

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



NEWS LETTER Vol. 4

CONTENTS

巻頭言	2
平成24年度成果報告	5
平成24年度イベント報告	26
平成24年度研究受賞一覧	40
平成24年度実施の研究会・公開講座	41

最終年度を迎えるにあたって

津田一郎

北海道大学電子科学研究所・教授
北海道大学数学連携研究センター・センター長



今年4月より私たちの新学術領域研究もいよいよ最終年度に入ります。これまでに研究者をはじめ補助業務を行ってくださったすべての方たちから熱心なご協力をいただきました。心より感謝申し上げます。とともにラストスパートをぜひともよろしくお願いたします。

本学術領域研究はコミュニケーションに伴う脳活動を複雑系数理論の観点から数理モデルによって解明することをめざして活動してきました。その結果として、コミュニケーション神経情報学という新分野が創設されればその目標を達成したということができます。私たちの領域では各研究項目間、特に理論と実験の協働研究を推進し、それが見事に花開かんとしています。今やコミュニケーションの脳活動の研究は世界的にも注目される新領域に発展しつつあります。しかし、まだ世界の動向は特定の脳波の位相シンクロの域を出ていないように見えます。明らかに概念的には私たちの領域は一步も二歩も先に行っています。あとはそれを一つの機能に切断して明確な形にして残すことです。理論、実験両面で大変優れた研究が多数生まれたことは領域代表としてとても心強く感じています。高評価を得た中間評価の後にも独創的な結果が生まれています。

これらの実績は明らかに“次”につながるはずです。ラストスパートこそが“次”を生み出します。

昨年末の全体会議でコミュニケーション神経情報学についての私の考えを述べましたが、この機会に概略をまとめておきたいと思います。

1. まず、カオスの遍歴については Scholarpedia に Chaotic Itinerancy と題してカオスの遍歴の概念、主要な研究の歴史、神経科学でのカオスの遍歴の役割について解説しました。そこには興味を引きそうな動画、必須の文献も載せています。およそ一年間の Walter J. Freeman (レビュアー) との徹底的な厳しいが有益なやり取りの後この記事が本年1月正式に公開されましたので、私がキュレーターになり将来にわたってコメントや追加事項の受付が可能になります。その場合のレビュアーは私になります。
2. 脳神経系の実験において高次元の何らかのダイナミックな振る舞いを観測したとします。カオス解析から導かれることは、データ解析として重要になるのはメトリック(計量)の入れ方と多様体の抽出の仕方だということです。

3. コミュニケーションは相互理解なのでしょうか。矛盾あるいはコンフリクトこそがそのきっかけになるのではないのでしょうか。関連して、最近水原グループと私のグループとの共同研究での実験データから「自己」感覚の崩壊と「非自己」感覚の生成が抽出されました。ここで、水原さんが打ち出したアイデアは非常に重要なもので、「自己からの解放」がコミュニケーションの契機となるというものです。A. アインシュタインも同様のことを述べているという報告がありましたが、私は昔からアインシュタインの科学論文、一般向け論文を多数読んできましたので、アインシュタインの言う意味はよく分かっているつもりです。科学と宗教の関係についての論説において、彼はスピノザの汎神論が最も彼の宗教観に近いと言っています。スピノザの例えばエチカ (ethics) を読めばわかりますが、「身体は心の表現であり、その心は私の中にはない」と言っています。つまりスピノザ的には「自己」という概念は存在しない。またスピノザは「心は(数学の)証明の中にのみ現れる」と言っています。スピノザから考えを膨らませると、私の「心」は私の脳が生み出したものではなく、私や過去の人たち（さらには進化的な過程の中のすべてのもの）が他の人や環境とのコミュニケーションを通じて得た命題の集合体であり、私の脳はそのように形作られている、ということが言えるのではないのでしょうか。
4. 今回のチュートリアルは高橋陽一郎先生にお願いし、新しい確率解析、カオスや確率現象に潜む大偏差原理について解説をしていただきました。2年前に私は古典的な確

率解析を紹介しましたが、それは昨今のデータ解析においてフォッカー・プランク方程式による解析がなされることがあり、フォッカー・プランクが成立する条件を実験家が知らないという危ういことになるという危惧を強くしたからでした。このことは今回、高橋先生にも触れていただきました。新しい数学理論からは必ず新しいコンセプトが生まれてきます。大偏差原理は実験家にとっては難しいかもしれませんが、ここからは新しいデータ解析の手法が取り出せるはずで、革新的なデータ解析なくして脳科学の発展は無し。

5. 観測は「神経相関」から脱しなければなりません。「因果解析」が世界的にも注目されていますが、ここで注意しなくてはならないのは、いかなる方法を使っても真に因果的な関係を一意に決めることは系が複雑系であるならばあり得ないことだという点です。しかし、一つの脳を見ては見えないもの、つまり相互作用 (coupling, interactions) を見る方法（「相互作用解析」とでも呼ぶべきもの）がもっと追究されて良いはずで、特にコミュニケーションの問題においてはそれのみが重要になるでしょう。
6. カオスの多くは計算不可能なものです。特に擬軌道を計算できないカオスではカオス軌道の近似は意味をなしません（擬軌道追跡性の破れ）。このことから逆に計算限界とは？認識限界とは？という問いが成立します。私はこれは対象としての“外”のカオスの認識の問題であると同時に、脳内に発生した“内”なるカオスの存在の問題になると考え、意識と記憶の相互作用を研究

したくて脳研究に入りました。スピノザのところでも述べたように、この意識や記憶を成立させているのは“他者”の存在です。ここに、コミュニケーションにおける情報生成の問題があると思います。

7. 脳は孤立して生まれてきますが (solipcism)、コミュニケーションすることで膜のような場が生成され相互作用の在り方が規定されると考えられます。このときいかに場が生成されるかは変分原理によって決まっているように見えます。つまり、相互作用には少なくとも二種類あって、直接的相互作用（シナプス相互作用、脳波の相互作用、あるいは理論的には振動子のカップリングのような）と変分的な相互作用です。これは自己に対して環境としてふるまうものから受ける相互作用ですが、環境の決まり方が変分的に決まるだろうという作業仮説に基づいています。自閉症児の場合はもしかしたら直接的相互作用には問題がなく、変分的相互作用に問題が生じているのかもしれない。浅田稔先生が言うところの“愛”は、もしかしたらこのような変分的な相互作用の生成になくはならぬものなのかもしれない。この変分的な相互作用が機能しないと self-motivated action がとれなくなるのではないかと考えています。さらに、変分原理はシステムに拘束条件を与えるわけですが、そのことによってシステム内に成分が生まれてきます。大森さんによると工学的には部品の生成ということです。部品はシステムから取り出せば機能しません。システムの中にあって初めて機能し始めます。胚の発生過程や脳の機能分化などはすべからくこのよ

