

領域略称名：伝達創成機構
領域番号：4103

平成26年度科学研究費補助金「新学術領域研究
(研究領域提案型)」に係る事後評価報告書

「ヘテロ複雑システムによるコミュニケーション理解のための
神経機構の解明」

(領域設定期間)

平成21年度～平成25年度

平成26年6月

領域代表者 北海道大学・電子科学研究所・教授・津田一郎

目 次

1. 研究領域の目的及び概要	2
2. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況	4
3. 研究領域の設定目的の達成度	6
4. 研究領域の研究推進時の問題点と当時の対応状況	10
5. 研究計画に参画した若手研究者の成長の状況	11
6. 研究経費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）	12
7. 総括班評価者による評価	13
8. 主な研究成果（発明及び特許を含む）	15
9. 研究成果の取りまとめ及び公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等）	19
10. 当該学問分野及び関連学問分野への貢献度	26

1. 研究領域の目的及び概要（2 ページ程度）

研究領域の研究目的及び全体構想について、応募時に記述した内容を簡潔に記述してください。どのような点が「我が国の学術水準の向上・強化につながる研究領域」であるか、研究の学術的背景（応募領域の着想に至った経緯、これまでの研究成果を進展させる場合にはその内容等）を中心に記述してください。

目的

本申請領域の目的は、コミュニケーションの脳内機構の解明であり、コミュニケーション神経情報学の開拓である。人と動物による実験研究と数理理論によるダイナミクスの解釈によって研究を進める。コミュニケーションとは人や動物が他者と記号化された情報をやり取りし意味や感情を共有する過程であると捉えられている。この過程において協働や協調が生まれてくると言われており、主に人間工学や社会科学の立場で活発に研究されてきたが、その本質的な解明には至っていなかった。コミュニケーションの本質は自己と他者の間の動的な相互作用であり、その過程では自己と他者のメンタルな過程の変動により感覚モダリティーや意味や感情などの情報のモダリティーが動的に遍歴すると考えられてきた。従って、コミュニケーションを理解するための神経情報学とは脳内の異なる領野間の神経連絡における電氣的、磁氣的、化学的な相互作用に着目し、異なる領野に及ぶ新しい動的な状態を研究する領域である。この目的を達成するために、本領域研究では A. 数理システム論、B. ヘテロ脳内システム間相互作用、C. 個体間相互作用の三つの研究項目とその間の連携で組織を構成した。

学術的背景

近年、脳の引き込み協調の事例が多く発見され、コミュニケーションによる協調の創発との関係に関心が高まっていた。さらに、脳のこのようなダイナミックな活動を過去 50 年間に開発されてきた非線形動力学、複雑系の数理理論によって解明する研究動向が世界的に注目され始めていた。過去 50 年間、非線形・非平衡系における自己組織化がさまざまな分野で共通の興味となり、シナジュエティクス、カタストロフ理論、散逸構造理論などを経て、カオス理論、フラクタル幾何学などが基礎科学分野で活発に研究され、確立されてきた。この流れの中で、複雑系科学、非線形科学への関心が高まった。複雑系研究は 1980 年代後半から米国、欧州、日本で同時に起こった。国内では、領域代表者や計画班の金子らが研究を主導してきた (Kaneko & Tsuda, 2000)。特に、池田、金子、津田は大自由度力学系の新状態であるカオスの遍歴を共同で提唱し、各々具体的なモデルを構築した (Ikeda, 1989; Kaneko, 1990; Tsuda, 1991)。カオスの遍歴は近年数学的にも研究され、類似の遷移過程はサドル・ノード分岐を介した遷移現象として国内外で活発に研究されてきた (西浦, 2007)。

研究の世界的傾向として、神経回路を含む大自由度非線形力学系の多様性、特に遷移現象、学習、臨界状態などに関する数学的研究、脳神経系のダイナミクスと可塑性の研究、胎児からの脳神経系の発達の研究が始まっていた。一方で、システムとしての身体の働きに関する数理的研究としては、ロボットの運動学習へのカオス結合系の応用などがあり (土井ら, 2005)、さらに特定領域研究においてもこの方向での研究が進展していた。このような研究活動において、カオス結合系や振動子結合系を用いて多くの同期現象が解明され、結合が弱い弱結合系に関しては蔵本らによって精密な理論体系が構築された。そこにおいては、主に一様な要素の集合体や結合系が対象であり、さらに理論を発展させヘテロなシステムが相互作用したときにおこる非定常過程から新たな定常状態へと到る過程の解明への機運が高まっていた。また、工学分野においても、制御理論や神経回路理論が発展し、多くのシステムの制御機構が適応制御や学習制御の観点から解明され、その後、特にわが国においては創発や移動知といった新しい研究分野が創出されるに到っている。そこにおいては、個体もしくは個体群が環境と相互作用することによっていかにして知能を獲得するに到るかの研究が活発になされており、新しい複雑系科学と結びつくことでブレークスルーが期待されてきた。

また、脳科学においては、計画班の水原らは fMRI によって異種領野間の同期現象を観測し、計画班の山口らの非線形動力学理論が注目されていた (Mizuhara & Yamaguchi, 2007)。また、刺激応答的な情報処理と内発性の思考との間の競合・協調関係とこれら同期現象の関係に関する研究も開始されたばかりだった。脳内ダイナミクスには引き込み協調が起こりうることはすでによく知られていたし (Gray & Singer, 1989)、引き込みによって創発する知能の研究として Milner による位相同期による統合理論 (Milner, 1974) があったが、コミュニケーションとの関係は不明であった。

高次霊長類に特徴的な認知機能である Social Brain function (社会脳) の研究は、動物行動学的アプローチや心理学的アプローチが主体で、神経科学的アプローチは殆どなされていなかった。近年その重要性が認識され、徐々に他者の顔認知や行動認知のメカニズム等を対象とした社会認知機能に関する研究が報告されるようになってきた。最近になって、マカクザル (Paukner et al, 2005) や小型霊長類であるマー

モセット (Voelkl & Huber, 2007) 等で動作模倣が可能であることが示されている。人のコミュニケーションに関しては、欧州を中心に行動レベルの研究が盛んであるが、そのメカニズムや処理のシステムの理解、さらにはその数理解析に関してはいまだ研究は極めて少ない。

このような研究動向や期待が本領域申請の背景であった。そこで、領域代表者は、コミュニケーションの脳内機構をヘテロなシステム間の相互作用の観点から解明し、コミュニケーション神経情報学という新たな研究領域を創始確立する研究計画を提案することにした。さらには社会システムにおける組織のイノベーションの理論のような研究領域もまたいずれは応用領域として包含されるであろうことを念頭においている。それは個々の生物個体に普遍的に見られる適応的行動などは個体の集合体である社会の振る舞いにも見られるからである。

全体構想

研究の全体構想は以下のものであった。

本研究領域において解決すべき問題は、人間や動物のコミュニケーションにおける自律的な役割分担の出現、協調的行動の出現のメカニズムである。これらを解決するために、A. 数理システム論、B. ヘテロ脳内システム間相互作用、C. 個体間相互作用の3研究項目を形成し、問題群を解決していく。本研究領域で特に着目するのは、異なるシステム間に接触が起き、両者間に動的な相互作用が起きることでシステム間の関係性が変わり、新しい関係が生成される点である。この移行期におきる非定常でダイナミックな状態変化のメカニズムを研究する。本研究領域では、対象をコミュニケーション及び脳内過程とし、数理解的手法によるモデル研究と人やサルなどの脳活動の観測をとおしてコミュニケーションのメカニズムを解明していく。すなわち、コミュニケーションの条件、状況、構造などを数理的に解析し、その脳内メカニズムを明らかにしていく。これは、例えばコミュニケーション障害の解明など現代社会が抱える深刻な問題の解決につながることを期待される。そこで、本研究では個体間相互作用における脳活動を脳波、脳磁図、fMRI、慢性電極などの方法で計測し、個体の脳活動が相互作用によって変化し新しい活動状態が生まれ、そしてそれがシステムレベルでの新しい様相の生成へと到る過程を調べる。

A. 数理システム論

脳のような柔軟で創造的な活動の原理を探求し、それを神経回路の動作原理と新機能創成と捉える数理解的手法は神経回路理論として進められて来た。しかしながら、この伝統的なアプローチは等価な要素が一樣な結合を持つことを大前提としたものであり、現在までにコミュニケーションの脳内機構の解明には到っていない。一方で最近の実験的研究では、脳の異なる部位の神経は時間スケールやその動的挙動において非線形で多様な性質を持つことが明らかになってきた。これらヘテロなシステムが様々な相互作用をすることで自らの振る舞いを規定するルールがシステムの中に生成され、異なる情報の間に関係を発見することが脳の働きである。研究項目 A では、こうした複雑な動的システムの情報創成原理を明らかにし、項目 B、C で得られる実験データの解析に関する方法と手段を提供する。

B. ヘテロ脳内システム間相互作用

最近の実験によると、システムとしての脳は複数の“内部状態”をもつ準安定な系であり、準安定状態としての脳波の引き込みと脱引き込みの連鎖によるカオス的遍歴が、コミュニケーション成立のための鍵になる脳活動ではないかと推測されている。コミュニケーションにおける脳の情報処理機構は感覚情報の入力に駆動されたボトムアップ型相互作用と、内在的な活動に依存するトップダウン型相互作用から成り立っている。これらの解明にはヘテロシステム間の相互作用による新しい様相の出現の問題が解決されなくてはならない。さらに、コミュニケーションには他者行為の理解のための感覚・運動統合が重要であると考えられ、それを実現するミラーニューロンシステムも、脳内の遠距離皮質間の相互作用における振動子ダイナミクス引き込み協調によって実現されていることが示唆されているが、未だ詳細なメカニズムは明らかになっていない。研究項目 B では、コミュニケーションにおける脳内のヘテロシステム間相互作用による情報創成機構を主に人に対する実験研究で明らかにしていく。

C. 個体間相互作用

対人コミュニケーション場面での自律的な役割分担の発見と協調行動の生成は、社会的な文脈の中でのヘテロな個体間に新しい関係性が生まれることで異なる機能を創発させる脳の高次機能の一つであると考えられる。このとき新しい役割分担などの新状態が創発されるであろう。この現象は、脳という行動主体が他者との相互作用によって自己の内部システムを変化させる動的学習の顕れであると考えられる。また、人と人の相互作用を成り立たせる言語活動においても類似の構造が見出される。研究項目 C では、このようなコミュニケーションに関わるシステム間相互作用について、個体と環境の相互作用を含め、個体間相互作用のダイナミクスをロボット研究とも連動し、対応する脳内活動を解明することで明らかにしていく。

2. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況（2 ページ程度）

領域内の計画研究及び公募研究を含んだ研究組織と領域において設定している各研究項目との関係を記述し、どのように研究組織間の連携や計画研究と公募研究の調和を図ってきたか、組織図や図表などを用いて具体的かつ明確に記述してください。

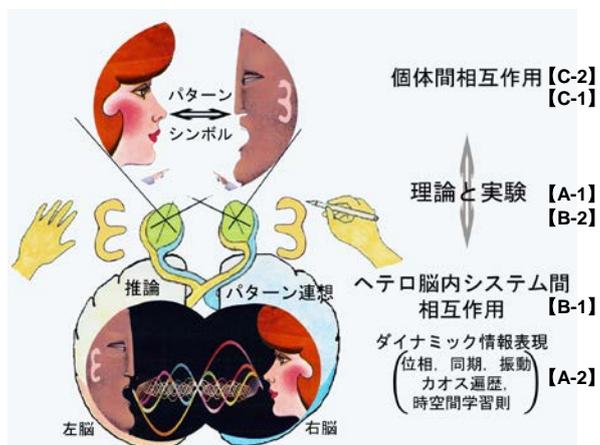
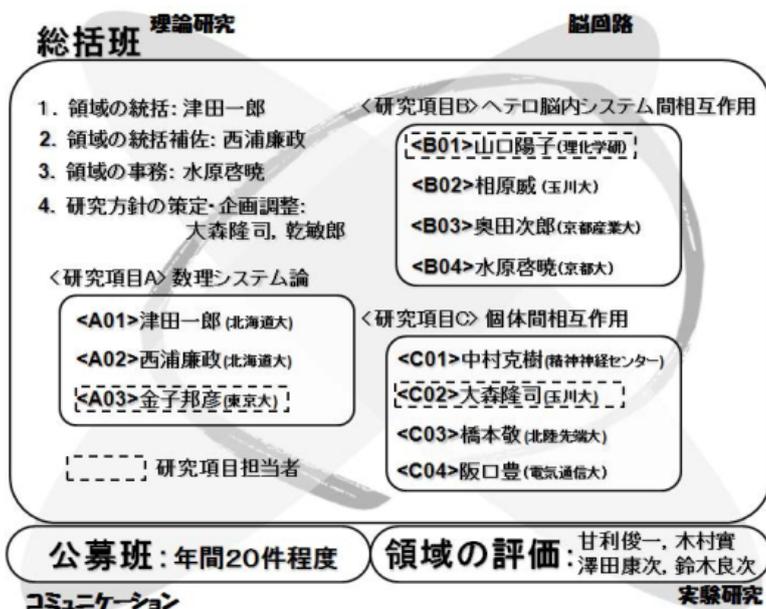
（1）各研究項目内での共通認識

