1223,2007
926. Hiroshi Kimura, Yasuhiro Fukuoka and Avis H. Cohen,Adaptive Dynamic Walking of a Quadruped Robot on Natural Ground Based on Biological Concepts,Int. Journal of Robotics Research,26,5,475-490,2007
927. K.Tsujita and T.Masuda,Simulation Study on Acquisition Process of Locomotion by using an Infant Robot,International Journal of Advanced Robotic Systems,409-422,2007
928. K.Tsujita, A.Morioka, K.Nakatani, K.Suzuki and T.Masuda,Oscillator-controlled Bipedal Walk with Pneumatic Actuators,International Journal of Mechanical Science and Technology,21,976-980,2007
929. Chris Maufroy and Hiroshi Kimura,Towards a general neural controller for 3D quadrupedal locomotion,第20 回自律分散システム・シンポジウム資料,251-256,2008
930. 井之浦隆志, 小林敏也, 辻田勝吉, 増田達也,空気圧人工筋を持つ脚歩行ロボットの関節剛性の変化による歩行機能安定化について,第２０回自律分散システムシンポジウム講演予稿集,to appear,2008
931. 井之浦隆志, 辻田勝吉, 増田達也,空気圧アクチュエータを用いた二脚ロボットの準受動歩行,日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'07 講演論文集,1P1-F11,2007
932. 蘭卓真, 木村貴英, 辻田勝吉, 増田達也,振動子系を用いた４脚歩行ロボットの視覚追従歩行,日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'07 講演論文集,2A1-B12,2007
933. 辻田勝吉, 増田達也,幼足ロボットを用いた移動機能獲得過程シミュレーション,日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'07 講演論文集,1P1-J10,2007
934. 井之浦隆志, 辻田勝吉, 増田達也,空気圧アクチュエータを用いた二脚ロボットの非線形振動子による歩行制御第５１回システム制御情報学会研究発表講演会論文集,5F2-3,2007
935. 蘭卓真, 木村貴英, 辻田勝吉, 増田達也,振動子を用いた４脚ロボットの視覚誘導歩行,第５１回システム制御情報学会研究発表講演会論文集,5F2-2,2007
936. 林 真司, 田熊 隆史and 細田 耕,足首完成関節を用いた２脚歩行走行ロボットの制御,ロボティクス・メカトロニクス講演会 '07 予稿集,1A1-B12,2007
937. 田熊 隆史, 細田 耕,足首弾性関節を有する二足歩行ロボット,第５１回システム制御情報学会研究発表講演会論文集,4T4-4,2007
938. 上田 剛史, 細田 耕, 田熊 隆史,股関節外旋位を利用した周期的二足歩行,第 8 回 計測自動制御学会(SICE) システムインテグレーション部門講演会,1G2-6,2007
939. 田熊 隆史, 細田 耕,可変弾性関節を有する準受動歩行ロボットの速度制御,第20回　自律分散システム・シンポジウム,283-288,2008
940. 澤 謙太, 木村 浩,小型ヒューマノイドの運動性能を拡張するアタッチメントの開発と走行制御,SICE-SI2007 予稿集,89-90,2007
941. 柳澤 一城, 木村 浩, 福岡 泰宏,距離センサーによる外界と路面認識を行う四脚ロボットのナビゲーション,SICE-SI2007 予稿集,85-86,2007
942. 齋藤 洋平, 木村 浩,柔軟な背骨を持つ小型4 脚走行ロボットの開発,SICE-SI2007 予稿集,83-84,2007
943. 吉永航, 井上康介,空気圧アクチュエータを用いたヘビ型ロボットの開発,日本ロボット学会学術講演会,1F12,2007
944. 木村幸司, 井上康介, 森吉和人,工筋肉を持つヘビ型ロボットの生物模放型運動制御のシミュレーション,第20 回自律分散システム・シンポジウム,289-292,2008
945. M. Sakura, A. Yonitsune, M. Ashikaga and H. Aonuma,Fighting experiences modulate aggressive and avoidance behaviors in crickets against male cuticular substances,Proceeding of the 2nd International Symposium on Mobiligence,2,243-246,2007
946. M. Ashikaga, M. Kikuchi, T. Hiraguchi, M. Sakura, H. Aonuma and J. Ota ,Modeling of socially adaptive behavior in crickets,Proceeding of the 2nd International Symposium on Mobiligence,2,2007
947. H. Aonuma, M. Sakura, M. Kikuchi, T. Hiraguchi, M. Ashikaga, J. Ota, K. Kawabata, T. Fujiki, Y. Ikemoto and H. Asama,Social experience dependent behavior selection in the cricket - from neuroethological approach to modeling -,Proceeding of the 2nd International Symposium on Mobiligence,2,2007
948. M. Kikuchi and H. Aonuma ,Distributions of aminergic and nitric oxidergic neurons,Proceeding of the 2nd International Symposium on Mobiligence,2,2007
949. A. Yonitsune and H. Aonuma,3-D atras of the cricket antennal lobe,Proceeding of the 2nd International Symposium on Mobiligence,2,2007
950. K. Kawabata, T. Fujiki, M. Ashikaga, J. Ota, H. Aonuma and H. Asama,A study on neural circuit model of insects for adaptive behavior selection - Verification of action selection model in multi-individual environments -,Proceeding of the 2nd International Symposium on Mobiligence,2,2007
951. E. Tsuji, H. Aonuma, F. Yokohari and M. Nishikawa ,Serotonin-immunoreactive Neurons in the Antennal Sensory System of the Brain in the Carpenter Ant, Camponotus japonicus,Zool Sci.,24,836-849,2007
952. D. Hatakeyama, H. Aonuma, E. Ito and K. Elekes ,Localization of glutamate-like immunoreactive neurons in the central and peripheral nervous system,The Biological Bulletin,213,172-186,2007
953. M. Iwasaki , H. Nishino, D. Antonia and H. Aonuma,Effects of NO/cGMP signaling on the behavioral change in subordinate male crickets, Gryllus bimaculatus,Zool. Sci.,24,860-868,2007
954. M. Ashikaga, M. Kikuchi, T. Hiraguchi, M. Sakura, H. Aonuma and J. Ota,Foraging task of multiple mobile robots in a dynamic environment using adaptive behavior in crickets,Journal of Robotics and Mechatronics,19,4,446-473,2007
955. K. Kawabata, T. Fujiki, Y. Ikemoto, H. Aonuma and H. Asama,A neuromodulation model for adaptive behavior selection of the cricket,Journal of Robotics and Mechatronics,19,4,388-394,2007
956. M. Sakura, T. Hiraguchi, K. Ohkawara and H. Aonuma,The compartment stuctures of the antennal lobe in the ant Aphaenogaster smythiesi japonica,Acta Biol Hungarica,accepted,2008
957. R. Okada, H. Ikeno, N. Sasayama, H. Aonuma, D. Kurabayashi and E. Ito :,The dance of the honeybee: how do honeybees dance to transfer food information effectively?,Acta Biol Hungarica,accepted,2008
958. D. Kurabayashi, H. Aonuma, T. Funato, T. Fujiki, M. Ashikaga, J. Ota and H. Asama,Artificial model for behavior switching by using network transition through neuromodulation effect,Comp. Biochem. Physiol.,148A,S32,2007
959. H. Aonuma ,NO/cGMP system and biogenic amine system in antagonistic behavior in the cricket,Comp. Biochem. Physiol.,148A,S33,2007
960. Kanzaki R,Insect-machine hybrid systems -novel neuroethological approaches for analyzing adaptive behaviors-,The 4th Asia-Pacific Conference on Chemical Ecology,2007
961. Kanzaki R,Insect-Machine Hybrid System for Evaluating an Adaptive Behavior,Comparative Biochemistry and Physiology,148A,Suppl. 1,S32,2007
962. Sakurai T, Uchino K, Sezutsu H, Tamura T and Kanzaki R,Molecular and neural bases of pheromone discrimination in the silkmoth, Bombyx mori.,Comparative Biochemistry and Physiology,148A,Suppl. 1,S80,2007
963. Kanzaki R,How does the Insect-Microbrain Generate Adaptive Behavior?,The 3rd Yamada Symposium on From Chaos to Cosmos: Integration in Biological Systems ,2007
964. Kanzaki R, Insect-Machine Hybrid System for Evaluating and Understanding an Adaptive Behavior.,IEEE International Conference Robotics and Biomimetics ,2007
965. Wang H, Ando N and Kanzaki R,The steering control of free flight maneuvers in Agrius,Comparative Biochemistry and Physiology,146,4 Suppl. 1,S114-S115,2007
966. Ando N, Yamashita A, Matsuura W, Takahashi H and Kanzaki R,Visual and odor integration for high efficacy of odor searching tasks based on the silkmoth,Proceedings of the 2nd International Symposium on Mobiligence ,227-230,2007
967. Emoto S, Ando N, Takahashi H and Kanzaki R,Behavioral responses to unintentional body movements in insects analyzed by an insect-controlled robot.,Proceedings of the 2nd International Symposium on Mobiligence ,231-234,2007
968. Minegishi R, Torihara S, Kurabayashi D and Kanzaki R,Construction of a bio-machine fusion system using brain information that commands an insect's behavior.,Proceedings of the 2nd International Symposium on Mobiligence ,231-234,2007
969. Kanzaki R, Emoto S, Minegishi R, Torihara S, Kurabayashi D and Takahashi H,Insect-machine hybrid systems -novel neuroethological approaches for analyzing adaptive behaviors-,Abstract of the 8th Congress of the International Society for Neuroethology,253,2007
970. Fukushima R and Kanzaki R,Anatomical organization of Kenyon cells in the mushroom body of the silkworm moth, Bombyx mori.,Abstract of the 8th Congress of the International Society for Neuroethology,70,2007
971. Ando N, Wang H, Kanzkai R,Flight control of a freely flying hawkmoth: flight muscle activities and wing kinematics,Abstract of the 8th Congress of the International Society for Neuroethology,167,2007
972. Sakurai T, Yamagata T, Uchino K, Sezutsu H, Tamura T and Kanzaki R, Molecular cloning and expression pattern of elav-like genes from silkmoth, Bombyx mori.,Comparative Biochemistry and Physiology,148A,Suppl. 1,S10,2007
973. Sakurai T, Uchino K, Sezutsu H, Tamura T and Kanzaki R,Axonal projections of pheromone receptor neurons to the antennal lobe macroglomerular complex in the silkmoth, Bombyx mori.,The 4th Asia-Pacific Conference on Chemical Ecology,2007
974. Shuzo M, Okada K, Kanzaki R and Shimoyama I,Fluorescence detection system using matal-coated glass micropipette. ,20th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems ,207-210,2007
975. K. Ishiura, Y. Satoji, H. Aonuma and O. Mamiko,The 4th Asia-Pacific Conference on Chemical Ecology,2007
976. M. Sakura, T. Hiraguchi, K. Ohkawara and H. Aonuma,Distribution of neuromodulators in the olfactory center of the ant Aphaenogaster smythiesi japonica,The 11th ISIN Symposium on the Neurobiology of Invertebrates,2007
977. R. Okada, H. Ikeno, N. Sasayama, H. Aonuma, D. Kurabayashi and E. Ito,he dance of the honeybee: how do they dance to transfer the food information effectively?,The 11th ISIN Symposium on the Neurobiology of Invertebrates,2007
978. Ikeno H, Nishioka T, Hachida T, Kanzaki, Seki Y, Ohzawa I and Usui S,Development and application of CMS based database modules for neuroinformatics,Neurocomputing,70,2122-2128,2007
979. Emoto S, Ando N, Takahashi H and Kanzaki R,Insect-Controlled Robot - Evaluation of Adaptation Ability -,Journal of Robotics and Mechatronics ,19,4,436-443,2007
980. Seki Y and Kanzaki R,Morphological classification of antennal lobe local interneurons in Bombyx mori by the intracellular staining under visual control method.,Jornal of Comparative Neurology,506,93-107,2007
981. Iwano M, Hill E, Mori A, Mishima T, Kumagai T, Ito K and Kanzaki R,Generation mechanism of flip-flop activity in the lateral accessory lobe and ventral protocerebrum of the insect brain.,Jornal of Comparative Neurology,Accepted,2007
982. Kanzaki R,How does a microbrain generate adaptive behavior?,Congress Series 1301 Brain-Inspired IT III,7 月 14 日,2007
983. Wang H, Ando N and Kanzaki R, Active control of free flight manoeuvres in a hawkmoth, Agrius convolvuli, Journal of Experimental Biology,211,409-422,2008
984. 峯岸涼, 鳥井原茂, 倉林大輔, 神崎亮平,昆虫の行動を指令する脳情報を用いた生物- 機械融合システムの構築,第 59 回日本動物学会関東支部大会,2007
985. 江本周平, 安藤規泰, 高橋宏知, 神崎亮平,実環境下における昆虫行動の環境適応性評価のための昆虫操縦型ロボットの開発,第 19 回自律分散システム・シンポジウム資料,9 月 14 日,2007
986. 神崎亮平, 安藤規泰, 江本周平, 峯岸涼, 鳥井原茂, 倉林大輔,生体-機械融合システムによる昆虫の適応能の理解,日本比較生理生化学会第 29 回大会,2007
987. 峯岸涼, 鳥井原茂, 倉林大輔, 山岸宏, 神崎亮平,生物- 機械融合実験系を用いた昆虫脳の行動司令情報の研究,日本動物学会第 78 回大会要旨集,68,2007
988. 杉山忠尚, 安藤規泰, 高橋宏知, 神崎亮平,高速プロジェクタを用いたマルハナバチの衝突回避行動の解析,日本動物学会第 78 回大会要旨集,101,2007
989. 岩渕智, 和田賢, 加沢知毅, 神崎亮平,昆虫の行動指令情報を生成する前運動中枢における神経回路の探索,日本動物学会第 78 回大会要旨集,101,2007
990. 安藤規泰, 王浩, 神崎亮平,スズメガの間歇飛翔制御機構の解析,日本動物学会第 78 回大会要旨集,101,2007
991. 神崎亮平, 倉林大輔,生体-機械融合システムによる生物の環境適応能の理解と構築,計測と制御,46,12,934-939,2007
992. 神崎亮平,虫の目線から学ぶものづくり,環境共生住宅推進協議会,31,1 月 2 日,2007
993. 神崎亮平,昆虫のセンサ・脳・行動機能の分析と工学利用の現状と展開,テクノイノベーション,66,2007
994. 淺間 一, 神崎亮平, 青沼仁志, 三浦徹, 倉林大輔,座談会 : 生物の社会適応機能の解明とその工学的応用,計測と制御,46,12,951-957,2007
995. 青沼 仁志,基礎論　第 4 章　コントローラー　昆虫の適応的行動選択」,昆虫ミメティクス−昆虫の設計に学ぶ−　(監修　下澤楯夫　針山孝彦) ,エヌ・ティー・エス,2008
996. 青沼 仁志, 佐倉 緑,コオロギの交尾行動と喧嘩行動の観察,身近な動物を使った学実験, 共立出版 (鈴木範男編) ,2008
997. 佐倉 緑, 輿水 篤史, 青沼 仁志 ,クロコオロギの喧嘩行動における触角の役割,第20 回自律分散システム・シンポジウム資料,153-156,2008
998. 足利 昌俊, 菊地 美香, 平口 鉄太郎, 佐倉 緑, 千葉 龍介, 青沼 仁志, 太田 順,クロコオロギにおける他者識別能力の解析,第20 回自律分散システム・シンポジウム資料,325-330,2008
999. 矢野 史朗, 池本 有助, 青沼 仁志, 淺間 一, 千葉 龍介,コオロギの成長過程における環境条件と闘争性の関係のモデル,第20 回自律分散システム・シンポジウム資料,331-336,2008
1000. 足利 昌俊, 菊地 美香, 平口 鉄太郎, 佐倉 緑, 青沼 仁志, 太田 順,コオロギ群における社会的行動選択のモデル化,第13 回創発システム・シンポジウム「創発夏の学校」 公演資料集,2007. 08,119-122,2007
1001. 足利 昌俊, 菊地 美香, 平口 鉄太郎, 佐倉 緑, 青沼 仁志, 太田 順,コオロギ群における社会的行動のモデル化,第 17 回インテリジェント・システム・シンポジウム(FAN シンポジウム)公演論文集,2007. 08,191-196,2007
1002. 菊地 美香, 足利 昌俊, 太田 順, 長尾 隆司, 青沼 仁志,クロコオロギの喧嘩行動修飾にかかわる脳内アミン,日本動物学会第 78 回大会要旨集,2007
1003. 輿水 篤史, 佐倉 緑, 青沼 仁志,クロコオロギ触角葉の３次元構築,日本動物学会第 78 回大会要旨集,2007
1004. 佐倉 緑 輿水 篤史　青沼 仁志,クロコオロギの喧嘩行動における触角の役割,日本動物学会第 78 回大会要旨集,2007
1005. 青沼 仁志、太田 順,コオロギの社会的経験による行動の発現と切り替え-行動モデルの構築にむけて,日本進化学会第９回 京都大会,2007
1006. 舩戸 徹郎、奈良 維仁、Dangelo Antonio、Enrico Pagello、倉林 大輔、青沼 仁志,結合振動子による行動選択回路の実装と行動評価,第25 回 日本ロボット学会 学術講演会,2007
1007. 川端 邦明、太田 順、青沼 仁志、淺間 一 ,コオロギ社会適応行動の神経機構モデリング,第25 回 日本ロボット学会 学術講演会,2007
1008. 菊地 美香、藤木 智久、川端 邦明、淺間 一、長尾 隆司、青沼 仁志,クロコオロギの喧嘩時における行動選択の脳内修飾機構モデルの検証,日本動物学会北海道支部第53 回大会,2007
1009. 輿水 篤史、青沼 仁志,クロコオロギ触角葉の糸球体と投射ニューロンの組織学的解析,日本動物学会北海道支部第53 回大会,2007
1010. 石浦 健太郎、里路 裕司、青沼 仁志、尾崎 まみこ,クロオオアリの中枢における攻撃センターの組織形態学的研究,日本動物学会近畿支部研究発表会,2007
1011. 舩戸 徹郎、倉林 大輔、奈良 維仁、青沼 仁志,振動子網を用いた行動遷移メカニズムの考察,物性研究,87,4,579-582,2007

1012. 淺間 一, 青沼 仁志, 太田 順, 千葉 龍介,移動知と社会適応 計測と制御 特集号「移動知 : 生物の社会適応機能の解明とその工学的応用」,46,885-886,2007

1013. 青沼 仁志, 長尾 隆司, 太田 順, 川端 邦明, 淺間 一 ,社会的適応行動の動的モデリングと工学応用—コオロギの避難行動を対象として—, 計測と制御 特集号「移動知 : 生物の社会適応機能の解明とその工学的応用」,46,903-909,2007

1014. 岡田 龍一, 池野 英利, 青沼 仁志, 倉林 大輔, 伊藤 悦朗,社会的適応行動から学ぶ情報共有システムの構築 –ミツバチの８の字ダンスを対象として, 計測と制御 特集号「移動知 : 生物の社会適応機能の解明とその工学的応用」,46,916-921,2007

1015. 淺間 一, 神崎 亮平, 青沼 仁志, 三浦 徹, 倉林 大輔, 太田 順,座談会 : 生物の社会適応機能の解明その工学的応用, 計測と制御 特集号「移動知 : 生物の社会適応機能の解明とその工学的応用」,46,951-957,2007

1016. K. Kawabata, T. Fujiki, Y. Ikemoto, H. Aonuma, H. Asama,A Neuromodulation Model for Adaptive Behavior Selection by the Cricket -Nitric Oxide(NO)/Cyclic Guanoise MonoPhosphate(cGMP) Cascade Model-,Journal of Robotics and Mechatronics,19,4,388-394,2007

1017. Y. Ikemoto, K. Kawabata, T. Miura, H. Asama,Mathematical Model of Proportion Control and Fluctuation Characteristic in Termite Caste,Journal of Robotics and Mechatronics,19,4,429-435,2007

1018. M. Otake, K. Arai, M. Kato, T. Maeda, Y. Ikemoto, K. Kawabata, T. Takagi, H. Asama, Experimental Analysis of the Attribution of Own Actions to the Intention of Self or Others by the Multiple Forward Models,Journal of Robotics and Mechatronics,19,4,482-488,2007

1019. Masatoshi Ashikaga, Mika Kikuchi, Tetsutaro Hiraguchi, Midori Sakura, Hitoshi Aonuma and Jun Ota,Foraging Task of Multiple Mobile Robots in a Dynamic Environment Using Adaptive Behavior in Crickets,Journal of Robotics and Mechatronics,19,4,466-473,2007

1020. K. Kawabata, T. Fujiki, M. Ashikaga, J. Ota, H. Aonuma, H. Asama, A Study on Neural Circuit Model of Insects for Apactive Behavior Selection -Verification of Action Selection Model in Multi-individual Environments -,Proceedings of The 2nd International Symposium on Mobiligence,187-190,2007

1021. H. Aonuma, M. Sakura, M. Kikuchi, T. Hiraguchi, M. Ashikaga, J. Ota, K. Kawabata, T. Fujiki, Y. Ikemoto, H. Asama,Social Experience Dependent Behavior Selection in the Cricket -from neuroethological approaches to modeling -,Proceedings of The 2nd International Symposium on Mobiligence,16-19,2007

1022. Y. Ikemoto, T. Fujiki, K. Kawabata, H. Aonuma, T. Miura, H. Asama,Neural Modeling of Social Adaptive Behaviors of Insects,Japan-Korea Joint Seminar on Information, Communications and Robotics Technologies for Dependable and Secure Societies,2007

1023. Y. Ikemoto, K. Kawabata, T. Miura, H. Asama,Mathematical Model of Proportion Control in Termite Caste Differentiation,Proceedings of The 2nd International Symposium on Mobiligence,195-198,2007

1024. Masatoshi Ashikaga, Mika Kikuchi, Tetsutaro Hiraguchi, Midori Sakura, Hitoshi Aonuma and Jun Ota,Modeling of Socially Adaptive Behavior in Crickets,Proceedings of The 2nd International Symposium on Mobiligence,191-194,2007

1025. Yusuke Tamura, Masao Sugi, Jun Ota and Tamio Arai,Estimation of User's Intention Inherent in the Movements of Hand and Eyes for the Deskwork Support System,Proceedings of the 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems,3709/3714,2007

1026. Kenji Terabayashi, Natsuki Miyata, Makiko Kouchi, Masaaki Mochimaru and Jun Ota,Experience of Variously Sized Hands: Visual Delay Effect,Proceedings and Posters of 12th Int. Conf. HCI International 2007,1009/1013,2007

1027. Kenji Terabayashi, Natsuki Miyata and Jun Ota,Grasp Strategy when Experiencing Hands of Various Size,Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics,1422/1427,2007

1028. 川端 藤木 青沼, 淺間,適応的行動選択を実現する昆虫の神経回路モデルに関する研究 –闘争行動の開始・終了に関するモデルの提案–, ロボティクス・メカトロニクス講演会'07 講演論文集,1A1-A09,2007

1029. 池本, 川端, 三浦, 淺間,社会性昆虫におけるカースト文化の数理モデル,第17回インテリジェント・システム・シンポジウム講演論文集,197-202,2007

1030. 川端, 藤木, 池本, 青沼, 淺間,コオロギの適応的行動選択を実現する内部モデルの構築に向けて,日本進化学会第9回大会プログラム・講演要旨集,14,2007

1031. 川端, 太田, 青沼, 淺間,コオロギ社会適応行動の神経機構モデリング,第25回日本ロボット学会学術講演会予稿集,1F14,2007

1032. 新井, 大武, 川端, 池本, 前田, 加藤, 淺間,行為の自他帰属性の解明へのフォワードモデルからのアプローチ,第19回自律分散システム・シンポジウム資料, 5-8,2007

1033. 中島, 森下, 加沢, 大武, 神崎, 淺間, 三島,カイコガの単一神経細胞の三次元形状抽出,第17回インテリジェント・システム・シンポジウム講演論文集, 183-188,2007

1034. 中島, 森下, 加沢, 大武, 神崎, 淺間, 三島,カイコガの単一神経細胞の三次元形状抽出,第 13 回創発システム・シンポジウム,123-126,2007

1035. 矢野, 池本, 青沼, 淺間,コオロギの適応的行動選択を実現する動的制御機構のモデリング,第13回創発システム・シンポジウム,165-166,2007

1036. 足利 昌俊, 菊地 美香, 平口 鉄太郎, 佐倉 緑, 青沼 仁志, 太田 順,コオロギ群における社会的行動選択のモデル化,第17回インテリジェント・システム・シンポジウム講演論文集,191/196,2007

1037. 橋本泰直, 千葉龍介, 加沢知毅, 神崎亮平, 太田 順,遺伝的アルゴリズムによるカイコガ神経回路のモデル化,第13回創発システム・シンポジウム講演資料集,161/164,2007

1038. 青沼, 長尾, 太田, 川端, 淺間,社会的適応行動の動的モデリングと工学応用 –コオロギの避難行動を対象として–,計測と制御,46,12,903-909,2007

1039. 加藤, 大武, 新井, 前田, 池本, 川端, 高木, 淺間,他者の視線・意図理解および行為における意志作用感の神経機構に関する検討–社会的認知の可能なロボットの設計をめざして–,計測と制御,46,12,940-944,2007

1040. 池本, 三浦, 淺間,社会的適応行動とカースト機能のモデル化と工学応用—シロアリの形態形成とコロニー形成を対象として—,計測と制御,46,12,910-915,2007

1041. 淺間 一, 青沼 仁志, 太田 順, 千葉龍介,移動知と社会適応,計測と制御,46,12,903-909,2007

1042. 淺間 一, 神崎 亮平, 青沼 仁志, 三浦 徹, 倉林 大輔, 太田 順,座談会 : 生物の社会適応機能の解明とその工学的応用,計測と制御,46,12,951/957,2007

1043. Tetsuro Funato, Daisuke Kurabayashi, Masahito Nara, Hitoshi Aonuma,Development o Structure-mediated Behavior Selector Using Oscillator Network,Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Biomimetics,1206-1211,2007

1044. Takaaki Shimone, Daisuke Kurabayashi, Kunio Okita, Tetsuro Funato,Implementation of Formation Transition System using synchronization among a Mobile Robot Group,6th International Conference on Field and Service Robotics,303/312,2007

1045. Daisuke Kurabayashi, Hitoshi Aonuma, Tetsuro Funato, Tomohisa Fujiki, Masatoshi Ashikaga, Jun Ota, Hajime Asama,Artificial model for behavior switching by using network transition through neuro modulation effect,7th Int. Congress of Comparative Physiology and Boichemistry,2007

1046. Tetsuro Funato, Daisuke Kurabayashi,Network Structure for Control of Coupled Multiple Non-Linear Oscillators,IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics - Part B,in print,2008

1047. Daisuke Kurabayashi, Tomohiro Inoue, Akira Yajima, Tetsuro Funato,Emergence of a small-world like communication network by local ad hoc negotiations,Journal of Robotics and Mechatronics,194,4,459-465,2007

1048. Daisuke Kurabayashi, Katsunori Urano, Tetsuro Funato,Emergent Transportation Networks by Considering Interactions between Agents and their Environment,Advanced Robotics,21,12,1339-1349,2007

1049. 張辰樹, 倉林大輔, 程家, 舩戸徹郎,位相振動子を用いた回遊制御によるロボット群の狭領域通過,第20回自律分散システム・シンポジウム資料,63-68,2008

1050. 平口鉄太郎, 片山征大, 瀬古圭介, 倉林大輔,昆虫の逃避行動時における歩容パターンの分析,第20回自律分散システム・シンポジウム資料,163-166,2008

1051. 鳥井原茂, 峰岸諒, 倉林大輔, 神崎亮平,脳-機械融合システムを用いた昆虫適応能力評価,第 20 回自律分散システム・シンポジウム資料,343-348,2008

1052. 舩戸徹郎, 奈良維仁, A.D'Angelo, E.Pagello, 倉林大輔, 青沼仁志,結合振動子による行動選択回路の実装と行動評価,第25回日本ロボット学会学術講演会予稿集,1D16,2007

1053. 平口鉄太郎, 片山征大, 瀬古圭介, 倉林大輔,フタホシコオロギ逃避行動時における歩容の変化,第78回日本動物学会,3P108,2007

1054. 峯岸諒, 鳥井原茂, 倉林大輔, 神崎亮平,生物- 機械融合実験系を用いた昆虫脳の行動同合情報の研究,第78回日本動物学会,1P089,2007

1055. 下根孝章, 倉林大輔, 沖田邦夫, 舩戸徹郎,外部距離情報を利用した自律移動ロボットの狭領域通過の実現,日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会,2A1-G01,2007

1056. 倉林大輔, 舩戸徹郎, 奈良維仁, 青沼仁志,振動子網を用いた行動切替メカニズムの実現,計測自動制御学会制御部門大会,2N4-5,2007

1057. 舩戸徹郎, 倉林大輔, 奈良維仁, 青沼仁志,振動子網を用いた行動遷移メカニズムの考察,物性研究,87,4,579-582,2007

1058. M. Iribe, *K. Osuka, Design of the Passive Dynamic Walking Robot by Applying its Dynamic Properties,Journal of Robotics and Mechatronics,19,4,402-408,2007

1059. M. Iribe, *K. Osuka,A Designing Method of the Passive Dynamic Walking Robot via Analogy with the Phase Locked Loop Circuits,Bioinspiration and Robotics - Walking and Climbing Robots-, Eds.: M. K. Habib,79-94,2007

1060. *K. Osuka, M. Iribe, Y. Sugimoto,On Passive Adaptive Mechanism in Passive Dynamic Walking,Proceedings of the International Conference on Morphological Computation,session27-2,2007

1061. *K. Osuka, M. Iribe, Y. Sugimoto,Adaptive Function Embedded in Passive Dynamic Walking,Proceedings of the International WORKSHOP on MOBILIGENCE,2007

1062. *K. Osuka,On Passive Adaptive Mechanism in Passive Dynamic Walking,Proceedings of the International Conference on Control, Automation and Systems 2007,2683-2686,2007

1063. D. Owaki, *A. Ishiguro,Mechanical Dynamics That Enables Stable Passive Dynamic Bipedal Running - Enhancing Self-stability by Exploiting Nonlinearity in the Leg -,Journal of Robotics and Mechatronics,19,4,374-380,2007

1064. D. Owaki and *A. Ishiguro,Mechanical Dynamics That Enables Stable Passive Dynamic Bipedal Running - Enhancing Self-stability by Exploiting Nonlinearity in the Leg -,Journal of Robotics and Mechatronics,19,4,374-380,2007

1065. T. Umedachi, *A. Ishiguro,Amoeboid Locomotion That Exploits Real-time Tunable Springs and Law of Conservation of Protoplasmic Mass,Proc. of the 2nd International Symposium on Mobiligence,263-266,2007

1066. D. Owaki, K. Osuka,*A. Ishiguro,Stable Passive Dynamic Bipedal Running by Exploiting the Body Dynamics Properties,Proc. of the 2nd International Symposium on Mobiligence,259-262,2007

1067. W. Watanabe, *A. Ishiguro,Cheap Learning That Exploits Multiarticular Muscles: A Case Study with a 2D Serpentine Robot,Proc. of the 2nd International Symposium on Mobiligence,267-270,2007

1068. M. Shimizu, K. Gohara,*A. Ishiguro,Adaptive Amoeboid Locomotion Induced from Embodied Coupled Oscillators,Proc. of the 2nd International Symposium on Mobiligence,271-274,2007

1069. *A. Ishiguro, M. Shimizu,Amoeboid Locomotion Tells Us a Lot!: A Collective Behavioral Approach to Mobiligence,Proc. of the 2nd International Symposium on Mobiligence,52-55,2007

1070. W. Watanabe, *A. Ishiguro,Improvement of Learning Efficiency by Exploiting Multiarticular Muscles — A Case Study with a 2D Serpentine Robot —,SICE 2007 PROCEEDINGS,2155-2160,2007

1071. T. Umedachi, *A. Ishiguro,Adaptive Amoeboid Locomotion That Exploits Law of Conservation of Protoplasmic Mass,SICE 2007 PROCEEDINGS,2150-2154,2007

1072. Y. Yokokohji, T. Tsubouchi, A. Tanaka, T. Yoshida,E. Koyanagi, F. Matsuno, S. Hirose, H. Kuwahara, F.Takemura, T. Ino, K. Takita, N. Shiroma, T. Kamegawa, Y. Hada, *X. Zheng, K. Osuka, T. Watasue, T. Kimura, H. Nakanishi, Y. Horiguchi, S. Tadokoro, and K. Ohno,Guidelines of Human Interface Design for Rescue Robots,Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS),2007

1073. D. Owaki, Y. Matsuno, *A. Ishiguro,Efficient and Adaptive Control of Walking Biped by Exploiting a Pulsed-CPG,2007 IEEE/ICME International Conference on Complex Medical Engineering-CME2007,111-115,2007

1074. M. Shimizu,*A. Ishiguro,A Self-reconfigurable Robotic System That Exhibits Amoebic Locomotion,Proc. of the 2007 IEEE/ICME International Conference on Complex Medical Engineering-CME2007,101-106,2007

1075. *大須賀 公一, 西井 淳, 石黒 章夫, 鄭 心知,移動知機構の階層構造に関する一考察,第 25 回日本ロボット学会学術講演会予稿集,1F11,2007

1076. 土師 貴史, 大谷 勇太, 衣笠 哲也, 吉田 浩治, *大須賀 公一, 天野 久徳,柔軟全周囲クローラの開発,第25回日本ロボット学会学術講演会予稿集,3K28,2007

1077. 二谷 啓文, *大須賀 公一, 岩野 優樹,レスキュー活動用担架構成連結ロボットの開発,ロボティクス・メカトロニクス講演会２００７講演論文集,2A1-K05,2007

1078. 天野 久徳, *大須賀 公一, 岩野 優樹,プラント等災害時における救助支援ロボット群の開発–ステレオビジョンによるトレース追従移動方法の検討–,ロボティクス・メカトロニクス講演会２００７講演論文集,2P1-I10,2007

1079. 岩田 哲也, *大須賀 公一,FST を用いた双腕ロボットのマスタスレーブ制御,ロボティクス・メカトロニクス講演会２００７講演論文集,2P1-J06,2007

1080. 升川 順司, *大須賀 公一,瓦礫対策ロボット MOIRA2 のハイブリット操作システム,ロボティクス・メカトロニクス講演会２００７講演論文集,2P1-J0 7 ,2007

1081. 黒田 晋, *大須賀 公一, 和田 貴志, 北田 安輝, 楠 健志,モジュール化フレキシブルセンサチューブ : ＦＳＴ２の開発,ロボティクス・メカトロニクス講演会２００７講演論文集,2P1-J0 8 ,2007

1082. 岩野 優樹, *大須賀 公一, 天野 久徳,救助支援型担架ロボットの開発–担架機構の基礎検証–,ロボティクス・メカトロニクス講演会２００７講演論文集,2P1-L06,2007

1083. *大須賀 公一, 2脚, 4脚, 6脚・・・どこまで存在するの, 受動的動歩行?,第８回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集,1G4-1,2007

1084. 越智 友亮, 岩野 優樹, *大須賀 公一, 天野 久徳,FRIGO を用いた人間追従システムの開発,第８回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集,2D2-4,2007

1085. 岩野 優樹, *大須賀 公一, 天野 久徳,救助支援型担架ロボットの機構評価,第８回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集,2D2-5,2007

1086. 田所 諭, 松野 文俊, *大須賀 公一, 淺間 一, 小野里 雅彦,大都市大震災軽減化特別プロジェクトの成果と今後の展望,第８回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集,3H1-1,2007

1087. *大須賀 公一, 中谷 和弘, 杉本 靖博, 赤澤 智昭,多関節型受動的動歩行の存在について– 1 脚, 2 脚, 4 脚, 6 脚 …?,第３６回制御理論シンポジウム資料,95-98,2007

1088. 吉田 浩治, *大須賀 公一,トルクユニットマニピュレータの全状態変数を制御するための運動軌道に関する考察,日本ロボット学会誌,25,7,86-95,2007

1089. 衣笠 哲也, *大須賀 公一, 三輪 正一,膝の伸縮と胴体の姿勢制御による 2 足歩行と周波数応答解析,日本ロボット学会誌,25,3,116-123,2007

1090. *石黒 章夫, 清水 正宏,粘菌に学んだ変幻自在のロボット,粘菌 〜驚くべき生命力の謎〜,116-117,2007

1091. *石黒 章夫, ロボット研究者からのメッセージ,139-144,2007

1092. 清水 正宏, *石黒 章夫,制御系と機構系の連関から創発するモジュラーロボットのアメーバ様ロコモーション,第１回生理学研究所 MotorControl 研究会,2007

1093. *清水 正宏,環境との相互作用から発現するモジュラーロボットの適応的形態変形,第 20 回社会的知能発生学研究会,2007

1094. 加藤 拓真, *石黒 章夫,不均質性を導入したモジュラーロボットによる環境適応的ロコモーションの創発,第13回創発システム・シンポジウム講演資料集,147-150,2007

1095. 北村 太一, 梅舘 拓也, *石黒 章夫,可変弾性要素と原形質量保存則を活用したアメーバ様ロボット,第13回創発システム・シンポジウム講演資料集,103-106,2007

1096. W. Watanabe, *A. Ishiguro,身体部位間の力学的相互作用を活用した学習の高効率化 -2 次元ヘビ型ロボットを用いた事例研究 -,第13回創発システム・シンポジウム講演資料集,131-134,2007

1097. *石黒 章夫, 清水 正宏,自然で無理の無い形態変形から生み出される適応的運動機能,日本機械学会創立110 周年記念 2007 年度年次大会講演資料集 Vol.8,257-258,2007

1098. K. Osuka, J. Nishii, *A. Ishiguro, X. Zheng,移動知機構の階層構造に関する一考察,第25回日本ロボット学会学術講演会後援概要集,1F11,2007

1099. *石黒 章夫,ハードでドライなロボットからソフトでウェットなロボットへ,日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門第２地区特別講演会,2007

1100. 大脇大, 大須賀公一, *石黒章夫,安定な受動走行を実現する身体特定に関する考察,第 8 回 計測自動制御学会 (SI2007) システムインテグレーション部門講演会論文集,281-282,2007

1101. 大脇 大, 大須賀 公一,*石黒 章夫,身体のカ学的特性改変による受動歩行と受動走行間の歩容遷移,第20回自律分散システム・シンポジウム,261-266,2008

1102. 渡邉 航, 佐藤 貴英, 川勝 年洋, *石黒 章夫,身体部位間の力学的長距離相関を活用した学習の高効率化 -2 次元ヘビ型ロボットを用いた事例研究 -,第20回 自律分散システム・シンポジウム,85-90,2008

1103. 松野 善幸, 石田 怜, 大脇 大, 西井 淳, *石黒 章夫,適応的歩行動作のための筋肉群の時空間的励起方策,第20回 自律分散システム・シンポジウム,273-278,2008

1104. 清水 正宏, 網原 一寿, *石黒 章夫,移動知発現の理解へ向けたアメーバ様モジュラーロボットの力学系解析,第20回 自律分散システム・シンポジウム,157-162,2008

1105. 梅舘 拓也, 北村 太一, *石黒 章夫,原形質量保存則を活用したアメーバ様ロボットの自律分散的形態制御,第20回 自律分散システム・シンポジウム,57-62,2008

1106. *石黒 章夫,人工物の知能化・生命化に向けた創発的アプローチ : 生物のような「生き生きとしたシステム」はいかにして構築できるか,計測自動制御学会北海道支部チュートリアル講演,2008

1107. 大須賀 公一, 西井 淳, 石黒 章夫, *鄭 心知,移動知機構の階層構造に関する一考察,第 25 回日本ロボット学会学術講演会後援概要集,1F11,2007

1108. *石黒 章夫,弟はぐくむ研究室 東北大学・石黒章夫教授 "脱・頭でっかち"ロボ試作 「しぶとさ」「たくましさ」持つ自律分散型,日刊工業新聞,4 月 2 日,2007

1109. *石黒 章夫,背骨柔らかく 4 脚ロボ 東北大が試作 -,日刊工業新聞,4 月 6 日,2007

1110. 大脇 大, 大須賀 公一, *石黒 章夫,身体の力学的特性の改変による受動歩行と受動走行間の環境適応的遷移,ロボティクス・メカトロニクス講演会 2007,1P1-E11,2007

1111. 松野 善幸, 大脇 大, *石黒 章夫,パルス化 CPG を活用した二脚歩行ロボットの実時間適応制御,ロボティクス・メカトロニクス講演会 2007,1P1-F03,2007

1112. 坂井 善行, 佐藤 智紀, 大脇 大, *石黒 章夫,身体剛性の動的改変による安定な四脚歩容遷移の実現,ロボティクス・メカトロニクス講演会 2007,2A1-A10,2007

1113. 渡邉 航, 梅舘 拓也, *石黒 章夫,可変弾性要素を介した制御系と機構系の有機的連関 -2 次元ヘビ型ロボットを用いた事例研究 -,ロボティクス・メカトロニクス講演会 2007,2A1-B11,2007

1114. 梅舘 拓也, *石黒 章夫,可変弾性要素と原形質量保存則を活用したアメーバ様ロボット,ロボティクス・メカトロニクス講演会 2007,2A1-G02,2007

1115. 鈴木 雄也, 前川 知毅, 清水 正宏, *石黒 章夫,自発的な着脱機構を有する群ロボットによる自己組み立て,ロボティクス・メカトロニクス講演会 2007,2A1-G03,2007

1116. 清水 正宏, 河野 紀明, Lungarella Max, *石黒 章夫,着脱特性の不均質性を活用したモジュラーロボットの適応的形態制御,ロボティクス・メカトロニクス講演会 2007,2A1-G04,2007

1117. *石黒 章夫, 清水 正宏,生物振動の概念はロボティクスでいかに使われるべきか?, 細胞工学,26,7,779-785,2007

1118. Mano, T., Fujita, K, Shioiri,S., Matsumiya, K. & Kuriki, I.,Implicit and explicit learning in visual search_the influence of eye movements,KEER2007 CD-ROM Proceedings,A17.1-A17.4,2007

1119. Nagata, H., Matsumiya, K., Shioiri,S. & Kuriki, I.,Investigating the differences between explicit and implicit learning in a visuo-motor task,KEER2007 CD-ROM Proceedings,A14.1- A14.4,2007

1120. Shioiri, S, Iwaida, Y., Tamai, N., Matsumiya, K., Yaguchi, H,The effect of attention on perception of facial expression,Proceedings of the 2nd International Symposium on Mobiligence in Awaji,105-108,2007

1121. Matsumiya, K., Sugiyama, H., Shioiri, S, Kuriki, I,Effects of auditory information reading,Proceedings of the 2nd International Symposium on Mobiligence in Awaji,97-100,2007

1122. Lee, S., *Shioiri, S. & Yaguchi H., ,Stereo channels with different temporal frequency tunings,Vision Research ,47,3,258-297,2007

1123. Kuriki I,Aftereffect of adaptation to chromatic notched-noise stimulus.,Journal of the Optical Society of America A,24,7,1858-1872,2007

1124. 真野将郎, 藤田克哉, 松宮一道, 塩入 諭, 栗木一郎,視覚探索における意識・無意識学習効果と眼球運動,日本視覚学会,19,3,179-180,2007

1125. 永田啓矩, 塩入 諭, 松宮一道, 栗木一郎,視覚行動関連学習における意識過程と無意識過程への注意の効

果,日本視覚学会,20,1,35,2008

1126. 山崎隆紀, 塩入 諭, 栗木一郎, 松宮一道,数字に関わる空間表象のポインティング課題を用いた評価,日本視覚学会,20,1,45,2008

1127. 松宮一道, 塩入 諭,視覚運動残効における異種感覚協調性,日本視覚学会,20,1,50,2008

1128. 松宮一道, 塩入 諭,触運動による体性感覚が視覚運動残効に与える影響,ヒューマン情報処理研究会,HIP2007-157,159-163,2007

1129. Tetsunari Inamura, Tomohiro Shibata,Interpolation and Extrapolation of Motion Patterns in the Proto-symbol Space,International Conference on Neural Information Processing,2007

1130. Jean C. Quinton, Tetsunari Inamura,Human-Robot Interaction Based Learning for Task-Independent Dynamics Prediction,Proc. of the Seventh International Conference on Epigenetic Robotics,133-140,2007

1131. Tetsunari Inamura,Behavior Adaptation and Induction in Unknown Situation based on Multimodal Mimesis Model,2nd International Symposium on Mobiligence,85–88,2007

1132. Tetsunari Inamura,Behavior Imitation and Induction for Humanoid robots based on mimesis model,IMEKO/SICE/IEEE International Symposium on Measurement, Analysis and Modeling of Human Functions (ISHF2007),211–218,2007

1133. T. Inamura, T. Kawaji, T. Sonoda, K. Okada and M. Inaba,Cooperative Task Achievement System between Humans and Robots based on Stochastic Memory Model of Spatial Environment,Lecture Notes in Artificial Intelligence,4384,77,87

1134. 稲邑 哲也, 柴田 智広,幾何学的な原始シンボル操作に基づく全身動作の生成ー時間長の異なる動作の合成ー,第13回ロボティクスシンポジア予稿集,2007

1135. 稲邑 哲也, 柴田 智広,原始シンボル空間内における幾何学的シンボル操作に基づく全身運動パターンの合成,計測自動制御学会システム・情報部門講演会 2007 講演論文集,223–226,2007

1136. 稲邑 哲也, 柴田 智広,原始シンボル空間内における全身動作パターンの内挿・外挿,第25回日本ロボット学会学術講演会予稿集,3N26,2007

1137. 稲邑 哲也, 古城直樹, 園田朋之, 坂本和之, 岡田慧, 稲葉雅幸,ヒューマノイドの対人協調行動のための対話的動作教示とタスク推論モデル,第25回日本ロボット学会学術講演会予稿集,2L16,2007

1138. 稲邑哲也,触れる、見る、感じる経験がロボットを育てる 〜ロボット情報技術（ＩＲＴ）で迫る身体性と対話の調和 ;情報通信ジャーナル,25,7,44-45,2007

1139. 稲邑 哲也,脳科学とロボット 〜ロボットも人間と同じように考えられるのか？〜,国立情報学研究所平成19年度第一回市民講座,2007

1140. 稲邑 哲也,確率的情報処理に基づく実世界指向型ヒューマノイドとのインタラクション,平成 19 年度第１回理研フォーラム,2007

1141. Kawase,T, Shin,D, Koike,Y.,Visuomanual coordination In ball catching task,The ３rd International Symposium on M odeling of Human Functions,129-134,2007

1142. Kambara Hiroyuki, Kim Kyoungsik, Shin Duk, Sato Makoto, ＆ Koike Yuharu,Motor control-learning model for arm's reaching movement without desired trajectory,The ３rd International Symposium on M odeling of Human Functions,181-187,2007

1143. DaSalla,Charles S., Sato,Mkoto, and Koike Yasuharu,EMG Vowel Recognition using a Support Vector Machine,The ３rd International Symposium on M odeling of Human Functions,227-232,2007

1144. N.P.UTAMA,A.TAKEMOTO, Y.KOIKE,K.NAKAMURA,Serial Processing of information from facial emotion:evidence from an ERP study,Neuroscience 2007,2007

1145. Toshihiro Kawase, Duk Shin, Yasuharu Koike,Unrealistic condition between visual and haptic stimuli in ball catching task,The 2nd International Symposium on Mobiligence,89-92,2007

1146. Nugraha P.Utama,Atsuhi Takemoto,Yasuharu Koike,Katsuki Nakamura,Serial Processing of Emotional Type and Intensity:evidence from an ERP stuy,14th International Conference on Neural Information Processing,119,2007

1147. Kyuwan Choi,Hideaki Hirose,Yoshio Sakurai,Toshio Iijima,Yasuharu Koike,Prediction of arm trajectory from the neural activities of the primary motor cortex using a modular artificial neural network model,14th International Conference on Neural Information Processing,122,2007

1148. H.Kambara,K.Tsukamoto,K.S.Kim, D.Shin,M.Sato,Y.Koike.,Learning of arm reaching task in a trial-and-error manner,JSPS 日伊合同セミナー,2007

1149. Yasuharu Koike,Brain machine interface for reaching movement and posture control,JSPS 日伊合同セミナー,2007

1150. 小池 康晴,生体信号処理とその応用,電子情報通信学会 信学技報,107,50,19-22,2007

1151. Yusuke Maeda, Tatsuya Ushioda,Analysis of Human Pivoting Operations Using Hidden Markov Models,Proc. of 2nd Int. Symp. on Mobiligence,93-96,2007

1152. Yusuke Maeda, Tatsuya Ushioda,Hidden Markov Modeling of Human Pivoting,J. of Robotics and Mechatronics,19,4,444-447,2007

1153. 潮田 達也, 前田 雄介,CPG に基づく人間のピボット操作モデル,計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2007 講演論文集,69-72,2007

1154. 村松 聡, 杉内 肇,詳細人体モデルによる手の運動シミュレーション,日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2007 講演論文集,1A2-I11,2007

1155. 杉内 肇, 永田 雄一, 村松 聡,手の運動シミュレーションのための詳細人体モデル構築,第 25 回日本ロボット学会学術講演会予稿集,3G16,2007

1156. 村松 聡, 永田 雄一, 杉内 肇,手の運動シミュレーションのための詳細人体モデルの構築 ,第 8 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門学術講演会講演論文集,1204-1205,2007

1157. Toshiya Matsushima,Neuro-economics in chicks.,IBRO (International Brain Research Organization) satellite meeting on "Brain mechanisms, cognition and behaviour in birds," July 19-23, Heron Island, Queensland, Australia,2007

1158. Ai Kawamori, Toshiya Matsushima,Are chicks optimal foragers? Discounting food value by distance and risk.,The 30th International Ethological Conference (IEC2007), August 15-23, Halifax, Nova Scotia, Canada,2007

1159. Matsushima, T.,Economical decision making in chicks: brain mechanisms meet foraging ecology,The 39th Annual Genral Meeting of European Bain and Behaviour Society, September 15-19, Trieste, Italy,2007

1160. Yamaguchi, S., Katagiri, S., Hirose, N., Fujimoto, Y., Mori, M., Fujii-Taira, I., Takano, T., Matsushima, T., and Homma, K.,In-vivo gene transfer into newly hatched chick brain by electroporation,NeuroReport,18,735-739,2007

1161. Matsushima, T., Kawamori, A., and Bem-Sojka T.,Neuro-economics in chicks: foraging choices based on delay, cost and risk,Brain Research Bulletin,in press,

1162. Yamaguchi, S., Fujii-Taira, I., Katagiri, S., Izawa, E.-I., Fujimoto, Y., Takeuchi, H., Takano, T., Matsushima, T., and Homma, K.J.,Gene expression profile in cerebrum in the filial imprinting of domestic chicks (Gallus gallus domesticus),Brain Research Bulletin,in press,

1163. Yamaguchi, S., Fujii-Taira, I., Murakami, A., Hirose, N., Aoki, N., Izawa, E.-I., Fujimoto, Y., Takano, T., Matsushima, T., and Homma, K.J.,Upregulation of microtubule-associated protein 2 accompanied by the filial imprinting of domestic chicks (Gallus gallus domesticus),Brain Research Bulletin,in press,

1164. 松島俊也,採餌選択と生態的合理性,「脳と心のメカニズム」 第 7 回冬のワークショップ「Neuroeconomics」 (招待講演、ルスツ、2007 年1月 10 日）,2007

1165. 網田英敏、川森愛、松島俊也,ヒヨコの採餌選択Ｉ：衝動性とリスク感受性,日本動物学会第 53 回北海道支部大会 (8 月 18 日)、帯広プラザ、帯広。,2007

1166. 松浪庄平、松島俊也,ヒヨコの採餌選択Ⅱ：最適パッチ利用とセロトニン系,日本動物学会第 53 回北海道支部大会 (8 月 18 日)、帯広プラザ、帯広。,2007

1167. 網田英敏、西井絵里子、松島俊也,ニワトリ雛の衝動的選択：認知的文脈の影響,日本動物学会第 78 回大会 (9 月 21 日)、弘前大学、弘前、青森。,2007

1168. 川森愛、西井絵里子、松島俊也,餌場選択においてニワトリ雛はリスクを回避する,日本動物学会第 78 回大会 (9 月 21 日)、弘前大学、弘前、青森。,2007

1169. Matsushima,T., Kawamori, A.,Risk sensitive choice in chicks,In: The 30th Japan Neuroscience Meeting (Neuro2007), Yokohama, Kanagawa, Japan.,2007

1170. 川森愛、松島俊也,ニワトリ雛のリスク感受性：量と遅延,日本動物学会第 78 回大会 (9 月 21 日)、弘前大学、弘前、青森。,2007

1171. 松島俊也,最適採餌と衝動性の制御,慶応義塾大学グローバル COE プログラム「論理と感性の先端的教育研究拠点」第 13 回シンポジウム (12 月)、慶応大学、東京。,2007

1172. 松島俊也,脳科学は心にどこまで肉薄できるか 特集「行動からみた脳」にあたって,脳２１,10,4,353-354,2007

1173. Takachi, Y., *Ishida, F. and Sawada, Y. , Enhancement of proactivity in hand tracking by the discretization of visual information,Proc.of 3rd International Symposium on Measurement, Analysis and Modeling of Human Functions, 219-225, 2007, 219-225,2007

1174. F.Ishida and Y.Sawada,Semi-analytical transient solution of a delayed differential equation and its application to the tracking motion in the sensory-motor system,Physical ReviewE,75,9,12901,2007

1175. 大里司, 浦上大輔, 沢田康次,運動時のリズム生成に対する音刺激の影響,計測自動制御学会 第24回センシングフォーラム ,241-244,2007

1176. 浦上大輔, 石田文彦, 高地康弘, 沢田康次,人の手による相互追従運動における先行制御,計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集 ,3I2-1,2007

1177. 浦上大輔, 高地康弘, 石田文彦, 沢田康次,追従運動における予測メカニズムとリズム,第20回自律分散システムシンポジウム ,2C1-5,2008

1178. 沢田康次,視覚運動系における Feedback 機能と Feedforward 機能の相補性,第２回 国際高等研究所プロジェクト研究「認識と運動における主体性の数理脳科学,2007

1179. 沢田康次,速度認識と時間認識,第３回 国際高等研究所プロジェクト研究「認識と運動における主体性の数理脳科学,2007

1180. 沢田康次,心の線形現象論（招待論文）,学術月報、脳と心」特集号、, 6 0, ２,21-25,2007

1181. 浦上大輔, 沢田康次, 石田文彦,相互追従実験によるヒトーヒト協調的適応の最適化,科研費特定研究『移動知』第２回A／B班合同班会議 ,2007

1182. 市川純章, 渡邊健士, 大久保賢一, 原文雄,接触センサを持つ柔軟な指ロボットの接触情報による物体識別〜指ロボットによる識別と人による識別能の比較,第25 回日本ロボット学会学術講演会,1F13,2007

1183. *Akira Murata, Hiroaki Ishida ,Representation of bodily self in the multimodal parieto-premotor network,In: Representation and Brain, edited by Shintaro Funahashi, Springer Verlag,151-176,2007

1184. Akira Murata,Self based on the body,2nd annual symposium on Japanese-French frontier of Science,2007

1185. *Akira Muratra and Hiroaki Ishida ,Bodily self and others representation in the brain,2nd International symposium on the Mobiligencei in Awaji 2007 June Awaji,30-33,2007

1186. Hiroaki Ishida and Akira Murata,Representation of others' body parts by visuo-tactile bimodal neuron in area VIP,2nd International symposium on the Mobiligencei in Awaji 2007 June Awaji,109-112,2007

1187. Elena Borra, Abdelouahed Belmalih, Roberta Calzavara, Marzio Gerbella, Akira Murata, Stefano Rozzi and *Giuseppe Luppino,Cortical connections of the macaque anterior intraparietal (AIP) area,Cerebral cortex[Epub ahead of print],2007

1188. 村田 哲,身体性情報学：神経科学の視点,身体性情報学研究会第１回シンポジウム「身体性情報学を考える」,2007

1189. *Ishida, H. and Murata, A.,Self and other's body parts representation in parietal visuo-tactile bimodal area.,Neuro2007 第３０回神経科学大会,2007

1190. *Shimizu, T., Ishida, F., Murata, A. and Sakaguchi, Y.,Information analysis of monkey AIP neurons during hand manipulation task,Neuro2007 第３０回神経科学大会,2007

1191. *Nakajima, K., Mori, F., Murata, A. and Inase, M.,Neuronal activity in primary motor cortex during treadmill locomotion of the Japanese monkey.,Neuro2007 第３０回神経科学大会,2007

1192. *清水崇司 石田文彦 村田 哲 阪口 豊,手操作運動課題におけるサル AIP 野ニューロンの情報量解析,電子通信学会 ニューロコンピューティング研究会,2007

1193. *村田 哲, 石田裕昭,頭頂連合野における身体の認識機構,生理学研究所 Motor control 研究会,2007

1194. *石田裕昭, 村田 哲,頭頂葉の視覚-触覚バイモーダルニューロンによる自己と他者身体部位の表現,生理学研究所 Motor control 研究会,2007

1195. *阪口 豊, 清水崇司, 石田文彦, 村田 哲, 池田思朗,到達・把持運動における運動情報表現に関する情報論的アプローチ,生理学研究所 Motor control 研究会,2007

1196. *村田 哲,自己と他者の脳内表現–ミラーニューロンシステムとの関わり–,秋田認知神経科学研究会,2007

1197. *清水崇司, 石田文彦, 村田 哲, 阪口 豊,手操作運動課題におけるサル AIP 野ニューロンの情報量解析,電気通信学会技術研究報告書,107,157,1-6,2007

1198. R. Yokoya, T. Ogata, J. Tani, K. Komatani, and H. G. Okuno,Discovery of other individuals by projecting a self-model through imitation,Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS2007),1009-1014,2007

1199. T. Ogata, M. Murase, J. Tani, K. Komatani, and H. G. Okuno,Two-way translation of compound sentences and arm motions by recurrent neural networks,Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS2007),1858-1863,2007

1200. H. Arie, S. Sugano, and J. Tani,Constructive Approach to Understanding the Active Learning Process of Adaptation within a Given Task Environment,Proc. of 2nd Int. Symp. on Mobiligence,77-80,2007

1201. Y. Yamashita, T. Okumura, K. Okanoya, and J. Tani,Function of the sensori-motor nucleus NIf in generation of complex syntactical song in the Bengalese Finch,Proc. of 2nd Int. Symp. on Mobiligence,101-104,2007

1202. S. Nishide, T. Ogata, J. Tani, K. Komatani, and H.G. Okuno,Predicting Object Dynamics from Visual Images through Active Sensing Experiences,Proc. of IEEE Int. Conf. on Robots and Automation (ICRA2007),2501-2506,2007

1203. T. Ogata, S. Matsumoto, J. Tani, K. Komatani, and H.G. Okuno,Human-Robot Cooperation using Quasi-symbols Generated by RNNPB Model,Proc. of IEEE Int. Conf. on Robots and Automation (ICRA2007),2156-2161,2007

1204. R. Yokoya, T. Ogata, J. Tani, K. Komatani, and H. G. Okuno,Experience Based Imitation Using RNNPB,Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS2006),3669-3674,2006

1205. I. Igari, C. Hirata, and J. Tani,Computational Model for Sequence Learning: Generalization and Differentiation Dynamics of Learning Modules,Proc. of 5th Int. Conf. on Development and Learning (ICDL2006),45-1~45-6,2006

1206. R. Yokoya, T. Ogata, J. Tani, K. Komatani, and H. G. Okuno,Robot Imitation from Active-Sensing Experiences,Proc. of 5th Int. Conf. on Development and Learning (ICDL2007),27-1~27-6,2006

1207. J. Tani,On the interactions between top-down anticipation and bottom-up regression,Frontiers in Neurorobotics,1,2007

1208. R. Yokoya, T. Ogata, J. Tani, K. Komatani, and H. G. Okuno,Experience-based imitation using RNNPB,Advanced Robotics,21,12,1351-1367,2007

1209. H. Arie, T. Ogata, J. Tani, and S. Sugano,Reinforcement learning of a continuous motor sequence with hidden states,Advanced Robotics, Special Issue on Robotic Platforms for Research in Neuroscience,21,10,1215-1229,2007

1210. Yoshimasa Koyama,Regulation of muscular tonus through hypocretinergic and GABAergic systems,5th congress of the World Federation of Sleep Research and Sleep Medicine Societies, Cairns ,2007

1211. Kodama,T,Honda,Y. ,Hsieh,KC. ,Siegel,JM. Lai,YY. ,GABA Related To The Differential Effect Of Nuclei Gigantocellularis And Magnocellularis Stimulation On Muscular Activity Under The Absence Of Pontine Regulation,5th congress of the World Federation of Sleep Research and Sleep Medicine Societies, Cairns ,2007

1212. Y Koyama, K Takahashi, T Kodama and K Takakusaki,Hypothalamic regulation of muscular tonus -involvement of orexinergic and GABAergic neurons,2nd Mobiligence International Symposium in Awaji, 2007,166-169,2007

1213. Soya,A, Song,Y., Kodama,T., Honda,Y., Fujiki,N., Nishino,S. ,Cerebrospinal fluid histamine levels in rats across 24 hours and after various behavioral and pharmacological manipulations., ,Sleep 2007 APSS meeting, Minneapolis,2007

1214. Kodama,T., Honda,Y. Siegel,JM., Lai Y.Y.,Changes in inhibitory amino acids release onto the ventral horn during nucleus gigantocellularis stimulation - the role of medial pons,37th Annual Meeting of Society for Neuroscience, San-Diego, CA, USA, 2007.,2007

1215. Hsieh,KC., Nguyen,D., Kodama,T., Siegel,JM., Lai,YY. ,Histamine release in substantia nigra is correlated with wakefulness.,37th Annual Meeting of Society for Neuroscience, San-Diego, CA, USA, 2007.,2007

1216. Hui Wang, Yoshiyuki Tanaka, Eiich Jodo, Yukihiko Kayama, Akihiro Kawauchi, Tsuneharu Miki , Manabu Otsuki, Yoshimasa Koyama. ,Acupuncture stimulation to the sacral segment affects the state of vigilance in rats. ,Neuroscience Research,57,531-537,2007

1217. Juan Carlos Toledo Salas, Hiroshi Iwasaki, Eiichi Jodo, Markus H. Schmidt, Akihiro Kawauchi, Tsuneharu Miki, Yukihiko Kayama, Manabu Otsuki, Yoshimasa Koyama,Penile erection and micturition events triggered by electrical stimulation of the mesopontine tegmental area,Americal Journal of Physiology,292,R102-R111,2008

1218. Lapierre, JL., Kosenko,PO., Lyamin,OL., Kodama,T., Mukhametov,LM., Siegel,JM.,Cortical Acetylcholine Release Is Lateralized during Asymmetrical Slow-Wave Sleep in Northern Fur Seals,Journal of Neuroscience,27,44,11999-12006,2007

1219. Imai,Y. ,Inoue,H. ,Kataoka,A. ,Hua Qin,W. , Masuda,M. , Ikeda,T. , Tsukita,K. , Soda,M. , Kodama,T. , Fuwa,T. , Honda,Y. , Kaneko,S. , Matsumoto,S. , Wakamatsu,K. , Ito,S. , Miura,M. , Aosaki,T. , Itohara. S. , Takahashi,R,Pael receptor is involved in dopamine metabolism in the nigrostriatal system,Neuroscience Research,59,413-425,2007

1220. Soya A., Song, Y-H., Kodama,T., Honda,Y., Fujii, N., Nishino, S.,CSF histamine levels in rats reflect the central histamine neurotransmittion,Neuroscience Letter (in press) ,

1221. K Takahashi, Y Koyama, Y Kayama, J-S Lin, K Sakai,A temporal sequence of activity changes among wake- and sleep-promoting neurons in the brainstem and posterior hypothalamus in mice,5th congress of the World Federation of Sleep Research and Sleep Medicine Societies, Cairns ,2007

1222. Gulia K.K., Kayama Y., Koyama Y. ,The septal neurons involved in wake and rapid eye movement sleep related penile erections: neuronal recording study in semi-restrained un-anesthetized rats.,第３回環境生理プレコングレス、大阪,2007

1223. Gulia K.K., Kayama Y., Koyama Y.,The septal neurons involved in wake and rapid eye movement sleep related penile erections: neuronal recording study in semi-restrained un-anesthetized rats. ,第84 回日本生理学会大会, 大阪,2007

1224. 高橋和巳、小山純正、香山雪彦、酒井一弥,マウスの覚醒ニューロン、睡眠ニューロンが示す睡眠・覚醒移行期における活動変化の順序,第30 回日本神経科学大会, 横浜,2007

1225. 高橋和巳、酒井一弥、小山純正、香山雪彦,睡眠・覚醒の移行期において脳幹及び視床下部のニューロンが示す活動変化の順序,第40 回東北生理談話会, 仙台,2007

1226. 高橋和巳、小山純正、香山雪彦、酒井一弥,視床下部及び脳幹の睡眠・覚醒調節ニューロン群が示す活動変化の時間順序,日本睡眠学会第32 回定期学術集会, 東京,2007

1227. 高橋和巳、小山純正、香山雪彦、酒井一弥,結節乳頭核ヒスタミンニューロン活動が覚醒状態の発現に果たす役割,第11 回日本ヒスタミン学会, 富山,2007

1228. 高橋和巳、高草木薫、児玉亨、香山雪彦、小山純正,歩行及び筋緊張調節機構に対するオレキシン入力の役割, 第１回 Motor Control 研究会, 岡崎,2007

1229. Kodama,T., Honda,Y., Siegel,JM., Lai,YY. ,Differential effect of nuclei Gigantocellularis and Magnocellularis stimulation on muscular activity under the absence of pontine regulation,第30 回日本神経科学大会, 横浜,2007

1230. 児玉亨、本多芳子、渡邊正孝、臼井節夫,生育期における長期ドーパミン増加のラット行動・リズムへの影響,第３２回日本睡眠学会, 東京,2007

1231. 小山純正 高草木薫,オレキシンによる筋緊張の調節,医学の歩み ,220,5442-5448,2007

1232. 小山純正 高橋和巳,脳幹網様体賦活系の各種神経細胞と覚醒機構,Clinical Neuroscience ,25,4,388-390,2007

1233. 児玉亨,橋網様体とレム睡眠,Clinical Neuroscience,25,4,391-394,2007

1234. Noriyuki Taniguchi, Osamu Fukayama, Tatsuo Okubo, Takafumi Suzuki, Kunihiko Mabuchi,RatCar System: A vehicle-formed BMI system by neural signals recorded with implantable electrodes,International Symposium on Biological and Physiological Engineering,accepted,2008

1235. Takashi Sato, Takafumi Suzuki, Kunihiko Mabuchi,Independent hydraulic positioning for an implantable multi-electrode array,Proc of the 3rd International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering,73-76,2007

1236. Noriyuki Taniguchi, Takafumi Suzuki, Kunihiko Mabuchi,Biocompatibility of wire electrodes improved by MPC polymer coating,Proc of the 3rd International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering,122-125,2007

1237. Osamu Fukayama, Noriyuki Taniguchi, Saeri Saito, Takafumi Suzuki, Kunihiko Mabuchi,Control of a Vehicle-formed BMI system for Rats by Neural Signals Recorded in the Motor Cortex,Proc of the 3rd International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering,394-397,2007

1238. Takafumi Suzuki, Osamu Fukayama, Noriyuki Taniguchi, Naoki Kotake, Shoji Takeuchi, Masanari Kunimoto, Kunihiko Mabuchi,Development of neural probes and their applications to neuroprostheses,Japan-Italy International Seminar,2007

1239. Takashi Sato, Takafumi Suzuki, Kunihiko Mabuchi,Fast automatic template matching for spike sorting based on Davies-Bouldin validation indices,Proc. of 29th International Conference of the IEEE EMBS,3200-3203,2007

1240. Tatsuo Okubo, Noriyuki Taniguchi, Osamu Fukayama, Takafumi Suzuki, Kunihiko Mabuchi,Characterization of head pitch cells in rats,Neuroscience 2007,2007