うな変分原理に基づく成分（あるいは部品）の生成の実現であると思われます。私のグループでは数学モデルを用い、ニューロンや機能モジュールの生成過程をシミュレーションしており、成分の生成問題という重要な問題に数理的に道筋がつけられそうなところまで来ました。この研究は（日常的な）創造性の神経機構解明への一助となることは間違いありません。

今後はこのような問題をもう少し正確に考えていきたいと思っています。ではみなさん、最終年度、さらに研究を発展させ新領域を確立していきましょう。

平成 24年度 成果報告

A01：数理システム論（数理システム班）

A01G1 班

動的脳の情報創成とカオス的遍歴の役割

研究代表者：津田 一郎（北海道大学）

研究分担者：高橋 陽一郎（東京大学） 藤井 宏（京都産業大学）

連携研究者：青柳 富誌生（京都大学） 山口 裕（北海道大学）

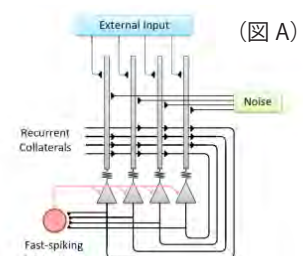
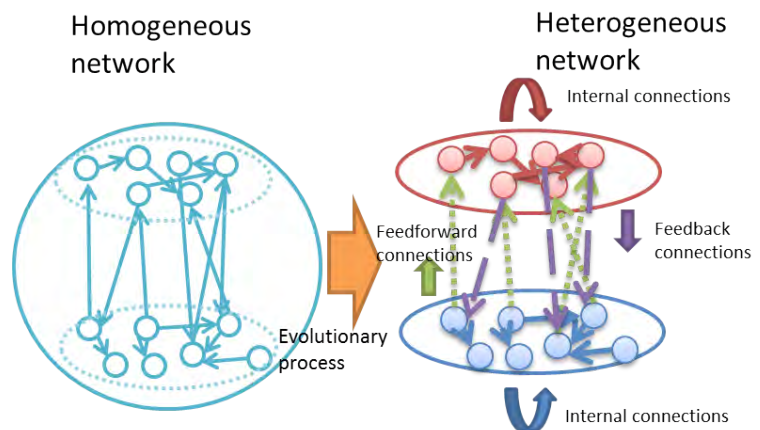
主な成果は次の3点である。

1. 一様神経回路からヘテロ神経回路への分化を双方向情報量伝搬最大という変分原理のもとで実現した（山口）。
2. Pinsky & Rinzel 型のニューロンを用いた神経回路モデルにより種々の連想記憶状態を実現した（塚田、山口、津田）。
3. レヴィー小体認知症にみられる幻覚の数理モデルを構築した（藤井、塚田、津田）。

それぞれについて以下概略を説明する。

1. 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進化させる実験をもとに構築している。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展することがわかってきた。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。

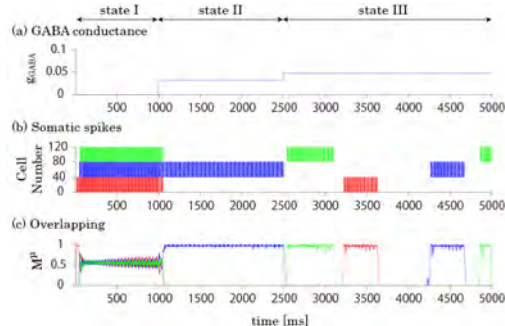
2. 近年、生理学実験の発展により、神経修飾物質やイオンチャネル、シナプス結合の幾何的構造が明らかになってきている。それに伴い、これらが記憶想起に及ぼす影響を考える必要性がでてきている。我々は、これらの影響を取り入れることが可能なモデルとして、Pinsky & Rinzel 型の2コンパートメントモデル^[1]を用いた記憶想起モデルを構築した（図A）。まず、従来のモデルで実現されてきた連想記憶、記憶遷移現象が我々のモデルで実現できるかを評価した。結果として、我々のモデルにおいても連想記憶、記憶遷移現象が発生することが確認できた。次に、リカレント部分の興奮性結合と抑制性結合の強度変化が記憶想起に及ぼす影響を評価した。結果として、興奮性結合と抑制性結合の強度バランスを変えることで、てんかん発作のような異常発火状態（図B, state I）、連想記憶状態（図B, state II）、及び記憶遷移状態（図B, state III）が現れることが分かった^[3]。生理学的な観点から言うと、皮質におけるアセチルコリン投射はFS介在ニューロンから錐体細胞に流れこむGABA作動性シナプス電流を減衰させることが知られている^[2]。その為、アセチルコリン投射は記憶想起過程の調整に関与している可能性が示唆される。



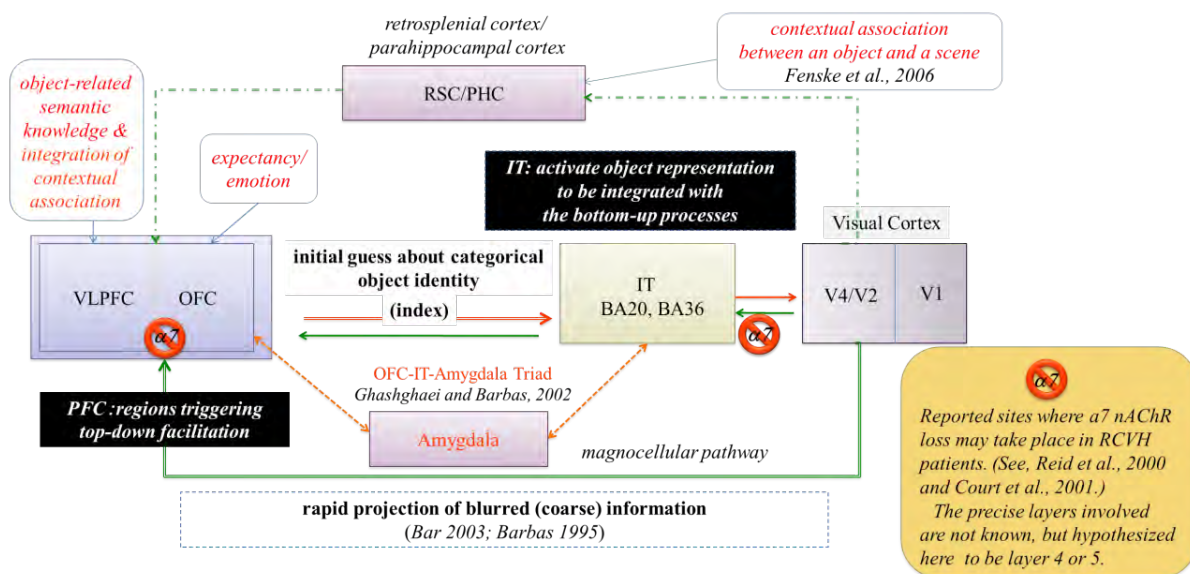
References

[1] Pinsky PF, Rinzler J (1994) J Comput Neurosci 1:39-60
 [2] Salgado H, Bellay T, Nichols JA, Bose M, Martinolich L et al (2007) J Neurophysiol 98:952-965
 [3] Tsukada H, Yamaguti Y, Tsuda I (2013) To appear in Cognitive Neurodynamics.