研究項目 A では、力学系およびその発展拡張系を用いることで、脳の認知過程、コミュニケーション過程の神経機構を解明するという認識を共有した。特に、カオスの遍歴、高次元の分岐理論、異なる時間スケールを持つ大自由度力学系の解析という共通課題があり、密な交流を持ちながら進めてきた。また、研究項目 B では、コミュニケーションで見られる脳内ヘテロシステム間相互作用を EEG、fMRI、TMS、電気生理の手法を駆使して、ミクロとマクロをつなぐメゾスコピックレベルの神経活動を計測し、このレベルでの情報創成の仕組みを抽出することがコミュニケーションの神経理解につながるという認識を共有した。研究項目 C では、実際のコミュニケーション場面を具体的に設定し、新しいコミュニケーションタスクを工夫することで役割分担、意味の創成が可能であるという認識を共有した。これらの共通認識の下で、まずは研究項目内での研究を遂行し、それを確立、さらに発展させるために研究項目間の共同研究を企画・推進・実行した。この共同研究でも非常に大きな成果が上がった。

（2）各研究項目間での連携

数理的な考えを脳の実験と結びつけて研究するために、理論・数理研究者と実験研究者が「言語」を共有する必要があった。そこで、総括班会議、幹事会をかなりの頻度行い、総括班と内部評価者に外部有識者を加えて、理論と実験の共同研究に関する計画を細かく議論し、練り直してきた。さらに、そこで得られた各研究項目間の共通認識を公募班に浸透させるために、Tutorial 講義を全体会議で設けたり、研究室の相互訪問を推進するなどして、実験－理論での理解の共有を繰り返し進めてきた。また、領域として大きな研究イベントを主催、共催することで各研究項目間の共通認識が深まり、プロジェクトとしての一体感が出ると考え、次の国際会議を開催した。平成 23 年度、International Conference on Cognitive Neurodynamics2011 (ICCN2011, Niseko, Japan)、平成 25 年度、ICCN2013 (Sigtuna, Sweden) を共催するとともに班員の参加発表を行った。また、Dynamic Brain Forum (DBF) を 23 年度ニセコ（日本）、24 年度カルモナ（スペイン）、2013 年シグトゥナ（スウェーデン）で主催し、計画班ならびに選別された公募班の発表を行った。さらに、別の新学術領域である包括型脳科学研究推進支援ネットワーク（包括脳）会議に新学術領域として参加し、他の脳科学関係の新学術領域とシンポジウムを共同開催したり、公開で班会議を行ったり、ポスター発表を行ってきた。これら ICCN、DBF、包括脳での活動は本領域外の人とのコミュニケーションを促進し、それによって本領域としての共通認識が強化されると共に、研究項目間の共同研究を促進することに貢献した。研究項目間の個別の連携、共同研究としては以下のものが大きな成果を収めたものである。

(1) B01G4 水原班での他者の行動の模倣に関する EEG と fMRI での同時計測実験に関しては、A01G1 津田班との間で密な連携を持って研究を行った。連携は理論研究者がまず実際の実験現場の様子を見学するところから始めた。これは理論研究者にとって非常に教育的で、想像していた脳活動とは全く違う脳活動を見ることができ、新しい脳観を構築するのに役立った。この経験が津田班の第二種自己組織化原理の提案と機能分化に関する具体的な数学モデルの構築に直接結



びついた。

(2) B01G1 山口班と A01G2 西浦班の共同研究を行った。脳波の特性を異なる周波数の結合振動子系ととらえ、数理モデルを構築した。この研究における結合振動子系を興奮型の素子からなる神経ネットワークに発展させ、そのサドル・ノード分岐を利用したネットワーク修復に関する数理モデルを構築した。また、このテーマは A01G1 津田班でも研究しているテーマと深く関係するので、津田班と山口班、B01G3 奥田班との連携も研究室訪問を通じて議論し、さらなる研究展開を図った。

(3) C01G3 橋本班は行動実験の理論解析において A01G3 金子班、A01G1 津田班と複雑系解析に関して連携し、議論を重ねることでコンピューター上でバーチャルコミュニケーションシステムを構築し、シミュレーションすることで、行動実験で得られた意味生成および役割分担生成と類似の結果を得、理論解析を行うことができた。また、橋本班の行動実験の結果が確定した後に B01G3 奥田班と連携して意味生成および役割分担生成に伴う脳活動を脳波測定によって調べた。その結果、自分の過去の行動の記憶をもとに行動するときと比べて、相手の過去の行動に関する記憶を基に行動するとき、二人の脳波の特に θ 帯域 (5-8HZ) に位相同期が顕著に観測された。この結果は上の行動実験で得られた異なるストラテジー生成に関する脳神経系の機構を解明するための間違いなく大きな一歩である。

(4) B01G1 山口班と A01G3 金子班の間では大自由度力学系をふまえて実験を進め、脳波の同期クラスター化や同期と見えの関係についての結果を得た。

(3) 計画研究と公募研究の調和

公募研究は計画研究を補完する研究として位置付けているが、それは両者が異なるベクトルの方向を向いているという意味ではなく、コミュニケーション神経情報学という新分野を創出するという目標に向かってベクトルの方向は一致していなければならない。このために、いくつかの方策を考え実行した。

まず、平成 22 年度は包括脳会議において計画班の口頭発表を全員参加のもとで行い、続いて計画班、公募班すべてがポスター発表をした。このポスター発表には他の新学術領域、脳プロ、脳と心のプロジェクトの研究者などが集まっており、これらの人々を介して我々の領域研究者の間に自然と相互作用が生まれるようになった。これは計画班、公募班という区別はなく、本新学術領域として一体感が生まれた。また、他のプロジェクトの研究者からの評価も本領域としてのものであり、極めて高い評価をいただいた。この時点で領域全体としての意識がほとんどの班員の中に芽生えたと思われる。平成 22 年度の全体会議では、計画班、公募班の区別なく全ての班員が口頭発表を行い、活発な議論になった。チュートリアルがきっかけになり、公募班研究者から理論と実験の共同研究の難しさと必要性についての活発な議論が行われたことは計画班、公募班の調和のためには大変良かった。

さらに、平成 23 年度の ICCN2011、25 年度の ICCN2013、さらには 23 年度、24 年度、25 年度の DBF への参加発表は国際的な場での本領域プロジェクトの重要性を諸外国の研究者に知ってもらいきっかけになり、班員の中に一体感が生まれたのではないかと考えている。さらに、平成 23 年度の包括脳においては、本領域だけの班会議を行い、公募班の口頭発表に対して主に計画班員による質疑応答を行い、両者の相互作用が促進された。

前半期の公募班のほとんどは良く機能した。例えば、A01G1 の理論研究を B01K10 が鳥のコミュニケーションにおいて実証しようとし、その一部は実証されたが、異なる様相も発見され、研究が進展した。また、B01G1 の人のタッピング課題時の脳波の同期を発見したことを受け、B01K8 が同じ課題をサルで試み人と類似の脳波の同期を発見するなど計画班と公募班の間の共同研究でも成果があった。

後半期の公募班は前半期で領域研究の全体構想と計画班との共同研究という観点から機能した班を積極的に採用し、また前半期で研究が思ったほど進展しなかった班に代わって新しい班を計画班との共同研究の実効性の観点から採用した。その結果、非常に大きな成果が計画班と公募班の間で起こった。例えば、A01G1 は B01P4 の実験データを解析することで、従来知られていなかった新しい切り替え力学系を発見し、力学系を発展型力学系に拡張する理論的基盤を得た。A01G1 は B01P1 の実験データを数学的に根拠づける理論的枠組みを作り、サルの実験に意味を与えた。B01G1、C01G2 と C01P1 との共同研究において、自閉症児に交互タッピング課題をさせ、健常児と比較したところ、相手に合わせることを強いられる場面では前頭葉脳波の θ 波の振幅が異常に増加することが分かり、自閉症児のコミュニケーション能力の欠如の一部の脳内機構解明に向けた大きな一歩になった。

3. 研究領域の設定目的の達成度（3 ページ程度）

研究期間内に何をどこまで明らかにしようとし、どの程度達成できたか、また、応募時に研究領域として設定した研究の対象に照らしての達成度合いについて、具体的に記載してください。必要に応じ、公募研究を含めた研究項目毎の状況も記述してください。

当初計画

A01. 数理システム論（G1 津田、G2 西浦、G3 金子、各公募班）

カオス結合系である結合写像格子（CML）、大域結合写像（GCM）、結合振動子系、反応拡散系などを用いる。脳の異なる領野を持つ多様な時間スケールや非線形で動的な挙動を実現する相互作用の解析、ヘテロシステム間相互作用の新しい相を記述するために、結合要素をヘテロな要素に拡張することを試みる。全体として研究項目 A01 はコミュニケーションでの脳活動に想定され得るダイナミクスを数理理論的に数理モデルの構築、分岐解析、数値計算を通して解明し、また、実験系との共同研究を通じて、ヘテロ複雑系の数理理論を発展させる。

A01G1 は、脳内ヘテロシステム間相互作用の観点から異なる領野の相互作用系の新情報創成機構に関するカオスの遍歴の役割に関する研究を行う。A01G2 は、反応拡散系やその振動子系とのハイブリッド系の集団的振る舞いのモデル化と余次元 3 分岐と脳活動の関係を研究する。A01G3 は異なる時間スケールを持つ異種力学系の結合系におけるルール生成の機構を研究する。公募班はこれらを補完する。

B01. ヘテロ脳内システム間相互作用（G1 山口、G2 相原、G3 奥田、G4 水原、各公募班）

動的システムとしての脳の情報処理機構は、感覚依存のボトムアップ型相互作用と内在的な活動に依存するトップダウン型相互作用から成り立っており、そのダイナミックな処理過程を解明する。さらに、脳内相互作用が個体間コミュニケーションに及ぼす影響についても研究する。全体として研究項目 B01 はコミュニケーションでの脳活動を測定し、特徴的、典型的なダイナミクスを同定する。

B01G1 は脳神経回路の同期の生成崩壊に基づく認知情報生成機構に関する理論的研究に基づく実験研究を行い、B01G2 はトップダウンとボトムアップなどによる異なる入力情報の相互作用による情報表現の自己組織化メカニズムの解明を動物実験を通して行う。B01G3 は過去の経験と現在の状況から展望的記憶を動的に形成する人間の記憶メカニズムの解明をヒト脳の非侵襲計測により目指す。B01G4 はヘテロシステムにおける脳内回路の引き込み協調を基礎とする言語・非言語コミュニケーションの創発原理の解明を目指す。公募班はこれらを補完する。

C01. 個体間相互作用（G1 中村、G2 大森、G3 橋本、G4 阪口、各公募班）

個体間相互作用において、様々な時間スケールのダイナミクスが働く動的な引き込み協調によりコミュニケーションが実現されるとの仮説に基づき、コミュニケーションの創発メカニズムの解明を目指す。全体として研究項目 C01 は具体的なコミュニケーション機能の発生に関する行動課題を設定し、A01 の数理モデルを参考にして、B01 の脳活動測定との共同研究課題に発展させる。

動的インタラクションによるコミュニケーション機能の発生、及びコミュニケーションを支える基盤メカニズムの2つの視点で研究を進める。C01G1 は人や動物の行動と脳計測を用いて他者との相互作用を介した情報獲得の神経メカニズムの解明を目指す。C01G2 は社会的場面で人の役割分担が自律的に発生するメカニズムの計算モデル化を行なう。C01G3 言語的推論による意味生成メカニズムの理論的解明を目指し、C01G4 は人間の運動獲得場面におけるオンライン適応制御の脳内ダイナミクスの解明を目指す。公募班はこれらを補完する。

研究の達成度

開始から中間評価までの前半は数理システム論の主要理論であるカオスの遍歴理論、結合写像格子（CML）、結合振動子系、反応拡散系などの大自由度カオス力学系理論を領域全体の基本柱に据え B01、C01 の各研究項目の実験デザインの構築、実験データの解析を行うことで、研究項目 B01、C01 で、新しい実験研究の大きな成果が上がった。特に、（前 C）総括班並びに担当者とコミュニケーション課題を工夫することで、シンボルから意味生成、役割分担による言語としての使用に到る過程に三段階の過程が内在することを明らかにした。（前 B）二者による交互タッピング課題において共調動作と脳の大域的な領域での μ 波消滅、 γ 波の同期的出現が相関することが分かった。また、研究項目 A01 内でも数理モデルに新しい研究成果が生まれた。特に、（前 A）分岐としての記憶という新しい記憶概念を提唱することができた。

後半は、前半で上がった実験研究の成果に基づき、当初の数理理論が新しい理論へと発展するなど、理論と実験の相互作用によって大きな成果を上げることができた。計画班の間、計画班と公募班の間の共同研究に特段の成果があった。特に、（後 A-1）ヘテロ結合力学系における情報創成のひな型モデルを作り、

神経ネットワークモジュールの機能分化の数理モデルを考案した。(後 A-2) これらの研究と、成果のあった実験研究から第二種自己組織化という新しい自己組織化の原理を発見した。(後 B) 人指運動のコミュニケーション課題において自他の分離に関する脳波データが抽出された。(後 A-B) 実験データの新しい複雑系解析によって、ラットの意思決定課題において海馬の神経活動は複数の力学系の確率的切り替えの確率が時間発展するという新しい発展型力学系であることが分かった。(後 B-C) 前期で成果が上がった課題(前 C)を遂行中の脳波解析を行い、その神経機構の一部を明らかにした。(後 A-B-C) 交互タッピング課題を自閉症児に適用し、自閉症児のコミュニケーションにおける不具合に関する神経機構の一部を明らかにした。