1241. Takafumi Suzuki, Osamu Fukayama, Noriyuki Taniguchi, Shoji Takeuchi, Kunihiko Mabuchi,BMI system Rat Car as a tool for neuroscience,Proc. of the 2nd International Symposium on Mobiligence,45-46,2007
1242. Osamu Fukayama, Noriyuki Taniguchi, Takafumi Suzuki, Kunihiko Mabuchi,Estimation of Locomotion Speed and Directions Changes to Control a Vehicle Using Neural Signals from the Motor Cortex of Rat,Proceedings of the 28th IEEE EMBS Annual International Conference,1138-1141,2006
1243. Yasuhiro Kato, Itsuro Saito, Takayuki Hoshino, Takafumi Suzuki, Kunihiko Mabuchi,Preliminary Study of Multichannel Flexible Neural Probes Coated with Hybrid Biodegradable Polymer,Proceedings of the 28th IEEE EMBS Annual International Conference,660-663,2006
1244. Takashi Sato, Takafumi Suzuki, Kunihiko Mabuchi,A new multi-electrode array design for chronic neural recording, with independent and automatic hydraulic positioning,Journal of Neuroscience Methods,160,45-51,2007
1245. 大久保達夫, 谷口徳恭, 深山理, 鈴木隆文, 満渕邦彦,ラットの頭部仰角に関連した神経活動,Neuro2007(第30回日本神経科学大会),2007
1246. 深山理, 谷口徳恭, 鈴木隆文, 満渕邦彦,ラットカー: ラット運動皮質の神経発火パターンに基づくオンライン車体制御,第1回Motor Control研究会,2007
1247. 小竹直樹, 鈴木隆文, 竹内昌治, 満渕邦彦,流路を備えた神経電極のマイクロダイアリシスへの応用,電気学会 電子・情報・システム部門大会,229-230,2007
1248. Takafumi Suzuki, Naoki Kotake, Kunihiko Mabuchi, Shoji Takeuchi,Bundled Microfluidic Channels for Nerve Regeneration Electrodes,Proc of the 3rd International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering,17-18,2007
1249. 深山理, 谷口徳恭, 鈴木隆文, 満渕邦彦,中枢神経信号を用いたラット搭載車の制御 –神経発火パターンに基づく適応的オンライン歩行状態推定–,電気学会 電子・情報・システム部門大会,273-274,2007
1250. 鈴木隆文, 竹内昌治, 満渕邦彦,多機能柔軟神経電極の開発と BMI への応用,第1回 Motor Control 研究会,2007
1251. 深山理, 谷口徳恭, 鈴木隆文, 満渕邦彦,線形相関モデルを用いた運動野神経信号によるラット歩行状態推定,電気学会論文誌C,127,10,1686-1691,2007
1252. 深山理, 満渕邦彦,ラットカー,Journal of Clinical Rehabilitation,16,10,982-987,2007
1253. 谷口徳恭, 深山理, 鈴木隆文, 満渕邦彦,ラット大脳皮質の神経信号取得に適した埋め込み型多点電極アレイの開発,電気学会論文誌C,127,10,1556-1561,2007
1254. 佐藤尚, 鈴木隆文, 満渕邦彦,スパイクソーティングにおけるテンプレートマッチングの高速化,電気学会論文誌C,127,10,1680-1685,2007
1255. 鈴木隆文, 小竹直樹, 満渕邦彦, 竹内昌治,束状微小流路を利用した神経再生型電極の開発,電気学会論文誌C,127,10,1544-1548,2007
1256. Takahashi, S., Sakurai, Y. ,Coding of spatial information by soma and dendrite of pyramidal cells in the hippocampal CA1 of behaving rats. ,European Journal of Neuroscience,26,2033-2045,2007
1257. Nomura, M., Sakurai, Y., Aoyagi, T..,Analysis of multi-neuronal activities by means of a kernel method. ,Journal of Robotics and Mechatronics,19,364-368,2007
1258. Sakurai, Y.,How can we detect ensemble coding by cell assembly.,Representation and Brain (Springer 刊),249-270,2007
1259. Sakurai, Y.,Brain-machine interface to detect real dynamics of neuronal assemblies in the working brain.,Complex Medical Engineering (Springer 刊),407-412,2007
1260. Takahashi, S., Sakurai, Y. ,Spatial information coded by the soma and dendrite of pyramidal cells in the hippocampus of behaving rats, ,37th Society for Neuroscience Annual Meeting. 米国. (2007年11月),2007
1261. Hara, K., Takahashi, S., Sakurai, Y. ,Hippocampal and prefrontal multi-neuronal activities during acquisition, reversal, and reacquisition of a conditional association task in rats ,37th Society for Neuroscience Annual Meeting. 米国. (2007年11月),2007
1262. Takahashi, M., Lauwereyns, J., Sakurai, Y., Tsukada, M.,Sequential coding of spatial response bias in rat hippocampal CA1 neurons.,37th Society for Neuroscience Annual Meeting. 米国. (2007年11月),2007
1263. Takahashi, M., Lauwereyns, J., Sakurai, Y., Tsukada, M.,Hippocampal code for alternation sequence during fixation period.,7th International Neural Coding Workshop, ウルグアイ. (2007年11月),2007
1264. Sakurai,Y., Takahashi, S.,Brain-machine interface can detect dynamic neuronal activity and synchrony in the working brain. ,2nd Internaional Symposium on Mobiligence. 淡路. (2007年7月),2007
1265. Sakurai, Y.,究極のオルガテクノ：ブレイン・マシン・インタフェース. ,オルガテクノ国際会議2007, 東京. (2007年7月),2007
1266. Nomura, M., Sakurai, Y., Aoyagi, T.,Kernel Analysis of Multi-neural Spike Trains. ,IEEE/ICME International Conference on Complex Medical Engineering. 中国. (2007年5月),2007
1267. 野村真樹・櫻井芳雄・青柳富誌生,文字列カーネルを応用した多次元時系列データ解析. ,第１０回情報論的学習理論ワークショップ (IBIS2007), 横浜. (2007年11月),2007
1268. 櫻井芳雄, 高橋晋,行動中のラット海馬における錐体細胞の細胞体と樹状突起での空間情報表現. ,第30回日本神経科学学会大会, 横浜 (2007年9月). ,2007
1269. 廣瀬秀顕, 崔圭完, 筒井健一郎, 櫻井芳雄, 小池康晴, 飯島敏夫,上肢の到達運動と姿勢を再現するブレインマシンインターフェース. ,第30回日本神経科学学会大会, 横浜 (2007年9月),2007
1270. 野村真樹・櫻井芳雄・青柳富誌生,ラット海馬のマルチニューロン活動を用いた行動推測. ,第30回日本神経科学学会大会, 横浜 (2007年9月),2007
1271. 原康治郎・高橋晋・櫻井芳雄,条件性連合学習におけるラットの海馬と新皮質ニューロン集団活動のアトラクタ変動性 ,第30回日本神経科学学会大会, 横浜 (2007年9月),2007
1272. 廣瀬秀顕・崔圭完・櫻井芳雄・小池康晴・飯島敏夫,ユーザーにやさしいブレイン・マシンインターフェース. ,第46回日本生体医工学会大会, 仙台. (2007年4月),2007
1273. 櫻井芳雄,ブレイン－マシン・インタフェースの現状と可能性 ,システム/制御/情報,51,464-472,2007
1274. 櫻井芳雄,脳の情報表現を見る (京都大学学術出版会刊) ,2008
1275. 櫻井芳雄・八木透・小池康晴・鈴木隆文,ブレイン-マシン・インタフェース最前線 (工業調査会刊) ,2007
1276. Hanakawa T,The role of the basal ganglia-thalamo-cortical circuits for controlling human gait: Neuroimaging Evidence,2nd Internatinal Symposium of Mobiligence,39-40,2007
1277. Iseki K, Hanakawa T, Shinozaki J, Nankaku M, Fukuyama H,Activation of bilateral premotor areas during both observation and imagery of gait movement ,2nd Internatinal Symposium of Mobiligence,145-148,2007
1278. Mikuni N, Okada T, Enatsu R, Miki Y, Hanakawa T, Urayama S, Kikuta K, Takahashi JA, Nozaki K, Fukuyama H, Hashimoto N,Clinical impact of integrated functional neuronavigation and subcortical electrical stimulation to preserve motor function during resection of brain tumors.,Journal of Neurosurgery,106,4,593-598,2007
1279. Lerner A, Bagic A, Boudreau EA, Hanakawa T, Pagan F, Mari Z, Bara-Jimenez W, Aksu M, Garraux G, Simmons JM, Sato S, Murphy DL, Hallett M.,Neuroimaging of neuronal circuits involved in tic generation in patients with Tourette syndrome.,Neurology,68,23,1979-1987,2007
1280. Shinozaki J, Hanakawa T, Fukuyama H.,Heterospecific and conspecific social cognition encoded in the anterior cingulate cortex.,Neuroreport,18,10,993-998,2007
1281. Fushimi Y, Miki Y, Urayama SI, Okada T, Mori N, Hanakawa T, Fukuyama H, Togashi K.,Gray matter-white matter contrast on spin-echo T1-weighted images at 3 T and 1.5 T: a quantitative comparison study.,European Radiology,17,11,2921-2925,2007
1282. Namiki C, Hirao K, Yamada M, Hanakawa T, Fukuyama H, Hayashi T, Murai T,Impaired facial emotion recognition and reduced amygdale volume in schizophrenia.,Psychiatry Research,156,1,23-32,2007
1283. Fushimi Y, Miki Y, Okada T, Yamamoto A, Mori N, Hanakawa T, Urayama SI, Aso T, Fukuyama H, Kikuta KI, Togashi K.,Fractional anisotropy and mean diffusivity: comparison between 3.0-T and 1.5-Tdiffusion tensor imaging with parallel imaging using histogram and region of interest analysis.,NMR in Biomedicine,20,8,743-748,2007
1284. Hanakawa T, Dimyan MA, Hallett M.,The representation of blinking movement in cingulate motor areas: a functional magnetic resonance imaging study.,Cerebral Cortex,in press,
1285. Aso T, Hanakawa T, Matsuo K, Toma K, Shibasaki H, Fukuyama H, Nakai T.,Subregions of human parietal cortex selectively encoding object orientation.,Neuroscience Letters,415,3,225-230,2007
1286. Sawamoto N, Honda M, Hanakawa T, Aso T, Inoue M, Toyoda H, Ishizu K, Fukuyama H, Shibasaki H. ,Role of the striatum in cognitive slowing in Parkinson's disease. ,Neurology,68,13,1062-1068,2007
1287. Yamada M, Namiki C, Hirao K, Hanakawa T, Fukuyama H, Hayashi T, Murai T,Social cognition and frontal lobe pathology in schizophrenia: A voxel-based morphometric study. ,Neuroimage,35,1,292-298,2007
1288. Abe M, Hanakawa T, Takayama Y, Kuroki C, Ogawa S, Fukuyama H,Functional coupling of human prefrontal and premotor areas during cognitive manipulation,Journal of Neuroscience,27,13,3429-3438,2007
1289. 井関一海、花川隆、冨本秀和、山内浩、南角学、福山秀直,Leukoariosis に伴う歩行障害：歩行分析及び負荷SPECTによる病態生理の解明,日本神経学会総会・抄録集,142,2007
1290. 加茂久樹、桐山佳久、伊東正孝、村瀬永子、立岡良久、高山吉弘、花川隆、梶龍児、西谷裕、秋口一郎、平澤泰介,コンピューターを用いた知覚障害の病巣推測支援,日本神経学会総会・抄録集,339,2007
1291. HanakawaT, Hosoda C, Shindo S, Honda M.,Mental rotation of hands and feet involves somatotopically organized brain regions,Neuroscience Research,58,suppl 1,S60,2007
1292. Shinozaki J, Sawamoto N, Murai T, Hanakawa T, Fukuyama H.,Neural basis of emotional facial recognition between parents and children,Neuroscience Research,58,suppl 1,S64,2007
1293. Ban H, Yamamoto H, Hanakawa T, Urayama SI, Aso T, Fukuyama H, Ejima Y,Spatial specificity of V1/V2 responses to an occluded surface,Neuroscience Research,58,suppl 1,S153,2007
1294. Yamamoto T, Takahashi S, Hanakawa T, Urayama SI, Aso T, Fukuyama H, Ejima Y,Different roles of the parietal and lateral occipito-temporal cortex for 3D perception from motion,Neuroscience Research,58,suppl 1,S214,2007
1295. Hanakawa T, Dimyan MA, Hallett M. Motor planning, imagery and execution: a time-course study with functional MRI. Cereb Cortex (in press)
1296. 三枝隆博、松本理器、澤本伸克、花川隆、三國信啓、高橋良輔、池田昭夫、福山秀直,部分てんかんにおける超高磁場磁気共鳴画像 (3テスラMRI) による局所病変の検索経験,てんかん研究,25,3,243,2007
1297. 井内盛遠、松本理器、澤本伸克、花川隆、浦山慎一、美馬達哉、三國信啓、穴見公隆、粟屋智就、加藤竹雄、高橋良輔、池田昭夫、福山秀直,頭皮上脳波・機能的MRIの同時計測によるてんかん性活動の局在 皮質脳波所見との比較,てんかん研究,25,3,341,2007
1298. 設楽仁、花川隆、森本雅子、本田学,fMRIと脳波・筋電図または経頭蓋磁気刺激・筋電図の同時計測に関する基礎的検討,臨床神経生理学,35,5,447-448,2007
1299. 花川隆、Mark Hallett,パーキンソン病の運動・認知速度低下の関係,Movement Disorder Society, Japan 学術集会・抄録集,62,2007
1300. 花川隆,道具としての脳計測技術：脳機能画像解析入門,計測と制御,46,10,790-795,2007
1301. 花川隆,歩行と大脳皮質基底核連関,ブレインメディカル,19,4,41-47,2007
1302. Matsuyama K, Ishiguro M, Aoki M.,Descending routes of locomotor driving signals involved in the generation of coordinated quadrupedal locomotion in decerebrate rabbits.,Abstract for 37th Annual Meeting of Society for Neuroscience,924.11,2007
1303. Matsuyama K, Kobayashi S, Ishiguro M, Aoki M.,Brainstem-spinal cord mechanisms involved in the generation of coordinated hopping locomotion in rabbits.,Proceedings of The 2nd International Symposium on Mobiligence,157-160,2007
1304. 松山清治, 石黒雅敬, 青木藩,ウサギ跳躍運動時の前肢-後肢協調運動の特徴とその脊髄制御機構,日本生理学雑誌,69,6,241,2007
1305. 松山清治, 石黒雅敬, 青木藩,除脳ウサギの四肢協調歩行誘発おける歩行駆動経路の部分的遮断の影響,日本生理学雑誌,69,11,339,2007
1306. Matsuyama K, Ishiguro M, Aoki M,Hindlimb locomotor pattern evoked by the midbrain stimulation in decerebrate, paralyzed rabbits,Neuroscience Research,58,Suppl,S92,2007
1307. Matsuyama K, Ishiguro M, Aoki M,Characteristics of interlimb coordination in quadrupedal locomotion of rabbits,Journal of Physiological Sciences ,57,Suppl,S158,2007
1308. Ishiguro M, Maeda Y, Matsuyama K,The relationship between electrical stimulus intensity and inhibitory postsynaptic currents in CA1 pyramidal cells and dentate gyrus granule cells of rat hippocampal slices,Journal of Physiological Sciences ,57,Suppl,S148,2007
1309. Fujito Y, Cao Y, Matsuyama K, Aoki M,Involvement of medullary GABAergic and serotonergic raphe neurons in respiratory control in rats,Journal of Physiological Sciences ,57,Suppl,S238,2007
1310. 松山清治,網様体脊髄路の構造と機能,第22回日本大脳基底核研究会抄録集,16-17,2007
1311. 松山清治,歩行と脳幹 ～脊髄系,Brain Medical 特集「歩行」,19,4,23-30,2007
1312. H. Sakamoto, I. Nouno, K. Sakakibara, M. Ito and I. Nishikawa,Prediction of Mucin-type O-glycosylation using Structure Information by Support Vector Machines,Proceedings of the 18th International Conference on Genome Informatics,55-56,2007
1313. Yang X.M., Chen Y.W., Ito M. and Nishikawa I.,Principal Component Analysis of O-linked Glycosylation Sites in Protein Sequence,Proceedings of the 3rd International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal,2007
1314. Nishikawa I., Sakamoto H., Nouno I., Sakakibara K. and Ito M.,Prediction of the O-Glycosylation with Secondary Structure Information by Support Vector Machines,Lecture Notes in Artificial Intelligence 4693,335-343,2007
1315. Chen Y. W., Yang X.M.,Ito M. and Nishikawa, I.,Pattern analysis and prediction of O-linked glycolsylated sites in protein by principal component subspace analysis,Lecture Notes in Artificial Intelligence 4693,326-334,2007
1316. Nishikawa I., Hayashi K. and Sakakibara K.,Complex-valued Neuron to Describe the Dynamics After Hopf Bifurcation: an Example of CPG Model for a Biped Locomotion,Proceedings of 2007 International Joint Conference on Neural Networks,#1097,2007
1317. Nishikawa and K. Sakakibara,A CPG Model for Multiped Gaits based on Phase Dynamics,Proceedings of the 2nd International Symposium on Mobiligence,137-140,2007
1318. Nishikawa I., Sakamoto H., Nouno I., Sakakibara K. and Ito M.,Prediction of Mutin-type O-glycosylation by Support Vector Machines,Proc. 2007 IEEE/ICME International Conference on Complex Medical Engineeting,1901-1905,2007
1319. Khoa N.L.D., Noishiki M., Sakakibara K., and Nishikawa I.,Stock Price Forecasting using Neural Networks with Inputs selected by Genetic Algorithm,Proceedings of the 5th International Conference on Research, Innovation and Vision for the Future, Addendum Contributions,95-100,2007
1320. Yasuaki Kuroe and Hajimu Kawakami,Vector Field Approximation by Model Inclusive Learning of Neural Networks,Lecture Notes in Computer Science, 4668,717-727,2007
1321. Yasuaki Kuroe and Yuriko Taniguchi,Models of Orthogonal Type Complex-Valued Dynamic Associative Memories and Their Performance Comparison,Lecture Notes in Computer Science, 4668,838-84,2007
1322. Yoshihiro Mori, Takashi Kadowaki, Yasuaki Kuroe and Takehiro Mori,A Synthesis Method of Gene Networks Based on Gene Expression by Network Learing -Realization of Separatrix,Proc. of SICE Annual Conference 2007,1951-1957,2007
1323. Hitoshi Iima and Yasuaki Kuroe,Swarm Reinforcement Learing Algorithms -Exchange of Information among Multiple Agents,Proc. of SICE Annual Conference 200,1951-1957,2007
1324. Yasuaki Kuroe and Yoshihiro Mori,Neural Network Models for Identification and Realization of a Class of Discrete Events Systems,Proc. of IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics,1363-1369,2007
1325. T. Nomura, T. Nakamura, K. Fukada, S. Sakoda,Characterizing postural sway during quiet stance based on the intermittent control hypothesis.,AIP Proceeding Series, Proceed. 19th Intl Conf on Noise and Fluctuations, Tokyo, sept 9-14, 2007,922,553-556,2007
1326. A. Bottaro, Y. Yasutake, T. Nomura, M. Casadio, P. Morasso,Bounded stability of the quiet standing posture:An intermittent control model,Human Movement Science,in press,2008
1327. 榊原一紀, 田雅杰, 西川郁子,トラックターミナルを利用したトラック配送計画に対する階層型アプローチの構成,第20回自律分散システム・シンポジウム資料,29-34,2008
1328. K. Sakakibara, H. Tamaki and I. Nishikawa,Autonomous Distributed Approaches for Pickup and Delivery Problems with Time Windows,Proceedings of SICE Annual Conference 2007,#3B15-2,2007
1329. 榊原一紀, 田雅杰, 西川郁子,中継センターを利用した多期間部品配送計画,スケジューリングシンポジウム資料,31-36,2007
1330. 林浩平, 榊原一紀, 西川郁子,複素ニューラルネットワークを用いた二足歩行CPGモデル,第51回システム制御情報学会研究発表講演会資料,#1W3-1,2007
1331. 能野育江, 坂本浩隆, 榊原一紀, 西川郁子, 伊藤將弘,タンパク質構造情報に着目した O-型糖鎖修飾部位の予測器の構築,第51回システム制御情報学会研究発表講演会資料,#5F4-3,2007
1332. 坂本浩隆, 能野育江, 榊原一紀, 入谷豪, 伊藤將弘, 西川郁子,SVMを用いたO-型糖鎖修飾部位の予測に対するアクセシビリティの有効性の検討,第51回システム制御情報学会研究発表講演会資料,#5F4-4,2007
1333. 榊原一紀, 野一色学, 玉置久, 西川郁子,配送計画問題に対する車両台数に着目した探索空間の分割と分散型擬似焼き鈍し法の構成,第51回システム制御情報学会研究発表講演会資料,#5T4-4,2007
1334. 倉崎靖士, 黒江康明, 飯間等,２ニューロンネットワークの平衡点の安定性と振動性の解析と実現 –ニューラルオシレータの実現に向けて,計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2007 講演論文集,85-90,2007
1335. 榊原 一紀, 野一色 学, 玉置 久, 西川 郁子,配送計画問題に対する解空間の分解に基づく分散型メタヒューリスティック解法,計測自動制御学会論文誌,44,2,2008
1336. Takei T, Seki K,Control of primate grasping movement by spinal cord,Proceedings of 2nd International symposium on Mobiligence. , , ,153-157,2007
1337. Takei T, Seki K,Spinomusclar coherence in monkeys performing a precision grip task,Journal of Neurophysiology (in press),2008
1338. Seki K, Kizuka T, Yamada H,Reduction in maximal firing rate of motoneurons after 1-week immobilization of finger muscle in human subjects.,Journal of Electromyography and Kinesiology.,17,2,113-120,2007
1339. Seki K, Takei T,Modulation of spinal unit resposes evoked from muscle afferents in a monkey performing an instructed delay task,Proceedings of the 30th annual meeting of the Japan neuroscience society,58,S1,S33,2007
1340. Takei T, Seki K,Spinomusclar coherence in monkeys performing a precision grip task,Proceedings of the 30th annual meeting of the Japan neuroscience society,58,S1,S151,2007
1341. 関和彦、武井智彦, 随意運動の制御における脊髄介在ニューロンの役割, 第54回中部日本生理学会大会予稿集,P34,2007
1342. Seki K, Takei T,Primary afferent depolarization evoked in monkey cervical spinal cord by natural tactile stimulation of cutaneous afferent,Proceedings of the 84th annual meeting of the physiological society of Japan,57,suppl,S68,2007
1343. 関 和彦,随意運動に伴う感覚ゲーティングの脊髄内機構,バイオメカニズム学会誌,31,4,187-190,2007
1344. 関 和彦,随意運動の制御におけるシナプス前抑制の役割,ブレインサイエンスレビュー2007,155-178 ,2007
1345. Miua T*,Molecular basis underlying Daphnia polyphenism,Daphnia Genome Consortium Meeting,2007
1346. Suehiro Y, Imada H, Okuyama T, Kubo T, and Takeuchi H*,Analysis of adaptive behaviors of small fishes by using combination of mathematical modeling and molecular biological approach,Proceeding of the Second International Symposium on Mobiligence,219-222,2007
1347. M. Ozaki and T. Nakamura,Roles of NO cascade and G proteins in transduction and adaptation of the sugar receptor cell in the blowfly, Phormia regina,SEB Annual General Meeting,2007
1348. M. Ozaki,Comparative study of nestmate recognition of ant species,International Congress of Comparative Physiology and Biochemistry,2007
1349. Hanai and M. Ozaki,Scale free dynamics in the locomotor activity of ant,International Congress of Comparative Physiology and Biochemistry,2007
1350. M. Ozaki,Chemical input and neuronal system for aggressiveness in a Japanese carpenter ant,4th Asian-Pacific Conference of Chemical Ecology,2007
1351. M. Kobayashi-Kidokoro, M. Iwakura, S. Dujiwara, S. Higashi and M. Ozaki,The nestmate recognition aggressiveness in unicolonial ant Formica yessensis.,4th Asian-Pacific Conference of Chemical Ecology,2007
1352. K. Ishiura, Y. Satoji, H. Aonuma and M. Ozaki,Morphological investigation of aggressive center in the antennal lobe of Camponotus japonicus,4th Asian-Pacific Conference of Chemical Ecology,2007
1353. K. Nishida, T. Maeda and M. Ozaki,Appetite change by odor experience in the blowfly, Phormia regina.,4th Asian-Pacific Conference of Chemical Ecology,2007
1354. H. Okamoto, A. Nishimura Masanobu Ito, Toshiyuki Takano and M. Ozaki,Study on appetite regulation mechanism in a novel Drosophila melanogaster mutant ,4th Asian-Pacific Conference of Chemical Ecology,2007
1355. M. Hojo, A. Wada-Katsumata, T. Akino, S. Yamaguchi, M. Ozaki and R. Yamaoka ,Intracolonial Chemical Mimicry in ant parasitic inquiline Niphanda fusca ,4th Asian-Pacific Conference of Chemical Ecology,2007

1356. A. Wada-Katsumata, M. Ozaki and R. Nishida,Female's specific gustatory perception of the nuptial gift in the german cockroach,4th Asian-Pacific Conference of Chemical Ecology,2007

1357. S. Yui, A. Wada-Katsumata, M. Ozaki, R. Kanzaki, S. Niki, N. Mori and R. Nishida ,Electrophysiological analysis of oviposition stimulants on tarsal chemosensilla in a citrus swallowtail Papilio xuthus,4th Asian-Pacific Conference of Chemical Ecology,2007

1358. Y. Murata, A. Wada-Katsumata, S. Matsumoto, M. Ozaki, and R. Nishida,Behavioral and electrophysiology analyses of larval feeding stimulants for a primitive swallowtail butterfly, Sericinus montela, in the host plant, Aristolochia debilis.,4th Asian-Pacific Conference of Chemical Ecology,2007

1359. M. Ozaki,Ant nestmate and non-nestmate discrimination by a novel contact chemosensory sensillum,5th International Symposium on Molecular and Neural Mechanism of Taste and Olfaction,2007

1360. Miura T*, Imai M,Predator-induced polyphenism in Daphnia pulex,Evolution2007,2007

1361. Miura T*, Comette R,Juvenile hormone action during soldier differentiation in the damp-wood termite,JH9,2007

1362. Koshikawa S*, Miura T,JHA-induced soldier differentiation and gene expression in the damp-wood termite, Hodotermopsis sjostedti,JH9,2007

1363. Miura T*,Molecular basis for social behavior and caste differentiation in termites,Neuro2007,2007

1364. Michiko Nishikawa, Hiroshi Nishino, Yuko Misaka, Maiko Kubita, Eriko Tsuji, Yuji Satoji, Mamiko Ozaki and Fumio Yokohari,Sexual dimorphism in the antennal lobe structure of the ant, Camponotus japonicus. ,Zool. Sci.,in press,2008

1365. Fabien Lacaille, Makoto Hiroi, Robert Twele, Tsuyoshi Inoshita, Daisuke Umemoto, Gerard Maniere, Frederic Marion-poll, Mamiko Ozaki, Wittko Franke, Matthew Cobb, Claude Zeveraerts, Teiichi Tanimura and Jean-Francois Ferveur ,An inhibitory sex pheromone tastes bitter for Drosophila males.,PLoS ONE,2,7,e661,2007

1366. Ishikawa Y, Koshikawa S, Miura T *,Differences in mechanosensory hairs among castes of the damp-wood termite Hodotermopsis sjostedti (Isoptera: Termitidae).,Sociobiology,50,3,895-907,2007

1367. Ishikawa A, Miura T *,Morphological differences between wing morphs of two Macrosiphini aphid species, Acyrthosiphon pisum and Megoura crassicauda (Hemiptera, Aphididae).,Sociobiology,50,3,881-893,2007

1368. Lo N*, Engel MS, Cameron S, Nalepa CA, Tokuda G, Grimaldi D, Kitade O, Krishna K, Klass K-D, Maekawa K, Miura T, Thompson GJ,Save Isoptera. A comment on Inward et al.,Biolgoy Lett,3,5,562-563,2007

1369. Comette R, Matsumoto T, Miura T*,Histological analysis on fat body development and molting events during soldier differentiation in the damp-wood termite Hodotermopsis sjostedti (Isoptera, Termopsidae). ,Zool Sci,24,11,1066-1074,2007

1370. Ikemoto Y*, Kawabata K, Miura T, Asama H ,Mathematical model of population ratio control and fluctuation characteristic in termite caste differentiation.,J Robotics Mechatronics,19,4,2007

1371. Brandl R*, Hyodo F, von Korff-Schmising M, Maekawa K, Miura T, Takematsu Y, Matsumoto T, Abe T, Bagine R, Kaib M,Divergence times in the termite genus Macrotermes (Isoptera: Termitidae).,Mol Phylogen Evol,45,239-250,2007

1372. Fujita A, Miura T*, Matsumoto T,Differences in cellulose digestive systems among castes in two termite lineages,Physiol Entomol,in press,2008

1373. Ishikawa A, Hongo S, Miura T*,Morphological and histological examination of polyphenic wing formation in the pea aphid Acyrthosiphon pisum (Hemiptera, Hexapoda),Zoomorphology,in press,2008

1374. 奥山輝大, 末廣勇司, 今田はるか, 島田敦子, 武田洋幸, 久保健雄, 竹内秀明*,小型魚類メダカを用いた配偶者選り抑神経基盤解析,第30回日本分子生物学会年会・第80回日本生化学会大会　合同大会,659,2007

1375. 渡邊 崇之, 竹内 秀明, 久保 健雄*,セイヨウミツバチ触覚に発現するエクダイソン受容体の同定と解析, 日本動物学会第78回大会,106,2007

1376. 金子 九美, 堀 沙耶香, 竹内 秀明, Paul Rajib Kumar, 藤幸 知子, 白井 健一, 若本 明子, 久保 健雄*, ミツバチ脳で視覚選択的に発現する遺伝子の解析,第30回日本分子生物学会年会・第80回日本生化学会大会,650,2007

1377. 三浦徹,社会性昆虫に見る自律分散制御機構,自律分散システム研究会,2007

1378. 三浦徹,シロアリの社会に見る個体間相互作用とカースト分化,創発システムシンポジウム,2007

1379. 三浦徹*・石川由希・Comette R・越川滋行,シロアリのカースト分化と社会行動の分子基盤,日本動物学会第78回大会,2007

1380. 石川麻乃*・三浦徹,アブラムシにおける「分散」と「繁殖」のトレードオフとその発生制御機構,日本動物学会第78回大会,2007

1381. 石川由希*・三浦徹,兵隊シロアリの社会行動をもたらす神経改変機構とは何か?,日本動物学会第78回大会,2007

1382. 越川滋行*・服部章子・三浦徹,オオシロアリのカースト調節に関わる候補遺伝子の解析,日本動物学会第78回大会,2007

1383. 今井真木*・三浦徹,ミジンコにおいて捕食者に誘導される表現型多型の発生制御機構,日本動物学会第78回大会,2007

1384. 石垣英彦*・三浦徹,オオミジンコDaphnia magnaにおいて幼若ホルモン類似体に誘導される雄産生の分子機構,日本動物学会第78回大会,2007

1385. 後藤寛貴*・三浦徹,オオシロアリHodotermopsis sjostedtiへのPrecocene処理がJH titerに及ぼす影響,日本動物学会第78回大会,2007

1386. 尾崎まみこ,化学センサーの不感症化と仲間識別機構,昆虫ミメティクスとナノマテリアルシンポジウム,2007

1387. 尾崎まみこ,アリの巣仲間識別の神経基盤,日本動物学会ニューロエソロジーシンポジウム,2007

1388. 越川滋行・三浦徹*,シロアリのカースト分化と遺伝子発現の解析　～ソシオゲノミクス～,日本農薬学会誌,57,82-88,2007

1389. 三浦徹*,昆虫の社会行動の分子基盤　,遺伝,61,90-95,2007

1390. 池本有助・三浦徹・澁間一,社会的適応行動とカースト機能のモデル化と工学応用–シロアリの形態形成とコロニー形成を対象として–,計測と制御,46,12,910-915,2007

1391. 澁間一・神崎亮平・青沼仁志・三浦徹・倉林大輔・太田順座談会 : 生物の社会適応機能とその工学的応用, 計測と制御,46,12,951-957,2007

1392. 尾崎まみこ　石浦健太郎,昆虫のセンサー : 化学シグナルを介した社会行動制御　特集　感覚センサー : 生物が外界環境を感じる能力を探る,細胞工学　閏秀社　東京,26,894-897,2007

1393. 尾崎まみこ, 西田健,アリの嗅覚・新たな側面—社会性をもたらすケミカル識別に関して,バイオメカニズム学会誌,31,3,119-122,2007

1394. 尾崎まみこ, 尾崎浩一,特集　硬水性物質を運ぶ昆虫の蛋白質,蛋白質核酸酵素　共立出版　東京,153 ,2 ,2008

1395. 尾崎まみこ, 山岡亮平,昆虫のケミカルコミュニケーションの生物学—社会的適応行動の発現機構 ,計測自動制御学会「計測と制御」, 4 6 ,12,2007

1396. 中村雅, 尾崎まみこ,化学感覚　,シリーズ21 世紀の動物科学「動物感覚とリズム」培風館, 東京　,2007

1397. M. Ozaki and T. Nakamura ,Chemosensory regulation of feeding in the blowfly: Several studies after The Hungry Fly.,Taste, Elsevier,24,11, in press,2008

1398. Hideaki Takeuchi,Establishment of behavior assays using adult Medaka fish ,The 54th NIBB Conference New Frontiers for the Medaka Model Genome, Bioresources and Biology,in press,2007

1399. Hori S, Takeuchi H*, and Kubo T,Associative learning and discrimination of motion cues in the harnessed honeybee Apis mellifera L.,J. Comp.Physiol. A,193,825-833,2007

1400. 末廣勇司、今田はるか、堀川一樹、島田敦子、成瀬清、武田洋幸、久保健雄、竹内秀明*,小型魚類の視運動反応の数理解析とその神経基盤の解明,日本動物学会第78回大会,49 ,2007

1401. 奥山輝大, 末廣勇司, 今田はるか, 島田敦子, 武田洋幸, 久保健雄, 竹内秀明*,小型魚類メダカを用いた配偶者選り抑神経基盤解析,日本動物学会第78回大会,49,2007

1402. 末廣勇司、今田はるか、堀川一樹、島田敦子、成瀬清、武田洋幸、久保健雄、竹内秀明*,分子生物学的手法と数理モデルを併用した小型魚類の視運動反応の解析,第30回日本分子生物学会年会・第80回日本生化学会大会　合同大会,660,2007

1403. 多田野 寛人, 山崎 百合香, 竹内 秀明, 久保 健雄*,ミツバチ脳でカースト・分業依存に発現する新規遺伝子の同定と解析,日本動物学会第78回大会,68,2007

1404. 上野 貴之, 中岡 貴義, 竹内 秀明, 久保 健雄 *,ミツバチ働き蜂の分業に伴う下咽頭腺の構造・機能変化に関わる遺伝子候補の同定,日本動物学会第78回大会,76,2007

1405. 金子 九美, 堀 沙耶香, 竹内 秀明, Paul Rajib Kumar, 藤幸 知子, 白井 健一, 若本 明子, 久保 健雄*, ミツバチ脳で視覚選択的に発現する遺伝子の解析,日本動物学会第78回大会,68,2007

1406. 渡邊 崇之, 竹内 秀明, 久保 健雄*,セイヨウミツバチ触覚に発現するエクダイソン受容体の同定と解析, 第30回日本分子生物学会年会・第80回日本生化学会大会　合同大会,393,2007

1407. 中岡 貴義, 竹内 秀明*, 久保 健雄*,セイヨウミツバチの蜕皮ホルモン処理における働き蜂の生理状態の解析,第30回日本分子生物学会年会・第80回日本生化学会大会　合同大会,659,2007

1408. 上野 貴之, 中岡 貴義, 竹内 秀明, 久保 健雄*,ミツバチ働き蜂の分業に伴う下咽頭腺の構造・機能変化に関わる遺伝子候補の同定,第30回日本分子生物学会年会・第80回日本生化学会大会　合同大会,422,2007

1409. 竹内秀明*、末廣勇司、今田はるか、奥山輝大、久保健雄,小型魚類の適応的行動（視運動反応、群れ行動）の脳情報処理原理とその神経・分子的基盤の解明を目指して,計測と制御,46,16,922-927,2007

1410. Hidetoshi Ikeno, Noriko Sasayama, Ryuichi Okada, Etsuro Ito,Behavioral analysis of honeybee waggle dance and its effect on foraging.,2nd International Symposium on Mobiligence in Awaji,223-226,2007

1411. Hidetoshi Ikeno, Ryohei Kanzaki, Hitoshi Aonuma, Masakazu Takahata, Makoto Mizunami, Koji Yasuyama, Nobuyuki Matsui, Fumio Yokohari, Shiro Usui,Development of Inverterate Brain Platform: Management of research resources for invertebrate neuroscience and neuroethology,14th International Conference on Neural Information Processing,2007

1412. Ryuichi Okada, Hidetoshi Ikeno, Noriko Sasayama, Hitoshi Aonuma, Daisuke Kurabayashi, Etsuro Ito,The dance of the honeybee: how do honeybees dnace to transfer food information effectively?,Acta Biologica Hungarica,in press,2008

1413. Hidetoshi Ikeno, Takuto Nishioka, Takuya Hachida, Ryohei Kanzaki, Youichi Seki, Izumi Ohzawa, Shiro Usui,Development and application of CMS-based database modules for neuroinformatics,Neurocomputing,70,2122-2128,2007

1414. Hidetoshi Ikeno, Ryohei Kanzaki, Youichi Seki, Tomoki Kazawa, Teijiro Isokawa, Nobuyuki Matsui,Chapter 9 - Web Based Resource Management and Its Application in the Laboratory,Neurocomputing Research Developments (Editors: Hugo A. Svensson),223-239,2008

1415. 岡田龍一, 池野英利, 青沼仁志, 倉林大輔, 伊藤克朗,社会的適応行動から学ぶ情報共有システムの構築 – ミツバチの８の字ダンスを対象として,計測と制御,46,12,916-921,2007

1416. Tadahiro Taniguchi, Kenji Ogawa, and Tetsuo Sawaragi,Implicit estimation of other's intention without direct observation of actions in a collaborative task: Situation-Sensitive Reinforcement Learning,SICE Annual Conference 2007, in CD-ROM,2007

1417. Tadahiro Taniguchi, Tetsuo Sawaragi,Dynamic Process of a User's Development of Multiple Internal Models of Automation Behavior Including Mode Transitions, 2nd International Symposium on Mobiligence in Awaji ,in CD-ROM,2007

1418. Tadahiro Taniguchi, Tetsuo Sawaragi,ncremental Acquisition of Behaviors and Signs based on Reinforcement Learning Schema Model and STDP,Advanced Robotics,21,10,1177-1199,2007

1419. Tadahiro Taniguchi, Tetsuo Sawaragi,Incremental acquisition of multiple nonlinear forward models based on differentiation process of schema model,Neural Networks　(in press),

1420. 谷口忠大, 小川賢治, 田中勇作, 橋本哲夫,人間機械系における記号創発 ～記号過程の構成論的理解に向けて～,計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会 2007,199-204,2007

1421. 谷口忠大, 田中勇作, 堀口由貴男, 橋本哲夫,運転時のモード遷移事象を含む複数内部モデルの獲得過程, ヒューマンインタフェースシンポジウム2007,in CD-ROM,2007

1422. 谷口忠大, 橋本哲夫,シェマモデルに基づく複数非線形内部モデルの獲得と評価,第23回ファジィシステムシンポジウム,in CD-ROM ,2007

1423. 田中勇作, 谷口忠大, 堀口由貴男, 中西弘明, 橋本哲夫,自動化機械に対するユーザの複数内部モデル構成過程,第19回自律分散システム・シンポジウム資料,97-102,2007

1424. 田中勇作, 谷口忠大, 堀口由貴男, 中西弘明, 橋本哲夫,多モード自動化機械に対するユーザの複数内部モデルの動的構成過程に関する研究,第34回知能システムシンポジウム資料,307-312,2007

1425. 田中勇作, 谷口忠大, 堀口由貴男, 橋本哲夫,運転時のモード遷移事象を含む複数内部モデルの獲得過程,ヒューマンインタフェースシンポジウム2007 論文集,189-194,2007

1426. 谷口忠大, 小川賢治, 田中勇作, 橋本哲夫,人間機械系における記号創発　～記号過程の構成論的理解に向けて～,SICE システム・情報部門学術講演会 2007 講演論文集,199-204,2007

1427. 田渕一真, 谷口忠大, 堀口由貴男, 中西弘明, 橋本哲夫,緩やかに結合された組織内の冗長形成に基づくマルチエージェント強化学習,第20回自律分散システム・シンポジウム資料,23-28,2008

1428. 堀口由貴男, 木村隆志, 岩田卓也, 橋本哲夫, 中西弘明,運転操作支援のための可聴化技術利用に関する検討,SICE システム・情報部門学術講演会 2007 講演論文集,445-446,2007

1429. 谷口忠大, 橋本哲夫, 堀口由貴男,他者理解の記号過程と自動化に求められる社会知,計測と制御,46,12,945-950,2007

1430. 橋本哲夫システムと人 : 信頼性とヒューマンマシンシステム,計測と制御,46,4,298-304,2007

1431. Yukio Horiguchi, Ryuichi Fukuju and Tetsuo Sawaragi,Differentiation of Input-Output Relations to Facilitate User's Correct Awareness of Operating Mode of Automated Control System,Proc. of 2007 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics,2570-2575,2007

1432. Kazuki Tsuji, Hisashi Ohtsuki,Reproductive allocation conflict causes worker policing in hymenopteran societies,XV IUSSI Congress Proceedings,131,2006

1433. Sugawara,Collective Motions and Formations of Multi-robots Based on Simple Dynamics,Proc.of 2007 IEEE/ICME Int. Conf. on Complex Medical Engineering,2007

1434. Sugawara,Proportion Regulation in Division of Labor for Multi-agent System,Proc. of 2nd Int. Symp on Mobiligence,199-202,2007

1435. Y. Hayashi, K. Sugawara, T. Uchikawa, Y. Hayakawa, T. Kikuchi, K. Tsuji,Analysis and Modeling of Ants' Behavior from Single to Multi-body,Proc. of 13th Int. Symp. on Artificial Life and Robotics,2008

1436. Nakamaru, M., Beppu, Y., Tsuji, K.,Does disturbance favor dispersal? An analysis of ant migration using the colony-based lattice model,Journal of Theoretical Biology ,248,2,288-300,2007

1437. Le Breton, J. Takaku, G., Tsuji., K,Brood parasitism in an invasive population of the pest ant Pheidole megacephala.,Insectes Sociaux,53,2,168-171,2006

1438. Kikuchi, T., Tsuji, K., Ohnishi, H., Le Breton, J.,Caste-biased acceptance of non-nestmates in a polygynous ponerine ant,Animal Behaviour,73,4,559-565,2007

1439. Tomonori Kikuchi, T, Miuazaki, S., Tsuji, K., Ohnishi, S., Takahashi, J., Nakajima, Y. ,Small queens and big headed workers in a monomorphic ponerine ant,Naturwissenschaften,in press,2008

1440. 辻　和希,米国におけるヒアリの被害と防除,平成19年度第1回RIS フォーラム「忍び寄る外来生物の脅威」講演要旨集,2,2007

1441. 内川哲哉, 菅原研, 菊地友則, 辻和希, 早川美徳蟻の行動の時系列解析とモデリング,日本物理学会 2007年春季大会予稿集,20PSA-20,2007

1442. 菅原 研, 木村 友徳,化学コミュニケーションによる群ロボットの協調作業,第１７回インテリジェント・システム・シンポジウム講演論文集,203-206,2007

1443. 菊地友則、中川敬之、辻和希,アリは如何にしてコロニーの大きさを認識するのか,第55回　日本生態学会福岡大会要旨集,2008

1444. 下地博之, Alexandra SEBASTIEN、佐々木智基、辻和希, トゲオオハリアリにおける産卵後ワーカーポリシング,第55回　日本生態学会福岡大会要旨集,2008

1445. 儀間期宣、辻和希,ウスキシロチョウにおける翅型決定要因と密度効果,第55回　日本生態学会福岡大会要旨集,2008

1446. 辻　和希,外来アリはなぜ侵略的となるのか?,第55回　日本生態学会福岡大会要旨集,2008

1447. 菊地友則、中川敬之、辻和希,アリは如何にしてコロニーの大きさを認識するのか,第52回日本応用動物昆虫学会講演要旨集　,2008

1448. 下地博之, Alexandra SEBASTIEN、佐々木智基、辻和希, トゲオオハリアリにおける産卵後ワーカーポリシング,第52回日本応用動物昆虫学会講演要旨集　,2008

1449. 儀間期宣、辻和希, ウスキシロチョウにおける翅型決定要因と密度効果,第52回日本応用動物昆虫学会講演要旨集　,2008

1450. 林正幸、佐々木智基、辻和希,キイロヒメアリ女王による栄養卵産,第52回日本応用動物昆虫学会講演要旨集　,2008

1451. 灯野俊貴、辻和希,シロオビアゲハにおけるベイツ型擬態の進化と性淘汰のコスト,第52回日本応用動物昆虫学会講演要旨集　,2008

1452. 佐々木智基、辻和希,キイロヒメアリにおける完全産雌単為生殖–低分散・局所適応仮説–,第52回日本応用動物昆虫学会講演要旨集　,2008

1453. Hayashi, R., Tsuji, K. ,Spatial distribution of turtle barnacles on the green sea turtle, Chelonia mydas. Ecological Research ,Ecological Research ,23,1,123-125,2008

1454. 菅原　研、辻　和希,社会的適応行動から学ぶ群ロボット–アリのコロニー形成と維持を対象として,計測と制御,46,12,298-933,2007

1455. 菅原、畑,インタラクティブな「群れ」シミュレータ,第２０回自律分散システム・シンポジウム資料,217-220,2008

1456. 菅原研、早川美徳,化学コミュニケーションに基づいた群ロボットの協調行動,計測自動制御学会 東北支部第240回研究集会,240-242,2008

1457. 畑、菅原、,インタラクティブな群れシミュレータの試作,情報処理学会 東北支部 平成19年度 第5回研究会,B-3-1,2008

1458. 結城、林、菅原,社会性昆虫の行動解析とモデル化　～トゲオオハリアリの集団における,情報処理学会 東北支部 平成19年度 第5回研究会,B-3-2,2008

1459. Suwabe, M., Ohnishi, H., Kikuchi, T., Tsuji, K.,Nestmate discrimination in the queenless ponerine ant Diacamma sp. from Japan.,Entomological Science,10,1,7—10,2007

1460. A. Fujimura, K. Hotta and K. Oka,Visualization of neuronal activity patterns in female of zebra finches for discrimination of song birds.,移動性国際シンポジウム in 淡路,2007

1461. A. Fujimura, H. Ogawa, K. Hotta and K. Oka,Analysis of Arc mRNA expression in female zebra finch brain for song discrimination,Society for Neuroscience 2007 (San Diego, USA),Poster:646.5/KKK10, 2007

1462. 藤井彬, 堀田耕司、岡崎太郎,メスキンカチョウ聴覚野における最初期遺伝子 Arc の発現パターン,Neuro 2007 (横浜) ,P1-f07,2007

1463. 岡　浩太郎,キンカチョウ音声識別の生物学–社会適応行動の獲得機構–,計測と制御,46,12,893-897,2008

1464. *Hidehiko Takahashi, Motoichiro Kato, Mika Hayashi, Yoshiro Okubo, Akihiro Takano, Hiroshi Ito, Tetsuya Suhara,Memory and frontal lobe functions; possible relations with dopamine D2 receptors in the hippocampus,Neuroimage,34,1643-1649,2007

1465. *Tatsuro Oda, Kuniaki Tsuchiya, Tetsuaki Arai, Takashi Togo, Hirotake Uchikado, Rohan de Silva, Andrew Lees, Haruhiko Akiyama, Chie Haga, Kenji Ikeda, Motoichiro Kato, Yuji Kato, Tsunekatsu Hara, Mitsumoto Onaya, Koji Hori, Hiroshi Teramoto, Itaru Tominaga,Pick's disease with Pick bodies: An unusual autopsy　case showing degeneration of the pontine nucleus,　dentate nucleus, Clarke's column, and lowermotor neuron,Neuropathology,27,81-89,2007

1466. *Yoshiyuki Shibukawa, Tatsuya Ishikawa, Yutaka Kato, Zhen-Kang Zhang, Ting Jiang, Masuro Shintani, Masaki Shimono, Toshifumi Kumai, Takashi Suzuki, Motoichiro Kato, Yoshio Nakamura,Cerebral Cortical Dysfunction in Patients with Temporomandibular Disorders in Association with Jaw Movement Observation,Pain,128,180-188,2007

1467. *Toshiyuki Kunihara, Motoichiro Kato,Accessibility and utilization of mental health care in Bali,Psychiatry and Clinical Neurosciences,61,205,2007

1468. Yoko Tanaka, *Motoichiro Kato, Taro Muramatsu, Fumie Saito, Seiji Sato, Haruo Shintaku, Yoshiyuki Okano, Hiroshi Kondo, Tatsushi Nukazawa,Early initiation of l-dopa therapy enables stable development of executive function in tetrahydrobiopterin deficiency,Developmental Medicine and Child Neurology,49,372-376,2007

1469. *Yutaka Kato, Taro Muramatsu, Motoichiro Kato, Masuro Shintani, Haruo Kashima,Activation of right insular cortex during imaginary speech articulation,Neuroreport,18,5,505-509,2007

1470. Mihoko Otake, Kohei Arai, Motoichiro Kato, Takaki Maeda, Yusuke Ikemoto, Kuniaki Kawabata, ToshihisaTakagi and Hajime Asama,Experimental analysis of the attribution of own actions to the intention of self or others by the multiple forward models. ,Journal of Robotics and Mechatronics,19,4,482-488,2007

1471. Yoshihide Akine, *Motoichiro Kato, Taro Muramatsu, Satoshi Umeda, Masaru Mimura, Yoshiyuki Asai, Shuji Tanada, Takayuki Obata, Hiroo Ikehira, Haruo Kashima, Tetsuya Suhara,Altered brain activation by a false recognition task in young abstinent alcoholic patients.,Alcoholism: Clinical and Experimental Research ,31,9,1589-1597,2007

1472. *Ryoko Nakachi, Taro Muramatsu, Motoichiro Kato, Tomoko Akiyama, Fumie Saito, Fumihiro Yoshino, Masaru Mimura, Haruo Kashima,Progressive prosopagnosia at a very early stage of frontotemporal lobar degeneration,Psychogeriatrics ,7,155-162,2007

1473. *Tomoko Akiyama, Motoichiro Kato, Taro Muramatsu, Satoshi Umeda, Fumie Saito, Haruo Kashima,Unilateral amygdala lesions hamper attentional orienting triggered by gaze direction,Cerebral Cortex ,17,2593-2600,2007

1474. Yasushi Moriyma, Taro Muramatsu, Motoichiro Kato, Masaru Mimura, Tomoko Akiyama, Haruo Kashima,Fr_goli syndrome accompanied with prosopagnosia in a woman with a 40-year history of schizophrenia.,The Keio Journal of Medicine,56,130-134,2007

1475. *Tomoko Akiyama, Motoichiro Kato, Taro Muramatsu, Takaki Maeda, Tsunekatsu Hara, Haruo Kashima,Gaze-triggered orienting is reduced in chronic schizophrenia,Psychiatry Research (in press),

1476. *Hidehiko Takahashi, Masato Matsuura, Michihiko Koeda, Noriaki Yahata, Tetsuya Suhara, Motoichiro Kato, Yoshiro Okubo,Brain activations during judgments of positive self-conscious emotion and positive basic emotion: pride and joy,Cerebral Cortex (in press),

1477. *Hidehiko Takahashi, Yota Fujimura, Mika Hayashi, Harumasa Takano, Motoichiro Kato, Hiroshi Ito, Tetsuya Suhara,Enhanced dopamine release by nicotine in cigarette smokers: a double-blind randomized, placebo-controlled pilot study,The International Journal of Neuropsychopharmacology (in press),

1478. *Mihoko Otake, Kohei Arai, Motoichiro Kato, Takaki Maeda, Yusuke Ikemoto, Kuniaki Kawabata, ToshihisaTakagi and Hajime Asama,Experimental analysis of the attribution of own actions to the intention of self or others by the multiple forward models,Journal of Robotics and Mechatronics,19,4,482-488,2007

1479. *Yasushi Moriyma, Taro Muramatsu, Motoichiro Kato, Masaru Mimura, Tomoko Akiyama, Haruo Kashima,Fr_goli syndrome accompanied with prosopagnosia in a woman with a 40-year history of schizophrenia,The Keio Journal of Medicine (in press),56,130-134,2007

1480. *Ryosuke Arakawa, Hiroshi Ito, Akihiro Takano, Hidehiko Takahashi, Takuya Morimoto, Takeshi Sassa, Katsuya Ohta, Motoichiro Kato, Yoshiro Okubo, Tetsuya Suhara,Striatal and extrastriatal dopamine D2 receptor occupancy by paliperidone ER,Journal of Clinical Psychopharmacology (in press),

1481. ＊Hidehiko Takahashi, Tomohisa Shibuya, Motoichiro Kato, Masato Matsuura, Michihiko Koeda, Noriaki Yahata, Tetsuya Suhara, Yoshiro Okubo,Enhanced activation in the extrastriate body area by goal-directed actions.,Psychiatry and Clinical Neurosciences (in press),

1482. Hidehiko Takahashi, Motoichiro Kato, Masato Matsuura, Michihiko Koeda, Noriaki Yahata, Tetsuya Suhara, Yoshiro Okubo,Neural correlates of human virtue judgment.,Cerebral Cortex (in press),

1483. Mika Hayashi, Motoichiro Kato, Kazue Igarashi, Haruo Kashima,Superior fluid intelligence in children with Asperger’s disorder.,Brain and Cognition (in press),

1484. Susumu Higuchi, Takefumi Yuzuriha, Yoshiro Kochi, Sachio Matsushita, Tomohiro Miyakawa, Motoichiro Kato and Hiroshi Suwaki, Clinical characteristics and treatment outcome of inpatients with alcohol dependence: results from a nationwide survey of specialized treatment hospitals,World Psychiatry Association International Congress,2007

1485. Mika Hayashi, Teruo Hashimoto, Motoichiro Kato, Satoshi Umeda, Masaru Mimura, Seiji Ogawa,Top-down Processing in Face Perception Detected by Seeing-as-face Task in fMRI Study,International Neuropsychological Society, 2007 Joint Mid-Year Meeting,2007

1486. Hidehiko Takahashi, Takashi Ideno, Shigetaka Okubo, Hiroshi Matsui, Kazuhisa Takemura, Eisuke Matsushima, Masato Matsuura, Motoichiro Kato, Kunihiko Asai, Yoshiro Okubo,THE IMPACT OF CHANGING THE TERM FOR SCHIZOPHRENIA ON THE IMPLICIT ATTITUDE AMONG THE GENERAL PUBLIC IN JAPAN.,World Psychiatry Association International Congress,2007

1487. Mihoko Otake, Kohei Arai, Motoichiro Kato, Takaki Maeda, Yusuke Ikemoto, Kuniaki Kawabata, Toshihisa Takagi and Hajime Asama,Experimental Analysis and Computational Simulation of the Attribution of Own Actions by the Multiple Forward Models. ,ROBIO 2007, IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics,2007

1488. Toshiyuki Kurihara、Motoichiro Kato,Delays in seeking psychiatric care among patients with schizophrenia in Bali,Health Knowledge, Attitudes and Practices, eds by , Nova Biomedical Books, Nova Science Publishers,Inc, New York, 2007（in press）,2007

1489. 大武美保子, 新井航平, 前田貴記, 加藤元一郎, 高木利久, 淺間一;統合失調症における意志作用感のモデリングとシミュレーション,電子情報通信学会 ニューロコンピューティング研究会,2007

1490. 高橋英彦, 松浦雅人, 加藤元一郎, 須原哲也, 伊藤浩, 大久保善朗,誇りとうれしさに関する脳活動,第9回日本ヒト脳機能マッピング学会,2007

1491. 須貝昇司, 秋根良英, 柳下祥, 渡部喬光, 高橋英彦, 伊藤浩, 安東潔, 池平博夫, 加藤元一郎, 関原謙介, 菅野巖, 須原哲也, 桔梗英幸,陽性、中性、陰性の表情を呈する顔写真の繰り返し負荷に対する脳の反応：事象関連機能的MＲＩによる探索,第9回日本ヒト脳機能マッピング学会,2007

1492. 船山 道隆、加藤 元一郎、村松太郎、三村 將,Forced Gaze following がみられた両側前頭葉損傷の２例,第31回日本神経心理学会総会,2007

1493. 竹内愛、松島英介、加藤元一郎、織田健司、林美香、泉山肇、土井賢、村田雄二、平田結喜緒,２型糖尿病患者における神経心理学的プロフィール,第31回日本神経心理学会総会,2007

1494. 福永篤志、加藤元一郎、林 海香、堀口 崇、佐々木 光、戸田正博、矢崎貴仁、浅田英穂、菅 貞郎、井上 洋、吉田一成、大谷光弘、服部光弘、水上公宏、河瀬 斌,脳ドックにおける高次脳機能検査の有用性,第31回日本神経心理学会総会,2007

1495. 前田貴士、村松太郎、加藤元一郎、鹿島晴雄,統合失調症の基本障害について,日本精神病・精神療法学会第３０回大会,2007

1496. 加藤 元一郎、田渕 肇,成人トゥレット症候群における認知障害、脳機能画像、強迫症状に関する研究,第１４回トゥレット研究会,2007

1497. 船山 道隆、加藤 元一郎,変性疾患に出現した異食症,第31回日本高次脳機能障害学会総会,2007

1498. 吉岡 文、三村 將、穴水 幸子、加藤 元一郎、植村 研一,前交通動脈瘤術後に、強迫笑いを呈した前脳基底部健忘の一例,第31回日本高次脳機能障害学会総会,2007

1499. 仲地 良子、加藤 元一郎、秋山 知子、村松 太郎、鹿島 晴雄,慢性期統合失調症患者における顔認知障害と視線認知障害の検討,第31回日本高次脳機能障害学会総会,2007

1500. 寺澤 悠理、梅田 聡、黒崎 芳子、村上 健一、宮原 保之、加藤 元一郎、鹿島 晴雄,前頭葉損傷が他者の心的状態の理解に及ぼす影響 －自律神経反応を用いた検討－,第31回日本高次脳機能障害学会総会,2007

1501. 船山 道隆、稲葉 貴恵、加藤 元一郎、中川 良尚、越部 裕子、北條 具仁、大住 みお、加形 宏子,左前頭葉内側の梗塞にて吃様症状を呈した１例,第31回日本高次脳機能障害学会総会,2007

1502. 新井航平, 大武美保子, 川端邦明, 池本有助, 前田貴記, 加藤元一郎, 淺間一,行為の自他帰属性の解明へのフォワードモデルからのアプローチ,計測自動制御学会 第１９回自律分散システムシンポジウム,2007

1503. 加藤元一郎,健康・医療・介護2025年の日本を話し合うワークショップ,2007

1504. 加藤元一郎,視線と表情認知の社会認知神経科学,第３回けいはんな社会的知能発生学研究会公開シンポジウム,2007

1505. 加藤元一郎,精神神経科領域における認知症の診療―MＣＩ、うつ病との関連,第15回関東 PET・SPECT 研究会,2007

1506. 加藤元一郎,高次脳機能障害の診断−特に軽症例を中心に−, 第６回リハビリテーション心理職研修会, ,2007

1507. 加藤元一郎,認知心理学の可能性−精神神経医学の立場から,日本認知心理学会第５回大会,2007

1508. 加藤元一郎,軽度発達障害の認知障害と臨床−アスペルガー障害を中心にして,山梨精神医学研究会,2007

1509. 加藤元一郎,老年期痴呆の初期のおける神経心理学的障害について,第21回老年期痴呆研究会,2007

1510. 加藤元一郎,視線、表情、意図に関する社会認知神経科学−神経心理学的観点から,第１０回認知神経心理学研究会,2007

1511. 加藤元一郎,前頭葉機能障害の診かた,第31回日本神経心理学会総会,2007

1512. 加藤元一郎,アスペルガー症候群の認知障害、脳画像所見、および臨床症状の特徴について,日本精神病理・精神療法学会 第３０回大会,2007

1513. 加藤元一郎,高次脳機能障害の評価,北海道医療大学「言語聴覚療法セミナー」,2007

1514. 加藤元一郎,記憶とその病態について,第31回日本高次脳機能障害学会総会,2007

1515. 加藤元一郎,局在性脳損傷および統合失調症における他者の視線・意図認知障害,第１２回日本神経精神医学会,2007

1516. 加藤元一郎, 大武美保子, 新井航平, 前田貴記, 池本有助, 川端邦明, 高木利久, 淺間一;他者の視線・意図理解および行為における意志作用感の神経機構に関する検討−社会的認知が可能なロボットの設計をめざして,計測と制御 ,46,940-944,2007

1517. 雨宮美穂子、長塚紀子、原惠子、加藤元一郎,高機能自閉症者の単語理解における心像性効果,コミュニケーション障害学,24,3,173-180,2007

1518. 船山道隆, 加藤元一郎,アルコール関連障害,脳神経系、最新精神医学,12,1,13-21,2007

1519. 船山道隆、加藤元一郎、田淵肇,失語で発症し、ほぼ完全に回復した非ヘルペス性亜急性脳炎の１例,脳と神経,59,983-989,2007

1520. 船山道隆、濱田秀伯、加藤元一郎、前田貴記、水野雅文,右側頭・頭頂葉出血後、嫉妬妄想が出現した一例,精神医学,49,4,369-376,2007

1521. 加藤元一郎,アルコール依存症,今日の治療指針2007, ,690-691,2007

1522. 穴水幸子, 加藤元一郎,高次脳機能障害とは,地域リハビリテーション,2,12-16,2007

1523. 加藤元一郎, 野崎昭子,アスペルガー症候群と統合失調症の脳画像所見と認知障害の差異について,精神神経学雑誌,109,50-54,2007

1524. 加藤元一郎, 前田貴記, 林海香, 大武美保子;他者理解と適応的運動の社会神経科学的メカニズムの解明−特に他者の視線の理解について,平成18年度研究成果報告書「身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現―移動知の構成論的理解」,129-132,2007

1525. 加藤元一郎, 橋本照男, 林海香, 梅田聡, 成烈完, 小川誠二,顔検出過程(face detection)の神経基盤に関する functional MRI 研究,小川脳機能研究所年報 Annual Report 2007,10-11,2007

1526. Satoshi Umeda, Chihiro Kuroki, Motoichiro Kato, Seiji Ogawa,Neural Substrates of Advanced Emotion Learning,小川脳機能研究所年報 Annual Report 2007,6-9,2007

1527. 高畑圭輔, 加藤元一郎,サバン症候群,分子精神医学,7,268-272,2007

1528. 加藤元一郎, 野崎昭子,アスペルガー障害の脳血流画像所見と認知障害の特徴について,児童青年精神医学とその近接領域,48,4,475-479,2007

1529. 小林伸久、加藤元一郎、ヘイフト典子;精神神経疾患の転帰はニューロイメージングによって予測可能か？,Barin and Nerve,59,10,1203-1210,2007

1530. 幸地芳朗、福島春子、洲脇寛、加藤元一郎、松下幸生、宮川朋大、杠岳文、樋口進,我が国におけるアルコール依存症の病態と治療の現状−全治療施設・悉皆調査の結果より−,精神神経学雑誌,109,541-546,2007

1531. 杠岳文、樋口進、洲脇寛、加藤元一郎、幸地芳朗、松下幸生、宮川朋大,アルコール依存症の薬物治療,精神神経学雑誌,109,547-550,2007

1532. 前田貴記、加藤元一郎、鹿島晴雄,統合失調症の自我障害の神経心理学的研究（sense of agency について）―自我障害から発症機構を考える―,脳と精神の医学,18,205-209,2007

1533. 雨宮美穂子, 長塚紀子, 原惠子, 加藤元一郎,高機能自閉症者の単語理解における心像性効果,コミュニケーション障害学 (in press),24,3,173-180,2007

1534. 森山泰、加藤元一郎,アルコールと加齢,臨床精神医学,36,10,1263-1270,2007

1535. 秋山知子、加藤元一郎、村松太郎、鹿島晴雄,視線処理における側頭葉・扁桃体の役割と統合失調症,臨床精神医学,36,939-945,2007

1536. 秋山知子、加藤元一郎、村松太郎、斉藤文恵、仲地良子、鹿島晴雄,上側頭回損傷例および扁桃体損傷例の社会的認知障害,神経心理学,23,260-267,2007

1537. 加藤元一郎, 大武美保子, 新井航平, 前田貴記, 池本有助, 川端邦明, 高木利久, 淺間一;他者の視線・意図理解および行為における意志作用感の神経機構に関する検討−社会的認知が可能なロボットの設計をめざして,計測と制御,46,12,940-944,2007

1538. 加藤元一郎,ＦＨＲＤＣ(Family History _ Research Diagnostic Criteria),KEY WORD 精神 第４版、樋口輝彦ら編集、先端医学社,14-15,2007

1539. Yoshi Tamori, Noriyuki Tomita,Implicit activities in auditory magnetoencephalograpy (MEG) ,Quantum Mind 2007,107-108,2007

1540. K. Sasaki,Reorganization of the central nervous system responding to changes in social environment in insects,ESB Special Seminar,2,2007

1541. K. Sasaki and K. Harano,Potential effects of tyramine on the transition of reproductive workers in honeybees (Apis mellifera L.),Physiological Entomology,32,194-198,2007

1542. K. Harano, M. Sasaki and K. Sasaki,Effects of reproductive state on rhythmicity, locomotor activity and body weight in European honeybee, Apis mellifera (Apidae: Hymenoptera) queens,Sociobiology,49,189-200,2007

1543. K. Sasaki, K. Yamasaki and T. Nagao,Neuro-endocrine correlates of ovarian development and egg-laying behaviors in the primitively eusocial wasp (Polistes chinensis),Journal of Insect Physiology,53,940-949,2007

1544. K. Sasaki and T. Nagao, Reorganization of the central nervous systems in response to changes of social environment in insects,Journal of Robotics and Mechatronics,19,369-373,2007

1545. T. Miyatake, K. Tabuchi, K. Sasaki, K. Okada, Y. Nishi, K. Katayama and S. Moriya,Pleiotropic anti-predator strategies, fleeing and feigning death, correlated with dopamine levels in Tribolium castaneum,Animal Behaviour,75,113-121,2007

1546. Yoshi Tamori, Noriyuki Tomita,Effect of implicit response in Auditory MEG measurement,Neuro2007,151,2007

1547. 冨田教幸, 田森佳秀,環境の複雑さを考慮した移動ロボット間通信を含んだ行動獲得,第２２回日本生体磁気学会大会論文集,20,1,228-229,2007

1548. 佐々木謙, 吉田祐太郎, 荒屋賢治, 朝岡潔,カイコの形態形成突然変異系統における神経系の再構成と配偶行動の異常,第51回日本応用動物昆虫学会大会講演要旨集,110,2007

1549. 佐々木謙, 原野健一, 長尾隆司,セイヨウミツバチにおける脳内ドーパミンのカースト差,第29回日本比較生理生化学会大会講演要旨集,23,2007

1550. 原野健一, 佐々木謙, 長尾隆司, 佐々木正己,ミツバチ繁殖虫における脳内ドーパミンと繁殖行動の関係,第26回動物行動学会大会講演要旨集,2007

1551. 佐々木謙, 原野健一, 長尾隆司,セイヨウミツバチにおける脳内ドーパミン量のカースト差とその由来,第52回日本応用動物昆虫学会大会講演要旨集,2008

1552. 原野健一, 佐々木謙, 長尾隆司, 佐々木正己,ミツバチオス蜂における脳内ドーパミン、幼若ホルモンと繁殖の関係,第52回日本応用動物昆虫学会大会講演要旨集,2008

1553. 橋本絢乃, 佐藤俊幸, 佐々木謙,チクシトゲアリ多雌創設巣における女王間の餌交換行動,第52回日本応用動物昆虫学会大会講演要旨集,2008

1554. 深野祐也, 渡辺賢太, 小澤岳, 佐々木謙, 小原嘉明,モンシロチョウの交尾拒否を引き起こす生体アミン,第52回日本応用動物昆虫学会大会講演要旨集,2008

1555. 松浦幹人, 高嶋香子, 佐藤俊幸, 佐々木謙,アリの細胞質内在性２本鎖RNAの増幅要因及び宿主の行動傾向,第52回日本応用動物昆虫学会大会講演要旨集,2008

1556. 青沼仁志, 長尾隆司, 太田順, 川端邦明, 浅間一;社会的適応行動の動的モデリングと工学的応用 ―コオロギの喧嘩行動を対象として―,計測と制御,46,12,903-909,2007

1557. Nagasaka Y., Hihara S., Iriki A. and Fujii N.,Social context modulates motion-related neurons in primate parietal cortex,Society for Neuroscience,748.6,2007

1558. Fujii N., Hihara S. and Iriki A,Actor and action recognition in premotor and parietal cortex,Society for Neuroscience,558.12,2007

1559. Fujii N,Revealing adaptive social brain functions in primates,2nd International Symposium on Mobiligence in Awaji,2007

1560. Fujii N., Hihara S., Iriki A,Dynamic Social Adaptation of Motion Related Neurons in Primate Parietal Cortex,PLoS ONE,25,e397,2007

1561. Fujii N., Hihara S., Iriki A,Social cognition in premotor and parietal cortex,Social Neuroscience,in press,2007

1562. Fujii N., Abla D., Kudo N., Hihara S., Okanoya K. and Iriki A,Prefrontal activity during incense discrimination,Neuroscience Research,59,3,257-264,2007

1563. Takenaka K. Nagasaka Y., Hihara S., Nakahara H. Iriki A. Kuniyoshi Y. Fujii N.,Linear discrimination analysis of monkey’s behavior in alternative free choice task ,Journal of Robotics and Mechatronics,19,4,416-422,2007

1564. Fujii, N,Revealing adaptive social brain functions in primates,日本神経科学会 Neuro2007,2007

1565. 藤井 直敬,Living in Reality: Social Neurophysiology,日本進化学会 第９回大会,2007

1566. 藤井 直敬,Revealing adaptive social brain functions in primates,日本動物心理学会 第67回大会,2007

1567. 藤井 直敬,Living in Reality: Social Neurophysiology,日本視覚学会 夏季大会,2007

1568. 藤井 直敬,Social Neurophysiology: a science of relationships,社会的知能発生学研究会,2007

1569. 藤井 直敬,サルの社会形成の生物学−社会的適応行動と脳機能,計測と制御,898-902,2007

1570. 藤井 直敬,Social Context Dependent Modulation in Primate Parietal Cortex,Vision,19,3,143 −146,2007

1571. D. Ito, H. Adaniya, M. Nagayama, T. Uchida, and K. Gohara,Long-term measurement for spatiotemporal dynamics of cultured neural networks,37th Annual Meeting of the society for Neuroscience Abs.(Neuroscience 2007), San Diego, USA,36.22,2007

1572. M. Uchida, Y. Maehara and H. Shioya,Design of an Unsupervised Weight Parameter Estimation Method in Ensemble Learning,14th International Conference on Neural Information Processing(ICONIP 2007) ,253,2007

1573. M. Nagayama, T. Uchida, and K. Gohara,Temporal and Spatial variations of Lipid Droplets during Adipocyte Division and Differentiation,J. Lipid Res.,48,1,9-18,2007

1574. J. Motomura, T. Uchida, M. Nagayama, K. Gohara, T. Taira, K. Shimizu and M. Sakai,Effects of additives and cooling rates on cryo-preservation process of rat cortical cells,Physics and Chemsitry of Ice (ed. by W.F. Kuhs), Royal Soc. Chemistry,409-416,2007

1575. 郷原一寿,複雑系からみた人体,第46回日本生体医工学会大会、”生体医工学における統合医療”シンポジウム,248,2007

1576. 内田真人, 前原洋祐, 塩谷浩之 ,教師なしアンサンブル学習に関する検討 ～ 集合知の情報論的モデル化～,電子情報通信学会 ニューロコンピューティング研究会 技術研究報告,107,413,25-30,2008

1577. 山口 晃昌, 北越 大輔, 塩谷 浩之,分布クラスタリングを用いた強化学習エージェントの方策改善に関する一検討,第40回計測自動制御学会北海道支部学術講演会論文集,87-88,2008

1578. M. Shimizu, K. Gohara, and A. Ishiguro,Adaptive Amoeboid Locomotion Induced from Embodied Coupled Oscillators,Proc. of the 2nd International Symposium on Mobiligence ,271-274,2007

1579. 塩谷浩之, 北越大輔, 内田真人,指数混合による情報表現,電気学会 産業応用部門 一般産業研究会 研究会資料,1-4,2007

1580. 前原 洋祐, 内田 真人, 塩谷 浩之 ,指数型混合モデルに基づくアンサンブル学習に関する一検討, ,平成１９年度 電気・情報関係学会北海道支部連合大会,303,2007

1581. 塩谷浩之, 郷原一寿 ,情報論的手法による回折イメージング,電子情報通信学会 ニューロコンピューティング研究会 技術研究報告,107,413,13-18,2008

1582. *畠山元彦、津田一郎,Internal logic viewed from observation space: Theory and a case study, DOI: 10.1016/j.biosystems.2006.09.031,BioSystems,90,1,273-286,2007

1583. *Kazuhiro Matsumoto, Ichiro Tsuda and Yuki Hosoi,Controlling Engine System: a Low-Dimensional Dynamics in a Spark Ignition Engine of Motorcycle ,Z. Naturforsch A,62a,587-595,2007

1584. *I.Tsuda and H. Fujii,Chaos Reality in the Brain,J. of Integrative Neuroscience, 6 (2007),6,309-326,2007

1585. *Y. Fukushima, M. Tsukada, I. Tsuda, Y. Yamaguti and S. Kuroda,Spatial clustering property and its self-similarity in membrane potentials of hippocampal CA1 pyramidal neurons for a spatio-temporal input sequence. ,Cogn. Neurodyn. ,1,305-316,2007

1586. 伊藤孝男、*津田一郎,フィードバック回路を持つネット枠における入力シグナルの伝播と保持,物性研究,87,4,598-599,2007

1587. *津田一郎,カオス３−力学系入門,シュプリンガー東京,1-209,2007

1588. Takaaki Aoki , Kaiichiro Ota , Koji Kurata , Toshio Aoyagi,Ordering Process of Self-Organizing Maps Improved by Asymmetric Neighborhood Function,Proceedings of ICONIP 2007,in press

1589. Takaaki Aoki, Toshio Aoyagi,ynchrony-Induced switching behavior of attractors in neural network organized by spike-timing dependent plasticity,Proceedings of 2nd International Symposium on Mobiligence in Awaji,283-286,2007