(図 B)



3. 内側前頭前野—腹外側前頭前野—下側頭葉—マイネルト核などのアセチルコリンを介したヘテロ相互作用ネットワークモデルを構築し、視覚における幻覚モデルを作った。レヴィー小体認知症の神経機構解明につながる研究である。



A01G2 班

ヘテロな動的パターンの相互作用の数理的解明とその生命科学への展開

研究代表者：西浦 廉政 (東北大学) 研究分担者：國府 寛司 (京都大学) 上田 肇一 (富山大学)
 連携研究者：荒井 迅 (北海道大学) 研究協力者：手老 篤史 (九州大学)

①スパイク列は脳の情報処理において重要な役割を果たしていると考えられている。西浦・矢留は、様々な間隔のスパイク列が、2つのホモクリニック軌道が同時に出現する分岐点から発生することを発見した。分岐点近傍における解軌道を解析し、媒質の不均一性とスパイク間隔の対応関係を明らかにした。

②上田は、神経細胞の発火タイミングや脳波リズムの同期・脱同期現象が、脳機能に果たす役割を数理的に解明することを目的として、次の研究を行った。(i) 山口班との共同研究によって数理モデルを作成し、磁気刺激によって生じる過渡的な脳波リズムの同期現象を再現した。さらに、閉眼時に生じる α 波のパワーの上昇が (磁気刺激によって誘発

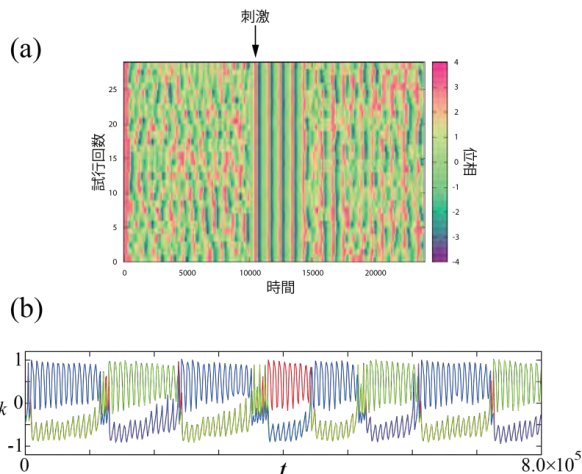


図 (a) 外部刺激を加えた後にみられる振動子クラスターの過渡的な同期現象 (b) 3つの振動子クラスター間の同期・非同期状態遷移

される) 位相リセットの伝播効率を低下させる仕組みを明らかにした。(ii) 神経細胞群同士の結合に非線形性を考慮した数理モデルを作成し、振動子クラスタの同期・非同期状態間の自発的な遷移を再現することに成功した。

③外界から脳に入力される複数の情報は、タスクに応じて適切に振り分けられ、処理される。手老は、山口班と共同研究を行い、聴覚・視覚経由の情報が前頭葉における θ 波と α 波の位相差にあらわれるという実験結果を基に数理モデルを作成し、情報の振り分けを可能にする数理機構を解明した。

A01G3 班

多時間スケールダイナミクスによるメタルール生成とそれに基づく学習、進化の理論

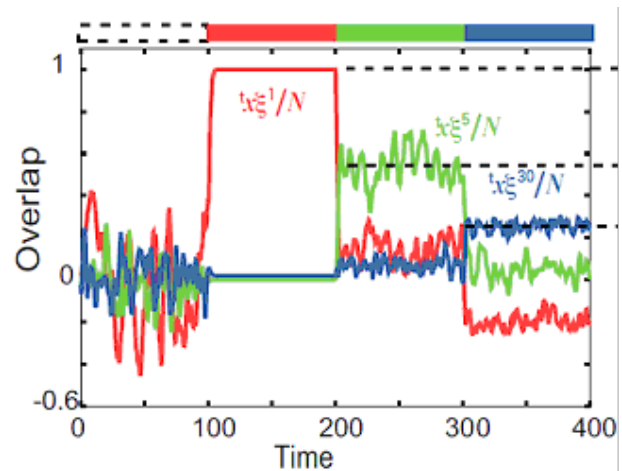
研究代表者：金子 邦彦（東京大学）研究協力者：斉藤 稔、栗川 知己、嶋岡 大輔（東京大学）

力学系を拡張することで生命システムの自律的発展の理論を開拓している。主要な結果は以下のとおりである。

1. 入出力関係の学習、記憶と自発活動：昨年までに、力学系のフローの変化（分岐）として記憶をとらえる描像を提出した。簡単なシナプス変化則で、この入力依存の記憶が形成されることを示し、その条件を明らかにした。その結果、入力に応じて、要請された出力へ分岐する力学系が形成される。ここで過去の記憶になるに従い、入力による想起が衰えそれで記憶容量が定まることを明らかにした。入力がない時には記憶間を遍歴するカオス的自発神経活動が生じ、最近の記憶により近づいていることも示した。

2. 多数の速い変数と1つの遅い変数が結合した力学系において、速い変数の集団的カオスによる、確率的状態遷移が生じることを明らかにした。遅い変数によるコントロールと速い変数によるスイッチを両立させた固有のダイナミクスである。

3. このほか、環境が変動する際に、ノイズにより外界への適応性と進化的な安定性が両立させられること、大自由度力学系による外界への適応過程を明らかにするなどを行って生物学的可塑性の数理的研究を進めている。



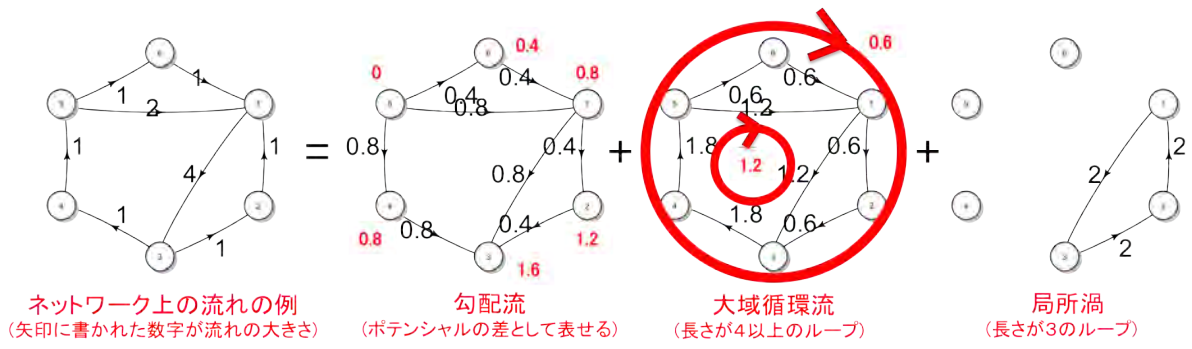
入力（赤、緑、青で表示）に応じて、そのターゲットパターンとのオーバーラップが選択的に上昇する。入力がない時（左端）はカオス的に状態をめぐる。（Kurikawa, Kaneko, PLoS. Comp Biol. (2013)）