前半は想定通りの成果が上がり、後半は想定していた以上の成果が上がり、全体として想定以上の成果が上がった。

以下、特に成果があったものから抜粋し、概略を述べる。

A01. 数理システム論

(1) 新しい記憶概念の提唱

コミュニケーションで重要な連想記憶は従来入力パターンをアトラクターとして表現されてきた。本研究において、入力に対する多様な応答を保証するための新たな記憶表現を提案した。入出力ペアを多段ニューラルネットで学習することで、各入力に対して、入出力ペアに応じた異なる分岐を経て出力への遷移を得た。すなわち、記憶を分岐として表現することができた。自発活動はカオスの遍歴で表現された。

(2) 可塑性と安定性の両立のための揺らぎ

コミュニケーションを可能にするためにシステムは可塑性と安定性を両立させる必要がある。多くの環境条件に適応できるように力学系を進化させることにより、適度なノイズ強度のもとで、揺らぎによって外界への適応性と進化的安定性が両立することが分かった。

(3) 古い記憶の保持と新しい記憶の両立

コミュニケーションでは古い記憶を壊さないで新しい記憶を作ることが必要である。それぞれに異なった記憶を複数学習した二つのヘテロシステムを相互作用させ、新規パターン駆動型学習を行うことで、ネットワークの活動がカオスの遍歴である時に両システムとも自分の記憶を失わないで他のシステムの記憶を学習することが分かった。ここで、新規パターン駆動型学習とは、各システムが自分にとって初めてのパターンが入力された時のみにヘブ学習を行うことを言う。

(4) ヘテロ結合による情報の受け渡しの可能性

コミュニケーションにおけるヘテロ相互作用のひな型モデルを作るために、大脳新皮質に見られる層間のヘテロ結合を参考にネットワークモデルを構築し、ヘテロ結合の情報創成能力を研究した。特に、二つの力学系のヘテロ結合力学系を調べ、位相差と情報流の関係、それを保証する振幅揺らぎに関する基礎方程式を導いた。

(5) ネットワーク修復

ネットワークコミュニケーションの欠損と修復を研究した。興奮型ユニットのネットワークの部分欠損が修復可能かどうかをサイクル結合に着目し、ネットワーク修復の条件を求めた。また、余次元3の分岐が修復に関係する可能性が示唆された。

(6) 第二種自己組織化原理の提唱

コミュニケーションでは環境の変化に対してロバストで即時の機能発現が必要になる。そこで、システムにかけられた制約条件下でシステムの要素が如何に機能分化するかを第二種自己組織化として研究した。なお従来の自己組織化は、システムの要素の相互作用によってシステムのマクロ状態が秩序化することを言う。第二種自己組織化は脳の機能分化や、コミュニケーションの時の役割発生など、広く機能発現に認められる一般的原理であると考えられる。具体例として、振動子をユニットとした対称性の高いランダム結合ネットワークから情報流に対する制約条件のもとでの発展の結果、自発的に対称性が破れ、モジュール間の結合が同期と逆同期に分化する様子などが観測された。

(7) 実験データから新しい力学系モデルの抽出

A01G1はB01P4のラットの意思決定課題における海馬の実験データを解析することで、脳活動が切り替え力学系の切り替え確率がある時間スケールで変化する新しい発展型切り替え力学系でモデル化されることを発見し、力学系モデルの理論的基盤を発展させた。また、A01G1はB01P1の実験データを数学的に根拠づける理論的枠組みを作り、サルの実験に対して新たな意義を与えた。A01G2はB01G1と共同研究し、脳波解析の結果を数理モデルによって基礎づけ、実験と理論の共同研究の基盤を構築した。

B01. ヘテロ脳内システム間相互作用

(1) コミュニケーションにおけるカントールコーディングの検証

カントールコーディングは、A01G1 の海馬 CA1 の数理モデルで理論的に予測され、B01K9 のラット海馬のスライス実験で一部実証されたが、コミュニケーション課題においても類似のコーディングが行われているかどうかを小鳥の歌制御系で研究した。カントールコーディングに見られる階層構造が観測され、必要条件が確認された。

(2) ヘテロな情報の相互作用による新しい条件づけ学習

トップダウン情報として電気刺激による罰（情動情報）、ボトムアップ情報として音刺激を用いてこれら2種の情報の相互作用が聴覚野においてどのような活動をもたらすかを解析し、音刺激がなくても電気刺激だけで音刺激を受けたかのような聴覚野の応答を観測することができた。この結果は電気刺激が扁桃体、前脳基底部を含む情動回路を通してトップダウン的な作用で聴覚野に音応答をもたらしたものと考えられ、コミュニケーションでのトップダウン神経機構の一部を明確に抽出したものである。

(3) 一時的な記憶の生成と保持を司る脳部位間の動的リンク

A01 の結果(3)とも関係する研究成果である。コミュニケーションで必要になる予測やプランに関係する展望的記憶に関わる脳領域の大域結合がどのように変化するかをfMRIによって計測し、前頭葉の中央実行系に関わる部位と海馬などの結合が動的に変化しているという結果を得た。こうしたコミュニケーションの内部表現に関わる記憶の保持を作業記憶の実験パラダイムを用いて脳波解析したところ、 α 波が感覚領域での記憶保持に関与し、記憶操作における中央実行系と感覚領域との間のリンクには θ 波の遠達同期と領域内 θ と α の2倍の周波数での同期が関与していることが判明した。

(4) 自己と他者の関係生成の神経ダイナミクス

コミュニケーションで必須である他者の意図推定に関わる神経機構の解明を目指した研究で大きな成果があった。二人の共同作業としての交互のボタン押し課題で、二人が共通のボタン押しリズムを獲得した状態での脳波解析を行い、二人のリズムが揃う時に、10Hz付近の脳波の同期・脱同期遷移が検出された。このような同期・脱同期遷移はカオス的遍歴で説明可能である。さらに、この実験をサル対サルに適用したところ、タッピング間隔は他者の倍か半分で同期した。次に、サルとビデオのサルとの交互タッピング課題を行い、脳皮質電図で測定したところサルはビデオサルのリズムに応じてリズムを調整した。このとき、前頭前野や体性感覚野に γ 波の活動が現れるが、視覚野や運動野には現れなかった。これはこれらの領域が同期の適応変化を司っている可能性を示唆する。さらに、ミラーを使った指のまね運動に対して、ミラーニューロンシステムを含めた領域で脳波解析を行ったところ、自他の分離感覚に伴う脳波成分を抜き出すことができた。この実験では遅延視覚呈示により自己主体感覚を喪失させることで、真にコミュニケーションする状況と、コミュニケーションの前段階を巧みに分離した。その結果、コミュニケーションの前段階において個体内の神経振動子の位相同期が崩壊し、その後、真のコミュニケーションにより個体間の神経振動子が引き込み同期することが見出された。

(5) 脳間同期現象の役割

交互に簡単な語列を発音するときの脳波解析を行った。二人の人と、人と機械で比較した。口語発話のリズムよく行ったときは、 θ 帯域から α 帯域(6-12Hz)にかけて人-人の時の方が人-機械の時より顕著に振幅増加がみられ、振幅の変動は側頭葉と外側頭頂葉の広い範囲にわたって二者間で同期した。これはコミュニケーションにおける自発的な時間スケール調整機構とその間の他者への共感を示唆している。

C01. 個体間相互作用

(1) 意図推定の階層構造

カードゲームにおいて他者の意図推定のレベル変化を測定した。保母さんと子供のカード遊びで子供が飽きない条件は保母さんが常に子供より一つ上の推論を行うことであることが観測された。この結果を意図推定の種々のレベルをプログラム化されたロボットを使って、ロボットと子供のゲームに適用し、上の仮説を確認した。

(2) コミュニケーションにおけるシンボル使用と意味生成

記号コミュニケーションゲームを題材に、二人の被験者の間で記号に共通の意味が発生する過程を観察し、その過程のモデル解析を行った。シンボルの共通使用、シンボルへの意味付与、役割分担の発生この三つの過程が明確に分離され、コミュニケーションにおける意味生成のプリミティブが得られたと考えられる大きな成果である。このときの脳内過程を解明するために、C01G3とB01G3との共同研究を行い、ゲーム中の二人の脳波の同時計測を行った。その結果、自己の過去の行動記憶に基づいて意思決定するときよりも他者の過去の行動記憶に基づいて意思決定するときの方が θ 帯域で両者に顕著な位相同期が見ら

れるなど、言語生成の過程に対する神経機構の一端が解明された。

(3) 間欠的制御

身体性の制約のもとで、連続的運動を時間方向に適応的に分節し、分節した各区間で前向き制御を行なう間欠的制御の原理を定式化した。この原理を含めて種々の制御モデルの振舞いをヒトの振舞いと対比して、ヒトの運動特徴を説明できるかどうかを検証した。その結果、間欠的に前向き制御を行なうモデルのみがヒトの特徴を説明できること、さらに、適応的に分節を行なう提案モデルが最も分節数が少ない（つまり、運動計画の更新頻度が低い）ことが明らかになった。

(4) サル同士の競合ゲームにおける脳活動

サルが他のサル、人、コンピューターと対戦するシューティングゲームを行う時のニューロンの活動を計測した。サル対サルの場合が有意に早く反応した。また相手が何かを区別するニューロンが前帯状皮質で見つかった。

(5) 自閉症の脳活動への展開

B01の成果(4)を自閉症児に適用し、大きな成果が上がった。二つの計画班 B01G1、C01G2 と公募班 C01P1 との共同研究を総括班と A01G1 が推進した。自閉症児に交互タッピング課題をさせ、健常児と比較したところ、他者に合わせる環境のもとでは前頭葉脳波の θ 波の振幅が異常に高まることが分かり、自閉症児のコミュニケーション能力の欠如に対する脳内機構の一部が明らかになり、その全容解明に向けた大きな一歩になった。

4. 研究領域の研究推進時の問題点と当時の対応状況（1ページ程度）

研究推進時に問題が生じた場合には、その問題点とそれを解決するために講じた対応策等について具体的に記述してください。また、組織変更を行った場合は、変更による効果についても記述してください。

研究期間中を通じて研究に重大な支障をきたすような問題は発生しなかった。ただし、次の二点に留意し、必要な対策を講じた。

（1） 中間評価時の内部評価で指摘があったように、前期公募班の中には若干ではあるが本領域の目標に対する意識が低いと思われるものがあった。

⇒ これに対して、領域代表の津田が公募班を含めた全班員に対して、本領域の目標、意義、公募班の役割についてレターメッセージや全体会議を通して徹底した。特に効果的だったのは、若手研究者数名に依頼して全体会議の前に各研究項目ごとに1、2日かけて問題点を洗い出す事前会議を主催してもらったことである。これには領域代表はすべて出席し、他の計画班員は可能な会議に参加した。これで共通の問題意識、また解決すべき課題が見つかり浸透していった。さらに、この内部評価の指摘に留意し、後期での公募班は前期の成果をさらに発展させられる共同研究につながる研究を選んだ。

（2） 異分野交流の難しさ、理論と実験の融合研究の難しさは言うまでもないが、コミュニケーション神経情報学の確立には異分野の革新的な融合が不可欠であった。

⇒ チュートリアル、全体会議、総括班会議でこの点を強調し、新概念の創出による問題解決を図った。特に、研究開始直後に総括班会議を開催し、各計画班の研究計画を練り直し、C01の実験計画を中心に、徹底的な議論を行い、実験課題自体を見直したことが領域研究の成功につながった。また、その結果、各研究項目間、また計画班と公募班の間の共同研究が生まれ、画期的な成果も生まれた。理論主導で実験計画を立てて成果が生まれ、またその成果を解析する中で新しい理論体系が創出されるという理論と実験の融合研究が成功した。

5. 研究計画に参画した若手研究者の成長の状況（1ページ程度）

研究領域内での若手研究者育成の取組及び参画した若手研究者の研究終了後の動向等を記述してください。

本領域の目標として「理論と実験の協働」がある。従来においても理論と実験の融合を謳う研究プロジェクトは存在したものの、理論研究者もしくは実験研究者のいずれかが主導する研究にとどまっていることが多い。特に実験の現場を知る機会を得ることが困難な理論研究者が多く、このことが理論と実験の協働の実現において障壁となってきた。理論と実験の協働を真に成し得る新たな領域を構築するためには、特に若手研究者において理論と実験の両方を理解することが不可欠であった。

そこで本領域では総括班が主導して、理論研究班の若手研究者を実験研究班に派遣する取り組みを実施した。これは実験研究の現場を体験させるとともに、実験データの理論解析を実験研究者とともに進めることを目的としている。この成果は共著論文の発表のみにとどまらず、若手研究者の意識改革や研究スタイルを良い方向に変えることに役立つものと思われる。さらに、通常の実験研究者が忌避しがちな数理理論に関するチュートリアルを、全体会議などの全班員が参加する機会において総括班が主導して実施した。この際において、博士課程の学生などが全体会議に参加するための旅費を総括班が負担するなどして、積極的に若手研究者が参加できる環境を提供した。このことは若手の実験研究者においても、研究の方向性を決定する際に理論的背景を意識することに役立っている。