1590. *Takaaki Aoki,Toshio Aoyagi,A cooperative dynamics of network of neural oscillators between the neuronal activity and the synaptic weight,Neuroscience Research,58,S112,2007
1591. *Takaaki Aoki, Toshio aoyagi,Synchrony-induced switching behavior of spike-pattern attractors created by spike-timing dependent plasticity,Neural Computation,19,10,2720-2738,2007
1592. *Takaaki Aoki, Toshio aoyagi,Self-Organizing maps with Asymmetric Neighborhood function,Neural Computation,19,8,2525-2535,2007
1593. *Takashi Takekawa, Toshio Aoyagi, Tomoki Fukai,Synchronous and asynchronous bursting states: role of intrinsic neural dynamics,Journal of Computational Neuroscience,23,2,189-200,2007
1594. *Takuma Tanaka, Toshio Aoyagi,Weighted scale-free networks with variable power-law exponents,Physica D,in press
1595. *Takuma Tanaka, Fumino Fujiyama, Masaki Nomura, Toshio Aoyagi, Takeshi Kaneko,Presynaptic AMPA receptors on the corticostriatal terminals enhance the release probability of the synaptic vesicles,Neuroscience Research,58,S211,2007
1596. *Yoshiyuki Kubota, Fuyuki Karube, Masaki Nomura, Toshio Aoyagi, Atsushi Mochizuki, Yasuo Kawaguchi,Dendritic dimensions of cortical nonpyramidal cells,Neuroscience Research,58,S73,2007
1597. *Masaki Nomura, Yoshio Sakurai, Toshio Aoyagi,Behavioral inference based on hippocampal multi-neuronal activities of rats,Neuroscience Research,58,S160,2007
1598. *Toshio Aoyagi, Yoshihiro Yoshii, Yukito Iba,Tsuyoshi Chawanya,Optimal weighted networks of phase oscillators maximizing frequency and phase orders,STATPHYS 23, the 23rd International Conference on Statistical Physics of the International Union for Pure and Applied Physics (IUPAP),225,2007
1599. *Masaki Nomura, Yoshio Sakurai, Toshio Aoyagi,Analysis of multi-neuronal activities by means of a kernel method,Journal of Robotics and Mechatronics,19,4,364-368,2007
1600. *Takaaki Aoki, Toshio Aoyagi,Synchrony-induced attractor transition in cortical neural networks organized by spike-timing dependent plasticity,Journal of Robotics and Mechatronics,19,4,409-415,2007
1601. 野林慎樹, 櫻井芳雄, 青柳富誌生, 文字列カーネルを応用した多次元時系列データ解析,Proceedings The Tenth Workshop on Information-Based Induction Sciences, IBIS2007,109-114,2007
1602. *青柳富誌生、深井朋樹,細胞集団の同期,数理科学事典（丸善）,5 章,2 節,印刷中
1603. *青柳富誌生、深井朋樹,神経細胞の数理モデル,数理科学事典（丸善）,5 章,1 節,印刷中
1604. *青柳富誌生,リズム活動と位相応答,神経ダイナミクスと情報表現（東大出版）,4 章,印刷中
1605. Y. Taniai, J. Nishii,Optimality of reaching movements based on energetic cost under the influence of signal-dependent noise,Lecture notes in computer science, Springer-Verlag,in press
1606. Y. Taniai, J. Nishii,Optimality of reaching movements based on energetic cost under the influence of signal-dependent noise,Abstract of the 14th International Conference on Neural Information Processing,226,2007
1607. J. Nishii,Basic strategy for the selection of locomotor patterns and movement trajectories in living bodies,Proceeding of the 2nd International Symposium on Mobiligence,56-59,2007
1608. Y. Hashizume, J. Nishii,Emergence of altruistic behavior with common words through natural selection,Proceeding of the 2nd International Symposium on Mobiligence,287-290,2007
1609. A. Fujii, H. Suenaga, Y. Taniai, J. Nishii,Optimality of leg swing trajectories during walking based on metabolic cost,Proceeding of the 2nd International Symposium on Mobiligence,291-294,2007
1610. Y.Miyazaki, H. Maeda, T. Hioki, J. Nishii,A hierarchical learning control model of locomotor patterns of legged animals,Proceeding of the 2nd International Symposium on Mobiligence,295-298,2007
1611. J. Nishii, T. Hioki,Basic concepts of the control and learning mechanism of locomotion by the central pattern generator,Bioinspiration and Robotics: Walking and Climbing Robots,247-260,2007
1612. 松野 善幸, 石田 怜, 大脇 大, 西井 淳, 石黒 章夫,適応的運動のための筋肉群の時空間協起方策,第 20 回自律分散システム・シンポジウム資料,273-278,2008
1613. 橋爪 善光, 西井 淳,自然淘汰における利他的行動の発現,第 20 回自律分散システム・シンポジウム資料,1-4,2008
1614. 大須賀 公一, 西井 淳, 石黒 章夫, 鄭心知,移動知構築の階層構造に関する一考察,第 25 回日本ロボット学会学術講演会予稿集 CD-ROM, 1F11,2007
1615. 西井 淳,生物の歩行パターンの移動速度に応じた遷移,山口大学研究推進体「相転移の物理学」第一回公開研究会,11,2007
1616. 谷合 由章, 西井 淳,生体ノイズの影響下におけるリーチング運動の消費エネルギーに基づく最適性,電子情報通信学会論文集,J90-D,12,3257-3264,2007
1617. Takamatsu, A. and Gomi, T.,2/3-allimetric scaling law in a tw-dimmensional organism,European Conference on Complex Systems '07, Dresden,2007
1618. Yuki Kagawa, Masateru Ito and Atsuko Takamatsu,Synchronization in two-dimentional organism modeled with coupled maps on weighted trees,European Conference on Complex Systems '07, Dresden,2007
1619. Takamatsu, A. ,Mobiligence in an amoeboid cell, plasmodium of Physarum polycephalum,Proceedings in 2nd International Symposium on Mobiligence in Awaji,48-51,2007
1620. Takamatsu, A., Ito, M and Kagawa, Y.,Network geometry analysis in plasmodial slime mold,Proceedings in 2nd International Symposium on Mobiligence in Awaji,275-278,2007
1621. 加川 友己, 伊藤 昌明, 高松 敦子,真正粘菌変形体における環境依存の輸送管ネットワークトポロジー解析,第20 回自律分散システム・シンポジウム資料,337-342,2008
1622. 加川 友己, 伊藤 昌明, 高松 敦子,重み付き２次元ネットワーク上の結合力学系における協同現象 ～真正粘菌変形体の適応行動発現の解明にむけて ,第~20 回自律分散システム・シンポジウム資料,353-358 ,2008
1623. 時枝真, 高松敦子,二次元生物真正粘菌変形体におけるアロメトリックスケール則,日本生物物理学会 第45回年回, 予稿集,s94,2007
1624. 伊藤昌明, 高松敦子,真正粘菌変形体の成長に伴って形成する輸送管ネットワークの解析,日本物理学会第62回年次大会,2007
1625. 加川 友己, 伊藤 昌明, 高松 敦子,重み付き２次元ネットワーク上の結合写像系における同期 ,日本物理学会第62 回年次大会,2007
1626. 高松敦子,生物の形と機能,真正粘菌変形体ネットワークの時空間構造から学ぶ,表面科学, 日本表面科学会誌,28,11,653-658,2007

● 2008 年度

1627. 高橋 光, 郷古 学, 伊藤 宏司, 運動想起フィードバック訓練による事象関連脱同期(ERD)出現の検証, システム制御情報学会論文集, 22, 5, in printing, 2009,
1628. 登美 直樹, 郷古 学, 近藤 敏之, 伊藤 宏司, 力場環境下における内部モデルの不完全性とインピーダンス制御による補完, 計測自動制御学会論文集, 44, 11, 896-904, 2008
1629. 高橋 光, 郷古 学, 伊藤 宏司, 機能的電気刺激(FES)による脚運動時における事象関連非同期(ERD)への影響, 計測自動制御学会論文集, 44, 9, 699-704, 2008
1630. 櫻田 武, 五味 裕章, 伊藤 宏司, 体性感覚情報は左右指協調運動に影響を与える, 電子情報通信学会論文誌 D, J91-D, 9, 2382-2393, 2008
1631. 郷古 学, 伊藤 宏司, 環境変化の予測情報を利用するモジュール切り替え型行動生成モデル, 電子情報通信学会論文誌 D, 91-D, 3, 813-822, 2008
1632. 中原 裕之, 大脳基底核の計算モデル : 報酬の予測と獲得のための強化学習, 分子精神医学, 8, 4, 307-313, 2008
1633. 中原 裕之, 自分で自分に報酬を与える, 日経ビジネス Associe, 2008
1634. Plessy, C., Fagiolini, M., Wagatsuma, A., Harasawa, N., Kuji, T., Asaka-Obam, A., Kanzaki, Y., Fujishima, S., Waki, K., Nakahara, H., Hensch, T. K., & Caminci, P., A Resource for Transcriptomic Analysis in the Mouse Brain, PLoS ONE, 3, 8, 2008
1635. Nakahara, H., Shimono, M., Uchida, G.& Tanifuji, M., Stimulus-induved pairwise interaction can be revealed by information geometric approach, Springer Lecture Notes, in press, 2008
1636. Bissmark, F., Nakahara, H., Doya, K., & Hikosaka, O., Combining modalities with different latencies for optimal motor control, Journal of Cognitive Neuroscience, 20, 11, 1966-1979, 2008
1637. Santos, G. S., Nagasaka, Y., Takenaka, K., Iriki, A., Fujii, N., & Nakahara, H., Social modulation of the prefrontal cortex, parietal cortex, and caudate activity for reward-oriented behavior, Neuroscience Meeting Planner. Society for Neuroscience, Online., Program No. 93.11.TT40, 2008
1638. Takeshi Sakurada, Hiroaki Gomi, Koji Ito, Extrinsic reference frame during bilateral finger coordination, Neuroscience 2008, 2008
1639. Manabu Gouko, Koji Ito, Action generation model for multiple tasks based on the ecological approach, Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems (SASO2008), 457-458, 2008
1640. Naoki Tomi, Manabu Gouko, Koji Ito, Inaccuracy of internal models in force fields and complementary use of impedance control, Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2008), 393-398, 2008
1641. Naoki Tomi, Manabu Gouko, Koji Ito, Impedance control complements incomplete internal models under complex external dynamics, Proceedings of The 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2008), 5354-5357, 2008
1642. Mitsuru Takahashi, Manabu Gouko, Koji Ito, Electroencephalogram (EEG) and Functional Electrical Stimulation (FES) System for Rehabilitation of Stroke Patients, Proceedings of The 21th IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS 2008), 53-58, 2008
1643. Kaveri, S, R., Nakahara, H., Uncertainty and discounting of rewards for dopamine activity by dissociating internal and physical times, Neuroscience Meeting Planner. Society for Neuroscience, Online., Program No. 98.2.UU32., 2008
1644. Santos, G. S., Nagasaka, Y., Takenaka, K., Iriki, A., Fujii, N., & Nakahara, H., Social Reward-Oriented Behavior in the PFC, CN, and Parietal Cortex, The 31st Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society (Neuroscience 2008), P2-r07, 2008
1645. Kaveri, S, R., Nakahara, H., Timing in Temporal Difference Models of Dopamine, The 31st Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society (Neuroscience 2008), P3-q12, 2008
1646. Nakahara, H., Analyzing neural dynamics by considering higher-order interaction and, also, the effect of time on reward prediction, EPSRC Workshop on Computational Neuroscience, 2008
1647. Nakahara, H., Effects of internal time and context representation on dopamine activity and value-based decision making, Open Problems in Neuroscience of Decision Making, 2008
1648. Nakahara, H., Computational modeling of Basal Ganglia, The 3rd APCTP-KAIST Summer School for Brain Dynamics, 2008
1649. 中原 裕之, 脳の数理 : 情動・学習・意思決定, ヒューマンフォーラム 2008, 2008
1650. 登美直樹, 郷古 学, 伊藤宏司, 力場環境下における内部モデルとインピーダンス制御の協調機構, 第 21 回自律分散システム・シンポジウム講演論文集, 299-304, 2009
1651. 郷古 学, 伊藤 宏司, センサ情報の変化量を利用した移動ロボットによる環境識別, 第21回自律分散システム・シンポジウム講演論文集, 69-74, 2009
1652. 櫻田 武, 五味 裕章, 伊藤 宏司, 内部・外部座標系に基づく両側協調運動の相互作用と安定性, 脳と心のメカニズム 第9回 冬のワークショップ, 2009
1653. 郷古 学, 伊藤宏司, センサ情報の変化に基づく環境のモデル化と識別, 第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 3I3-2, 2008
1654. 井領駿子, 郷古 学, 伊藤 宏司, 表面筋電を用いた前腕義手の複合動作識別, 第 29 会バイオメカニズム学術講演会予稿集, 109-110, 2008
1655. 伊藤 宏司, 移動知 : 適応的運動機能の発現とバイオメカニズム（特別講演）, 第 29 会バイオメカニズム学術講演会予稿集, 1-6, 2008
1656. 櫻田 武, 五味 裕章, 伊藤 宏司, 視覚フィードバック・姿勢により規定された協調運動を組み立てる座標系, 第23回生体・生理工学シンポジウム, 2008
1657. 高橋 光, 郷古 学, 伊藤 宏司, 機能的電気刺激(FES)による感覚情報の事象関連非同期(ERD)への影響, 電子情報通信学会技術研究報告, NC2008-33, 7-12, 2008
1658. 櫻田 武, 五味 裕章, 伊藤 宏司, 両指反復運動中の視覚と体性感覚フィードバックが対側へ与える影響, Neuro 2008, 2008
1659. 郷古 学, 伊藤宏司, 知覚パターンの変化に基づく逐次学習型行動生成モデル, 第 22 回人工知能学会全国大会, 3J2-03(DVD), 2008
1660. 伊藤宏司, 動的環境に対する予測適応と内部モデル（招待講演）, 第５２回システム制御情報学会研究発表講演会(SCI'08) 論文集 , 2008
1661. 郷古 学, 伊藤宏司, 状態パターンの変化に基づく行動生成モデルと逐次学習, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008(ROBOMEC2008), 2P2-G12(DVD), 2008
1662. 櫻田 武, 五味 裕章, 伊藤 宏司, 左右指運動中における体性感覚情報の役割と腕姿勢に依存した運動の協調性, 第２回 Motor Control 研究会, 2008
1663. 登美直樹, 郷古 学, 伊藤宏司, 力場環境下における内部モデルの不完全性とインピーダンス制御による適応, 第２回 Motor Control 研究会, 2008
1664. Toshiyuki Kondo, Daisuke Hirakawa, Takayuki Nozawa,Sustainability and Predictability in a Lasting Human-Agent Interaction, Proc. of the Eight International Conference on Intelligent Virtual Agents (IVA08), 505-506, 2008
1665. Takayuki Nozawa, Toshiyuki Kondo, Information-theoretic characterization of relative and fluctuating system-environment distinction, Proc. of Artificial Life XI, 791, 2008
1666. Toshiyuki Kondo, Yuya Kobayashi, Takayuki Nozawa, Effect of Successive Experiences on Simultaneous Learning of Conflicting Visuomotor Rotations, IROS2008 Full Day Workshop, 2008
1667. Toshiyuki Kondo, Osamu Amagi, Takayuki Nozawa, Proposal of Anticipatory Pattern Recognition for EMG Prosthetic Hand Control, Proc. of the 2008 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 2008), 897-902, 2008
1668. 小林裕也, 近藤敏之, 野澤孝之, 相反する回転変換の同時学習における試行の連続性の効果, 第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2008), 5-6, 2008
1669. Yuki Orii, Takayuki Nozawa, Toshiyuki Kondo, Web-based Intelligent Photo Browser for Flood of Personal Digital Photographs, Proc. of International Workshop on Web Intelligence (IWI08), 127-130, 2008
1670. 近藤敏之, 平川大介, 野澤孝之, 内発的動機づけを持続させる HAI システム, 人工知能学会第 22 回全国大会(JSAI2008), 1D24, 2008
1671. 阿部敬明, 野澤孝之, 近藤敏之, 筋電信号を利用した運動技能獲得支援システムの提案, 第 14 回創発システム・シンポジウム, 115-118, 2008
1672. 天城統, 野澤孝之, 近藤敏之, 筋電義手のための状態予測型パターン識別法に関する研究, 第 14 回創発システム・シンポジウム, 119-120, 2008
1673. 阿部敬明, 野澤孝之, 近藤敏之, 筋電信号を利用した運動技能獲得支援システムの提案, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2008, 909-914, 2008
1674. 米田宏之, 野澤孝之, 近藤敏之, バイオフィードバックを利用したエンターテインメントシ ステムに関する研究, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2008, 87-92, 2008
1675. 松島俊也, ヒヨコの経済学 : 意思決定の神経生態学, 財団法人国際高等研究所 報告書#0802『ダイナミックスからみた生命的システムの進化と意義』(研究代表者 : 津田一郎) , 227-233, 2008
1676. Matsushima, T., Kawamori, A., and Bem-Sojka T., Neuro-economics in chicks: foraging choices based on delay, cost and risk, Brain Research Bulletin, 76, 245-252, 2008
1677. Yamaguchi, S., Fujii-Taira, I., Katagiri, S., Izawa, E.-I., Fujimoto, Y., Takeuchi, H., Takano, T., Matsushima, T., and Homma, K.J., Gene expression profile in cerebrum in the filial imprinting of domestic chicks (Gallus gallus domesticus), Brain Research Bulletin, 76, 275-281, 2008
1678. Yamaguchi, S., Fujii-Taira, I., Murakami, A., Hirose, N., Aoki, N., Izawa, E.-I., Fujimoto, Y., Takano, T., Matsushima, T., and Homma, K.J., Upregulation of microtubule-associated protein 2 accompanied by the filial imprinting of domestic chicks (Gallus gallus domesticus), Brain Research Bulletin, 76, 282-288, 2008
1679. Kawamori A, Matsushima T, Distinct patterns of risk sensitivity for amount and delay in foraging choices of week-old domestic chicks., Animal Cognition (in revision), 2009
1680. Matsushima T, Ecology meets neuroscience: neural mechanisms of profitability-based choices in the domestic chicks, International symposium on Evolutionary studies in behavioral neuroscience, June 26, 2008, Hayama, Japan, 2008
1681. Matsushima T, Ecology meets neuroscience: rationality of profitability-based choices in the domestic chicks, (invited seminar at the Department of Psychology), September 19, 2008, University of Otago, Dunedin, New Zealand, 2008
1682. Amita H, Matsunami S, Matsushima T, Impulsive choice in chicks: effects of competitive foraging and SSRI (fluvoxamine), The 31th Japan Neuroscience Meeting (Neuro2008), July 9-11, Tokyo, Japan, 2008
1683. Matsunami S, Amita H, Matsushima T, SSRI (fluvoxamine) elongates food-patch residence time in chicks, The 31th Japan Neuroscience Meeting (Neuro2008), July 9-11, Tokyo, Japan, 2008
1684. Kawamori A, Matsushima T, Risk-sensitive choice in chick, The 31th Japan Neuroscience Meeting (Neuro2008), July 9-11, Tokyo, Japan, 2008
1685. 松浪圭平, 松島俊也, 最適パッチ利用とセロトニン, 日本比較生理生化学会第 30 回大会 (7 月 19-21 日), 北海道大学, 札幌, 2008
1686. 網田英敏, 松島俊也, 競争解離は衝動性を亢進する, 日本比較生理生化学会第 30 回大会 (7 月 19-21 日), 北海道大学, 札幌, 2008
1687. 川端愛, 松島俊也, 餌の量と近さは等価ではない, 日本比較生理生化学会第30 回大会 (7 月 19-21 日), 北海道大学, 札幌, 2008
1688. 松島俊也, 衝動性を統制するもの : 利潤率原則の合理性とその限界, 特定領域「移動知」AD 合同班会議 (7 月 23 日), 北海道大学, 札幌 , 2008
1689. 松浪圭平, 松島俊也, 最適パッチ利用とセロトニン系, 日本動物学会第 54 回北海道支部大会 (8 月 9 日), 北海道大学, 札幌 , 2008
1690. 網田英敏, 松島俊也, 競争解離は衝動性を亢進する, 日本動物学会第 54 回北海道支部大会 (8 月 9 日), 北海道大学, 札幌 , 2008
1691. 川端愛, 松島俊也, リスク感受性選択 : 階層ベイズモデルに基づく行動解析, 日本動物学会第 54 回北海道支部大会 (8 月 9 日), 北海道大学, 札幌 , 2008
1692. 網田英敏, 松島俊也, 競争解離は衝動性を亢進する, 日本動物行動学会第 27 回大会 (9 月 24-26 日), 金沢大学, 金沢 , 2008
1693. 川端愛, 松島俊也, ニワトリ雛のリスク感受性選択 : 階層ベイズモデルを用いた解析, 日本動物行動学会第 27 回大会 (9 月 24-26 日), 金沢大学, 金沢 , 2008
1694. 網田英敏, 松島俊也, 競争解離は衝動性を亢進する, 特定領域 A 班会議 (11 月 7 日), 一ツ橋学術総合センター, 東京, 2008
1695. 川端愛, 松島俊也, リスク感受性選択 : 階層ベイズモデルを用いた解析, 特定領域A 班会議 (11 月 7 日), 一ツ橋学術総合センター, 東京, 2008
1696. 小池康晴, 視覚と触覚の感覚統合, The Journal of Vision Society of Japan, 21, 1, 13-17, 2009
1697. Toshihiro KAWASE, Kazuo KURASHIGE, Masato WATANABE, Hiroyuki KAMBARA, Yasuharu, KOIKE, Controller of Ultrasonic Motor for Rehabilitation Robot, ISEK2008, CD-ROM, 2008
1698. 小池康晴, 筋電信号から見た運動制御の方策, 第 11 回認知神経心理学会研究会, 2008
1699. 川鍋朗弘, 倉茂和雄, 渡邉将人, 神原裕行, 小池康晴, 関節の平衡を考慮したパワーアシストシステムの提案と試作, 日本神経回路学会第 18 回全国大会, CD-ROM, 2008
1700. 大石圭一, 川鍋朗弘, 神原 裕行, 小池 康晴, 視覚と触覚による早期時刻予測, 第23 回生体・生理工学シンポジウム, 109-112, 2008
1701. 渡邉将人, 神原裕行, 山本悠裕, 中小路 久美代, 小池康晴, 筋電信号から推定した力を入力とするインタフェースに関する研究―人の力制御の性能に関する解析と筋電インタフェースキャリブレーションへの応用, 第23 回生体・生理工学シンポジウム, 179-182, 2008
1702. T. Ogawa, H. Komatsu, Condition-dependent and condition-independent target selection in macaque posterior parietal cortex, Journal of Neurophysiology, 2, in press, 2009
1703. 千歳雄大, 小川 正, 視覚探索における feature map 間の競合過程, 電子情報通信学会技術研究報告（ニューロコンピューティング, NC）, 108, 130, 1-6, 2008

1704. 高地康弘, 村岡一信, 沢田康次, 太田博雄, 高齢運転者のカーブ走行時運転挙動特性について―ドライビングシミュレーターによる走行実験分析―, 人間工学, 44, 3, 165-170, 2008
1705. 沢田康次, 石田文彦, 予測と行為 ―主体的行為はいかにして可能か―, 計測と制御 48 (2009), 60-65, 48, 60-69, 2009
1706. 石田文彦, 林秋克高地康宏, 沢田康次, 手動追従運動制御における誤差フィードバックの複雑化と先行性との関係, 第21回自律分散システム・シンポジウム資料, , 59-62, 2009
1707. 沢田康次, 石田文彦, モデル先行制御におけるＦＢ項とＦＦの必要条件, 科研費特定研究「移動知」班会議「モデル先行制御におけるＦＢ項とＦＦの必要条件」H20年７月２３ 北海道大学電子科学研究所, 2008
1708. 林秋克, 沢田康次, 先行制御とリズムの自己生成の必要性, 日本物理学会 Ｈ２０年９月１９日, 岩手大学, 2008
1709. 林秋克, 沢田康次, 追従運動におけるリズム生成の必要性, 科研費特定研究「移動知」班会議 Ｈ２０年11月７日 国立情報学研究所, 2008
1710. Murata A, Ishida H, Consciousness of body and mirror neuron system, Acta Medica Kinki University, 33, 1, 2, 9-21, 2009
1711. 酒田英夫 村田 哲, ミラーニューロン仮説をめぐって, 生体の科学, 59, 5, 442-443, 2008
1712. 村田 哲, 脳の中にある身体, ソーシャル・ブレインズ 開一夫・長谷川寿一 (編) 東大出版会, 79-108, 2009
1713. Hiroaki Ishida, Kastumi Nakajima, Masahiko Inase, Akira Murata, Shared mapping of own and others' bodies in visuo-tactile bimodal area of the monkey parietal cortex, Journal of Cognitive Neuroscience (in press), 2009
1714. Sakata H, Murata A, Tsutsui K, Visual space representation for action, In: Encyclopedia of Neuroscience (C. Binder MD, Hirokawa N, Windhorst U, Hirsch MC, eds) (Springer-Verlag Berlin and Heidelberg) , 2008
1715. Akira Murata, Hiroaki Ishida, Other's body representation referred to self body in the brain, The tenth international conference on the simulation of adaptive behavior SAB2008 Osaka, Japan, 2008
1716. Ishida H, Inase M, Murata A., Shared representation of self ad other's body parts in visuo-tactile bimodal area of the monkey parietal cortex, The 6th Forum of European Neuroscience. 2008 Geneva Switzerland, 4, 0208, 2008
1717. 村田 哲, 脳の中の身体, 東北大脳科学ＧＣＯＥ「第12回脳神経科学GCOE若手フォーラム」仙台, 2009
1718. 石田裕昭, 稲瀬正彦, 村田 哲, 7b 野・VIP 野の多種感覚領ニューロンによる自他身体のマッチング機能, 第2回生理学研究所 Motor Control 研究会, 2008, 岡崎, 2008
1719. 石田文彦, 清水崇司, 村田哲, 阪口豊, サルAIP野における手操作関連神経活動の情報量解析, 第2回生理学研究所 Motor Control 研究会, 岡崎, 2008
1720. Shimizu, T., Ishida, F., Murata, A. and Sakaguchi Y, Information analysis of neuronal activities related to hand manipulation in the monkey parietal area AIP, Neuro2008 第31回神経科学大会 東京 , ０２. G10, 2008
1721. 石田文彦, 村田哲, 阪口豊, 手操作運動中のサル F5-AIP 野神経活動の情報量解析, 電子情報通信学会技術研究報告書 Vol.108, No.264 : 43-48, 2008
1722. 村田 哲, 自己と他者の身体認識の神経基盤, 第19回発達心理学会大会委員会 企画シンポジウム 大阪, 2008
1723. 清水崇司, 石田文彦, 村田哲, 阪口豊, 手操作運動に関わるサル AIP 野神経活動の情報量解析, 電子情報通信学会技術研究報告 NC 研究会, 町田, 107, 542, 203-208, 2008
1724. 奥野敬丞, 稲邑哲也, 言語コミュニケーションに基づく他者の感覚運動情報の推定モデルの適応的獲得, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集, 3--4, 2008
1725. 稲邑哲也, 奥野敬丞, ヒューマノイド間の対話に基づくミメシスモデルの適応的獲得, 第９回ロボティクスシンポジア, 2009
1726. 稲邑哲也, ヒューマノイドロボット間の対話に基づく感覚運動パターンの抽象化空間の適応的獲得, 情報論的学習理論ワークショップ(IBIS2008), 2008
1727. Tetsunari Inamura and Keisuke Okuno, Adaptive acquisition of mimesis model based on communication between humanoid robots, International workshop on Imitation and Coaching in Humanoid Robots, 2008
1728. Tetsunari Inamura, Multimodal Sensorimotor Integration and Behavior Induction Between Other and Self Based on Mirror Neuron Model, First France-Japan Research Workshop on Human-Robot Interaction, 2008
1729. 稲邑哲也, ヒューマノイドロボットでの他者自己間行動獲得を実現する感覚運動情報の抽象化, 第２回移動知一般公開シンポジウム, 2008
1730. J. Tani, R. Nishimoto, J. Namikawa, M. Ito, Codevelopmental learning between human and humanoid robot using a dynamic neural-network model, IEEE Trans. on Syst. Man and Cybern. Part B-Cybernetics, 38, 1, 43-59, 2008
1731. R. Nishimoto, J. Namikawa, J. Tani, Learning Multiple Goal-Directed Actions Through Self-Organization of a Dynamic Neural Network Model: A Humanoid Robot Experiment, Adaptive Behavior, 16, 2/3, 166-181, 2008
1732. J. Tani, R. Nishimoto, R.W. Paine, Achieving 'organic compositionality' through self-organization: Reviews on brain-inspired robotics experiments, Neural Networks, 21, 584-603, 2008
1733. Y. Yamashita, J. Tani, Emergence of functional hierarchy in a multiple timescale neural network model: a humanoid robot experiment, PLoS Computational Biology, 4, 11, e1000220, 2008
1734. M. Maniadakis, J. Tani, Acquiring rules for rules: neuro-dynamical systems account for meta-cognition, Adaptive Behavior, accepted
1735. H. Arie, T. Endo, T. Arakaki, S. Sugano, J. Tani, Creating novel goal-directed actions at criticality: a neuro-robotic experiment, New Mathematics and Natural Computation, in press
1736. R. Nishimoto, J. Tani, Development process of functional hierarchy for actions and motor imagery: a constructivist view from synthetic neuro-robotics study, Psychological Research, accepted
1737. 有江浩明, 尾形哲也, 谷淳, 菅野重樹, 物体操作に関する脳の情報処理構造を参考にした運動学習モデル, ロボティクス・メカトロニクス講演会 ２００８, 2P1-G06, 2008
1738. 遠藤哲郎, 有江浩明, 尾形哲也, 谷淳, 菅野重樹, 神経回路モデル用いたロボットの行動計画手法の提案 ―視覚情報を含む行動のメンタルイメージの作成―, 第 26 回日本ロボット学会学術講演会, 2O2-02, 2008
1739. 高草木 薫, 奥村 利勝, 小山 純正, 運動機能から観た哺乳類の睡眠制御メカニズム, 細胞工学, 27, 5, 448-455, 2008
1740. 高草木 薫, 運動制御と姿勢制御 (前半) , ボバースジャーナル, 31, 27-41, 2008
1741. 高草木 薫, 運動制御と姿勢制御 (後半) , ボバースジャーナル (印刷中)
1742. 高草木 薫, 正常歩行・異常歩行において何が重要か; とれもろ, 31, 2, 2008
1743. 高草木 薫, 網膜脊髄路, Clinical Neuroscience (印刷中)
1744. 高草木 薫, 大脳基底核による運動制御とその異常, 臨床神経学 (印刷中)
1745. 高草木 薫, 睡眠時の筋緊張制御機構, 「睡眠学」 第１部 第３章―４ 朝倉書店 (印刷中)
1746. 高草木 薫, 大脳基底核―脳幹網様体―脊髄における姿勢制御機構, シリーズ：ヒトの動きの脳神経科学 １巻 姿勢の脳・神経科学 (印刷中)
1747. Bando Y, Takakusaki K, Ito S, Terayama R, Kashiwayanagi M, Yoshida S., Differential changes in axonal conduction following CNS demyelination in two mouse models, European Journal of Neuroscience, 28, 1731-1742, 2008
1748. Kumei S, Motomura W, Yoshizaki T, Takakusaki K, Okumura T., Troglitazone increases expression of E-cadherin and claudin 4 in human pancreatic cancer cells, Biochemical and Biophysical Research Communications (in press)
1749. Takakusaki K, Tomita N, Yano M., Substrates for normal gait and pathophysiology of gait disturbances with respect to the basal ganglia dysfunction., Journal of Neurology, 255, suppl 4, 19-29, 2008
1750. Takakusaki K, Forebrain control of locomotor behaviors, Brain Research Review, 57, 192-198, 2008
1751. Okumura T, Takakusaki K, Role of orexin in central regulation of gastrointestinal functions, Journal of Gastroenterology, 43, 652-660, 2008
1752. Takakusaki K, Okumura T, Neurobiological Basis of Controlling Posture and Locomotion, Advanced Robotics, 22, 1629-1663, 2008
1753. Adachi M, Nonaka S, Katada A, Arakawa T, Ota R, Harada H, Takakusaki K, Harabuchi Y, Carbachol injection into the pontine reticular formation depresses laryngeal muscle activities and airway reflexes in decerebrate cats, Neuroscience Research (in press)
1754. Takakusaki K, Substrates for execution for gait performance with respect to the basal ganglia function, IROS2008 Full day Workshop, September 26th 2008, Nice, France
1755. Takakusaki K, Basal ganglia efferents to the brainstem control postural muscle tone by modulating the activity of cholinergic PPN neurons via GABAA-receptors in cats, ＳＦＮ 2008
1756. An Qi, Ikemoto Y, Asama H, Matsuoka H, Chugo D, Takakusaki K, Extraction of Behavior Primitives in Human Standing-up Motion for Development of Power Assisting Machine, ROBIO 2008
1757. 高草木 薫, 運動機能から観た哺乳類の睡眠制御機構, 第33回 日本睡眠学会シンポジウム 睡眠研究と動物モデル
1758. 高草木 薫, 行動発現の神経機構, ロボティクス・メカトロニクス講演会2008 -認知から運動や行動の発現へ
1759. 高草木 薫, 大脳基底核による運動制御とその異常, 第８２回 日本神経学 北海道地方会 特別講演
1760. 高草木 薫, 脳の働きとレット症候群, 16th 2008 レットサマーキャンプ in 北海道
1761. 高草木 薫, 大脳基底核による運動制御とその異常, 第13回 パーキンソン病フォーラム
1762. 高草木 薫, 運動制御の構成論的理解, 第38回日本臨床神経生理学会学術大会
1763. 高草木 薫, 筋緊張制御の脊髄神経機構, 第２４回日本大脳基底核研究会
1764. Takakusaki K, Background excitability of spinal reflex arcs are modulated by muscle tone inhibitory system, Neuroscience 2008
1765. 高草木 薫, 大脳基底核ネ中脳コリン作動系を修飾して姿勢筋緊張を制御する, 第85回日本生理学学会
1766. Ken-ichi Oshio, Atsushi Chiba and Masahiko Inase, Striatal Neurons Encoded Temporal Information in Duration Discrimination Task, Experimental Brain Research, 186, 671-676, 2008
1767. Atsushi Chiba, Ken-ichi Oshio and Masahiko Inase, Temporal Filtering by Prefrontal Neurons in Duration Discrimination, European Journal of Neuroscience, 28, 11, 2333-2343, 2008
1768. Atsushi Chiba, Ken-ichi Oshio and Masahiko Inase, Effects of Isotonic Contraction Excised vas Deferens of Guinea-Pigs under Pain-Related Drugs, 16th International Conference on Biomagnetism, 275-277, 2008
1769. 中溝克己, 森大志, 村田哲, 稲瀬正彦, ニホンザルのトレッドミル歩行に関連した一次運動野の神経細胞活動, The Journal of Physiological Sciences, 58, Suppl., S192, 2008
1770. 中溝克己, 森大志, 村田哲, 稲瀬正彦, 異なる速度で歩行するニホンザルの一次運動野における神経細胞活動, Neuroscience Research, 61, Suppl. 1, S98, 2008
1771. 千葉 惇, 生塩研一, 稲瀬正彦, 磁気刺激によるザリガニの歩期位置学習, The Journal of Physiological Sciences, 58, Suppl., S95, 2008
1772. 千葉 惇, 生塩研一, 稲瀬正彦, 時間弁別課題中のサル線条体の時間処理, Neuroscience Research, 61, Suppl. 1, S196, 2008
1773. 千葉 惇, 生塩研一, 稲瀬正彦, ザリガニ歩期位置学習における磁気刺激の効果, 日本生体磁気学会誌, 21, 1, 204-205, 2008
1774. 千葉 惇, 生塩研一, 稲瀬正彦, 筋収縮を指標とした静磁場による除痛効果, 第３回日本磁気科学学会プログラム・要旨集, 71-72, 2008
1775. N. Wada, F. Mori, et al, Investigation and characterization of rat bipedal walking models established by a training program, Brain Research, 1243, 70-77, 2008
1776. T. Hosoido, F. Mori, et al, Characteristics of H- and M-waves recorded from rat forelimbs, Neuroscience Letters, 450, 239-241, 2009
1777. F. Mori, K. Nakajima and S. Aoi, Cortical motor areas in the postural and locomotor control, XXV Barany Society Meeting, 2008
1778. 森 大志, 歩行運動の中枢制御機構, 第67回日本めまい平衡医学会総会, 2008
1779. 柳原 大, ダンスの神経科学, 日経サイエンス (監修およびコラム) , 38, 12, 68-75, 2008
1780. 柳原 大, 運動スキル, スキルトレーニングと小脳安質, 身体トレーニング―運動生理学からみた身体機能の維持・向上, 30-39, 2009
1781. Shogo Endo, Fumihiro Shutoh, Tung Le Dinh, Takehito Okamoto, Toshio Ikeda, Michiyuki Suzuki, Shigenori Kawahar[, Dai Yanagihara, Yamato Sato, Kazuyuki Yamada, Yutaka Kirino, Nicholas A. Hartell, Kazuhiko Yamaguchi, Shigeyoshi Itohara, Angus Nairn, Paul Greengard, Soichi Nagao, and Masao Ito, Dual involvement of G-substrate in motor learning revealed by gene deletion, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, in press, 2009
1782. 柳原 大, 運動スキルの脳神経科学―適応制御に関わる小脳機能―, ロボティクス・メカトロニクス講演会2008 チュートリアル資料カテゴリ B, 28-37, 2008
1783. 柳原 大, 古田島浩子, 竹内綸理, 境 和久, 端川 勉, 恐怖条件付け心拍応答における下オリーブ核―登上線維系の役割, 第16回日本運動生理学会大会抄録集, 71, 2008
1784. 古田島浩子, 柳原 大, 鳴海 栄, 柚崎通介, 恐怖条件付け心拍応答における小脳α2型グルタミン酸受容体の役割, 第16回日本運動生理学会大会抄録集, 69, 2008
1785. 竹内綸理, 柳原 大, 石田 綾, 柚崎通介, 歩行制御におけるCbln1の役割, 第16回日本運動生理学会大会抄録集, 69, 2008
1786. 佐藤 和, 持永 新, 柳原 大, ラットの障害物回避歩行における下オリーブ核―登上線維系破壊の影響, 第16回日本運動生理学会大会抄録集, 70, 2008
1787. 柳原 大, 脳と運動・スポーツ―運動が脳を育てる―, 第47回全国学校体育研究大会・特別講演, 2008
1788. Onuma Boonyarom, Naoki Kozuka, Kiyoji Matsuyama, Shinji Murakami, Effect of Electrical Stimulation to Prevent Muscle Atrophy on Morphological and Histological Properties of Hindlimb Suspended Rat Hindlimb Muscles, American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation, 88, 印刷中, 2009
1789. Kiyoji Matsuyama, Masanori Ishiguro, Mamoru Aoki, Roles of supraspinal signals and sensory feedbacks in generation of coordinated quadrupedal locomotion in rabbits, Journal of Physiological Sciences, 58, Suppl, S195, 2008
1790. Matsuyama K, Takakusaki K, Organizing principles of axonal projections of the long descending reticulospinal pathway and its target spinal lamina VIII commissural neurons: with special reference to the locomotor function, Handbook on Whiete Mtter; Structure, Function and Changes. Nova Scientific Co. (in press)
1791. Natori, S., Yoshimi, K., Takahashi, T., Kagohashi, M, Oyama, G., Shimo, Y., Hattori, N, Kitazawa, S., Subsecond reward-related dopamine release in the mouse dorsal striatum, Neuroscience Research (in press), 2008
1792. Ono, F, & Kitazawa, S., The effect of marker size on the perception of an empty interval., Psychonomic Bulletin & Review, 16, 1, 182-189, 2009
1793. G Oyama, K. Yoshimi, S. Natori, Y. Chikaoka, Y. Shimo, S. Kitazawa, R.Takahashi, N. Hattori., Reduced dopamine release in the striatum of Parkin knockout mouse., Movement Disorder Society Annual meeting, 2008
1794. Kitazawa S, Endo Y, Yamane M, Takahashi M., Temporo-spatial gaze patterns in autistic children., 38th Annual Meeting, Society for Neuroscience, 2008
1795. G Oyama, K. Yoshimi, S. Natori, Y. Chikaoka, Y. Shimo, S. Kitazawa, R. Takahashi, N. Hattori., Reduced dopamine release in the striatum of Parkin knockout mouse., 38th Annual Meeting, Society for Neuroscience, 2008
1796. Shihoko Natori, Kenji Yoshimi, Genko Oyama, Yasushi Shimo, Nobutaka, Hattori, Shigeru Kitazawa., Reward-associated dopamine release in the striatum of behaving mice., 38th Annual Meeting, Society for Neuroscience, 2008
1797. 名取可保子, 吉見建二, 大山彦光, 籠瀬麻紀, 北澤茂, 下妻司, 服部信孝, ドパミン神経終芯答の直接高速測定 , 第49回 日本神経学会総会, 2008
1798. 吉見建二, 大山彦光, 近藤羊子, 下妻司, 高橋良輔, 北澤茂, 服部信孝, Parkin ノックアウトマウスにおける線条体ドパミン放出能の検討 , 第49回 日本神経学会総会, 2008
1799. Shihoko Natori, Kenji Yoshimi, Maki Kagohashi, Genko Oyama, Yasushi Shimo, Nobutaka Hattori, Shigeru Kitazawa. , Reward-associated dopamine release in the striatum of behaving mice., 第31回神経科学会, 2008
1800. 名取可保子, 吉見建二, 大山彦光, 籠瀬麻紀, 北澤茂, 下妻司, 服部信孝, マウス線条体における報酬誘発ドパミン放出, 脳と心のメカニズム第9回夏のワークショップ, 2008
1801. 吉見建二, 大山彦光, 近藤羊子, 下妻司, 高橋良輔, 北澤茂, 服部信孝, Parkin ノックアウトマウスにおける線条体ドパミン放出能の検討 , 脳と心のメカニズム第9回夏のワークショップ, 2008
1802. 吉見建二, 大山彦光, 近藤羊子, 下妻司, 高橋良輔, 北澤茂, 服部信孝, Parkin ノックアウトマウスにおける線条体ドパミン放出能の検討 , Movement Disorder Society Japan (MDSJ) , 2008
1803. Kitazawa S. & Nishida S., Adaptive anomalies in conscious time perception., Tutorial workshop in the 12th Annual Meeting of the Association for the Scientific Study of Consciousness., 2008
1804. 北澤 茂, 侵襲型 BMI (３) , 多次元共同脳科学推進センター キックオフシンポジウム, 2008
1805. 北澤 茂, Facilitation of development in autistic children and monkeys using applied behavior analysis., 第31回日本神経科学大会シンポジウム, Towards the Neuroscience of Language and Sociability, 2008
1806. 北澤 茂, 到達運動の学習と制御の神経機構, ジストニア研究班夏季ワークショップ, 2008
1807. 北澤 茂, 言語と社会性の起源～自閉症治療からの示唆～, 「言語の起源と進化」ワークショップ 日本進化学会第10回東京大会, 2008
1808. 北澤 茂, 自閉症治療に学ぶ心理学と脳科学 , 新曜塾 千里ライフサイエンス財団, 2008
1809. 北澤 茂, 時間知覚の様々な例外～心と脳のなかの時間～ 感覚・知覚における時間の問題, 日本心理学会第72回大会シンポジウム , 2008
1810. 北澤 茂, 触知覚メカニズムを考える (指定討論) , 日本心理学会第72回大会ワークショップ身体と感覚の結びつき-ラバーハンドイリュージョンと幻肢- , 2008
1811. 北澤 茂, 自閉症児は目を見ないのか ～視線計測からわかること～, さきがけ領話会 「知と構成2008」, 2008
1812. 北澤 茂, 時間順序の知覚の脳内メカニズム, 第６回知と行動研究シンポジウム「知と行動研究のストラテジーVI」, 2008
1813. 北澤 茂, 独立成分分析を用いた脳機能イメージング, 第８回東京臨床脳画像解析研究会, 2008
1814. 北澤 茂, 自閉症の脳科学, 多次元共同脳科学推進センターシンポジウム"総合的な脳科学を理解する人材育成に向けて, 2008
1815. 北澤 茂, 自閉症治療に学ぶ心理学と脳科学, 「脳とこころの発達」日本学術会議連携シンポジウム, 2008
1816. 北澤 茂, 自閉症治療に学ぶ心理学と脳科学, 「脳科学と社会医学」第 190 回疫学・公衆衛生学合同セミナー, 2008
1817. 吉見建二, 秒速ドパミンモニター, 移動知C班会議, 2009
1818. 小山純正 高橋和巳, 意識障害の基礎―覚醒の神経機構, Clinical Neuroscience, 26, 6, 615-617, 2008
1819. 小山純正・高橋和巳・高草木薫, 過眠症の脳科学, 睡眠医療 , 2, 2, 144-151, 2008
1820. 小山純正 高橋和巳, 睡眠発現の神経機構, 日本臨床 (増刊号) 臨床睡眠学, 66, 75-82, 2008
1821. Juan Carlos Toledo Salas, Hiroshi Iwasaki, Eiichi Jodo, Markus H. Schmidt, Akihiro Kawauchi, Tsuneharu Miki, Yukihiko Kayama, Manabu Otsuki, Yoshimasa Koyama, Penile erection and micturition events triggered by electrical stimulation of the mesopontine tegmental area, American Journal of Physiology, 292, R102-R111, 2008
1822. Gulia KK, Jodo E, Kawauchi A, Miki T, Kayama Y, Mallick HN, Koyama Y., The septal area, site for the central regulation of penile erection during waking and REM sleep in rats : a stimulation study, Neuroscience, 156, 4, 1064-1073, 2008
1823. 小山純正・高橋和巳・香山幸彦, 視床下部における覚醒・歩行運動・血圧の調節, 第30回日本神経科学大会抄録集, 72, 2008
1824. 小山純正, 動物を使った睡眠研究について, 第13回睡眠科学研究講座, 2008
1825. 小山純正, 鍼灸と睡眠・排尿, 第4回日本鍼灸師会全国大会 抄録集, 20-21, 2008
1826. 高橋和巳・香山幸彦・小山純正・Jian-Shen Lin・酒井一弥, 覚醒機構としてのヒスタミン, 日本睡眠学会第33回定期学術集会 抄録集, 87, 2008
1827. 高橋和巳・香山幸彦・小山純正・Jian-Shen Lin・酒井一弥, マウスオレキシンニューロンの睡眠・覚醒時の活動, 日本睡眠学会第33回定期学術集会 抄録集, 105, 2008
1828. 高橋和巳・小山純正・阿部由佳・佐久間彩央・香山幸彦, 視床下部における筋緊張調節系について, 第41回東北生理談話会 抄録集, 10, 2008
1829. 奥村利勝, 脳網様体からみた機能性胃腸症, 日本医事新報, 4382, 66-70, 2008
1830. 奥村利勝, 消化とホルモン, 臨床検査, 52, 1337-1342, 2008
1831. Motomura W, Yoshizaki T, Ohtani K, Okumura T, Fukuda M, Fukuzawa J, Mori K, Jang S-J,

Nomura N, Yoshida I, Suzuki Y, Kohgo Y, Wakamiya N, Tissue distribution of a collectin CL-K1 in murine tissues., J Histochem Cytochem, 56, 243-252, 2008

1832. Yamazaki M, Nakamura K, Mizukami Y, Ii M, Sasajima J, Sugiyama Y, Nishikawa T, Nakano Y, Yanagawa N, Sato K, Maemoto A, Tanno S, Okumura T, Karasaki H, Kono T, Fujiya M, Ashida T, Chung DC, Kohgo Y., Sonic hedgehog derived from human pancreatic cancer cells augments angiogenic function of endothelial progenitor cells, Cancer Sci, 99, 1131-1138, 2008

1833. Tanno S, Nakano Y, Nishikawa T, Nakamura K, Sasajima J, Minoguchi M, Mizukami Y, Yanagawa N, Fujii T, Obara T, Okumura T, Kohgo Y., Natural History of Branch Duct Intraductal Papillary-Mucinous Neoplasms of the Pancreas without Mural Nodules: Long-term Follow-up Results, Gut, 57, 339-343, 2008

1834. Okumura T, Takakusaki K, Role of orexin in central regulation of gastrointestinal functions, J Gastroenterol, 43, 652-660, 2008

1835. Kumei S, Motomura W, Yoshizaki T, Takakusaki K, Okumura T, Troglitazone increases expression of E-cadherin and claudin 4 in human pancreatic cancer cells., Biochem Biophys Res Coomun (in press)

1836. 荻原直道, 初期人類の二足歩行運動の生体力学的復元：現状と課題, Anthropological Science (Japanese Series), 116, 2, 99-113, 2008

1837. Ogihara, N., Makishima, H., Aoi, S., Sugimoto, Y., Tsuchiya, K., Nakatsukasa, M., Development of an Anatomically Based Whole-Body Musculoskeletal Model of the Japanese Macaque (Macaca fuscata), American Journal of Physical Anthropology, in press

1838. Aoi, S., Ogihara, N., Sugimoto, Y., Tsuchiya, K., Simulating adaptive human bipedal locomotion based on phase resetting using foot-contact information, Advanced Robotics, 22, 1697-1713, 2008

1839. Oishi, M., Ogihara, N., Endo, H., Asari, M, Muscle architecture of the upper limb in the orangutan, Primates, 49, 204-209, 2008

1840. Kagaya, M., Ogihara, N., Nakatsukasa, M., Morphological study of the anthropoid thoracic cage: scaling of thoracic width and analysis of rib curvature, Primates, 49, 89-99, 2008

1841. S. Aoi, Y. Sato, and K. Tsuchiya, Arc Feet Effects on Stability Based on a Simple Oscillator-Driven Walking Model, Journal of Robotics and Mechatronics, 20, 5, 709-718, 2008

1842. Yasuhiro Sugimoto, Koichi Osuka, Hierarchical Implicit Feedback Structure in Passive Dynamic Walking, Journal of Robotics and Mechatronics, 20, 4, 559-566, 2008

1843. Yasuhiro Sugimoto, Shinya Aoi, Naomichi Ogihara, Kazuo Tsuchiya, The Stabilizing function of musculoskeletal system for periodic motion, Advanced Robotics, in press

1844. Kazuhiko Nakatani, Yasuhiro Sugimoto, Koichi Osuka, Demonstration and Analysis of Quadrupedal Passive Dynamic Walking, Advanced Robotics, in press

1845. Ogihara, N., Aoi, S., Sugimoto, Y., Nakatsukasa, M., Tsuchiya, K, Computer simulation of locomotion in the Japanese monkey: A constructive approach towards understanding adaptive mechanism in primate locomotion, IEEE/RSJ 2008 International Conference on Intelligent Robots and Systems Workshop, Nice, France, 2008

1846. Ogihara, N., Nakatsukasa, M., A computer simulation study of precision grip in human and chimpanzee based on an anatomically realistic hand musculoskeletal model, IPS Post-Congress Symposium on Comparative Functional Morphology in Primates, Durham, UK, 2008

1847. Kagaya, M., Ogihara, N., Nakatsukasa, M., Clavicular length of hominoids: a comparison with the thoracic cage width, IPS Post-Congress Symposium on Comparative Functional Morphology in Primates, Durham, UK, 2008

1848. Ogihara, N., Hirasaki, E., Nakatsukasa, M., Experimental and computational studies of bipedal locomotion in the bipedally-trained Japanese monkey, The International Primatological Society XXII Congress, Edinburgh, UK, 2008

1849. Kagaya, M., Ogihara, N., Nakatsukasa, M., Morphological Study of the anthropoid thoracic cage: Rib orientation and its implication for orthograde postural behavior, The International Primatological Society XXII Congress, Edinburgh, UK, 2008

1850. Ogihara, N., Aoi, S., Sugimoto, Y., Nakatsukasa, M., Tsuchiya, K, Synthetic study of quadrupedal/bipedal locomotion in the Japanese monkey, 4th International Symposium on Adaptive Motions of Animals and Machines, Cleveland, OH, USA, 2008

1851. S. Aoi, N. Ogihara, Y. Sugimoto, and K. Tsuchiya, Computer Simulation of Adaptive Human Bipedal Locomotion Based on Phase Resetting Using Foot Contact Information, 4th Int. Symp. on Adaptive Motion of Animals and Machines, 64-65, 2008

1852. S. Aoi, Y. Sato, and K. Tsuchiya, Stability Characteristics in Walking Behavior with Two Different Oscillatory Elements: Roles of Arc Foot and Internal Oscillator, Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intell. Robots Syst., 3414-3419, 2008

1853. Y.Sugimoto, S. Aoi, N. Ogihara, K. Tsuchiya, The role of the force-velocity relationship of muscle for the stability of periodic motions, 4th Int. Symp. on Adaptive Motion of Animals and Machines, 2008

1854. 荻原直道, 青井伸也, 杉本靖博, 土屋和雄, 中務真人, 二次元ニホンザル筋骨格モデルに基づく二足歩行運動の生成, 第62回日本人類学会大会, 2008

1855. 荻原直道, 青井伸也, 杉本靖博, 中務真人, 土屋和雄, 筋骨格モデルを用いたニホンザルの歩行分析とシミュレーション, 第26回 日本ロボット学会学術講演会, 2008

1856. 大石元治, 荻原直道, 遠藤秀紀, 浅利昌男, チンパンジーとオランウータンの上肢の筋形状について, 第24回日本霊長類学会大会, 2008

1857. 加賀谷美幸, 荻原直道, 中務真人, 霊長類の鎖骨の長さのプロポーション:胸郭の幅との比較, 第25回日本霊長類学会大会, 2008

1858. 荻原直道, 動作解析とシミュレーションから直立二足歩行の起源を探る, 滋賀県スポーツ医会勉強会, 2008

1859. 荻原直道, 数理モデルを用いた霊長類筋骨格系の機能形態学的解析, 第113回日本解剖学会総会・全国学術集会, 2008

1860. 大石元治, 遠藤秀紀, 荻原直道, 浅利昌男, テナガザルの前腕部と手部の筋学的研究, 第145回日本獣医学会学術集会, 2008

1861. 青井伸也, 土屋和雄, 荻原直道, 杉本靖博, ヒトの2次元神経筋骨格モデルに基づく歩行生成, 第20回自律分散システム・シンポジウム, 245-250, 2008

1862. 青井伸也, 土屋和雄, 振動子に駆動される2次元5リンク2脚ロボットの安定特性, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 2008

1863. K. Hosoda, T. Takuma, A. Nakamoto, S. Hayashi, Biped Robot Design Powered by Antagonistic Pneumatic Actuators for Multi-Modal Locomotion, Robotics and Autonomous Systems, 56, 1, 46-53, 2008

1864. K.Tsujita, T.Kobayashi and T.Masuda, A Feasibility Study on Stability of Gait Patterns with Changable Body Stiffness using Pneumatic Actuators in Quadruped Robot, Advanced Robotics, 23, 5, to appear, 2009

1865. K.Tsujita, T.Inoura, T.Kobayashi and T.Masuda, A Study on Locomotion Stability by Controling Joint Stiffness of Biped Robot with Pneumatic Actuators, Motion and Vibration Control, 305-314, 2008

1866. T.Takuma, S.Hayashi, K.Hosoda, 3D Biped Robot for Multi-modal Locomotion Driven by Antagonistic Pneumatic Actuators, Fourth International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines, CD-ROM, 2008

1867. Koh Hosoda, Hitoshi Takayama, and Takashi Takuma, Jumping of an Anthropomorphic Robot Equipped with Biarticular Muscles, Fourth International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines, CD-ROM, 2008

1868. T.Takuma, S.Hayashi, K.Hosoda, 3D Bipedal Robot with Tunable Leg Compliance Mechanism for Multi-modal Locomotion, IEEE/RSJ 2008 International Conference on Intelligent Robots and Systems, 1097-1102, 2008

1869. K.Hosoda, H.Takayama, T.Takuma, Bouncing Monopod with Bio-mimetic Muscular-Skeleton System, IEEE/RSJ 2008 International Conference on Intelligent Robots and Systems, 3083-3088, 2008

1870. K.Tsujita, T.Kobayashi, T.Inoura and T.Masuda, Gait Transition by Tuning Muscle Tones using Pneumatic Actuators in Quadruped Locomotion, Proc. of IEEE/RSJ IROS2008, 2453-2458, 2008

1871. K.Tsujita, T.Inoura, T.Kobayashi and T.Masuda, A Study on Locomotion Stability by Controling Joint Stiffness of Biped Robot with Pneumatic Actuators, CD-ROM Proc. of Int. Conf. of Motion and Vibration Control, RO1-1195, 2008

1872. K.Tsujita, T.Kobayashi, T.Inoura and T.Masuda, A study on adaptive gait transition of quadruped locomotion by changing muscle tone, Proc. of SICE Annual Conference 2008, 2489-2494, 2008

1873. K.Tsujita, T.Inoura, T.Kobayashi and T.Masuda, A Study on Locomotion Stability at the Variance of Joint Stiffness, Proc. of Int. Symp. on Adaptive Motion of Animals and Machines(AMAM) 2008, 58-59, 2008

1874. 高山 仁志, 田熊 隆史, 細田 耕, 二関節筋を含めた筋骨格系をもつロボットによる連続跳躍の実現, ロボティクス・メカトロニクス講演会08, 2P2-I17, 2008

1875. 松田将志, 蘭草真, 辻田勝吉, 増田達也, 盲導犬ロボットに向けた四脚ロボットのハーネシングによる誘導歩行, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会08 講演論文集, 1A1-D18, 2008

1876. 小林敏也, 井之浦隼志, 辻田勝吉, 増田達也, 空気圧人工筋を用いた四脚歩行ロボットの関節剛性に対する歩行特性についての一考察, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会08 講演論文集, 2P2-I20, 2008

1877. C. Maufroy, H. Kimura and K. Takase, Towards a general neural controller for quadrupedal locomotion, NEURAL NETWORKS, 21, 4, 667-681, 2008

1878. C. Maufroy, H. Kimura and K. Takase, Towards a general neural controller for 3D quadrupedal locomotion, Proc. of SICE Annual Conference 2008, 2495-2500, 2008

1879. T. Masuda, H. Kimura and K. Takase, Emergenceof a Quadrupedal Bound Gait as Interaction among the Brain, Body and Environment, Proc. of SICE Annual Conference 2008, 2501-2506, 2008

1880. Y. Otoda, H. Kimura and K. Takase, Adaptive Walking of a 2D Biped Robot during Splitbelt Treadmill, Proc. of SICE Annual Conference 2008, 2507-2512, 2008

1881. H. Kimura, Robotics as a Tool for Gait AND Posture Study, Fourth International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines, CD-ROM, 2008

1882. C. Maufroy and H. Kimura, Towards a general neural controller for 3D quadrupedal locomotion, 第20回自律分散システム・シンポジウム予稿集, 251-256, 2008

1883. K. Nakamura, W. Yoshinaga, Kinoue, Development of a Biomimetic control system for a Snake-like Robot with Pneumatic Actuators, 4th International Student Conference at Ibaraki University, 66-72, 2008

1884. 中村 海太, 吉永 航, 井上 康介, 空気圧アクチュエータを用いたヘビ型ロボットのための生物模倣型制御系の開発, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 2O2-03, 2008

1885. Yoshinori Izaki, Masatoshi Takita and Tatsuo Akema, Specific role of the posterior dorsal hippocampus-prefrontal cortex in short-term working memory, European Journal of Neuroscience, 27, 3029-3034, 2008

1886. Takeshi Uejima, Toshiyuki Fujii, Hiroshi Yokoi Masatoshi Takita, Motion Classification by Epidural Potential Measurement of Rat for Low-Invasive Brain-Machine Interface, Proceedings of 2008 IEEE International Conference of Robotics and Biomimetics, 2009

1887. Kojiro Matsushita, Hiroshi Yokoi, and Tamio Arai, Robotic Education for Human-Robot Interaction: Proposal of Two Robotic Developmental Kits that Bring Creativity, 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Workshop Teaching Human-Robot Interaction to Humans, 2008

1888. 松下光次郎, 横井浩史, 新井民夫, 準受動四脚移動ロボットの開発―１駆動関節によるトロット歩容の実現―, 第14回ロボティクスシンポジア, 2009

1889. Hiroshi Yokoi and Kojiro Matsushita, Self-regulatory Hardware: Evolutionary Design for Mechanical Passivity on a Pseudo Passive Dynamic Walker, Artificial Life Models in Hardware (Ed. Andrew Adamatzky and Maciej Komosinski), Springer-Verlag, 2009

1890. Kojiro Matsushita and Hiroshi Yokoi, Embodiment of Legged Robots Emerged in Evolutionary Design: Pseudo Passive Dynamic Walker, Frontiers in Evolutionary Robotics (Ed. Aleksandar Lazinica), I-Tech Education and Publishing, ISBN: 978-3-902613-19-6, 311-326, 2008

1891. 横井浩史, 松下光次郎, メカトロニクス・ロボティクス総論：実習編―PETボトルを使ったロボット製作, 制御の実践的テキスト―, 経済産業省 中小企業産学連携製造中核人材育成事業 メカトロニクスロボット分野, 2007年度版, 社団法人 日本機械学会, 2008

1892. Naoki Kotake, Takafumi Suzuki, Kunihiko Mabuchi, Shoji Takeuchi, A flexible parylene neural probe combined with a microdialysis membrane, Proc. of microTAS 2008, 1687-1689, 2008

1893. Osamu Fukayama, Noriyuki Taniguchi, Takafumi Suzuki, Kunihiko Mabuchi, Automatic Adaptation of Vehicle Controller to Time-Varying Neural Signals Recorded in RatCar System; A Vehicle-formed BMI, Proc. of Joint 4th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 9th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, 253-256, 2008

1894. Osamu Fukayama, Noriyuki Taniguchi, Takafumi Suzuki, Kunihiko Mabuchi, RatCar system for estimating locomotion states using neural signals with parameter monitoring: Vehicle-formed brain-machine interfaces for rat, Proc. of 30th Annual International Conference of the IEEE EMBS, 5322-5325, 2008

1895. Takafumi Suzuki, Development of flexible neural probes and their applications to neuroprostheses, EDIS 2008 satellite symposium GCOE global seminar Advances in Neuroengineering, 2008

1896. Noriyuki Taniguchi, Osamu Fukayama, Tatsuo Okubo, Takafumi Suzuki, Kunihiko Mabuchi, RatCar System: A vehicle-formed BMI system by neural signals recorded with implantable electrodes, Proc. of International Symposium on Biological and Physiological Engineering, 173-174, 2008

1897. 鈴木隆文, 多機能神経電極とラット―マシン融合システムによる移動知研究, 第２回移動知公開シンポジウム, 2008

1898. 小竹直樹, 深山理, 鈴木隆文, 竹内昌治, 満渕邦彦, MEMSテトロードの立体化の検討, 第23回生体・生理工学シンポジウム論文集, 51-52, 2008

1899. 深山理, 谷口徳恭, 鈴木隆文, 満渕邦彦, 車体型BMI「ラットカー」搭載時におけるラット運動中枢神経活動の時間変化に関する基礎的検討, 第23回生体・生理工学シンポジウム論文集, 81-82, 2008

1900. 五條理佑, 鈴木隆文, 関和彦, Andrew Jackson, 武井智彦, 竹内昌治, 脊髄大微小電気刺激のためのパリレン柔軟電極, 電気学会研究会資料(バイオ・マイクロシステム研究会), 9-12, 2008

1901. 谷口徳恭, 深山理, 鈴木隆文, 満渕邦彦, 大脳基底核信号が歩行運動指定に及ぼす影響, 平成20年 電気学会 電子・情報・システム部門大会 講演論文集, 121-123, 2008

1902. 鈴木隆文, デバイス技術から見たBMIの現状と将来, 日本生体磁気学会誌, 21, 1, 10-11, 2008

1903. 深山理, 谷口徳恭, 鈴木隆文, 満渕邦彦, 車体型BMI「ラットカー」における運動皮質および大脳基底核の同時計測系, 第２回Motor Control 研究会, 2008

1904. 深山理, 谷口徳恭, 鈴木隆文, 満渕邦彦, 中枢神経信号によるラット搭載車制御システム「ラットカー」の開発：広域多点神経信号からの自動発火弁別および運動誘起, 生体医工学, 46 suppl.1, 478, 2008

1905. 小竹直樹, 鈴木隆文, 竹内昌治, 満渕邦彦, マイクロダイアリシス機能を付加した神経電極の試作, 生体医工学, 46 suppl.1, 235, 2008

1906. 小竹直樹, 鈴木隆文, 満渕邦彦, 竹内昌治, 神経電極へのマイクロダイアリシス機能付加の試み, 電気学会研究会資料(医用・生体工学研究会), 19-20, 2008

1907. 深山理, 谷口徳恭, 鈴木隆文, 満渕邦彦, ラット搭載車体型BMI「ラットカー」の開発：広域多点神経電極による歩行関連情報の抽出, 電気学会研究会資料(医用・生体工学研究会), 21-24, 2008

1908. 櫻井芳雄, ブレイン-マシン・インタフェースでわかる高齢期の力, 脳を知る・創る・守る・育む. (クバプロ), 印刷中, 2009

1909. 櫻井芳雄, 侵襲式BMI（ブレイン―マシン・インタフェース）の現状と課題, 日本機械学会誌, 111, 916-919, 2008

1910. Sakurai, Y., Takahashi, S., Dynamic synchrony of local cell assembly, Reviews in the Neuroscience, 16, In press, 2008

1911. Hirokawa, J., Bosch, M., Sakata, S., Sakurai, Y. and Yamamori, T., Functional role of the secondary visual cortex in multisensory facilitation in rats., Neuroscience, 153, 1402-1417, 2008

1912. Takahashi, S., Sakurai, Y., Hippocampal neuronal ensembles act as comparator during delayed non-matching to sample performance in rats., 38th Society for Neuroscience Annual Meeting, 米国 (2008年11月), 2008

1913. Hirokawa, J., Sadakane, O., Sakata, S., Bosch, M., Sakurai, Y., Yamamori, T., Superior colliculus differently mediates behavioral facilitations of speed and accuracy by audiovisual integration, 38th Society for Neuroscience Annual Meeting, 米国 (2008年11月), 2008

1914. 廣瀬秀顕, 崔圭完, 筒井健一郎, 小池康晴, 櫻井芳雄, 飯島敏夫, A brain-machine interface for predicting target-reaching movement and target-holding posture, 東北大学-復旦大学 Neuroscience workshop for young scientists, 中国 (2008年10月), 2008

1915. 櫻井芳雄, ブレイン―マシン・インタフェースがしめす脳と機械の融合, 第２回移動知一般公開シンポジウム, 東京 (2008年10月), 2008

1916. 高橋晋, 櫻井芳雄, 意図した方向を解読し全方向移動車を操作するBMIの開発, 第１８回日本神経回路学会全国大会, つくば (2008年９月), 2008

1917. 櫻井芳雄, 高橋晋, 侵襲的ブレイン―マシン・インタフェースからわかる神経回路網の可塑性, 第３１回日本神経科学学会大会, 東京 (2008年７月), 2008

1918. 高橋宗良, Lauwereyns, J., 櫻井芳雄, 塚田稔, 静止状態におけるラット海馬ニューロンのシーケンス依存的活動, 第３１回日本神経科学学会大会, 東京 (2008年７月), 2008

1919. 高橋晋, 櫻井芳雄, 遅延非見本合わせ課題遂行中に海馬のニューロン集団はコンパレータとして振舞う, 第３１回日本神経科学学会大会, 東京 (2008年７月), 2008

1920. 飯島敏夫, 廣瀬秀顕, 崔圭完, 筒井健一郎, 櫻井芳雄, 小池康晴, 上肢の到達運動と姿勢制御を実現できるブレイン・マシンインターフェース, 第３１回日本神経科学学会大会, 東京 (2008年７月), 2008

1921. 高橋晋, 櫻井芳雄, 海馬ニューロン活動による全方向移動車の操作, CREST第５回領域内研究報告会, 豊中 (2008年３月), 2008

1922. 廣瀬秀顕, 小池康晴, 筒井健一郎, 櫻井芳雄, 飯島敏夫, 上肢の到達運動および姿勢制御を実現できるブレイン・マシン・インタフェース, CREST第５回領域内研究報告会, 豊中 (2008年３月), 2008

1923. 櫻井芳雄, ブレイン―マシン・インタフェースからわかる脳のダイナミクス, 国際高等研究所研究プロジェクト「生物進化の持続性と転移」第３回研究会, 京都 (2008年２月), 2008

1924. Yasushi Kobayashi, Ken-ichi Okada, Reward processing of the basal ganglia: Reward function of Pedunculopontine tegmental nucleus., Brain and Nerve, 61, 4, in press, 2009

1925. Yasushi Kobayashi, Ken-ichi Okada, Different Pedunculopontine Tegmental Neurons Signal Predicted and Actual Task Rewards., The XXV Barany Society Meeting, Satellite symposium, Neural mechanism in control of eye, head and limb movements, P11, 2008

1926. Yasushi Kobayashi, Pedunculopontine Tegmental Nucleus Neurons Signal Predicted and Actual Reward for Reinforcement Learning., 12th Annual meeting, Association for the Scientific Study of Consciousness, 121, 2008

1927. Yasushi Kobayashi, Motivation and reward prediction error computation in the midbrain., Open Problems in Neuroscience of Decision Making OIST symposium, 2008

1928. Ken-ichi Okada, Yasushi Kobayashi, Neural correlates of task performance of the visually guided saccade tasks in the primate pedunculopontine tegmental nucleus., Society for Neuroscience Abstarct, 88.8, 2008

1929. 小林 康, 岡田研一, 河野憲二, 竹村 文, 小脳プルキンエ細胞におけるニューロン活動のregularity の解析, 第２回 生理学研究所「Motor Control 研究会」, 42, 2008

1930. Ken-ichi Okada, Yasushi Kobayashi, Neural correlates of task performance in the primate pedunculopontine tegmental nucleus., Neruscience Research, 61, Suppl 1, S60, 2008

1931. Yuri Kitamura, Koshiro Maruyama, Ken-ichi Okada, Yasushi Kobayashi, Yuji Yahata, Syoji Kobashi, Ikuko Mohri, Masako Taniike, Using eye-movements as a research tool in children with autistic spectrum disorders., Neruscience Research, 61, Suppl 1, S131, 2008

1932. Tomohiko Takei, Kazuhiko Seki, Spinomuscular coherence in monkey performing a precision grip task., Journal of Neurophysiology, 99, 4, 2012-2020, 2008

1933. Kazuhiko Seki, Tomohiko Takei, Activity of spinal interneurons mediating afferent inputs from forearm muscles in monkeys performing volunary wrist movement, The 38th annual meeting of the Society for the Neuroscience, 860.20, 2008

1934. Jackson, A., Baker, SN., Isa, T., Seki, K., Motor networks in the primate cervical spinal cord explored using intraspinal microstimulation, The 38th annual meeting of the Society for the Neuroscience, 860.19, 2008

1935. Tomohiko Takei, Kazuhiko Seki, Spinomuscular coherence in monkey performing a precision grip task., The 38th annual meeting of the Society for the Neuroscience, 77.17, 2008

1936. 五條理佑, 鈴木隆文, 関和彦, Andrew Jackson, 武井智彦, 竹内昌治, 脊髄微小電気刺激のためのパリレン柔軟電極, バイオマイクロシステム研究会論文集, BMS-8-18, 2008