A01P1 班

Hodge 分解によるヘテロ・大域的な脳活動の遍歴検出

研究代表者：三浦 佳二（東北大学）

微分幾何学の重要な成果である Hodge-小平分解を応用することで、脳内の再帰的な情報の流れを検出し、その情報処理としての機能を解釈することを目指す。Hodge-小平分解は、ネットワークとして表される流れのデータが与えられた時に、それを3つの流れ「勾配流」「大域循環流」「局所渦」へと分解する。特に、従来の方法では得られなかった、大域的なループ構造というトポロジーの情報を抽出できることが強みである。初年度においては、高速な分解アルゴリズムを開発し、神経回路網をシミュレーションしたデータに対してベンチマークを行った。



A01P2 班

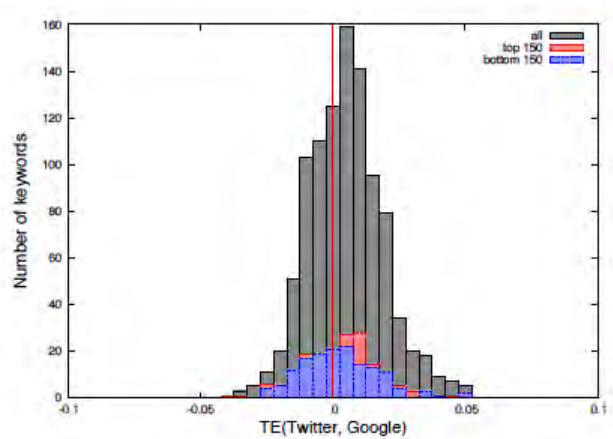
インターネットの構造をもとにした脳のモデルの提案とコミュニケーションの実験

研究代表者：池上 高志 (東京大学) 連携研究者：岡 瑞起、Tom Froese (東京大学)

本研究では、デフォルトモード (安静時の大脳皮質の基盤となる活性パターン) とリアクティブモード (外からの刺激に対する応答) といった脳の特徴を中心テーマとし、人と人との相互作用を明らかにしていく。

1. 最近のインターネットの Twitter の時系列の間、あるいは Twitter と Google 間の情報の流れを計算することで、Twitter にもデフォルトモードが定義できること、情報は Twitter から Google へと流れていることなどを示した。また、時系列のバーストの解析から、内因性から生じるバーストと外因性で生じるバーストを区別して議論した。これらの議論は、神経細胞のネットワークの活動を考えていく上で、情報をどう定義するか、など基盤となる考察だと考えている。

2. また認知実験「感覚交差の実験 (PCE)」を用いて人と人の相互作用を検証し、相互作用している相手が「ほんもの」か「随伴する像」なのかの判別と、PCE においてモノの様相の知覚が立ち上がってくる過程を、2重 EEG の装置を用いて調べた。その解析結果はまだ途中であるが、共同的にそうした知覚が立ち上がる過程がみえてきた。



(a) $d = 3, \Delta t = 1 \text{ day}$

図 1 Transfer entropy は、平均として、Twitter から Google へと流れている。これはヒストグラムで、縦軸はエントロピーの大きさ。プラスなものは Twitter から Google へと流れている。

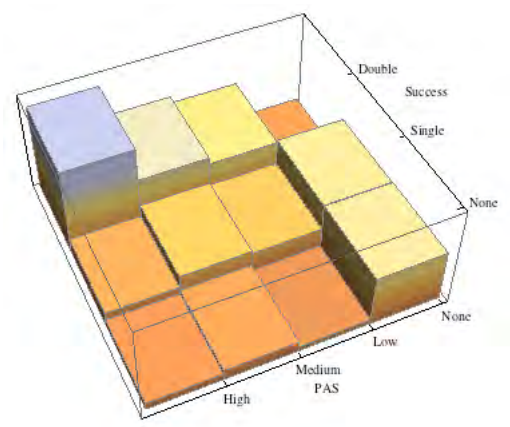


図 2 PCE の実験
各試行 15 回で、最後の試行の方では、お互いにどれが本物かわかるようになる。この時、どちらかだけがわかるということではなく、共同的に立ち上がる。手前の軸が PAS (知覚的気づきのスケール) で、奥が成功率 (同時か一方かゼロか) を表す。

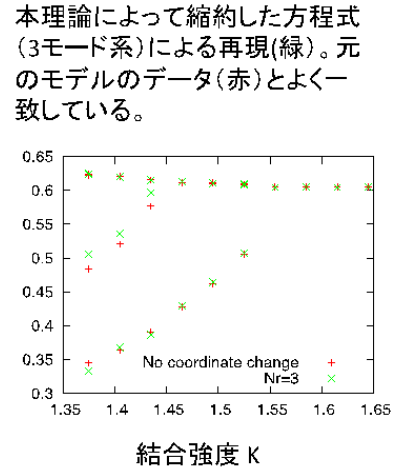
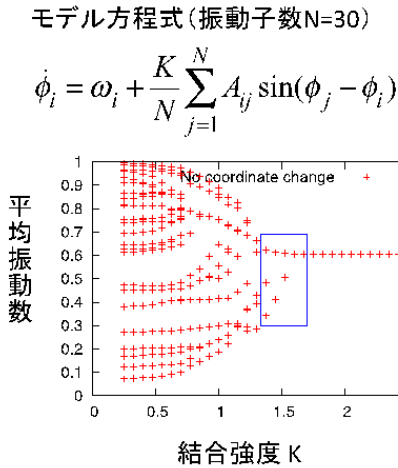
A01P3 班

意思決定ダイナミクスの階層性と不安定性を理解するための基礎理論の構築

研究代表者：郡 宏（お茶の水女子大学）

連携研究者：小林 康明（北海道大学） Ralf Toenjes（ポツダム大学） 研究協力者：泉田 勇輝（お茶の水女子大学）

コミュニケーションによる意思決定の背後には階層的な構造がある。つまり、各々の意思決定は神経細胞ネットワークなどの大自由度ヘテロ系が作り出す。ネットワークには実効的なモジュール構造があると考えられ、複数の部分集団の結合系と見なせる。本研究では、大自由度ヘテロ系の振動子ネットワークの縮約理論に取り組み、意思決定などの複雑なダイナミクスを理解するための基礎理論を構築している。これまでの研究で、重要なモードを表す変数の構成と、その変数が従う運動方程式を導くための系統的な理論を構築できた。結果は図の通りである。なお、この結果は本研究費によって雇用された泉田勇輝研究員が中心になって出した成果である。