また、新たな領域を構築するため、上記のような理論と実験の協働を意識できる後進を育成することを目的として、各班において積極的にポスドク研究員を雇用した。領域実施中および終了後において、複数のポスドク研究員が国内外の大学機関において講師や助教などの職を得ることにつながっている。また、研究プロジェクトに参加した博士課程の学生においても、大学での助教の職や学術振興会のPDに採用されるなど、領域での取り組みは、新たな学術領域を形成するために着実な成果を挙げたものと言える。若手研究者が研究を継続できる環境を得たことは、将来にわたる学術領域の醸成において、重要な役割を担うものと期待される。

6. 研究経費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）（1 ページ程度）

領域研究を行う上で設備等（研究領域内で共有する設備・装置の購入・開発・運用・実験資料・資材の提供など）の活用状況や研究費の効果的使用について総括班研究課題の活動状況と併せて記述してください。

新たな学術領域としての今後の持続的な発展性を考えた場合、通常の研究活動に加えて若手研究者の育成および当該分野の魅力を広く周知する努力は必要不可欠となる。また本領域では、単に独立した複数の研究課題の寄せ集めとした領域ではなく、計画班・公募班の実質的な連携を重視している。このような観点から、本領域では総括班・計画班・公募班を含めて以下の項目に対して積極的に研究費を支出することで領域を推進してきた。

- (a) 若手研究者育成
- (b) アウトリーチ活動
- (c) 共同研究推進

(a) 若手研究者育成

若手研究者の育成を目的として、全体会議への出席について大学院生の旅費の補助を総括班経費により行った。全体会議は年 2 回、全班員の参加を原則として実施してきたが、延べ 26 名の大学院生に対して全体会議参加の旅費補助を総括班から支出した。さらに、各計画班・公募班においても直接的に研究課題に携わる大学院生を、各班の研究経費により積極的に全体会議に参加させてきた。このことにより、全体会議内での実験研究者向けの数理理論のチュートリアルを受講する機会を提供できたとともに、先端的な研究を実施する理論研究者、実験研究者との直接的にコミュニケーション可能な機会となり、理論と実験の両方を理解できる能力の涵養に有益な経費使用であったと言える。

また理論と実験の両方を理解可能な若手研究者育成の観点から、理論研究班に所属する大学院生・ポスドク研究員を実験班に派遣して、実験研究の現場を見学し実験研究者と共同で研究する機会を提供した。このための延べ 8 名の旅費を総括班経費から支出した。その他、大学院生や若手研究者を対象にして脳科学研究の実験手法や数理理論のトレーニングコースを班員が主導して開催し、この実施に際して参加のための旅費支援を総括班経費により行うなど、若手研究者育成に対して重点的な経費支出を行った。

(b) アウトリーチ活動

ニュースレター等の印刷物による取り組みとともに、学会やシンポジウム等の主催・共催によるアウトリーチ活動を推進している。関連分野の世界的な研究者を招聘して国際学術集会(Dynamic Brain Forum @ Carmona, Spain)を領域が主催するとともに、領域に密接に関連する国際会議(ICCN2011 @ Niseko, Hokkaido および ICCN2013 @ Sigtuna, Sweden)を共催して班員の参加を促すことで、領域内の活動および研究成果を世界に発信している。

また領域では学術分野以外の一般へのアウトリーチ活動にも重点を置いて総括班活動を推進してきた。特に、高校生を対象とした理科教室を平成 23 年から 25 年にかけて実施し参加者から好評を得ている。またサイエンスカフェや大学学園祭などにおいて班員が積極的にアウトリーチ活動を行うとともに、最終年度においては一般向けのシンポジウムを開催することで広く領域の活動を公開してきた。これらの一般を対象としたアウトリーチ活動は研究活動のための原資を負担する納税者の理解を得ることに必須であるとともに、領域を担う可能性を秘めた次世代の若手研究者を生み出すために有益であると考えられ、領域において戦略的に経費を支出してきた。

(c) 共同研究推進

総括班会議を開催することで領域内の計画班・公募班の共同研究を促進するための方策を検討するとともに、平成 24 年度の研究費の追加配分においては、共同研究を実施する計画に対して重点配分した。この方策に基づき各計画班・公募班においても積極的に共同研究を目的とした設備備品を導入してきた。その一例として、B 班と C 班の共同研究においては、その目的達成のために脳波計測システム(H21-23 合計: 約 1700 万円)が導入されているとともに、追加配分経費により実験用ディスプレイ(H24 約 200 万円)を導入するなど、共同研究を目的とした設備備品の購入を進めてきた。

以上のように、本領域では総括班の主導により、新たな学術領域を構築することを目的として上記項目に対して戦略的に経費使用を行ってきた。

7. 総括班評価者による評価（2 ページ程度）

総括班評価者による評価体制や研究領域に対する評価コメントを記述してください。

評価要綱に記載の基準に基づく内部評価委員の領域評価結果は下記のとおりである。

評価者	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	総合評価
甘利俊一	A+	A	A+	A	A+	A+	A+
木村實	A+	A	A+	A	A	A+	A+
沢田康次	A	A	A+	A	A	A	A
鈴木良次	A+	A+	A+	A	A+	A	A+

(a)研究領域の設定目的の達成度, (b)研究成果, (c)研究組織, (d)研究費の使用, (e)当該学問分野、関連学問分野への貢献度, (f)若手研究者育成への貢献度. 評価は A+, A, A-, B, C の 5 段階

各評価委員の評価所見を下記に記載する。

甘利俊一（理化学研究所脳科学総合研究センター・特別顧問）

脳は人を人たらしめる器官であり、その働きが社会と文明の根幹にある。その解明に当たっては、生命科学のみならず、人間科学、情報科学、さらに複雑系科学と数理科学などの方法が重要な役割を果たす。本研究は、上記の多くの異なる分野を結集して、脳科学の新しい学術領域を形成することを目指した。具体的には脳内のシステム間のコミュニケーションおよび個体間のコミュニケーションの神経機構の解明を目標に据えている。

このため、理論研究者と実験研究者を結集して、双方を融合する研究組織を作り、柔軟で意欲的な若手研究者を活用している。これは困難な道ではあったが、領域の基本方針と指導理念がよく浸透し、この難しい課題に意欲的に取り組み、思った以上の良い成果を挙げたと評価できる。

具体的には、数理脳科学や脳コミュニケーションに関して、多くの優れた成果が得られているが、より重要なことは、あたらしい研究領域の創設であり、これに伴う意欲的な若手研究者の育成である。さらに、脳は心と文明にかかわることから、市民との交流を数多く実践した。領域全体を高く評価したい。

木村實（玉川大学・教授）

本領域は、コミュニケーションの脳内機構の解明と神経情報学の開拓という目的を設定し、人と動物による実験研究と数理理論分野の先端的な研究者を結集して、個別、そして融合的な研究を行った。目的に照らして、期待以上の成果があったと総括できる。中間評価までの期間では、3つの研究項目がそれぞれの項目独自の研究を実施し、伝統的な個別研究の延長という印象が残り、研究成果も物足りなさを感じたが、後半には、領域代表者の努力によって領域研究者間の連携研究も積極的に推進され、研究領域全体で十分な研究成果を挙げた。関連学問分野にも少なからず貢献した。コミュニケーション神経情報学の開拓のためには、研究項目 A01 と C01 の融合が欠かせないが、本領域の成果を基にそのような研究が更に発展することを期待する。国際学術集会を主催し、研究成果を世界に発信する努力は高く評価できる。アウトリーチ活動や、若手研究者のキャリアパス形成にも領域を挙げて取り組み、高い成果を挙げている。

沢田康次（東北大学・名誉教授）

脳は、そのハードウェアの数と種類、ネットワークの複雑さ、およびその機能の多様さから考えて、自然界に存在する複雑系の極限に位置するシステムである。現代科学もその全貌の理解には程遠い。このような対象の研究にはトップダウン的手法が極めて重要であることは言を待たない。

本領域研究は、わが国の複雑系の理論的研究をリードする代表者と研究者を中心に、さまざまな実験手段を持って業績を上げてきた実験脳科学が協同し、「ヘテロな要素」をハードウェア研究の切り口とし、「コミュニケーション」を脳機能研究の切り口として、この超複雑系に光を与えようとしたものであり、特徴ある構成となっている点評価できる。

成果については、学習におけるハードのヘテロ化、記憶やネットワークのヘテロ化などメンバーのこれまで積み上げた理論を十分活用して成果を挙げ、また、「コミュニケーション」においては多くの目覚し

い実験的成果を挙げたことは高く評価できる。

これらの業績は、今後、脳のシステム論の育成を助け、脳の理解を進める研究に貢献するものとする。

鈴木良次（金沢工業大学・顧問）

本領域は、人間や動物のコミュニケーションの理解のためには、ヘテロで複雑な脳内システムおよび個体間相互作用のダイナミクスの解明が重要との立場から、理論と実験の両面からその解明に取り組み、期待以上の大きな成果を得ている。数理システム論的には、新しい記憶概念の提唱から始まって、第2種自己組織化原理の提唱など、脳内ヘテロシステムの実験では、カントールコーディングの検証、自己と他者の関係生成のダイナミクスの解明など、個体間相互作用の研究では、意図推定の階層構造、シンボル使用と意味生成など。これらの成果は、理論と実験両面のアプローチの連携によるところが大きく、そのことに工夫をこらした領域代表者と総括班の果たした役割は大きい。若手研究者の育成、広報活動も適切に行われていて、コミュニケーション神経情報学という新しい学術領域の発展が期待される。なお、当初の目標であるコミュニケーションにおける自律的役割分担と協調行動の出現のメカニズムについては、上記の成果を集約することで解明されると期待している。

8. 主な研究成果（発明及び特許を含む）【研究項目毎または計画研究毎に整理する】

（3ページ程度）

新学術領域研究（公募研究含む）の研究課題を元に発表した研究成果（発明及び特許を含む）について、現在から順に発表年次をさかのぼり、図表などを用いて研究項目毎に計画研究・公募研究の順に整理し、具体的に記述してください。なお、領域内の共同研究等による研究成果についてはその旨を記述してください。

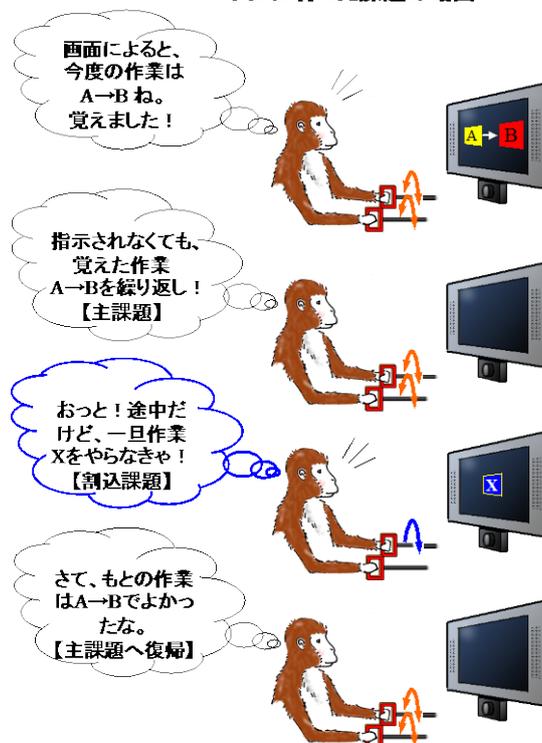
領域研究により得られた研究成果は多岐にわたるため、主な研究成果の一部を、共同研究、研究項目ごとに下記に示す。

【共同研究】

主課題と割り込み課題からなる二重課題遂行に関する内側・外側高次運動野の機能連関（A01G1-B01P1）

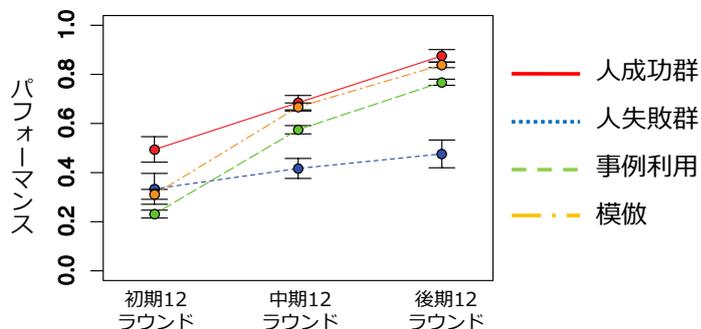
ヒトがある作業（主課題）に取り組んでいる時、外部から電話など別の用件（割り込み課題）が割り込んでくることがある。このようなときは、一旦主課題を棚上げにし、割り込み課題に対応した後、主課題を再開することができる。脳は、どのようにしてこの種の「複数課題の並列処理」を可能にしているのだろうか。これを調べるために、右の図のように、ニホンザルに主課題と割り込み課題からなる運動課題を訓練したところ、サルは割り込み課題に対応した後でも、元の主課題をほとんど間違えずに行えるようになった。課題を行っている時のサルの脳活動を、前頭葉の外側・内側に位置する複数の高次運動野、及び運動に直接的に関与する一次運動野と呼ばれる領域から多数記録した。その結果、同じ運動を行う場面であっても、それを主課題の中で行うのか、あるいは、割り込み課題の中で行うのかによって、脳の領域間での活動の同期レベルが異なることが明らかになった。このことは認知症などで注意が障害される病態の理解につながる事が期待される。