1937. 武井智彦, 関和彦, 脊髄は手の運動をどのように制御しているのか?, 第２回生理学研究所 MotorControl 研究会, 2008

1938. 関和彦, Andrew Jackson, 鈴木隆文, 竹内昌治, 武井智彦, 五感理解, 脊髄内微小電気刺激によって把握運動を誘発する, 第2回生理学研究所MotorControl研究会, 2008
1939. 関和彦, 武井智彦, 随意運動時における脊髄ニューロンの活動と末梢感覚入力様式の相関, Neuroscience Research, 61, suppl, s62, 2008
1940. 関和彦, 随意運動の制御における脊髄の役割, 第二回身体運動の科学ワークショップ, 2008
1941. 武井智彦・関和彦, 随意運動の制御における脊髄介在ニューロンの役割, 特定領域研究「統合脳」夏の領域会議, 2008
1942. 武井智彦, 関和彦, Spinomuscular coherence in monkey performing a precision grip task., 第55回中部日本生理学会, 2008
1943. 関和彦, 脊髄型 FES 開発の現状と課題, 脳科学研究推進プログラムワークショップ多重電極開発分科会, 2008
1944. 武井智彦 関和彦, 把握運動制御の脳内機構, 第五回 手の研究会 信学技報, HIP2008, 107, 101-106, 2008
1945. 関和彦, 随意運動の制御における脊髄反射の機能を再定義する, 日本大学学術フロンティア推進事業 平成19年度研究会「神経生理と認知心理の接点」, 2008
1946. 関和彦, 随意運動の制御における脊髄介在ニューロンの役割, 特定領域研究「統合脳」冬の領域会議, 2008
1947. 関和彦, 随意運動の制御と脊髄神経回路, 計測制御学会システム・情報部門「移動知調査研究会」共催 動物の運動制御に関する研究討論会, 2008
1948. 関和彦, 随意運動の制御における脊髄の役割：反射や歩行を越えて, 脳と心のメカニズム 第9回冬のワークショップ, 2009
1949. 関和彦, 随意運動のコントロールにおける脊髄の役割, 第八回茨城・栃木県活動分析研究会大会 教育講演, 2009
1950. Chiken S, Shashidharan P, Nambu A, Cortically evoked long-lasting inhibition of pallidal neurons in a transgenic mouse model of dystonia. , Journal of Neuroscience, 28, 51, 13967-13977, 2008
1951. Tachibana Y, Kita H, Chiken S, Takada M, Nambu A, Motor cortical control of internal pallidal activity through glutamatergic and GABAergic inputs in awake monkeys., European Journal of Neuroscience, 27, 1, 238-253, 2008
1952. Hatanaka N, Tokuno H, Nambu A, Takada M, Transdural doppler ultrasonography monitors cerebral blood flow changes in relation to motor tasks. , Cerebral Cortex, in press, 2009
1953. Nambu A, Seven problems on the basal ganglia. , Current Opinion in Neurobiology, 18, in press, 2008
1954. Nambu A, Basal ganglia: physiological circuits., Encyclopedia of Neuroscience, 2, 111-117, 2009
1955. 筧 慎治, 李 鍾昊, 新しい 定量的運動指令解析システム, 医学のあゆみ, 225, 3, 266-268, 2008
1956. 鏡原康裕, 李 鍾昊, 筧 慎治, 手首運動を利用した定量的異常運動解析システムの構築, 臨床神経生理学, 36, 6, 633-641, 2008
1957. S. Tomatsu, Y. Someya, Y.W. Sung, S. Ogawa S, S. Kakei, Temporal features of BOLD responses varies with temporal patterns of movement., Neurosci Res, 62, 160-167, 2008
1958. Y. Tsunoda, S. Kakei, Reaction time changes with the hazard rate for a behaviorally relevant event when monkeys perform a delayed wrist movement task., Neurosci Lett, 433, 152-157, 2008
1959. J.H. Lee, Y. Kagamihara, S. Kakei, Quantitative Evaluation of Movement Disorders in Neurological Diseases based on EMG Signals., Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 1, 181-184, 2008
1960. J.H. Lee, Y. Kagamihara, S. Kakei, Quantitative Evaluation of Cerebellar Ataxia based on EMG signals., The second IEEE RAS / EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, in press, in press, 2009
1961. J.A. Ting, A. D'Souza, K. Yamamoto, T. Yoshioka, D.S. Hoffman DS, S. Kakei, Variational Bayesian least squares: An application to brain-machine interface data., Neural Netw, 21, 1121-1131, 2008
1962. S. Kakei, Cerebellar mossy fibers provide precise copies of cortical motor commands., XXV Barany Society Meeting, Kyoto, April 2008, 2008
1963. S. Kakei, Gain modulation and wrist motor control: from agonist selection to sensorimotor transformation., Neuroscience Seminar, Johns Hopkins University, Baltimore MD, Nov. 2008, 2008
1964. S. Tomatsu, Y. Tsunoda, S. Kakei, Temporal patterns of Golgi cell activities for execution of wrist movements in monkeys., 38th Annual Meeting of the Society for Neuroscience, Washington DC, (2008年11月), 2008
1965. Y. Tsunoda, S. Kakei, Reaction time reflects anticipation of events in a simple reaction time task in the monkey., 38th Annual Meeting of the Society for Neuroscience, Washington DC, (2008年11月), 2008
1966. S. Kakei, Cerebellar mossy fibers provide precise copies of cortical motor commands., 第３１回日本神経科学学会大会, 東京 (2008年7月), 2008
1967. 筧 慎治, 手首運動に関する運動指令生成のアルゴリズムと小脳皮質内部モデルの入出力, 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究研究会「動物の運動制御に関する研究討論会」, 東北大学電気通信研究所 2008年12月, 2008
1968. 筧 慎治, 小脳および基底核疾患における適応・制御異常の航空間での定量的評価, 移動知ワークショップ「移動知の新展開」 東京大学 2008年4月, 2008
1969. S. Tomatsu, S. Kakei, Golgi cell activities for execution of wrist movements., 第３１回日本神経科学学会大会, 東京 (2008年7月), 2008
1970. Y. Tsunoda, S. Kakei, Anticipation of a behaviorally relevant event in a delayed wrist movement task of macaques., 第３１回日本神経科学学会大会, 東京 (2008年7月), 2008
1971. J. Lee, Y. Kagamihara, S. Kakei, Quantitative evaluation of motor commands in Parkinson's disease and cerebellar patients., 第３１回日本神経科学学会大会, 東京 (2008年7月), 2008
1972. 筧 慎治, 李 鍾昊, 鏡原康裕, 手首運動を利用した定量的異常運動解析システムの改良と応用：第2報, 第24回随意運動の調節機構とその病態生理研究会, 東北文化学園大学, 仙台 (2008年9月), 2008
1973. 李 鍾昊, 筧 慎治, 表面筋電信号に基づいた神経疾患における運動機能の定量的評価に関する研究, 第２回 Motor Control 研究会, 岡崎コンファレンスセンター, (2008年5月), 2008
1974. 戸嶋彩花, 筧慎治, 手首運動における小脳Golgi細胞の活動と役割, 第２回 Motor Control 研究会, 岡崎コンファレンスセンター, (2008年5月), 2008
1975. 田中悟志, 花川隆, 本田学, 達人の脳内機構, BRAIN and NERVE 一神経研究の進歩, 60, 3, 257-262, 2008
1976. 花川隆, 基礎と認知, 分子精神医学, 8, 4, 41-47, 2008
1977. 本田学, 花川隆, 田中悟志, 思考の基盤となる脳内情報操作の神経機構, シリーズ脳科学 第３巻 言語と思考を生む脳, 甘利俊一 監修 入来篤史 編, 東京大学出版会, 東京, 210-220, 2008
1978. Hanakawa T, Dimyan MA, Hallett M, The representation of blinking movement in cingulate motor areas: a functional magnetic resonance imaging study., Cerebral Cortex, 18, 4, 930-937, 2008
1979. Iseki K, Hanakawa T, Shinozaki J, Nankaku M, Fukuyama H, Neural mechanisms involved in observation and imagery of gait movement., Neuroimage, 41, 3, 1021-1031, 2008
1980. Hanakawa T, Dimyan MA, Hallett M, Motor planning, imagery and execution: a time-course study with functional MRI., Cerebral Cortex, 18, 12, 2775-2788, 2008
1981. Namiki C, Yamada M, Yoshida H, Hanakawa T, Fukuyama H, Murai T, High resolution MRI revealed small orbitofrontal traumatic lesions responsible for behavioral changes, Neurocase, 14, 6, 474-479, 2008
1982. Yamamoto T, Takahashi S, Hanakawa T, Urayama S, Fukuyama H, Ejima Y, The stereokinetic effect reveals different roles of the lateral occipito-temporal and parietal cortex for 3-D perception from motion: An fMRI study, Journal of Vision, 8, 10:14, 1-17, 2008
1983. Lerner A, Bagic A, Hanakawa T, Boudreau EA, Pagan F, Mari Z, Bara-Jimenez W, Aksu M, Sato S, Murphy DL, Hallett M, Is the insula responsible for suppression of natural urges?, Cerebral Cortex, 19, 1, 218-223, 2009
1984. Matsumoto R, Okada T, Mikuni N, Mitsueda T, Taki J, Sawamoto N, Hanakawa T, Miki Y, Ikeda A, Hashimoto N, Fukuyama H, Takahashi R, Hemispheric asymmetry of the arcuate fasciculus in patients with unilateral language dominancy defined by Wada test., Journal of Neurology, 255, 11, 1703-11, 2008
1985. Tsubomi H, Ikeda T, Hanakawa T, Hirose N, Fukuyama H, Osaka N, Parieto-occipital connectivity predicts top-down attentional effect in visual masking: an fMRI study with individual differences approach, Neuroimage, in press
1986. Toda H, Sawamoto N, Hanakawa T, Saiki H, Matsumoto S, Okumura R, M, Ishikawa M, Fukuyama H, Hashimoto N, A novel composite targeting method using high-field magnetic resonance imaging for subthalamic nucleus deep brain stimulation, Journal of Neurosurgery, in press
1987. Abe M, Hanakawa T, Functional coupling underlying motor and cognitive functions of the dorsal premotor cortex, Behavioural Brain Research, 198, 1, 13-23, 2009
1988. Hanakawa T, Mima T, Matsumoto R, Abe M, Inouchi M, Urayama S, Anami K, Honda M, Fukuyama H, Stimulus-response profile during single-pulse transcranial magnetic stimulation to the primary motor cortex, Cerebral Cortex, in press
1989. Hanakawa T, Hallett M, Parallel basal ganglia-frontal cortical loops for the control of motor and cognitive agility, Neuroscience 2008, Online, 2008
1990. Shitara H, Hanakawa T, Shinozaki T, Takagishi K, Honda M, Simultaneous measurement of fMRI, TMS and EMG with stepping stone sampling method, 14th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping, Online, 2008
1991. Tanaka S, Honda M, Hanakawa T, Cohen LG, Consolidation of motor memories encoded by different practice schedules, 14th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping, Online, 2008
1992. HanakawaT, Hosoda C, Honda M., Does mental rotation of hands and feet involve somatotopically organized brain regions?, 14th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping, Online, 2008
1993. Hosoda C, Hanakawa T, Nariai T, Ohno K, Honda M, Substrates of Switching of Phonology between the First and Second Languages, 14th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping, Online, 2008
1994. Matsumoto R, Sawamoto N, Urayama S, Mikuni N, Hanakawa T, Behrens T, Ikeda A, Takahashi R, Fukuyama H, In vivo tract tracing of cortico-cortical connections in humans: a combined study of CCEP and probabilistic diffusion tractography, 14th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping, Online, 2008
1995. 花川隆, Mark Hallett, 運動実行・認知処理遂行に関わる基底核皮質活動, 第２回生理学研究所Motor Control研究会, 2008
1996. 設楽仁, 花川隆, 本田学, 磁気共鳴機能画像(fMRI), 筋電図(EMG), 経共鳴機能画像(fMRI), 筋電図(EMG), 経頭蓋磁気刺激(TMS)の同時記録に関する基礎的検討, 第２回生理学研究所Motor Control 研究会, 2008
1997. 細田千尋, 花川隆, 系列指運動課題セットの切り替えに関わる脳活動, 第２回生理学研究所 Motor Control 研究会, 2008
1998. 設楽仁, 花川隆, 篠崎哲也, 高岸憲二, 本田学, fMRI-TMS-EMG 同時記測システムを用いた運動強度と脳活動の関係解明, 臨床神経生理学, 36, 5, 519, 2008
1999. 細田千尋, 花川隆, 成相直, 大野喜久郎, 本田学, 第一言語と第二言語の音韻切り替えのメカニズム, 臨床神経生理学, 36, 5, 518, 2008
2000. 設楽仁, 花川隆, 篠崎哲也, 高岸憲二, 本田学, 磁気共鳴機能画像(fMRI), 筋電図(EMG), 経頭蓋磁気刺激(TMS)の同時記測に関する基礎的検討, 日本整形外科学会雑誌, 82, 8, S1015, 2008
2001. 花川隆, 多モダリティイメージングによる脳領域間連関記測への アプローチ, 臨床神経生理学, 36, 5, 394, 2008
2002. 花川隆, めまいと前庭脊髄路系異常 病巣局在診断への貢献 歩行 中枢, Equilibrium Research, 67, 5, 380, 2008
2003. 花川隆, Mark Hallett, 運動・認知実行速度に関わる脳活動とその加齢性変化, 臨床神経学, 48, 12, 1134, 2008
2004. 設楽仁, 花川隆, 篠崎哲也, 高岸憲二, 本田学, Stepping stone sampling 法を用いた fMRI, TMS, EMG 同時計測, 第31回日本神経科学大会, 2008
2005. 細田千尋, 花川隆, 成相直, 大野喜久朗, 本田学, 第一言語と第二言語の音韻切り替えのメカニズム, 第31回日本神経科学大会, 2008
2006. 細田千尋, 花川隆, 成相直, 大野喜久朗, 本田学, 第一言語と第二言語の音韻切り替えのメカニズム, 第10回日本ヒト脳機能マッピング学会プログラム集, 55, 2008
2007. 花川隆, 脳機能イメージングによるヒト歩行・姿勢制御機構の解明, 第７回姿勢と歩行研究会抄録集, 44-47, 2008
2008. 花川隆, 行動制御における大脳基底核・皮質系の役割：脳機能イメージングからの知見, ROBOMEC2008：チュートリアル資料カテゴリーB, 15, 2008
2009. 青沼 仁志, 第4章：コントローラー 第3節昆虫の適応的行動選択, 昆虫ミメティクス―昆虫の設計に学ぶ (監修 下澤楯夫 鈴山孝彦) エヌ・ティー・エス企画, 445-455, 2008
2010. Ashikaga M., Sakura M., Kikuchi M., Hiraguchi T., Chiba R., Aonuma H. and Ota J., Establishment of social status without individual discrimination in the cricket, Adv. Robotics., in press, 2009
2011. Aonuma H., Kitamura Y., Niwa K., Ogawa H. and Oka K., Nitric oxide-cGMP signaling in the local circuit of the cricket abdominal nervous system, Neuroscience, 157, 749-761, 2008
2012. Okada R., Ikeno H., Aonuma H. and Ito E., Biological insights into robotics: Honeybee foraging behavior by waggle dance, Adv. Robotics., 22, 1665-1681, 2008
2013. Ishikawa Y., Aonuma H. and Miura T., Soldier-specific modification of the mandibular motor neurons in termites, PLoS ONE, 3, 7, e2617:1-8, 2008
2014. Yono O. and Aonuma H., Cholinergic neurotransmission from mechanosensory afferents to giant interneurons in the terminal abdominal ganglion of the cricket, Gryllus bimaculatus, Zool. Sci., 25, 517-525, 2008
2015. Funato T., Kurabayashi D., Nara M. and Aonuma H., Switching mechanism of sensor-motor coordination through oscillator network model, IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics - Part B, 38, 3, 764-770, 2008
2016. Okada R., Ikeno H., Sasayama N., Aonuma H., Kurabayashi D., and Ito E., The dance of the honeybee: how do they dance to transfer the food information effectively?, Acta Biol. Hung., 59, 157-162, 2008
2017. Sakura M., Hiraguchi T., Ohkawara K., and Aonuma H., The Compartment structures of the antennal lobe in the ant Aphaenogaster smythiesi japonica, Acta Biol. Hung., 59, 183-187, 2008
2018. Ikeno H., Kanzaki R., Aonuma H., Takahata M., Mizunami M., Yasuyama K., Matsui N., Yokohari F. and Usui S., Development of invertebrate brain platform: Management of research resources for invertebrate neuroscience and neuroethology, Proceedings of 14th International Conference on Neural Information Processing 2007: Part II, LNCS 4985, (Eds. Ishikawa M. et al.) Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 905-914, 2008
2019. Aonuma H., Modelling of social interaction dependent behavior selection in the cricket, Workshop on Dynamical Circuits in the Brain, 2008
2020. Ota J., Aonuma H., Asama H., Kawabata K. and Ashikaga M., Multidisciplinary contributions from neuroethology and engineering-Understanding experience dependent behavior selection in crickets, IROS2008, 54-59, 2008
2021. Aonuma H., Experience dependent behavior selection in the cricket, International Seminar: Evolutionary Studies in Behavioral Neuroscience, 2008
2022. Aonuma H. and Ota J., Synthetic neuronethological approach to understand experience dependent adaptive behavior in the cricket, The 4th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines, 2008
2023. Aonuma H., Murakami J. and Nagao T., Nitric oxide mediated biogenic amine system underlying agonistic behavior in the crickets, FENS2008, 2008
2024. Ashikaga M., Sakura M., Kikuchi M., Hiraguchi T., Chiba R., Ota J. and Aonuma H., Modeling of adaptive behavior of crickets in crowd, FENS2008, 2008
2025. Kawabata K., Fujiki T., Fujii T., Aonuma H., Ikemoto Y., Ashikaga M., Ota J., Suzuki T. and Asama H., Towards synthetic understanding of neural system of adaptive behavior selection in the fighting behavior of male crickets, FENS2008, 2008
2026. Aonuma H., Modelling of experience dependent behavior - Fighting among male crickets, International Conference for Nonlinear Sciences SAPPORO WINTER SCHOOL, 2009
2027. 青沼 仁志, 佐倉 緑, 足利 昌俊, 藤木 智久, 藤井 喬, 川端 邦明, 太田 順, 澄間 一, 昆虫の社会的経験にもとづく行動選択のモデル化, 第18回インテリジェント・システム・シンポジウム, 305-310, 2008
2028. 青沼 仁志, 太田 順, コオロギの社会的経験による行動の発現と切り替え―行動のモデル化―, 無脊椎動物神経生物学研究会, 2008
2029. 岡田 龍一, 池野 英利, 木村 敏文, 大橋 瑞江, 青沼 仁志, 伊藤 悦朗, ミツバチの８の字ダンスにおける巣内でのダンスバチと追従バチの行動パターン, 無脊椎動物神経生物学研究会, 2008
2030. 水野 達也, 佐倉 緑, 足利 昌俊, 青沼 仁志, 太田 順, ハンディキャップコオロギを用いたコオロギの内部メカニズムの解明, 無脊椎動物神経生物学研究会, 2008
2031. 佐倉 緑, 輿経 篤史, 青沼 仁志, クロコオロギの攻撃行動発現における一酸化窒素シグナル系の関与, 日本動物学会第79回大会, 2008
2032. 岡田 龍一, 池野 英利, 木村 敏文, 大橋 瑞江, 青沼 仁志, 伊藤 悦朗, 巣内での追従バチの行動パターン, 日本動物学会第79回大会, 2008
2033. 藤井 喬, 川端邦明, 青沼仁志, 足利昌俊, 太田 順, 鈴木剛, 澄間 一, コオロギの適応的行動選択モデルに関する研究―触角感覚調節機構のモデル化―, ロボティクス・メカトロニクス講演会08 講演論文集, 2P1-B19, 2008
2034. 舩戸 徹郎, 奈良 維仁, 倉林 大輔, 青沼 仁志, 足利 昌俊, 振動子網を用いた昆虫規範ロボット群の挙動分化, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2008
2035. 足利昌俊, 佐倉 緑, 菊地美香, 平口鉄太郎, 千葉龍介, 青沼仁志, 太田順, コオロギ群における社会的順位形成過程のモデル化, 第21回自律分散システムシンポジウム, 2008
2036. 水野達也, 佐倉緑, 足利昌俊, 青沼仁志, 太田順, ハンディキャップコオロギを用いたコオロギの攻撃行動発現機構のモデル化, 第21回自律分散システムシンポジウム, 2008
2037. 藤井 喬, 川端邦明, 青沼仁志, 鈴木 剛, 足利昌俊, 太田 順, 澄間 一, クロコオロギの行動選択機構のモデリングに関する研究 -触覚行動実験による神経回路構造モデルの考察-, 第14回ロボティクスシンポジア講演予稿集, 採択, 2009
2038. 寺林賢司, 宮田なつき, 河内まき子, 持丸正明, 太田 順, 異なる大きさの手の体験可能性検証と視覚遅延の影響, 画像電子学会誌, 37, 1, 41-49, 2008
2039. 金指 央樹, 宮田 なつき, 新井 民夫, 千葉龍介, 太田 順, 上肢作業姿勢生成のための評価関数推定―コネクタ差し込み姿勢の評価関数―, 精密工学会誌, 74, 12, 1335-1340, 2008
2040. Norisuke Fujii and Jun Ota, Rearrangement Task by Multiple Mobile Robots with Efficient Calculation of Task Constraints, Advanced Robotics, 22, 2-3, 191-213, 2008
2041. Kenji Terabayashi, Natsuki Miyata and Jun Ota, Grasp Strategy when Experiencing Hands of Various Sizes, International Journal on Human-Computer Interaction, I, 4, 55-74, 2008
2042. K. Nakajima, S. Morishita, T. Kazawa, R. Kanzaki, K. Kawabata, H. Asama, T. Mishima, Interpolation of binarized CLSM images for extraction of premotor neuron branch structures in silkworm moth, Sensor Review, in printing, 2008
2043. Yusuke Ikemoto, Shingo Suzuki, Hiroyuki Okamoto, Hiroki Murakami, Hajime Asama, Soichiro Morishita, Taketoshi Mishima, Xin Lin, Hideo Itoh, Force sensor system for structural health monitoring using passive RFID tags, Sensor Review, in printing, 2009
2044. J. Ota, H. Aonuma, H. Asama, K. Kawabata, Modeling of Adaptive Mechanism in Crickets by Means of Constructive Approach, Workshop/Tutorial Proceedings of International Conference on Intelligent Robots and Systems, 5, 988-991, 2008
2045. Yewguan Soo, Masao Sugi, Hiroshi Yokoi, Tamio Arai, Tatsuhiro Nakamura, Rulin Du and Jun Ota, The Relationship between Changes in Amplitute and Instantaneous Mean Frequency at Low and High Frequency Bands during Dynamic Contraction, Proceedings of the 2nd Int. Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, 02-06-04, 1-4, 2008
2046. Yewguan Soo, Masao Sugi, Hiroshi Yokoi, Tamio Arai, Rulin Du and Jun Ota, Simultaneous Measurement of Force and Muscle Fatigue using Frequency-band Wavelet Analysis, Proceedings of 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 5045-5048, 2008
2047. Ashikaga, M., Sakura, M., Kikuchi, M., Hiraguchi, T., Chiba, R., Ota, J., and Aonuma, H., Modeling of Adaptive Behavior of Crickets in a Crowd, 6th Forum of European Neuroscience Abstract Book (FENS Forum Abstracts), 4, 226.2, 2008
2048. Hitoshi Aonuma, Modori Sakura, Mika Kikuchi, Masatoshi Ashikaga and Jun Ota, Synthetic neuroethological approach of understanding neuronal mechanisms of social adaptive behavior of crickets, Prepr. 10th RIES-Hokudai International Symposium on aya, 71-72, 2008
2049. M. Otake, T. Takagi, H. Asama, Open Brain Simulator Estimating Internal State of Human through External Observation towards Human Biomechatronics, Proc. 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2008

2050. M. Murabayashi, Y. Ikemoto, M. Otake, T. Maeda, M. Kato, H. Asama, Analysis of the Sense of Agency using a Tactile Device, 17th CISM-IFToMM Symposium on Robot Design, Dynamics, and Control, 2008

2051. Y. Ikemoto, S. Suzuki, H. Okamoto, H. Murakami, X. Lin, H. Itoh, H. Asama, Monitoring using Passive RFID Tags for Structural Health Monitoring, 2nd IEEE International Interdisciplinary Conference on Portable Information Devices, 2008

2052. M. Ikeda, Y. Ikemoto, T. Miura, H. Asama, A Termite Internal State Model for Elucidating Caste Differentiation, 2008 SICE Annual Conference, 142-145, 2008

2053. K. Nakajima, S. Morishita, T. Kazawa, R. Kanzaki, H. Asama, T. Mishima, Interpolation of the Cross-sectional Area of a Premotor Neuron in a Silkworm Moth Brain using the Ellipse Model, 2008 IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems, 2008

2054. S. Yano, Y. Ikemoto, H. Aonuma, T. Nagao, H. Asama, Modeling of self-organized competition hierarchy with body weight development in larval cricket, Gryllus bimaculatus, Preprints 9th International Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems, 2008

2055. Q. An, Y. Ikemoto, H. Asama, H. Matsuoka, D. Chugo, K. Takakusaki, Extraction of Behavior Primitives in Human Standing-Up Motion for Development of Power Assisting Machine, 2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, 2009

2056. 藤井 喬, 川端邦明, 青沼仁志, 鈴木剛, 澤間 一, コオロギの適応的行動選択モデルに関する研究:触角感度を考慮したコオロギの行動選択メカニズムのモデル化, 第3回神経知シンポジウム・ポスターセッション, 627-628, 2008

2057. 川端邦明, クロコオロギ行動選択の神経機構の構成論的理解に向けて, 平成20年度無脊椎動物神経生物研究会資料, 7, 2008

2058. 井上 麗子, 藤井 紀輔, 高野 龍扶, 太田 順, マルチタスクロボットによる多数物体輸送作業の実現, 第20回自律分散システムシンポジウム資料, 221-224, 2008

2059. 足利 昌俊, 菊地 美香, 平口 鉄太郎, 佐倉 緑, 千葉 龍介, 青沼 仁志, 太田 順, クロコオロギにおける他者識別能力の解析, 第20回自律分散システムシンポジウム資料, 325-330, 2008

2060. 橋本 素直, 千葉 龍介, 加沢 知毅, 神崎 亮平, 太田 順, 進化的計算を用いたカイコガLAL神経回路ネットワークの推定, 第20回自律分散システムシンポジウム資料, 349-352, 2008

2061. 青沼 仁志, 太田 順, 昆虫の社会行動のモデル化—コオロギの闘争行動, 平成20年度無脊椎動物神経生物研究会, 5, 2008

2062. 藤井紀輔, 井上麗子, 武部芳弘, 太田順, 問題分割手法を用いた群ロボットによる多数物体再配置問題, 日本ロボット学会第26回学術講演会予稿集, RSJ2008AC3C02-02, 1-2, 2008

2063. 井上麗子, 藤井紀輔, 高野龍扶, 太田順, マルチタスク機能を有するロボット群による多数物体輸送作業の実現, 日本ロボット学会第26回学術講演会予稿集, RSJ2008AC3C03-05, 1-4, 2008

2064. 大武美保子, 高木利久, 澤間 一, オープンブレインシミュレータの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2008, 2P2-I19(1)-(2), 2008

2065. 池田雅紀, 池本有助, 三浦 徹, 澤間 一, シロアリのカースト分化モデルと環境適応, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008, 2P2-I22(1)-(4), 2008

2066. 村林正堂, 池本有助, 大武美保子, 前田貴記, 加藤元一郎, 澤間 一, 触感覚有無が自他帰属性に与える影響に関する研究, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2008, 2P2-I23(1)-(4), 2008

2067. 池本有助, 三浦 徹, 澤間 一, シロアリの分業行動における幼若ホルモンの役割解明のための数理モデルからのアプローチ, 第18回インテリジェント・システム・シンポジウム, 299-304, 2008

2068. 仲居雅明, 澤間 一, 大武美保子, 運動の特徴を提示可能なトレーニングシステムの開発, 第18回インテリジェント・システム・シンポジウム, 519-520, 2008

2069. 大武美保子, 中本周平, 加藤元一郎, 澤間 一, 共想法における記憶課題による会話のテーマの評価, 第18回インテリジェント・システム・シンポジウム, 525-526, 2008

2070. 村林正堂, 池本有助, 大武美保子, 前田貴記, 加藤元一郎, 澤間 一, 行動開始時点での表面筋電位の立ち上がりがSense of Agencyに与える影響, 第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2008

2071. 安琪, 松岡洋樹, 池本有助, 中後大輔, 高草木薫, 澤間 一, 人の起立における動作プリミティブの役割, 第21回計測自動制御学会自律分散 システムシンポジウム, 2009

2072. 神崎亮平, 安藤規泰, 櫻井健志, 加沢知毅, 遺伝子・ニューロン・神経回路・ロボットで見る昆虫行動, 可視化情報学会誌, 28, 117-124, 2008

2073. Tetsuro Funato, Daisuke Kurabayashi, Network Structure for Control of Coupled Multiple Non-Linear Oscillators, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics - Part B, 38, 3, 675-681, 2008

2074. Herianto, Toshiki Sakakibara, Tomoaki Koiwa, Daisuke Kurabayashi, Realization of Pheromone Potential Field for Autonomous Navigation by Radio Frequency Identification, Advanced Robotics, 22, 1461-1478, 2008

2075. Tomoki Kazawa, Hidetoshi Ikeno, Ryohei Kanzaki, Development and application of a neuroinformatics environment for neuroscience and neuroethology, Neural Networks, 21, 8, 1047-1055, 2008

2076. Kanako Nakajima, Taketoshi Mishima, Soichiro Morishita, Hajime Asama, Tomoki Kazawa, Ryohei Kanzaki, Kuniaki Kawabata, Interpolation of binarized images for form reconstruction of a neuron, Sensor Review, in press

2077. Tomoko Yamagata, Takeshi Sakurai, Keiro Uchino, Hideki Sezutsu, Toshiki Tamura, Ryohei Kanzaki, GFP labeling of neurosecretory cells with the GAL4/UAS system in the silkmoth brain enables selective intracellular staining of neurons, Zoological Science, 25, 5, 509-516, 2008

2078. Shigehiro Namiki, Ryohei Kanzaki, Reconstructing the population activity of olfactory output neurons that innervate identifiable processing units, Frontiers in Neural Circuits 2:1, 2, 1, 1-11, 2008

2079. Shigehiro Namiki, Satoshi Iwabuchi, Ryohei Kanzaki, Representation of a mixture of pheromone and host plant odor by antennal lobe interneurons of the silkmoth Bombyx mori, Journal of Comparative physiology A, 194, 501-515, 2008

2080. Tomoki Kazawa, Shigehiro Namiki, Ryota Fukushima, Mitsuhiro Terada, Kajin Soo, Ryohei Kanzaki, Constancy and variability of glomerular organization in the antennal lobe of the silkmoth, Cell and Tissue Research, accepted, accepted

2081. Ryota Fukushima, Ryohei Kanzaki, Modular subdivision of mushroom bodies by kenyon cells in the silkmoth, Journal of Comparative Neurology, 513, 315-330, 2008

2082. Masaaki Iwano, Evan S. Hill, Akio Mori, Tatsuya Mishima, Tsuneko Kumagai, Kei Ito, Ryohei Kanzaki, Generation mechanism of flip-flop activity in the lateral accessory lobe and ventral protocerebrum of the insect brain, Journal of Comparative Neurology, accepted

2083. Ryohei Kanzaki, Noriyasu Ando, Takeshi Sakurai, Tomoki Kazawa, Understanding and reconstruction of the mobiligence of insects employing multiscale biological approaches and robotics, Advanced Robotics, 22, 1605-1628, 2008

2084. Takuro Moriyama and Daisuke Kurabayashi, An Oscillator Network with a Temporary Memory Function, IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (accepted, to be appeared), 2009

2085. Daisuke Kurabayashi, Tatsuki Choh, Jia Cheng, Tetsuro Funato, Adaptive Formation Transition among a Mobile Robot Group based on Phase Gradient, IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (accepted, to be appeared), 2009

2086. Herianto, Toshiki Sakakibara, Daisuke Kurabayashi, Realization of an Artificial Pheromone System by using Random Data Carriers for Navigation of Autonomous Robots, 5th International Conference on Uniquitous Robots and Ambient Intelligence, 329-334, 2008

2087. Ryohei Kanzaki, Insect-Machine Hybrid System for Understanding and Evaluating the Motor Control by Sex Pheromone in Bombyx mori, Janelia Farm Conference, 2008

2088. Ryohei Kanzaki, Insect-Machine Hybrid System for Understanding an Adaptive behavior, The 10th International Conference on the Simulation of Adaptive Behavior (SAB'08), 2008

2089. Kamiura N, Urata H, Saitoh A, Isokawa T, Ikeno H, Matsui N, Seki Y, Kanzaki R, On-map based classification of insect neurons using three-dimensional quantification, SMC 2008, 2008

2090. Nakajima K, Asama H, Kanzaki R, Mishima T, Interpolation of the cross-sectional surface of a single neuron using the ellipse model, IAS10, 2008

2091. Kurabayashi D, Kanzaki R, Minegishi R, Takashima A, Torihara S, Bio-machine fusion system: novel synthetic methodology to investigate adaptive behaviors of insects, IROS Workshop, 2008

2092. Noriyasu Ando, Shuhei Emoto, Hirokazu Takahashi, Ryohei Kanzaki, Adaptability of pheromone tracking behavior of the silkmoth revealed by the insect-controlled robot, AMAM 2008 conference abstract, 60-61, 2008

2093. Ryo Minegishi, Shigeru Torihara, Daisuke Kurabayashi, Ryohei Kanzaki, Construction of a brain-machine fusion system to evaluate adaptability in an insect, AMAM 2008 conference abstract, 131-132, 2008

2094. Ryohei Kanzaki, Insect-Machine Hybrid System for Understanding an Adaptive Control in Biological Systems, AMAM 2008 conference abstract, 24-25, 2008

2095. Takeshi Sakurai, Hidefumi Mitsuno, Keiro Uchino, Hideki Sezutsu, Toshiki Tamura, Fumio Yokohari, Takaaki Nishioka, Ryohei Kanzaki, Activation of bombykol receptor neurons by ectopically expressed olfactory receptor triggers pheromone searching behavior in male silkmoths, ISOT2008 conference abstrascts, 189, 2008

2096. Ryota Fukushima, Takeshi Sakurai, Keiro Uchino, Hideki Sezutsu, Toshiki Tamura, Ryohei Kanzaki, Anatomical and functional organization of Kenyon cells in the mushroom bodies of male Bombyx mori, ISOT2008 conference abstract, 95, 2008

2097. Ikuko Nishikawa, Masayoshi Nakamura, Yoshiki Igarashi, Tomoki Kazawa, Hidetoshi Ikeno, Ryohei Kanzaki, Neural network model of the lateral accessory lobe and ventral protocerebrum of Bombyx mori to generate the flip-flop activity, BMC Neuroscience, 9, Suppl 1, 23, 2008

2098. 高嶋享, 峯岸涼, 倉林大輔, 神崎亮平, 昆虫の脳を用いた自律移動型脳-機械融合系の実現, 第14回ロボティクス・シンポジア（採択済, 講演予定）, 2009

2099. 平口鉄太郎, 橋本純香, 倉林大輔, 適応行動発現を制御する振動情報と肢及び触角の運動, 第17回インテリジェント・システム・シンポジウム, 313-314, 2008

2100. 瀬古圭介, 倉林大輔, 船戸徹郎, 振動子網を用いた生物規範型視覚情報処理モデル, 第２６回日本ロボット学会学術講演会, 3A3-02, 2008

2101. 森山祐郎, 船戸徹郎, 倉林大輔, 振動子網による一時記憶機構の実現, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2P2-I16, 2008

2102. 奈良維二, 船戸徹郎, 倉林大輔, 足利昌俊, 青沼仁志, 森山祐郎, 振動子網を用いた行動切替によるロボット群の挙動分化, 第13回ロボティクス・シンポジア, 338-343, 2008

2103. 藤原輝史, 加沢知毅, S. Shuichi Haupt, 福島亮太, 神崎亮平, 昆虫の複数の単一神経細胞の構造分析を可能とするCa2+イメージング, Bioimages （第17回日本バイオイメージング学会学術集会）, 2008

2104. Masashi Tabuchi, Takeshi Sakurai, Hidefumi Mitsuno, Ryo Minegishi, Shuichi S. Haupt, Takahiro Shiotsuki, Keiro Uchino, Hideki Sezutsu, Toshiki Tamura, Kei Nakatani, Ryohei Kanzaki, Millisecond Photoactivation of Bombykol Receptor Neurons Expressing Channelrhodopsin-2 Triggers Pheromone Searching Behavior in Male Silkmoths, 脳と心のメカニズム 第9回冬のワークショップ, P-16, 2009

2105. 神崎亮平, 昆虫ー機械融合システムによる適応行動の評価と理解, 第31回日本神経科学大会, 2008

2106. 藤原輝史, 加沢知毅, Stepan S. Haupt, 福島亮太, 神崎亮平, 電気穿孔法による昆虫の単一神経細胞群のカルシウムイメージング, 電気学会研究会資料 医用・生体工学研究会, 1-6, 2008

2107. 藤原輝史, 加沢知毅, Stepan S. Haupt, 福島亮太, 神崎亮平, 電気穿孔法による昆虫触角葉の複数の単一神経細胞 Ca2+イメージング, Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 151, 4, 447, 2008

2108. 安藤規泰, 江本周平, 高橋宏知, 神崎亮平 , 昆虫操縦型ロボットを用いたカイコガフェロモン源定位行動の適応性の評価, Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 151, 4, 452, 2008

2109. 峯岸涼, 高嶋享, 倉林大輔, 山岸宏, 神崎亮平, 脳-機械融合システムを用いた昆虫の環境適応能の研究, Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 151, 4, 441, 2008

2110. 神崎亮平, 昆虫とロボットで探る脳, Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 151, 4, 447-448, 2008

2111. 五十嵐吉輝, 西川郁子, 加沢知毅, 池野英利, 神崎亮平, カイコガ前運動中枢のモデル化とシミュレーションによる行動発現メカニズムの解明, 第14回創発システムシンポジウム, 2008

2112. 五十嵐吉輝, 西川郁子, 加沢知毅, 池野英利, 神崎亮平, カイコガ前運動中枢のモデル化とシミュレーション, 第27回日本シミュレーション学会, 2008

2113. 勝又聡一郎, 安藤規泰, 神崎亮平, 昆虫匂い源探索アルゴリズム評価のための小型大気イオン源探索ロボット, 第26回日本ロボット学会学術講演会予稿集, RSJ2008AC3H1-02, 2008

2114. Suehiro Y*, Yasuda A*, Okuyama, Imada H, Kuroyanagi, Y, Kubo T, Takeuchi H:†(2009) †corresponding author. *equal contribution, Mass spectrometric map of neuropeptide expression and analysis of the g-prepro-tachykinin gene expression in the medaka (Oryzias latipes) brain, Gen. Comp. Endocrinol., in press, 2008

2115. Nakaoka T, Takeuchi H† and Kubo T. †corresponding author., Laying workers in queenless honeybee (Apis mellifera L.) colonies have a physiologic state similar to that of nurse bees but opposite that of foragers, J. Insect. Physiol., 54, 806-812, 2008

2116. Comette R, Koshikawa S, Miura T, Histology of the hormone-producing glands in the damp-wood termite Hodotermopsis sjostedti (Isoptera, Termopsidae): A focus on soldier differentiation., Insectes Sociaux, 55, 2008

2117. Ishikawa Y, Aonuma H, Miura T, Soldier-specific modification of the mandibular motor neurons in termites., PLoS ONE, 3, 7, e2617, 2008

2118. Goto H, Comette R, Koshikawa S, Miura T, Effects of precocenes on the corpora allata and the JH titer in the damp-wood termite Hodotermopsis sjostedti (Isoptera: Termopsidae)., Sociobiology, 52, 345-356, 2008

2119. Koshikawa S, Miyazaki S, Comette R, Matsumoto T, Miura T, Genome size of termites (Insecta, Dictyoptera, Isoptera) and wood roaches (Insecta, Dictyoptera, Cryptocercidae)., Naturwissenschaften, 95, 859-867, 2008

2120. Maekawa K, Mizuno S, Koshikawa S, Miura T, Compound eye development during caste differentiation of the termite Reticulitermes speratus (Isoptera: Rhinotermitidae)., Zoological Science, 25, 699-705, 2008

2121. Comette R, Gotoh H, Koshikawa S, Miura T, Juvenile hormone titers and caste differentiation in the damp-wood termite Hodotermopsis sjostedti (Isoptera, Termopsidae)., Journal of Insect Physiology, 54, 922-930, 2008

2122. Ishikawa A, Hongo S, Miura T, Morphological and histological examination of polyphenic wing formation in the pea aphid Acyrthosiphon pisum (Hemiptera, Hexapoda)., Zoomorphology, 127, 121-133, 2008

2123. Fujita A, Miura T, Matsumoto T, Differences in cellulose digestive systems among castes in two termite lineages., Physiological Entomology, 33, 73-82, 2008

2124. Takeuchi H., "Analysis of Social Interactions Using Adult Medaka Fish", Common Themes and New Concepts in Sensory Formation, The 18th CDB Meeting., 2009

2125. Takeuchi H., Analysis of Social Interactions Using Adult Medaka Fish, The 54th NIBB Conference, New Frontiers for the Medaka Model, Genome, Bioresources and Biology, 2008

2126. Suehiro Y, Okuyama T, Imada H, Shimada A, Nakuru K, Takeda H, Kubo T and Takeuchi H, Modeling and molecular genetic analysis of neural mechanism for the optomotor response of the medaka fish, The 38th annual meeting of the Society for Neuroscience (Washington, DC), 2008

2127. Okuyama T, Suehiro Y, Imada H, Shimada A, Naruse K, Takeda H, Kubo T and Takeuchi H., Analysis of the molecular and neural bases that underlie sexual preference in the small Medaka fish, UCSF Neuroscience retreat（Asilomar Conference Grounds）, 2008

2128. Okuyama T, Suehiro Y, Imada H, Shimada A, Naruse K, Takeda H, Kubo T and Takeuchi H., Analysis of the molecular and neural bases that underlie sexual preference in the small Medaka fish, NASA Ames Research Center セミナー（Lynn Rothschild Lab., NASA Ames Research Center ）, 2008

2129. Okuyama T, Suehiro Y, Imada H, Shimada A, Naruse K, Takeda H, Kubo T and Takeuchi H, Modulation of Female mating receptiveness depending on visual information, using small fish medaka, Society for Neuroscience 2008 meeting（Washington D.C.）, 2008

2130. Miura T, Social evolution by gene duplication: soldier-specific lipocalin proteins and social communication in termites., Evolution 09, 67

2131. Miura T, Okumura Y, Nakagawa Y, Ishikawa A, Regulations of polyphenic wing development in the vetch aphid Megoura crassicauda: morphogenesis, tradeoffs and gene expressions., Pea Aphid Genome Annotation Workshop I: Workshop Program, 32

2132. Miura T, Ishikawa A, Brisson J, Jaubert S, Rispe C, Tagu D, Walsh T, Gene annotation for the endocrinological factors in the pea aphid Acyrthosiphon pisum., Pea Aphid Genome Annotation Workshop I: Workshop Program, 32

2133. Okada Y., Tsuji K. and Miura T., Molecular and physiological aspects of behavioral-caste differentiation in the ponerine ant Diacamma sp., Proceedings of 4th European Meeting of IUSSI, 166

2134. Takeuchi H., Analysis of information processing and neural/ molecular basis underlying adaptive behaviors (optomotor response and coordinated behavior) of small fish, 第18回インテリジェント・システム・シンポジウム, 2008

2135. 末廣 勇司, 奥山輝大, 今田はるか, 島田敦子, 成瀬清, 武田洋幸, 久保健雄, 竹内秀明, メダカの視運動反応の情報処理過程とその神経基盤の解析, 第18回インテリジェント・システム・シンポジウム (広島), 2008

2136. 末廣 勇司, 安田明和, 奥山輝大, 今田はるか, 島田敦子, 成瀬清, 武田洋幸, 久保健雄, 竹内秀明, 分子生物学的手法と数理モデルを併用した小型魚類の視運動反応の解析, 第 31 回日本分子生物学会年会・第81回日本生化学会大会 合同大会 (神戸), 2008

2137. Okuyama T, Suehiro Y, Imada H, Shimada A, Naruse K, Takeda H, Kubo T and Takeuchi H., Mating acceptance of medaka depending on visual information and analysis of the neural basis, 理研CDB シンポジウム2008 Turning Neurons into a Nervous System（理研CDB）, 2008

2138. Okuyama T, Suehiro Y, Imada H, Shimada A, Naruse K, Takeda H, Kubo T and Takeuchi H., メダカにおける視覚情報依存的な交尾の受け入れとその神経基盤の解析, 41st Annual Meeting of JSDB（日本発生生物学会 徳島大学）, 2008

2139. 畔柳 佳子, 今田 はるか, 末廣 勇司, 奥山 輝大, 島田 敦子, 武田 洋幸, 久保 健雄, 竹内 秀明, メダカにおいて神経新生が生じる脳領域の同定及び生育環境・系統との関連の解析, 日本動物学会第79回大会 （福岡大学キャンパス）, 2008

2140. 畔柳佳子, 今田はるか, 末廣勇司, 奥山輝大, 島田敦子, 武田洋幸, 久保健雄, 竹内秀明, メダカ成体において神経新生が生じる脳領域のマッピング及び生育環境・系統が神経新生に及ぼす影響の検討, 第31回日本分子生物学会年会・第81回日本生化学会大会合同大会 （神戸ポートアイランド）, 2008

2141. Okuyama T, Suehiro Y, Imada H, Shimada A, Naruse K, Takeda H, Kubo T and Takeuchi H., メダカを用いた視覚情報依存的な交尾の受け入れの神経・分子基盤の解析, 第31回日本分子生物学会年会・第81回日本生化学会大会合同大会 （神戸ポートアイランド）, 2008

2142. 今田はるか, 末廣勇司, 奥山輝大, 島田敦子, 成瀬清, 武田洋幸, 久保健雄, 竹内秀明, 視運動反応実験系を用いたメダカのschooling行動アッセイ系の開発, 第3回領域内シンポジウム（宮城県松島）, 2008

2143. 今田はるか, 末廣勇司, 奥山輝大, 島田敦子, 成瀬清, 武田洋幸, 久保健雄, 竹内秀明, 小型魚類の視運動反応実験系を用いた協調的行動の定量的解析, 日本動物学会第79回大会（福岡大学）, 2008

2144. 今田はるか, 末廣勇司, 奥山輝大, 島田敦子, 成瀬清, 武田洋幸, 久保健雄, 竹内秀明, 視運動反応実験系を用いた小型魚類schooling行動の定量的解析, 第14回小型魚類研究会（基礎生物学研究所）, 2008

2145. 今田はるか, 末廣勇司, 奥山輝大, 島田敦子, 成瀬清, 武田洋幸, 久保健雄, 竹内秀明, 小型魚類schooling行動の新規行動アッセイ系の確立, 第31回日本分子生物学会 (神戸ポートアイランド), 2008

2146. 三浦徹, 発生の可能性は, 進化可能性となりうるか?, 第10回日本進化学会大会プログラム・要旨集, 145

2147. 三浦徹, 社会性昆虫の卵とEvo-Devo の課題, 第24回個体群生態学会プログラム・講演要旨集, 17

2148. 後藤 寛貴・コルネット リシャー・越川 滋行・岡田 泰和・三浦 徹 , クワガタの大顎サイズに環境が与える影響とその発生学的背景について, 日本昆虫学会 第６８回大会 講演要旨 2008, 57

2149. 石川由希, 三浦徹, 兵隊シロアリの行動を決める遺伝子とは?, 第10回日本進化学会大会プログラム・要旨集, 65

2150. 石川麻乃, 三浦徹, アブラムシの表現型多型を制御する遺伝子群の網羅的解析, 第10回日本進化学会大会プログラム・要旨集, 78

2151. 石川麻乃, 三浦徹, アブラムシの表現型多型を制御する候補遺伝子群の探索, 社団法人 日本動物学会 第79回大会予稿集, 100

2152. Yoshikatsu Hayashi, Mai Yuki, Ken Sugawara, Tomonori Kikuchi and Kazuki Tsuji, Analysis and modeling of ants' behavior from single to multi-body, Journal of Artificial Life and Robotics, 120-123, 2008

2153. Kikuchi, T, Miuazaki, S., Ohnishi, S., Takahashi, J., Nakajima, Y., Tsuji, K, Small queens and big

headed workers in a monomorphic ponerine ant, Naturwissensaften, 95, 10, 963-968, 2008

2154. Suwabe, M., Ohnishi, H., Kikuchi, T., Tsuji, K., Seasonal and daily activity patterns of tramp and endemic ants in the northern forest of Okinawa Island, Ecological Research, doi:10.1007/s11284-008-0534-9, 2008
2155. Kikuchi, T., Nakagawa, T., Tsuji, K., Changes in relative importance of multiple social regulatory forces with colony size in the ant Diacamma sp. from Japan, Animal Behaviour, 76, 6, 2069-2077, 2008
2156. Dobata, S., Sasaki, T., Mori, H., Hasegawa, E., Shimada, M., Tsuji, K, Cheater genotypes in the parthenogenetic ant Pristomyrmex punctatus, Proceedings of the Royal Society of London, Series B, 276, 2, 567-574, 2009
2157. Ohtsuki, H., Tsuji, K., Adaptive reproduction schedule as a cause of worker policing in social Hymenoptera: a dynamic game analysis., The American Naturalist, in press, 2009
2158. Mai Yuki, Yoshikatsu Hayashi, Ken Sugawara, Analysis and Modeling of Diacamma workers' Behavior, Proc. of 14th Int. Symp. on Artificial Life and Robotics 2009, 2008
2159. 菅原 研, アリロボットが示す適応的行動と自律分散制御, 日本進化学会第 10 回東京大会要旨集, 155, 2008
2160. 八重樫和之, 林叔克, 菅原研, トゲオオハリアリの女王が示すパトロール行動解析とモデル化, 計測自動制御学会東北支部大会, 2008
2161. 結城麻衣, 林叔克, 菅原研, 少数の働きアリによる行動解析とモデル化 ートゲオオハリアリの行動解析ー, 計測自動制御学会東北支部大会, 2008
2162. 藤木悠里, 藤原直, 山岡亮平, 秋野順治, 辻和希, 日本産トゲオオハリアリにおける gamergate の認識と体表炭化水素との関係, 第 52 回日本応用動物昆虫学会大会 講演要旨集, 141, 2008
2163. 徳永琴音, 藤原直, 山岡亮平, 秋野順治, 辻和希, 日本産トゲオオハリアリの縦列行進維持フェロモン, 第 52 回日本応用動物昆虫学会大会 講演要旨集, 142, 2008
2164. 辻 和希, 菊地友則, 大西一志, 大槻久, アリｊのコロニーサイズ依存的自律分散制御機構の進化とポリシング, I 日本進化学会第 10 回 東京大会要旨集, 155, 2008
2165. 佐々木智基, 辻 和希, キイロヒメアリにおける完全単為生殖-低分散・局所適応仮説-, 第 52 回日本応用動物昆虫学会大会 講演要旨集, 125, 2008
2166. 林正幸, 佐々木智基, 辻 和希, キイロヒメアリ女王による栄養卵産卵, 第 52 回日本応用動物昆虫学会大会 講演要旨集, 124, 2008
2167. 菊地友則, 中川敞之, 辻 和希, アリは如何にしてコロニーの大きさを認識するのか, 第 52 回日本応用動物昆虫学会大会 講演要旨集, 125, 2008
2168. 下地博之, A, Sebastiean, 佐々木智基, 辻 和希, 日本産トゲオオハリアリ（Diacamma sp.）における産卵後 worker policing, 第 52 回日本応用動物昆虫学会大会 講演要旨集, 125, 2008
2169. 畑野俊貴, 辻 和希, シロオビアゲハにおけるベイツ型擬態の進化と性淘汰のコスト, 第 52 回日本応用動物昆虫学会大会 講演要旨集, 178, 2008
2170. 儀間朝宜, 辻 和希, ウスキシロチョウの相変異：幼虫の高密度化が与える幼虫・成虫形質への影響, 第 52 回日本応用動物昆虫学会大会 講演要旨集, 184, 2008
2171. 辻 和希, 外来アリはなぜ侵略的になるのか, 第 55 回日本生態学会大会講演要旨集, 90, 2008
2172. 菊地友則, 中川敞之, 辻 和希, アリは如何にしてコロニーの大きさを認識するのか, 第 55 回日本生態学会大会講演要旨集, 291, 2008
2173. 下地博之, A, Sebastiean, 佐々木智基, 辻 和希, トゲオオハリアリにおける産卵後 worker policing, 第 55 回日本生態学会大会講演要旨集, 289, 2008
2174. 儀間朝宜, 辻 和希, ウスキシロチョウにおける翅型決定要因と密度高価, 第 55 回日本生態学会大会講演要旨集, 458, 2008
2175. 森英章, 佐々木智基, 長谷川英祐, 土畑重人, 千葉聡, 辻 和希, 働かない働きアリの侵略アミメアリの種内社会寄生は２度進化した？, 第 55 回日本生態学会大会講演要旨集, 291, 2008
2176. 辻 和希, ブレイクスルーは個体群生態学にあり, 個体群生態学会第 24 回年次大会プログラム・講演要旨集, 16, 2008
2177. 伊澤栄一, 鳥類における大型脳について, 日本認知神経科学学会誌, 10, 3, 印刷中, 2009
2178. Ei-Ichi Izawa, Socio-cognitive ability of crows: an attempt cognitive neuroethology, International seminar 'Evolutionary studies in behavioural neuroscience', -, -, 33, 2008
2179. 高山文博, 櫻谷卓朗, 藤村彬, 岩崎麻衣, 堀田耕司, 岡浩太郎, 音刺激により誘発されるメスキンカチョウ海馬体神経活動のｐＨイメージング, 日本バイオイメージング学会 第１７回学術集会要旨集, 17, 2, 176-177, 2008
2180. 藤村彬, 岩崎麻衣, 高山文博, 堀田耕司, 岡浩太郎, 最初期遺伝子 Arc を用いた catFISH 法によるメスキンカチョウ神経活動の可視化, 日本バイオイメージング学会 第１７回学術集会要旨集, 17, 2, 232-233, 2008
2181. 伊澤栄一, 鳥類における大型脳と認知について , 第 13 回認知神経科学会学術集会要旨集, 10, 2, 178, 2008
2182. 伊澤栄一, カラスは飛ぶ霊長類か？：社会生態から見る認知機能, 日本比較生理生化学会第 30 回大会要旨集, -, -, 21, 2008
2183. 伊澤栄一・岡浩太郎, カラスにおける他者とその行為の理解, 第 18 回インテリジェント・システム・シンポジウム講演概要集, -, -, 13, 2008
2184. Ei-Ichi Izawa, Chemical neuroanatomy of the crow: do they have large prefrontal cortex?, NeuroscienceResearch(Neuro2008 要旨集), 61, S1, S141, 2008
2185. 加藤元一郎, アパシー（意欲障害）とは—精神科の立場から, 脳疾患によるアパシー（意欲障害）の臨床, 小林祥泰編集, 新興医学出版社, 9-16, 2008
2186. 加藤元一郎, 脳卒中感情障害（うつ・情動障害）スケール, 脳疾患によるアパシー（意欲障害）の臨床, 小林祥泰編集, 新興医学出版社, 39-49, 2008
2187. 生駒一憲, 加藤元一郎, アパシー（意欲障害）の客観的評価, 脳疾患によるアパシー（意欲障害）の臨床, 小林祥泰編集, 新興医学出版社, 101-106, 2008
2188. 加藤元一郎, ＡＤＨＤの脳機能画像所見について, 子どもの注意欠陥・多動性障害（ADHD）の診断・治療ガイドライン, 斎藤万比古, 渡部京太編集, じほう, 65-68, 2008
2189. 森山泰, 村松太郎, 加藤元一郎, 秋山知子, 仲地良子, 三村將, 鹿島晴雄, アルツハイマー型認知症における表情認知と精神症状・行動障害との関連について, 臨床精神医学, 37, 315-320, 2008
2190. 船山道隆, 加藤元一郎, 三村 將, 地理的定位錯誤から重複記憶錯誤に発展した右前頭葉出血の１例 ～重複記憶錯誤の成立過程について～, 高次脳機能研究, 28, 4, 383-391, 2008
2191. 斎藤文恵, 加藤元一郎, 村松太郎, 藤永直美, 吉野真理子, 鹿島晴雄, アルツハイマー病に出現した漢字の選択的失書について, 高次脳機能研究, 28, 4, 392-403, 2008
2192. 加藤元一郎, アルツハイマー病の診断—神経心理学的検査, 日本臨床, 66, 増刊, 264-269, 2008
2193. 加藤元一郎, アルツハイマー病の治療・管理ー現実見当識訓練, 日本臨床, 66, 増刊, 383-386, 2008
2194. 加藤元一郎, 林海香, 野崎昭子, アスペルガー症候群と統合失調症辺縁群における神経心理学的問題と脳画像所見, 精神科治療学, 23, 173-181, 2008
2195. 加藤元一郎, 記憶錯誤, こころの科学, 138, 78-84, 2008
2196. 加藤元一郎, 秋山知子, 顔, 表情, 視線の認知と扁桃体, Clinical Neuroscience, 26, 413-415, 2008
2197. 船山道隆, 加藤元一郎, 前頭葉と自律性の障害ー特に強制行動と病的収集活動について, 分子精神医学, 8, 2, 125-131, 2008
2198. 大川原浩, 吉野文浩, 加藤元一郎, 変性性認知症—アルツハイマー病について, Monthly Book Medical Rehabilitation, 91, 34-40, 2008
2199. 林 海香, 五十嵐一枝, 加藤元一郎, 神経心理学的観点から見た広汎性発達障害と統合失調症の差異—特にアスペルガー症候群における優れた推論能力について, 最新精神医学, 13, 3, 249-255, 2008
2200. 加藤元一郎, 遂行機能障害とその検査, 神経内科, 68, S 5, 523-531, 2008
2201. 加藤元一郎, 前頭葉機能障害の診かた, 神経心理学, 24, 96-108, 2008
2202. 加藤元一郎, 記憶とその病態, 高次脳機能研究, 28, 206-213, 2008
2203. 高畑圭輔, 加藤元一郎, 自閉性サヴァンと獲得性サヴァンの神経基盤, BARIN and NERVE, 60, 861-869, 2008
2204. 加藤元一郎, アルコール依存症の診断基準とは？, 肥満と糖尿病, 7, 563-565, 2008
2205. 渡邊 衡一郎, 田 亮介, 加藤 元一郎 , うつ病の回復過程におけるドパミンの役割, 臨床薬理の進歩, 29, 226-231, 2008
2206. 渡邊 衡一郎, 田 亮介, 加藤 元一郎, 諸外国のうつ病治療ガイドライン・アルゴリズムにおける新規抗うつ薬の位置づけー諸外国でも SSRI, SNRI は第一選択薬なのか, 臨床精神薬理, 11, 10, 1849-1859, 2008
2207. 加藤元一郎, 田渕肇, 成人トゥレット症候群における認知障害, 脳機能画像, 強迫症状に関する研究, トゥレット研究会会誌 第１４回研究会報告号, 3-10, 2008
2208. 加藤元一郎, アスペルガー症候群の認知障害, 脳画像所見, 及び臨床症状の特徴について, 臨床精神病理, 29, 287-296, 2008
2209. Toshiyuki Kurihara, Motoichiro Kato, Delays in seeking psychiatric care among patients with schizophrenia in Bali, Health Knowledge, Attitudes and Practices, eds by Patricia I. Eddington and Umberto V. Mastolli, Nova Biomedical Books, Nova Science Publishers, New York, 158-172, 2008
2210. Tomoko Akiyama, Motoichiro Kato, Taro Muramatsu, Takaki Maeda, Tsunekatsu Hara, Haruo Kashima, Gaze-triggered orienting is reduced in chronic schizophrenia, Psychiatry Research, 158, 287-296, 2008
2211. Hidehiko Takahashi, Masato Matsuura, Michihiko Koeda, Noriaki Yahata, Tetsuya Suhara, Motoichiro Kato, Yoshiro Okubo, Brain activations during judgments of positive self-conscious emotion and positive basic emotion: pride and joy, Cerebral Cortex, 18, 4, 898-903, 2008
2212. Hidehiko Takahashi, Yota Fujimura, Mika Hayashi, Harumasa Takano, Motoichiro Kato, Hiroshi Ito, Tetsuya Suhara, Enhanced dopamine release by nicotine in cigarette smokers: a double-blind randomized, placebo-controlled pilot study, The International Journal of Neuropsychopharmacology , 11, 413-417, 2008
2213. Ryosuke Arakawa, Hiroshi Ito, Akihiro Takano, Hidehiko Takahashi, Takuya Morimoto, Takeshi Sassa, Katsuya Ohta, Motoichiro Kato, Yoshiro Okubo, Tetsuya Suhara, Dose-finding study of paliperidone ER based on striatal and extrastriatal dopamine D2 receptor occupancy in patients with schizophrenia, Psychopharmacology, 197, 229-235, 2008
2214. Hidehiko Takahashi, Tomohisa Shibuya, Motoichiro Kato, Masato Matsuura, Michihiko Koeda, Noriaki Yahata, Tetsuya Suhara, Yoshiro Okubo, Enhanced activation in the extrastriate body area by goal-directed actions., Psychiatry and Clinical Neurosciences, 62, 214-219, 2008
2215. Hidehiko Takahashi, Motoichiro Kato, Masato Matsuura, Michihiko Koeda, Noriaki Yahata, Tetsuya Suhara, Yoshiro Okubo, Neural correlates of human virtue judgment., Cerebral Cortex, 18, 8, 1886-1891, 2008
2216. Mika Hayashi, Motoichiro Kato, Kazue Igarashi, Haruo Kashima, Superior fluid intelligence in children with Asperger's disorder., Brain and Cognition, 66, 306-310, 2008
2217. Sho Yagishita, Takamitsu Watanabe, Tomoki Asari, Hiroshi Ito, Motoichiro Kato, Hiroo Ikehira, Iwao Kanno, Tetsuya Suhara, Hideyuki Kikyo, Role of left superior temporal gyrus during name recall process: An event-related fMRI study, Neuroimage, 41, 1142-1153, 2008
2218. Nobuyuki Matsuura, Yoshiyuki Shibukawa, Motoichiro Kato, Tatsuya Ichinohe, Takashi Suzuki and Yuzuru Kaneko, Ketamine, not fentanyl, suppresses pain-related magnetic fields associated with trigeminally innervated area following CO2 laser stimulation, Neuroscience Research, 62, 105-111, 2008
2219. Hidehiko Takahashi, Motoichiro Kato, Harumasa Takano, Ryosuke Arakawa, Masaki Okumura, Tatsui Otsuka, Kodaka Fumitoshi, Mika Hayashi, Yoshiro Okubo, Hiroshi Ito, Tetsuya Suhara, Differential contributions of prefrontal and hippocampal dopamine D1 and D2 receptors in human cognitive functions, The Journal of Neuroscience, 28, 46, 12032-12038, 2008
2220. Michitaka Funayama, Taro Muramatsu, Motoichiro Kato, Differential hand-neglect following a callosal lesion, Cognitive and Behavioral Neurology, 21, 4, 246-248, 2008
2221. Akira Uno, Taeko N. Wydell, Motoichiro Kato, Kanae Itoh, Fumihiro Yoshino, Cognitive Neuropsychological and Regional Cerebral Blood Flow Study of a Japanese-English Bilingual Girl with Specific Language Impairment (SLI), Cortex, 45, 154-163, 2009
2222. Hidehiko Takahashi, Motoichiro Kato, Sassa Takeshi, Michihiko Koeda, Noriaki Yahata, Tetsuya Suhara, Yoshiro Okubo, Diminished activation in the extrastriate body area during observation of sport-related actions in chronic schizophrenia, Schizophrenia Bulletin (in press)
2223. Tatsuhiko Yagiashi, Motoichiro Kato, Kosuke Izumi, Rika Kosaki, Kaori Yago,
2224. Kazuo Tsubota, Yuji Sato, Minoru Okubo, Goro Watanabe, Takao Takahashil, Kenjiro Kosaki, Adult Phenotype of Mulvihill-Smith Syndrome, American Journal of Medical Genietics Part A, 2008 (in press)
2225. Shoko Nozaki, Motoichiro Kato, Harumasa Takano, Hiroshi Ito, Hidehiko Takahashi, Ryosuke Arakawa, Masaki Okumura, Yota Fujimura, Ryohei Matsumoto, Miho Ota, Fimihiko Yasuno, Akihiro Takano, Akihiko Otsuka, Yoshiro Okubo, Haruo Kashima, and Tetsuya Suhara, Regional Dopamine Synthesis in Patients with Schizophrenia using L-[β-11C]DOPA PET, Schizophrenia Research, 2008 (in press)
2226. Hidehiko Takahashi, Motoichiro Kato, Masato Matsuura, Dean Mobbs, Tetsuya Suhara, Yoshiro Okubo, When your gain is my pain and your pain is my gain: Neural correlates of envy and Schadenfreude, Science (in press)
2227. 長尾 隆司, 昆虫行動の発現と発達の調節, 昆虫ミメティックス ー昆虫の設計に学ぶー, （下澤楯夫・針山孝彦 監修），NTS 出版, 第３編・第４章・第８節, 912-920, 2008
2228. 佐々木謙, 社会性昆虫のカースト転換と脳の再構成, 昆虫ミメティックス ー昆虫の設計に学ぶー, （下澤楯夫・針山孝彦 監修），NTS 出版, 第２編・第４章・第 15 節, 549-555, 2008
2229. 佐々木謙, 変身:生き残るためのモデルチェンジ, 動物の多様な生き方, 共立出版, 第2巻・第10 章, in press
2230. 小川宏人, 岡浩太郎, 光学計測法が明らかにするニューロン内情報処理機構, 昆虫ミメティックス ー昆虫の設計に学ぶー, （下澤楯夫・針山孝彦 監修），NTS 出版, 第３編・第１章・第５節, 650-656, 2008
2231. 小川宏人, ミツバチの針刺し機構, 昆虫ミメティックス ー昆虫の設計に学ぶー, （下澤楯夫・針山孝彦 監修），NTS 出版, 第３編・第３章・第５節, 827-830, 2008
2232. 佐々木謙, 生体アミンの経口摂取による有用昆虫の行動操作, New Food Industry, 51, 76-82, 2009
2233. 小川宏人, 神経生物学研究におけるイメージング技術の最近の動向, 比較生理生化学, 25, 21-22, 2008
2234. K. Harano, K. Sasaki, T. Nagao, M. Sasaki, Influence of age and juvenile hormone on brain dopamine level in male honeybee (Apis mellifera): association with reproductive maturation, Journal of Insect Physiology, 54, 848-853, 2008
2235. K. Harano, M. Sasaki, T. Nagao, K. Sasaki, Dopamine influences locomotor activitiy in honeybee queens: implications for a behavioural change after mating, Physiological Entomology, 33, 395-399, 2008
2236. K. Sasaki, Biogenic amines and division of reproduction in social insects, Insect Physiology: New Research, (Ed.) R.P. Maes, NOVA Science Publisher, Chapter 7, 2008
2237. K. Sasaki, K. Yamasaki, K. Tsuchida, T. Nagao, Gonadotrophic effects of dopamine in isolated workers of the primitively eusocial wasp, Polistes chinensis, Naturwissenschaften, 96, in press, 2009
2238. Ogawa, H., Cummins, G I., Jacobs, G A., Oka, K., Dendritic design implements algorism for extraction of sensory information., Journal of Neuroscience, 28, 4592-4603, 2008
2239. Aonuma, H., Kitamura, Y., Niwa, K., Ogawa, H. , Oka, K., Nitric oxide-cyclic guanosine monophosphate signaling in the local circtuit of the cricket abdominal nervous system., Neuroscience, 157, 749-761, 2008
2240. T. Nagao, S. Kishigami, K. Sasaki, H. Tamori, Neurohormonal control of development and motivation of instinctive behavior in male crickets, 6th Asian Biophysics Association Symposium and 27th Hong Kong Society of Neuroscience Annual Meeting, Hong Kong, PS2-29, 2008
2241. Ogawa, H., Oka, K., In vivo calcium imaging of mushroom body calyx in the tethered cricket for odor-taste conditioning, 2008 Neuroscience Meeting Planner. Washington, DC: Society for Neuroscience, Program No. 362.20, 2008
2242. Shindo, Y., Ogawa, H., Hotta, K. Oka, K., Alteration of Mg2+ transport during 1-methyl-4-phenyl-pyridinium ion (MPP+) induced cell death in PC12 cells., 2008 Neuroscience Meeting Planner. Washington, DC: Society for Neuroscience, Program No. 140.16, 2008
2243. Watanabe, K., Hase, S., Shimoi, T., Ogawa, H., Hotta, K. Oka, K., Expression of cyclic AMP responsive element binding protein 1 (CREB1) in long-term memory formation in the earthworm Eisenia fetida., 2008 Neuroscience Meeting Planner. Washington, DC: Society for Neuroscience, Program No. 793.10, 2008
2244. 長尾 隆司, 原 正和, 岸上 明生, クロコオロギは求愛歌を発音できなくなっても交尾ができる, 第 30 回日本比較生理生化学会大会予稿集, 27, 2008
2245. 岸上明生, 坂口菜朋子, 古家喜四夫, 曽我部正博, 弛緩操作で開始される細胞骨格の再構築過程, 日本動物学会第 79 回大会予稿集, 134, 2008
2246. 宮竹貴久, 中山慧, 西優輔, 佐々木謙, 昆虫の死にまね持続時間を左右する行動生理学的要因, 第 45 回沖縄生物学会大会予稿集, 8, 2008
2247. 佐々木謙, 社会性昆虫のカースト転換における脳内アミンの役割, 第 30 回日本比較生理生化学会 大会予稿集, 18-19, 2008
2248. 佐々木謙, 阿部剛久, 吉田祐太郎, 朝岡潔, カイコガの形態形成突然変異系統における雄の羽ばたきパターン切替えの異常, 第 30 回日本比較生理生化学会 大会予稿集, 26, 2008
2249. 佐々木謙, 脳内物質を用いた社会行動の操作, 第 27 回日本動物行動学会 大会予稿集, 21, 2008
2250. 朝岡潔, 阿部剛久, 吉田祐太郎, 佐々木謙, カイコ ENc 系統における雄成虫の交尾中の羽ばたきパターンの異常, 第 79 回日本蚕糸学会大会予稿集, in press, 2009
2251. 佐々木謙, 山崎和久, 土田浩治, 長尾隆司, フタモンアシナガバチの卵巣発達におけるドーパミンの役割, 第 53 回日本応用動物昆虫学会大会予稿集, in press, 2009
2252. 赤坂真也, 佐々木謙, 長尾隆司, 原野健一, ミツバチ雄の繁殖行動におけるドーパミンの役割, 第 53 回日本応用動物昆虫学会大会予稿集, in press, 2009
2253. Ogawa, H., Oka, K., Directional-dependent plasticity in wind sensitivity of the cricket giant interneurons, Neuroscience Research, 60, S1, S183, 2008
2254. Ogawa, H., Oka, K., Conditioning-dependent calcium signals within the mushroom body calyx in the cricket, 生物物理, 48, Suppl.1, S163, 2008
2255. 小川宏人, 岡浩太郎, 嗅覚-味覚連合学習前後におけるコオロギキノコ体傘部の in vivo カルシウムイメージング, 日本比較生理生化学会第 30 回大会予稿集, 28, 2008
2256. 鈴木真美子, 木村哲也, 小川宏人, 堀田耕司, 岡浩太郎, 模様形成に関わるイカ色素胞ユニットの同定とそのダイナミクスの解析, 日本動物学会第 79 回大会予稿集, 85, 2008
2257. 渡邊康佑, 長谷純崇, 下井利修, 小川宏人, 堀田耕司, 岡浩太郎, シマミミズにおける cAMP response element binding protein 1 (CREB1) の同定, 日本動物学会第 79 回大会予稿集, 103, 2008
2258. Mizue Ohashi, Ryuichi Okada, Toshifumi Kimura, Hidetoshi Ikeno, Observation system for the control of the hive environment by the honeybee (Apis mellifera), Behav Res Methods, in press, 2009
2259. Kanako Aono, Ayachika Fusada, Yorichika Fusada, Wataru Ishii, Yuji Kanaya, Mami Komuro, Kanae Matsui, Satoru Meguro, Ayumi Miyamae, Yurie Miyamae, Aya Murata, Shizuka Narita, Hiroe Nozaka, Wakana Saito, Ayumi Watanabe, Kaori Nishikata, Akira Kanazawa, Yutaka Fujito, Miki Yamagishi, Takashi Abe, Masafumi Nagayama, Tsutomu Uchida, Kazutoshi Gohara, Ken Lukowiak, Etsuro Ito, Upside-down gliding of Lymnaea, Biol. Bull, 215, 272-279, 2008
2260. Mizue Ohashi, Hidetoshi Ikeno, Toshifumi Kimura, Tadaaki Akamatsu, Ryuichi Okada, Etsuro Ito, Control of hive environment by honeybee (Apis mellifera) in Japan., Proceedings of Measuring Behavior 2008, 243, 2008
2261. Toshifumi Kimura, Hidetoshi Ikeno, Ryuichi Okada, Etsuro Ito, A Study for identification and behavioral tracking of honeybees in the observation hive using vector quantization method., Proceedings of Measuring Behavior 2008, 165-166, 2008
2262. Ryuichi Okada, Foraging strategy of the honeybee colony by waggle dance., International Seminar on Current Issues in Social Insect Research -In Case of Honeybee and Ants-, 2008
2263. 木村敏文, 池野英利, 大橋瑞江, 岡田龍一, 伊藤悦朗, ベクトル量子化分類法を用いたミツバチ個体追跡のための基礎研究, 信学技法, 2007-133 (2008-3), 113-116, 2008
2264. 岡田龍一, ８の字ダンスによるミツバチコロニーの採餌戦略, 日本進化学会, 2008
2265. 伊藤悦朗, 岡田龍一, 池野英利, 社会性適応のための脳システム変容機構の研究, 第３回移動知シンポジウム, 2008
2266. 木村敏文, 池野英利, 岡田龍一, 伊藤悦朗, ベクトル量子化法を用いた巣板上におけるミツバチ個体行動の追跡, 第３回移動知シンポジウム, 2008
2267. 大橋瑞江, 池野英利, 木村敏文, 赤松忠明, 岡田龍一, 伊藤悦朗, ミツバチコロニーの環境適応機構に関する研究 ー冬季におけるコロニーおよび周辺環境の持続的計測ー, 第３回移動知シンポジウム, 2008
2268. 池野英利, 岡田龍一, 大橋瑞江, 木村敏文, 赤松忠明, 伊藤悦朗, 巣内ミツバチ活動を評価するための時空間運動指標, 日本比較生理生化学会, 2008