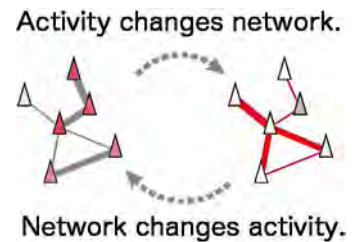


A01P4 班

異なる集団間のコミュニケーションが生み出す内部ダイナミクスの変化

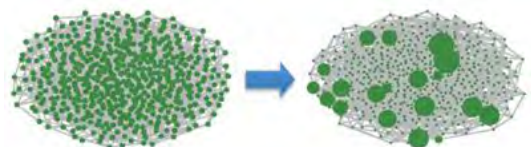
研究代表者：青木 高明（香川大学）

本班の目的は、シナプス可塑性によるネットワークダイナミクスの理解である。我々の脳は、コミュニケーションによる経験を経て変化している。それを支える神経基盤はシナプス可塑性だが、シングルシナプスレベルの研究と比べて、ネットワークレベルでは可塑性がどのように作用するのかという問題は理解が進んでいない。この問題は、結合自体の可塑性という従来の力学系理論を一步拡張したテーマを含んでいる。これに対して、私は従来研究されてきた結合力学系としてのニューロンモデルと可塑性を持つネットワーク結合と2つの時間変化を併せて、数理モデルの導入と解析を目指している。本年の成果は以下の通りである。



1. 始めに Spike-timing dependent plasticity を念頭にニューロン活動をリズム振動に限定することで解析を行い、可塑性なネットワークについて特性を分類した。概略を述べると、学習として Hebb 的なケースでは同期したクラスターができ、STDP のように時間順序関係があるケースではシーケンスを形成する。また Anti-Hebb の時にはシステムはカオス性を示す事が分かった。次にこの結果に基づき、性質の異なるリズム振動子の集団を2つ用意し繋いだときの効果を調べた。同じ性質の集団同士では重ね合わせのような状態となるが、異なる性質の集団間が繋がることでカオス的振る舞いをする集団の性質が変化することが分かった。

2. 別の視点からのアプローチとして、可塑性ネットワークを記述する Framework 構築を目指した。1. の結果では素子状態として発火タイミングだけを記述しているが、これを一般の物理量、例



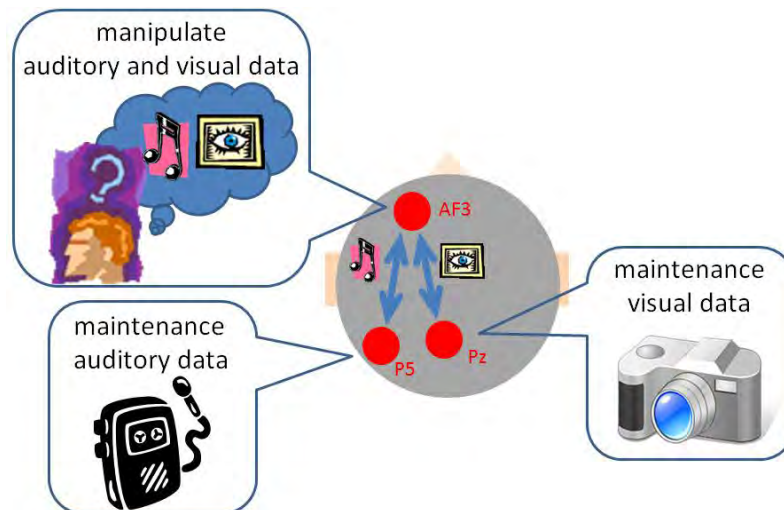
えばリソース量（セルアセンブリの Activity 濃度、Ca イオン等の濃度他）に拡張し、可塑的ネットワークを記述することを目指す。既に良く研究されている反応拡散系に即して、リソースの拡散・輸送ネットワークとリソースに依存したネットワーク変化を併せて考え、可塑的ネットワークのダイナミクスを調べた(Aoki & Aoyagi, PRL、2012)。概略を述べると、大規模ネットワークではリソース分布が冪則となり Zipf 則に整合する結果が得られる。ミクロに見ると各ノードは栄枯盛衰を繰り返し非定常的となる事が分かった。

A01P5 班

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

研究代表者：手老 篤史（九州大学） 連携研究者：秋山 正和（北海道大学）

人間は情報を操作する場合に前頭部（AF3）を用い、聴覚経路の情報を保持する場合に側頭部（P5）に視覚経路の情報を保持する場合に頭頂部（Pz）を用いていることが脳波の測定によりわかっている。だが、AF3にて操作された情報はどのようにしてP5, Pzに振り分けられるのだろうか。本領域山口班・西浦班と共にこの脳の情報振り分けに関する研究を行った。聴覚入力による情報処理（Auditory Working Memory Task）と視覚入力による情報処理（Visual Working Memory Task）ではそれぞれ脳内のAF3とP5, AF3とPzの θ 波と α 波の振幅が増加し、位相に相関があることが山口班の実験によりわかった。我々はこれまでにAF3, P5, Pzにおける電位に着目した数理モデル（Ver. 1モデル）を構築し数値計算を行ってきたが、それに加えてAF3とP5、AF3とPzの双方向でやり取りされる情報（図の青矢印で表記）に関する数理モデル（Ver.2モデル）の構築も行った。これにより、実験にて測定された両WMT時のAF3の位相差がどのようにして脳内の情報振り分けを担っているのかを再現することが可能となった。



A01P6 班

多様なダイナミクスを学び、理解し、生み出す学習理論の新展開

研究代表者：古川 徹生（九州工業大学）

たくさんの動作パターンや音声パターンなど、私たち人間はたくさんのダイナミックなシステムを学ぶことができる。これは非線形テンソル方程式として記述でき、自己組織化マップ（SOM）を用いて解くアルゴリズムを開発した。このようなテンソル方程式はコミュニケーション理解の問題にも現れる。図1は電子メールのトラフィックデータを元に150人の人間関係を自己組織化マップとして表現したものである。

図中の赤い領域がクラスタ（集団）の境界を表し、人々がいくつかのクラスタに分かれて活動している様子が可視化できた。また非線形テンソル分解はマルチチャンネル脳波から脳内状態を可視化する技術としても使える可能性がある（図2）。