サルが行った課題の略図



言語的推論と連続ダイナミクスの相互作用による意味創造メカニズムの解明（B01G3-C01G3）

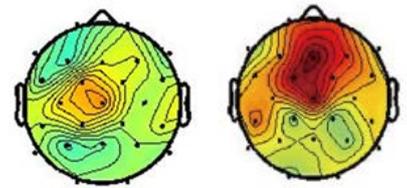
コミュニケーションを、相互理解のみならず、新しい情報や意味を作る活動と捉え、動的・生成的コミュニケーションの基盤メカニズムを検証した。これまで、記号が指示する字義通りの意味のみならず記号により伝えられる言外の意味も共有することができるコミュニケーションシステムがいかんして形成されるかを研究してきた。われわれが用いる方法論は、実験記号論の枠組みを用いた言語共創実験、この実験の認知アーキテクチャによるモデル化、課題実施中の二者同時脳波計測という複合的なアプローチである。この研究を通じて、コミュニケーションシステムが二者間の相互作用を通じて成立する過程には、共通基盤の構築、記号システムの共有、役割分担の形成の3つのステップがあり（実験より）、その形成過程で相手の行動を反転させて模倣する戦略が使われている可能性が示された（モデルより）（右図）。そして脳波計測からは、記号システムを共有する段階では左側頭葉における記号の間違い検出と考えられる活動が見られること、および、役割分担形成段階では左側頭葉における行動の間違い検出から右前頭葉における行動ルールの学習と考えられる活動の遷移が見られることが示唆された。



発達障害者におけるコミュニケーション障害のメカニズム解明（B01G1-C01P1）

発達障害者はコミュニケーションの障害を有することが多い。そこで、その基盤を明らかにすることで、学習や教育、更には社会支援に生かすことを目的として B01G1 班と C01P1 班が共同で、協調タッピング課題を行った。自閉症者と対照者に対して、相手のリズムに合わせられるか、急な変動に対応できるか、自分

のリズムについて、などを行動と脳波で測定した。今年度はその解析を進めた。行動レベルでは、自閉症者は急な変更への対応が困難であった。脳波では、相手がタッピングしている時に、前頭葉のθ波の振幅が自閉症群で大きく、相手の行動時に考えている（予測している）ことが示唆された。更に新たな課題も行った。自閉症者は視覚優位と言われるが、視聴覚の情報処理過程について、脳波と NIRS で同時計測することで比較した。視覚か聴覚優位かどちらかに偏りやすいが、特に視覚という訳ではなく、バランスをとりにくいということが明らかになった。

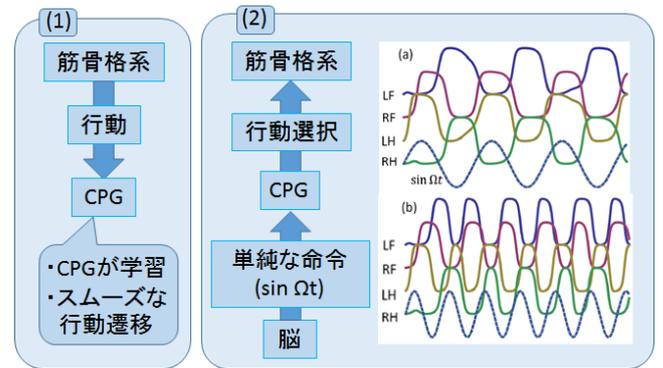


健常群 発達障害群
コミュニケーション中、相手の行動時のθ波の振幅

【項目 A01】

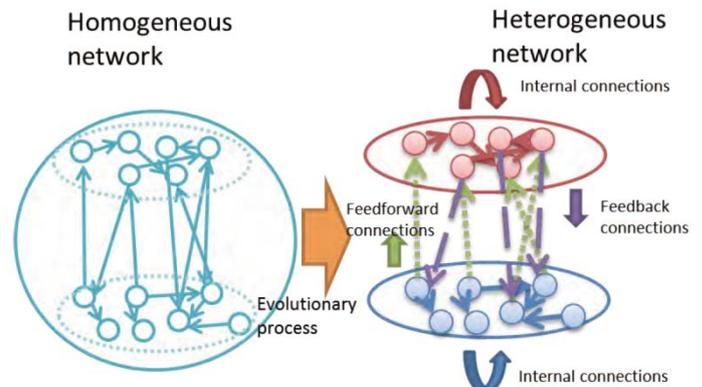
ヘテロな振動数の振動子群を用いた脳の高機能情報処理能力の解明 (A01P5)

生物の行動は身体と神経と環境により決定され、脳からは単純な命令しか出ていないと言われている (Taga 1991)。また、受動歩行ロボットは制御を必要とせず身体だけで行動が可能である (McGeer 1990) ということや、損傷した神経がリハビリ等の運動で再生することが数多く確認されている。このため、多くの生物は筋骨格系のみで基本的な動作は可能であり、それを CPG と呼ばれる神経振動子が学習しているという仮定で研究を行ってきた。特に四脚動物は様々な歩容をとることから良いモデルケースとなっている。これまでに本班では筋骨格系の特性に合った歩容に自発的に歩容が遷移するメカニズムを数理モデルであらわした。今回は粘菌の記憶・想起モデルで用いた2種類の緩和時間を持つ振動子群を改良することにより、行動を記憶する CPG モデルを構築した。その結果、身体的に最適な動きを CPG が記憶し、2度目からはスムーズな行動選択が可能なシステムを構築した。また、この結果得られる CPG は脳から単純な命令を行うだけで最適な歩容を選択することが可能であることを示した。



動的脳の情報創成とカオスの遍歴の役割 (A01G1)

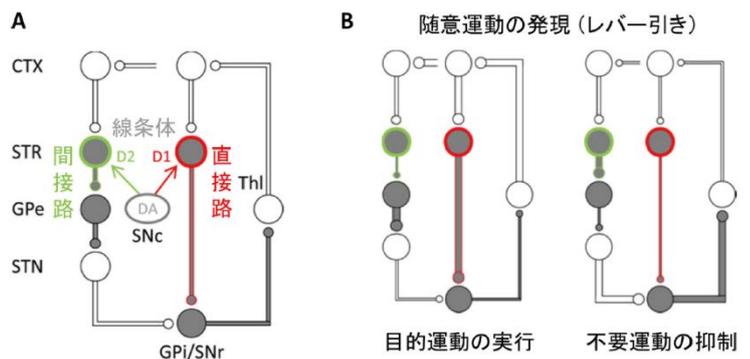
脳においてヘテロな構造が発達した過程を計算論的な観点から解明するための枠組みを、双方向情報量伝搬の最大化という原理により数理モデルを深化させる実験をもとに構築した。2つのモジュールからなる振動子ネットワークを考え、モジュール間に双方向に伝達される情報量を最大化するという選択圧のもとネットワークを進化的手法により発達させることにより、モジュール間結合やモジュール内結合においてヘテロ性が発達することが明らかになった。これらの結果は双方向にやりとりする情報をなるべく増やすという情報理論的な要請が、脳のヘテロ構造の形成を促進した可能性を示唆している。



【項目 B01】

運動指令のトップダウン形成とボトムアップ形成を担う皮質回路機構 (B01P6)

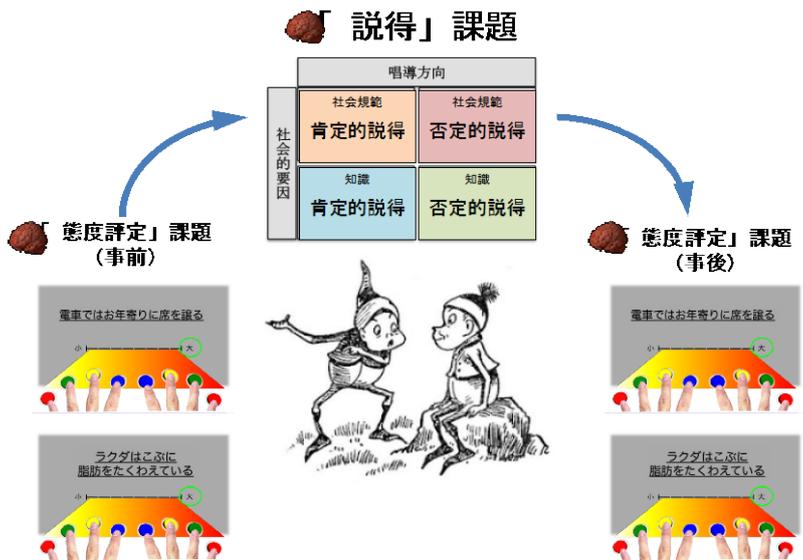
大脳皮質の運動野は、大脳基底核と協調して運動指令を生成し、随意運動を発現する。1990年、DeLongらは、大脳皮質-基底核ループの興奮性細胞と抑制性細胞の組み合わせから、線条体の直接路投射細胞（ドーパミン D1 受容体発現）の活動は大脳皮質を興奮させ、間接路投射細胞（D2 受容体発現）の活動は大脳皮質を抑制するという拮抗的なバランスによって、運動発現が制御され



るといふ仮説を提唱した。この DeLong 仮説は広く信じられているが、個々の直接路細胞と間接路細胞が拮抗的な運動情報を伝えていることを実際に検証した研究は皆無であった。そこで本班では、ラットに前肢でレバーを操作する行動課題を遂行させたときに、単一の線条体細胞の発火活動を傍細胞（ジャクスタセラー）記録して解析し、さらに *in situ* ハイブリダイゼーション法を組み合わせ、その記録細胞が直接路細胞（D1 発現）か間接路細胞（D1 非発現）かを可視化同定する実験を試みた。その結果、線条体細胞は、D1 受容体の発現の有無にかかわらず、運動の実行中に活動が増加するものもあれば、停止中に増加するものもあった。このことは、運動発現の制御は直接路と間接路の単純な拮抗的バランスによるものではなく、運動の各過程（おそらく準備、開始、実行など）に直接路と間接路がそれぞれ複雑かつ協調的に関与していることを示唆している。さらに、このような運動に関連する活動は、D1 受容体の発現にかかわらず、報酬予測により増加することが判明した。すなわち、線条体（運動系ループ）へは、黒質緻密部からのドーパミン入力以外の報酬情報が伝わっている可能性がある。今回の研究は、DeLong 仮説を完全否定するものではないが、大脳基底核は運動の「アクセルとブレーキ」に例えられるほど単純な拮抗関係の仕組みにはないことを示している。

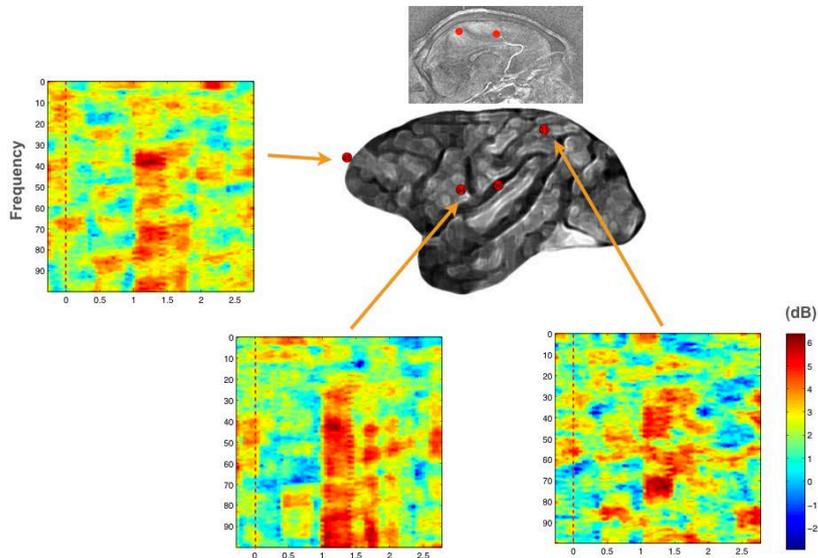
【項目 C01】
社会規範の価値表現とその認知的変容の神経基盤 (C01P2)

社会規範の価値表現とその認知的変容の神経基盤を明らかにするため、社会規範およびその対照としての雑学的な知識について、どれだけ賛成であるかの態度を評定する課題（態度評定課題）と、それらの態度を言葉による説得によって変容させる課題（説得課題）とを考案（右図）し、これらの課題を遂行中の脳活動を、機能的磁気共鳴画像法を用いて計測した。言葉による説得をおこなった社会規範や雑学に対する態度は有意に変化した。この説得課題遂行中、社会認知に関係することが先行研究で示されてきた脳領域（前頭前野内側部、側頭頭頂接合部、側頭極）が、社会規範に対する説得に対して、雑学に対する説得よりも、有意な活動上昇を示した。また、社会規範に対して異を唱えるような説得に対して特異的に、左中側頭回が有意な活動上昇を示した。さらに態度評定課題遂行中には、社会規範に対して賛成の度合いが低いほど、左縁上回が有意な活動上昇を示した。これらの結果は、言葉によって社会規範を考え直すような説得をおこなうと左中側頭回が反応し、左縁上回における社会規範の価値表現が変容することを示唆している。



サル間同調行動における脳内統合過程の解明 (C01P3)

サルに 128ch 皮質脳波電極 (ECoG) を埋設し、ボタン押し課題中のサル (rMonkey) の脳活動データを計測・解析した。128ch-ECoG は大脳左半球皮質表面上におかれ、前頭前野、補足運動野、運動野、体性感覚野、頭頂野、側頭野、視覚野、前帯状野などの内壁部に広く電極を留置した。サルが同調行動を生じる際の脳内の活動を検討するため、課題中のサル前面にモニターを設置し、ボタン押し課題を行っている別のサルのビデオ (vMonkey) を提示した。ビデオの再生スピードを課題中に変化し、その変化に伴ってサルがボタン押しのスピードを変化させた際の脳活動を抽出した。まず rMonkey の運動