2269. 岡田龍一, 池野英利, 木村敏文, 大橋瑞江, 青沼仁志, 伊藤悦朗, 巣内ミツバチの歩行パターン, 日本比較生理生化学会, 2008
2270. 木村敏文, 池野英利, 大橋瑞江, 岡田龍一, 伊藤悦朗, ミツバチの観察巣板内行動追跡システム, 日本比較生理生化学会, 2008
2271. Fujii N, Hihara S, Iriki S., Social cognition in premotor and parietal cortex., Soc Neurosci., 3, 3-4, 250-60, 2008
2272. Fujii N, Hihara S, Nagasaka Y, Iriki A., Social state representation in prefrontal cortex., Soc Neurosci., 4, 1, 73-84, 2009
2273. Y. NAGASAKA, T. NOTOYA, A. IRIKI, N. FUJII, Amygdala, anterior cingulate, and orbital frontal cortices activity in Japanese macaques while watching emotional expressions with social context, Program No.883.2. 2008 Neuroscience Meeting Planner. Washington, DC: Society for Neuroscience, 2008. Online, 2008
2274. G. S. SANTOS, Y. NAGASAKA, K. TAKENAKA, A. IRIKI, N. FUJII, H. NAKAHARA, Social modulation of the prefrontal cortex, parietal cortex, and caudate activity for reward-oriented behavior, Program No.93.11. 2008 Neuroscience Meeting Planner. Washington, DC: Society for Neuroscience, 2008. Online, 2008
2275. Masafumi Yano, Hospitality Technology : The Place of Culture Technology, 季刊 iichiko, 101, 37-46, 2009
2276. 伊藤仁, 小原桂二, 伊藤章則, 矢野雅文, "正弦波モデルに基づく高品質音声変調の検討", 信学技報, EA2008-52, 41-4, 2008
2277. Kaoru Takakusaki, Nozomi Tomita, Masafumi Yano, Substrates for normal gait and patholhysiology of gait disturbances with respect to the basal ganglia dysfunction, Journal or Neurology, 255, Suppl 4, 19-29, 2008
2278. Sakamoto K, Mushiake H, Saito N, Aihara K, Yano M, Tanji J., Discharge synchrony during the transition of behavioral-goal representations encoded by discharge rates of prefrontal neurons., journal Cerebral Cortex, 18, 2036-2045, 2008
2279. Hisanori Makinae, Yoshinari Makino, Tsukasa Obara, Masahumi Yano, Specific spatio-temporal activities in the cerebral ganglion of Incilaria fruhstorferi in response to superior and inferior tentacle nerve stimulation, Brain Research, 1231, 47-62, 2008
2280. Kaoru Takakusaki, Nozomi Tomita, Masafumi Yano, Substrates for execution for normal gait performance with respect to the basal ganglia function, Proc. Of IEEE/RSJ 2008 International Conference on Intelligent Robots and Systems, September, 22-26, 2008
2281. Yoshinari Makino, Makoto Yasuike, Yuki Naka, Haruki Miura & Masafumi Yano, A computational algorithm for odor representation using a spatiotemporal sequence, Neuroscience 2008, 2008
2282. 伊藤仁, 小原桂二, 伊藤章則, 矢野雅文, "正弦波モデルに基づく非定常音声の分析と変調", 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, 3-4-5., 2008
2283. Y. Yoshihara, N. Tomita, Y. Makino, M. Yano, Autonomous Control for Voluntary Movement in the Real World ―Online Load Estimation and Compensation using Two Parallel Redundant Actuators―, Tohoku University Global Brain Science 2008 Summer Retreat, 2008
2284. 吉原佑器, 冨田望, 牧野悌也, 矢野雅文, 動き易さの局所的最適化により生成される腕運動の大局的最適性の検討, 計測自動制御学会システム情報部門学術講演会, 211-214, 2008
2285. 吉原佑器, 冨田望, 牧野悌也, 矢野雅文, 上肢到達運動における Bernstein 問題への挑戦 : 自律分散的視点からの解法 Autonomous Decentralized Method to Solve Bernstein's Problem in Multi-joint Reaching Movement, 計測自動制御学会第21回自律分散システム・シンポジウム, 123-128, 2009
2286. Makino Y, Yasuike M, Naka Y, Miura H, Yano M, Principal characteristics in odor recognition naturally emerge from spatiotemporal coding., NEUROSCIENCE RESEARCH 61, S249, 2008
2287. 牧野 悌也, 安池 誠, 中 雄樹, 三浦 治己, 矢野 雅文, 「神経活動の時空間的順序により匂い情報を表現する計算論的アルゴリズム」, ブレインウェア工学研究会, 2008
2288. 坂本一寛, 松坂義哉, 末永保, 渡辺博志, 虫明元, サル慢性神経活動記録のための半導体電極ホルダの試作, A novel silicon-microelectrode holder for chronic neural recording in monkeys, 第31回日本神経科学大会, 2008
2289. 牧野悌也, 安池誠, 中雄樹, 三浦治己, 矢野雅文, 時空間パターンコーディングによる嗅覚認知機能の創発, Principal characteristics in odor recognition naturally emerge from spatiotemporal coding, 第31回日本神経科学大会, 2008
2290. 吉原佑器, 冨田望, 牧野悌也, 矢野雅文, 動き易さ規範によりリアルタイムに生成される腕到達運動の検討, 第3回移動知松島シンポジウム, 2008
2291. 萩原龍馬, 冨田望, 牧野悌也, 矢野雅文, 筋肉の自律性と冗長性を活用した環境適応的運動を可能とする二関節六筋アームロボットの開発, Development of an Arm Robot with Redundant Muscle System for Adapting to Indefinite Environment, 計測自動制御学会第20回自律分散システム・シンポジウム予稿集, 2008
2292. 倉鋪圭太, 深尾隆則, 大須賀公一, 石山健二, 竹原悦秀, 今井浩久, 不整地を想定した移動ロボットのロバスト制御, 日本機械学会論文集（C編）, 2008
2293. S.Sakai, M.Iida, K.Osuka, M.Umeda, Design and control of a heavy material handling manipulator for agricultural robots, Auton Robot, DOI 10.1007/s10514-008-9090-y, 2008
2294. K.Ohgane, K.Ueda, Instability-induced hierarchy in bipedal locomotion, Phys. Rev., E, 77, 51915, 2008
2295. K.Ohgane, S.Ei, H.Mahara, Neuron phase shift adaptive to time delay in locomotor control, Applied Mathematical Modelling, 33, pp.797-811, 2009
2296. 衣笠哲也, 土師貴史, 吉田浩治, 大谷勇太, 大須賀公一, 天野久徳, 柔軟全周囲クローラ (FMT)―クローラベルトの幾何学と移動特性―, 第13回ロボティクスシンポジア, 212-217, 2008
2297. 倉鋪圭太, 深尾隆則, 大須賀公一, 石山健二, 竹原悦秀, 今井浩久, 不整地を想定した移動ロボットのロバスト制御, 第13回ロボティクスシンポジア, 289-294, 2008
2298. 入部正継, 大須賀公一, 適応的に歩容を安定化する機能を備えた受動的歩行ロボット, 第13回ロボティクスシンポジア, 358-363, 2008
2299. 中谷和弘, 大須賀公一, 杉本靖博, 赤澤智昭, 四脚受動的動歩行の存在証明と歩容解析, 第13回ロボティクスシンポジア, 364-369, 2008
2300. 深尾隆則, 鷲渕崇, 大須賀公一, 河野敬, 友井康人, 奥山政広, 中舘正顕, 屋外型飛行船ロボットの制御系設計法, 第13回ロボティクスシンポジア, 401-108, 2008
2301. 吉田武史, 深尾隆則, 浦久保孝光, 大須賀公一, 小林滋, 高林年, 屋内型飛行船ロボットシステムの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会08, 1P1-F09, 2008
2302. 澤田一奈, 昆陽雅司, 嵯峨智, 田所諭, 大須賀公一, 形状情報を用いた能動索状体の運動制御, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会08, 2A1-G10, 2008
2303. 平松敏史, 倉鋪圭太, 深尾隆則, 大須賀公一, 全方位カメラを用いた移動ロボットの画像に基づく制御, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会08, 2P2-D09, 2008
2304. 大須賀公一, 中川志信, 野口正孝, 和田貴志, 北田安輝, 上田明寿, 楠健志, 田中徹, フレキシブルセンサチューブ : FST-03 の開発, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 1M1-01, 2008
2305. 宮島才訓, 深尾隆則, 大須賀公一, 河野敬, 屋外型飛行船ロボットの角度場制御に関する研究, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 2B1-03, 2008
2306. 諫山真吾, 大須賀公一, クローラ型担架構成連結ロボット DUCKS の制御に関する研究, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 2I1-02, 2008
2307. 入部正継, 大須賀公一, 受動的動歩行ロボットの受動的な歩容制御と安定解析, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 3B1-08, 2008
2308. 大須賀公一, ロボティック・サイエンスの構成論的アプローチについて, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 3B3-02, 2008
2309. 倉鋪圭太, 深尾隆則, 大須賀公一, 非ホロノミック移動ロボットの画像に基づくロバスト軌道追従制御, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 3C2-08, 2008
2310. 大須賀公一, 神戸大学 大須賀研究室の RT―担架構成ロボット技術と FST(Flexible Sensor Tube)応用技術―, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 3M2-01, 2008
2311. 衣笠哲也, 大谷勇太, 土師貴史, 吉田浩治, 大須賀公一, 天野久徳, 柔軟全周囲クローラ RT-02 WORMY, 第9回(社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 1A3-3, 2008
2312. 入部正継, 大須賀公一, コンパス型受動的動歩行ロボットの歩容解析力学モデルに忠実な実機の開発, 第9回(社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 1K1-3, 2008
2313. 大須賀公一, 身体に埋め込まれた適応能力について, 第9回(社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 1K4-1, 2008
2314. 天野久徳, 衣笠哲也, 大須賀公一, SLAM を利用した遠隔操縦の効率化に関する一提案, 第9回(社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 3I3-4, 2008
2315. Akio Ishiguro, *Masahiro Shimizu, On the Task Distribution between Control and Mechanical Systems: A Case Study with an Amobeboid Modular Robot, 50 Years of Artificial Intelligence: Essays Dedicated to the 50th Anniversary of Artificial Intelligence（Eds. M. Lungarella, F. Iida, J. Bongard, and R. Pfeifer）, Springer, 144-153
2316. Masahiro Shimizu, Takuma Kato, Max Lungarella, *Akio Ishiguro, Adaptive Modular Robots Through Heterogeneous Inter-Module Connections, Journal of Robotics and Mechatronics, 20, 3, 386-393
2317. Takuya Umedachi, Taichi Kitamura, *Akio Ishiguro, An Amoeboid Locomotion That Exploits Real-Time Tunable Springs and Law of Conservation of Protoplasmic Mass, Journal of Robotics and Mechatronics, 20, 3, 449-455
2318. Wataru Watanabe, Toshihiro Kawakatsu, *Akio Ishiguro, Rapid and Cheap Learning by Exploiting Biarticular Muscles - A Case Study With a Two-Dimensional Serpentine Robot, Advanced Robotics Special Issue on Mobiligence (1), 22, 15, 1683-1696
2319. Masaki Nomura, Daisuke Ito, Hiroki Tamate, *Kazutoshi Gohara, Estimation of functional connectivity that causes burst-like population activities, FORMA
2320. J. Nishikawa and *K. Gohara, Automata on Fractal Sets Observed in Hybrid Dynamical Systems, International Journal of Bifurcation and Chaos, 18, 12
2321. J. Nishikawa and *K. Gohara, Anomaly of fractal dimensions observed in stochastically switched systems, Physical Review E, 77, 036210-1-8
2322. Masahiro Shimizu, Takuma Kato, Max Lungarella, *Akio Ishiguro, Adaptive Reconfiguration of a Modular Robot through Heterogeneous Inter-Module Connections, 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation proceedings, 3527-3532
2323. Dai Owaki, Koichi Osuka, *Akio Ishiguro, On the Embodiment That Enables Passive Dynamic Bipedal Running, 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation proceedings, 341-346
2324. Takuya Umedachi, Taichi Kitamura, *Akio Ishiguro, A Fully Decentralized Control of an Amoeboid Robot by Exploiting the Law of Conservation of Protoplasmic Mass, 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation proceedings, 1144-1149
2325. Wataru Watanabe, Takahide Sato, *Akio Ishiguro, An Efficient Decentralized Learning by Exploiting Biarticular Muscles, 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation proceedings, 3826-3831
2326. *Akio Ishiguro, Masatoshi Koyama, Dai Owaki, Jun Nishii, Increasing Stability of Passive Dynamic Bipedal Walking by Exploiting Hyperextension of Knee Joints, the fourth meeting of Adaptive Motion of Animals and Machines (AMAM 2008) proceedings, 164
2327. Dai Owaki, Koichi Osuka, *Akio Ishiguro, Adaptive Gait Transition between Passive Dynamic Walking and Running, the fourth meeting of Adaptive Motion of Animals and Machines (AMAM 2008) proceedings, 160-161
2328. *Akio Ishiguro, Understanding Mobiligence Through Amoeboid Locomotion – A Case Study with a Modular Robot –, the fourth meeting of Adaptive Motion of Animals and Machines (AMAM 2008) proceedings, 20-21
2329. Dai Owaki, Koichi Osuka, *Akio Ishiguro, Gait Transition between Passive Dynamic Walking and Running by Changing the Body Elasticity, SICE Annual Conference 2008, 2513-2518
2330. *Akio Ishiguro, Takuya Umedachi, Taichi Kitamura, Toshiyuki Nakagaki, Ryo Kobayashi, A Fully Decentralized Morphology Control of an Amoeboid Robot by Exploiting the Law of Conservation of Protoplasmic Mass, IEEE/RSJ 2008 International Conference on Intelligent Robots and Systems
2331. Wataru Watanabe, Takuya Umedachi and Dai Owaki, Investigation of the Design Principles for Adaptive Intelligence, Proc. of The 1st Student Organizing International Mini-Conference on Information Electronics Systems, 221 F5P-35
2332. D. Ito, H. Tamate, M. Nomura, T. Aoyagi, and *K. Gohara, Immunocytochemstry in low-density culture of neurons on multielectrode arrayes is effective for identification of action-potential pathway, Proceedings of neuroscience 2008, 104948
2333. D. Ito, H. Tamate, M. Nagayama, T. Uchida, and *K. Gohara, Multi-agent Robot Systems as Distributed Autonomous Systems, Proceedings of MEA Meeting 2008, 53-54
2334. 清水 正宏, 加藤 拓真, *石黒 章夫, 適応的ロコモーションを発現するアメーバ様モジュラーロボットの実機開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008 予稿集, 2P2-I15, 2008
2335. 加藤 拓真, 清水 正宏, Lungarella Max, *石黒 章夫, 不均質な着脱特性を有するモジュラーロボット - 複雑ネットワークの手法を用いた性能評価 -, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008 予稿集, 2A1-G20, 2008
2336. 北村 太一, 梅舘 拓也, *石黒 章夫, 原形質量保存則を活用したアメーバ様ロボットの実機開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008 予稿集, 2A1-G01, 2008
2337. 石田 怜, 松野 善幸, 大脇 大, 西井 淳, *石黒 章夫, 筋群の協働的励起パターンに基づく制御系と機構系の連関様式に関する考察, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008 予稿集, 2P2-I14, 2008
2338. 月舘 統宙, 鈴木 雄也, 清水 正宏, *石黒 章夫, 結合振動子系を活用した自己組み立ての実験的検証, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008 予稿集, 2A1-G22, 2008
2339. 佐藤 貴英, 渡邉 航, *石黒 章夫, 多関節筋を活用した高効率学習の実験的検証 - 蛇型ロボット実機を用いた事例研究 -, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008 予稿集, 2P2-G18, 2008
2340. 坂井 善行, 渡邉 航, 西井 淳, *石黒 章夫, 成長に伴う身体特性の変化を活用した歩行獲得学習の安定化, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008 予稿集, 2P2-G16, 2008
2341. 北村 太一, 梅舘 拓也, *石黒 章夫, 可変弾性要素と原形質量保存則を活用したアメーバ様ロコモーションの実現, 第243回 SICE 東北支部研究集会, 243-6
2342. 清水正宏, 生物学と工学の融合（講演）, 日本比較生理生化学会第30回大会
2343. 加藤 拓真, 清水 正宏, Max Lungarella, *石黒 章夫, 粘菌型ロボットから探る自律個間の相互作用様式のあり方に関する考察, 第244回 SICE 東北支部研究集会, 無し
2344. 大脇 大, 大須賀 公一, *石黒 章夫, 受動歩行と受動走行の違いは何か?, 第14回創発システム・シンポジウム「創発夏の学校 2008」自律性と創発 講演資料集, 59-62, 2008
2345. 石田 怜, 坂井 善行, 大脇 大, 手老 篤史, *石黒 章夫, 周波数と位相の自律的調整が可能なマルチリズミックオシレータの提案 – 一次元ホッピングロボットの跳躍運動学習への適用 –, 第14回創発システム・シンポジウム「創発夏の学校 2008」自律性と創発 講演資料集, 99-102, 2008
2346. 小山 真理, 大脇 大, 西井 淳, *石黒 章夫, 膝関節の過伸展を活用した二脚受動歩行の安定化, 第14回創発システム・シンポジウム「創発夏の学校 2008」自律性と創発 講演資料集, 63－66, 2008
2347. 佐藤 貴英, 渡邉 航, *石黒 章夫, ヘビ型ロボットから探る自律分散システムの相互作用様式のあり方, 第14回創発システム・シンポジウム「創発夏の学校 2008」自律性と創発 講演資料集, 67-69, 2008
2348. 梅舘 拓也, 北村 太一, 武田 光一, 中垣 俊之, 小林 亮, *石黒 章夫, アメーバ様ロコモーションから探る自律分散制御, 第14回創発システム・シンポジウム「創発夏の学校 2008」自律性と創発 講演資料集, 85-88, 2008
2349. 清水 正宏, 加藤 拓真, 松澤 亮, *石黒 章夫, 粘菌様ロボットから発現する環境適応的な形態変形, 平成20年度無脊椎動物神経生物研究会, 8
2350. 小山 真理, 山口 伸一, 大脇 大, 清水 正宏, *石黒 章夫, 分子動力学法に基づく受動歩行シミュレータの開発, 第26回 日本ロボット学会学術講演会 予稿集, 1O3-01, 2008
2351. 坂井 善行, 石田 怜, 大脇 大, 手老 篤史, *石黒 章夫, 多重リズム性を活用した周波数と位相の自律的調整が可能なオシレータモデルの提案 ―一次元ホッピングロボットの跳躍運動学習への適用―, 第26回 日本ロボット学会学術講演会 予稿集, 3O1-02, 2008
2352. 松澤 亮, 加藤 拓真, 清水 正宏, *石黒 章夫, 粘菌様の適応的ロコモーションを発現するモジュラーロボットの実機開発, 第26回 日本ロボット学会学術講演会 予稿集, 2O2-04, 2008
2353. 加藤 拓真, 清水 正宏, Max Lungarella, *石黒 章夫, 粘菌型ロボットから探る情報的相互作用と物理的相互作用間のバランスの力学, 第26回 日本ロボット学会学術講演会 予稿集, 3O2-07, 2008
2354. 大脇 大, 大須賀 公一, *石黒 章夫, 受動走行の背後に潜む安定化構造の解明, 第26回 日本ロボット学会学術講演会 予稿集, 3B1-09, 2008
2355. 北村 太一, 梅舘 拓也, 武田 光一, 中垣 俊之, 小林 亮, *石黒 章夫, 原形質による大域的相互作用を活用したアメーバ様ロボットの自律分散制御, 第26回 日本ロボット学会学術講演会 予稿集, 3H1-05, 2008
2356. 加藤 拓真, 清水 正宏, Lungarella Max, *石黒 章夫, 粘菌型ロボットから探る自律分散システムにおける自律個間の相互作用様式, 計測自動制御学会 SI 部門講演会 SI2008 予稿集, 15-16, 2008
2357. 北村 太一, 梅舘 拓也, 武田 光一, 中垣 俊之, 小林 亮, *石黒 章夫, 真正粘菌から探る大自由度ロボットの自律分散制御方策, 計測自動制御学会 SI 部門講演会 SI2008 予稿集, 139-140, 2008
2358. 渡邉 航, 佐藤 貴英, *石黒 章夫, 制御系・機構系・環境間の齟齬に着目したヘビ型ロボットの自律分散制御, 計測自動制御学会 SI 部門講演会 SI2008 予稿集, 137-138, 2008
2359. 佐藤 貴英, 渡邉 航, *石黒 章夫, 脳・身体・環境間の齟齬に着目した適応的ロコモーションの発現メカニズム - ヘビ型ロボットによる事例研究 -, 第21回 自律分散システム・シンポジウム, 2A1-2, 2009
2360. 大脇 大, 大須賀 公一, *石黒 章夫, 受動歩行・受動走行に内在するリズム現象, リズム現象の研究会Ⅳ, Poster11
2361. 清水 正宏, 加藤 拓真, 松澤 亮, *石黒 章夫, 身体の大きさに依存して遷移するアメーバ型ロボットの適応戦略, リズム現象の研究会Ⅳ, Poster1
2362. 大脇 大, 大須賀 公一, *石黒 章夫, 受動歩行と受動走行に内在する力学的共通原理の解明, 第14回ロボティクスシンポジア
2363. H. Tamate, D. Ito, M. Nagayama, T. Uchida, and *K. Gohara, Analysis of neural-network dynamics using multi-electrode array, Sup. Neuroscience Research, 25, S86
2364. M. Nomura, D. Ito, H. Tamate, *K. Gohara, and T. Aoyagi, Estimation of neuronal functional connectivity of cultured neuronal networks, Sup. Neuroscience Research, 25, S90
2365. 池上高志, 複雑系科学とサウンドアート, 生存科学研究所, B18, 3, 37-50, 2008
2366. Ono, N., Madina, D. and Ikegami, Origin of Life and Lattice Artificial Chemistry, Bridging Nonliving and Living Matter, edby S.Rasumussen, L.Chen, N.Packard, M.Bedau, D.Deamer, P.Stadler and D.Krakauer, MIT Press, 197-212, 2008
2367. Ogai, Y., Ikegami, T, Microslip as a Simulated Artificial Mind, Adaptive Behavior, 16, 2-3, 129-147, 2008
2368. Hiroshi C. Ito, Masakazu Shimada and Takashi Ikegami, Coevolutionary dynamics of adaptive radiation for food-webdevelopment, Population Ecology, 51, 65-81, 2009
2369. Hisanao Takahashi, Naoto Horibe, Masakazu Shimada, and Takashi Ikegami, Analyzing the House Fly's Exploratory Behavior with Autoregression Methods, J. Phys. Soc. Japan., 77, 84802, 2008
2370. Aucouturier, J.-J. and Ogai, Y. and Ikegami, Using chaos to trade-off synchronization and autonomy in a dancing robot, Trends and Controversies, IEEE Intelligent Systems, 23, 3, 74-85, 2008
2371. Ishii Y. and Shimada M., Competitive exclusion between contest and scramble strategists in Callosobruchus seed beetle modeling., Population Ecology, 50, 197-205, 2008
2372. Ikegami, T and Suzuki, K, From Homeostatic to Homeodynamic Self, BioSystems, 91, 388-400, 2008
2373. Suzuki, K and Ikegami, T., Shape and Self-movements in Protocell Systems, Atrtificial Life, in press, 2008
2374. Ishii Y. and Shimada M., Predator's learning and search image promoting persistence of the insect prey-predator experiment system., Population Ecology, in review
2375. Ikegami, T, Artificial Life is Dead, International 10th Cncference on Artificial Life (Keynote), 2008
2376. Ikegami, T, Organizer, Agency WorkshopSatelite workshop at SAB, 2008
2377. Ikegami, T, Self-moving droplets as emergence of a life system, Japan-Slovenia Seminar on Nonlinear Science, 2008
2378. Nakajima, K and Ikegami, T, Considering the reconfiguration process of subjective temporal order by using recurrent neural networks, International 10th Cncference on Artificial Life (Keynote), 2008
2379. Shimada M., Rapid adaptation: the new dimension of evolutionary ecology.(Opening Address), 24th Society of Population Ecology, 2008
2380. Iizuka, H and Ikegami, T, Simulating active touch with a simple embodied agent, International 10th Cncference on Artificial Life (Keynote), 2008
2381. Suzuki, K. and Ikegami, T, Homeodynamics in the game of life, International 10th Cncference on Artificial Life (Keynote), 2008
2382. Hanczyc, M. and Ikegami, T, Chemical basis for minimal cognition, International 10th Cncference on Artificial Life

(Keynote), 2008
2383. 池上高志, 自律運動からみる自然知性, 日本人工知能学会（５月，旭川）, 2008
2384. 池上高志, 意識の進化, オーガナイズ, 日本進化学会（８月，東京）, 2008
2385. 池上高志, オートポイエティックなシステム, 動的システム研究会（１２月，東京）, 2008
2386. 堀部直人, 池上高志, 嶋田正和, 記憶力が適応戦略に与える影響: Levy or not Levy, that is the question, 日本生態学会第55回大会(3月，福岡), 2008
2387. 堀部直人, 池上高志, 嶋田正和, Levy flight はLevy distributionする餌を効率よく探すか?, 第18回数理生物学会大会(9月，京都), 2008
2388. 堀部直人, 池上高志, 嶋田正和, 最適な餌探索戦略に短期記憶は不要？ノイズ？カオス？, 日本動物行動学会第２７回大会(9月，金沢), 2008
2389. 堀部直人, 池上高志, 嶋田正和, 餌探索における記憶の効果の研究, 個体群生態学会第 24 回年次大会(10月，東京), 2008
2390. 飯間 信, 羽ばたき飛翔の数理, 昆虫ミメティクス – 昆虫の設計に学ぶ –(エヌ・ティー・エス), 672-277, 2008
2391. 飯間 信, 蝶の飛翔に潜む数理構造, 日本応用数理学会誌, 18, 4, 39-51, 2008
2392. 飯間 信, はばたき飛翔の流体力学, 日本物理学会誌, 63, 4, 629-633, 2008
2393. 岩田 昇, 秋枝伸志, 平井規央, 石井 実, 大阪府堺市におけるウスバキトンボの季節消長, Tombo, 印刷中, 2009
2394. 黒田修司, 平井 規央, 石井実, 幼虫寄生蜂セセリオナガサムライコマユバチの発育に及ぼす寄主齢の影響, 応動昆, 印刷中, 2009
2395. 平井規央, 最近分布を拡大したチョウとガ, 昆虫と自然, 43, 12, 13-16, 2008
2396. 横田靖, 平井規央, 大阪府池田市でリュウキュウムラサキを目撃, 昆虫と自然, 44, 1, 30, 2009
2397. M. Iima, A paradox of hovering insect in two-dimensional space, Journal of Fluid Mechanics, 617, 207-229, 2008
2398. M. Iima and A. S. Mikhailov, Propulsion hydrodynamics of a butterfly micro-swimmer, Europhysics Letters, accepted, 2009
2399. M. Iima and Y. Nishiura, Unstable periodic solution controlling collision of localized convection cells in binary fluid mixture, Physica D, 238, 449-460, 2009
2400. Ishii, M., N. Hirai and T. Hirowatari, The occurrence of an endangered lycaenid, Zizina emelina (de l'Orza), in the Osaka International Airport, central Japan. Trans. lepid. Soc. Japan, Trans. lepid. Soc. Japan, 59, 78-82, 2008
2401. M. Yago, N. Hirai, M. Kondo, T. Tanikawa, M. Ishii, M. Wang, M. Williams, R. Ueshima., Molecular systematics and biogeography of the genus Zizina (Lepidoptera: Lycaenidae)., Zootaxa, 1746, 15-38, 2008
2402. K. Senda, M. Sawamoto, M. Kitamura, T. Obara, Towards Realization of Stable Flapping-of-Wings Flight of Butterfly, International Symposium on Adaptive Motion in Animals and Machines, 62-63, 2008
2403. K. Senda, M. Sawamoto, M. Kitamura, T. Obara, Effects of Flexibly Torsional Wings in Flapping-of-Wings Flight of Butterfly, World Automation Congress, 1?6, 2008
2404. M. Iima, Robustness of an insect's hovering: a transition of flapping free-flight, ICTAM 2008, 2008
2405. 飯間 信, 2 次元流体中で周期運動する翼に働く力の表式とその昆虫飛翔への応用, 日本流体力学会年会 2008 講演論文集, 2008
2406. 平井規央, 上羽賢憲, 坂本佳子, 矢後勝也, 山本治, 森地重博, 石濱伸一, 石井実, クロマダラソテツシジミの大阪府と兵庫県における発生と生活史等の知見, 日本応用動物昆虫学会 (第52回大会) 講演要旨集, 153, 2008
2407. 上羽賢憲, 平井規央, 石井実, アカボシゴマダラ外来亜種の奄美大島への定着可能性, 第67回昆虫大会講演要旨集, 41, 2008
2408. 坂本佳子, 平井規央, 矢後勝也, 石井実, 日本各地のシルビアシジミの寄主植物識別性 mtDNA 多型, 第67回昆虫大会講演要旨集, 55, 2008
2409. 坂本佳子, 平井規央, 矢後勝也, 石井実, 日本各地におけるシルビアシジミの遺伝的多様性と Wolbachia 感染との関係, 第10回日本進化学会大会講演要旨集, 67, 2008
2410. 平井規央, 加藤義臣, 坂本佳子, 石井実, クロマダラソテツシジミにおける幼虫の体色と成虫の季節型の決定要因, 日本鱗翅学会第55回大会講演要旨集, 13, 2008
2411. 石井実, 平井規央, 谷谷正宇, 広渡俊哉, チャマダラセセリの生息地の現状, 日本鱗翅学会第55回大会講演要旨集, 14, 2008
2412. 青柳富誌生, 細胞集団の同期, 数理科学事典（丸善）, 5 章, 2 節, 印刷中
2413. 青柳富誌生, 神経細胞の数理モデル, 数理科学事典（丸善）, 5 章, 1 節, 印刷中
2414. 青柳富誌生, リズム活動と位相応答, 神経ダイナミクスと情報表現（東大出版）, 4 章, 印刷中
2415. 津田一郎, エピソード記憶：海馬のカオスモデル, 応用数理, 18, 3, pp.2-19, 2008
2416. 津田一郎, エピソード記憶の数学的構造, BRAIN and NERVE, 60, 7, 771-782, 2008
2417. T. Aoki and T. Aoyagi, Co-evolution of phases and connection strengths in a network of phase oscillators, Physical Review Letters, 印刷中
2418. T. Tanaka, T. Aoyagi, Optimal weighted networks of phase oscillators for synchronization, Physical Review E, 78, 4, 046210-1～10, 2008
2419. T. Tanaka, T. Kaneko, T. Aoyagi, Recurrent infomax generates cell assemblies, neuronal avalanches, and simple cell-like selectivity, Neural Computation, 印刷中
2420. T. Tanaka, T. Aoyagi, Weighted scale-free networks with variable power-law exponents, Physica D, 237, 7, 898-907, 2008
2421. T. Aoki, K. Ota, K. Kurata, T. Aoyagi, Ordering Process of Self-Organizing Maps Improved by Asymmetric Neighborhood Function, Cognitive Neurodynamics, 印刷中
2422. X. Pan, K. Sawa, I. Tsuda, M. Tsukada and M. Sakagami, Reward prediction based on stimulus categorization in primate lateral prefrontal cortex., Nature (Neuroscience), 11, 703-712, 2008
2423. I. Tsuda, Number Created by the Interaction Between Consciousness and Memory: A Mathematical Basis for Preafference, Integrative Psychological and Behavioral Science, 42, 153-156, 2008
2424. I. Tsuda, Y. Yamaguti, S. Kuroda, Y. Fukushima and M. Tsukada, A Mathematical Model for the Hippocampus: Towards the Understanding of Episodic Memory and Imagination, Prog. Theor. Phys. Suppl., 173, 99-108, 2008
2425. I. Tsuda, Hypotheses on the functional roles of chaotic transitory dynamics, Chaos, A Focus Issue on Chaos in immune and cognitive systems (ed. T. Arecchi) (accepted, Dec. 23, 2008), 印刷中
2426. K. Matsumoto, H. Diebner, I. Tsuda and Y. Hosoi, Application of chaos theory to engine systems, Proc. of Small Engine Technology Conference, Society of Automotive Engineers, 32-0010-0016, 2008
2427. 垣内田 翔子, 橋爪 善光, 荻原 直道, 西井 淳, ニホンザルの二足歩行における膝軌道制御の考察, 電子情報通信学会技術報告, in press, 2009
2428. 末長 宏謙, 田中 祥子, 西井 淳, 腱の弾性要素を考慮した消費エネルギー最小規範に基づくヒトの遊脚運動の考察, 電子情報通信学会技術報告, in press, 2009
2429. H. Cruse and V. Durr and J. Schmitz and (翻訳)西井 淳, 昆虫ミメティクス －昆虫の設計に学ぶ－, NTS 出版, 878-884, 2008
2430. A. Ishiguro and M. Koyama and D. Owaki and J. Nishii, Increasing stability of passive dynamic bipedal walking by exploiting hyperextension of knee joints, Proc of 4th International Symposium on Adaptive Motion in Animals and Machines, 164-165, 2008
2431. A. Fujii and H. Suenaga and Y. Hashizume and J. Nishii, Variability of leg swing trajectories and their optimality, Proc of 4th International Symposium on Adaptive Motion in Animals and Machines, 173-174, 2008
2432. Y. Taniai and J. Nishii, Optimality of reaching movements based on energetic cost under the influence of signal-dependent noise, Neural Information Processing, Lecture Notes in Computer Science, 4984, 1091-1099, 2008
2433. J. Nishii and Y. Taniai, Evaluation of trajectory planning models for arm reaching movements based on energy cost, Neural Computation, in press, 2009
2434. 坂井 善行, 渡邉 航, 西井 淳, 石黒 章夫, 成長に伴う身体特性の変化を活用した歩行獲得学習の安定化, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008, 2P2-G16, 2008
2435. 松瀬 千秋, 橋爪 善光, 西井 淳, 松島 俊也, ヒヨコの探餌選択に関わる神経機構の推定, 脳と心のメカニズム第9回夏のワークショップ, BM-25, 2008
2436. 橋爪 善光, 西井 淳, 協調行動と共有語彙の発現と環境が及ぼす影響, 第 10 回日本進化学会大会, P-029, 2008
2437. 谷合 由章, 西井 淳, 上肢到達運動の消費エネルギーに基づく最適性, 日本ロボット学会学術講演会, CD-ROM, 2008
2438. 末長 宏謙, 田中 祥子, 西井 淳, ヒトの遊脚軌道を決定する最適化規範の考察, 脳と心のメカニズム第 9 回冬のワークショップ, P-3, 2009
2439. 福田 昌, 西井 淳, 自由度の凍結と解放による学習の効率化, 脳と心のメカニズム第 9 回冬のワークショップ, P-11, 2008
2440. A. Takamatsu, E. Takaba, G. Takizawa, Environment-dependent morphology in plasmodium of true slime mold Physarum polycephalum and a network growth model, Journal of Theoretical Biology, 256, 29-44, 2009
2441. A. Takamatsu, Evironment-dependent morphology in plasmodium of true slime mold Physarum polycephalum, Gordon research conference on theoretical biology & biomathematics 2008, 2008
2442. M. Ito, A. Takamatsu, K. Yokotani, Analysis on transportation network in plasmodium of true slime mold, 6th Asian Biophysics Association Symposium, 114-115, 2009
2443. 高松 敦子, 細胞の形による適応戦略-真正粘菌変形体の環境依存形態のネットワーク解析-, 第52回システム制御情報学会研究発表講演会予稿集, 149-150, 2008
2444. 伊藤 昌明, 高松 敦子, 生物の輸送管ネットワークの環境適応機構から学ぶ, 第51回自動制御連合講演会予稿集, 336-340, 2008
2445. 高松 敦子, 環境依存の振動子ネットワーク形成による適応戦略, 創発機能ワークショップ第 1 回資料, 23-26, 2008
2446. 高松 敦子, A network model for environment dependent morphology in plasmodial slime mold, 第18回日本数理生物学会大会講演要旨集, 177, 2008
2447. 高松 敦子, 細胞の形と時空間運動による適応戦略, 第2回 移動知一般公開シンポジウム, 2008
2448. M. Ito, A. Takamatsu, R. Okamoto, 真正粘菌変形体における環境依存の輸送管ネットワーク解析, 日本生物物理学会第46回年会予稿集, s69, 2008
2449. T. Hirai, T. Gomi, A. Takamatsu, 1次元形状に制御した真正粘菌変形体におけるアロメトリックスケール則, 日本生物物理学会第46回年会予稿集, s68, 2008
2450. K. Yokotani, E. Takaba, K. Negishi, A. Takamatsu, 真正粘菌変形体が形成するパターンの時系列解析, 日本生物物理学会第46回年会予稿集, s68, 2008
2451. 松本 秀明, 高松 敦子, 真正粘菌変形体結合振動子系の相互作用関数の定量化, 第１回定量生物の会 年会 資料, p016, 2009
2452. 松本 秀明, 高松 敦子, 真正粘菌変形体結合振動子系に関する位相応答曲線, リズム現象の研究会 IV 資料, poster9, 2008
2453. 高松敦子, 伊藤昌明, 岡本力, 環境依存の真正粘菌ネットワーク解析, 日本物理学会第 64 年次年会予稿集, 2009
2454. 松本 秀明, 高松 敦子, 真正粘菌変形体の原形質流動を介した相互作用に関する位相応答曲線の測定, 日本物理学会第64年次年会予稿集, 2009
2455. 植村充典, 金岡克弥, 川村貞夫, 機械的弾性要素を利用した周期運動用パワーアシストシステム －理論的考察とロバスト性の実験的検証－, 日本ロボット学会誌, 26, 3, 294-300, 2008
2456. Masahiro Sekimoto, Suguru Arimoto, Sadao Kawamura, Ji-Hun Bae, Skilled-Motion Plannings of Multi-Body Systems Based upon Riemannian Distance, Proc. of the 2008 IEEE International Conference on Robotics & Automation, Pasadena, CA, USA, May 19-23, 2008, 1233-1238, 2008
2457. Mitsunori Uemura, Guangqiang Lu, Sadao Kawamura, Shugen Ma, Passive Periodic Motions of Multi-Joint Robots by Stiffness Adaptation and DFC for Energy Saving, Proc. of SICE Annual Conference 2008, The University Electro-Communications, Japan, August 20-22, 2008, 2853-2858, 2008
2458. 水野雅之, 秋月伸介, 関本昌紘, 川村貞夫, 基底運動合成に基づく多関節ロボットの動作生成, ロボティクス・メカトロニクス講演会2008（ROBOMEC2008 in NAGANO）講演論文集, 1A1 -A19, 2008
2459. 植村充典, 呂 広強, 川村貞夫, 馬 書根, Energy Saving Motion of Multi-Joint Robot Through Stiffness Adaptation and DFC, ロボティクス・メカトロニクス講演会2008 (ROBOMEC2008 in NAGANO) 講演論文集, 1A1 -A21, 2008
2460. 坂上森彦, 伊坂忠夫, 植村充典, 川村貞夫, 両側同時筋力発揮における運動干渉の解析, ジョイント・シンポジウム2008（スポーツ工学シンポジウム／シンポジウム：ヒューマン・ダイナミクス）, 381-385, 2008
2461. 満田 隆, 川村 貞夫, 関本 昌紘, 植村 充典, 伊坂 忠夫, 筋骨格モデルにおける手先剛性から筋長へのマッピングの線形性評価, 第 9 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2008)論文集, 7-8, 2008
2462. 植村充典, 川村貞夫, 歩行運動に対する拡張版共振概念に基づいた関節剛性と運動パターンの同時適応制御法, 第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2008)論文集, 9-10, 2008
2463. 関本昌紘, 有本 卓, 川村貞夫, リーマン距離に基づく慣性運動メジャー, 第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2008)論文集, 1199-1200, 2008

● 2009 年度

2464. Manabu Gouko, Koji Ito, An Action Generation Model by Using Time Series Prediction and Its Application to Robot Navigation, International Journal of Neural Systems, 19, 2, 105-113, 2009
2465. 井領點子, 郷古 学, 伊藤宏司, 表面筋電位を用いた前腕義手の複合動作識別, 計測自動制御学会論文集, 45, 12, 717-723, 2009
2466. 郷古 学, 登美 直樹, 長野 智晃, 伊藤 宏司, 状態パターンの変化にもとづく行動生成モデル, 電気学会論文誌C, 129, 9, 1690-1698, 2009
2467. 郷古 学, 伊藤 宏司, センサ情報の変化量を利用した移動ロボットによる環境のモデル化と識別, 電子情報通信学会論文誌A, J92-A, 7, 498-506, 2009
2468. 高橋 光, 郷古 学, 伊藤 宏司, 運動想起フィードバック訓練による事象関連脱同期(ERD)出現の検証, システム制御情報学会論文集, 22, 5, 199-205, 2009
2469. M. Takahashi, K. Takeda, R. Osu, Y. Otaka, T. Hanawaka, M. Gouko and K. Ito, Electroencephalogram (EEG) Measurement During Ankle Motion, Proceedings of the 3rd International Symposium on Mobiligence, 149-152, 2009
2470. Naoki Tomi, Manabu Gouko, Koji Ito, Combined mechanisms of internal model control and impedance control under dynamical environments, Proceedings of the 3rd International Symposium on Mobiligence, 137-142, 2009
2471. M.N. Anwar, N. Tomi and K. Ito, Motor Imagery in Force Field Adaptation, Proceedings of the 3rd International Symposium on Mobiligence, 133-136, 2009
2472. T. Sakurada, H. Gomi, and K. Ito, Neural crosstalks construct the muscular and spatial coordination during bilateralfinger movements, Proceedings of the 3rd International Symposium on Mobiligence, 125-128, 2009
2473. Manabu Gouko, Koji Ito, Environmental modeling and identification for autonomous mobile robot, Proceedings of the 3rd International Symposium on Mobiligence, 119-124, 2009
2474. Manabu Gouko, Koji Ito, Environmental identification based on changes in sensory information, Proceedings of the 14th International Conference on Advanced Robotics (ICAR2009), 1-7, 2009
2475. Naoki Tomi, Manabu Gouko, Koji Ito, Cooperative mechanisms of internal model control and impedance control under force fields, Proceedings of 19th International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN2009), 628-637, 2009
2476. Mitsuru Takahashi, Manabu Gouko, koji Ito, Fundamental Research about Brain Computer Interface for stroke rehabilitation, Italy-Japan International Seminar, Musculoskeletal System and Computational Neuro Science for Rehabilitation, 2009
2477. Mitsuru Takahashi, Manabu Gouko, Koji Ito, Fundamental Research about Electroencephalogram (EEG) - Functional Electrical Stimulation (FES) Rehabilitation System, Proceedings of the 2009 IEEE 11th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR2009), 316-321, 2009
2478. Mitsuru Takahashi, Manabu Gouko, Koji Ito, Functional Electrical Stimulation (FES) Effects for Event Related Desynchronization (ERD) on Foot Motor Area, Proceedings of 2009 IEEE/ICME International Conference on Complex Medical Engineering (CME2009), 1-6, 2009
2479. Mitsuru Takahashi, Manabu Gouko, Koji Ito, Muscular Sensation Induce Event Related Desynchronization (Erd) on Foot Motor Area , Proceedings of 2009 IMEKO World Congress, 81-85, 2009
2480. Takayuki Nozawa, Toshiyuki Kondo, Construction of Reversible Lattice Molecular Automata, International Journal of Modern Physics C, 20, 6, 901-929, 2009
2481. Takayuki Nozawa, Toshiyuki Kondo, A comparison of artifact reduction methods for real-time analysis of fNIRS data, Lecture Notes in in Computer Science 5618, 413-422, 2009
2482. Seimei Abe, Takayuki Nozawa, Toshiyuki Kondo, A Proposal of EMG-based Training Support System for Basketball Dribbling, Lecture Notes in in Computer Science 5617, 459-465, 2009
2483. Takayuki Nozawa, Toshiyuki Kondo, Effectiveness of Intrinsically Motivated Adaptive Agent for Sustainable Human-Agent Interaction, Lecture Notes in in Computer Science 5864, 179-188, 2009
2484. 野澤孝之, 近藤敏之, 相対的・過渡的なシステム－環境区分の特徴づけ, 第 21 回計測自動制御学会自律分散システム・シンポジウム資料, 75-80, 2009
2485. 近藤敏之, 小林裕也, 野澤孝之, 相反する視覚運動変換の同時学習, 第 21 回計測自動制御学会自律分散システム・シンポジウム資料, 293-298, 2009
2486. 近藤敏之, 視覚運動連関と運動学習, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 チュートリアル, 2009
2487. 阿部浩明, 野澤孝之, 近藤敏之, 筋電信号を利用した運動技能獲得支援システムの評価, 第 15 回創発システム・シンポジウム講演資料集, 153-154, 2009
2488. 中村拓人, 野澤孝之, 近藤敏之, 観察による身体イメージの生成と運動学習に関する研究, 第 15 回創発システム・シンポジウム講演資料集, 127-130, 2009
2489. 野澤孝之, 近藤敏之, NIRS 脳計測データのオンライン分析のためのアーティファクト除去手法の比較, 第24回生体・生理工学シンポジウム講演資料集, 381-384, 2009
2490. 中村拓人, 野澤孝之, 近藤敏之, 観察による身体イメージの生成と運動学習に関する研究, 第24回生体・生理工学シンポジウム講演資料集, 299-302, 2009
2491. 松島俊也, 動物にとって理（ことわり）とは何か―経済的意思決定をめぐって, 共立出版, 「動物の多様な生き方」シリーズ 第４巻, 98-122, 2009
2492. Kawamori A, Matsushima T, Subjective value of risky foods for individual domestic chicks: a hierarchical Bayesian model., Animal Cognition (DOI 10.1007/s10071-009-0293-1, online), 2009
2493. AmitaH, Kawamori A, Matsushima T, Social influences of competition on impulsive choices in domestic chicks., Biology Letters (DOI:10.1098/rsbl.2009.0748, on line), 2009
2494. 松島俊也・川森愛, 採餌決定の神経生態学, 岩波書店,「科学」特集「進化神経行動学」, 79, 6, 674-677, 2009
2495. Kawamori A, Matsushima T, Bayesian analysis for quantitative estimation of subjective values: a study of risk-sensitivity in domestic chicks, the 31st International Ethology Conference, August 19-24, 2009, University of Rennes, Rennes, France, 2009
2496. Matsushima T、Matsunami S and Amita H, Decision to leave a food patch of diminishing return: distinct neuro-cognitive processes from inter-temporal choice., the 31st International Ethology Conference, August 19-24, 2009, University of Rennes, Rennes, France, 2009
2497. 小倉有紀子, 松島俊也, ヒヨコの『ギャンブリング』: 報酬量変動の効果, 日本動物学会第80回大会 (9月17-20日), 静岡大学, 静岡, 2009
2498. 三浦桃子, Vallortigara G., Regolin L., 松島俊也, ニワトリ初生雛における「ヨハンソンの生物的運動」の視覚弁別, 日本動物学会第80回大会 (9月17-20日), 静岡大学, 静岡, 2009
2499. 川森愛, 松島俊也, ニワトリ雛のリスク感受性選択―階層ベイズモデルを用いた推定―, 日本動物学会第80回大会 (9月17-20日), 静岡大学, 静岡, 2009
2500. 松浪佳平, 網田英敏, 松島俊也, 収益逓減下の意思決定とセロトニン系, 日本動物学会第80回大会 (9月17-20日), 静岡大学, 静岡, 2009
2501. 網田英敏, 松島俊也, 競争採餌と衝動的選択：時間的割引の回収リスク仮説, 日本動物学会第80回大会 (9

月 17-20 日)、静岡大学、静岡, 2009

2502. 三浦桃子、Vallortigara G、Regolin L、松島俊也, 視覚的強化ニワトリ初生雛の生得的な BM 選好性を強化する, 日本動物行動学会第 28 回大会 (11 月 27-29 日)、筑波大学、つくば市, 2009

2503. 野間野史明、松島俊也, 冬季における小型鳥類の捕食者情報, 日本動物行動学会第 28 回大会 (11 月 27-29 日)、筑波大学、つくば市, 2009

2504. 網田英敏、松島俊也, Social influence enhances of competition on impulsive choices in domestic chicks, 脳と心のメカニズム 第 10 回冬のワークショップ (2010 年 1 月 12-14 日)、ルスツリゾート、留寿都, 2009

2505. 三浦桃子、Vallortigara G、Regolin L、松島俊也, Visual experiences enhances innate preference for BM in newly-hatched domestic chicks, 脳と心のメカニズム 第 10 回冬のワークショップ (2010 年 1 月 12-14 日)、ルスツリゾート、留寿都, 2009

2506. 小倉有紀子、松島俊也, 競争種雄ヨヒヨコの運動投資量を増大させる, 脳と心のメカニズム 第 10 回冬のワークショップ (2010 年 1 月 12-14 日)、ルスツリゾート、留寿都, 2009

2507. Sercan Taha Ahi, Hiroyuki Kambara, Yasuharu Koike, A Comparison of Dimensionality Reduction Techniques for the P300 Response, i-CREATe2009, 2009

2508. Charles S.DaSalla, Hiroyuki Kambara, Makoto Sato, Yasuharu Koike, Spatial Filtering and Single-Trial Classification of EEG during Vowel Speech Imagery, i-CREATe2009, 2009

2509. Sercan Taha Ahi, Hiroyuki Kambara, Yasuharu Koike, Dimesion Reduction Techniques for the P300 Response, 2009 IEEE 11th International Conference on Rehabilitation Robotics, 2009

2510. Y.KOIKE, K.YONEYAMA, K.OHISHI, T.KAWASE, H.KAMBARA, Recalibration of time to contact, NEUROSCIENCE 2009, 209

2511. H.KAMBARA, K.KURASHIGE, D.SHIN, Y.KOIKE, Role of efferent signal in weight perception without somatosensory feedback, NEUROSCIENCE 2009, 2009

2512. Y.Koike, K.Yoneyama, H.Kambara, Recalibration of time to contact, The 3rd InternationaL Symposium on Mobiligence, 2009

2513. Yan Li, Yasuharu Koike, Masashi Sugiyama, A Framework of Adaptive Beain Computer Interfaces, CISP'09-BMEI'09, 2009

2514. 小池康晴, 運動予測における視覚と触覚の役割, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009 (招待講演), 2009

2515. 小池康晴, 米山和也, 大石圭一, 川瀬利弘, 神原裕行, 時間差の学習と同期性の変化, モーターコントロール研究会, 2009

2516. 神原裕行, 小池康晴, 内部モデルを用いた終端位置制御仮説による筋活動予測, モーターコントロール研究会, 2009

2517. 神原裕行, 辛徳, 小池康晴, 内部モデルを用いた終端位置制御仮説による筋活動予測, 日本神経回路学会第 19 回全国大会, 156-157, 2009

2518. 小池康晴, 筋骨格系のモデルを用いたブレインマシンインタフェース, 第 11 回日本電気生理運動学会, 15-16, 2009

2519. 下田智大, 川瀬利弘, 神原裕行, 小池康晴, 介護者モデルを用いたパワーアシスト法の提案, 第11回日本電気生理運動学会, 19-20, 2009

2520. 木暮雄一郎, 神原裕行, 小池康晴, 表面筋電を用いた指の姿勢推定に関する研究, 第 11 回日本電気生理運動学会, 42-43, 2009

2521. 小川 正, 大脳皮質の視覚処理, 映像情報メディア工学総合大辞典 「第 4 章 視覚」、映像情報メディア学会編、オーム社, 47-49, 2010 (出版予定)

2522. Ogawa T, Komtsu H, Condition-dependent and condition-independent target selection in macaque posterior parietal cortex, Journal of Neurophysiology, 101, 721-736, 2009

2523. Harada T, Goda N, Ogawa T, Ito M, Toyoda H, Sadato N, Komatsu H, Distribution of colour-selective activity in the monkey inferior temporal cortex revealed by functional magnetic resonance imaging, European Journal of Neuroscience, 30, 1960-1970, 2009

2524. Shinomoto S, Kim H, Shimokawa T, Matsuno N, Funahashi S, Shima K, Fujita I, Tamura H, Doi T, Kawano K, Inaba N, Fukushima K, Kurkin S, Kurata K, Taira M, Tsutsui K, Komatsu H, Ogawa T, Koida K, Tanji J, Toyama K., Relating neuronal firing patterns to functional differentiation of cerebral cortex, PLoS Comput Biology, 5, e1000433, 2009

2525. 林 叔克、田村 友里恵、佐瀬 一弥、菅原 研、沢田 康次, ヒトの視覚運動機構における位置誤差訂正運動と予測運動の混在と分離, 計測自動制御学会論文集, 2009

2526. Chomchana Trevai, Jun Ota and Tamio Arai, 相互追従実験によるヒトーヒト間協調的適応の最適化の研究, 計測自動制御学会論文集, 2009

2527. 沢田 康次, 脳の現象論と物理学, 日本神経回路学会誌, 16, 3, 126-127, 2009

2528. Hayashi, Y., Tamura Y., Sugawara K., Sawada Y., Roll of the rhythmic component in the proactive control of a human hand, Artif Life Robotics, 14, (2009), 14, 2009

2529. Hayashi, Y., Tamura, Y., Sugawara, K., Sawada, Y., Why the hand motion proceeds the target in tracking experiment?, Prodeedings of The 3rd International Symposium on Mobiligence, 2009

2530. 林 叔克、田村 友里恵、石田 文彦、菅原 研、沢田 康次, 「先行制御」とリズムの自己生成の必要性, 日本物理学会 春季大会資料, 2008

2531. 田村 友里恵、林 叔克、沢田 康次, ヒトの運動制御におけるリズム生成のメカニズム, 計測制御学会 東北支部研究会資料, 2009

2532. 佐瀬 一弥、林 叔克, ヒトの視覚情報処理に基づいた運動制御 ～やわらかな運動制御系の構築～, 計測制御学会 東北支部研究会資料, 2009

2533. 沢田 康次, ヒトの視覚運動系におけるフィードバック (FB) 機構とフィードフォワード (FF) 機構の混在と分離, 情報科学技術フォーラム (FIT) 2009 イベント企画 (ロボットの運動と視覚における新たな展開), 2009

2534. 石田 文彦、林 叔克、高地 康宏、沢田 康次, 目標到達運動におけるフィードフォワード・フィードバック機構の相補性と先行性の関係, 第 24 回生体・生理工学シンポジウム資料, 2009

2535. 林 叔克、田村 友里恵、佐瀬 一弥、菅原 研、沢田 康次, ヒトの視覚追従運動におけるリズム生成と先行性の発現, 第 24 回生体・生理工学シンポジウム資料, 2009

2536. 林 叔克、田村 友里恵、佐瀬 一弥、石田 文彦、菅原 研、沢田 康次, 相互追従実験によるヒトーヒト間協調的適応の最適化の研究, 「移動知シンポジウム」資料, 2009

2537. 村田 哲, 脳内の身体, シリーズ移動知 第3巻 環境適応ー内部表現と予測のメカニズム 第5章, 2009

2538. Hiroaki Ishida, Kastumi Nakajima, Masahiko Inase, Akira Murata, Shared mapping of own and others' bodies in visuo-tactile bimodal area of the monkey parietal cortex, Journal of Cognitive Neuroscience , 22, 1, 83-96, 2010

2539. 村田 哲, ミラーニューロンは他者を写すだけなのか; こころの科学, 148 , 11, 9-20, 2009

2540. Akira Murata, Win Nyi Shein and Hideo Sakata, Object-centered position coding for hand manipulation action in the parietal cortex of the monkey, 3rd international Symposium of Mobiligence on Awaji November, 2009

2541. Murata, A., Ishida. H, Nakajima, K. and Inase, M., Other's body representation referred to self body in the parietal cortex of the monkey., NIPS International Workshop for Scientific Study of Consciousness 2009 September Okazaki , 2009

2542. Murata, A., Ishida. H, Nakajima, K. and Inase, M., Other's body representation referred to self body in the parietal cortex of the monkey., IUPS 2009 July Kyoto., 2009

2543. 石田文彦, 村田哲, 阪口豊, サル AIP 野における手操作関連神経活動の情報量解析, 第3回生理学研究所 Motor Control 研究会, 岡崎, 2009

2544. 稲邑 哲也, 谷口慎吾, 中村仁彦, 幾何学的シンボル操作による多様な動作パターンの認識・生成を実現する原始シンボル空間の構成法, 日本ロボット学会誌, 27, 5, 84–94, 2009

2545. Keisuke Okuno and Tetsunari Inamura, Estimation of other's sensor patterns based on motion imitation and communication, 10th International Symposium on Artificial Life and Robotics, 2010

2546. Tetsunari Inamura and Keisuke Okuno, Estimation of other's sensory patterns based on dialogue and shared motion experiences, 9th IEEE/RAS International Conference on Humanoid Robots, 617–623, 2009

2547. Keisuke Okuno and Tetsunari Inamura, Inference of other's sensorimotor patterns based on symbolic query with motion performance, The 3rd International Symposium on Mobiligence, 42–45, 2009

2548. 奥野 敬丞, 稲邑 哲也, シンボルコミュニケーションに基づく他者の感覚運動情報の推定～感覚運動情報のシンボル化戦略の獲得に関する考察～, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2009 予稿集, 2A1-A21, 2009

2549. 奥野 敬丞, 稲邑 哲也, 動作模倣と対話に基づく他者感覚パターンの推定に関する研究-相対評価型質問による感覚パターンのシンボル化戦略の特定-, 第15回ロボティクスシンポジア予稿集, 2010

2550. J. Namikawa, J. Tani, Learning to imitate stochastic time series in a compositional way by chaos, Neural Networks, in press

2551. J. Tani, Autonomy of Self at criticality: The perspective from synthetic neuro-robotics, Adaptive Behavior, 17, 5, 421-443, 2009

2552. R. Nishimoto, J. Tani, Development of hierarchical structures for actions and motor imagery: a constructivist view from synthetic neuro-robotics study, Psychological Research, 73, 545-558, 2009

2553. H. Arie, T. Endo, T. Arakaki, S. Sugano, J. Tani, Creating novel goal-directed actions at criticality: a neuro-robotic experiment, New Mathematics and Natural Computation, 5, 1, 307-334, 2009

2554. M. Maniadakis, J. Tani, Acquiring rules for rules: neuro-dynamical systems account for meta-cognition, Adaptive Behavior, 17, 1, 58-80, 2009

2555. I. Igari, J. Tani, Incremental Learning of Sequence Patterns with a Modular Network Model, Neurocomputing, 72, 1910-1919, 2009

2556. Matsuyama K., Takakusaki K, Organizing Principles of Projections of the Long Descending Reticulospinal Pathways and Their Targets' Spinal Commissural Neurons: With Special Reference to the Locomotor Function, Handbook on White Matter: Structure, Function and Changes (Editors: Westland T.B., Calton R.N.), 335-356, 2009

2557. Kumei S., Motomura W., Yoshizaki T., Takakusaki K., Okumura T., Troglitazone increases expression of E-cadherin and claudin 4 in human pancreatic cancer cells. , Biochem. Biophys. Res. Comm, 382, 615-619, 2009

2558. Adachi M, Nonaka S, Katada A, Arakawa T, Ota R, Harada H, Takakusaki K, Harabuchi Y. , Laryngeal muscle activity and airway reflexes during a carbachol-induced REM sleep in decerebrate cats., Neuroscience Research , in press

2559. Takakusaki K., Okumura T., Koyama Y., Subcortical mechanisms of controlling muscle tone and locomotion with respect to the pathogenesis Cataplexy in Narcolepsy, In: Narcolepsy; Symptoms, Causes and Diagnosis and Treatment. Nova Science Publishing Co. New York, USA., in press

2560. Takakkusaki K, Iwamuro H , Firing properties of the pedunculopontine tegmental nucleus neurons with respect to the basal ganglia modulation, Neuroscience Research , 65, Suppl, S71, 2009

2561. Tsuchiya Y., Takahashi N., Yoshizaki T., Tanno S., Ohhira M., Motomura W., Tanno S., Takakusaki K., Kohgo Y., Okumura T, A Jak2 inhibitor, AG490, reverses lipin-1 suppression by TNF-alpha in 3T3-L1 adipocytes, Biochem. Biophys. Res. Comm, 360, 614-619, 2009

2562. Tanno S, Ohhira M, Tsuchiya Y, Takeuchi T, Tanno S, Okumura T, Laryngeal muscle activity and airway reflexes during a carbachol-induced REM sleep in decerebrate cats., Internal Medicine , 48, 1263-1266, 2009

2563. Onuma Boonyarom, Naoki Kozuka, Kiyoji Matsuyama, Shinji Murakami, Effect of Electrical Stimulation to Prevent Muscle Atrophy on Morphological and Histological Properties of Hindlimb Suspended Rat Hindlimb Muscles, American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation, 88, 9, 719-726, 2009

2564. T. Hosoido, F. Mori, et al, Characteristics of H- and M-waves recorded from rat forelimbs, Neuroscience Letters, 450, 239-241, 2009

2565. Y. Wada, F. Mori, et al, Distribution of dendrites from lomgissimus lumborum motoneurons stained intracellularly with biocytin in the adult cats., Journal of Veterinary Medical Science, in press

2566. 高草木 薫 松山清 治, 神経体育機能, Clinical Neuroscience, 27, 7, 752-756, 2009

2567. 高草木 薫 , 大脳基底核による運動の制御, 臨床神経学, 49, 6, 325-334, 2009

2568. 高草木 薫 , 意識と行動, 脳と心の科学, 印刷中

2569. 高草木 薫 , 歩行の制御と障害のメカニズム, Frontiers in Parkinson Disease, 印刷中

2570. 高草木 薫, 姿勢と筋緊張の制御, Clinical Neuroscience, 印刷中

2571. 高草木 薫 松山 清治, 脳幹-脊髄による歩行と筋緊張の制御, 脳と神経, 印刷中

2572. 松山清治, 塚本寛, 吉田雅宏, 齋藤論, 齋藤利和, 高用量 blonanserin による統合失調症の陽性症状改善効果と有害事象 ―Perospiron との比較より―, 新薬と臨床 58, 9, 1540-1545, 2009

2573. 柳原 大, 脳の発達と動きづくり, 子どもと発育発達 250-254, 2010

2574. 小山純正, 視床下部と睡眠 , 睡眠学 (日本睡眠学会編) , 33-40, 2009

2575. 小山純正, 睡眠覚醒ニューロン活動の記録法, 睡眠学 (日本睡眠学会編) , 313-318, 2009

2576. 小山純正, 脳幹網様体覚醒とレム睡眠の中枢) , Clinical Neuroscience, 27, 1376-1379, 2009

2577. Takakkusaki K, Neural substrates for gait control in relation to the basal ganglia function, The Basal Ganglia in Heath & Disease, Satellite Symposium for Neuro2009, 2009, 9.14-15, Okazaki, Japan,

2578. Takakkusaki K, The pedunculopontine tegmental nucleus (PPN) ?from their rhythmic firing property to their roles for biological function , The 6th Congress of Asia Sleep Research Society (ASRS). Symposium on "Significance of various biological Rhythms", 2009, 10, 25-27, Osaka, Japan,

2579. Takakkusaki K, Basal Ganglia influences on brainstem locomotor and posture regions, Workshop on "Freezing of Gait (FoG)". 2010, 2, 25-26, Washington DC, USA.

2580. Kiyoji Matsuyama, Masanori Ishiguro, Suguru Kobayashi, Mamoru Aoki, Spinal Neural Mechanisms in The Generation of Coordinated Quadrupedal Locomotion in Rabbits, Journal of Physiological Sciences (Proceedings of 36th International Congress of Physiological Sciences) (IUPS2009, Kyoto), 59, Suppl, 448, 2009

2581. Yutaka Fujito, Suguru Kobayashi, Kiyoji Matsuyama, Mamoru Aoki, Respiratory Rhythm Generation and its Raphe Modulation in in vitro Medullary Half-Slice Preparations of Neonatal Mice, Journal of Physiological Sciences (Proceedings of 36th International Congress of Physiological Sciences) (IUPS2009, Kyoto), 59, Suppl, 466, 2009

2582. Kiyoji Matsuyama, Masanori Ishiguro, Kaoru Takakusaki, Descending Routes of Locomotor Driving Signals Involved in The Generation of Coordinated Hopping Locomotion in Decerebrate Rabbits, Proceedings of The 3rd International Symposium on Mobiligence, 255-258, 2009

2583. Genko Oyama, , Kenji Yoshimi, , Shihoko Natori, , Yoko Chikaoka, , Yong-Ri Ren, , Yasushi Shimo, , Ryosuke Takahashi, , Taizo Nakazato, , Shigeru Kitazawa, , and Nobutaka Hattori, Aging effect on dopamine release in parkin knockout mice, The Movement Disorder Society's13th International Congress of Parkinson's Disease and Movement Disorders (MDS, 2009

2584. G Oyama, H Shiotsuki, K Yoshimi, S Natori, Y Chikaoka, YR Ren, K Ikeda, Y Shimo, R Takahashi, N Hattori, S Kitazawa, Reduced dopamine release in parkin knockout mice, XXXVI th International Union of Physiological Sciences (IUPS), July 27-Aug 1, Kyoto, 2009

2585. S Natori, K Yoshimi, Y Shimo, N Hattori, S Kitazawa, Detecting reward-associated dopamine release in the striatum of behaving mice, XXXVI th International Union of Physiological Sciences (IUPS), July 27-Aug 1, Kyoto, 2009

2586. *K. YOSHIMI1, Y. NAYA2, N. MITANI2, M. INOUE1, S. NATORI1, T. OCHIAI1, A. SUZUKI2, Y. EINAGA2, S. KITAZAWA1;, Diamond microelectrode amperometry in the awake primate brain, 39th Annual Meeting, Society for Neuroscience, Chicago, U.S.A., Oct. 17-21, 2009

2587. *A.Z Weitemier1, K. YOSHIMI2, Y. NAYA3, N. MITANI3, A. Suzuki3, S. NATORI2, Y. EINAGA3, J. McHugh1, S. KITAZAWA2;, Differential detection of monoamines and pH using diamond microelectrode., 39th Annual Meeting, Society for Neuroscience, Chicago, U.S.A., Oct. 17-21, 2009

2588. K. YOSHIMI1, Y. EINAGA2, T. NAKAZATO1, S. KITAZAWA1, Reward-related dopamine release in the rodent and primate brain, The 3rd International Symposium on Mobiligence, 2009

2589. Akira Murata, Hiroaki Ishida, Katsumi Nakajima, Masahiko Inase, Other's Body Representation Reffered to Self Body in the Parietal Cortex of the Monkey , The Journal of Physiological Sciences, 59, Suppl. 1, 194, 2009

2590. Katsumi Nakajima, Futoshi Mori, Akira Murata, Masahiko Inase, Neuronal Activity in Primary Motor Cortex of a Japanese Monkey during Quadrupedal vs. Bipedal Locomotion on the Treadmill, The Journal of Physiological Sciences, 59, Suppl. 1, 449, 2009

2591. Atsushi Chiba, Ken-ichi Oshio, Masahiko Inase, Physiological Effects of the Upright Sitting on the Knees, The Journal of Physiological Sciences, 59, Suppl. 1, 483, 2009

2592. F. Mori and K. Nakajima, Adaptive and anticipatory locomotor control in bipedal walking monkeys, 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Kobe, Japan, 2009

2593. F. Mori and K. Nakajima, Cortical contribution to the intralimb and interlimb coordination during bipedal locomotion in monkeys., 19th International Society for Posture and Gait Research, Bologna, Italy, 2009

2594. Takeuchi, E., Yanagihara, D., Ishida, A., and Yuzaki, M., Effects of Cbln1 infusion on the hindlimb kinematics during treadmill locomotion in adult cbln1-null mice, The 3rd International Symposium on Mobiligence, 161-164, 2009

2595. Kotajima, H., Yanagihara, D., Narumi, S., and Yuzaki, M., Role of the Purkinje cell-specific δ2 glutamate receptor in fear conditioned heart rate responses in mice, The 3rd International Symposium on Mobiligence, 220-223, 2009

2596. Yoshimasa Koyama Kazumi Takahashi, Yuka Abe, Ayao Sakuma, Yukihiko Kayama, Hypothalamic regulation of muscular tonus through the orexinergic and non-orexinergic systems, Proceedings of the 36th International Congress of Physiological Sciences , 449, 2009

2597. Natsuko Tsujino, Tomoni Tsunematsu, Yoshimasa Koyama, Akihiro Yamanaka, Takashi Sakurai., Alterations in monoaminergic neurons in orexin neuron-ablated mice, Proceedings of the 36th International Congress of Physiological Sciences, 520, 2009

2598. Kazumi Takahashi, Tohru Kodama, Yoshiko Honda, Yoshimasa Koyama, Orexin facilitates GABA release from the sunstantia nigra pars reticulata and the pedunculopontine tegmental nucleus that regulate muscular tonus, The 39th Annual Meeting of Society for Neuroscience, 2009

2599. Keiko Ogawa, Kazumi Takahashi, Kunio Kitahama, Katsuo Yamazaki, Yoshimasa Koyama, Effects of the superior colliculus lesions upon rapid eye movements during paradoxical sleep in the rat, The 39th Annual Meeting of Society for Neuroscience, 2009

2600. Keiko Ogawa, Kazumi Takahashi, Kunio Kitahama, Katsuo Yamazaki, Yoshimasa Koyama, Inhibition of burstic eye movements during paradoxical sleep after superior colliculus lesion, The 6th Congress of Asian Sleep Research Society, Program & Abstract., 215, 2009

2601. Yoshimasa Koyama, Kazumi Takahashi, Yoshiko Honda, Tohru Kodama, GABA release from the sunstantia nigra pars reticulata and the pedunculopontine tegmental nucleus is facilitated by orexin , The 6th Congress of Asian Sleep Research Society, Program & Abstract. , 216, 2009

2602. Yoshimasa Koyama, Kazumi Takahashi, Yuka Abe, Ayao Sakuma, Kaoru Takakusaki, Tonic and phasic regulations of muscular tonus through the hypothalamus, Proceedings of the 3rd International Symposium on Mobiligence p.157-160, 157-160, 2009

2603. 高草木 薫, 脳の働きと脚橋被蓋核, 第24回日本大脳基底核研究会 2009.8.1-2, 東京,

2604. 高草木 薫, 脊髄神経回路網による運動と筋緊張の制御, 第 32 回脊髄機能診断研究会特別講演 2010, 2, 6, 東京,

2605. 高草木 薫, 理学療法・作業療法と神経生理学, 平成 20 年度日本ボバース研究会北海道ブロック小児・成人部門合同症例発表会特別講演 2009.1.16, 札幌,

2606. 高草木 薫, 理学療法士に必要な神経生理学 ―姿勢と歩行―, 平成21年度, 日本ボバース研究会近畿ブロック 特別講演 2009. 5. 9, 大阪, Kiyoji Matsuyama, Takao Ishii, Masanori Ishiguro, Recovery of Hindlimb Locomotor Function After Spinal Cord Injury: A Study Using Decerebrate Animal Models, Neuroscience Research, 65, Suppl, S166-167, 2009

2607. 竹田里江, 矢澤省吾, 村原貴史, 豊島貴信, 石黒雅敏, 白石秀明, 松山清治, 長谷隆, 視空間性ワーキングメモリ課題に伴う脳活動部位の変化：脳磁場計測による検討, 臨床神経生理学, 37, 5, 342, 2009

2608. Kenji Yoshimi, High-speed dopamine detection in the brain using diamond microelectrode, 理化学研究所 BSI フォーラム(11 月 13 日), 2009

2609. 吉見建二, 秒速ドパミンモニター, 移動知 B01 班会議, 8 月 21 日, 近畿大学医学部, 2009

2610. 名取可保子, 吉見建二, 大山彦光, 北澤茂, 下泰司, 脳部位計測, 予測外報酬に対するドパミン応答の in vivo ボルタメトリ法を用いた測定, 第50回日本神経学会総会 2009年5月20日～22日 仙台国際センター, 2009

2611. 大山彦光, 吉見建二, 近岡祥子, 下泰司, 高橋良輔, 北澤茂, 脳部位計測, Parkin ノックアウトマウスにおける線条体ドパミン放出能の加齢変化, 第50回日本神経学会総会 2009年5月20日～22日 仙台国際センター, 2009

2612. 中村克己, 森大志, 村田哲, 稲瀬正彦, トレッドミル歩行中におけるサル一次運動野の単一神経活動：四足歩行と二足歩行の比較, Neuroscience Research, 65, Suppl. 1, S168, 2009