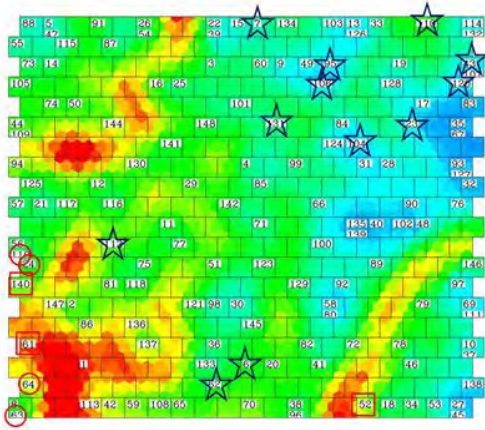


図 1: メール量によるコミュニケーションマップ

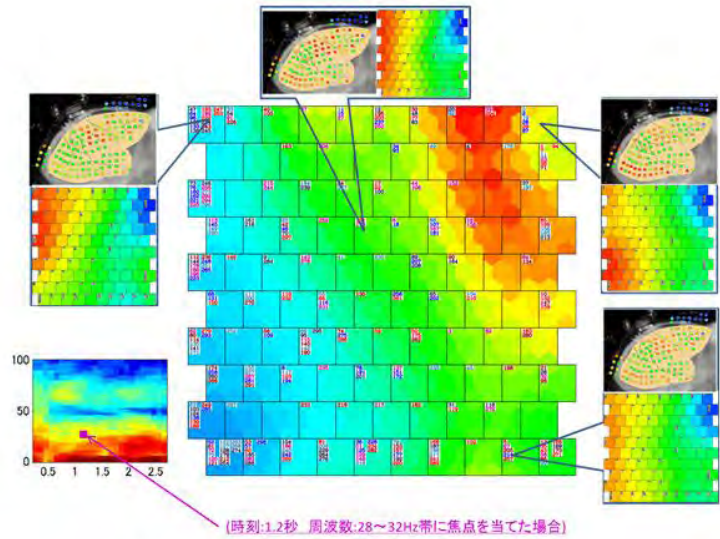


図 2: 脳波によるサルの脳内状態の可視化

A01P7 班

先行同期の獲得がもたらす未来の認識：生命の持つ主体性への力学系アプローチ

研究代表者：末谷 大道（鹿児島大学）

連携研究者：赤穂 昭太郎（産業技術総合研究所） Ulrich Parlitz（マックス・プランク研究所）

生命が持つ大事な機能として「予測」や「先読み」がある。現在我々は、予測能力の獲得過程を非線形力学系、特に、先行同期（Anticipating Synchronization: AS）の観点から研究を行っている。本年度は、Sussillo

と Abbott が提案した、echo state 型の再帰型神経回路網（RNN）に読み出し部分からのフィードバックを与えることで内部ダイナミクスをアトラクタとして安定化させる学習法（FORCE-learning）を利用した時系列の予測に関する研究を行った。その結果、教師データとして現在の RNN の状態と入力に関する未来の状態の差が与えられた場合には、ある一定時間安定に学習させることが出来た。しかし、AS で想定されている、RNN 内の過去の状態と現在の入力状態の差を教師データとした場合には学習がうまくいかないこ

Anticipating同期

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = f(x(t)) \\ \dot{y}(t) = f(y(t)) + K(x(t)) - y(t - \tau) \end{cases}$$

FORCE-learning

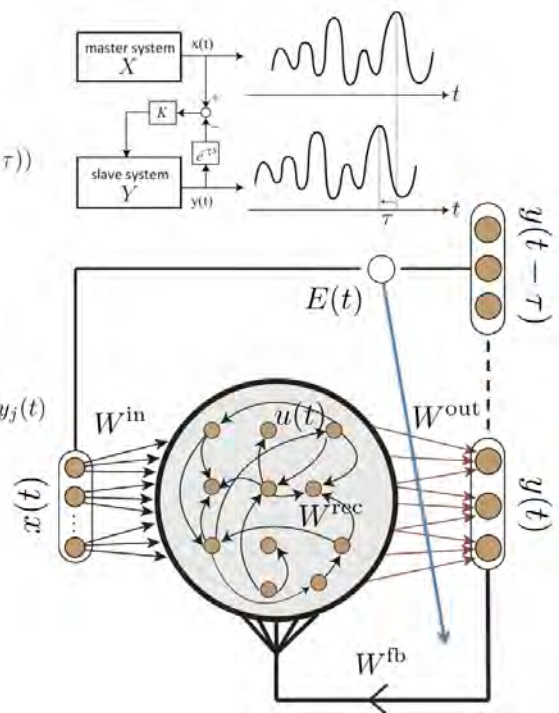
$$\begin{aligned} \tau \dot{u}_i(t) = & -u_i(t) + \sum_{j=1}^N W_{ij}^{rec} r_j(t) \\ & + \sum_{j=1}^M W_{ij}^{in} x_j(t) + \sum_{j=1}^L W_{ij}^{fb} y_j(t) \end{aligned}$$

$$r_i(t) = \tanh(u_i(t))$$

$$y_i(t) = w_i^{out}(t)^T r(t)$$

$$W^{out}(t) = (w_1^{out}(t) \dots w_L^{out}(t))$$

$$E(t) = \|x(t) - y(t - \tau)\|$$



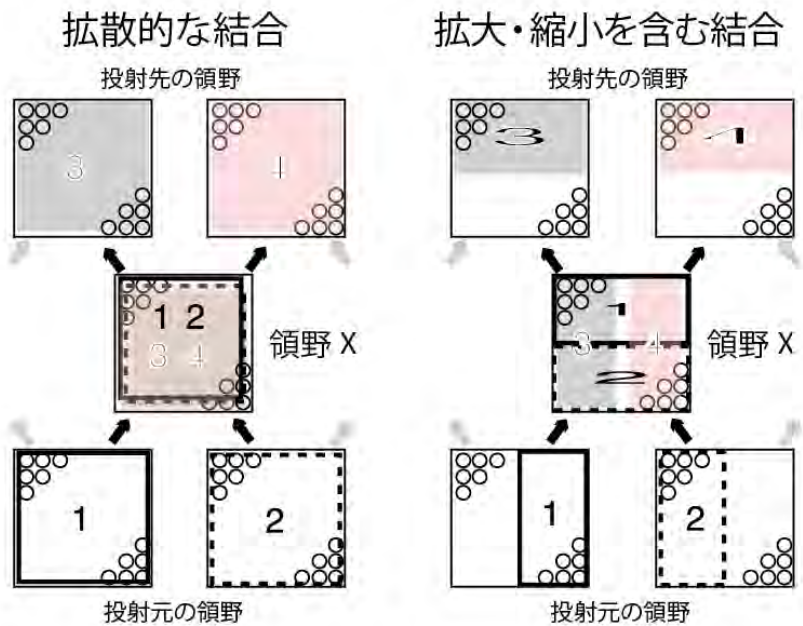
とが分かった。これは、FORCE-learning では、逐次的最小二乗法（RLS）で読み出し部分の重み係数を推定しているが、AS における同期誤差をそのまま RLS における誤差信号として用いることが適切でないためである。現在、その学習法の修正に取り組んでいる。また、AS の同期誤差を教師データとして直接与えるのではなく、強化学習における報酬のように課題に対する達成度に応じて間接的に系の学習を行う（Hoerzer らが FORCE-learning の枠組みで報酬の値に応じて読み出し部分の重み係数を修正する方法を提案している）ことで予測に対応する状態が RNN の内部に発生するか調べている。