変化に関係なく、vMonkey の速度変化について活動の変化が見られた領域を抽出したところ、刺激や運動関連（運動野、視覚野、聴覚野(STG)、前頭前野）領域に広く活動変化が見られた。またこの変化を詳細に分析するために vMonkey の速度変化前後の活動パターンを時間-周波数解析したところ、速度変化後、1～1.5 秒後に、40～70Hz の広域なガンマバンド帯で変化が見られた。一方、vMonkey の速度変化に伴って生じる rMonkey の行動変化時には、体性感覚野(TPJ、 STS)および内壁部、前頭前野に活動の変化が見られたが、視覚野や運動野には活動の変化は見られなかった（右図）。これらの結果から、同調行動には上記の領域が関与していることが推測された。

9. 研究成果の取りまとめ及び公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公開發表等）（5 ページ程度）

新学術領域研究（公募研究含む）の研究課題を元に発表した研究成果（主な論文、書籍、ホームページ、主催シンポジウム等の状況）について具体的に記述してください。論文の場合、現在から順に発表年次をさかのぼり、計画研究・公募研究毎に順に記載し、研究代表者には二重下線、研究分担者には一重下線、連携研究者には点線の下線を付し、corresponding author には左に*印を付してください。また、一般向けのアウトリーチ活動を行った場合はその内容についても記述してください。

【論文、書籍】

計画研究

A01G1 津田一郎

1. *Ichiro Tsuda, Chaotic itinerancy, Scholarpedia, Vol. 8(1), 4459 (2013)
2. H. Kang, *I. Tsuda, Dynamical analysis on duplicating-and-assimilating process: Toward the understanding of mirror-neuron systems, J. of Integrative Neuroscience, Vol. 11(4), 363-384 (2012)
3. *Takuma Tanaka, Toshio Aoyagi, Multi-stable attractors in a network of phase oscillators with three-body interactions, Physical Review Letters, Vol. 106(22), 224101 (2011)
4. *Y. Yamaguti, S. Kuroda, Y. Fukushima, M. Tsukada, I. Tsuda, A Mathematical Model for Cantor Coding in the Hippocampus, Neural Networks, Vol. 24, 43-53 (2011)
5. Hunseok Kang, *Ichiro Tsuda, On embedded bifurcation structure in some discretized vector fields, CHAOS, Vol. 19(3), 033132-1 - 033132-12 (2009)
6. *I. Tsuda, Hypotheses on the functional roles of chaotic transitory dynamics. Chaos (Woodbury, N.Y.), Vol. 19(1), 015113 (2009)

他 29 件

A01G2 西浦廉政

1. *Yasumasa Nishiura, Takashi Teramoto, Masaaki Yadome, Heterogeneity-induced pulse generators, Lecture Note Series in Mathematical Sciences Based on Modeling and Analysis, 147-152 (2013)
2. *Kei-Ichi Ueda, Seiji Takagi, Toshiyuki Nakagaki, Tactic direction determined by the interaction between oscillatory chemical waves and rheological deformation in an amoeba, Physical Review E, Vol. 86, 011927 (2012)
3. *Yasumasa Nishiura, Takashi Teramoto, Xiaohui Yuan, Heterogeneity-induced spot dynamics for a three-component reaction-diffusion system, Communications on Pure and Applied Analysis, Vol. 11(1), 307-338 (2011)
4. *Yasumasa Nishiura, Takashi Teramoto, Collision dynamics in Dissipative Systems, Theoretical and Applied Mechanics Japan, Vol. 59, 13-25 (2011)
5. *Kei-Ichi Ueda, Seiji Takagi, Yasumasa Nishiura, Toshiyuki Nakagaki, Mathematical model for contemplative amoeboid locomotion, Physical Review E, Vol. 83(2), 021916 (9pages) (2011)
6. *Peter van Heijster, Arjen Doelman, Tasso J Kaper, Yasumasa Nishiura, Kei-Ichi Ueda, Pinned fronts in heterogeneous media of jump type, Nonlinearity, Vol. 24(1), 127-157 (2010)

他 8 件

A01G3 金子邦彦

1. *Chikara Furusawa, Kunihiko Kaneko, Epigenetic feedback regulation accelerates adaptation and evolution, PLoS ONE, Vol. 8, e61251 (2013)
2. *Masayo Inoue, Kunihiko Kaneko, Cooperative Adaptive Response in Gene Regulatory Networks with Many Degrees of Freedom, PLoS Computational Biology, Vol. 9(4), e1003001 (2013)
3. *Tomoki Kurikawa, Kunihiko Kaneko, Embedding Responses in Spontaneous Neural Activity Shaped through Sequential Learning, PLoS Computational Biology, Vol. 9, e1002943 (2013)
4. Chikara Furusawa, *Kunihiko Kaneko, A Dynamical-Systems View of Stem Cell Biology, Science, Vol. 338, 215-217 (2012)
5. *Chikara Furusawa, Kunihiko Kaneko, Adaptation to optimal cell growth through self-organized criticality, Physical Review Letters, Vol. 108, 208103 (2012)
6. *Kunihiko Kaneko, Weber's Law for Biological Responses in Autocatalytic Networks of Chemical Reactions, Physical Review Letters, Vol. 107, 048301 (2011)

他 19 件

B01G1 山口陽子

1. *Keiichi Kitajo, Yumi Nakagawa, Yutaka Uno, Ryohei Miyota, Masanori Shimono, Kentaro Yamanaka, Yoko Yamaguchi, A manipulative approach to neural dynamics by combined TMS-EEG. Advances in Cognitive Neurodynamics, Vol. 3, 155-160 (2013)
2. *Florence Kleberg, Keiichi Kitajo, Masahiro Kawasaki, Yoko Yamaguchi, Prestimulus neural oscillations contribute to recollection and familiarity. Advances in Cognitive Neurodynamics, Vol. 3, 717-725 (2013)
3. *Takashi J. Ozaki, Naoyuki Sato, Keiichi Kitajo, Yoshiaki Someya, Kimitaka Anami, Hiroaki Mizuhara, Seiji Ogawa, Yoko Yamaguchi, Traveling EEG slow oscillation along the dorsal attention network initiates spontaneous perceptual switching. Cognitive Neurodynamics, Vol. 6, 185-198 (2012)
4. *Keiichi Kitajo, Ryohei Miyota, Masanori Shimono, Kentaro Yamanaka, Yoko Yamaguchi, State-dependent cortical synchronization networks revealed by TMS-EEG Recordings. Advances in Cognitive Neurodynamics, Vol. 2, 145-148 (2010)
5. *Kawasaki M, Kitajo K, Yamaguchi Y, Dynamic links between theta executive functions and alpha storage buffers in auditory and visual working memory. The European journal of neuroscience, Vol. 31(9), 1683-9 (2010)
6. *Naoyuki Sato, Yoko Yamaguchi, A Computational Predictor of Human Episodic Memory Based on a Theta Phase

他 7 件

B01G2 相原威

1. Masashi Kondo, Tatsuo Kitajima, Satoshi Fujii, Minoru Tsukada, *Takeshi Aihara, Modulation of synaptic plasticity by the coactivation of spatially distinct synaptic inputs in rat hippocampal CA1 apical dendrites. Brain research, Vol. 1526, 1-14 (2013)
2. Yoshihiko Yamazaki, *Satoshi Fujii, Takeshi Aihara, Katsuhiko Mikoshiba, Activation of Inositol 1, 4, 5-trisphosphate receptors during preconditioning low-frequency stimulation leads to reversal of long-term potentiation in hippocampal CA1 neurons, Neuroscience, Vol. 207, 1-11 (2012)
3. Yoshihiko Yamazaki, *Satoshi Fujii, Jun-ichi Goto, Toshimichi Sugihara, Makoto Sugita, Hiroki Fujiwara, Kenya Kaneko, Takeshi Aihara, Katsuhiko Mikoshiba, Suppressive effect of preconditioning low-frequency stimulation on subsequent induction of long-term potentiation by high frequency stimulation in hippocampal CA3 neurons. Brain research, Vol. 1449, 15-23 (2012)
4. *Yoshinori Ide, Takashi Miyazaki, Johan Lauwereyns, Minoru Tsukada, Takeshi Aihara, Optical imaging of plastic changes induced by fear conditioning in the auditory cortex, Cognitive Neurodynamics, Vol. 6(1), 1-10 (2012)
5. Sugisaki Eriko, Fukushima Yasuhiro, Tsukada Minoru, *Aihara Takeshi, Cholinergic modulation on spike timing-dependent plasticity in hippocampal CA1 network. Neuroscience, Vol. 192, 91-101 (2011)
6. *Makoto Nishiyama, Kazunobu Togashi, Takeshi Aihara and Kyonsoo Hong, GABAergic activities control spike timing- and frequency-dependent long-term depression at hippocampal excitatory synapses. Frontiers in Synaptic Neuroscience, Vol. 2(22), 1-15 (2010)

他 19 件

B01G3 奥田次郎

1. *Abe N, Fujii T, Suzuki M, Ueno A, Shigemune Y, Mugikura S, Takahashi S, Mori E, Encoding- and retrieval-related brain activity underlying false recognition. Neuroscience research, Vol. 76(4), 240-50 (2013)
2. *Ogura K, Fujii T, Suzuki K, Mori E, Pure agraphia in Romaji after left inferior frontal gyrus infarction: A case of selective deficit in syllable-to-grapheme conversion in Japanese. Brain and language, Vol. 127(1), 1-5 (2013)
3. *Jiro Okuda, From prospection to prospective memory: constructing, encoding, and remembering future plans, Psychologia, Vol. 55(2), 141-148 (2012)
4. *Jiro Okuda, Sam J Gilbert, Paul W Burgess, Chris D Frith, Jon S Simons, Looking to the future: automatic regulation of attention between current performance and future plans. Neuropsychologia, Vol. 49(8), 2258-2271 (2011)
5. *Yosuke Morishima, Jiro Okuda, Katsuyuki Sakai, Reactive mechanism of cognitive control system. Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991), Vol. 20(11), 2675-2683 (2010)
6. *Kikuchi H, Fujii T, Abe N, Suzuki M, Takagi M, Mugikura S, Takahashi S, Mori E, Memory repression: brain mechanisms underlying dissociative amnesia. Journal of cognitive neuroscience, Vol. 22(3), 602-613 (2010)

他 35 件

B01G4 水原啓暁

1. *Takao Fukui, Toshio Inui, How vision affects kinematic properties of pantomimed prehension movements. Frontiers in psychology, Vol. 4, 44 (2013)
2. *Toshio Inui, Toward a unified framework for understanding the various symptoms and etiology of autism and Williams syndrome. Japanese Psychological Research, Vol. 55(2), 99-117 (2013)
3. *Hiroaki Mizuhara, Cortical dynamics of human scalp EEG origins in a visually guided motor execution. NeuroImage, Vol. 62(3), 1884-95 (2012)
4. *Ogawa Kenji, Inui Toshio, Multiple neural representations of object-directed action in an imitative context, Experimental Brain Research, Vol. 216(1), 61-69 (2012)
5. *Mizuhara H, Yamaguchi Y, Neuronal ensemble for visual working memory via interplay of slow and fast oscillations. The European journal of neuroscience, Vol. 33(10), 1925-34 (2011)
6. *乾敏郎, 言語獲得と理解の脳内メカニズム, The Japanese Journal of Animal Psychology, Vol. 60(1), 59-72 (2010)

他 10 件

C01G1 中村克樹

1. *Konoike Naho, Kotozaki Yuka, Miyachi Shigehiro, Miyauchi C Makoto, Yomogida Yukihito, Akimoto Yoritaka, Kuraoka Koji, Sugiura Motoaki, Kawashima Ryuta, Nakamura Katsuki, Rhythm information represented in the fronto-parieto-cerebellar motor system. NeuroImage, Vol. 63(1), 328-38 (2012)
2. Kuraoka Koji, *Nakamura Katsuki, Categorical representation of objects in the central nucleus of the monkey amygdala. The European journal of neuroscience, Vol. 35(9), 1504-12 (2012)

C01G2 大森隆司

1. *Hideyuki Takahashi, Kazunori Terada, Tomoyo Morita, Shinsuke Suzuki, Tomoki Haji, Hideki Kojima, Masahiro Yoshikawa, Yoshio Matsumoto, Takashi Omori, Minoru Asada, Eiichi Naito, Different impressions of other agents obtained through social interaction uniquely modulate dorsal and ventral pathway activities in the social human brain, Cortex, Elsevier, in press
2. Akiko Iwasaki, *Takayuki Shimotomai, Kasumi Abe, Tomoaki Nakamura, Takayuki Nagai, Takashi Omori, Using robots to estimate children's personalities, Transactions of Japan Society of Kansei Engineering, Vol. 12(1), Special Issue, 219-227 (2013)
3. 岩崎安希子, *下斗米貴之, 阿部香澄, 中村友昭, 長井隆行, 大森隆司, 遊びロボットによる子どもの性格傾向の推定に関する研究, 日本感性工学会論文誌, Vol. 12(1), 219-227 (2013)
4. *Takahashi, H., Saito, C., Okada, H., Omori T., An investigation of social factors related to online mentalizing in a human-robot competitive game, Japanese Psychological Research, Vol. 55(2), 144-153, 2013