2613. 森大志, 中陦克己, 四足から二足へ ーサルにおける生理学的研究ー, Neuroscience Research, 65, Suppl. 1, S12, 2009
2614. 生塩研一, 千葉惇, 稲瀬正彦, 時間弁別において前頭前野は時間フィルタリングに寄与する, Neuroscience Research, 65, Suppl. 1, S192, 2009
2615. 千葉 惇, 生塩研一, 稲瀬正彦, ザリガニ摘出心臓への磁気刺激効果, 日本生体磁気学会誌, 21, 288-289, 2009
2616. 佐藤 和、青木 祥、柳原 大、境 和久、端川 勉, ラットの障害物歩行における下オリーブ核ー登上線維系破壊の影響, 第8回姿勢と歩行研究会, 14-15, 2009
2617. 竹内絵理、山浦 洋、柳原 大、石田 綾、柚崎通介, Cbln1 ノックアウトマウスにおける歩行失調, 第8回姿勢と歩行研究会, 18-19, 2009
2618. 古田島浩子、柳原 大、鳴海 栄、柚崎通介, 小脳δ2 型グルタミン酸受容体変異マウスにおける心拍条件付け学習：保持および消去過程, 第17回日本運動生理学会大会抄録集, 67, 2009
2619. 青木 祥、佐藤 和、柳原 大, 障害物回避歩行における小脳中間部・外側半球部の役割, 第 17 回日本運動生理学会大会抄録集, 79, 2009
2620. 竹内絵理、柳原 大、石田 綾、柚崎通介, 歩行制御における平行線維 - プルキンエ細胞間シナプスの役割, 第17回日本運動生理学会大会抄録集, 79 , 2009
2621. 持永 新、古田島浩子、花川 隆、柳原 大, 競技経験が運動予測及び予測に関わる脳活動に及ぼす影響について, 第17回日本運動生理学会大会抄録集, 79, 2009
2622. 青木 祥、佐藤 和、柳原 大, 障害物回避歩行における小脳中間部・外側半球部の役割, 第 10 回（社）計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 504-507, 2009
2623. 山浦 祥、竹内絵理、柳原 大、平井宏和、寅嶋 崇、小山知穂, 脊髄小脳変性症3型マウスにおける姿勢の障害, 第10回（社）計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 508-510, 2009
2624. 片桐友二、遠藤昌吾、柳原 大、永雄総一, 視機性眼球反応の適応によるマウスの小脳片葉プルキンエ細胞の遺伝子発現の修飾, 第82回日本生化学学会, 4P-431, 2009
2625. 小山純正, 脳幹のアセチルコリン作動性ニューロンとレム睡眠 ー脚橋被蓋核で夢を見る？ー, 第 24 回大脳基底核研究会 教育講演, 2009
2626. 辻野なつ子、常松友美、山中章弘、小山純正、櫻井武, オレキシン神経欠損マウスにおけるモノアミン神経活動の変化, 第32回日本神経科学大会 プログラム, 259, 2009
2627. 小川景子、高橋和巳、北浜邦夫、山崎勝男、小山純正, 上丘破壊によるラット逆説睡眠中の急速眼球運動の抑制, 第32回日本神経科学大会 プログラム, 259, 2009
2628. Ogihara, N., Hirasaki, E., Nakatsukasa, M., Experimental and computational studies of bipedal locomotion in the bipedally-trained Japanese macaque, D'Aout, K. and Vereecke, E.E. (eds) Studying Primate Locomotion: Linking Field and Laboratory Research, New York, Springer , in press
2629. Ogihara, N., Makishima, H., Aoi, S., Sugimoto, Y., Tsuchiya, K., Nakatsukasa, M., Development of an Anatomically Based Whole-Body Musculoskeletal Model of the Japanese Macaque (Macaca fuscata), American Journal of Physical Anthropology, 139, 323-338, 2009
2630. Ogihara, N., Makishima, H., Nakatsukasa, M., Three-dimensional musculoskeletal kinematics during bipedal locomotion in the Japanese macaque reconstructed based on an anatomical model-matching method, Journal of Human Evolution, in press
2631. Matsuura, Y., Ogihara, N., Nakatsukasa, M., A method for quantifying articular surface morphology of metacarpals using quadric surface approximation, International Journal of Primatology, in press
2632. Oishi, M., Ogihara, N., Endo, H., Ichihara, N., Asari, M., Dimensions of forelimb muscles in orangutans and chimpanzees, Journal of Anatomy, 215, 373-382, 2009
2633. Oishi, M., Ogihara, N., Endo, H., Komiya, T., Kawada, S., Tomiyama, T., Sugiura, Y., Ichihara, N., Asari, M., Dimensions of the foot muscles in the lowland gorilla, Journal of Veterinary Medical Science, 71, 821-824, 2009
2634. Kagaya, M., Ogihara, N., Nakatsukasa, M., Rib orientation and implications for orthograde positional behavior in non-human anthropoids, Primates, 50, 305-310, 2009
2635. Yasuhiro Sugimoto, Shinya Aoi, Naomichi Ogihara, Kazuo Tsuchiya, The Stabilizing function of musculoskeletal system for periodic motion, Advanced Robotics, 23, 5, 521-534, 2009
2636. Kazuhiko Nakatani, Yasuhiro Sugimoto, Koichi Osuka, Demonstration and Analysis of Quadrupedal Passive Dynamic Walking, Advanced Robotics, 23, 5, 483-501, 2009
2637. Shinya Aoi, Naomichi Ogihara, Tetsuro Funato, Yasuhiro Sugimoto, Kazuo Tsuchiya, Evaluating functional roles of phase resetting in generation of adaptive human bipedal walking with a physiologically-based model of the spinal pattern generator, Biological Cybernetics, in press
2638. 土屋和雄, 動物運動の自律分散システムモデル, 計測と制御, 48, 9, 677-680, 2009
2639. 青井伸也, 荻原直道, 神経筋骨格モデルに基づくヒトの歩行シミュレーション, 計測と制御, 48, 9, 687-692, 2009
2640. 青井伸也, 土屋和雄, 多脚歩行ロボットの力学特性と運動機能, システム/制御/情報, 53, 12, 500-505, 2009
2641. N. Ogihara, S. Aoi, Y. Sugimoto, T. Funato, H. Makishima, M. Nakatsukasa and K. Tsuchiya, System biomechanics of bipedal walking in the Japanese macaque: Exploration of principal mechanism for adaptive locomotion, 3rd International Symposium on Mobiligence, Awaji, Japan, 2009
2642. N. Ogihara, S. Aoi, Y. Sugimoto, K. Tsuchiya, and M. Nakatsukasa, Computer simulation study of bipedal walking in the Japanese macaque based on a musculoskeletal model, 3rd International Symposium on Mobiligence, Awaji, Japan, 2009
2643. Ogihara, N., Biomechanical analyses and simulation of bipedal locomotion in the Japanese macaque, Workshop: Adaptive motion in man, animals, and machines, Jena, Germany, 2009
2644. N. Ogihara, S. Aoi, Y. Sugimoto, K. Tsuchiya, and M. Nakatsukasa, Simulation study of bipedal locomotion in the Japanese macaque: Towards understanding the mechanisms of adaptive control and the evolution of human bipedalism, The 32nd Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, Nagoya, Japan, 2009
2645. Y. Sugimoto, H. Yoshioka, S. Kitsunezuka, K. Osuka, Motion Analysis of Multi-Legged Passive Dynamic Walking, The 19th Intelligent System Symposium (FAN2009), 2009
2646. K. Tsuchiya, S. Aoi, T. Funato, N. Ogihara , System Models of Animal Locomotion, Cognition for Technical Systems Fall Workshop, 2009
2647. S. Aoi, N. Ogihara, T. Funato, Y. Sugimoto, and K. Tsuchiya, Generation of Adaptive Human Bipedal Locomotion Based on a Neuromusculoskeletal Model, The 3rd International Symposium on Mobiligence, 250-254, 2009
2648. T. Funato, S. Aoi, and K. Tsuchiya, An Analysis of the Kinematic Indices of Human Walking, The 3rd International Symposium on Mobiligence, 224-229, 2009
2649. 荻原直道、青井伸也、杉本靖博、土屋和雄、中務真人, 二次元筋骨格モデルに基づくニホンザルの二足歩行シミュレーション, 第30回バイオメカニズム学術講演会, 2009
2650. 杉本靖博, 大須賀公一, Implicit Feedback Structure を考慮した準受動的動歩行の実現 -陰的制御と陽的制御-, 第15回日本ロボティクスシンポジア, 2010
2651. 吉岡秀隆, 杉本靖博, 大須賀公一, 超多脚型受動的動歩行の脚数による安定性の変化, 第 27 回日本ロホ?ット学会学術講演会, 2009
2652. 浪花啓右, 杉本靖博, 大須賀公一, McKibben 型空気圧アクチュエータを用いたロボットの運動生成と安定解析, 第 10 回システムインテク?レーション部門講演会, 474-477, 2009
2653. 狐塚聖治, 杉本靖博, 大須賀公一, 膝関節を有した四脚受動的動歩行の実現, 第 10 回システムインテク?レーション部門講演会, 1331-1334, 2009
2654. 吉岡秀隆, 杉本靖博, 大須賀公一, 超多脚型受動的動歩行の安定性について, 第 10 回システムインテク?レーション部門講演会, 1335-1338, 2009
2655. 近藤学宏, 青井伸也, 市川朗, 土屋和雄, 神経筋骨格モデルに基づくネコの後肢歩行運動の生成, 第53回システム制御情報学会研究発表講演会, 2009
2656. 南敬太郎, 木村憲幸, 青井伸也, 市川朗, 土屋和雄, 最適制御に基づく遊脚の運動生成とシナジーに関する考察, 第53回システム制御情報学会研究発表講演会, 2009
2657. 青井伸也, 荻原直道, 土屋和雄, ニホンザルの筋骨格モデルに基づく歩行分析と歩行遷移ロボットの紹介, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009, 2009
2658. 船戸徹郎, 青井伸也, 土屋和雄, ヒトの歩行における主要な制御タスクの検討, 第15回創発システム・シンポジウム, 2009
2659. 船戸徹郎, 青井伸也, 土屋和雄, ヒトの歩行における主運動の解析, 第 27 回日本ロボット学会学術講演会, 2009
2660. 船戸徹郎, 青井伸也, 土屋和雄, 特異値分解による歩行運動の制御パラメータの検討, 第3回生理学研究所「Motor Control 研究会」, 2009
2661. 船戸徹郎, 青井伸也, 土屋和雄, 動作計測に基づく異なる歩行環境間での運動パターンの解析, 第 10 回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会, 2009
2662. 足立渡, 船戸徹郎, 土屋和雄, 回転床面上におけるヒトのおじぎ動作の解析, 第10回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会, 2009
2663. 近藤学宏, 青井伸也, 柳原大, 青木祥, 山浦洋, 荻原直道, 市川朗, 土屋和雄, ラットの解剖データに基づく後肢筋骨格モデルの構築とキネマティクスデータに基づく後肢歩行シミュレーション, 第 22 回自律分散システム・シンポジウム, 2010
2664. 青井伸也, 荻原直道, 船戸徹郎, 杉本靖博, 土屋和雄, ヒトの神経筋骨格モデルに基づく適応的歩行生成における位相リセットの役割の考察, 第22回自律分散システム・シンポジウム, 2010
2665. 船戸徹郎, 青井伸也, 土屋和雄, 変動に基づくヒトの歩行運動の制御指標の探索, 第 22 回自律分散システム・シンポジウム, 2010
2666. 繰生紘史, 船戸徹郎, 土屋和雄, ヒトの姿勢運動の特異値分解による解析, 第22回自律分散システム・シンポジウム, 2010
2667. Koh Hosoda, Yuki Sakaguchi, Hitoshi Takayama, and Takashi Takuma, Pneumatic-driven jumping robot with anthropomorphic muscular skeleton structure, Autonomous Robots, 28, 2010
2668. K.Tsujita, T.Kobayashi, T.Inoura and T.Masuda, Feasibility Study on Stability of Gait Patterns with Changable Body Stiffness using Pneumatic Actuators in Quadruped Robot, Advanced Robotics, .23, 503-520, 2009
2669. 細田耕, 田熊隆史, 生物規範実験ロボティクスのススメ, 計測と制御, 48, 9, 693-698, 2009
2670. 井上 康介, ヘビの適応運動メカニズムの構成論的理解, 計測と制御, 48, 9, 699-704, 2009
2671. Rodrigo da Silva Guerray, Hitoshi Aonuma, Koh Hosoda, and Minoru Asada, Using Micro-robots as a Tool for Insect Behavior Studies, Proceedings of Workshop on Mobiligence(held in conjunction with IROS 2009), 39-44, 2009
2672. Koh Hosoda, Yuki Sakaguchi, and Hitoshi Takayama, Anthropomorphic Monopod Bouncing Equipped with Biarticular Muscles, The 3rd International Symposium on Mobiligence, 64-67, 2009
2673. T.Kobayashi, K.Tsujita and T.Masuda, Stability of Quadruped Locomotion under Changeable Body Stiffness, Proc. of the 3rd Int. Symp. on Mobiligence, Awaji, Japan, 230-233, 2009
2674. T.Kobayashi and K.Tsujita, Stability of Gait Patterns with Changeable Body Stiffness in Quadruped Locomotion, Proc. of Int. Conf. FAN 2009, Aizu Wakamatsu, Japan, 371-376, 2009
2675. M.Goan, T.Fukaya and K.Tsujita, The More Rehearsal, the More Noise in Timing Patterns, Proc. of 20th Int. Conf. on Noise and Fluctuations Pisa, Italy, 559-562, 2009
2676. Takashi Takuma, Katsuyoshi Tsujita, Koh Hosoda, Hironori Asada, Yasuyuki Ikezawa, Shogo Fujitani, Tatsuya Masuda, Tunable Leg Compliance Mechanism for Dynamic Locomotion utilizing Pneumatic Actuators, 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation Wrokshop, CD-ROM, 2009
2677. Takashi Takuma, Katsuyoshi Tsujita, Koh Hosoda, Tatsuya Masuda, The dynamic locomotion of the bipedal robot based on human musculoskeletal design, The 19th Intellingent System Symposium FAN09, 448-453, 2009
2678. Takashi Takuma, Masahiro Ikeda, Tatsuya Masuda, Development of the Spine Structure for the Generation of the Locomotion, The 3rd International Symposium on Mobiligence, 170-173, 2009
2679. Kousuke Inoue, Toward Synthetic Understanding of Snake Locomotion, The 3rd International Symposium on Mobiligence, 2009
2680. Tatsuya NISHIBE, Kousuke INOUE, Adaptive Control of a Snake-like Robot Interact with Ground Surface, Proc. 5th International Student Conference at Ibaraki University, 51-52, 2009
2681. Shiori TAGUCHI, Kousuke INOUE, Development of Artificial Muscle Spindles and Tendon Organs for Artificial Muscles, Proc. 5th International Student Conference at Ibaraki University, 49-50, 2009
2682. 景山泰裕, 細田耕, 二関節筋を含めた筋骨格構造を持つ二脚ロボットの三次元走行の実現, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2A1-D18, 2009
2683. 坂口雄紀, 細田耕, 二関節筋を含む筋骨格構造を持つ一脚ロボットによる跳躍運動の解析, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2A1-A22, 2009
2684. 細田耕, 坂口雄紀, 生物型筋骨格構造をもつ一脚ロボットの跳躍運動, 第27回日本ロボット学会学術講演会, 1K2-04, 2009
2685. 細田耕, 空気圧人工筋による筋骨格系を有するヒューマノイドの運動生成, 第22回バイオエンジニアリング講演会予稿集, 121, 2010
2686. 田熊 隆史, 池田 昌弘, 増田 達也, 生物規範型四脚ロボットのロコモーションにおける柔軟脊椎構造の効果, 第22回自律分散システム・シンポジウム, 2010
2687. 井上 康介, 吉永 航, 森 善一, ヘビ型ロボットにおける身体柔軟性の適応性への寄与, 第19回インテリジェント・システム・シンポジウム (FAN'09), D5-2, 2009
2688. 西部 達也, 井上 康介, 環境との力学的相互作用に即応する適応的ヘビ型ロボット, 第 27 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2F1-01, 2009
2689. 田口詩央里, 井上康介, 森善一, 人工筋肉における人工筋紡錘・人工腱器官の開発, 第 10 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会, 1D3-2, 2009
2690. 西部達矢, 井上康介, ヘビ型ロボットによる地面との相互作用に即応する適応的運動制御, 第 22 回 計測自動制御学会 自律分散システム・シンポジウム, 1C1-3, 2009
2691. Hiroshi Yokoi and Kojiro Matsushita, Self-regulatory Hardware: Evolutionary Design for Mechanical Passivity on a Pseudo Passive Dynamic Walker, Artificial Life Models in Hardware (Ed. Andrew Adamatzky and Maciej Komosinski), Springer-Verlag, 87-102, 2009
2692. 松下光次郎, 横井浩史, 新井民夫, 準受動四脚移動ロボットの開発 -1 駆動関節によるトロット歩容の実現-移動ロボット間通信を含んだ行動獲得, 第14回ロボティクスシンポジア, pp.447-452, 2009
2693. 上嶋健嗣, 藤井俊行, 加藤龍, 瀧田正寿, 横井浩史, 硬膜外電位計測によるラットの運動状態推定の基礎研究, 日本ロボット学会誌, 27, 7, 30-36, 2009
2694. 横井浩史, 筋電義手, BIO INDUSTRY, 26, 4, 82-88, 2009
2695. Takeshi Uejima, Kahori Kita, Toshiyuki Fujii, Ryu Kato, Masatoshi Takita, Hiroshi Yokoi, Motion Classification using Epidural Electrodes for Low-Invasive Brain-Machine Interface, 31st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2009), 6469-6472, 2009
2696. Kahori Kita, Takeshi Uejima, Toshiyuki Fujii, Masatoshi Takita, Hiroshi Yokoi, Estimation of rat locomotion process through multirecording of epidural potentials, XXXVI International Congress of Physiological Sciences, Kyoto Japan, 2009
2697. 岡崎達朗, 北佳保里, 横井浩史, 運動補助のための高弾性生地の配置決定問題へのアプローチ, 第 27 回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2009), 2009
2698. 横井浩史, リハビリとロボット技術〜ロボット技術で変わるリハビリテーション〜, 石川県産業大学講座・技術セミナー (招待講演), 2009
2699. 鈴木隆文, 微小電極法の基礎とその応用, ヒューマンインタフェース学会誌, 11, 2, 39-44, 2009
2700. Takafumi Suzuki, Naoki Kotake, Takuya Kohama, Osamu Fukayama, Kunihiko Mabuchi, Study on brain adaptation using rat-machine fusion systems and multi functional neural electrodes, Proc. of the 3rd International Symposium on Mobiligence, , 238-241, 238-241, 2009
2701. Naoki Kotake, Takafumi Suzuki, Osamu Fukayama, Shoji Takeuchi, Kunihiko Mabuchi, Preliminary development of parylene flexible sensor for glutamate detection, Neuroscience2009, , , 2009
2702. Osamu Fukayama, Takafumi Suzuki, Kunihiko Mabuchi, Analyzing transition in correlation between neural signals and locomotion through vehicular BMI RatCar, Neuroscience2009, , , 2009
2703. 深山理, 小濱卓也, 鈴木隆文, 満渕邦彦, 車体型ＢＭＩ「ラットカー」を用いた運動皮質における可塑的変化の検出と誘導, 脳と心のメカニズム第10回冬のワークショップ, , , 2010
2704. 小濱卓也, 深山理, 鈴木隆文, 満渕邦彦, レバー押しに同期した電気刺激によるラット一次運動野における可塑的変化の誘発の検討, 第24回生体・生理工学シンポジウム, , 47-48, 2009
2705. 深山理, 鈴木隆文, 満渕邦彦, 車体型 Brain-Machine Interface ラットカーを用いた大脳における情報表現変化の抽出, 電気学会電子・情報・システム部門大会, , 219-221, 2009
2706. 深山理, 鈴木隆文, 満渕邦彦, ラットカーシステムを用いた運動皮質における可塑的な機能変化抽出の試み, 第3回Motor Control 研究会, , , , 2009
2707. 小竹直樹, 深山理, 鈴木隆文, 竹内昌治, 満渕邦彦, Parylene を用いた柔軟型グルタミン酸センサの試作, 電気学会研究会資料(医用・生体工学研究会), , 35-38, 2009
2708. 櫻井芳雄, ブレインーマシン・インタフェースでわかる高齢脳の力, 脳を知る・創る・守る・育む（クバプロ）, 115-138, 2009
2709. Choi, K., Hirose, H., Sakurai, Y., Iijima, T. Koike, Y., Prediction of arm trajectory from the neural activity of the primary motor cortex with modular connectionist architecture, Neural Networks, 22, 1214-1223, 2009
2710. Sakurai, Y., Takahashi, S. Nomura, M. , Dynamic changes of firing frequency and synchrony of the rat hippocampal neurons caused by BMI, Proceeding of 3rd International Symposium on Mobiligence, 206-210, 2009
2711. Takahashi, S.Sakurai, Y. , Information in small neuronal ensemble activity in the hippocampal CA1 during delayed non-matching to sample performance in rats, BMC Neuroscience, 10, 115:1-11, 2009
2712. Takahashi, S. Sakurai, Y., Sub-millisecond firing synchrony of closely neighboring pyramidal neurons in hippocampal CA1 of rats during delayed non-matching to sample task, Frontiers in Neural Circuits, 3, 9:1-18, 2009
2713. Takahashi, M., Lauwereyns, J., Sakurai, Y. Tsukada, M., A code for spatial alternation during fixation in rat hippocampal CA1 neurons, Journal of Neurophysiology, 102, 556-567, 2009
2714. 櫻井芳雄, ブレインーマシン・インタフェースについて教えてください, Modern Physician （創刊30 周年記念特大号"高次脳機能障害Q&A"）, 30, 214-216, 2009
2715. 櫻井芳雄, ブレインーマシン・インタフェースと神経回路網の可塑的な再編成, 脳21, 12, 42-47, 2009
2716. 櫻井芳雄, 脳と機械をむすぶーブレインーマシン・インタフェースの目指すところ, 科学, 79, 535-537, 2009
2717. Hirokawa, J.Sadakane, O.Sakata, S.Bosch, M.Sakurai, Y.Yamamori, T., A critical role of the superior colliculus in enhancing spatial accuracy but not reaction time by audiovisual integration, 38th Society for Neuroscience Annual Meeting, シカゴ, （2009 年10 月）, 2009
2718. Sakurai, Y. , How can brain-computer interfaces reveal real dynamics of working brain?, 8th Biennial Meeting of the Society for Applied Research in Memory & Cognition (SARMAC Ⅷ), 京都, （2009 年７月）, 2009
2719. 櫻井芳雄, ブレインーマシン・インタフェース（ＢＭＩ）から見た脳神経系の可塑性, 第33回日本神経心理学会, 東京（2009 年９月）, 2009
2720. 廣川純也, 定金理, 坂田秀三, Miquel Bosch, 櫻井芳雄, 山森哲雄, 視聴覚統合による反応速度および正確性の亢進における上丘の異なる役割, 第32回日本神経科学学会大会, 名古屋, （2009 年９月）, 2009
2721. 櫻井芳雄, ブレインーマシン・インタフェースと神経回路網の再編成, 第24回神経組織の成長・再生・移植研究会, 渋川, （2009 年６月）, 2009
2722. 櫻井芳雄, ブレインーマシン・インタフェースからわかる脳の情報表現と可塑性, 第38回慶応ニューロサイエンス研究会, 東京, （2009 年３月）, 2009
2723. Okada K and Kobayashi Y, Characterization of oculomotor and visual activities in the primate pedunculopontine tegmental nucleus during visually guided saccade tasks., European Journal of Neuroscience, 30, 2211-2223, 2009
2724. Okada K, Toyama K, Inoue Y, Isa T and Kobayashi Y, Different Pedunculopontine Tegmental Neurons Signal Predicted and Actual Task Rewards, The Journal of Neuroscience, 29, 4858-4870, 2009
2725. Yasushi Kobayashi and Ken-ichi Okada, Reward processing of the basal ganglia: Reward function of Pedunculopontine tegmental nucleus, Brain and Nerve 神経研究の進歩, 61, 397-404, 2009
2726. Ken-ichi Okada & Yasushi Kobayashi, Analyses of the time course of neuronal activity of the pedunculopontine tegmental nucleus in monkeys for reward conditioned saccade task, Society for Neuroscience Meeting, 583.17, 2006
2727. K. Nakao, R. Matsuzaki, A. Noritake, K. Okada, Y. Kobayashi and K. Nakamura, Positive and negative value coding in the primate dorsal raphe nucleus , Society for Neuroscience Meeting, 683.13, 2009
2728. Yasushi Kobayashi, Reward prediction error computation in the pedunculopontine tegmental nucleus neurons , The 3rd International Symposium on Mobiligence, 153-156, 2009

2729. Yasushi Kobayashi and Ken-ichi Okada, The pedunculopontie tegmental nucleus neurons relay predicted and actual reward information, The international symposium on Construction and Reconstruction of the brain, 55, 2009
2730. Yasushi Kobayashi & Ken-ichi Okada, Computational mechanism of reward prediction error by the Pedunculopontine tegmental nucleus neurons, The 32nd annual Meeting the Japan Neuroscience Society, 65, S48 , 2009
2731. Ken-ichi Okada & Yasushi Kobayashi, Relation of pedunculopontine tegmental nucleus neurons in monkeys to reward prediction and behavior, The 32nd annual Meeting the Japan Neuroscience Society, 65, S114, 2009
2732. Kazuko Nakao, Ryuichi Matsuzaki, Ken-ichi Okada, Yasushi Kobayashi, Kae Nakamura, Reward coding by the primate dorsal raphe neurons is context dependent, The 32nd annual Meeting the Japan Neuroscience Society, 65, S113-114, 2009
2733. Seki, K., Perlmutter, S.I. & Fetz E.E. , Task-dependent modulation of primary afferent depolarization in cervical spinal cord of monkeys performing an instructed delay task. J. Neurophysiol. 102: 85-99., Journal of Neurophysiology, 102, 2012-2020, 2009
2734. 関和彦（co-organizer), Spinal interneurons: A new role for controlling voluntary movements, International Symposium: New Perspectives on Neural Mechanisms of Cognition and Action , 2009
2735. 関和彦（organizer), Okazaki-mini symposium: Neural control of eye and hand movement, 統合脳ミニシンポジウム（オーガナイザー）, 2009
2736. 関和彦, Spinal Control of Voluntary Movement, University of Newcastle, Motor Control Seminar, ニューカッスル, 英国, 2010
2737. Seki, K., A new role of spinal interneuronal networks for controlling volitional movement., 第19回Society for the neural control of movement、ハワイ, 米国 , 2009
2738. Seki, K., Function of spinal interneurons for controlling voluntary movements, Queen's university, Centre for Neuroscience studies, 2009 seminar seriese, 2009
2739. Tomohiko Takei, Kazuhiko Seki, Post-spike effects of spinal interneurons on hand muscles in monkeys performing a precision grip, The 39th annual meeting of the Society for the Neuroscience, 2009
2740. 関和彦 , 名古屋国際会議場, 名古屋, 2009年9月., 霊長類の脊髄における新たな発見, 第32回日本神経科学大会シンポジウム（シンポジスト兼オーガナイザー：脊髄神経回路の作動メカニズムの解明 -その分子基盤から機能まで-) , 2009
2741. 関和彦, 随意運動の制御における脊髄介在ニューロンの役割, 特定領域研究「統合脳」冬の領域会議, 2008
2742. 武井智彦・関和彦, 把握運動制御における脊髄介在ニューロンの役割, 第32回日本神経科学大会（名古屋), 2008
2743. 武井智彦, 関和彦, Spinomuscular coherence in monkey performing a precision grip task. , 移動知国際シンポジウム（淡路) , 2008
2744. Nambu A, Basal ganglia: physiological circuits. , Squire LR (ed.) Encyclopedia of Neuroscience, 2, 111-117, 2009
2745. 南部 篤, 大脳皮質と大脳基底核, 標準生理学第7版, 354-379, 2009
2746. Hatanaka N, Tokuno H, Nambu A, Takada M, Transdural doppler ultrasonography monitors cerebral blood flow changes in relation to motor tasks. , Cereb Cortex, 19, 820-831, 2009
2747. 南部 篤, 直接路・間接路・ハイパー直接路の機能, Brain and Nerve, 61, 360-372, 2009
2748. 南部 篤, 大脳基底核のsomatotopy, Brain and Nerve, 61, 1383-1394, 2009
2749. Nambu A, Dynamic model of the basal ganglia functions and movement disorders. , Nakanish S, Kageyama R, Watababe D (eds.) Systems Biology: The Challenge of Complexity, 91-97, 2009
2750. Nambu A, Hatanaka N, Takara S, Tachibana Y, Takada M, Information processing in the striatum of behaving monkeys. , The Basal Ganglia IX. Eds Groenewegen HJ, Voorn P, Berendse HW, Mulder AB, Cools AR, 41-48, 2009
2751. Iwamuro H, Tachibana Y, Sato N, Nambu A, Organization of motor cortical inputs to the subthalamic nucleus in the monkey. , The Basal Ganglia IX. Eds Groenewegen HJ, Voorn P, Berendse HW, Mulder AB, Cools AR, 109-117, 2009
2752. Takada M, Inoue K, Miyachi S, Okado H, Nambu A , Prevention of calbindin recruitment into nigral dopamine neurons from MPTP-induced degeneration in Macaca fascicularis. , The Basal Ganglia IX. Eds Groenewegen HJ, Voorn P, Berendse HW, Mulder AB, Cools AR, 377-385, 2009
2753. J.H. Lee, Y. Kagamihara, S. Kakei, A new method for quantitative evaluation of neurological disorders based on EMG signals, Recent Advances in Biomedical Engineering Ed. By G.R. Naik, 39-52, 2009
2754. 筧慎治, 李鍾昊, 鏡原康裕, ニューロリハビリテーションのための新しい定量的運動指令評価システム, Brain and Nerve, 62, 2, 1-13, 2010
2755. 李鍾昊, 鏡原康裕, 筧慎治, 手首による視覚誘導性追跡運動における2つの逆列制御器の同定と小脳の役割, 随意運動の調節機構とその病態生理研究会, 5-6, 2009
2756. Tsubomi H, Ikeda T, Hanakawa T, Hirose N, Fukuyama H, Osaka N, Parieto-occipital connectivity predicts top-down attentional effect in visual masking: an fMRI study with individual differences approach, Neuroimage, 45, 2, 587-97, 2009
2757. Toda H, Sawamoto N, Hanakawa T, Saiki H, Matsumoto S, Okumura R, M, Ishikawa M, Fukuyama H, Hashimoto N, A novel composite targeting method using high-field magnetic resonance imaging for subthalamic nucleus deep brain stimulation, Journal of Neurosurgery, 111, 4, 737-45, 2009
2758. Tanaka S, Hanakawa T, Honda M, Watanabe K, Enhancement of pinch force in the lower leg by anodal transcranial direct current stimulation, Experimental Brain Research, 163, 3, 459-65, 2009
2759. Hanakawa T, Mima T, Matsumoto R, Abe M, Inouchi M, Urayama S, Anami K, Honda M, Fukuyama H, Stimulus-response profile during single-pulse transcranial magnetic stimulation to the primary motor cortex, Cerebral Cortex, 19, 11, 2605-15, 2009
2760. Iseki K, Hanakawa T, Hashikawa K, Tomimoto H, Nankaku M, Yamauchi H, Hallett M, Fukuyama H, Gait disturbance associated with white matter changes: a gait analysis and blood flow study, Neuroimage, 49, 2, 1659-66, 2010
2761. Oshio R, Tanaka S, Sadato N, Sokabe M, Hanakawa T, Honda M, Differential effect of double-pulse TMS applied to dorsal premotor cortex and precuneus during internal operation of visuospatial information, Neuroimage, 49, 1, 1108-15, 2010
2762. Tanaka S, Honda M, Hanakawa T, Cohen LG, Differential contribution of the supplementary motor area to stabilization of a procedural motor skill acquired through different practice schedules, Cerebral Cortex, in press
2763. Aso K, Hanakawa T, Aso K, Fukuyama H, Cerebro-cerebellar interactions underlying temporal information processing, Journal of Cognitive Neuroscience, in press
2764. Iseki K, Ikeda A, Kihara T, Kawamoto Y, Mezaki T, Hanakawa T, Hashikawa K, Fukuyama H, Shibasaki H, Impairment of the cortical GABAergic inhibitory system in catatonic stupor: a case report with neuroimaging, Epileptic Disorder, 11, 2, 126-31, 2009
2765. 花川隆, 運動描画における前頭前野と運動前野の役割, Clinical Neuroscience, 27, 2, 799-802, 2009
2766. 花川隆, 脳機能イメージングによるヒト二足歩行の中枢神経制御機構の解明, Equilibrium Research, 68, 3, 176-182, 2009
2767. 花川隆、宇川義一, Spirited Message Interview: 若手ドクターと語る神経内科の明日, Frontiers in Parkinson Disease, 2, 3, 52-56, 2009
2768. 花川隆, 歩行制御と神経可塑性, Medical Rehabilitation, in press
2769. HanakawaT, Hallett M, Mechanisms underlying cognitive and motor slowing in Parkinson's disease, 13th International Congress of Movement Disorder Society, Paris, France, 2009
2770. Hanakawa T, Keynote: Neuroimaging studies of motor-related behavior, Japan-Italy International Seminar: Musculoskeletal System and Computational Neuroscience for Rehabilitation, Genoa, Italy, 2009
2771. Omata K, Morimoto M, Hanakawa T, Honda M, Simultaneous recording of spontaneous EEG and fMRI, Neuroscience 2009, Chicago, USA, 2009
2772. Iseki K, Hanakawa T, Hallett M, Fukuyama H, Pathophysiology of gait disturbance in age-related white matter changes: a combined gait analysis and blood flow study, The 3rd International Congress on Gait and Mental Function, Washington DC, USA, 2010
2773. Hanakawa T, Kaneko E, Omata K, The neural correlates of the sensorimotor rhythms as revealed by simultaneous EEG-fMRI: implications for brain-computer interfaces, The 3rd International Symposium on Mobiligence 2009, Awaji, Japan, 2009
2774. 花川隆, Mark Hallett, パーキンソン病の認知・運動遅延の神経基盤, 第50回日本神経学会総会、仙台, 2009
2775. 花川隆, 整形外科領域における脳機能イメージング応用の可能性―機能評価、神経リハビリテーション、Brain-Computer Interface―, 第9回鞭馬大学整形外科卒後研修会、前橋, 2009
2776. Hanakawa T, Hallett M, Basal ganglia functions underlie both motor and cognitive agility, 第32回日本神経科学学会、名古屋 (Neuroscience Research), 65, S1, S193, 2009
2777. Aso K, Hanakawa T, Aso K, Fukuyama H, The role of cerebro-cerebellar interactions in temporal information processing, 第32回日本神経科学学会、名古屋 (Neuroscience Research), 65, S1, S131, 2009
2778. Omata K, Morimoto M, Hanakawa T, Honda M, Analysis of simultaneous recording of spontaneous EEG and fMRI, 第32回日本神経科学学会、名古屋 (Neuroscience Research), 65, S1, S131, 2009
2779. Hosoda C, Hanakawa T, Tanaka S, Nariai T, Ohno K, Honda M, Correlation between cortico-subcortical gray matter volume and proficiency in second language, 第32回日本神経科学学会、名古屋 (Neuroscience Research), 65, S1, S242, 2009
2780. 花川隆, Neuroimaging approach to understanding of gait disturbances in Parkinson's disease and related disorders , 第18回パーキンソン病治療研究会、東京, 2009
2781. 花川隆, Towards understanding of neural control of movement: simultaneous multidisciplinary neuroimaging, 第20回磁気刺激の臨床応用と安全性に関する研究会、北九州, 2009
2782. 花川隆, 多次元イメージングによる神経ネットワークの評価, 第39回日本臨床神経生理学会：シンポジウム、北九州, 2009
2783. 小俣圭、花川隆、本田学, EEG-fMRI同時記測における呼吸変動の影響, 第39回日本臨床神経生理学会、北九州, 2009
2784. 金子瑛士、花川隆、小俣圭、本田学, 閉眼安静状態における中心部α律動およびβ律動に相関する脳活動, 第39回日本臨床神経生理学会、北九州, 2009
2785. 持永新、古田島浩子、花川隆、柳原大, 顎矯経験が運動予測および予測に関わる脳活動に及ぼす影響について, 第17回日本運動生理学会大会、東京, 2009
2786. 花川隆, パーキンソン病の運動・認知能力低下の病態解明, 第3回生理学研究所Motor Control研究会、岡崎, 2009
2787. 青沼 仁志、安藤 則泰、伊藤 悦朗、岡田 龍一、小川 宏人、佐倉 緑、竹内 秀明, 身近な動物を使った学実験4 ミツバチ コオロギ スズメガ」、身近な動物を使った学実験4 ミツバチ コオロギ スズメガ, 三共出版（鈴木範男編) , 1-88, 2009
2788. 青沼 仁志, 「昆虫の記憶・学習と神経可塑性の分子機構」、「動物は何を考えているのか？：学習と記憶の比較生物学」, 共立出版, 44, 159-175, 2009
2789. 青沼 仁志、佐倉 緑、太田 順、溝口 一, Social Adaptive Functions in Animals -Learning from Insect Social Behaviors-, IROS 2009, 2009
2790. 川端 邦明、青沼 仁志、太田 順、溝口 一, Modeling of Neuromodulation for Behavior Selection of the Cricket : Synthetic Neuroethology Approach, IROS 2009, 2009
2791. S. Yaho, Y.Ikemoto, H. Aonuma and H. Asama, Development of Neurotransmitter Modulation on Aggression and Dominance Hierarchy in Cricket, Gryllus Bimaculatus, ICROS-SICE International Joint Conference 2009, 2009
2792. H. Aonuma, J. Ota, K. Kawabata, D. Kurabayashi, R. Kanzaki and H. Asama , Understanding social adaptive functions in animals, The 3rd international Symposium on Mobiligence, 3, 74-78 , 2009
2793. K. Kawabata, T. Fujii, H. Aonuma, T. Suzuki, M. Ashikaga, J. Ota and H. Asama , A neuro-modulation model of behavior selection in the fighting behavior of male crickets, The 3rd international Symposium on Mobiligence, 3, 271-276, 2009
2794. S. Yano, Y. Ikemoto, H. Aonuma and H. Asama , Forgetting curve derived by serotonin hypothesis in cricket, Gryllus bimaculatus, The 3rd international Symposium on Mobiligence, 3, 324-327 , 2009
2795. M. Sakura, M. Kikuchi and H. Aonuma , Role of nitric oxide and octopamine in the aggressive behavior of the cricket, The 3rd international Symposium on Mobiligence, 3, 328-331 , 2009
2796. T. Mizuno, M. Sakura, M. Ashikaga, H. Aonuma, R. Chiba and J. Ota , Modeling of the effects of multi-modal inputs on the aggressive behavior using handicapped crickets, The 3rd international Symposium on Mobiligence, 3, 332-337, 2009
2797. 佐倉 緑、岡田 龍一、青沼 仁志, セイヨウミツバチの偏光知覚機構の解明, CompBiol 2009 大会, 2009
2798. 岡田 龍一、赤松 忠明、岩田 可南子、池野 英利、木村 敏文、大橋 瑞江、青沼 仁志、伊藤 悦朗, ツバチの尻振りダンスとコロニーの集蜜量の関係, CompBiol 2009 大会, 2009
2799. 岡田 龍一、池野 英利、木村 敏文、大橋 瑞江、青沼 仁志、伊藤 悦朗, 採集行動におけるミツバチの 8 の字ダンスの効果, 日本動物学会第80回大会, 2009
2800. 佐倉 緑、菊地 美香、青沼 仁志, クロコオロギの攻撃行動発現における一酸化窒 素およびオクトパミンの関与, 日本動物学会第80回大会, 2009
2801. 石川 由希、青沼 仁志、佐々木 謙、三浦 徹, 兵隊シロアリの攻撃性に関する生体アミンシステム, 第 11 回日本進化学会大会, 2009
2802. 矢野 史朗、池本 有助、青沼 仁志、溝口 一, クロコオロギの闘争行動を修飾する脳内 Serotonin の発達モデルと密度効果の検証, 第 11 回日本進化学会大会, 2009
2803. 藤井 喬、川端 邦明、青沼 仁志、鈴木 剛、足利 昌俊、太田 順、溝口 一, クロコオロギの行動選択機構のモデリングに関する研究 ―内部状態レベルによる行動選択に関する考察―, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009（ROBOMEC 2009）, 2009
2804. 佐倉 緑、菊地 美香、青沼 仁志, クロコオロギの攻撃行動発現における一酸化窒素およびオクトパミンの効果, 無脊椎動物神経生物研究会, 2009
2805. 青沼 仁志, 昆虫の行動解析ツールとしてのロボット, 無脊椎動物神経生物研究会, 2009
2806. H. Asama, H. Kurokawa, J. Ota, K. Sekiyama, Distributed Autonomous Robotic Systems 8 (Editor), Springer, 2009
2807. Norisuke Fujii, Reiko Inoue and Jun Ota, Rearrangement Task by Multiple Robots Using a Territorial Approach, Distributed Autonomous Robotic Systems 8, Eds. Hajime Asama, Haruhisa Kurokawa, Jun Ota and Kosuke Sekiyama, Springer, 325/333, 2009
2808. Masatoshi Ashikaga, Midori Sakura, Mika Kikuchi, Tetsutaro Hiraguchi, Ryosuke Chiba, Hitoshi Aonuma, Jun Ota, Establishment of Social Status without Individual Discrimination in the Cricket, Advanced Robotics, 23, 5, 563/578, 2009
2809. Jun Ota, Goal State Optimization Algorithm Considering Computational Resource Constraints and Uncertainty in Task Execution Time, Robotics and Autonomous Systems, 57, 4, 403/410, 2009
2810. Jun Ota, Rearrangement Planning of Multiple Movable Objects by a Mobile Robot, Advanced Robotics, 23, 1-2, 1/18, 2009
2811. Kousuke Inoue, Jun Ota, and Tamio Arai, Iterative Transportation by Multiple Mobile Robots Considering Unknown Obstacles, Journal of Robotics and Mechatronics, 21, 1, 44/56, 2009
2812. Masao Sugi, Ippei Matsumura, Yusuke Tamura, Makoto Nikaido, Jun Ota, Tamio Arai, Kiyoshi Kotani, Kiyoshi Takamasu, Hiromasa Suzuki, Akio Yamamoto, Yoichi Sato, Seiichi Shin, and Fumihiko Kimura, Quantitative Evaluation of Automatic Parts Delivery in "AttentiveWorkbench" Supporting Workers in Cell Production, Journal of Robotics and Mechatronics, 21, 1, 135/145, 2009
2813. Y. Ikemoto, Y. Ishikawa, T. Miura, H. Asama, A mathematical model for caste differentiation in termite colonies (Isoptera) by hormonal and pheromonal regulations, Sociobioly, 54, 3, 841-859, 2009
2814. Y. Ikemoto, S. Suzuki, H. Okamoto, H. Murakami, H. Asama, S. Morishita, T. Mishima, X. Lin, H. Itoh, Force Sensor System for Structural Health Monitoring Using Passive RFID Tags, Sensor Review, 29, 2, 127-136, 2009
2815. Kanako Nakajima, Soichiro Morishita, Tomoki Kazawa, Ryohei Kanzaki, Kuniaki Kawabata, Hajime Asama, Taketoshi Mishima, Interpolation of binarized CLSM images for extraction of premotor neuron branch structures in silkworm moth, Sensor Review, 29, 2, 137-147, 2009
2816. Yewguan Soo, Masao Sugi, Masataka Nishino, Hiroshi Yokoi, Tamio Arai, Ryu Kato, Tatsuhisa Nakamura and Jun Ota, Quantitative Estimation of Muscle Fatigue using Surface Electromyography during Static Muscle Contraction, Proc. Int. Conf. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2975/2978, 2009
2817. Yewguan Soo, Masataka Nishino, Masao Sugi, Hiroshi Yokoi, Tamio Arai, Ryu Kato, Tatsuhiro Nakamura, and Jun Ota, Evaluation of Frequency Band Technique in Estimating Muscle Fatigue during Dynamic Contraction Task, Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1279/1284 , 2009
2818. Yoshihiro Takebe, Norisuke Fujii, Reiko Inoue and Jun Ota, Realization of Rearrangement Task by Multiple Robots, Proc. ICROS-SICE International Joint Conference 2009, 2230/2234 , 2009
2819. Masataka Nishino, Yuto Nakanishi, Masao Sugi, Yewguan Soo, Design of Gesture Interface for Deskwork Support System, Proc. ICROS-SICE International Joint Conference 2009, 2260/2267, 2009
2820. S. Yano, Y. Ikemoto, H. Aonuma, H. Asama, Development of Neurotransmitter Modulation on Aggression and Dominance Hierarchy in Cricket, Gryllus Bimaculatus, ICCAS-SICE International Joint Conference 2009, 2254-2259, 2009
2821. Jun Ota, Hitoshi Aonuma and Hajime Asama, Mobiligence: Emergence of Adaptive Motor Function through Interaction among the Body, Brain and Environment, Workshops/Tutorials Proceedings of the 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Workshop on Mobiligence: Social Adaptive Functions in Animals and Multi-Agent Systems, 3/9, 2009
2822. K. Kawabata, H. Aonuma, J. Ota, H. Asama, Modeling of Neuromodulation for Behavior Selection of the Cricket : Synthetic Neuroethology, Workshop on Mobiligence : Social Adaptive Functions in Annimals and Multi-Agent Systems, International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2009
2823. Hideo Sato, Kuniaki Kawabata, Tsubota Yugo, Hayato Kaetsu, Tsuyoshi Suzuki, Wireless camera nodes deployment by a teleoperated mobile robot for construction of sensor network, Proceedings of ICCAS-SICE 2009, pp3726-3730, 2009
2824. Y. Ikemoto, T. Miura, H. Asama, Adaptive Division of Labor Control for Robot Group, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2009), 2409-2414 , 2009
2825. Q. An, H. Matsuoka, Y. Ikemoto, H. Asama, D. Chugo, K. Takakusaki, Extraction of Behavior Primitives in Human Standing-up Motion for Development of Power Assisting Machine, Proc. of the 2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2008), 1995-2000, 2009
2826. Q. An, H. Matsuoka, Y. Ikemoto, H. Asama, Extraction of Behavior Primitives for Understanding Human Standing-up Motion, 2009 IEEE Int. Conf. on Mechatronics and Automation (ICMA '09), 1800-1805, 2009
2827. H. Matsuyama, H. Asama, M. Otake, Design of Differential Near-Infrared Spectroscopy Based Brain Machine Interface, 18th IEEE Int. Symp. on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN '09), 775-780, 2009
2828. M. Otake, M. Kato, T. Takagi, H. Asama, Development of Coimagination Method towardsCognitive Enhancement via Image based Interactive Communication, 18th IEEE Int. Symp. on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN '09), 835-840, 2009
2829. Y. Ikemoto, Y. Ishikawa, T. Miura, H. Asama, A mathematical model for caste differentiation in termite colonies by hormonal and pheromonal regulations, Proc. of 3rd International Symposium on Mobiligence, 92-95, 2009
2830. M. Murabayashi, Y. Ikemoto, M. Otake, T. Maeda, M. Kato, and H. Asama, Sense of Agency Effected by Causal Relationship Between Motor Command and Sensory Feedback, Proc. of 3rd International Symposium on Mobiligence, 304-307, 2009
2831. S. Yano, Y. Ikemoto, H. Aonuma, H. Asama, Forgetting Curve Derived by Serotonin Hypothesis in Cricket, Gryllus Bimaculatus, Proc. of 3rd International Symposium on Mobiligence, 324-327, 2009
2832. 足利 昌俊, 佐倉 緑, 菊地 美香, 平口鉄太郎, 千葉 龍介, 青沼 仁志, 太田 順, コオロギ群における順位形成過程のモデル化, 第21回自律分散システムシンポジウム資料, 237/242 , 2009
2833. 水野 達也, 佐倉 緑, 足利 昌俊, 青沼 仁志, 太田 順, ハンディキャップコオロギを用いたコオロギの攻撃行動発現機構のモデル化, 第21回自律分散システムシンポジウム資料, 243/247 , 2009
2834. 藤井 喬, 川端邦明, 青沼仁志, 佐倉 緑, 鈴木 剛, 太田 順, 溝口 一, クロコオロギの行動選択機構のモデリングに関する研究 ～触角からの感覚入力感受性による群行動の変容についての考察～, 第22回自律分散システムシンポジウム・シンポジウム予稿集, 発表予定, 2010
2835. 藤井 喬, 川端邦明, 青沼仁志, 鈴木 剛, 足利昌俊, 太田 順, 溝口 一, クロコオロギの行動選択機構のモデリングに関する研究 ～触覚行動実験による神経機構モデルの考察～, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009, 2A1-B10, 2009
2836. 佐藤秀夫, 川端邦明, 坪田悠吾, 嘉悦早人, 鈴木 剛, 通信速度評価に基づいた遠隔操作ロボットによる無線センサネットワークの構築, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009, 2A1-C11, 2009
2837. 藤井 喬, 川端邦明, 青沼仁志, 鈴木 剛, 足利昌俊, 太田 順, 溝口 一, クロコオロギの行動選択機構のモデリングに関する
2838. 研究―触覚行動実験による神経機構モデルの考察―, 第14回ロボティクス・シンポジア講演予稿集, 35-41, 2009
2839. 藤井 喬, 川端邦明, 青沼仁志, 鈴木 剛, 足利昌俊, 太田 順, 溝口 一, クロコオロギの行動選択機構のモ

デリングに関する研究 -内部状態レベルによる行動選択に関する考察-, 2009 日本機械学会, ロボティクス・メカトロニクス講演会予稿集, 2A1-B10(1)-(2), 2009

2840. 池本有助, 石川由希, 三浦徹, 澤間一, , シロアリにおけるカースト分化比率調節機構解明のための数理モデリングからのアプローチ, 第15回創発システム・シンポジウム講演資料集, 147-150, 2009

2841. 安 琪, 池本有助, 澤間一, 人の起立における動作プリミティブの役割, 2009年精密工学会秋季大会, 221-222, 2009

2842. 大武美保子, 中尾雅明, 澤間 一, 複数の運動特徴を掲示可能な運動学習システムの開発, 第27回日本ロボット学会学術講演会予稿集, RSJ2009AC2F1-06, 2009

2843. 村林正堂, 池本有助, 大武美保子, 前田貴記, 加藤元一郎, 澤間一, 運動同令と感覚入力の時間的な因果関係がSense of Agency に与える影響, 第19回インテリジェント・システム・シンポジウム講演論文集, 458-461, 2009

2844. 安 琪, 松岡洋樹, 池本有助, 中後大輔, 澤間 一, 筋肉の協同発揮に基づく起立動作解析, 福祉工学シンポジウム講演資料集, CD-ROM, 2009

2845. 阿部琢郷, 澤間 一, 大武美保子, 運動計測装置を用いた経験者と初心者の運動特徴量の差異の抽出, 第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集, 489-490, 2009

2846. 大武美保子, 加藤元一郎, 澤間 一, 共想因における高齢者と若者の会話特性の比較, 第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集, 491-494, 2009

2847. 藤井 喬, 川瀬明男, 青沼仁志, 佐倉 緑, 鈴木 剛, 太田 順, 澤間 一, クロコオロギの行動選択機構のモデリングに関する研究―触角からの感覚入力感受性による群行動の変容についての考察―, 第22回計測自動制御学会自律分散システム・シンポジウム資料, 発表予定, 2009

2848. 矢野史朗, 池本有助, 青沼仁志, 長尾隆司, 澤間 一, クロコオロギの瞳蜻行動と体重減長のモデルにより形成される社会構造, 第22回計測自動制御学会自律分散システム・シンポジウム資料, 発表予定, 2009

2849. 池本有助, 三浦徹, 澤間一, 群ロボットシステムにおける適応的分業行動制御, 第15回ロボティクスシンポジア予稿集, 発表予定, 2009

2850. Haupt SS, Sakurai T, Namiki S, Kazawa T, Kanzaki R, Olfactory information processing in moths., The Neurobiology of Olfaction (ed. Mennini A), CRC Press, Chapter 3, 2009

2851. 神崎亮平, ロボットで探る昆虫の脳と匂いの世界―ファーブル昆虫記のなぞに挑む―, フレグランスジャーナル社, 2009

2852. Fukushima R and Kanzaki R, Modular subdivision of mushroom bodies by Kenyon cells in the silkmoth, J Comp Neurol, 513, 315?330, 2009

2853. Fujiwara T, Kazawa T, Haupt S S, Kanzaki R, Ca2+ imaging of identifiable neurons labeled by electroporation in insect brains, NeuroReport, 20, 12, 1061-1065, 2009

2854. Suzurikawa J, Nakao M, Jimbo Y, Kanzaki R, and Takahashi H, Light-addressed stimulation under Ca2+ imaging of cultured neurons, IEEE Transactions on Biomedical Engineering , 56, 11, 2660-2665, 2009

2855. Iwano M, Hill E, Mori A, Mishima T, Kumagai T, Ito K and Kanzaki R, Neurons Associated With the Flip-Flop Activity in the Lateral Accessory Lobe and Ventral Protocerebrum of the Silkworm Moth Brain, J Comp Neurol, 518, 366-388, 2010

2856. Nakajima K, Morishita S, Asama H, Kazawa T, Kanzaki R, Mishima T, Structural comparison of premotor neurons in silkworm moths, FORMA(in press), 2010

2857. Namiki S Haupt S S, Kazawa T, Takashima A, Ikeno H, and Kanzaki R, Reconstruction of virtual neural circuits in an insect brain, Focus Review, Frontiers in Neuroscience, 3, 2, 206-213, 2009

2858. 山下敦, 安藤規泰, 佐野泰仁, 安藤敏之, 高橋宏知, 神崎亮平, 身体と環境の相互作用に基づく昆虫の衝突回避機構解明のための閉ループ行動実験装置の構築, 日本ロボット学会誌, 27, 2-8, 2009

2859. 勝又聡一郎, 安藤規泰, 神崎亮平, 昆虫匂い源探索アルゴリズム評価のための小型大気イオン源探索ロボット, 日本ロボット学会誌, 27, 9-15, 2009

2860. 高嶋淳, 峯岸崚, 倉林大輔, 神崎亮平, 身体-脳環境の相互作用に能動的に介入する脳-機械融合系の構築, 日本ロボット学会誌（採録決定）, 2010

2861. Herianto, Daisuke Kurabayashi, Realization of an Artificial Pheromone System in Random Data Carriers Using RFID Tags for Autonomous Navigation, IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2288-2293, 2009

2862. Herianto, Daisuke Kurabayashi, Network Configuration in Artificial Pheromone System by Consdering Exploration and Exploitation, The 6th Int. Conf. on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, 534-538, 2009

2863. Daisuke Kurabayashi Ryohei Kanzaki, Understanding Adaptive Behavior Selection of a Micro Brain through Bio-Machine Hybrid System, 3rd Int. Symp. on Mobiligence, 79-82, 2009

2864. Takuro Moriyama, Daisuke Kurabayashi, Oscillator Network Model for Signal Buffer in Neural Circuits, 3rd Int. Symp. on Mobiligence, 343-347, 2009

2865. Ryo Minegishi, Atsushi Takashima, Daisuke Kurabayashi, Ryohei Kanzaki, Brain-Machine Hybrid System to Evaluate Adaptability in an Insect, 3rd Int. Symp. on Mobiligence, 299-303, 2009

2866. Atsushi Takashima, Ryo Minegishi, Daisuke Kurabayashi, Ryohei Kanzaki, Brain-Machine Hybrid System ?To Investigate Adaptability of an Insect Brain-, 3rd Int. Symp. on Mobiligence, 338-342, 2009

2867. Atsushi Takashima, Ryo Minegishi, Daisuke Kurabayashi, Ryohei Kanzaki, Brain-Machine Hybrid System ―To Investigate Adaptive Functionality of an Insect Brain―, Full-day workshop in IROS2009, 2009

2868. Kanzaki R, Insect-Machine Hybrid System, The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2009) (St. Louis, Missouri, USA, from October 11 to 15) （Plenary Lecture）, 2009

2869. Kanzaki R , Odor source localization by an insect-robot hybrid system. , APACE2009 (Hawaii, USA, Oct 27-30)（Invited lecture）, 2009

2870. Kanzaki R , Pheromone source localization by an insect-robot hybrid system, Meeting on Research in Taste & Smell (Beijin, ChinaNov 15-17) (Invited lecture), 2009

2871. Kanzaki R , Insect-Machine Hybrid System. , Workshop on Robot-Animal Sensor Networks in Ecosystems, Organization : National Institute for Mathematical Sciences (NIMS) (Hotel Spapia, Daejeon, Republic of Korea, 3 - 4 December) (Keynote lecture) , 2009

2872. Tabuchi M, Sakurai T, Mitsuno H, Minegishi R, Haupt SS, Shiotsuki T, Uchino K, Sezutsu H, Tamura T, Nakatani K, Kanzaki R, Millisecond Photoactivation of Bombykol Receptor Neurons Expressing

2873. Channelrhodopsin-2 Triggers Pheromone Searching Behavior in Male Silkmoths, Chem. Senses (the Thirty-first Annual Meeting of the Association for Chemoreception Sciences (Hyatt Sarasota, Sarasota, Florida, April 23, 2009)（Travel Award), 34, 7, 50-51, 2009

2874. H. Imada, Y. Suehiro, T. Okuyama, D. Kurabayashi, A. Shimada, K. Naruse, H. Takeda, T. Kubo and H. Takeuchi, Analysis of Schooling-like Behavior of Medaka Fish and Identification of a Telencephalon-and-Hypothalamus-Preferential Gene in the Medaka Brain, 3rd Int. Symp. on Mobiligence, 295-298, 2009

2875. Y. Suehiro, T. Okuyama, H. Imada, K. Naruse, D. Kurabayashi, A. Shimada, H. Takeda, T. Kubo and H. Takeuchi, Optomotor Response of Medaka fish to Rotating Stripes at Sinusoidal Speed, 3rd Int. Symp. on Mobiligence, 308-311, 2009

2876. Hidetoshi Ikeno, Tomoki Kazawa, Shigehiro Namiki, Stephan Shuichi Haupt, Akira Takashima, Ryota Fukushima, Ikuko Nishikawa, Ryohei Kanzaki (, Development of standard brain for silkworm moth, Bombyx mori, linked with a neuron database. , CNS2009（July 18th ? 23rd 2009, Berlin, Germany）, 2009

2877. 高嶋淳, 峯岸崚, 倉林大輔, 神崎亮平, 昆虫の脳を用いた自律移動型脳-機械融合系の実現, 第14回ロボティクスシンポジア, 59-64, 2009

2878. 春山弘貴, 倉林大輔, 竹内秀明, 外部刺激と自己刺激による自律分散システムの空間的作業分化, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2A1-E15, 2009

2879. 高嶋淳, 峯岸崚, 倉林大輔, 神崎亮平, 昆虫微小脳神経のための脳 - 機械融合系構築, 第10回システムインテグレーション部門講演会, 1H3-2, 2009

2880. 並木重宏, 神崎亮平, 昆虫前大脳における感覚処理行動発現を繋ぐ神経細胞群の探索, 第80回日本動物学会大会（静岡グランシップ, 9月17日～19日）, 2009

2881. 安藤規泰, 佐野泰仁, 安藤敏之, 高橋宏知, 神崎亮平, マルハナバチの視覚情報による衝突回避行動の解析, 第34回日本比較内分泌学会大会・日本比較生理生化学会第31回大会合同大会 CompBio12009（千里ライフサイエンスセンター, 豊中, 大阪, 10月22日―24日）, 2009

2882. 藤原輝史, 加沢知毅, 並木重宏, S.Shuichi Haupt, 神崎亮平, Ca2+イメージングによる昆虫触角葉局所介在神経のフェロモン応答, , 第34回日本比較内分泌学会大会・日本比較生理生化学会第31回大会合同大会 CompBio12009（千里ライフサイエンスセンター, 豊中, 大阪, 10月22日―24日）, 2009

2883. 峯岸崚, 高嶋淳, 倉林大輔, 神崎亮平, 脳 - 機械融合システムを用いた雄カイコガ行動指令信号の研究, 第34回日本比較内分泌学会大会・日本比較生理生化学会第31回大会合同大会 CompBio12009（千里ライフサイエンスセンター, 豊中, 大阪, 10月22日―24日）, 2009

2884. 並木重宏, 神崎亮平, 匂いのオフセット反応の機能構造, 第47回日本生物物理学会年会（10月30日―11月1日, 徳島文理大学徳島キャンパス・アスティとくしま）, 2009

2885. Shigehiro Namiki, Ryohei Kanzaki, A Synthetic Approach for Understanding Olfactory Information Processing in the Moth Brain(構成論的アプローチによる昆虫匂い識別機構の分析), 第47回生物物理学会年会（10月30日―11月1日, 徳島文理大学徳島キャンパス・アスティとくしま）, 2009

2886. 神崎亮平, 昆虫とロボットの融合で探る脳神経科学, , FIT2009 現地企画セッション「ロボットの運動と視覚における新たな展開～脳神経科学との融合～」9月3日（招待講演）, 2009

2887. 神崎亮平, 池野英利, 白井支朗, Invertebrate Brain Platform ニューロインフォマティクス日本ノードにおけるプラットフォーム, 第32回日本神経科学大会（名古屋国際会議場, 9月16日―18日）（招待講演）, 2009

2888. 神崎亮平, ロボットで探る昆虫の脳と匂いの世界., 第10回アロマサイエンスフォーラム2009（アルカディア市ヶ谷（私学会館）, 10月2日）, 2009

2889. 神崎亮平, Interdisciplinary Research Reveals How an Insect-Brain Generates Adaptive Behavior. , 比較三学会合同シンポジウム「比較生物学における新しい展開 New developments on comparative biology」第34回日本比較内分泌学会大会・日本比較生理生化学会第31回大会合同大会 CompBio12009（千里ライフサイエンスセンター, 豊中, 大阪, 10月22日―24日）（招待講演）, 2009

2890. 神崎亮平, 昆虫-機械融合システムで探る適応戦略(Insect-Machine Hybrid System for Understanding an Adaptive Behavior), 第47回日本生物物理学会年会（10月30日―11月1日, 徳島文理大学徳島キャンパス・アスティとくしま）（招待講演）, 2009

2891. 神崎亮平, ロボットで探る昆虫の感覚・脳・行動のしくみ, 日本動物行動学会 第28回大会 公開シンポジウム「動物行動学とロボット工学のホットな出会い (Ethology meets robotics)」 辻 和希（琉球大学農学部）企画, （11月27日―29日, 筑波大学）（招待講演）, 2009

2892. 神崎亮平, 昆虫とロボットの融合から探る環境適応, , 第10回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会（SI2009）（12月24日―26日、芝浦工業大学豊洲キャンパス）(Keynote 講演), 2009

2893. Ryohei Kanzaki, Hideaki Ikeno, Ikuko Nishikawa, Whole Brain Olfactory Network Simulation in Insects, Workshop of the Brain and Neural Systems team(March 8-9, OIST, Okinawa) , 2009

2894. Okada Y, Miyazaki S, Miyakawa H, Ishikawa A, Tsuji K, Miura T, Ovarian development and insulin-signaling pathways during reproductive differentiation in the queenless ponerine ant Diacamma sp., J Insect Physiol, in press, 2010

2895. Maekawa K, Ishitani K, Gotoh H, Comette R, Miura T, Juvenile hormone titer and vitellogenin gene expression related to ovarian development in primary reproductives, as compared to nymphs and nymphoid reproductives of the termite Reticulitermes speratus., Physiol Entomol, in press, 2010

2896. Ikemoto Y, Ishikawa Y, Miura T, Asama H , A mathematical model for caste differentiation in termite colonies (Isoptera) by hormonal and pheromonal regulations., Sociobiol, 54, 3, 841-859, 2009

2897. Shigenobu S, Bickel RD, Brisson JA, Butts T, Chang CC, Christiaens O, Davis GK, Duncan EJ, Ferrier DEK, Iga M, Janssen R, Lin GW, Lu HL, McGregor AP, Miura T, Smagghe G, Smith JM, van der Zee M, Velarde R, Wilson MJ, Dearden PK, Stern DL, Comprehensive survey of developmental genes in the pea aphid, Acyrthosiphon pisum: frequent lineage-specific duplications and losses of developmental genes., Insect Mol Biol, in press

2898. Ishikawa A, Miura T, Differential regulations of wing and ovarian development and heterochronic changes of embryogenesis between morphs in wing polyphenism of the vetch aphid., Evol Dev, 11, 680-688, 2009

2899. Imai M, Naraki Y, Tochinai S, Miura T, Elaborate regulations of the predator-induced polyphenism in the water flea Daphnia pulex: kairomone-sensitive periods and life-history tradeoffs., J Exp Zool, 311A, 788-795, 2009

2900. Brisson JA, Ishikawa A, Miura T, Wing development genes of the pea aphid and differential gene expression between winged and unwinged morphs., Insect Mol Biol, in press, 2010

2901. Nakabachi A, Koshikawa S, Miura T, Miyagishima S, Genome size of Pachypsylla venusta (Hemiptera: Psyllidae) and the ploidy of its bacteriocyte, the symbiotic host cell that harbors intracellular mutualistic bacteria with the smallest cellular genome., Bulletin of Entomological Research, in press, 2010

2902. Toga K, Hojo M, Miura T, Maekawa K, Presoldier induction by juvenile hormone analogue in the nasute termite Nasutitermes takasagoensis (Isoptera: Termitidae), Zoological Science, 26, 382-388, 2009

2903. Kuroyanagi Y*, Okuyama T*, Suehiro Y, Imada H, Shimada A, Naruse K, Takeda H, Kubo T and Takeuchi H† *equal contribution †corresponding author, Proliferation zones in the adult medaka (Oryzias latipes) brain, Brain Research, in press, 2010

2904. Hori S*, Kaneko K*, Saito T, Takeuchi H and Kubo T *equal contribution, Expression of two microRNAs, ame-mir-276 and -1000, in the honeybee (Apis mellifera) , Apidologie, in press, 2010

2905. Tadano H, Yamazaki Y, Takeuchi H†, Kubo T †Corresponding, Age- and division-of-labour-dependent differential expression of a novel non-coding RNA, Nb-1, in the brain of worker honeybees, Apis mellifera L., Insect molecular biology, 18, 715-767 , 2009

2906. Fujiyuki T, Matsuzaka E, Nakaoka T, Takeuchi H, Wakamoto A, Ohka S, Sekimizu K, Nomoto A, Kubo T, Distribution of Kakugo virus and its effects on the gene expression profile in the brain of the worker honeybee Apis mellifera L., Journal of Virology, 83, 11560-11568, 2009

2907. Ueno T, Nakaoka T, Takeuchi H, Kubo T, Differential gene expression in the hypopharyngeal glands of worker honeybees (Apis mellifera L.) associated with an age-dependent role change., Zoological science, 26, 557-563 , 2009

2908. H. Gotoh, R. Cornette, S. Koshikawa, Y. Okada and T. Miura, Juvenile hormone determines the scaling relationship in stag beetle, Evolution2009, 2009

2909. Toru Miura, Akiko Hattori, Shigeyuki Koshikawa, Satoshi Miyazaki, Hitoshi Miyakawa, Richard Cornette, Insulin signaling pathway responsible for the soldier differentiation in a damp-wood termite Hodotermopsis sjostedti, Evolution2009, 64, 2009

2910. H. Miyakawa, M. Imai, T. Miura, Screening and expression analysis of genes responding to predator kairomones in the water flea Daphnia pulex, The Crustacean Society, 100, 2009

2911. A. Ishikawa, Y. Okumura, Y. Nakagawa, T. Miura, Regulations of polyphenic wing development in the vetch aphid Megoura crassicauda: morphogenesis, tradeoffs, and gene expression., 8th International Symposium on Aphids Programme and Abstracts, 47, 2009

2912. Hideaki Takeuchi （招待講演）, Analysis of Social Interactions Using Adult Medaka Fish, Common Themes and New Concepts in Sensory Formation, The 18th CDB Meeting., 2009

2913. Haruka Imada, Yuji Suehiro, Teruhiro Okuyama, Daisuke Kurabayashi, Atsuko Shimada, Kiyoshi Naruse, Hiroyuki Takeda, Takeo Kubo, Hideaki Takeuchi1, Analysis of Schooling-like Behavior of Medaka Fish and Identification of a Telencephalon-and-Hypothalamus-Preferential Gene in the Medaka Brain, Proceeding of the Third International Symposium on Mobiligence, 2009

2914. Yuji Suehiro, Teruhiro Okuyama, Haruka Imada, Atsuko Shimada, Kiyoshi Naruse, Hiroyuki Takeda, Takeo Kubo, Hideaki. Takeuchi, Analysis of neural mechanism for the optomotor response of the medaka fish, Common Themes and New Concepts in Sensory Formation, The 18th CDB Meeting., 2009

2915. Yuji Suehiro, Teruhiro Okuyama, Haruka Imada, Atsuko Shimada, Kiyoshi Naruse, Hiroyuki Takeda, Takeo Kubo, Hideaki. Takeuch, Analysis of neural mechanism for the optomotor response of the medaka fish, Society for Neuroscience 2009 (Chicago), 2009

2916. Teruhiro Okuyama, Yuji Suehiro, Haruka Imada, Atsuko Shimada, Kiyoshi Naruse, Hiroyuki Takeda, Takeo Kubo, Hideaki Takeuchi, Mapping of brain regions involved in female mating acceptance mediated by visual information in medaka fish, Society for Neuroscience 2009 (Chicago), 2009

2917. 後藤寛貴, コルネット リシャ?, 越川慈行, 岡田泰和, 三浦徹, 幼若ホルモンがクワガタのアロメトリーを決定する, 第11回日本進化学会大会要旨集, 80, 2009

2918. 宮川一志, 今井眞木, 三浦徹, ミジンコにおける捕食者に誘導される表現型多型の分子機構, 第11回日本進化学会大会要旨集, 77, 2009

2919. 石川由希, 青沼仁志, 佐々木謙, 三浦徹, シロアリの兵隊ワーカーにおける脳内チラミン-オクトパミン系の解析, 第34回日本比較内分泌学会大会・日本比較生理生化学会第31回大会合同大会, 71, 2009

2920. 林良信, 宮田仁, 三浦徹, 北出理, ヤマトシロアリにおける親によるワーカーカストへの分化誘導, 第11回日本進化学会大会要旨集, 127, 2009

2921. 杉本直己, 三浦徹, ミジンコの防御形態のリアクションノーム, 第11回日本進化学会大会要旨集, 127, 2009

2922. 石川麻乃, 小川皓太, 三浦徹, アブラムシの翅型分化を引き起こす密度シグナルの伝達, 第11回日本進化学会大会要旨集, 79, 2009

2923. 石川麻乃, 小川皓太, 後藤寛貴, 三浦徹, 幼若ホルモンはアブラムシの繁殖多型を制御する, 第34回日本比較内分泌学会大会・日本比較生理生化学会第31回大会合同大会, 66, 2009

2924. 奥山輝大, 末廣勇司, 今田はるか, 島田敦子, 田中実, 成賴青, 武田洋幸, 久保健雄, 竹内秀明, メダカにおける視覚情報依存的なメスの交尾受け入れの神経機構, 第32回日本分子生物学会年会第32回日本分子生物学会年会, 2009

2925. 坪子理美, 末廣勇司, 奥山輝大, 島田敦子, 武田洋幸, 成賴青, 久保健雄, 竹内秀明, メダカ近交系間における、視覚刺激に対する逃避潜寒応の定量的比較, 第32回日本分子生物学会年会第32回日本分子生物学会年会, 2009

2926. 坪子理美, 末廣勇司, 奥山輝大, 島田敦子, 武田洋幸, 成賴青, 久保健雄, 竹内秀明, メダカ Oryzias latipes 近交系間における、視覚刺激に対する逃避潜寒動の定量的比較, 日本動物学会 第80回大会, 2009

2927. 坪子理美, 末廣勇司, 奥山輝大, 島田敦子, 武田洋幸, 成賴青, 久保健雄, 竹内秀明, メダカ近交系間における、明暗刺激に対する逃避潜寒応の定量的比較, 第15回 小型魚類研究会, 2009

2928. Yoshikatsu Hayashi, Mai Yuki, Ken Sugawara, Tomonori Kikuchi and Kazuki Tsuji, Analysis and modeling of ants' behavior from single to multi-body, Journal of Artificial Life and Robotics, 120-123, 2008

2929. Kikuchi, T, Miuazaki, S., Ohnishi, S., Takahashi, J., Nakajima, Y., Tsuji, K, Small queens and big headed workers in a monomorphic ponerine ant, Naturwissensaften, 95, 10, 963-968, 2008

2930. Suwabe, M., Ohnishi, H., Kikuchi, T., Tsuji, K., Seasonal and daily activity patterns of tramp and endemic ants in the northern forest of Okinawa Island, Ecological Research , 24, 3, 637-643, 2009

2931. Kikuchi, T., Nakagawa, T., Tsuji, K., Changes in relative importance of multiple social regulatory forces with colony size in the ant Diacamma sp. from Japan, Animal Behaviour , 76, 6, 2069-2077, 2008

2932. Dobata, S., Sasaki, T., Mori, H., Hasegawa, E., Shimada, M., Tsuji, K, Cheater genotypes in the parthenogenetic ant Pristomyrmex punctatus, Proceedings of the Royal Society of London, Series B, 276, 2, 567-574, 2009

2933. Ohtsuki, H., Tsuji, K., Adaptive reproduction schedule as a cause of worker policing in social Hymenoptera: a dynamic game analysis., The American Naturalist , 173, 6, 747-758, 2009

2934. Matsuura, K., Vargo, E. L., Kawatsu, K., Labadie, P. E., Nakano, H., Yashiro, T., Tsuji, K, Queen succession through asexual reproduction in termites, Science, 323, 5922, 1687-1687, 2009

2935. Kikuchi, T., Suwabe, M., Tsuji, K., Durability of the effect of gamergate presence information in Diacamma sp. from Japan., Physiological Entomology, in press

2936. Okada, Y., Miyazaki, S., Miyakawa, H., Ishikawa, A., Tsuji, K., Miura, T., Ovarian development and insulin-signaling pathways during reproductivedifferentiation in the queenless ponerine ant Diacamma sp., Journal of Insect Physiology, in press

2937. Tsuji, K., What brings peace to the world of ants (Hymenoptera: Formicidae)?, Myrmecological News, in press

2938. Mai Yuki, Yoshikatsu Hayashi, Ken Sugawara, Analysis and Modeling of Diacamma workers' Behavior, Proc. of 14th Int. Symp. on Artificial Life and Robotics 2009, 2008

2939. N. Fujiwara-Tsujii, K. Tokunaga, T. Akino, K. Tsuji, R. Yamaoka, Identification of the chemical bond between leader and follower ants during tandem running in Diacamma sp. from Japan (Hymenoptera: Formicidae), The 3rd International Symposium on Mobiligence, 312-315, 2009

2940. K. Sugawara, M. Yuki, Y. Hayashi, K. Yaegashi, T. Kikuchi, K. Tsuji, Analysis of ant's behavior from single to multibody, The 3rd International Symposium on Mobiligence, 320-323, 2009

2941. K. Tsuji, H. Ohtsuki, H. Shimoji, T. Kikuchi, H. Ohnishi, M. Yuki, K. Yaegashi, Y. Hayashi, K. Sugawara, R. Yamaoka,