A01P8 班

神経投射構造の導入による脳波の長距離同期メカニズムの解明

研究代表者：佐藤 直行（公立はこだて未来大学）

認知機能と関連して現れる脳波の長距離同期現象は、脳領野間の情報伝達メカニズムの理解にとって重要な現象であるが、脳波は数百万個ものニューロンの集団電位であり、長距離の情報伝達の実態を知るためには、選択的な情報を担う個々のニューロン活動と脳波の関係を明らかにする必要がある。本研究では、領野間ニューロン投射に空間構造を仮定することでニューロン活動と脳波とを関連づけ、両者の関係を計算機シミュレーションにより検討した。結果として、トポグラフィカルな投射構造に拡大・縮小の構造を加えることで、拡散的な結合では得られないような多様な投射経路を構成しうることを示した。また、このような複雑な投射構造では、脳波同期は起こりづらく、ニューロン活動と脳波の関連を見出すのが難しいことがわかった。この結果は、多様な投射経路を含む多領野回路で長距離同期を得るためには、何らかの大域的な修飾メカニズムが重要であることを示唆する。以上は長距離同期メカニズム解明の足がかりとして重要な結果である。



B01：ヘテロ脳内システム間相互作用（脳システム班）

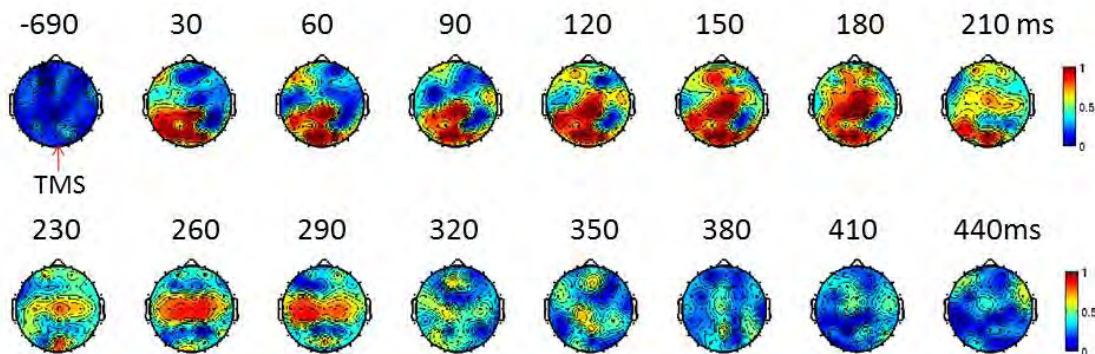
B01G1 班

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の解明

研究代表者：山口 陽子（理化学研究所）

研究分担者：北城 圭一（理化学研究所） 川崎 真弘（理研 BSI-TOYOTA 連携センター）

我々は経頭蓋磁気刺激（transcranial magnetic stimulation: TMS）—脳波測定システムを用いてヒトの脳の大域的なリズムネットワークとそこでの情報流を操作的に検証する方法の開発を行っている。まず単発 TMS により刺激近辺部位での脳波自発活動の振動の位相リセットや振動振幅の増加を起こせることを発見した。この位相リセットは刺激近辺部位から大域的に伝搬し周波数特異的かつ状態依存的であることを示した。例えば視覚野に TMS を印加し誘発される位相リセットの伝搬様相を解析すると開眼時に閉眼時に比べてより強く視覚野から運動野等の離れた部位への伝搬がアルファ波 10Hz 近辺で起きる。つまり開眼時には閉眼時に比べて位相同期ネットワーク内でのボトムアップ的な情報流が強い。また位相リセットの伝搬とその状態依存性を引き起こす仕組みについて、他の班と結合振動子モデルを用いた理論面からの共同研究を行っている。これにより位相同期ダイナミクスが脳の情報流を状態依存的に制御する仕組みを説明することに成功した。我々の実験解析手法は従来の脳波解析のみによってはわからない位相同期ネットワークの結合の方向性や情報流を操作的にみるために非常に有効であり、知覚、記憶、運動その他の脳機能に関連するネットワークの操作的な解明を目指している。さらに、現在、単発ではなく連発での TMS により特定周波数での過渡的な引き込みを大域的に起こせることを検証中である。この手法を用いて脳の位相同期ダイナミクスを周波数特異的に操作して解明することができる。



開眼時の視覚野TMSによるアルファ波位相リセットの伝搬の1被験者例 (Kitajo et al.)

B01G2 班

異なる入力情報の相互作用による自己組織化メカニズムの解明

研究代表者：相原 威（玉川大学）

研究分担者：藤井 聡（山形大学） 酒井 裕（玉川大学）

脳内の外界モデル形成には、外界からのボトムアップ（感覚）情報だけでなく、注意や情動などによる広範囲調節系と呼ばれる内因性の情報も融合する必要がある。海馬や皮質などの神経回路への調節系の信号は、

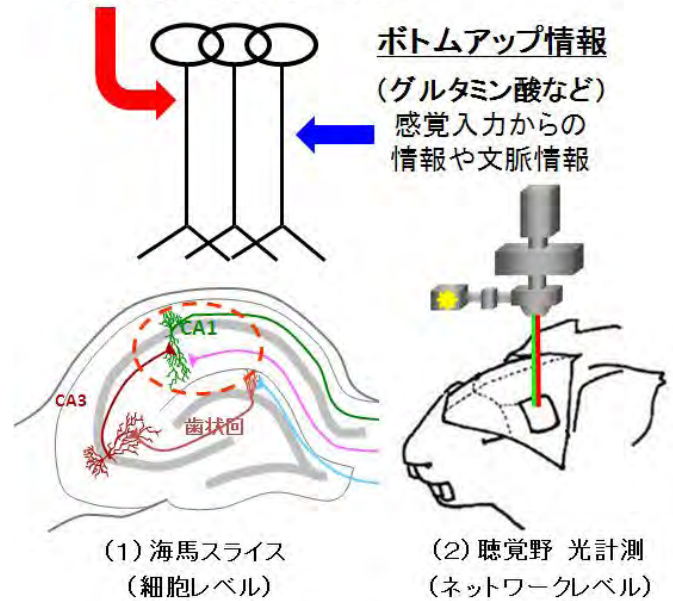
集中時などに内在性アセチルコリン (ACh) として放出され、記憶に関与するとの報告がある。そこで、本研究はボトムアップ入力の統合に対する ACh による修飾を以下2つの実験で検証することを試みた。

細胞レベル：ラット海馬 CA1 野における ACh 放出時のスパイクタイミング依存性可塑性について調べた。結果として、ACh の存在下で長期増強（記憶）が促進され長期抑圧（忘却）妨げられ、その修飾メカニズムにおいて抑制性細胞の局所ネットワークが重要なカギを握ることが明らかとなった。