5. *Tomoaki Nakamura, Komei Sugiura, Takayuki Nagai, Naoto Iwahashi, Tomoki Toda, Hiroyuki Okada, Takashi Omori, Learning Novel Objects for Extended Mobile Manipulation, Journal of Intelligent & Robotic Systems, Vol.66(1-2), 187-204 (2012)
6. Kenichi Minoya, *Takava Arita, Takashi Omori, Autonomous Acquisition of Cooperative Behavior based on a Theory of Mind using Parallel Genetic Network Programming, Artificial Life and Robotics, Vol. 16(2), 157-161 (2011)

他 22 件

C01G3 橋本敬

1. *Takeshi Konno, Junya Morita, Takashi Hashimoto, Symbol communication systems integrate implicit information in coordination tasks, Advances in Cognitive Neurodynamics (III): Proceedings of the Third International Conference on Cognitive Neurodynamics - 2011, 453-459 (2013)
2. *Takashi Hashimoto, Masaya Nakatsuka, Takeshi Konno, Constructive modeling of gramaticalization for the origin and evolution of language, Future Trends in the Biology of Language, Shiro Ojima, Yukio Otsu, John F. Connolly, and Guillaume Thierry (Eds.), pp. 53-81, Center for Advanced Research on Logic and Sensibility, Keio University (2012)
3. *Takuma Torii, Takashi Hashimoto, Modelling generation and sharing of novel expressions and meanings in symbolic communication, International Journal Bio-Inspired Computation, Vol. 3(3), 168-178 (2011)
4. *鳥居 拓馬, 橋本 敬, 離散連続結合モデルを用いた記号コミュニケーションにおける動的生成メカニズムの解析, 信学技報非線形問題, Vol. 110(122), 39-42 (2010)

C01G4 阪口豊

1. *Yasuyuki Inoue, Yutaka Sakaguchi, Periodic change in phase relationship between target and hand motion during visuo-manual tracking task: Behavioral evidence for intermittent control, Human Movement Science, Vol. 33, 211-226 (2014)
2. *Yasushi Naruse, Ken Takiyama, Masato Okada, Hiroaki Umehara, Statistical method, for detecting phase shifts in alpha rhythm from human, electroencephalogram data, Physical Review E87, (2013)
3. *Carpaneto J, Raos V, Umilta MA, Fogassi L, Akira Murata, Gallese V, Micera S, Continuous decoding of grasping tasks for a prospective, implantable cortical neuroprosthesis, Journal of Neuroengineering and Rehabilitation, Vol. 9(84), (2012)
4. *Sakaguchi Y, Ishida F, Shimizu, T. and Murata A, Time course of information representation of macaque AIP neurons in hand manipulation, task revealed by information analysis, Journal of Neurophysiology, Vol. 104(6), 3625-3643 (2010)
5. *Naruse Y, Takiyama K, Okada M, Murata T, Inference in alpha rhythm phase and amplitude modeled on Markov random field using belief propagation from electroencephalograms, Physical Review E, Vol. 82, 011912 (2010)
6. *Ishida F, Sasaki, T., Sakaguchi Y and Shimai, H., Reinforcement-learning agents with different temperature parameters explain the variety of human action-selection behavior in a Markov decision process task, Neurocomputing, Vol. 72, 1979-1984 (2009)

他 8 件

公募研究(H22-23)

A01K1 柳田達雄

1. *Tatsuo Yanagita, Alexander S. Mikhailov, Design of easily synchronizable oscillator networks using Monte Carlo Optimization method, Physical Review E, 81,056204-056212 (2010)

A01K2 舘野高

1. *Takashi TATENO, The hyperpolarization-activated current regulates synchronization of gap-junction coupled dopaminergic neurons in the midbrain, Transactions on Electronics, Information and Systems, Vol. 7(3), 283-290 (2012)
2. *Takashi TATENO, Morphological properties in dopaminergic neurons of the rat midbrain during early developmental stages and one numerical approach to passive-membrane modeling, IEE Japan Transactions on Electronics, Information and Systems, Vol. 131(1), 50-55 (2011)

A01K3 古川徹生

1. *Tetsuya Minatohara, Tetsuo Furukawa, The self-organizing adaptive controller, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol. 7(4), 1933-1947 (2011)

A01K4 佐藤直行

1. *Naoyuki Sato, Integration of visual scenes and motion signals by entorhinal grid cells during spatial imagery, Australian Journal of Intelligent Information Processing Systems, vol.11(1), 1-6 (2010)

B01K1 嶋啓節

1. *中島 敏, 宮崎 淳, 嶋 啓節, 虫明 元, 順序動作課題と割込課題からなる二重課題を制御する神経機構, 日本神経回路学会誌, Vol. 18(3), 129-134 (2011)
2. Hiromasa Sawamura, Keisetsu Shima, *Jun Tanji, Deficits in action selection based on numerical information after inactivation of the posterior parietal cortex in monkeys. Journal of neurophysiology, Vol. 104(2), 902-10 (2010)

B01K2 坂本一寛

1. *Katori Y, Sakamoto K, Saito N, Tanji J, Mushiake H, Aihara K, Representational switching by dynamical reorganization of attractor structure in a network model of the prefrontal cortex, PLoS Comput Biol, Vol. 7, e1002266 (2011)
2. *Sakamoto K, Kumada T, Yano M, A computational model that enables global amodal completion based on V4 neurons, Lecture Notes Comput Sci, Vol. 6443, 9-16 (2010)

他 1 件

B01K3 久恒辰博

1. Itou Y, Nochi R, Kuribayashi H, Saito Y, *Hisatsune T, Cholinergic activation of hippocampal neural stem cells in aged

- dentate gyrus., *Hippocampus*, Vol. 21(4), 446-59 (2011)
- Aizawa K, Ageyama N, Terao K, *Hisatsune T, Primate-specific alterations in neural stem/progenitor cells in the aged hippocampus. *Neurobiology of aging*, Vol. 32(1), 140-50 (2011)
他 4 件
- B01K4 大森敏明**
- Keisuke Ota, Toshiaki Omori, Shigeo Watanabe, Hiroyoshi Miyakawa, Masato Okada, *Toru Aonishi, Measurement of Infinitesimal Phase Response Curves from Noisy Real Neurons, *Physical Review E*, Vol. 84(4), 041902[7] (2011)
 - Takamasa Tsunoda, Toshiaki Omori, Hiroyoshi Miyakawa, Masato Okada, *Toru Aonishi, Estimation of Intracellular Calcium Ion Concentration by Nonlinear State Space Modeling and EM Algorithm for Parameter Estimation, *Journal of the Physical Society of Japan*, Vol. 79(12), 124801-1-124801-8 (2010)
他 3 件
- B01K5 奈良重俊**
- Ryosuke Yoshinaka, Masato Kawashima, Yuta Takamura, Hitoshi Yamaguchi, Naoya Miyahara, Kei-ichiro Nabeta, Yongtao Li, *Shigetoshi Nara, Adaptive Control of Robot Systems, With Simple Rules Using Chaotic, Dynamics in Quasi-Layered Recurrent, Neural Networks, Springer Verlag, (2011)
 - Hiroyuki Yoshida, Shuhei Kurata, *Yongtao Li, Shigetoshi Nara, Chaotic Neural Network Applied to Two-Dimensional Motion Control, *Cognitive Neurodynamics*, Vol. 4, 69-80 (2010)
他 3 件
- B01K6 岡浩太郎**
- Mamiko Suzuki, Tetsuya Kimura, Hiroto Ogawa, Kohji Hotta, *Kotaro Oka, Chromatophore Activity during Natural Pattern Expression by the Squid *Sepioteuthis lessoniana*: Contributions of Miniature Oscillation, *PLoS One*, Vol. 6(4), e18244 (2011)
- B01K7 鮫島和行**
- *Izuma K, Matsumoto M, Murayama K, Samejima K, Sadato N, Matsumoto K, Neural correlates of cognitive dissonance and choice-induced preference change, *PNAS* 107(51), 22014-22019 (2010)
- B01K8 窪田芳之**
- Mieko Morishima, Kenji Morita, Yoshiyuki Kubota, *Yasuo Kawaguchi, Highly differentiated projection-specific cortical subnetworks. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, Vol. 31(28), 10380-91 (2011)
 - Jerry L Chen, Walter C Lin, Jae Won Cha, Peter T So, Yoshiyuki Kubota, *Elly Nedivi, Structural basis for the role of inhibition in facilitating adult brain plasticity. *Nature neuroscience*, Vol. 14(5), 587-94 (2011)
他 2 件
- B01K9 磯村宜和**
- *Yasuhiro Tsubo, Yoshikazu Isomura, Tomoki Fukai, Power-law inter-spike interval distributions infer a conditional maximization of entropy in cortical neurons. *PLoS Computational Biology*, Vol. 8(4), e1002461 (2012)
 - Yoko Fujiwara-Tsukamoto, *Yoshikazu Isomura, Michiko Imanishi, Taihei Ninomiya, Minoru Tsukada, Yuchio Yanagawa, Tomoki Fukai, Masahiko Takada, Prototypic seizure activity driven by mature hippocampal fast-spiking interneurons, *Journal of Neuroscience*, Vol. 30(41), 13679-13689 (2010)
他 5 件
- B01K10 西川淳**
- *Katahira Kentaro, Nishikawa Jun, Okanoya Kazuo, Okada Masato, Extracting state transition dynamics from multiple spike trains using hidden Markov models with correlated poisson distribution. *Neural computation*, Vol. 22(9), 2369 - 2389 (2010)
- C01K1 松島俊也**
- Shinji Yamaguchi, Sachiko Katagiri, Naoya Aoki, Eiji Iikubo, Takaaki Kitajima, Toshiya Matsushima, *Koichi J. Homma, Molecular function of microtubule-associated protein 2 for filial imprinting in domestic chicks (*Gallus gallus domesticus*). *Neuroscience Research*, Vol. 69(1), 32-40 (2011)
 - Ai Kawamori, *Toshiya Matsushima, Subjective value of risky foods for individual domestic chicks: a hierarchical Bayesian model. *Animal Cognition*, Vol. 13(3), 431-441 (2010)
他 3 件
- C01K2 小川正**
- Atsushi Fujimoto, Satoshi Nishida, *Tadashi Ogawa, Dynamic alternation of primate response properties during trial-and-error knowledge updating, *Journal of Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 60(5), 747-753 (2012)
 - *Tadashi Ogawa, Hidehiko Komatsu, Differential temporal storage capacity in the baseline activity of neurons in macaque frontal eye field and area V4. *Journal of Neurophysiology*, Vol. 103(5), 2433-45 (2010)
他 1 件
- C01K3 尾仲建史**
- *Onaka Tatsushi, Takayanagi Yuki, Yoshida Masahide, Roles of oxytocin neurones in the control of stress, energy metabolism, and social behaviour. *Journal of neuroendocrinology*, Vol. 24(4), 587-98 (2012)
 - Yuki Takayanagi, *Tatsushi Onaka, Roles of prolactin-releasing peptide and RFamide related, peptides in the control of stress and food intake, *FEBS Journal*, Vol. 277(24), 4998-5005 (2010)
他 2 件
- C01K4 松元健二**
- *Keise Izuma, Madoka Matsumoto, Kou Murayama, Kazuyuki Samejima, Norihiro Sadato, Kenji Matsumoto, Neural correlates of cognitive dissonance and choice-induced preference change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*

of the United States of America, Vol. 107(51), 22014-9 (2010)

2. Kou Murayama, Madoka Matsumoto, Keise Izuma, *Kenji Matsumoto, Neural basis of the undermining effect of monetary reward on intrinsic motivation, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Vol. 107, 20911-20916 (2010)

他 1 件

C01K5 奥村哲

1. *奥村 哲, 山下 祐一, 岡ノ谷 一夫, 谷 淳, 実験モデルとしての鳴禽類の歌制御システム, 日本神経回路学会誌, Vol. 18(3), 135-146 (2011)
2. Yasuko Tobar, Tetsu Okumura, Jun Tani, *Kazuo Okanoya, A direct neuronal connection between the telencephalic nucleus robustus arcopallialis and the nucleus nervi hypoglossi, pars tracheosyringalis in Bengalese finches (*Lonchura striata* var. domestica). Neuroscience research, Vol. 71(4), 361-368 (2011)

C01K6 稲邑哲也

1. *Keisuke Okuno, Tetsunari Inamura, Motion Coaching with Emphatic Motions and Adverbial Expressions for Human beings by Robotic System –Method for Controlling Motions and Expressions with Sole Parameter–, Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 3381-3386 (2011)

C01K7 吉田正俊

1. Takaura K, Yoshida M, *Isa T, Neural substrate of spatial memory in the superior colliculus after damage to the primary visual cortex, J Neurosci, Vol. 31(11), 4233-41 (2011)

C01K8 長坂泰勇

1. Chao Z., Nagasaka Y., *Fujii N., Long-term asynchronous decoding of arm motion using electrocorticographic signals in monkeys, Front. Neuroeng. Vol. 3(3), doi: 10.3389/fneng.2010.00003 (2010)