Colony-size dependent adaptove strategies in an ant society and their underlying self-organized regulation, The 3rd International Symposium on Mobiligence, 343-351, 2009
2942. 菅原 研, アリロボットが示す適応的行動と自律分散制御, 日本進化学会第10回東京大会要旨集, 155, 2008
2943. 八重樫和之、林叔克、菅原研, トゲオオハリアリの女王が示すパトロール行動解析とモデル化, 計測自動制御学会東北支部大会, 2008
2944. 結城麻衣、林叔克、菅原研, 少数の働きアリによる行動解析とモデル化 - トゲオオハリアリの行動解析?, 計測自動制御学会東北支部大会, 2008
2945. 藤木悠里、藤原直、山岡亮平、秋野順治、辻和希, 日本産トゲオオハリアリにおける gamergate の認識と体表炭化水素との関係, 第52回日本応用動物昆虫学会大会 講演要旨集, 141, 2008
2946. 徳永琴音、藤原直、山岡亮平、秋野順治、辻和希, 日本産トゲオオハリアリの縦列行進維持フェロモン, 第52回日本応用動物昆虫学会大会 講演要旨集, 142, 2008
2947. 辻 和希, 菊地友則、大西一志、大槻久, アリ j のコロニーサイズ依存的自律分散制御機構の進化とポリシング, I 日本進化学会第10回東京大会要旨集, 155, 2008
2948. 佐々木智基、辻 和希, キイロヒメアリにおける完全単為生殖-低分散・局所適応仮説-, 第52回日本応用動物昆虫学会大会 講演要旨集, 125, 2008
2949. 林正幸、佐々木智基、辻 和希, キイロヒメアリ女王による栄養卵産卵, 第52回日本応用動物昆虫学会大会 講演要旨集, 124, 2008
2950. 菊地友則、中川敬之、辻 和希, アリは如何にしてコロニーの大きさを認識するのか, 第52回日本応用動物昆虫学会大会 講演要旨集, 125, 2008
2951. 下地博之、A, Sebastiean、佐々木智基、辻 和希, 日本産トゲオオハリアリ（Diacamma sp.）における産卵後 worker policing, 第52回日本応用動物昆虫学会大会 講演要旨集, 125, 2008
2952. 畑野俊貴、辻 和希, シロオビアゲハにおけるベイツ型擬態の進化と性淘汰のコスト, 第52回日本応用動物昆虫学会大会 講演要旨集, 178, 2008
2953. 儀間朝宜、辻 和希, ウスキシロチョウの相変異：幼虫の高密度化が与える幼虫・成虫形質への影響, 第52回日本応用動物昆虫学会大会 講演要旨集, 184, 2008
2954. 辻 和希, 外来アリはなぜ侵略的になるのか, 第55回日本生態学会大会講演要旨集, 90, 2008
2955. 菊地友則、中川敬之、辻 和希, アリは如何にしてコロニーの大きさを認識するのか, 第55回日本生態学会大会講演要旨集, 291, 2008
2956. 下地博之、A, Sebastiean、佐々木智基、辻 和希, トゲオオハリアリにおける産卵後 worker policing, 第55回日本生態学会大会講演要旨集, 289, 2008
2957. 儀間朝宜、辻 和希, ウスキシロチョウにおける翅型決定要因と密度高価, 第55回日本生態学会大会講演要旨集, 458, 2008
2958. 森英章、佐々木智基、長谷川英祐、土畑重人、千葉聡、辻 和希, 働かない働きアリの侵略-アミメアリの種内社会寄生は2度進化した？, 第55回日本生態学会大会講演要旨集, 291, 2008
2959. 辻 和希, ブレイクスルーは個体群生態学にあり, 個体群生態学会第24回年次大会プログラム・講演要旨集, 16, 2008
2960. 下地博之・藤木悠里・辻 和希・山岡亮平, トゲオオハリアリのワーカーは女王の卵から女王の存在の有無を知る事ができるか？, 日本動物行動学会第28回大会, 66, 2009
2961. 奥野正樹・辻 和希・藤崎憲治, 病原菌に対する可塑的な行動としてもグルーミング行動, 日本動物行動学会第28回大会, 44, 2009
2962. K. Tsuji, Sex and non-sex in insect social evolution:an overview, 日本生態学会第57回大会, 2010
2963. 田中宏卓・大西一志・立田晴記・辻和希, 沖縄島ヤンバル地域の林道における外来アリ類と甘露排出者の共生関係, 日本生態学会第57回大会, 2010
2964. K. Sugawara, M. Yuki, Y. Hayashi, T. Uchikawa, Y. Hayakawa, T. Kikuchi, and K. Tsuji, Ethological Analysis of Ant's Behavior from Single to Multi-body, Proc. 2009 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, 2009
2965. K. Sugawara and K. Hata, Interactive Flocking Simulator based on Deteministic Kinetic Model, Proc. ICROS-SICE Int. Joint Conf., 4776-4780, 2009
2966. 菅原研, ロボット工学はアリの行動に何を見出してきたか？, 日本動物行動学会第28回大会, 399-400, 2009
2967. 結城麻衣、菅原研、林叔克、菊地友則、辻和希, 行動学的視点に基づく少数の働きアリの行動特性解析, 「行動学的視点に基づく少数の働きアリの行動特性解析」, 第24回生体・生理工学シンポジウム論文集, 2010
2968. Takafumi Takayama, Toshinobu Shimoi, Takuro Sakuratani, Akira Fujii, Kohji Hotta, Kotaro Oka, In Vivo pH Responses Evoked by Electrical and Sound Stimulation in Hippocampal formation of Female zebra finch, 第36回国際生理学会世界大会 要旨集, P4AM-16-25, 2009
2969. M.Yamamoto, F.Takayama, A.Fujimoto, K.Hotta, and K.Oka, Direct evidence of neuronal projection between hippocampal formation and auditory area by fluorescent dye imaging, 第3回 移動知国際シンポジウム 要旨集, 305, 2009
2970. F.Takayama, M.Yamamoto, H.horita, K.Hotta, and K.Oka, pH responses in hippocampal formation of the zebra finch evoked by sound stimulation, 第3回 移動知国際シンポジウム 要旨集, 306, 2009
2971. Masaki Ando, Masafumi Hagiwara, 3D Character Creation System Using Kansei Rule with the Fitness Extraction Method, IEEE International Conference on Fuzzy Systems, FUZZ-IEEE 2009, 1507-1512, 2009
2972. Ji-Soo Keum, Hyon-Soo Lee, Masafumi Hagiwara, A novel speech/music discrimination using feature dimensionality reduction, International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS 2009), 129-132, 2009
2973. Ei-ichi Izawa, Shigeru Watanabe, Does allopreening of crows function as dominance signaling?, International Ethological Conference 2009 要旨集, 278, 2009
2974. E.Izawa, K.Nishizawa and K.Oka, Neural activity mapping for social cognitoin in the crow, 第3回 移動知国際シンポジウム 要旨集, 304, 2009
2975. 萩原将文, 安藤公樹, 適応度付き感性ルール抽出法を用いた 3D キャラクター作成システム, 第56回日本デザイン学会春季研究発表大会, A-05, 2009
2976. 加藤元一郎、梅田聡, ソーシャルブレインのありか, ソーシャルブレインズ―自己と他者を認知する脳, 開一夫、長谷川寿一編集、東京大学出版会, 161-186, 2009
2977. 加藤元一郎, 全般性注意とその障害について, 専門医のための精神科臨床リュミエール10「注意障害」、加藤元一郎、鹿島晴雄編集、中山書店, 2-11, 2009
2978. 船山道隆, 加藤元一郎, 方向性性注意とその障害について, 専門医のための精神科臨床リュミエール10「注意障害」、加藤元一郎、鹿島晴雄編集、中山書店, 12-19, 2009
2979. 高畑圭輔, 加藤元一郎, 注意と意識, 専門医のための精神科臨床リュミエール10「注意障害」、加藤元一郎、鹿島晴雄編集、中山書店, 35-50, 2009
2980. 野崎昭子、加藤元一郎, 統合失調症と前注意段階の障害, 専門医のための精神科臨床リュミエール 10「注意障害」、加藤元一郎、鹿島晴雄編集、中山書店, 107-113, 2009
2981. 加藤元一郎, 注意障害の臨床的評価法, 専門医のための精神科臨床リュミエール10「注意障害」、加藤元一郎、鹿島晴雄編集、中山書店, 184-189, 2009
2982. 加藤元一郎, 脳画像検査, 子どもの心の診療入門、斎藤万比古総編集、中山書店, 186-193, 2009
2983. 坂村雄、加藤元一郎, 知覚と認知（視覚失認について）, 精神疾患と認知機能、編集総括山内俊雄、新興医学出版社, 62-66, 2009
2984. 田渕肇, 加藤元一郎, 遂行機能と認知障害, 精神疾患と認知機能, 編集総括山内俊雄, 新興医学出版社, 79-84, 2009
2985. 坂村雄、加藤元一郎, 知覚の評価（視覚認知に関する検査）, 精神疾患と認知機能、編集総括山内俊雄、新興医学出版社, 152-156, 2009
2986. 前田貴記、加藤元一郎、鹿島晴雄, 統合失調症の認知機能障害研究―陽性症状の形成機構―, 精神疾患と認知機能、編集総括山内俊雄、新興医学出版社, 187-194, 2009
2987. 穴水幸子、加藤元一郎, 認知リハビリテーション―総論, くすりに頼らない認知症治療 I 、深津亮、斎藤正彦編著、ワールドプランニング, 97-108, 2009
2988. Mihoko Otake, Motoichiro Kato, Toshihisa Takagi and Hajime Asama: , Coimagination Method: Communication Support System with Collected Images and Its Evaluation via Memory Task., "Universal Access in Human-Computer Interaction" LNCS 5614, ed by C.Stephanidis, Springer, 403-411, 2009
2989. Akira Uno, Taeko N. Wydell, Motoichiro Kato, Kanae Itoh, Fumihiro Yoshino, Cognitive Neuropsychological and Regional Cerebral Blood Flow Study of a Japanese-English Bilingual Girl with Specific Language Impairment (SLI). , Cortex, 45, 154-163, 2009
2990. Hidehiko Takahashi, Motoichiro Kato, Masato Matsuura, Dean Mobbs, Tetsuya Suhara, Yoshiro Okubo, When your gain is my pain and your pain is my gain: Neural correlates of envy and Schadenfreude. , Science, 323, 937-939, 2009
2991. Shoko Nozaki, Motoichiro Kato, Harumasa Takano, Hiroshi Ito, Hidehiko Takahashi, Ryosuke Arakawa, Masaki Okumura, Yota Fujimura, Ryohei Matsumoto, Miho Ota, Fimihiko Yasuno, Akihiro Takano, Akihiko Otsuka, Yoshiro Okubo, Haruo Kashima, and Tetsuya Suhara, Regional Dopamine Synthesis in Patients with Schizophrenia using L-[β-11C]DOPA PET. , Schizophrenia Research, 108, 78-84, 2009
2992. Tatsuhiko Yagihashi, Motoichiro Kato, Kosuke Izumi, Rika Kosaki, Kaori Yago, Kazuo Tsubota, Yuji Sato, Minoru Okubo, Goro Watanabe, Takao Takahashil, Kenjiro Kosaki, Case Report: Adult Phenotype of Mulvihill-Smith Syndrome., American Journal of Medical Genetics Part A, 149A, 496-500, 2009
2993. Hidehiko Takahashi, Takashi Ideno, Shigetaka Okubo, Hiroshi Matsui, Kazuhisa Takemura, Masato Matsuura, Motoichiro Kato, Yoshiro Okubo, Impact of changing the Japanese term for 'schizophrenia' for reasons of stereotypical beliefs of schizophrenia in Japanese youth. , Schizophrenia Research, 112, 149-152, 2009
2994. Toshiyuki Kurihara, Motoichiro Kato, Robert Reverger, I Gusti Rai Tirta, Suicide rate in Bali.（letter）, Psychiatry and Clinical Neuroscience, 63, 701, 2009
2995. Ryosuke Arakawa, Tetsuya Ichimiya, Hiroshi Ito, Akihiro Takano, Masaki Okumura, Hidehiko Takahashi, Harumasa Takano, Fumihiko Yasuno, Motoichiro Kato, Yoshiro Okubo, Tetsuya Suhara, Increase in thalamic binding of [11C] PE2I in patients with schizophrenia: a positron emission tomography study of dopamine transporter. , Journal of Psychiatric Research, 43, 1219-1223, 2009
2996. Masaru Mimura, Motoichiro Kato, Haruo Kashima, Neuro-Behcet's disease presenting with amnesia and frontal dysfunction., Clinical Neurology and Neurosurgery, 111, 889-892, 2009
2997. Toshiyuki Kurihara, Motoichiro Kato, Robert Reverger, I Gusti Rai Tirta, Risk factors for suicide in Bali: a psychological autopsy study. , BMC Public Health, 9, 327, 2009
2998. Hidehiko Takahashi, Motoichiro Kato, Sassa Takeshi, Michihiko Koeda, Noriaki Yahata, Tetsuya Suhara, Yoshiro Okubo, Functional Deficits in the Extrastriate Body Area During Observation of Sports-Related Actions in Schizophrenia., Schizophrenia Bulletin (in press),
2999. Satoshi Umeda, Masaru Mimura, Motoichiro Kato, Acquired personality traits of autism following the damage to the medial prefrontal cortex. , Social Neuroscience, (in press),
3000. Masaru Mimura, Fumiko Hoeft, Motoichiro Kato, Nobuhisa Kobayashi, Kristen Sheau, Debra Mills, Albert Galaburda, Julie Korenberg, Ursula Bellugi, Allan L. Reiss, Orbitofrontal activation and hypersociability in Williams Syndrome., Journal of Neurodevelopmental Disorders (in press),
3001. Daisuke Fujisawa, Sunre Park, Rieko Kimura, Ikuko Suyama, Mari Takeuchi, Saori Hashiguchi, Joichiro Shirahase, Motoichiro Kato, Junzo Takeda, Haruo Kashima, Unmet Supportive Needs of Cancer Patients in an Acute-care Hospital in Japan - a census study. , Supportive Care in Cancer(in press),
3002. Hidehiko Takahashi, Harumasa Takano, Tatsui Otsuka, Fumitoshi Kodaka, Yoshiyuki Hirano, Ryosuke Arakawa, Hideyuki Kikyo, Yoshiro Okubo, Motoichiro Kato, Takayuki Obata, Hiroshi Ito, and Tetsuya Suhara, Contribution of dopamine D1 and D2 receptors to amygdala activity in human. , The Journal of Neuroscience (in press),
3003. 船山道隆、前田貴記、三村 將、加藤元一郎, 両側前頭葉損傷に出現した forced gazing（強制凝視）について, 高次脳機能研究, 29, 1, 40-48, 2009
3004. 穴水幸子、吉岡文、三村將、船山道隆、高畑圭輔、鶴田薫、山田裕子、加藤元一郎, 「ワープロ入力」認知リハビリテーション―脳血管障害後の適応障害が改善した 1 例―, 認知リハビリテーション, 14, 41-50, 2009
3005. 宮崎晶子、森 俊樹、加藤元一郎, 脳梁損傷および左前頭葉内側面損傷により左手の拮抗失行と右手の間欠性運動開始困難を呈した 1 例 ― 認知リハビリテーション的アプローチの試み, 認知リハビリテーション, 14, 51-57, 2009
3006. 森山泰、村松太郎、加藤元一郎、三村將、鹿島晴雄, 視覚変容は、抗精神病薬の副作用でも生じる, 精神医学 , 51, 8, 785-788, 2009
3007. 森山泰、村松太郎、加藤元一郎、三村將、鹿島晴雄, 共感覚に気分変調を合併した一例, 精神医学, 51, 9, 889-892, 2009
3008. 加藤元一郎, 脳損傷と認知リハビリテーション, Jpn J Neurosurg (脳神経外科ジャーナル), 18, 277-285, 2009
3009. 栗原稔之、加藤元一郎, バリ島の統合失調症の長期転帰, 臨床精神病理, 30, 40-46, 2009
3010. 穴水幸子、加藤元一郎, 高次脳機能障害とは―注意と記憶にかかわる障害―, ブレインナーシング, 25, 4, 422-427, 2009
3011. 大武美保子、加藤元一郎, 年をとると時間の経つのが速く感じられるのは何故か（老人の時間認知について）, Clinical Neuroscinece, 27, 5, 587, 2009
3012. 加藤元一郎, インターネット・アディクションと嗜癖概念, 日本アルコール精神医学雑誌, 16, 1-3, 2009
3013. 加藤隆、加藤元一郎, 衝動性の神経心理学, 分子精神医学, 9, 311-315, 2009
3014. 加藤元一郎, 広汎性発達障害と脳科学, そだちの科学, 13, 44-49, 2009
3015. 穴水幸子、加藤元一郎, 遂行機能障害の特徴とその評価法, 老年精神医学雑誌, 20, 1133-1138, 2009
3016. 秋山知子、加藤元一郎, 社会認知障害とは何を指しているのですか, Modern Physician, 30, 197-199, 2010
3017. 福永篤志、加藤元一郎、堀口 崇、田渕 肇、寺澤悠理、佐々木 光、戸田正博、矢崎貴仁、宮崎惟雄、浅田英穂、菅 貞郎、井上 洋、大谷光弘、服部光男、水上公宏、河瀬 斌, 高次脳機能検査と白質病変・海馬傍回の萎縮度との関連性, 第18回 日本脳ドック学会総会, 2009
3018. 二宮 朗、高畑 圭輔、加藤 隆、加藤 元一郎、鹿島 晴雄, アルコール離脱期に非痙攣性てんかん重積を呈した一症例, 日本アルコール・薬物医学会雑誌, 44, 4, 278-279, 2009
3019. 岡 瑞紀、藤澤 大介、添田 英津子、山田 康、加藤 元一郎、鹿島 晴雄, アルコール性肝障害に対し、肝移植術を施行した 5 例, 日本アルコール・薬物医学会雑誌, 44, 4, 280-281, 2009
3020. 森山 泰、村松 太郎、加藤 元一郎、鹿島 晴雄, アルコール依存症における軽度の認知機能障害について, 日本アルコール・薬物医学会雑誌, 44, 4, 284-285, 2009
3021. 船山 道隆、加藤 元一郎, Forced following other people, 第33回日本神経心理学会総会プログラム予稿集, 73, 2009
3022. 船山 道隆、三村 將、加藤 元一郎, 能動的なカテゴリー化が困難となった左前頭葉損傷の 1 例, 第 33 回日本神経心理学会総会プログラム予稿集, 73, 2009
3023. 是木 明宏、高畑 圭輔、田渕 肇、加藤 元一郎, 右被殻出血後に躁状態を来した一例, 第33回日本神経心理学会総会プログラム予稿集, 75, 2009
3024. 野崎 昭子、船山 道隆、田渕 肇、三村 將、村松 太郎、加藤 元一郎, 連合型視覚失認および失読を合併した統合失調症の1例, 第33回日本神経心理学会総会プログラム予稿集, 86, 2009
3025. 寺澤 悠理、梅田 聡、斎藤 文恵、秋山 知子、加藤 元一郎、鹿島 晴雄, 右島皮質損傷によって表情判断・感情強度評定の低下を示した症例, 第33回日本神経心理学会総会プログラム予稿集, 93, 2009
3026. 秋山 知子、仲地 良子、森山 泰、加藤 元一郎、鹿島 晴雄, 慢性期統合失調症における表情認知障害, 第33回日本神経心理学会総会プログラム予稿集, 94, 2009
3027. 森山 泰、村松 太郎、加藤 元一郎、三村 將、鹿島 晴雄, 共感覚に気分変調症を合併した 1 例, 第 33 回日本神経心理学会総会プログラム予稿集, 118, 2009
3028. 穴水 幸子、加藤 元一郎、三村 將、船山 道隆、永山 正雄、藤森 秀子, アントン症状を示した 1 例の作話の特徴, 第33回日本高次脳機能障害学会学術総会プログラム・講演抄録, 112, 2009
3029. 加藤 隆、加藤 元一郎、斎藤 文恵、鹿島 晴雄, 発達性相貌失認における顔認知早期プロセス ―MEG を用いた検討, 第33回日本高次脳機能障害学会学術総会プログラム・講演抄録, 114, 2009
3030. 小西 海香、斎藤 文恵、加藤 元一郎、鹿島 晴雄、Brain Function Test 委員会, CAS による意欲評価スケールと CAT 注意検査結果との関連について, 第 33 回日本高次脳機能障害学会学術総会プログラム・講演抄録, 157, 2009
3031. 福永 篤志、加藤 元一郎、田渕 肇、寺澤 悠理、梅田 聡、服部 光男, 高次脳機能と大脳白質病変・海馬傍回の萎縮度との関係, 第33回日本高次脳機能障害学会学術総会プログラム・講演抄録, 221, 2009
3032. 高畑 圭輔、加藤 元一郎、斎藤 文恵、鹿島 晴雄, 前頭側頭部の萎縮とともに数量認知課題において高い成績を示した 2 例, 第33回日本高次脳機能障害学会学術総会プログラム・講演抄録, 177, 2009
3033. 橘 とも子、橘 秀昭、加藤 元一郎, 1 か月の意識消失を伴う外傷性脳挫傷受傷後 30 年経過した潜在的高次脳機能障害の一例について, 第33回日本高次脳機能障害学会学術総会プログラム・講演抄録, 181, 2009
3034. 先崎 章、枝久保 達夫、稲村 稔、三村 將、加藤 元一郎、鹿島 晴雄, Mild traumatic brain injury が疑われる一例, 第33回日本高次脳機能障害学会学術総会プログラム・講演抄録, 186, 2009
3035. 酒井 浩、加藤 元一郎、種村 留美, PASAT の難易度と脳賦活部位の変化 ―fMRI を用いた検討―, 第 33 回日本高次脳機能障害学会学術総会プログラム・講演抄録, 192, 2009
3036. 斎藤 文恵、穴水 幸子、加藤 元一郎, 脳炎後に重度の記憶障害を呈した症例の回復過程, 第 16 回認知リハビリテーション研究会, 2009
3037. 加藤元一郎, 記憶障害の病態とその治療：今後の支援法を考える, 招待講演：認知症と記憶障害の方への工学的支援―最新技術によるケアの可能性を探る（京都工芸繊維大学主催）, 2009
3038. 加藤元一郎, 響き合う脳、共振しない脳, 第九十回公共哲学京都フォーラム ― 脳と人間（自己と他者）と社会（世界）, 2009
3039. 加藤元一郎, アルツハイマー病における神経心理学的障害について, 特別講演:第 9 回北海道アルツハイマー病研究会, 2009
3040. 松下 幸生、加藤 元一郎、樋口 進、鹿島 晴雄, シンポジウム「アルコール・薬物関連障害の生物学的研究の動向」: アルコールに対する感受性に関する検討〜アルコール・クランプ実験を用いた評価〜, 日本アルコール・薬物医学会雑誌, 44, 4, 266-267, 2009
3041. 秋根 良英、加藤 元一郎、村松 太郎、鹿島 晴雄, シンポジウム「アルコール・薬物関連障害の生物学的研究の動向」: アルコール依存症における脳機能連結(functional connectivity)の異常, 日本アルコール・薬物医学会雑誌, 44, 4, 274-275, 2009
3042. 加藤元一郎, 高次脳機能障害とは？-その理解を助けるために-, ワークショップ 2「高次脳機能障害の地域支援」, 第57回日本職業・災害医学会（学術集会）, 2009
3043. 加藤元一郎, 「注意障害」〜症状の捉え方と標準注意検査法（ＣＡＴ）の利用〜, 特別講演:第 10 会岡山リハビリテーション病院講演会, 2009
3044. 加藤元一郎, 認知症の神経心理学, 第20回日本老年医学会近畿地方会, 2009
3045. 加藤元一郎, 社会脳の神経心理学, 特別講演:第7回情動・社会行動と精神医学研究会, 2009
3046. 長尾隆司, 動物のコミュニケーション, こころを伝えるコミュニケーション（ひつじ書房）, in press, 2010
3047. 佐々木謙, 変身:生き残るためのモデルチェンジ, 動物の多様な生き方(共立出版), 第2巻, 第10章, 167-182, 2009
3048. 小川宏人, コオロギの電気生理学実験, 「身近な動物を使った実験4?ミツバチ, コオロギ, スズメガ」 鈴木範男 編, 58-64, 2009
3049. 小川宏人, 針刺し運動 ?動き続けるミツバチの針, 「動物の「動き」の秘密にせまる?運動系の比較生物学」尾崎浩一, 吉村建二郎 編, 194-212, 2009
3050. K. Sasaki, K. Yamasaki, K. Tsuchida, T. Nagao, Gonadotrophic effects of dopamine in isolated workers of the primitively eusocial wasp, Polistes chinensis, Naturwissenschaften, 96, 625-629, 2009
3051. K. Sasaki, T. Abe, Y. Yoshida, K. Asaoka, A homeotic mutation influences the wing vibration patterns during mating in males of the silkworm moth Bombyx mori, Journal of Insect Physiology, 55, 726-734, 2009
3052. Y. Nishi, K. Sasaki, T. Miyatake, Biogenic amines, caffeine and tonic immobility in Tribolium castaneum, Journal of Insect Physiology, 56, in press, 2010
3053. 佐々木謙, 生体アミンの経口摂取による有用昆虫の行動操作, The New Food Industry, 51, 76-82, 2009
3054. 朝岡潔, 太田広人, 佐々木謙, チョウ目昆虫幼虫の摂食行動制御における味覚と生体アミンの関与, 野蚕, 64, 12-14, 2009
3055. 佐々木謙, 社会性昆虫における繁殖制御の生理・分子メカニズム, 比較生理生化学, 27, in press, 2010
3056. T. Nagao, A. Kishigami, K. Sasaki, Y. Tamori, Neurohorumonal control of development and motivation of instinctive behavior in male crickets, 6th Asian Biophysics Association Symposium, 125-126, 2009
3057. K. Harano, K. Sasaki, T. Nagao, M. Sasaki, S. Tanaka, Role of brain dopamine in insect reproduction: comparison between honeybees and locusts, 16th International Congress of Comparative Endocrinology, 167, 2009

3058. A.Kishigami, Y.Watanabe, M.Hirata, T.Suzuki, and Y.Tsukahara, TRP channel of squid photoreceptor cells has affinity to Inositol-1, 4, 5-trisphosphate, Proceedings of the 3rd European Conference on Chemistry for Life Sciences (September 2-5, 2009, Frankfurt am Main, Germany), in press, 2009
3059. Y. Masuda, Y. Tamori, Magneto-encephalographic response to the second-ordered visual attributes, Perception supplement (32nd European Conference on Visual Perception), 38, 127, 2009
3060. Y. Tanaka, Y. Tamori, N. Asakura, R. Suzuki, Dynamic imagery can enhance contrast sensitivity improvement by imagery, Perception supplement (32nd European Conference on Visual Perception), 38, 177, 2009
3061. Ogawa, H., Directional-dependent plasticity in cercal-to-giant interneuron synapses in the cricket wind-sensitive system, Proceedings of the 3rd International Symposium on Mobiligence, 277-280, 2009
3062. 増田洋一, 田森佳秀, 運動視覚順応を利用した2次視覚属性に対する脳磁場応答の計測, 日本生体磁気学会誌 特別号, 22, 1, 126-127, 2009
3063. 岸上明生, スルメイカ視細胞のび絨毛内の蛋白質複合体, 第 15 回日本光生物学協会年会 講演要旨集, 26, 2009
3064. 古庄真麻、岸上明生, スルメイカ視細胞の光情報伝達系に関わるタンパク質複合体, 日本動物学会第80回大会予稿集, 95, 2009
3065. 佐々木謙, 山崎和久, 土田浩治, 長尾隆司, アシナガバチのワーカー産卵におけるドーパミンの役割, 第31回日本比較生理生化学会, 71, 2009
3066. 原野健一・佐々木謙・長尾隆司・佐々木正己, ミツバチ雄における脳内ドーパミンの日齢変化とJHとの関係, 第31回日本比較生理生化学会, 71, 2009
3067. 赤坂真也, 原野健一, 佐々木謙, 長尾隆司, ミツバチ雄の繁殖行動におけるドーパミンの役割, 第31回日本比較生理生化学会, 71, 2009
3068. 佐々木謙, 繁殖制御の内分泌機構とその進化, 第69回日本昆虫学会 公開シンポジウム, 6, 2009
3069. 宮竹貴久, 佐々木謙, 西優輔, 死にまねの生態的意義と生体アミンの役割, 第57回日本生態学会, in press, 2010
3070. 佐々木謙, 遠藤祐紀, 朝岡潔, ショ糖やイノシトールによるカイコ幼虫の飲み込み運動パターンの修飾, 第54回日本応用動物昆虫学会, in press, 2010
3071. 赤坂真也, 佐々木謙, 長尾隆司, 原野健一, ミツバチ雄においてドーパミンは交尾飛行を促進させる, 第54回日本応用動物昆虫学会, in press, 2010
3072. 大喜裕二, 佐々木謙, 朝岡潔, カイコ幼虫のイノシトールによる咀嚼運動の修飾メカニズム, 第54回日本応用動物昆虫学会, in press, 2010
3073. Suzuki. M., Kimura, T., Ogawa, H., Hotta, K., Oka, K., Dynamic changes of chromatic pattern in squid, Sepioteuthis lessoniana, 生物物理, 49, Suppl.1, S95, 2009
3074. Ogawa, H., Oe M., Oka, K., Directional-dependent plasticity induced by successive air-current stimuli in the cricket cercal sensory system, 生物物理, 49, Suppl.1, S184, 2009
3075. 小川宏人, 大江桃子, コオロギの連続気流刺激に対する逃避行動馴化と尾葉感覚系の方向依存的可塑性, 日本動物学会第80回大会予稿集, 145, 2009
3076. R. Okada, H. Ikeno, T. Kimura, M. Ohashi, H. Aonuma, E. Ito, Markov model of honeybee social behavior, Information, in press, 2010
3077. M. Ohashi, R. Okada, T. Kimura, H. Ikeno , Observation system for the control of the hive environment by the honeybee (Apis mellifera), Behav Res Methods, 41, 782-786, 2009
3078. R. Okada, H. Ikeno, M. Ohashi, T. Kimura, E. Ito, Observations and computer simulation of the social behavior in the honeybee., The 3rd International Symposium on Mobiligencein in Awaji, 87-91, 2009
3079. K. Iwata, M. Ohashi, T. Akamatsu, R. Okada, H. Ikeno, Carbon cycling of a honeybee colony under the environmental variation, The 3rd International Symposium on Mobiligencein in Awaji, 316-319, 2009
3080. 木村敏文, 池野英利, 大橋瑞江, 岡田龍一, 伊藤悦朗, ミツバチに関する複数個体の追跡と巣板内状態の継続的計測, 第4回移動知シンポジウム, 2009
3081. 伊藤悦朗, 池野英利, 大橋瑞江, 木村敏文, 岡田龍一, 社会性適応のための行動変容機構の研究, 第4回移動知シンポジウム, 2009
3082. 岩田可南子, 池野英利, 大橋瑞江, 木村敏文, 岡田龍一, 赤松忠明, ミツバチコロニーの持続的データ計測システムによる炭素収支解明, 日本動物学会, 2009
3083. 木村敏文, 池野英利, 大橋瑞江, 岡田龍一, 行動解析のための複数ミツバチ追跡システム, 日本動物学会, 2009
3084. 岡田龍一, ミツバチの採餌行動とダンス行動, 無脊椎動物神経生物研究会, 2009
3085. Jin DZ, Fujii N, Graybiel AM., Neural representation of time in cortico-basal ganglia circuits., Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 106, 45, 19156-19161, 2009
3086. 柳川 透(Toru Yanagawa), 長坂 泰勇(Yasuo Nagasaka), 藤井 直敬(Naotaka Fujii), 神経活動の同期における位相角度の分布と新皮質の解剖学的構造の相関性 Phase angle distribution of cortical synchronization reflects structural connectivity of cortical regions, 演題番号：P2-k20, 第32回日本神経科学学会, 2009
3087. Zenas C CHAO, 長坂 泰勇(Yasuo Nagasaka), 藤井 直敬(Naotaka Fujii), 長期に亘るサル皮質脳波記録による上肢運動と眼球運動の同時復号化 Long-term asynchronous decoding of intended hand and eye positions using electrocorticographic signals in monkey, 演題番号：P2-k18, 第32回日本神経科学学会, 2009
3088. 鈴木 啓介, Zenas C Chao, 藤井 直敬, NIRS を用いた単一試行シンボルデコーディングの試み Single-trial decoding of abstract symbols by near-infrared spectroscopic signals, 演題番号：P2-l01, 第32回日本神経科学学会, 2009
3089. 竹中 一仁, 長坂 泰勇, Zenas C Chao, 國吉 康夫, 藤井 直敬, サル前頭皮質における GrangerCausality を用いたダイナミックな因果関係の解析, Granger Causality revealed dynamic modulation of causal relationships in Macaque frontal cortex, 演題番号：P2-k17, 第32回日本神経科学学会, 2009
3090. Z. C. CHAO, Y. NAGASAKA, N. FUJII, Long-term asynchronous decoding of multiple motor parameters using electrocorticographic signals in monkey 360.2/BB6, Neuroscience 2009, 2009
3091. K. TAKENAKA, Y. NAGASAKA, Z. C. CHAO, Y. KUNIYOSHI, N. FUJII, Granger causality revealed dynamic modulation of causal relationships in macaque frontal cortex 360.3/BB7, Neuroscience 2009, 2009
3092. K. SUZUKI, Z. C. CHAO, N. FUJII, Decoding abstract symbols by near-infrared spectroscopic signals 360.4/BB8, Neuroscience 2009, 2009
3093. T. YANAGAWA, Y. NAGASAKA, N. FUJII, Phase angle distribution of cortical synchronization reflects structural connectivity of cortical regions 360.11/BB15, Neuroscience 2009, 2009
3094. Makino Y, Yano M, Investigating the Underlying Intelligence Mechanisms of the Biological Olfactory System, Advances in Artificial Intelligence, in press., 2010
3095. Matsuzaka, Y., Sakamoto, K., Tanaka, T., Furusawa, Y., Mushiake, H, Cannula-aided penetration: A simple method to insert structurally weak electrodes into brain through the dura mater, Neurosci. , Res. 65, 126-129, 2009
3096. 吉原佑器, 牧野悌也, 冨田望, 矢野雅文, 「関節の動きやすさのリアルタイム最適化は大域的最適な腕運動を生成するか？」, 計測自動制御学会論文集, 45 巻, 11 号, 570-579, 2009
3097. 冨田望, 矢野雅文, 二足歩行運動のリアルタイム環境適応機構, 計測と制御, 48, 9, 681-686, 2009
3098. Sakamoto K, Nakajima H, Suzuki T, Yano M. A, “global closure”, effect in contour Integration. Koeppen M. et al.(Eds.) ICONIP 2008, Part I LNCS 5506, 258-265, 2009
3099. Sakamoto K, Matsuzaka Y, Suenaga T, Watanabe H, Kobayashi R, Fukushima T, Katayama N, Tanaka T, Koyanagi M, Mushiake H, A simple device allowing silicon microelectrode insertion for chronic neural recording in primates, The 4th International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering, 104-107, 2009
3100. Kobayashi R, Kanno S, Lee S, Fukushima T, Sakamoto K, Matsuzaka Y, Katayama N, Mushiake H, Koyanagi M, Tanaka T., Development of double-sided Si neural probe with microfluidic channels using wafer direct bonding technique, The 4th International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering, 96-99, 2009
3101. 牧野悌也, 「神経活動の時空間ダイナミクスによる嗅覚情報処理」, 第6回 ブレインウェア研究会 (2009年11月30日午後, 仙台, 東北大学電気通信研究所), 2009
3102. 伊藤岳大, 牧野悌也, 矢野雅文, 「時空間表現された匂い情報の記憶と想起の神経モデル」, 日本神経回路学会第19回全国大会講演論文集(2009年 9月25日 午前口頭発表, 午後ポスター発表, 仙台, さくらホール), 68-69, 2009
3103. Makino Y, Yano M, Rules for self-organization of a model olfactory network that evaluates a temporal sequence of neural activity, Neuroscience Research, 65, Supplementary 1, S210, P3-c19, 2009
3104. 大須賀 公一, 石黒 章夫, 受動的ロコモーションに埋め込まれた適応機能, 計測自動制御学会誌 計測と制御, 48, 9, pp.711-717, 2009
3105. 大須賀 公一, 制御系における「埋め込み問題とは？」-生物／人工物の運動制御機能の理解に向けて, システム制御情報学会誌 システム／制御／情報, 53, 12, pp.1-7, 2009
3106. 土師貴史, 衣笠哲也, 前田李喜, 赤木徹也, 吉田浩治, 大須賀公一, 天野久徳, 柔軟全周囲クローラ（FMT）の姿勢計測について一柔軟変位センサを用いた湾曲角度検出一, 日本機械学会 ROBOMEC2009 講演論文集, 1A2-H02, 2009
3107. 岩野 優樹, 大須賀 公一, 天野 久徳, 階段昇降機構を付加した救助支援型担架システムの開発, 日本機械学会 ROBOMEC2009 講演論文集, 1A2-H05, 2009
3108. 吉岡 秀隆, 杉本 靖博, 大須賀 公一 , 超多脚型受動的動歩行ロボットの実現に関する研究, 日本機械学会 ROBOMEC2009 講演論文集, 2P1-D02, 2009
3109. 藤井 睦弘, 鈴木 昭二, 加藤 浩二, 井野 拓実, 吉田 俊教, 鈴木 航, 前田 龍智, 大越 康充, 川上 健作, 大須賀 公一, 索状センサを利用した膝の屈曲角測定, 第27回日本ロボット学会学術講演会資料, 2I1-02, 2009
3110. 大須賀 公一, 和田 貴志, 田中 徹, 上田 明寿, Flexible Sensor Tube によるモーションキャプチャシステム(FST－MC)の開発, 第27回日本ロボット学会学術講演会資料, 3L1-02, 2009
3111. 吉岡 秀隆, 杉本 靖博, 大須賀 公一, 超多脚型受動的動歩行の脚数による安定性の変化, 第 27 回日本ロボット学会学術講演会資料, 3P2-05, 2009
3112. 大須賀 公一 , 石黒 章夫, 鄭 心知, 陰的制御則は移動知の共通原理になりえるか?, 第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演論文集, 1H2-1, 2009
3113. 末岡 裕一郎 , 大須賀 公一, 杉本 靖博, 石黒 章夫, ある移動ロボットにおける陰的制御則に関する考察 , 第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演論文集, 1H2-2, 2009
3114. 浪花 啓右, 杉本 靖博, 大須賀 公一, McKibben 型空気圧アクチュエータを用いたロボットの運動生成とその安定解析, 第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演論文集, 1H2-4, 2009
3115. 入部 正継, 杉本 靖博, 大須賀 公一, 受動的動歩行における力学モデルの実機での検証, 第 10 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演論文集, 1N4-3, 2009
3116. 大須賀 公一, 石黒 章夫, 鄭 心知, 身体に埋め込まれた適応能力について, 第9回計測自動制御学会制御部門大会資料, TA4-4, 2009
3117. 大須賀 公一, 石黒 章夫, 鄭 心知, Implicit Control Law は移動知理解の鍵になるか・・, システム・情報部門学術講演会 2009 資料, pp.377-378, 2009
3118. 大須賀 公一, 二足歩行ロボットの適応運動機能, 第32回日本神経科学大会資料, SY1-F1-5, 2009
3119. 大須賀 公一, 受動的動歩行における Implicit Control Law について, 第53回システム制御情報学会研究発表講演会資料, W13-2, 2009
3120. 大須賀 公一, 石黒 章夫, 鄭 心知, 制御系に埋め込まれた Implicit Feedback Structure について, 計測自動制御学会 第38回制御理論シンポジウム資料, pp.271-276, 2009
3121. 石黒章夫, モジュラーロボットの自律分散制御 ～「三人寄れば文殊の知恵」的な知能はいかにして実現できるのか～, 機械の研究, 養賢堂, 61, 7, 669-675, 2009
3122. 石黒章夫, 清水正宏, 自然で無理のない形態変形から生み出される適応的運動機能, 計測と制御, 48, 9, 705-710, 2009
3123. Masahiro Shimizu and Akio Ishiguro, An Amoeboid Modular Robot That Exhibits Real-time Adaptive Reconfiguration, The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent RObots and Systems, MoIII14.3, pp.1496-1501, 2009
3124. Dai Owaki, Koichi Osuka and Akio Ishiguro, Understanding the Common Principle underlying Passive Dynamic Walking and Running, The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent RObots and Systems, TuIIT7.2, pp.3208-3213, 2009
3125. Masahiro Shimizu and Akio Ishiguro, A Collective Behavioral Approach to Understanding Mobiligence, The 3rd International Symposium on Mobiligence in Awaji, 102-107, 2009
3126. Dai Owaki, Koichi Osuka and Akio Ishiguro, Implicit Control Law That Enables Stable Passive Dynamic Running, The 3rd International Symposium on Mobiligence in Awaji, 352-356, 2009
3127. 小山真理, 山口伸一, 大脇大, *石黒章夫, 弾性要素を活用した受動走行の実機実現, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009 予稿集, 2P1-D05, 2009
3128. 清水 正宏, *石黒 章夫, 適応的形態変形を可能とするモジュラーロボットの実機検証, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009 予稿集, 2A1-B08, 2009
3129. 大脇 大, *石黒 章夫, 弾性要素を活用した受動的ロコモーションの背後に潜む多重時間スケールの統合, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009 予稿集, 2P1-D04, 2009
3130. 山口伸一, 小山真理, 久保翔達, 大脇大, *石黒章夫, 二次元受動走行機械の開発, 創発システム・シンポジウム 2009, P09 P.P. 105-108, 2009
3131. 武田孟, 塚辺有哉, 清水正宏, ＊石黒章夫, 自律分散的に形態変形を行うモジュラーロボットの実機検証, 創発システム・シンポジウム 2009, P01, P.P. 79-82, 2009
3132. 小山真理, 山口伸一, 久保翔達, 大脇大, 石黒章夫, 膝付き受動走行機械の開発, 日本ロボット学会学術講演会, 3P2-02P.P. 345 （概要集） RSJ2009AC3P2-02 （CD-ROM), 2009
3133. 清水正宏, *石黒章夫, 非線形振動子からアメーバ型ロボット Slimebot へ, HUROBINT, ECSRA 合同研究会, o2 （発表番号） , 2009
3134. 武田孟, 八幡慎太郎, 清水正宏, *石黒章夫, 適応的運動機能を発現するアメーバ様モジュラーロボットの実機開発, 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会 2009, 372－375, 2009
3135. 大須賀公一, 石黒章夫, 鄭心知, Implicit Control Law は移動知理解の鍵になるか・・・, 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会 2009, 376－377, 2009
3136. 末岡裕一郎, 大須賀公一, 杉本靖博, 石黒章夫, ある移動ロボットにおける陰的制御則に関する研究, 第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 468-469, 2009
3137. Uno, Ryoko, & T Ikegami, T, The role of uncertainty in communication: Analysis of atypical grammatical usage and simulating game players, Minett, James W. & Wang, William S-Y. (eds.) Language, Evolution, and the Brain. Hong Kong : City University of Hong Kong Press., 239?260, 2009
3138. Ikegami, Takashi, Rehabilitating Biology as a Natural History, Adaptive Behavior, 17, 325-328, 2009
3139. Aucouturier, J.J. and Ikegami, T, The Illusion of Agency: Two Engineering Approaches to Compromise Autonomy and Reactivity in an Artificial System , Adaptive Behavior, 17, 402-420, 2009
3140. Suzuki, K., Ikegami, T, Shapes and Self-movements in Proto-Cell Systems, Artificial Life, 15, 1, 59-70, 2009
3141. Toyota, T., Maru, N., Hanczyc, M.M, Ikegami, and Sugawara, T., Self-Propelled Oil Droplets Consuming “Fuel” Surfactant”, J. Amer. Chem. Soc., 131, 5012?5013, 2009
3142. Hanczyc, M and Ikegami, T., Protocells as smart agents for architectural design, Technoetic Arts , 7, 2, 117?120, 2009
3143. Ikegami, T. and Hanczyc, M.M., The search for a first cell under the maximalism design principle, Technoetic Arts , 7, 2, 153-164, 2009
3144. 大海悠太, 池上高志, 複雑系としてのマイクロスリップの数理的研究, 生態心理学研究, 4, 1, 29?50, 2009
3145. Naoto Horibe, Martin M. Hanczyc, Takashi Ikegami, Shape and Motion Dynamics in Self-Moving Oil Droplets, Proceedings of the 3rd Mobiligence conference, pp.367-371, 2009
3146. Sato, T, Iizuka, H and Ikegami, T, Simulating Active Perception and Body Images with a Computational Model, the 5th Asia-Pacific Computing and Philosophy Conference , 100?105, 2009
3147. Hubert, J. Matsuda, E., Silvermann, E. and Ikegami, T , A Robotic Approach to Understanding Robustness, the 3rd Mobiligence conference , 361-366, 2009
3148. Ogai, Y. , Uno, R. and Ikegami, T., From Active Perception to Language, the 3rd Mobiligence conference, 382-386, 2009
3149. Eric Silverman and Takashi Ikegami , Defining Robustness in Artificial Life, The 9th Asia-Pacific Complex Systems Conference Complex'09, 2009
3150. Ikegami, T. and Hanczyc, M.M., Is Life an Emergent property?, The Open Questions on The Origins of Life (organized by Kepa Ruiz Mirazo and Pier Luigi Luisi, San Sebastian), May, 2009
3151. Ikeghami, T., Homeodynamics, Shape and Motion dynamics in Self-Moving Oil Droplets, What Is Evolution? (organized by Masatoshi Murase, Kyoto), Oct, 2009
3152. 堀部直人, 池上高志, Martin Hanczyc, 嶋田正和, プロト細胞としての油滴のエソロジー, 生物物理若手の会第49回夏の学校, 2009
3153. 堀部直人, 最適採餌理論から見たショウジョウバエの行動, 第18回 数理生物学会 企画シンポジウム「運動の数理」 企画: 堀部直人、池上高志, 2009
3154. 堀部直人, 石井弓美子, 嶋田正和, R による動物個体追跡アルゴリズム, 第28回 動物行動学会, 2009
3155. M. Iima and A. S. Mikhailov, Propulsion hydrodynamics of a butterfly micro-swimmer, Europhysics Letters, 85, 44001, 2009
3156. M. Iima and Y. Nishiura, Unstable periodic solution controlling collision of localized convection cells in binary fluid mixture, Physica D, 238, 449-460, 2009
3157. Y. Tasaka and M. Iima, Flow transitions in the surface switching of rotating fluid, Journal of Fluid Mechanics, 636, 475-484, 2009
3158. T. Shibuya, N. Hirai, Y. Sakamoto, and J. Komuro, Effects of morphological characteristics of Cucumis sativus Seedlings grown at different vapor pressures deficits on initial colonization of Bemisia tabaci (Hemiptera: Aleyrodidae). , Journal of Economic Entomology , 102, 2265-2267, 2009
3159. 黒田修司, 平井規央, 石井実, 幼虫寄生蜂セセリオナガサムライコマユバチの発育に及ぼす寄主齢の影響, 応動昆, 53, 85-89, 2009
3160. 平井規央, 矢後勝也, 坂本佳子, 石井 実, クロマダラソテツシジミの日本への分布拡大とその経路, 昆虫DNA 研究会ニュースレター, 10, 8-13, 2009
3161. 平井規央, 日本におけるクロマダラソテツシジミの発生と分布拡大, 植物防疫, 63, 365-368, 2009
3162. 平井規央, 本州と四国におけるクロマダラソテツシジミの記録, やどりが, 220, 2-20, 2009
3163. 平井規央, 大阪府の都市部とその周辺における水生動物の多様性調査, 関西自然保護機構会誌, 31, 1, 79-83, 2009
3164. 岩田 昇, 秋枝伸志, 平井規央, 石井 実, 大阪府堺市におけるウスバキトンボの季節消長, Tombo, 51, 29-37, 2009
3165. K. Senda, T. Obara, M. Kitamura, T. Nishikata, On flight mechanics of flapping butterfly, IEEE International Conference on Robotics and Automation, 17-22 , 2009
3166. K. Senda, M. Iima, and N. Hirai, Modeling and emergence of flapping flight of butterfly based on experimental measurements, The 3rd International Symposium on Mobiligence, 393-398 , 2009
3167. M. Iima, An application of generalized Blasius formula to insect's flapping flight, Proceedings of ISABMEC 2009, 2009
3168. Huang, G. H, T. Hirowatari, N. Hirai, M. Wang and M. Ishii, Phylogeny of Tineidae (Lepidoptera: Tineoidea) based on mitochondrial COI gene sequences, The 6th Asia - Pacific Congress of Entomology (APCE 2009), 2009
3169. Sakamoto, Y., N. Hirai, M. Yago, and M. Ishii, Host - plant preference and Wolbachia infection in an endangered lycaenid butterfly, Zizina emelina, of the Toyonaka population in Osaka Prefecture, central Japan., The 6th Asia - Pacific Congress of Entomology (APCE 2009), 2009
3170. 泉田 啓, 飯間 信, 平井規央, 蝶の羽ばたき飛翔における環境創成による移動知発現のメカニズム, 移動知シンポジウム, 153?156 , 2009
3171. 泉田 啓, , 羽ばたく蝶の飛行の力学, SCI'09 講演論文集 , 103-104, 2009
3172. 田坂 裕司、村井 祐一、武田 靖、飯間 信, 超音波を用いた回転自由界面流れの流動場計測, 第87期日本機械学会流体工学部門講演会講演概要集, 213-214, 2009
3173. 飯間 信, 飛翔と泳ぎの数理解析, 日本応用数理学会 2009 年度年会講演予稿集, 1802, 2009
3174. 田坂 裕司, 飯間 信, 回転自由界面の不規則スイッチング現象における表面張力の影響, 日本流体力学会年会 2009 講演論文集, 2009
3175. 飯間 信, 平井 規央, 泉田 啓, アサギマダラ飛行の2次元モデルにおける大摂動からの回復過程に関する数値的研究, 日本流体力学会年会 2009 講演論文集, 2009
3176. 渡邊 毅, 鳥谷部 和孝, 飯間 信, 西浦 廉政 , 二成分混合流体中に現れる局在型対流解の分岐構造と相互作用, 日本流体力学会年会 2009 講演論文集, 2009

3177. 飯間 信, 昆虫飛翔の数値モデルと理論モデル, 研究集会 PPM2008 報告集, 54-59, 2009
3178. 飯間 信, Analysis of hovering insect in two-dimensional space, 数理解析研究所講究録, 1631, 98-106, 2009
3179. 平井規央, 坂本佳子, 石井実, イチジクヒトリモドキの分布拡大と温度・日長反応, 日本応用動物昆虫学会（第53回大会）, 185, 2009
3180. 渋谷俊夫, 平井規央, 坂本佳子, 異なる相対湿度で育苗したキュウリにおけるタバココナジラミの寄生密度, 日本農業気象学会 2009 年度全国大会, 2009
3181. 山下健太, 秋田耕佑, 田上直樹, 平井規央, 石井実, 狭山副池ビオトープと府大池の水生動物群集, 日本環境動物昆虫学会 （第21 回大会）, 2009
3182. 田上直樹, 山下健太, 秋田耕佑, 平井規央, 石井実, 泉佐野市日根荘のため池群の水生動物, 第69 回昆虫大会, 101, 2009
3183. 坂本佳子, 平井規央, 広渡俊哉, 矢後勝也, 石井実, Wolbachia に感染したシルビアシジミ雌から生まれた性モザイク個体, 第69 回昆虫大会, 59, 2009
3184. 青柳富誌生, 細胞集団の同期, 第二班 現代数理科学事典（丸善）, 5 章, 2 節, 308-311, 2009
3185. 青柳富誌生, 神経細胞の数理モデル, 第二班 現代数理科学事典（丸善）, 5 章, 1 節, 300-305, 2009
3186. 青柳富誌生, リズム活動と位相応答, 神経ダイナミクスと情報表現（東大出版）, 3 章, 45-97, 2009
3187. T. Aoki and T. Aoyagi, Co-evolution of phases and connection strengths in a network of phase oscillators, Physical Review Letters, 102, 3, 034101, 2009
3188. T. Tanaka, T. Kaneko, T. Aoyagi, Recurrent infomax generates cell assemblies, neuronal avalanches, and simple cell-like selectivity, Neural Computation, 21, 4, 1038-1067, 2009
3189. T. Aoki , K. Ota , K. Kurata, T. Aoyagi, Ordering Process of Self-Organizing Maps Improved by Asymmetric Neighborhood Function, Cognitive Neurodynamics , 3, 9-15, 2009
3190. K. Ota, M. Momura, T. Aoyagi, Weighted spike-triggered average of a fluctuating stimulus yielding the phase response curve, Physical Review Letters, 103, 2, 024101, 2009
3191. M. Nomura, D. Ito, H. Tamate, K. Gohara and T. Aoyagi, Estimation of functional connectivity that causes burst-like population activities, FORMA, 24, 1, 11-16, 2009
3192. T. Tanaka, T. Aoki, and T. Aoyagi, Dynamics in Co-evolving Networks of Active Elements, FORMA, 24, 1, 17-22, 2009
3193. J. Nishii, Y. Taniai, Evaluation of trajectory planning models for arm reaching movements based on energy cost , Neural Computation , 21, 9, 2634-2657, 2009
3194. 谷合 由章, 西井 淳, 肩関節による上肢到達運動の消費エネルギー期待値最小規範に基づく最適性, 電子情報通信学会論文集, J92—D, 11, 2044-2050, 2009
3195. J. Nishii, Constraint and exploitation of redundant degrees of freedom during walking, Proc. of the 3rd International Symposium on Mobiligence 2009, 417-420, 2009
3196. S. Kaichida, Y. Hashizume, J. Nishii, An analysis of leg trajectories of human walking from the view point of joint coordination, Proc. of the 3rd International Symposium on Mobiligence 2009, 409-412, 2009
3197. R. Fukuda, J.Nishii, The effect of freezing and freeing of degree of freedom on learning, Proc. of the 3rd International Symposium on Mobiligence 2009, 413-416, 2009
3198. J. Nishii, Y. Tanaka, H. Suenaga, Optimality of leg swing trajectories of forward and, Abstract of Progress in Motor Control 2009, A2-48, 2009
3199. S. Kaichida, Y. Hashizume, J. Nishii, An analysis of joint coordination during human, Abstract of Progress in Motor Control 2009, A1-43, 2009
3200. Y. Hashizume, J. Nishii, Intermediate selection pressure bring in the, Proceedings of the 2nd Swarm Intelligence Algorithms, 10-15, 2009
3201. 垣内田 翔子、 橋爪 善光、 西井 淳, ヒトの歩行における脚運動制御の考察, 第 24 回生体・生理工学シンポジウム論文集, 287?290, 2009
3202. 橋爪善光、 西井淳, 協調行動と共有語彙の発現を促す環境要因, 第11 回日本進化学会大会プログラム・要旨集, 135, 2009
3203. 福田 塁、 西井 淳, 自由度の凍結と解放を用いた冗長マニピュレータの運動学習の効率化, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2009 論文集, 368?371, 2009
3204. 垣内田 翔子、 橋爪 善光、 西井 淳, 歩行における脚関節間シナジーの解析, 電子情報通信学会技術報告, in press, 2010
3205. Kagawa, Y., Takamatsu, A., Synchronization and spatiotemporal patterns in coupled phase oscillators on a weighted planer network, Phys. Rev. E., 79, 046216, 2009
3206. S. Watanabe, A. Tero, A. Takamatsu, T. Nakagaki, Rail grid optimization by an algorithm biologically inspired from an amoeba-like organism of true slime mold, Proceedings of the 2009 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, Hokkaido, 356-359, 2009
3207. S. Watanabe, A. Tero, A. Takamatsu, T. Nakagaki, Raid grid optimization by an algorithm inspired from Physarum, Proceedings of 3nd International Symposium on Mobiligence in Awaji, 399-402, 2009
3208. A. Takamatsu, R. Okamoto, M. Ito, and T. Gomi, Adaptation by environment-dependent-dynamical network in Physarum, Proceedings of 4nd International Symposium on Mobiligence in Awaji, 357-361, 2009
3209. 岡本力, 伊藤昌明, 高松敦子, 真正粘菌変形体の成長過程における輸送管ネットワークの形態解析, 第 22 回自律分散システム・シンポジウム資料, 予定, 2010
3210. 渡邊晋, 手老篤史, 高松敦子, 中垣俊之, 粘菌アルゴリズムを用いた鉄道路線の輸送量最適化, 第23 回自律分散システム・シンポジウム資料, 予定, 2010
3211. 田代杏子, 渡辺晋, 高松敦子, 真正粘菌変形体におけるアメーバ運動の解析, 第15 回創発システム・シンポジウム資料, 2009
3212. 渡邊晋, 手老篤史, 高松敦子, 中垣俊之, 真正粘菌変形体の最短経路探索アルゴリズムを用いた鉄道網の輸送量最適化, 第15 回創発システム・シンポジウム資料, 2009
3213. 岡本力, 伊藤昌明, 高松敦子, 真正粘菌変形体の成長に伴って形成する ネットワーク成長解析, 第 15 回創発システム・シンポジウム資料, 2009
3214. 松本秀明, 高松敦, 太田絵一郎, 青柳富志生, 重み付きスパイクトリガー平均法を用いた真正粘菌変形体における位相応 答曲線の計測, 第15 回創発システム・シンポジウム資料, 2009
3215. M. Uemura, S. Kawamura, Resonance-based Motion Control Method for Multi-Joint Robot through Combining Stiffness Adaptation and Iterative Learning Control, Proc. of the 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2009), 1543-1548, 2009
3216. Sadao Kawamura, New Aspects of Iterative Learning Control , Proc. of the ICROS-SICE International Joint Conference 2009 (ICCAS-SICE2009), 3083-3088, 2009
3217. Masahiro Sekimoto, Suguru Arimoto, Boris I. Prilutsky, Tadao Isaka, and Sadao Kawamura, Observation of human multi-joint arm movement from the viewpoint of a Riemannian distance, Proc. of the ICROS-SICE International Joint Conference 2009 (ICCAS-SICE2009), 2664-2669, 2009
3218. Masahiro Sekimoto, Sadao Kawamura, Tomoya Ishitsubo, Shinsuke Akizuki, and Masayuki Mizuno, Posture control of a multi-joint robot based on composition of feedforward joint-torques acquired by iterative learning, Proc. of the ICROS-SICE International Joint Conference 2009 (ICCAS-SICE2009), 3094-3099, 2009
3219. M. Uemura, S. Kawamura, Adaptive Tuning of Stiffness and Motion for Multi-Joint Robot, Proc. of the 9th International IFAC Symposium on Robot Control (SYROCO2009), 607-612, 2009
3220. Masahiro Sekimoto, Suguru Arimoto, and Sadao Kawamura, Task-space iterative learning for redundant robots: Simultaneous acquirements of desired motion and force trajectories under constraints, Proc. of the 9th International IFAC Symposium on Robot Control (SYROCO2009), 613-618, 2009
3221. M. Uemura, K. Kimura, S. Kawamura, Generation of Energy Saving Motion for Biped Walking Robot through Resonance-based Control Method, Proc. of the 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2009), 2928-2933, 2009
3222. Masahiro Sekimoto, Sadao Kawamura, Tomoya Ishitsubo, Shinsuke Akizuki, and Masayuki Mizuno, Basis-motion torque composition approach: Generation of feedforward inputs for control of multi-joint robots, Proc. of the 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2009), 3127-3132, 2009
3223. Sadao Kawamura, Yuuji Hayashi, Takashi Mitsuda, Mitsunori Uemura, Masahiro Sekimoto, Tadao Isaka, Stability Conditions of Feedback Robot Motion Control Based on Linear Transformation from Vision to Motion, Proc. of the 3rd International Symposium on Mobiligence in Awaji, 387-392, 2009
3224. Takashi Mitsuda, Sadao Kawamura, Mitsunori Uemura, Masahiro Sekimoto, Role of bi-articular muscles in linearized joint kinematics, Proc. of the 3rd International Symposium on Mobiligence in Awaji, 403-408, 2009
3225. 川村貞夫, 満田 隆, 植村充典, 関本昌紘, 伊坂忠夫, 生体の運動習熟過程の計測とモデル化, 科研費（特定領域研究）: 身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現ー移動知の構造論的理解ー, 第4 回移動知シンポジウム in 松島, 169-172, 2009
3226. 早矢仕 侑治、川村 貞夫、満田 隆、植村 充典、関本 昌紘、伊坂 忠夫, 人間の筋構造を有するロボットのロバスト・センサフィードバック制御, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009 講演論文集 (ROBOMEC2009), 2A1-B09, 2009
3227. G. Lu, M. Uemura, S. Kawamura, S. Ma, Experiments on Energy Saving Control Methods for Multi-Joint Robots with Elastic Elements, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009 講演論文集(ROBOMEC2009), 2A1-G03, 2009
3228. 石坪智也, 秋月伸介, 水野雅之, 関本昌紘, 川村貞夫, 基底運動合成法に基づく多関節ロボットの運動制御に関する実験的研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009 講演論文集(ROBOMEC2009), 2A1-G04, 2009
3229. 木村 耕介、植村 充典、川村 貞夫, 共振に基づく関節剛性と運動パターン同時適応による省エネルギー歩行のシミュレーションによる検討, 第27 回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2009)予稿集, 2F1-05, 2009
3230. 川村 貞夫、早矢仕 侑治、満田 隆、植村 充典、関本 昌紘, 視覚から運動への線形変換に基づくフィードバック運動制御の安定条件 ーロボットにエンコーダは不要か？ー, 第27 回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2009)予稿集, 2K1-01, 2009
3231. 関本昌紘, 石坪智也, 川村貞夫, 繰返し学習トルクを利用した多関節ロボットのフィードフォワード入力生成 : 二関節平面アームにおける指定姿勢への運動実現に必要な基底運動の数に関する考察, 第27 回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2009)予稿集, 2K1-04, 2009
3232. 植村充典, 呂 廣強, 川村貞夫, 馬 書根, 多関節ロボットの受動周期運動生成を目的とした遅延フィードバック制御を含む系の安定性解析, 第27 回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2009)予稿集, 2K2-01, 2009
3233. 石坪智也, 関本昌紘, 川村貞夫, 関節運動ごとに異なる時間軸変換によるロボットの基底運動合成法, 第27 回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2009)予稿集, 2K2-02, 2009
3234. 関本昌紘, 有本卓, Boris I. Prilutsky, 伊坂忠夫, 川村貞夫, 慣性誘発度メジャー : リーマン距離からの多関節リーチングの観測, 第27 回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2009)予稿集, 3L1-03, 2009
3235. 川村貞夫, 早矢仕侑治, 満田 隆, 植村充典, 関本昌紘, 伊坂忠夫 , 運動学・動力学情報を用いない筋骨格構造ロボットの高精度運動制御, 第 10 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2009)予稿集, 1H2-5, 2009
3236. 植村 充典、川村 貞夫, 剛性制御と学習制御の統合による多関節ロボットの共振に基づく運動制御, 第 10 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2009)予稿集, 1J2-2, 2009
3237. 関本昌紘, 有本卓, 川村貞夫, リーマン距離に基づく慣性誘発効果を利用した多関節ロボットの制御, 第10 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2009)予稿集, 1D3-4, 2009
3238. 石坪智也, 関本昌紘, 川村貞夫, 基底運動合成法による平面2 自由度ロボットの軌道追従制御, 第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2009)予稿集, 3K2-2, 2009

受 賞

● 2005 年度

1. Masashi Ito and Masafumi Yano, 19th international congress on acoustics, 2-7 September 2007, Madrid, SpainYoung Scientist Conference Attendance Grant in 19th international congress on acoustics" Articulatory feature estimation for nonstationary vowels based on a local vector coding,"
2. Sakurai T, Uchino K, Sezutsu H, Tamura T and Kanzaki R: 4th Asia-Pacific Conference on Chemical Ecology Best Poster Award“Axonal projections of pheromone receptor neurons to the antennal lobe macroglomerular complex in the silkmoth, Bombyx mori.” (Epocal Tsukuba, Tsukuba, Japan, Sep 10-14)
3. Tadahiro Taniguchi, Kenji Ogawa, and Tetsuo Sawaragi,``Implicit estimation of other’s intention without direct observation of actions in a collaborative task: Situation-Sensitive Reinforcement Learning", SICE Annual Conference 2007, in CD-ROM, (2007) SICE Annual Conference 2007 International Award Finalist
4. 登美 直樹 計測自動制御学会 第13 回創発システム・シンポジウム 特別審査員賞「速度依存力場と位置依存力場の分離学習」計測自動制御学会第 13 回創発システム・シンポジウム「創発夏の学校」講演資料集, pp.111-112
5. 近藤 敏之 第 17 回インテリジェントシステムシンポジウム ベストプレゼンテーション賞 「相反する道具操作の同時学習と環境文脈による内部モデル選択」, 平成 19 年 8 月 11 日
6. 花川隆、澤本伸克、本田学 : パーキンソン病における運動・認知速度低下の病態解明. 第 28 回国立精神・神経センター神経研究所研究発表会 ポスター部門臨床系最優秀賞 平成19 年3 月 14 日
7. 番浩志、山本洋紀、花川隆、浦山慎一、福山秀直、江島義道 : 遮蔽表面知覚の時間的・空間的手掛かりと脳活動との関係 ーfMRI 研究ー. 電気情報通信学会 ヒューマンコミュニケーション賞 平成19 年3 月 24 日
8. 高橋和巳 : 日本睡眠学会研究奨励賞 Neural activity of histaminergic tuberomammillary neurons during wake-sleep-states in the mouse
9. 高橋和巳、小山純正、香山雪彦、酒井一弥 : 第 11 回日本ヒスタミン学会第 4 回和田記念賞 結節乳頭核ヒスタミンニューロン活動が覚醒状態の発現に果たす役割
10. 青井伸也, 荻原直道, 土屋和雄 : 計測自動制御学会 学術奨励賞, 2008.2.21「ニホンザルの詳細な骨格モデルとキネマティクスデータに基づく歩行生成」, システム・情報部門学術講演会（SSI2006）予稿集, 2006
11. 佐倉緑、北海道大学電子科学研究所神経情報研究分野・学術研究員（移動知ポスドク）コオロギの闘争行動にかかわるクチクラ体表物質識別の神経機構の解明 (社) 日本動物学会 女性研究者奨励OM賞
12. 新井航平 : 日本設計工学会, 武藤栄次賞（優秀学生賞）
13. 大須賀 公一 : 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門学術業績賞, 2007
14. 清水 正宏, 石黒 章夫 : 第 1 回生理学研究所 MotorControl 研究会 ベストプレゼンテーション賞, 「制御系と機構系の連関から創発するモジュラーロボットのアメーバ様ロコモーション」, 2007
15. 北村 太一, 梅舘 拓也, 石黒 章夫 : 第 13 回創発システム・シンポジウム ベストポスター賞, 「可変弾性要素と原形質量保存則を活用したアメーバ様ロボット」, 2007
16. 渡邉 航, 石黒 章夫 : 第13 回創発システム・シンポジウム 特別審査員賞, 「身体部位間の力学的相互作用を活用した学習の高効率化」, 2007

● 2006 年度

17. 冨田 望, 矢野 雅文「筋緊張調節系による身体力学特性のリアルタイム制御」計測自動制御学会第 6 回システムインテグレーション部門学術講演会(SI2005)CD-ROM(613-614) 2005 年12 月 16 日-18 日, 熊本 SI2005 ベストセッション講演賞受賞
18. Masashi Ito and Masafumi Yano 4th joint meeting of ASA/ASJ, 28 November–2 December 2006, Honolulu, Hawaii, The second place winner of the Best Student Paper in Speech Communication, "Pitch determination and sinusoidal modeling for time-varying voiced speech," J. Acoust. Soc. Am. 120(5), pp. 3376.
19. 杉本靖博, 大須賀公一 : 第１１回ロボティクスシンポジア, 特別奨励賞, 「解析的なポアンカレマップを用いた受動的歩行における分岐現象の解析」, 2006 年3 月 16 日, 第１１回ロボティクスシンポジア予稿集, pp.92-97, 2006
20. 杉本靖博, 大須賀公一:日本機械学会ロボティクスメカトロニクス部門Robomec 賞, 2006 年5 月 27 日
21. 杉本靖博 : 日本ロボット学会 研究奨励賞, 2006 年9 月 15 日
22. 田熊隆史, 細田耕 : 第 6 回（社）計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, ベストプレゼンテーション賞, 「空気圧拮抗駆動型歩行ロボットにおける受動性」, 2005 年 12 月 16 日-18 日, 第 6 回（社）計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会予稿集, pp919-920, 2005
23. Yasuaki Kuroe and Hitoshi Iima : World Congress of Computational Intelligence, Best Session Paper Award, A Learning Method for Synthesizing Spiking Neural Oscillators, July 20, 2006, Proc. of International Joint Conference on Neural Networks, pp.7613-7617, 2006
24. 足利 昌俊 : 第12 回創発システム・シンポジウム「創発夏の学校」ベストポスター賞(2006 年8 月 19 日受賞) "足利 昌俊, 菊地 美香, 平口 鉄太郎, 佐倉 緑, 青沼 仁志, 太田 順, コオロギ群の喧嘩行動を用いた移動ロボット群の採餌行動"のポスター発表に対して
25. 寺林 賢司 : 第 12 回創発システム・シンポジウム「創発夏の学校」特別審査員賞(2006 年8 月 19 日受賞) "寺林 賢司, 宮田 なつき, 河内 まき子, 持丸 正明, 太田 順, 異なるサイズの手体験システムのための視覚遅延効果の検証"のポスター発表に対して
26. 岡田龍一 : 第２８回日本比較生理生化学会, 吉田奨励賞, 「運動制御における昆虫の脳の基本設計」, 2006 年7 月 28 日
27. 谷口忠大, 椹木哲夫, 2006 年度システム制御情報学会学会賞「論文賞」,2006 年5 月 11 日, 谷口忠大, 椹木哲夫: 身体と環境の相互作用を通した記号創発 : 表象生成の身体性依存についての構成論, システム制御情報学会論文集, 49(12), pp.440-449 (2005)
28. 梅舘拓也, 岸弘朗, 山田康武, 石黒章夫 : ロボティクス・メカトロニクス講演会, ベストプレゼンテーション表彰「実時間可変弾性要素の開発」, 2006 年5 月 27 日, ロボティクス・メカトロニクス講演会‘05 学会予稿集, 1P2-S-005, 2005
29. Takuya Umedachi, Akio Ishiguro: 2006 IEEE Robotics and Automation Society Japan Chapter Young Award (IROS)「Development of a Fully Self-contained Real-time Tunable Spring」,2006 年10 月 11 日 Proc. of 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, WP2-6(3), 2006
30. 清水正宏, 川勝年洋, 石黒章夫 : 第18 回自律分散システム・シンポジウム, 2006 年度計測自動制御学会学術奨励賞 研究奨励賞, 「力学系の時空間構造に基づく移動知理解に向けての一考察 -モジュラーロボットを用いた事例研究-」, 2006 年1 月 27 日, 第18 回自律分散システム・シンポジウム資料, pp217-222, 2006

● 2007 年度

31. Masashi Ito and Masafumi Yano, 19th international congress on acoustics, 2-7 September 2007, Madrid, SpainYoung Scientist Conference Attendance Grant in 19th international congress on acoustics"Articulatory feature estimation for nonstationary vowels based on a local vector coding,"
32. Sakurai T, Uchino K, Sezutsu H, Tamura T and Kanzaki R: 4th Asia-Pacific Conference on Chemical Ecology Best Poster Award "Axonal projections of pheromone receptor neurons to the antennal lobe macroglomerular complex in the silkmoth, Bombyx mori." (Epocal Tsukuba, Tsukuba, Japan, Sep 10-14)
33. Tadahiro Taniguchi, Kenji Ogawa, and Tetsuo Sawaragi,``Implicit estimation of other's intention without direct observation of actions in a collaborative task: Situation-Sensitive Reinforcement Learning", SICE Annual Conference 2007, in CD-ROM, (2007) SICE Annual Conference 2007 International Award Finalist
34. 登美 直樹 計測自動制御学会 第13回創発システム・シンポジウム 特別審査員賞「速度依存力場と位置依存力場の分離学習」計測自動制御学会第 13 回創発システム・シンポジウム「創発夏の学校」講演資料集, pp.111-112
35. 近藤 敏之 第 17 回インテリジェントシステムシンポジウム ベストプレゼンテーション賞 「相反する道具操作の同時学習と環境文脈による内部モデル選択」, 平成 19 年 8 月 11 日
36. 花川隆、澤本伸克、本田学：パーキンソン病における運動・認知速度低下の病態解明. 第 28 回国立精神・神経センター神経研究所研究発表会 ポスター部門臨床系最優秀賞 平成 19 年 3 月 14 日
37. 番浩志、山本洋紀、花川隆、浦山慎一、福山秀直、江島義道：遮蔽表面知覚の時間的・空間的手掛かりと脳活動との関係 ―fMRI 研究―. 電気情報通信学会 ヒューマンコミュニケーション賞 平成 19 年 3 月 24 日
38. 高橋和巳： 日本睡眠学会研究奨励賞 Neural activity of histaminergic tuberomammillary neurons during wake-sleep-states in the mouse
39. 高橋和巳、小山純正、香山雪彦、酒井一弥：第 11 回日本ヒスタミン学会第 4 回和田記念賞 結節乳頭核ヒスタミンニューロン活動が覚醒状態の発現に果たす役割
40. 青井伸也, 荻原直道, 土屋和雄：計測自動制御学会 学術奨励賞, 2008.2.21「ニホンザルの詳細な骨格モデルとキネマティクスデータに基づく歩行生成」, システム・情報部門学術講演会（SSI2006）予稿集, 2006
41. 佐倉緑、北海道大学電子科学研究所神経情報研究分野・学術研究員（移動知ポスドク）コオロギの闘争行動にかかわるクチクラ体表物質識別の神経機構の解明 (社) 日本動物学会 女性研究者奨励OM賞
42. 新井航平：日本設計工学会, 武藤栄次賞（優秀学生賞）
43. 大須賀 公一：日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門学術業績賞, 2007
44. 清水 正宏, 石黒 章夫：第 1 回生理学研究所 MotorControl 研究会 ベストプレゼンテーション賞, 「制御系と機構系の連関から創発するモジュラーロボットのアメーバ様ロコモーション」, 2007
45. 北村 太一, 梅舘 拓也, 石黒 章夫：第 13 回創発システム・シンポジウム ベストポスター賞, 「可変弾性要素と原形質量保存則を活用したアメーバ様ロボット」, 2007
46. 渡邉 航, 石黒 章夫：第13回創発システム・シンポジウム 特別審査員賞, 「身体部位間の力学的相互作用を活用した学習の高効率化」, 2007

● 2008 年度

47. 花川隆： 第8回日本神経科学学会奨励賞, 「高次運動制御と認知制御を介在する神経機構の解明」. , 平成 20 年 7 月 9 日, (http://www.jnss.org/japanese/invite/assist/syorei_top.html)
48. 青沼仁志 2008 年 9 月 Zoological Science Award 2008, The Zoological Society of Japan 「Tsuji E., Aonuma H., Yokohari F. and Nishikawa M. (2007) Serotonin-immunoreactive neurons in the antennal sensory system of the brain in the carpenter ant, Camponotus japonicus. Zool. Sci., 24: 836-849.」
49. 石川麻乃, 三浦徹：日本進化学会第１０回大会, 優良ポスター賞, 「アブラムシの表現型多型を制御する遺伝子群の網羅的研究」, 2008 年 8 月 24 日, 社団法人 日本動物学会 第 79 回大会予稿集, p.100, 2008
50. 森英章, 佐々木智基, 長谷川英祐, 土畑重人, 千葉聡, 辻 和希：第 55 回日本生態学会大会（福岡国際会議場）, 優秀ポスター賞, 「働かない働きアリの侵略-アミメアリの種内社会寄生は２度進化した？」, 2008 年 3 月 15 日, 第 55 回日本生態学会大会講演要旨集, pp.291, 2008
51. 儀間朝宜, 辻 和希：第 55 回日本生態学会大会（福岡国際会議場）, 優秀ポスター賞, ウスキシロチョウにおける翅型決定要因と密度高価」, 2008 年 3 月 17 日, 第 55 回日本生態学会大会講演要旨集, pp.458, 2008
52. 佐々木謙： 第 30 回日本比較生理生化学会, 吉田奨励賞, 「社会性昆虫のカースト転換における脳内アミンの役割」, 2008 年 7 月 20 日, 第 30 回日本比較生理生化学会 大会予稿集, pp18-19, 2008
53. 神崎亮平：日本比較生理生化学会 吉田記念賞「昆虫とロボットで探る脳」, 2008 年 7 月 20 日, 第 30 回日本比較生理生化学会予稿集, p. 18, 2008
54. 藤原輝史, 加沢知毅, Stephan S. Haupt, 福島亮太, 神崎亮平：日本比較生理生化学会 ポスター賞, 「電気穿孔法による昆虫触角葉の複数の単一神経細胞 Ca2+イメージング」, 2008 年 7 月 21 日, 第 30 回日本比較生理生化学会予稿集, p. 23, 2008
55. 坂本一寛：日本神経回路学会 平成 20 年度「研究賞」 受賞対象 NC2007-39, 「サル前頭前野興奮性細胞・抑制性細胞における行動目標表現の遷移」
56. Dai Owaki, Koichi Osuka and Akio Ishiguro： ICRA2008, IEEE Robotics and Automation Society Japan Chapter Young Award, "On the Embodiment That Enables Passive Dynamic Bipedal Running", May 19-23, 2008, 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation proceedings, pp 341-346, 2008
57. 北村太一, 梅舘拓也, 石黒章夫：第 243 回 SICE 東北支部研究集会, 優秀発表奨励賞, 「可変弾性要素と原形質量保存則を活用したアメーバ様ロコモーションの実現」, 2008 年 6 月 20 日, 2008
58. 加藤拓真, 清水正宏, Max Lungarella, 石黒章夫： 第 244 回 SICE 東北支部研究集会, 優秀発表奨励賞, 「粘菌型ロボットから探る自律分散個間の相互作用様式のあり方に関する考察」2008 年 7 月 2 日, 2008
59. Dai Owaki , Koichi Osuka , Akio Ishiguro: SICE Annual Conference Young Author's Award of the SICE2008, "Gait Transition between Passive Dynamic Walking and Running by Changing the Body Elasticity", August 20-22, 2008, SICE Annual Conference 2008, pp 2513-2518, 2008
60. Dai Owaki , Koichi Osuka , Akio Ishiguro： Finalist in the SICE Annual Conference International Award, "Gait Transition between Passive Dynamic Walking and Running by Changing the Body Elasticity", August 20-22, 2008, SICE Annual Conference 2008, pp 2513-2518, 2008
61. 坂井善行, 石田怜, 大脇大, 手老篤史, 石黒章夫： 第 245 回 SICE 東北支部研究集会, 優秀発表奨励賞, 「周波数と位相の調整が可能なマルチリズミックオシレータモデル ―一次元ホッピングロボットの剛躍学習への適用―」, 2008 年 10 月 24 日, 2008
62. Toshiyuki Nakagaki, Hiroyasu Yamada, Ryo Kobayashi, Atsushi Tero, Akio Ishiguro, Ágotá Tóth： 2008 Ig Nobel Prize （Cognitive Science Prize）, For discovering that slime molds can solve puzzles, October 2, 2008
63. 日本昆虫学会賞, N. Hirai and M. Ishii, A danaid butterfly, Ideopsis similis, overcomes parasitization by a tachinid fly, Sturmia bella.
64. Masahiro Sekimoto, Suguru Arimoto, Sadao Kawamura, and Ji-Hun Bae: 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2008), Best Manipulation Paper Award Finalist, "Skilled-Motion Plannings of Multi-Body Systems Based upon Riemannian Distance,"Proc. of the ICRA2008, pp.1233-1238, Pasadena, CA, USA, May 19-23, 2008.
65. 関本昌紘, 有本卓, Jin-Hun Bae, 川村貞夫 (社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門 研究奨励賞 (2008 年 12 月 6 日), 「歩行遊脚期における慣性作用と運動生成」, 第 8 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2007)予稿集, pp.1051-1052, Dec. 20-22, 2007.
66. 植村充典, 川村貞夫 (社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門２００７優秀講演賞受賞「機械的弾性要素とアクチュエータの統合による省エネルギ制御法」第 8 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2007)予稿集,pp611-612, Dec. 20-22, 2007.

● 2009 年度

67. Yoshikatsu Hayashi, Young Author Award at the 14th International Symposium on Artificial Life and Robotics, Oita, Japan, February 5-7, 2009
68. 杉本靖博, 大須賀公一, 第１１回ロボティクスシンポジア, 特別奨励賞, 「解析的なポアンカレマップを用いた受動的歩行における分岐現象の解析」, 2006 年 3 月 16 日, 第１１回ロボティクスシンポジア予稿集, pp.92-97, 2006
69. 鏡原 康裕, 李 鍾昊, 覚 慎治, 日本臨床神経生理学会・奨励論文賞（2009 年 11 月）, 「手首運動を利用した定量的異常運動解析システムの構築」, 臨床神経生理学, Vol.36, No.6 pp.633-641 (2008-12), 査読有 に対して
70. 安 琪, 2009 IEEE Int. Conf. on Mechatronics and Automation (ICMA '09), Best Student Paper Award, Q. An, H. Matsuoka, Y. Ikemoto, H. Asama: "Extraction of Behavior Primitives for Understanding Human Standing-up Motion", Proc. of 2009 IEEE Int. Conf. on Mechatronics and Automation (ICMA '09), pp. 1800-1805, Changchun, China, Aug. (2009).
71. Ji-Soo Keum, Hyon-Soo Lee, Masafumi Hagiwara: Best paper award in International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS 2009), "A novel speech/music discrimination using feature dimensionality reduction," International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS 2009), pp.129-132, 2009-08.
72. 加藤元一郎（放射線医学総合研究所須原哲也先生らと共同受賞）, 「精神疾患の病態解明と客観的治療評価に向けた PET イメージング研究」, 第 46 回（2009 年度）エルウィン・フォン・ベルツ賞（一等賞）, 平成 21 年 11 月 18 日
73. 藤井 直敬, 毎日出版文化賞, 「つながる脳」, NTT 出版, 2009 年 11 月 3 日
74. 山口伸一, 小山真理, 久保翔達, 大脇大, 石黒章夫： 第 15 回創発システム・シンポジウム, 奨励賞, 「二次元受動走行機械の開発」, 2009 年 8 月 10 日, 第 15 回創発システム・シンポジウム予稿集, P09, P.P. 105-108, 2009
75. 武田孟, 塚辺有哉, 清水正宏, 石黒章夫： 第 15 回創発システム・シンポジウム, 奨励賞, 「自律分散的に形態変形を行うモジュラーロボットの実機検証」, 2009 年 8 月 10 日, 第 15 回創発システム・シンポジウム予稿集, P01 P.P. 79-82, 2009
76. 武田光一, 梅舘拓也, 中垣俊之, 小林亮, 石黒章夫： 第 15 回創発システム・シンポジウム, 優秀賞, 「アメーバ様ロコモーションから探る大自由度システムの自律分散制御方策」, 2009 年 8 月 10 日, 第 15 回創発システム・シンポジウム予稿集, P02 P.P. 83-86, 2009
77. Masahiro Shimizu and Akio Ishiguro：IROS 2009, The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent RObots and Systems, Best Paper Finalist, An Amoeboid Modular Robot That Exhibits Real-time Adaptive Reconfiguration, 2009/10/14, IROS2009, Molll14.3 pp.1496-1501, 2009
78. 大脇 大, 大須賀 公一, 石黒 章夫： 日本ロボット学会, 第 24 回研究奨励賞, 「受動走行の背後に潜む安定化構造の解明」(2008 年 9 月第 26 回日本ロボット学会学術講演会), 2009 年 9 月 16 日, 第 26 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 3B1-09, 2009
79. 飯間 信：ベストオーサー賞（論文部門） （日本応用数理学会）, 「蝶の飛翔に潜む数理構造」応用数理, 18 pp.39-51, 2008
80. 満田 隆, 川村 貞夫, 関本 昌紘, 植村 充典, 伊坂 忠夫, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 優秀講演賞, 「筋骨格モデルにおける手先座標から筋長へのマッピングの線形性評価」, 2008 年 12 月, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集, pp.7-8, 2008

特 許

● 2005 年度

1. 生体計測データから時間相関のあるノイズ除去を行うアルゴリズム, 田森佳秀, 冨田教幸 ,日本,2 月 23 日に出願予定,2008.2.23,特願 2008-未定
2. 能動連結機構及びその位置姿勢の検出方法及びその制御方法, 鄭心知, 日本, 出願済,2007.7.30,特願 2007-196835
3. フレキシブルセンサチューブ, 大須賀公一, 和田貴志 ,日本, 出願済,2005.6.7, 特願 2005-166558
4. 運動データの生成装置、方法、及びロボット装置 , 稲邑哲也, 李海妍, 柴田智広 ,日本, 出願済,2007.9.12,特願 2007-236629

● 2006 年度

5. 音響信号分析方法および音響信号合成方法, 伊藤仁, 矢野雅文, 特願 2006-074939
6. 超音波モータの制御装置, 該方法, 該プログラム及び記録媒体並びに超音波モータシステムス, 溝上浩司, 米村紹芳, 小池康晴, キムドンオク, 特願 2006-240349
7. 等輝度測定装置、等輝度測定方法、ディスプレイ装置およびコンピューターグラフィックス処理装置, 田森 佳秀, 特願 2006-236920
8. 多関節構造体、それを用いた装着具、システムおよびヒューマンマシンインターフェース, 大須賀公一, 中川志信, 和田貴志, 北田安輝, 楠健司, 特願 2006-234946

● 2007 年度

9. 生体計測データから時間相関のあるノイズ除去を行うアルゴリズム, 田森佳秀, 冨田教幸 ,日本,2 月 23 日に出願予定,2008.2.23,特願 2008-未定
10. 能動連結機構及びその位置姿勢の検出方法及びその制御方法, 鄭心知, 日本, 出願済,2007.7.30,特願 2007-196835
11. フレキシブルセンサチューブ, 大須賀公一, 和田貴志 ,日本, 出願済,2005.6.7, 特願 2005-166558
12. 運動データの生成装置、方法、及びロボット装置 , 稲邑哲也, 李海妍, 柴田智広 ,日本, 出願済,2007.9.12,特願 2007-236629

● 2008 年度

13. 筋骨格系モデル作成装置および該方法, 筋骨格系機構制御装置ならびに筋骨格系機構システム, 小池康晴, 川瀬利弘, 日本, 出願済, 2008.9.5, 特願 2008-229026
14. 定量的な運動機能評価システム, 覚 慎治, 李 鍾昊, 鏡原 康裕, 国際, 出願済, 2008.8.26, PCT/JP2008/053735

活動記録

詳細はホームページ（http://www.race.u-tokyo.ac.jp/~ota/mobiligence/act/index.html）参照のこと.

● 2005 年度

1 日時： 2006/3/29 9:30-18:00
場所： 金沢工業大学人間情報システム研究所
名称： コオロギの振る舞いに関するミーティング

2 日時： 2006/3/14-17
場所： 北海道大学電子科学研究所/旭川医科大学
名称： 工学系研究者のための生物学チュートリアル

3 日時： 2006/3/13 18:00-22:00
場所： 北海道大学青沼研究室
名称： コオロギの群行動の共同研究に関する打ち合わせ

4 日時： 2006/3/10-23
場所： 北海道大学青沼研究室
名称： コオロギの群行動解析に関する共同研究

5 日時： 2006/3/8
場所： 東京大学柏キャンパス総合研究棟
名称： IAS-9 オーガナイズドセッション

6 日時： 2006/2/23 9:30-17:00
場所： 北海道大学電子科学研究所 5 階セミナー室
名称： C 班企画セミナー「ネットワーク構造と社会性」

7 日時： 2006/2/11 10:00-16:30
場所： 京都大学 理学部 2 号館 3 階 315 セミナー室
名称： AB 班 合同班会議

8 日時： 2006/1/31 9:30-18:00
場所： ぎのわんセミナーハウス 中会議室
名称： C 班・総括班企画「社会性昆虫セミナー」

9 日時： 2006/1/28 10:00-17:00
場所： 京都大学 理学部 2 号館 3 階 315 セミナー室
名称： B 班 班会議

10 日時： 2006/1/27
場所： 福井県国際交流会館
名称： 自律分散システムシンポ移動知オーガナイズドセッション

11 日時： 2006/1/13 13:30-17:30
場所： 東京工業大学　80 周年記念館 2 階会議室
名称： 第２９回　マイクロ/ナノシステム研究専門委員会における講演

12 日時： 2006/1/6　10:30-13:00
場所： 京都大学大学院工学研究科 11 号館土屋研究室
名称： B02 班会議

13 日時： 2006/1/6 13:00-16:30
場所： 名古屋大学 工学部 5 号館 5 階 508 室
名称： D 班・班会議

14 日時： 2005/12/22
場所： 旭川医科大学
名称： 研究室見学とディスカッション

15 日時： 2005/12/20
場所： 洞爺サンパレス（北海道）
名称： 研究ミーティング

16 日時： 2005/12/17
場所： 熊本電波高等専門学校
名称： システムインテグレーション部門学術講演会移動知オーガナイズドセッション

17 日時： 2005/12/9 13:00～17:00
場所： 京都大学大学院理学研究科 2 号館 315 セミナー室
名称： B02 班勉強会

18 日時： 2005/12/5
場所： 北海道大学学術交流会館第 3 会議室
名称： 総括班会議

19 日時： 2005/12/4
場所： 北海道大学学術交流会館第 1 会議室
名称： Mobiligence'05（国際シンポジウム）

20 日時： 2005/12/2 9:30-11:30
場所： 東京大学工学部 14 号館 825 号室
名称： 日本とイタリアの移動知研究に関するディスカッション

21 日時： 2005/12/1 13:30～17:00
場所： 京都大学大学院工学研究科航空宇宙工学専攻土屋研究室
名称： B02 班勉強会

22 日時： 2005/12/1 17:00～19:30
場所： 東京医科歯科大学 D-569
名称： 移動知関連広報

23 日時： 2005/11/28～12/7
場所： 北海道大学青沼研究室
名称： コオロギの群行動解析に関する共同研究

24 日時： 2005/11/28 10:20-12:00
場所： 九州大学医学部百年講堂
名称： SSI 移動知オーガナイズドセッション

25 日時： 2005/11/22 13：00～16：00
場所： 東京大学神崎・高橋研究室
名称： 神経行動学研究法の紹介とデモ

26 日時： 2005/11/22 9:00-12:00
場所： 東大工 14 号館 7 階会議室
名称： C01 班 02 班ミーティング

27 日時： 2005/11/21
場所： 東大工 14 号館 7 階会議室
名称： 移動知：研究教育拠点形成 WG

28 日時： 2005/11/1814:00～17:00
場所： 神戸大学工学部４階多目的会議室
名称： Ｄ班班会議

29 日時： 2005/11/15 13:00-17:00
場所： 北海道大学青沼研究室
名称： コオロギの群行動の共同研究に関する打ち合わせ

30 日時： 2005/11/14
場所： 京都大学大学院工学研究科 11 号館２F 会議室
名称： H. Geyer, A. Seyfarth 博士講演会と議論

31 日時： 2005/11/10
場所： 大阪大学大学院工学研究科
名称： Hartmut Geyer(University of Jena)による歩行・走行モデルに関する講演と議論

32 日時： 2005/11/7
場所： 大阪大学吹田キャンパス 創発ロボティクスグループ
名称： 研究打ち合わせ・見学

33 日時： 2005/11/06～18
場所： 北海道大学青沼研究室
名称： コオロギの群行動解析に関する共同研究

34 日時： 2005/10/24
場所： 山口大学　農学部　獣医生理学教室
名称： Ｂ班　個別班会議

35 日時： 2005/10/14
場所： 東京大学本郷キャンパス工学部 14 号館 713 号室
名称： 総括班会議

36 日時： 2005/10/3
場所： 東京大学本郷キャンパス工学部 14 号館 713 会議室
名称： 運営方針に関する会議

37 日時： 2005/9/29
場所： 旭川医科大学　機器センター会議室
名称： B 班　班会議

38 日時： 2005/9/22 10:00～17:30
場所： 北海道大学電子科学研究所Ｎ５０９号会議室
名称： C 班班会議

39 日時： 2005/9/15　13:00-17:00
場所： 近畿大学　医学部　生理学第一講座
名称： Ｂ班個別研究検討会

40 日時： 2005/9/7 14:00-17:00
場所： 京都高度技術研究所 9F 会議室
名称： D 班班会議

41 日時： 2005/9/5 10:00-12:00
場所： 順天堂大学　医学部　生理学第一講座
名称： Ｂ班個別研究検討会

42 日時： 2005/8/18-19
場所： 富山県大山研修センター
名称： 会議＋講演会

43 日時： 2005/7/28-29
場所： 仙台市岩松旅館
名称： 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究とジョイントの講演会

● 2006 年度

1. 日時： 2006 年 4 月 10 日 14:00～16:30
場所： 電気通信大学 P 棟 316 室
名称： CPG を用いた歩行制御と移動知活動のマスコミへの説明

2. 日時： 2006 年 4 月 15 日 13:30-17:00
場所： 京都大学 芝欄会館別館 研修室 II
名称： 第 3 回 新 BI 研究会

3. 日時： 2006 年 4 月 17 日－4 月 21 日
場所： 北海道大学 電子科学研究所
名称： C 班 計画班共同研究

4. 日時： 2006 年 4 月 24 日 15：30～18：00
場所： 東京大学 本郷キャンパス 工学部 14 号館 321 号室
名称： A 班報告会

5. 日時： 2006 年 4 月 27 日 19:00～22:00
場所： 名古屋大学
名称： D 班・計画班会議

6. 日時： 2006 年 4 月 28 日 9:00～11:30
場所： 名古屋大学
名称： D 班・計画班会議

7. 日時： 2006 年 5 月 18 日　10:00～17:30
場所： 神戸大学 工学部 機械工学科 小会議室
名称： D 班・計画班会議

8. 日時： 2006 年 5 月 18 日 10:30-12:00
場所： 国立情報学研究所 稲邑研究室
名称： A 班研究打ち合わせ

9. 日時： 2006 年 5 月 18 日 15:00-16:30
場所： 東京理科大学 市ヶ谷キャンパス 市川研究室
名称： A 班研究打ち合わせ

10. 日時： 2006 年 5 月 21 日
場所： 北海道大学 電子科学研究所
名称： 第 1 回 C 班　全体班会議

11. 日時： 2006 年 5 月 22 日 16:30-18:00, 5 月 23 日 10:00-17:00
場所： 東京大学 駒場キャンパス 先端研 4 号館
名称： C 班 研究打ち合わせ

12. 日時： 2006 年 5 月 23 日 14:00-17:00
場所： 東北大学 電気通信研究所 会議室
名称： A 班研究打ち合わせ

13. 日時： 2006 年 5 月 24 日 10:00-16:00
場所： 東京工業大学 理工学研究科
名称： C 班 研究打ち合わせ

14. 日時： 2006 年 5 月 26 日 14:00-16:00
場所： 北海道大学 理学部 松島研究室
名称： A 班研究打ち合わせ

15. 日時： 2006 年 5 月 26 日 14:00-16:00
場所： 北海道大学 地球環境科学研究院
名称： C 班 研究打ち合わせ

16. 日時： 2006 年 5 月 26 日 10:30-12:00
場所： 横浜国立大学 前田研究室
名称： A 班 研究打ち合わせ

17. 日時： 2006 年 5 月 27 日
場所： 早稲田大学 理工学部
名称： 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会（ROBOMEC2006），オーガナイズドセッション「身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現」(発表 11 件)

18. 日時： 2006 年 6 月 6 日 14:00-16:00
場所： 近畿大学 医学部 村田研究室
名称： A 班 研究打ち合わせ

19. 日時： 2006 年 6 月 9, 10 日
場所： 旭川医科大学
名称： 勉強会

20. 日時： 2006 年 6 月 10 日 14:00～18:00
場所： 京都キャンパスプラザ
名称： 第 1 回 D 班全体会議

21. 日時： 2006 年 6 月 13 日 11:00-12:00
場所： 理化学研究所 脳科学総合研究センター 谷研究室
名称： A 班 研究打ち合わせ

22. 日時： 2006 年 6 月 14 日 14:0～18:00
場所： 福島県立医科大学 生理学第二講座
名称： B 班 研究打ち合わせ

23. 日時： 2006 年 6 月 16 日 14:00-16:00
場所： 近畿大学 医学部
名称： B 班 研究打ち合わせ

24 日時： 2006 年 6 月 19 日
. 場所： 大阪大学 吹田キャンパス 機械系 M4 棟 203 号室
名称： B 班 研究打ち合わせ
25 日時： 2006 年 6 月 22 日
. 場所： 北海道大学 地球環境科学研究院
名称： C 班 研究打ち合わせ
26 日時： 2006 年 6 月 23 日 13:30～17:30
. 場所： 洞爺サンパレス
名称： 移動知 国内シンポジウム (A～D 班 班会議，各グループリーダー講演，招待講演 2 件，公募班研究者講演，総括班会議)
27 日時： 2006 年 6 月 27 日 16:00
. 場所： 大阪大学 吹田キャンパス 機械系 M4 棟 203 号室
名称： B 班 研究打ち合わせ
28 日時： 2006 年 6 月 29 日
. 場所： 大阪大学 吹田キャンパス 機械系 M4 棟 203 号室
名称： B03 班 研究打合せ
29 日時： 2006 年 7 月 13 日（木） 10:00～17:00
. 場所： 早稲田大 久保キャンパス 51 号館 9 階-02A 室
名称： 第 1 回 研究者直撃インタビュー
30 日時： 2006 年 7 月 21 日
. 場所： 大阪大学 吹田キャンパス 機械系 M4 棟 203 号室
名称： 研究打合せ・見学
31 日時： 2006 年 7 月 21 日 14:00～18:30
. 場所： 北海道大学 電子科学研究所 E501
名称： C 班 勉強会
32 日時： 2006 年 7 月 22 日 10:00～16:30
. 場所： 京都大学 吉田キャンパス 11 号館 講義室
名称： B 班 第 3 回班会議
33 日時： 2006 年 8 月 21 日 10:00-11:30
. 場所： 諏訪東京理科大学
名称： 研究ディスカッション
34 日時： 2006 年 8 月 22 日（火） 14:00～18:30
. 場所： 北海道大学 工学部・工学研究科 A 棟 2－66 室
名称： 第 2 回 研究者直撃インタビュー
35 日時： 2006 年 8 月 23 日（水） 9:00～17:00
. 場所： 北海道大学 電子科学研究所 W404 室
名称： 第 3 回 研究者直撃インタビュー
36 日時： 2006 年 8 月 25 日 13:00-16:30
. 場所： 京都大学 航空 11 号館 213 号室
名称： B02 班 班会議
37 日時： 2006 年 9 月 4 日
. 場所： 北海道大学 地球環境科学研究院 三浦研究室
名称： C 班 研究打ち合わせ
38 日時： 2006 年 9 月 4 日～5 日
. 場所： 東京工業大学 大岡山キャンパス 254 実験室
名称： 第 1 回 移動知工学セミナー 「計測・信号処理セミナー」
39 日時： 2006 年 9 月 7 日（木） 10:00～17:00
. 場所： 京都大学 工学部 8 号館 4F 403W
名称： 第 4 回 研究者直撃インタビュー
40 日時： 2006 年 9 月 14 日
. 場所： 岡山大学 津島キャンパス
名称： 日本ロボット学会 第 24 回学術講演会 オーガナイズドセッション「移動知～身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現～」，発表 4 件
41 日時： 2006 年 9 月 18 日から 20 日
. 場所： 支笏湖
名称： C 班勉強会
42 日時： 2006 年 9 月 21 日 10:30～17:00
. 場所： 山口大学 吉田キャンパス 総合研究棟 303 号室（西井研究室）
名称： 第 5 回 研究者直撃インタビュー
43 日時： 2006 年 9 月 26 日 12:50～16:10
. 場所： 東京大学 柏キャンパス 人工物工学研究センター
名称： 第 16 回インテリジェント・システム・シンポジウム (FAN'06)，オーガナイズドセッション「移動知」，キーノートスピーチ＋発表 7 件
44 日時： 2006 年 9 月 27 日 10:00-17:30
. 場所： 京都大学 宇治キャンパス 土屋研究室
名称： B02 班 研究打ち合わせ
45 日時： 2006 年 9 月 28 日 13:00-29 日 16:00
. 場所： 早稲田大学 大久保キャンパス 51 号館 3 階 第四会議室
名称： 第 3 回 D 班会議
46 日時： 2006 年 10 月 11 日
. 場所： 中国 北京
名称： 国際会議 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems，オーガナイズドセッション"Mobiligence"，発表 4 件
47 日時： 2006 年 10 月 16 日
. 場所： 東北学院大学 菅原研究室
名称： ミーティング
48 日時： 2006 年 10 月 16 日 13:30～18:00
. 場所： 北海道大学 電子科学研究所 W501 室
名称： 第 6 回 研究者直撃インタビュー
49 日時： 2006 年 10 月 17 日 9:00～15:00
. 場所： 旭川医科大学 生理学第二講座 会議室
名称： 第 7 回 研究者直撃インタビュー
50 日時： 2006 年 10 月 19 日 9:30-19:00
. 場所： 東北学院大学 泉キャンパス
名称： 研究ミーティング
51 日時： 2006 年 10 月 30 日 14:00-18:30
. 場所： 京都大学 宇治キャンパス 土屋研究室
名称： B02 班 研究打ち合わせ
52 日時： 2006 年 10 月 31 日 15:00-16:30
. 場所： イタリア，ジェノバ大学 DIST (Dept. of Informatics, Systems, Telecomunications)
名称： セミナー
53 日時： 2006 年 11 月 13 日 15:00～18:00
. 場所： 東京大学 本郷キャンパス 工学部 14 号館
名称： C 班 勉強会
54 日時： 2006 年 11 月 13 日
. 場所： 東京大学 本郷キャンパス 工学部 14 号館 825 号室
名称： 研究打ち合わせ
55 日時： 2006 年 11 月 20 日 13:00～21 日 16:30
. 場所： 東北大学 電気通信研究所 2 号館 4 階 大会議室
名称： A・B 班 合同班会議
56 日時： 2006 年 11 月 21 日
. 場所： BEXCO（韓国，釜山）
名称： 国際会議 SICE-ICCAS Joint Conference 2006 オーガナイズドセッション "Mobiligence"，招待講演 1 件，発表 9 件
57 日時： 2006 年 11 月 24 日 15:00-17:30
. 場所： 京都大学 宇治キャンパス 土屋研究室
名称： B02 班 研究打ち合わせ
58 日時： 2006 年 11 月 28 日
. 場所： 筑波大学 大塚キャンパス
名称： 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会，オーガナイズドセッション「歩行力学を突破口に移動知を考える」(発表 4 件)
59 日時： 2006 年 12 月 1 日
. 場所： 理化学研究所
名称： 研究打ち合わせ
60 日時： 2006 年 12 月 1 日 15:00～16:30
. 場所： 立命館大学 理工学部 ロボティクス学科
名称： 研究者直撃インタビュー 番外編
61 日時： 2006 年 12 月 4 日から 9 日
. 場所： 金沢工業大学 人間情報システム研究所
名称： 共同研究
62 日時： 2006 年 12 月 4 日 13:00～17:00
. 場所： 琉球大学 農学部 生産環境学科 亜熱帯動物学講座 辻研究室
名称： 第 8 回 研究者直撃インタビュー
63 日時： 2006 年 12 月 6 日
. 場所： 金沢工業大学 人間情報研究所
名称： C 班 勉強会（コオロギモデルの勉強会）
64 日時： 2006 年 12 月 12 日 15：00～17：00
. 場所： 東京大学 駒場第二キャンパス 4 号館 527 号室
名称： 研究打ち合わせ
65 日時： 2006 年 12 月 14 日
. 場所： 札幌コンベンションセンター
名称： 研究打合せ
66 日時： 2006 年 12 月 15 日
. 場所： 札幌コンベンションセンター (SORA)

名称： 第 7 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会，オーガナイズドセッション「身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現(1)～(3)」(発表 15 件)

67. 日時： 2006 年 12 月 25 日 14:00-19:00
場所： 京都大学 宇治キャンパス 土屋研究室
名称： B02 班 研究打ち合わせ

68. 日時： 2007 年 1 月 9 日 13:00～2007 年 1 月 10 日 16:00
場所： KKR 山口あさくら会議室(平成の間)
名称： 第 4 回 D 班会議

69. 日時： 2007 年 1 月 18 日 10:30-14:00
場所： 東京大学 本郷キャンパス 工学部 2 号館 313 号室
名称： C01-C03 班研究打合せ

70 日時： 2007 年 1 月 23 日 13:00～18:00
場所： 理化学研究所
名称： C 班研究打ち合わせ

71. 日時： 2007 年 1 月 29 日
場所： 東京工業大学 デジタル多目的ホール
名称： 計測自動制御学会 第 19 回自律分散システム・シンポジウム オーガナイズドセッション「移動知若手の会企画オーガナイズドセッション」(発表 4 件)，「身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現 (1)～(4)」(発表 19 件)

72. 日時： 2007 年 2 月 2 日 15:00-17:00
場所： 山口大学 農学部 230 号室
名称： 研究打合せ

73. 日時： 2007 年 2 月 6 日 15：00～21：00
場所： 京都大学 宇治キャンパス 土屋研究室
名称： 研究打ち合わせ

74. 日時： 2007 年 2 月 10 日 9:00～19:00
場所： 琉球大学 50 年記念会館
名称： C 班 班会議

75. 日時： 2007 年 2 月 11 日から 2 月 13 日
場所： 沖縄県 石垣島
名称： コオロギ生態調査研究

76. 日時： 2007 年 2 月 16 日 9:00-17:00
場所： 東京大学・駒場キャンパス 3 号館 1 階 113
名称： B01 班会議

● 2007 年度

1. 日時： 2007 年 3 月 9 日 20:00～21:00
場所： 洞爺サンパレス
名称： B 班研究打ち合わせ(第一回)

2. 日時： 2007 年 3 月 12 日 13:00～17:00
場所： 京都工芸繊維大学ベンチャーラボラトリー 1F ラウンジホール
名称： C 班ワークショップ「昆虫の炭化水素とコミュニケーション行動」

3. 日時： 2007 年 3 月 12 日 9:30 から 12:00
場所： 京都工芸繊維大学山岡研究室
名称： C 班研究打ち合わせ

4. 日時： 2007 年 3 月 13 日 10:30 から 12：30
場所： 神戸大学理学部尾崎研究室
名称： C 班研究打ち合わせ

5. 日時： 2007 年 3 月 13 日—14 日
場所： Dept. of Biomechatronics, TU-Ilmenau
名称： B 班研究会

6. 日時： 2007 年 3 月 14 日 13:00-16:00
場所： 電気通信大学情報システム学研究科 P310 室
名称： B 班西東京トレッドミル・ミーティング

7. 日時： 2007 年 3 月 15 日
場所： Locomotion Laboratory, Jena Univ.
名称： B 班研究会

8. 日時： 2007 年 3 月 16 日
場所： Institute of Sport Science, Jena Univ.
名称： B 班研究会

9. 日時： 2007 年 3 月 21 日
場所： 京都大学 宇治キャンパス土屋研究室
名称： B 班研究打ち合わせ

10. 日時： 2007 年 3 月 26 日 17:00～18:30
場所： 北海道大学電子科学研究所 W405 室
名称： ミツバチの採餌行動に関する勉強会

11. 日時： 2007 年 4 月 4 日—6 日
場所： イタリア・パドバ大学・ヴィチェンザキャンパス、パドバキャンパス
名称： International Workshop on Mobiligence

12. 日時： 2007 年 4 月 10 日 12：00～13：30
場所： チューリッヒ大学
名称： C 班ディスカッション

13. 日時： 2007 年 4 月 12 日—13 日
場所： 近畿大学 医学部 生理学第一講座
名称： B 班研究打ち合わせ

14. 日時： 2007 年 4 月 14 日 13:00～16:00
場所： 東北大学工学研究科石黒研究室
名称： D 班会議

15. 日時： 2007 年 4 月 18 日 10:00～16:00
場所： 旭川医科大学医学部生理学神経機能分野
名称： 共同研究計画の打合せ

16. 日時： 2007 年 4 月 19 日 15:00～19:00
場所： 京都大学 宇治キャンパス風洞実験室
名称： B 班研究打ち合わせ

17. 日時： 2007 年 4 月 21 日 10:00～16:00
場所： 京都大学吉田キャンパス物理系校舎 122 会議室
名称： B 班研究会

18. 日時： 2007 年 4 月 26 日—27 日 14:00-22:00, 9:00-14:00
場所： 山口大学総合研究棟 303 号室
名称： A, D 班研究打ち合わせ

19. 日時： 2007 年 5 月 10 日
場所： 秋田メトロポリタンホテル
名称： C 班打ち合わせ

20. 日時： 2007 年 5 月 14 日 15:00～21:00
場所： 東京大学本郷キャンパス 2 号館 4 2 号室
名称： C 班共同研究打ち合わせ

21. 日時： 2007 年 5 月 16 日 10:00～23:00
場所： 旭川医科大学医学部生理学神経機能分野
名称： B 班共同研究の実施

22. 日時： 2007 年 5 月 18 日
場所： 自然科学研究機構 生理学研究所
名称： B 班共同研究打ち合わせ

23. 日時： 2007 年 5 月 21 日
場所： 慶應大学 日吉キャンパス 来往舎
名称： C 班班会議

24. 日時： 2007 年 5 月 23 日 19:00-22:00
場所： 東京大学本郷キャンパス工学部 14 号館 825 号室
名称： C 班ディスカッション

25. 日時： 2007 年 5 月 24 日 10：00～12：00
場所： 東京大学本郷キャンパス工学部 14 号館 713 号室
名称： C 班ディスカッション

26. 日時： 2007 年 5 月 24 日 10:00～19:00
場所： 札幌医科大学医学部生理学第二講座
名称： B 班共同研究の実施

27. 日時： 2007 年 5 月 25 日 10：00～17：00
場所： 京都大学宇治キャンパス土屋研究室
名称： B 班ディスカッション

28. 日時： 2007 年 5 月 28 日 13:30
場所： 山口大学連合獣医研究棟会議室
名称： B 班会議

29. 日時： 2007 年 6 月 1 日 13:30～17:30
場所： キャンパスイノベーションセンター東京 (CIC) 303 号室
名称： A 班会議

30. 日時： 2007 年 6 月 2 日 9:00～17:00
場所： 東京国際フォーラム会議室
名称： D班会議

31 日時： 2007 年 6 月 6 日 10:00～24:00
場所： 旭川医科大学医学部生理学神経機能分野
名称： B 班共同研究の実施

32. 日時： 2007 年 6 月 11 日 13:30～18:00
場所： 兵庫県立大学環境人間学部
名称： カイコガ神経系の解析とモデル構築セミナー

33. 日時： 2007 年 6 月 14 日 13:00-17:00
場所： 東北大学石黒研究室
名称： C 班 D 班ミーティング

34. 日時： 2007 年 6 月 14 日—17 日 9:00～18:00
場所： Universidate Tecnica di Lisboa, Portugal
名称： The 3rd International Symposium on Measurement , Analysis and Modeling of Human Functions (ISHF2007)

35. 日時： 2007 年 6 月 16 日 13:30～19:00
場所： 山口大学理学部 1 1 番教室
名称： B, D 班研究会

36. 日時： 2007 年 6 月 20 日 9:00～19:00
場所： 札幌医科大学医学部生理学第二講座
名称： 共同研究の実施

37. 日時： 2007 年 6 月 22 日 13:00-16:30
場所： 山口大学総合研究棟 303 号室
名称： 研究打ち合わせ

38. 日時： 2007 年 6 月 22 日—23 日 09:00～17:00
場所： 国際高等研究所
名称： 「生物進化の持続性と転移」 07 年度第 1 回研究会

39. 日時： 2007 年 6 月 24 日—27 日 09:00～17:00
場所： 琉球大学農学部
名称： 研究打ち合わせと試料採集

40. 日時： 2007 年 6 月 25 日 14:00～16:00
場所： 北海道大学
名称： C 班共同研究打ち合わせ

41. 日時： 2007 年 6 月 25 日 16:00～18:00
場所： 北海道大学
名称： C 班共同研究打ち合わせ

42. 日時： 2007 年 6 月 25 日 13：00-18：00
場所： 琉球大学農学部 372 室
名称： C 班公募研究課題「昆虫社会の適応的行動と個体をつなぐ制御力学」の研究打ち合せ

43. 日時： 2007 年 6 月 25 日 15:00～17:00
場所： 福島県立医科大学神経生理学講座
名称： B 班研究打ち合わせ

44. 日時： 2007 年 6 月 26 日 9:00～12:00
場所： 北海道大学電子科学研究所
名称： 移動知学術講演会

45. 日時： 2007 年 6 月 26 日 10:00～21:00
場所： 福島県立医科大学神経生理学講座
名称： 共同実験

46. 日時： 2007 年 6 月 27 日 14：00～15：00
場所： 北海道大学電子科学研究所
名称： C 班研究打ち合わせ

47. 日時： 2007 年 6 月 28 日 19:00～20:00
場所： 生理学研究所
名称： B 班研究打ち合わせ(第二回)

48. 日時： 2007 年 7 月 3 日 10:00～12:00
場所： 東京大学本郷キャンパス 2 号館 4 2 号室
名称： C 班共同研究打ち合わせ

49. 日時： 2007 年 7 月 9 日 13:00-18:00
場所： 兵庫県立大環境人間学部
名称： C 班研究打ち合わせ

50. 日時： 2007 年 7 月 11 日 9:00～17:00
場所： 札幌医科大学医学部生理学第二講座
名称： B 班共同研究の実施

51. 日時： 2007 年 7 月 11 日 17:30～19:00
場所： 札幌医科大学医学部生理学第二講座
名称： B 班セミナー

52. 日時： 2007 年 7 月 13 日 14:00～16:00
場所： ブラジル サルバドール
名称： 国際日悪生理生化学会シンポジウム

53. 日時： 2007 年 7 月 16 日—20 日 8:45～17:00
場所： ETH Zurich, University of Zurich
名称： ICIAM07 (6th International Congress on Industrial and Applied Mathematics)

54. 日時： 2007 年 7 月 17 日 10:00～12:30
場所： 電気通信大学 P 棟 305 室
名称： コーエン教授による生物とロボットにおけるロコモーション生成・適応機能についての講演

55. 日時： 2007 年 7 月 18 日 19:00～20:00
場所： 淡路夢舞台国際会議場
名称： 研究打ち合わせ(第三回)

56. 日時： 2007 年 7 月 18 日—20 日 13:30～12:00
場所： 兵庫県立淡路夢舞台国際会議場
名称： 第 2 回移動知国際シンポジウム in 淡路

57. 日時： 2007 年 7 月 20 日 15:00～16:30
場所： 兵庫県立淡路夢舞台国際会議場
名称： 総括班会議

58. 日時： 2007 年 7 月 23 日 14:00～18:00
場所： 京都大学 百周年時計台記念館 国際交流ホール
名称： Prof. K. Pearson 講演会

59. 日時： 2007 年 7 月 24 日 13:00～18:00
場所： 近畿大学医学部第一生理
名称： B 班ディスカッション

60. 日時： 2007 年 7 月 25 日—26 日 10:00～1:00
場所： 旭川医科大学医学部生理学神経機能分野
名称： B 班共同研究の実施

61. 日時： 2007 年 7 月 31 日—8 月 1 日 13:00～12:00
場所： 霧島ホテル
名称： 総括班メンバーミーティング

62. 日時： 2007 年 8 月 2 日 10:00～17:00
場所： 東京大学本郷キャンパス工学部 14 号館 330 号室
名称： コオロギに関する勉強会

63. 日時： 2007 年 8 月 6 日
場所： 東京大学工学部 国吉康夫教授研究室
名称： 講演・D 班研究打合せ

64. 日時： 2007 年 8 月 10 日 16:00～18:00
場所： 東京大学本郷キャンパス工学部 14 号館 825 号室
名称： ミーティング

65. 日時： 2007 年 8 月 13 日 10:00～18:00
場所： 札幌医科大学医学部生理学第二講座
名称： B 班共同研究の実施

66. 日時： 2007 年 8 月 14 日 9:30～16:00
場所： 札幌医科大学医学部生理学第二講座
名称： B 班共同研究の実施

67. 日時： 2007 年 8 月 20 日 10:00～20:00
場所： 金沢工業大学 人間情報研究所
名称： C 班コオロギ研究会

68. 日時： 2007 年 8 月 24 日 16:00～20:30
場所： 京都大学 宇治キャンパス風洞実験室
名称： B2 班研究打ち合わせ

69. 日時： 2007 年 8 月 29 日 14:00～18:00
場所： 東京工業大学すずかけ台キャンパス伊藤宏司研究室
名称： A02 班研究打合せ

70. 日時： 2007 年 8 月 30 日 13:00～18:00
場所： 東京大学本郷キャンパス工学部 14 号館 713 号室
名称： 総括班メンバーミーティング

71. 日時： 2007 年 9 月 1 日 10:00～12:00
場所： 早稲田大学
名称： 総括班メンバーミーティング

72. 日時： 2007 年 9 月 4 日 11:00～13:00
場所： 東京大学先端研神崎研
名称： 研究ミーティング

73. 日時： 2007 年 9 月 4 日 14:00～18:00
場所： 東京大学本郷キャンパス工学部 14 号館 825 号室
名称： 研究打ち合わせ

74. 日時： 2007 年 9 月 5 日—7 日 8:30～16:20
場所： ライフォート札幌（札幌市）
名称： 第 36 回制御理論シンポジウム

75. 日時： 2007 年 9 月 6 日 14:00～18:00
場所： 東北大学工学部電気情報系 1 号館 5 階 517 号室
名称： 共同研究打合せ

76. 日時： 2007 年 9 月 7 日 10:00～17:00
場所： 京都大学 宇治キャンパス風洞実験室
名称： B 班研究打ち合わせ

77. 日時： 2007 年 9 月 8 日　16:00〜16:45
場所： 東京国際フォーラム G603
名称： B03 班会議

78. 日時： 2007 年 9 月 11 日 10:00〜12:00
場所： 関西大学
名称： 総括班メンバーミーティング

79. 日時： 2007 年 9 月 14 日 9:30〜11:30
場所： 千葉工業大学
名称： 総括班メンバーミーティング

80. 日時： 2007 年 9 月 18 日 14:00〜18:00
場所： 東京大学本郷キャンパス工学部 14 号館 713 号室
名称： 総括班メンバーミーティング

81. 日時： 2007 年 9 月 19 日 10:00〜12:00
場所： 東京大学本郷キャンパス工学部 14 号館 321 号室
名称： 総括班メンバーミーティング

82. 日時： 2007 年 9 月 19 日—20 日　9:00〜12:00
場所： 北海道大学遠友学舎
名称： D 班　班会議

83. 日時： 2007 年 9 月 25 日　15:00〜18:00
場所： 北海道大学電子科学研究所 W406 室
名称： コオロギの体表フェロモンについての研究打ち合わせ

84. 日時： 2007 年 9 月 26 日　9:30〜17:00
場所： 北海道大学電子科学研究所 E502 室
名称： C 班　コオロギ研究会

85. 日時： 2007 年 9 月 27 日—29 日　14:00〜14:00
場所： 沖縄県石垣島
名称： クロコオロギ生態調査

86. 日時： 2007 年 9 月 28 日 10:00〜16:00
場所： 山口大学総合研究棟 207 号室
名称： 共同研究打合せ

87. 日時： 2007 年 10 月 2 日 9:30〜16:00
場所： 理化学研究所(名古屋)BMC 研究センター会議室
名称： 第 9 回研究者直撃インタビュー

88. 日時： 2007 年 10 月 3 日—4 日 17:00〜13:00
場所： 東北大学工学研究科石黒研究室・物理学研究科川勝研究室
名称： 力学系勉強会

89. 日時： 2007 年 10 月 4 日　13:30〜15:00
場所： 北海道大学電子科学研究所 W404 室
名称： C 班 研究打ち合わせ

90. 日時： 2007 年 10 月 9 日
場所： 東京大学本郷キャンパス工学部 14 号館 321 号室
名称： 総括班メンバーミーティング

91. 日時： 2007 年 10 月 15 日 9:00〜11:00
場所： 東京大学本郷キャンパス工学部 14 号館
名称： C 班 研究打ち合わせ

92. 日時： 2007 年 10 月 15 日—20 日 9:00〜17:50
場所： コープイン京都（京都府京都市）
名称： 西宮・湯川記念理論物理学国際シンポジウム：What is Life? The Next 100 Years of Yukawa's Dream

93. 日時： 2007 年 10 月 17 日 13:30〜17:00
場所： 大阪大学　工学部
名称： C 班 研究打ち合わせ

94. 日時： 2007 年 10 月 17 日 14:00〜16:00
場所： 東京大学先端研神崎研
名称： ミーティング

95. 日時： 2007 年 10 月 25 日 17:00〜19:00
場所： 北海道大学理学部 5 号館
名称： 最適性に関する討議（２）

96. 日時： 2007 年 10 月 27 日 9:30〜16:00
場所： 北海道大学大学院工学研究科応用物理学専攻 B11 講義室
名称： D 班による力学系セミナーシリーズ ｳ(第 1 回基礎)

97. 日時： 2007 年 11 月 6 日 14:00〜15:30
場所： 京都大学吉田キャンパス物理系校舎１０７号室
名称： 講演・B，C 班研究打合せ

98. 日時： 2007 年 11 月 7 日—12 日　14:00〜11:00
場所： University of Montevideo, Uruguay
名称： NEURAL CODING 2007

99. 日時： 2007 年 11 月 13 日 16:30〜18:30
場所： 東京大学本郷キャンパス工学部 14 号館 713 号室
名称： 事務連絡会議

100. 日時： 2007 年 11 月 17 日—22 日　15:00〜09:00
場所： 湘南ビレッジセンター（神奈川県葉山市）
名称： The 3rd Yamada Symposium (YS3)

101. 日時： 2007 年 11 月 17 日—21 日　8:30〜12:30
場所： East China University of Science & Technology Convention Center，Shanghai，China
名称： ICCN'07 & SICPB'07

102. 日時： 2007 年 11 月 22 日 9:00〜18:00
場所： 北海道大学電子研
名称： C 班グループミーティング

103. 日時： 2007 年 11 月 23 日 14:00〜15:00
場所： キャンパスプラザ京都・立命館大学会議室
名称： CPG 研究会

104. 日時： 2007 年 11 月 26 日 10:00〜12:05
場所： 国立オリンピック記念青少年総合センター 4F
名称： SICE-SSI2007 移動知オーガナイズドセッション

105. 日時： 2007 年 11 月 28 日 10:00〜120:00
場所： 東北大学電気通信研究所
名称： 研究打ち合わせ

106. 日時： 2007 年 12 月 1 日 11:00〜16:00
場所： 神戸市中央区三ノ宮研究センター
名称： D 班会議

107. 日時： 2007 年 12 月 4 日 14:00〜18:00
場所： 東北大学工学部電気情報系 1 号館 5 階 517 号室
名称： 共同研究打合せ

108. 日時： 2007 年 12 月 14 日 11:00〜12:00
場所： 東京大学工学部 14 号館
名称： B 班 研究打ち合わせ(第 4 回)

109. 日時： 2007 年 12 月 14 日—15 日 12/14 13:00〜12/15 15:40
場所： 東京工業大学すずかけ台キャンパス・知能システム科学専攻会議室
名称： A 班「環境適応」・B 班「身体適応」合同班会議

110. 日時： 2007 年 12 月 14 日 10:00〜11:00
場所： 東京工業大学すずかけ台キャンパス
名称： B 班 研究打ち合わせ

111. 日時： 2007 年 12 月 20 日—21 日
9:00〜12:00(20 日)，13:00〜17:00(21 日)
場所： 広島オフィスセンター(20 日)，RCC 文化センター(21 日)
名称： 歩行の構成論的理解と生理現象の整合性に関する会議

112. 日時： 2007 年 12 月 20 日—21 日
16:30〜18:00(20 日)，9:00〜10:30(21 日)
場所： 広島国際大学国際教育センター
名称： SI2007　移動知オーガナイズドセッション

113. 日時： 2007 年 12 月 26 日 15:00〜18:00
場所： 京都大学吉田キャンパス航空 11 号館 223 号室
名称： B2 班研究打ち合わせ

114. 日時： 2008 年 1 月 5 日 10:00〜12:30
場所： 北海道大学電子科学研究所 W405 室
名称： C 班 研究打ち合わせ

115. 日時： 2008 年 1 月 5 日 9:30〜17:00
場所： 北海道大学電子科学研究所講堂
名称： CD 班　合同班会議

116. 日時： 2008 年 1 月 5 日 18:00—6 日 12:00
場所： 北海道大学理学部 5 号館
名称： 最適性に関する討議（３）

117. 日時： 2008 年 1 月 11 日　14:00〜18:00
場所： 京都大学 宇治キャンパス風洞実験室

名称： B2 班研究打ち合わせ

118. 日時： 2008 年 1 月 18 日　15:00～18:00
場所： 京都大学吉田キャンパス航空11号館223号室
名称： B2 班研究打ち合わせ

119. 日時： 2008 年 1 月 18 日 16:00―19 日 14:00
場所： 北海道大学理学部 5 号館
名称： 最適性に関する討議（４）

120. 日時： 2008 年 1 月 21 日　13:00～16:00
場所： 京都大学大学院理学研究科動物学教室自然人類学研究室
名称： Ｂ班　共同研究打ち合わせ（第 2 回）

121. 日時： 2008 年 1 月 28 日 16:00～17:00
場所： 福島大学講義棟
名称： 講演会

122. 日時： 2008 年 2 月 2 日 10:00～17:00
場所： 大阪工業大学　大阪センター ３０３会議室
名称： CPG 研究会

123. 日時： 2008 年 2 月 4 日　14:00～17:00
場所： 京都大学吉田キャンパス航空11号館223号室
名称： B2 班研究打ち合わせ

124. 日時： 2008 年 2 月 4 日　10:00～12:30
場所： 東京工業大学工学部
名称： C 班 研究打ち合わせ

● 2008 年度

1 日時： 2008/3/17 9:00-19:00
場所： 生理学研究所
名称： 研究打ち合わせ(第５回) と実験

2 日時： 2008/4/7 9:00-19:00
場所： 生理学研究所
名称： 研究打ち合わせ(第６回) と実験

3 日時： 2008/4/14-16 9:00-19:00
場所： 福島県立医科大学
名称： PPN における GABA 放出量測定の共同実験

4 日時： 2008/4/15-16 10:00-17:00
場所： 東京大学
名称： D 班会議

5 日時： 2008/4/15-16 10:00-17:00
場所： 金沢大学
名称： 蝶に関する移動知研究会

6 日時： 2008/4/18-19
場所： 兵庫県立大学環境人間学部
名称： 社会性昆虫に関する国際セミナー

7 日時： 2008/4/19 13:00-4/20 12:00
場所： 山口大学連合獣医学研究棟会議室
名称： CPG 研究会

8 日時： 2008/4/25
場所： 東京大学本郷キャンパス工学部 11 号館講堂
名称： 移動知ワークショップ「移動知の新展開」

9 日時： 2008/4/25 12:00-22:00
場所： 兵庫県立大環境人間学部
名称： 研究打ち合わせ

10 日時： 2008/4/26 9:00-19:00
場所： 兵庫県立大環境人間学部
名称： ミツバチの巣箱の二酸化炭素濃度を測定するための共同予備実験

11 日時： 2008/4/28 10:00-17:00
場所： 東京大学
名称： 移動知ワークショップ

12 日時： 2008/4/28 12:00-18:00
場所： 京都工芸繊維大学　山岡研究室
名称： コオロギ研究会

13 日時： 2008/5/12-15 9:00-17:00
場所： 旭川医科大学生理学第二講座・神経機能分野
名称： サルの歩行に関する脳幹の領域からの記録方法についての研究打ち合わせ

14 日時： 2008/5/20-21 9:00-17:00
場所： 旭川医科大学生理学第二講座・神経機能分野
名称： サルの歩行に関する脳幹の領域からの記録方法についての研究打ち合わせ

15 日時： 2008/6/3 8:30-19:30
場所： Case Western Reserve University, Creveland, Ohio, USA
名称： OS "Mobiligence" at 4th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines

16 日時： 2008/6/5 10:00-16:00
場所： ビッグハット（長野市）
名称： 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 (Robomec 2008), 移動知チュートリアル：「認知から運動や行動の発現へ」

17 日時： 2008/6/9 13:00-20:00
場所： 金沢工業大学人間情報研究所
名称： コオロギ研究会

18 日時： 2008/6/13 12:00-13:00
場所： 京都駅ホテルロビー
名称： 研究打ち合わせ(第７回)

19 日時： 2008/6/16 18:00-20:00
場所： ビデオ会議
名称： セミナー

20 日時： 2008/6/18-19 10:00-17:00
場所： 大阪府立大学，京都大学
名称： 蝶に関する移動知研究会と撮影実験

21 日時： 2008/6/23 18:00-20:00
場所： ビデオ会議
名称： セミナー

22 日時： 2008/6/28 9:30～17:00
場所： スイス連邦工科大学(ETHZ)
名称： 国際会議ワークショップ "Control of locomotion: from animals to robotos"

23 日時： 2008/6/30-7/5 13:00-19:00
場所： 兵庫県立大環境人間学部
名称： ミツバチのダンス行動に関する共同実験

24 日時： 2008/7/4 18:00-20:00
場所： ビデオ会議
名称： セミナー

25 日時： 2008/7/11-12
場所： 京都　(関西セミナーハウス）
名称： Agency に関する国際ワークショップ

26 日時： 2008/7/15 18:00-20:00
場所： ビデオ会議
名称： セミナー

27 日時： 2008/7/22-23 13:00-18:00
場所： 北海道大学電子科学研究所　講堂
名称： 合同班会議

28 日時： 2008/7/25 18:00-20:00
場所： ビデオ会議
名称： セミナー

29 日時： 2008/8/6-7 9:00-19:00
場所： 兵庫県立大環境人間学部
名称： ミツバチの行動に関する共同実験

30 日時： 2008/8/6 16:00-17:30
場所： 東京大学先端科学技術研究センター4 号館 5F セミナー室
名称： 移動知研究会

31 日時： 2008/8/12 13:00-18:00
場所： 大阪大学生命機能研究科・脳神経工学講座・視覚神経科学研究室
名称： サルの歩行に関する脳幹の領域からの記録方法についての研究打ち合わせ

32 日時： 2008/8/18 17:00-19:00
場所： 兵庫県立大環境人間学部/徳島文理大香川薬学部（ビデオ会議）
名称： セミナーと研究打ち合わせ

33 日時： 2008/8/21 13:15-15:15
場所： 電気通信大学
名称： SICE Annual Conference Organized Session オーガナイズドセッション "Biomimetic Approach on Robot Design and Control for Dynamic Locomotion"

34 日時： 2008/8/22 10:00～16:00
場所： 東京大学（駒場） 身体運動科学研究室
名称： B 班研究会

35 日時： 2008/8/24-26 12:00-17:00
場所： 旭川医科大第二生理
名称： 二足歩行モデル研究打ち合わせ（第 1 回）

36 日時： 2008/8/28 13:00-16:00
場所： 東北大学大学院工学研究科石黒研究室
名称： 自己組立システムに関する研究打ち合わせ

37 日時： 2008/9/13 10:00-12:00
場所： 兵庫県立大環境人間学部/徳島文理大香川薬学部（ビデオ会議）
名称： セミナーと研究打ち合わせ

38 日時： 2008/9/10 12:30-14:30
場所： 神戸大学 工学部
名称： 第 26 回 日本ロボット学会学術講演会, 展開セッション「移動知」

39 日時： 2008/9/15 14:30-2008/9/7 13:00
場所： 旭川市蔵囲夢デザインギャラリー
名称： 無脊椎動物神経生物学研究会
40 日時： 2008/9/17
場所： 大阪大学
名称： B01-03 班会議
41 日時： 2008/9/20 13:00-15:00
場所： 兵庫県立大環境人間学部/徳島文理大香川薬学部（ビデオ会議）
名称： セミナーと研究打ち合わせ
42 日時： 2008/9/22 14:00～17:00
場所： 国立身体障害者リハビリテーションセンター
名称： 二足歩行制御研究会
43 日時： 2008/9/25-10/7 9:00-19:00
場所： 兵庫県立大環境人間学部
名称： ミツバチの巣内行動に関する共同実験
44 日時： 2008/9/25 11:00-14:00
場所： 東北大学大学院工学研究科石黒研究室
名称： 自己組立システムに関する研究打ち合わせ
45 日時： 2008/9/25 19:30-21:00
場所： 兵庫県立大環境人間学部/徳島文理大香川薬学部（ビデオ会議）
名称： セミナーと研究打ち合わせ
46 日時： 2008/9/26 9:00-18:00
場所： Acropolis Convention Center, Nice, France
名称： IROS2008 Full Day Workshop
47 日時： 2008/10/1-2
場所： 東京（東京大学駒場キャンパス）
名称： 国内ワークショップ "Artificial Life: Half way through"
48 日時： 2008/10/9-10 10:00-16:00, 10:00-14:00
場所： 旭川医科大第二生理
名称： 二足歩行モデル研究打ち合わせ（第 2 回）
49 日時： 2008/10/10 13:30～18:00
場所： 京都大学宇治キャンパス風洞実験室
名称： 文献紹介とディスカッション
50 日時： 2008/10/14-16 9:00-19:00
場所： 福島県立医科大学
名称： PPN における GABA 放出量測定の共同実験
51 日時： 2008/10/14 18:30-20:00
場所： 兵庫県立大環境人間学部/徳島文理大香川薬学部（ビデオ会議）
名称： セミナーと研究打ち合わせ
52 日時： 2008/10/15 9:30-12:00
場所： 京都工芸繊維大学
名称： 共同研究に関する研究打ち合わせ
53 日時： 2008/10/17 13:30～18:00
場所： 同志社大学京田辺キャンパス
名称： 研究ディスカッション
54 日時： 2008/10/21 10:00-17:40
場所： 東京大学先端科学技術研究センター4 号館 2F 講堂
名称： 第 2 回移動知一般公開シンポジウム
55 日時： 2008/10/22 9:30-16:00
場所： 東京大学
名称： D 班会議
56 日時： 2008/10/23 18:00-20:00
場所： 兵庫県立大環境人間学部/徳島文理大香川薬学部（ビデオ会議）
名称： セミナーと研究打ち合わせ
57 日時： 2008/10/24 13:00-17:00
場所： 東北大学
名称： 受動的動歩行の研究会
58 日時： 2008/10/24 13:30～18:00
場所： 同志社大学京田辺キャンパス
名称： 研究ディスカッション
59 日時： 2008/10/30 13:30～18:00
場所： 同志社大学京田辺キャンパス
名称： 研究ディスカッション
60 日時： 2008/10/31 18:30-20:00
場所： 兵庫県立大環境人間学部/徳島文理大香川薬学部（ビデオ会議）
名称： セミナーと研究打ち合わせ
61 日時： 2008/11/6 13:00～18:00, 11/7 10:00～15:30
場所： 国立情報学研究所学術情報センター1208 会議室
名称： A 班第 2 回班会議
62 日時： 2008/11/8 15:00-17:00
場所： 兵庫県立大環境人間学部/徳島文理大香川薬学部（ビデオ会議）
名称： セミナーと研究打ち合わせ
63 日時： 2008/11/7 13:30～18:00
場所： 同志社大学京田辺キャンパス
名称： 文献紹介とディスカッション
64 日時： 2008/11/14-15 10:00-17:00
場所： 九州大学
名称： 蝶の移動知研究会・日本鱗翅学会
65 日時： 2008/11/14 13:30～18:00
場所： 同志社大学京田辺キャンパス
名称： 文献紹介とディスカッション
66 日時： 2008/11/14 17:00-19:00
場所： 兵庫県立大環境人間学部/徳島文理大香川薬学部（ビデオ会議）
名称： セミナーと研究打ち合わせ
67 日時： 2008/11/15 18:00-19:00
場所： ワシントン DC
名称： 研究打ち合わせ(第８回)
68 日時： 2008/11/17 15:15-16:45
場所： つくば国際会議場
名称： OS "Mobiligence" at The 9th International Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems (DARS2008)
69 日時： 2008/11/20 11:15-13:00
場所： 東北大学大学院工学研究科石黒研究室
名称： 自己組立システムに関する研究打ち合わせ
70 日時： 2008/11/21 13:30～18:00
場所： 京都大学宇治キャンパス風洞実験室
名称： 文献紹介とディスカッション
71 日時： 2008/11/21 13:30-18:00
場所： 東北大学 大学院工学研究科電気･通信工学専攻 石黒研究室
名称： 研究打ち合わせ:真正粘菌変形体の適応機能におけるサイズ効果に関する議論
72 日時： 2008/11/21 19:00-21:00
場所： 兵庫県立大環境人間学部/徳島文理大香川薬学部（ビデオ会議）
名称： セミナーと研究打ち合わせ
73 日時： 2008/11/26 15:15-17:20
場所： 姫路市国際交流センター
名称： 計測自動制御学会 システム・情報部門講演会において OS「移動知：随意運動と環境適応」
74 日時： 2008/11/27 15:00-17:00
場所： 東北大学大学院工学研究科石黒研究室
名称： 自己組立システムに関する研究打ち合わせ
75 日時： 2008/11/28 13:30～18:00
場所： 同志社大学京田辺キャンパス
名称： 研究ディスカッション
76 日時： 2008/12/1 18:00-20:00
場所： 兵庫県立大環境人間学部/徳島文理大香川薬学部（ビデオ会議）
名称： セミナーと研究打ち合わせ
77 日時： 2008/12/4 11:00-13:00
場所： 東北大学大学院工学研究科石黒研究室
名称： 自己組立システムに関する研究打ち合わせ
78 日時： 2008/12/5 10:00-12:00
場所： 長良川国際会議場
名称： 計測自動制御学会システムインテグレーション部門学術講演会(SICE-SI2008) オーガナイズドセッション「身体・脳・環境の相互作用により適応的運動機能の発現」
79 日時： 2008/12/5 13:30～18:00
場所： 同志社大学京田辺キャンパス
名称： 文献紹介とディスカッション
80 日時： 2008/12/11 14:30-16:00
場所： 東京(本郷)
名称： 研究打ち合わせ(第９回)
81 日時： 2008/12/15-16
場所： 東京（東京大学駒場キャンパスおよび、統計数理研究所）
名称： 「動的システムの情報論(８)ロボットにおける境界」に関する国内ワークショップ
82 日時： 2008/12/16-17 10:00-17:00
場所： 大阪府立大学
名称： 蝶の移動知研究会
83 日時： 2008/12/18 10:00-17:00
場所： 東北大学
名称： 研究討論会
84 日時： 2008/12/18 13:00-20:00
場所： 東京大学大学院理学系研究科細胞生理化学研究室
名称： 群れ行動の計測とモデル化に関する研究紹介と議論

85 日時： 2008/12/18 14:00-12/19 12:00
場所： 東北大学 電気通信研究所
名称： 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究「生物における環境調和型適応システムの解明と工学応用」研究会
86 日時： 2008/12/19 13:30-17:50
場所： 東北大学 電気通信研究所
名称： 動物の運動制御に関する研究討論会
87 日時： 2008/12/25-26 9:00-19:00
場所： 徳島文理大香川薬学部
名称： 研究打ち合わせ
88 日時： 2008/12/25 13:00-15:00
場所： 東北大学大学院工学研究科石黒研究室
名称： 自己組立システムに関する研究打ち合わせ
89 日時： 2008/12/26 13:00-18:00
場所： 早稲田大学　電気・情報生命工学科 高松研究室
名称： 研究打ち合わせ:真正粘菌変形体の適応機能におけるサイズ効果に関する議論
90 日時： 2009/1/5 13:00-19:00
場所： 金沢工業大学人間情報研究所
名称： 研究打ち合わせ
91 日時： 2009/1/5 13:00-19:00
場所： 金沢工業大学人間情報研究所
名称： 研究打ち合わせ
92 日時： 2009/1/5 13:30-1/6 11:00
場所： 淡路夢舞台 国際会議場
名称： 歩行に関するシンポジウム
93 日時： 2009/1/8 18:30-20:00
場所： 兵庫県立大環境人間学部/徳島文理大香川薬学部（ビデオ会議）
名称： セミナーと研究打ち合わせ
94 日時： 2009/1/9 13:30～18:00
場所： 同志社大学京田辺キャンパス
名称： 研究ディスカッション
95 日時： 2009/1/12 13:00-17:00
場所： 兵庫県立大学環境人間学部　音楽堂
名称： 移動知セミナー「昆虫の社会性に関する生態と生理」
96 日時： 2009/1/13 9:30-18:00
場所： 兵庫県立大学姫路新在家キャンパス　環境人間学部音楽堂
名称： C 班班会議
97 日時： 2008/1/14 15:00-20:00
場所： 徳島文理大学香川薬学部
名称： 共同研究に関する研究打ち合わせ
98 日時： 2009/1/16 13:30～18:00
場所： 同志社大学京田辺キャンパス
名称： 研究ディスカッション
99 日時： 2009/1/20 16:00-20:00
場所： 東北学院大学教養学部
名称： 自己組立システムに関する研究打ち合わせ
100 日時： 2008/1/23 13:00-16:45
場所： とりぎん文化会館（鳥取県立県民文化会館）
名称： 第 21 回 自律分散システム・シンポジウムにおいて OS「移動知」
101 日時： 2009/1/28 13:30～18:00
場所： 同志社大学京田辺キャンパス
名称： 研究ディスカッション
102 日時： 2009/1/28 18:00-20:00
場所： 兵庫県立大環境人間学部/徳島文理大香川薬学部（ビデオ会議）
名称： セミナーと研究打ち合わせ
103 日時： 2009/2/03-04 10:00-17:00
場所： 北海道大学
名称： 蝶の移動知研究会
104 日時： 2009/2/4
場所： 東京工業大学
名称： 教科書の出版に関する検討会議
105 日時： 2009/2/4 17:30-18:30
場所： 東京（東京大学駒場キャンパス）
名称： セミナー
106 日時： 2009/2/7 13:00-15:00
場所： 兵庫県立大環境人間学部/徳島文理大香川薬学部（ビデオ会議）
名称： セミナーと研究打ち合わせ
107 日時： 2009/2/13-2/19 9:00-19:00
場所： 北海道大学電子科学研究所
名称： 海外研究者の招聘と研究打ち合わせ等
108 日時： 2009/2/13 13:30～18:00
場所： 同志社大学京田辺キャンパス
名称： 研究ディスカッション
109 日時： 2009/2/13 17:00-19:00
場所： 兵庫県立大環境人間学部/徳島文理大香川薬学部（ビデオ会議）
名称： セミナーと研究打ち合わせ
110 日時： 2009/2/18 9:00-20:00
場所： 生理学研究所
名称： 研究打ち合わせ(第 10 回) と実験
111 日時： 2009/2/18
場所： 北海道大学電子科学研究所
名称： 無脊椎動物神経科学研究会
112 日時： 2008/2/19 10:30-13:30
場所： 東北大学大学院工学研究科石黒研究室
名称： 自己組立システムに関する研究打ち合わせ
113 日時： 2009/3/2 13:40-3/4 12:00
場所： ホテル松島大観荘
名称： 第 4 回移動知シンポジウム
114 日時： 2009/3/11 13:30-17:30
場所： 早稲田大学 大久保キャンパス 63 号館第 3 会議室
名称： 第 6 回 SICE 生物制御システム調査研究会&移動知合同研究会

● 2009 年度

1 日時： 2009/1/5 13:00～19:00
場所： 兵庫県立大学姫路新在家キャンパス　環境人間学部　音楽堂
名称： 進捗状況確認とディスカッション
2 日時： 2009/1/12 13:00～17:00
場所： 北海道大学電子科学研究所
名称： カナダ・カルガリー大 Ken Lukowiak 教授を招いての講演・議論
3 日時： 2009/1/13 9:30～18:00
場所： 北海道大学電子科学研究所
名称： カナダ・カルガリー大 Ken Lukowiak 教授を招いての講演・議論・セミナー
4 日時： 2009/1/14 15:00～20:00
場所： 金沢工業大学人間情報研究所
名称： 研究打ち合わせ
5 日時： 2009/2/13～19 9:00～19:00
場所： 徳島文理大学香川薬学部
名称： 共同研究についての打ち合わせ
6 日時： 2009/2/18 17:00～16:30
場所： 生理学研究所
名称： 研究打ち合わせ(10 回目)と実験
7 日時： 2009/2/18 09:00～20:00
場所： 徳島文理大学香川薬学部
名称： ミツバチの偏光視に関する共同研究の打ち合わせ及び予備実験
8 日時： 2009/3/27 09:00～20:00
場所： 筑波大学 大学会館ホール
名称： 動物行動学とロボット工学に関する移動知研究成果発表
9 日時： 2009/4/13 13:00～17:00
場所： 筑波大学　大学会館ホール
名称： 動物行動学とロボット工学に関する移動知研究成果発表
10 日時： 2009/4/30 12:00～18:00
場所： 東京工業大学
名称： コオロギの行動解析についての研究打ち合わせ
11 日時： 2009/6/2～5 16:00～12:00
場所： 北海道大学電子科学研究所

名称： コオロギの社会行動を解析するツール開発に付いての打ち合わせ.

12 日時： 2009/6/3 10:30～17:00

場所： 石垣島

名称： コオロギの生態調査および研究打ち合わせ

13 日時： 2009/6/10 14:00～16:00

場所： 北海道大学電子科学研究所

名称： 研究成果の確認と書籍執筆についての打ち合わせ

14 日時： 2009/7/3 10:00～18:00

場所： 北海道大学工学部

名称： 研究の推進状況の確認，書籍出版についての打ち合わせ.

15 日時： 2009/7/6 13:00～18:00

場所： 北海道大学工学部研究

名称： 研究成果発表と進捗状況確認

16 日時： 2009/7/28 09:00～19:00

場所： 北海道大学工学部

名称： コオロギの闘争行動を誘発する環境要因の研究

17 日時： 2009/7/30 12:00～18:00

場所： 金沢工業大学人間情報研究所

名称： アイオワ大上田先生の講演

18 日時： 2009/8/4～12 9:00～20:00

場所： 慶応義塾大学理工学部

名称： Gene gun によるコオロギの脳回路の可視化

19 日時： 2009/8/4 09:00～20:00

場所： 北海道大学電子科学研究所

名称： 班会議および研究会¥n カルガリー大学 Lukowiak 教授による講演

20 日時： 2009/8/5 09:00～21:00

場所： 生理学研究所

名称： 研究打ち合わせ(11 回目)と実験

21 日時： 2009/8/6 10:00～18:00

場所： 東京(本郷)

名称： 研究打ち合わせ(12 回目)

22 日時： 2009/8/6

場所： 09:00～12:00

名称： 東京(本郷)

23 日時： 研究打ち合わせ(13 回目)と実験

場所： 2009/9/8 14:00～19:00

名称： 生理学研究所

24 日時： 研究打ち合わせ(14 回目)と実験

場所： 2009/11/23 16:30～19:00

名称： 生理学研究所

25 日時： 研究打ち合わせ(15 回目)と実験

場所： 2009/11/23 16:30～19:00

名称： 生理学研究所

26 日時： 研究打ち合わせ(16 回目)と実験

場所： 2009/12/2 18:00～20:00

名称： 生理学研究所

27 日時： 研究打ち合わせ(17 回目)と実験

場所： 2009/12/18～19 13:00～18:00, 9：00～12：00

名称： 京都

28 日時： 研究打ち合わせ(18 回目)

場所： 2010/1/19 10:00～16:00

名称： 東北大学電気通信研究所中会議室

29 日時： 移動知研究の到達点と方向性についての議論

場所： 2010/2/1 10:00～18:00

名称： 大阪大学豊中キャンパスΣホールセミナー室 1