C01K9 谷淳

1. Jun Namikawa, Ryunosuke Nishimoto, *Jun Tani, A Neurodynamic Account of Spontaneous Behaviour, PLoS Computational Biology, Vol. 7(10), e1002221 (2011)
2. *Yuichi Yamashita, Tetsu Okumura, Kazuo Okanoya, Jun Tani, Cooperation of deterministic dynamics and random noise in production of complex syntactical avian song sequences: a neural network model, Front. Comput. Neurosci., Vol. 5(18), (2011)

C01K10 渡部正孝

1. Takayuki Hosokawa, *Masataka Watanabe, Prefrontal neurons represent winning and losing during competitive video shooting games between monkeys, Journal of Neuroscience, Vol. 32(22), 7662-7671 (2012)
2. *Masataka Watanabe, Are there internal thought processes in the monkey?--default brain activity in humans and nonhuman primates. Behavioural brain research, Vol. 221(1), 295-303 (2011)

他 4 件

公募研究(H24-25)

A01P1 三浦佳二

1. Wang AY, Miura K, *Uchida N, The dorsomedial striatum encodes net expected return, critical for energizing performance vigor. Nature neuroscience, Vol. 16(5), 639-47 (2013)
2. Miura K, Mainen ZF, *Uchida N, Odor representations in olfactory cortex: distributed rate coding and decorrelated population activity. Neuron, Vol. 74(6), 1087-98 (2012)

他 2 件

A01P2 池上高志

1. *Mizuki Oka, Takashi Ikegami, Exploring Default Mode and Information Flow on the Web. PLoS One, Vol. 8(4), e60398 (2013)
2. *Tom Froese, Charles Lenay, Takashi Ikegami, Imitation by social interaction? Analysis of a minimal agent-based model of the correspondence problem. Frontiers in Human Neuroscience, (2012)

他 4 件

A01P3 郡宏

1. *Yuki Izumida, Hiroshi Kori, Coarse-grained description of general oscillator networks, arXiv, 1311.0917 (2013)

A01P4 青木高明

1. *Takaaki Aoki, Toshio Aoyagi, Scale-Free Structures Emerging from Co-evolution of a Network and the Distribution of a Diffusive Resource on it. Physical review letters, Vol. 109(20), 208702 (2012)

A01P5 手老篤史

1. Masakazu Akiyama, *Atsushi Tero, Masahiro Kawasaki, Yasumasa Nishiura, Yoko Yamaguchi, Theta-alpha phase distributions in the frontal area for dissociation of visual and auditory working memory, submitted to PLOS ONE (2014)

A01P6 古川徹生

1. Sho Yakushiji, *Tetsuo Furukawa, Shape space estimation by higher-rank of SOM, Neural Computing and Applications, Vol. 22(7-8), 1267-1277 (2013)
2. *Kazuhiro Tokunaga, Nobuyuki Kawabata, Tetsuo Furukawa, Self Evolving Modular Network, IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems, Vol. E95-D(5), 1506-1518 (2012)

A01P7 末谷大道

1. *Hiromichi Suetani, Jun Morimoto, Canonical Correlation Analysis for Muscle Synergies Organized by Sensory-Motor Interactions in Musculoskeletal Arm Movements, 2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation(ICRA), 2591-2596 (2013)
2. *U.Parlitz, Hiromichi Suetani, S. Luther, Identification of equivalent dynamics using ordinal pattern distributions, THE

A01P8 佐藤直行

1. *[Naoyuki Sato](#), Fast entrainment of human electroencephalogram to a theta-band photic flicker during successful memory encoding. *Frontiers in human neuroscience*, Vol. 7(208), (2013)

B01P1 嶋啓節

1. [Toshi Nakajima](#), [Ryosuke Hosaka](#), [Ichiro Tsuda](#), Jun Tanji, *[Hajime Mushiake](#), Two-dimensional representation of action and arm-use sequences in the presupplementary and supplementary motor areas. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, Vol. 33(39), 15533-44 (2013)
2. Jun-ichi Iwata, [Keisetsu Shima](#), Jun Tanji, *[Hajime Mushiake](#), Neurons in the cingulate motor area signal context-based and outcome-based volitional selection of action. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Experimentation cerebrale*, Vol. 229(3), 407-417 (2013)

他 3 件

B01P2 坂本一寛

1. *[Sakamoto K](#), Katori Y, Saito N, Yoshida S, Aihara K, [Mushiake H](#), Increased firing irregularity as an emergent property of neural-state transition in monkey prefrontal cortex, *PlosONE*, Vol. 8, e80906 (2013)
2. *[坂本一寛](#), [虫明元](#), 行動の計画と前頭前野ダイナミクス, *日本神経回路学会誌*, Vol. 20, 37-41 (2013)

他 4 件

B01P3 奈良重俊

1. Jousuke Kuroiwa, *[Shigetoshi Nara](#), Errorless description with two rules of cellular automata for digital sound data, *I. J. Bifurcation and Chaos* Vol. 23(8), 1350148 (2013)

B01P4 ローレンス・ヨハン

1. Hiroshi Nishida, [Muneyoshi Takahashi](#), Gary D. Bird, *[Johan Lauwereyns](#), Neural mechanisms of bias and sensitivity in animal models of decision making. *ECTI Transactions on Computer and Information Technology*, Vol. 6(1), 1-9 (2012)
2. *[Johan Lauwereyns](#), *Brain and the Gaze: On the Active Boundaries of Vision*, MIT Press, (2012)

他 5 件

B01P5 夏目季代久

1. Hiroki Nakatsuka, *[Kiyohisa Natsume](#), Circadian rhythm modulates long-term potentiation induced at CA1 in rat hippocampal slices, *Neurosci. Res.*, Vol. 80, 1-9 (2014)
2. Touma Katayama, *[Kiyohisa Natsume](#), The change in EEG when you are bored, *J. Signal Processing*, Vol. 16(6), 637-641 (2012)

他 2 件

B01P6 磯村宜和

1. Jun Igarashi, [Yoshikazu Isomura](#), Kensuke Arai, Rie Harukuni, *Tomoki Fukai, A θ -y Oscillation Code for Neuronal Coordination during Motor Behavior. *The Journal of Neuroscience*, Vol. 33(47), 18515-30 (2013)

2. *[Yoshikazu Isomura](#), Takashi Takekawa, Rie Harukuni, Takashi Handa, Hidenori Aizawa, Masahiko Takada, Tomoki Fukai, Reward-modulated motor information in identified striatum neurons. *The Journal of Neuroscience*, Vol. 33(25), 10209-20 (2013)

他 7 件

B01P7 鮫島和行

1. *Ayumi Yamada, Haruaki Fukuda, [Kazuyuki Samejima](#), Sachiko Kiyokawa, [Kazuhiro Ueda](#), Shigekuni Noba, Akira Wanikawa, The effect of an analytical appreciation of colas on consumer beverage choice, *Food Quality and Preference*, Vol. 34, 1-4 (2014)

B01P8 窪田芳之

1. *DeFelipe J, López-Cruz PL, Benavides-Piccione R, Bielza C, Larrañaga P, Anderson S, Burkhalter A, Cauli B, Fairén A, Feldmeyer D, Fishell G, Fitzpatrick D, Freund TF, González-Burgos G, Hestrin S, Hill S, Hof PR, Huang J, Jones EG, Kawaguchi Y, Kisvárdy Z, [Kubota Y](#), Lewis DA, Marín O, Markram H, McBain CJ, Meyer HS, Monyer H, Nelson SB, Rockland K, Rossier J, Rubenstein JL, Rudy B, Scanziani M, Shepherd GM, Sherwood CC, Staiger JF, Tamás G, Thomson A, Wang Y, Yuste R, Ascoli GA, New insights into the classification and nomenclature of cortical GABAergic interneurons. *Nature reviews. Neuroscience*, Vol. 14(3), 202-16 (2013)

C01P1 船曳康子

1. *[川崎真弘](#), [北城圭一](#), [深尾憲二郎](#), [村井俊哉](#), [山口陽子](#), [船曳康子](#), 発達障害者のコミュニケーションにおけるリズム調整, *信学技報*, Vol. 113(73), 201-205 (2013)

C01P2 松元健二

1. Kou Murayama, Madoka Matsumoto, Keise Izuma, Ayaka Sugiura, Richard M. Ryan, Edward L. Deci, *[Kenji Matsumoto](#), How Self-Determined Choice Facilitates Performance: A Key Role of the Ventromedial Prefrontal Cortex. *Cerebral cortex*, (2013)

C01P3 長坂泰勇

1. *Edward A. Wasserman, [Yasuo Nagasaka](#), Leyre Castro Ruiz, Stephen J. Brzykcy, Pigeons learn virtual patterned-string problems in a computerized touch screen environment. *Animal cognition*, Vol. 16(5), 737-53 (2013)

2. [Yasuo Nagasaka](#), Zenas C. Chao, Naomi Hasegawa, Tomonori Notoya, *Naotaka Fujii, Spontaneous synchronization of arm motion between Japanese macaques. *Scientific reports*, Vol. 3, 1151 (2013)

他 2 件

【主催シンポジウム】

1. Dynamic Brain Forum (DBF) 2012, 日程 : September 3-6, 2012, 会場 : Palacio de los Briones, Carmona, Spain

2. 「脳と心のメカニズム」第10回冬のワークショップ, 日程: 2010年1月12日(火) ~ 1月14日(木), 会場: ルスツリゾート
他7件

【一般向けアウトリーチ活動】

1. 公開シンポジウム「コミュニケーションする脳!!」, 日程: 2014年3月21日(金/祝), 会場: 日本科学未来館
2. 高校生理科教室「見て触れて感じる先端科学 脳と量子とエネルギー」, 日程: 2013年8月23日(金) 13:00-17:00(予定), 会場: 玉川大学
他9件

【ホームページ】

領域ホームページ: <http://dynamic-brain.jp/index.html>

10. 当該学問分野及び関連学問分野への貢献度（1ページ程度）

研究領域の研究成果が、当該学問分野や関連分野に与えたインパクトや波及効果などについて記述してください。

学術界におけるインパクト

各計画研究と公募研究が有機的に相互作用し機能したことで、領域全体として多くの研究成果が上がった。全体で 290 報に上る原著論文、760 件に上る基調講演、特別講演、招待講演を含む国際会議、国際シンポジウムでの講演を行った。国内外の学会などでの受賞は 50 件に上り、多くの研究成果が内外から認知され高く評価されていることから、コミュニケーションに関する神経情報学研究分野における当領域の存在感を十分に示せていると言える。

また、総括班が主導して国際研究集会(Dynamic Brain Forum: DBF)を組織して、研究領域を世界レベルに拡大することに努めた。領域研究中の DBF は、2012 年にスペイン・カルモナでの単独開催に加えて、国際会議(International Conference on Cognitive Neurodynamics: ICCN)内のスペシャルセッションとして 2011 年に北海道ニセコ、2013 年にスウェーデン・シグトゥナで開催した。最終年度においては、Neural Network 誌において特集号を企画するとともに、Neuroscience Research 誌の special issue に領域の成果概要をまとめた論文を発表するなど、当領域活動の波及効果は国内にとどまらず、世界的なものとなっている。

一般社会へのインパクト

当領域の研究成果は学術界に対する情報発信のみならず、多くの新聞報道などを通じて広く一般に対して周知されている。例えば、磯村(B01K9/P6 班代表)のてんかんのメカニズムに関する研究や、松元(C01K4/P2 班代表)の内発的動機に関する脳計測研究が朝日新聞、産経新聞、日本経済新聞などの一般紙において取り上げられるなど、領域の成果は 25 以上の一般向けの媒体において取り上げられてきている。

領域研究課題の発展的プロジェクトの形成

また、新たな領域として確立できているかは、領域終了後においてその研究テーマの継続性が担保できたかも判断材料の一つとなる。領域終了に向けて、領域研究で得た研究成果を発展させるために、領域内の班員が新たな共同研究組織を形成して、科学研究費補助金に多くの申請を行ってきている。その結果、例えば、橋本(C01G3 班代表)を代表として、奥田(B01G3 班代表)と鮫島(B01K7/P7 班代表)を研究分担者とする研究課題が科学研究費補助金・基盤研究(A)として採択されるとともに、水原(B01G4 班代表)を代表として北城(B01G1 班分担)を研究分担者とする課題が基盤研究(A)、津田(領域代表/A01G1 班代表)を代表として奈良(B01K5/P3)を分担者として基盤研究(B)、北城(B01G1 班分担)を代表として鮫島(B01K7/P7 班代表)を分担者として基盤研究(B)に採択されるなど、領域内のメンバーが有機的に連携していくことで、領域の形成に向けた継続的な研究体制が確保できている。さらに、CREST やさきがけなどの本領域と関連する JST 事業に本領域研究者が複数応募し（例えば、津田(領域代表/A01G1 班代表)、ローレンス(B01P4)、船曳(C01P1) がチームを組んでいる）、領域研究課題をさらに発展させようとしている。

また本領域が目標に掲げた理論と実験の協働は、領域に参加した國府寛司(A 班研究分担者)を研究総括とした JST さきがけ領域「社会的課題の解決に向けた数学と諸分野の協働」が平成 26 年度に立ち上がるなど、新たな学術分野として着実に歩を進め始めている。

以上のように、領域の研究成果は学術界における成果発表において大きなインパクトを与えたとともに、一般社会に対してもその成果は十分なインパクトを与えたものと言える。また、領域メンバーの有機的な結合により、複数の研究プロジェクトを継続的に維持できる体制が取られており、領域の研究成果は新たな学術領域を形成するという目的に対して大きく貢献できているものと言える。