ネットワークレベル：モルモットに対して純音と電気刺激による恐怖条件付けを行い、条件付け前後における聴覚野の応答変化について光計測で調べた。その結果、電気刺激による情報が扁桃体→前脳基底部を経て聴覚野へ ACh を放出し、ボトムアップ入力（音情報）と連合を起こし、電気刺激のみでも聴覚野が応答することを発見した。現在、さらに光刺激を加えた2次条件付け時の視聴覚情報の統合について調べている。

トップダウン情報（アセチルコリンなど）

報酬・情動・注意などの情報



B01G3 班

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記憶メカニズムの解明

研究代表者：奥田 次郎（京都産業大学） 研究分担者：藤井 俊勝（東北福祉大学）

本研究では、人間が記憶に基づいて将来行動を展望し、遂行する際の脳領野間の機能連携を検討する。特に、記憶に基づく将来行動の計画立てにおいて働く脳の内側領野のネットワーク（「記憶＝展望」システム）と、現在の環境に対する即時的な認知活動を担うネットワーク（環境応答システム）との間の機能連携に着目し、これらシステムが階層的に結合した個体間コミュニケーションの脳認知モデル（右図参照）を提唱する。本年度の研究において、情報を誰から得たかの記憶（情報源の記憶）と、誰に伝えたかの記憶（伝達先の記憶）が、「記憶＝展望」ネットワークの中でも異なる脳領域に依存することを機能的 MRI により同定した。この知見を応用し、「意思交換の相手から得た情報の記憶」と「自己が相手に伝達した情報の記憶」が個体間コミュニケーションシステムの成立に果たす役割と、その脳認知メカニズムの解明へと研究を進めている。

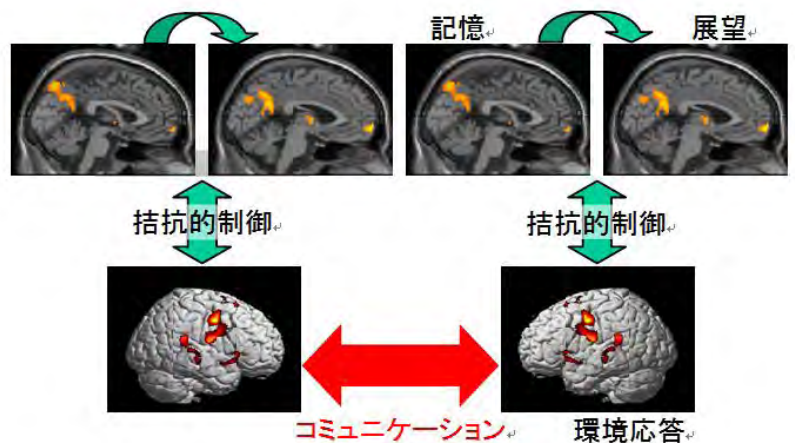


図) 記憶と展望に基づく階層的コミュニケーションモデルの概念図。各個人の脳内において、外界の物理的情報を処理して行動応答を出力する「環境応答システム」と、記憶に基づいて将来を展望する「記憶＝展望」システムが拮抗的な制御関係を有する。音声や表情、身振りなどの物理的な信号は「環境応答システム」を通じてやりとりされるが、この入出力には各人の「記憶＝展望」システムが階層的に関わる。

B01G4 班

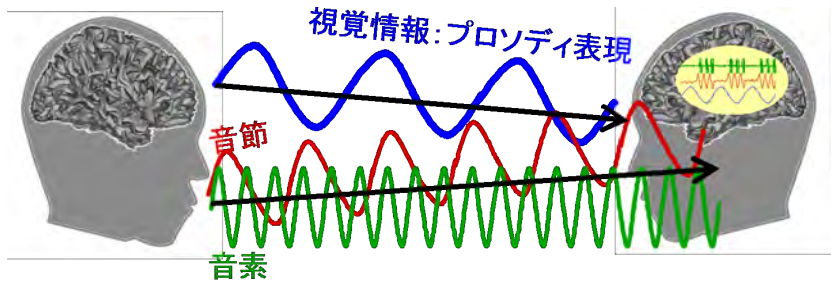
脳内回路の引き込み協調による言語・非言語コミュニケーションの創発原理の解明

研究代表者：水原 啓暁（京都大学）

研究分担者：乾 敏郎、笹岡 貴史（京都大学） 研究協力者：鹿内 学（京都大学）

音声コミュニケーションにおいては話者の顔を見ることで相手の話を聞き取りやすくなることが知られている。これは話者の発話にともなうジェスチャなどの視覚情報（プロソディ表現）が、聞き手の脳内の振動状態（脳波）を引き込むことで、発話进行处理のための最適な神経ネットワークにさせているためであると考え、音声コミュニケーションを想定した聴取実験中の脳波を計測した。この実験から、聞き手の脳波が発話のジェスチャなどの視覚情報に引き込まれること、さらに引き込まれた脳波の特定のタイミングにより音声の成分（音節や音素）を処理していることを示唆する結果を得た。

上記の研究を含め、現在、我々の研究班では言語や非言語によるコミュニケーションのメカニズムを、「脳内の神経ネットワーク」に着目することで研究を進めている。



話者のジェスチャや頭部の動きなどの視覚情報（プロソディ表現）により、話者は音声（音節や音素）のタイミングを聴取者が予測可能となる。このことにより話者の顔を見ることで音声を聞き取りやすくなると示唆される。

B01P1 班

主課題と割込み課題からなる二重課題の遂行に關与する内側・外側高次運動野の機能連関

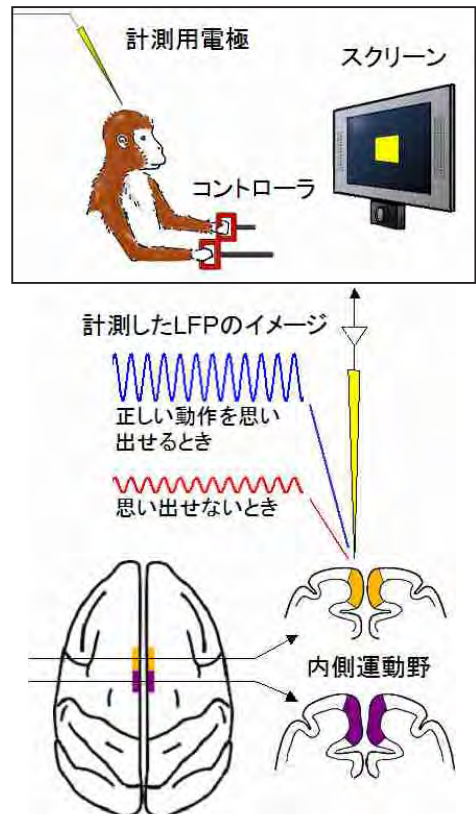
研究代表者：嶋 啓節（東北大学）

連携研究者：中島 敏（東北大学）

保坂 亮介（福岡大学）

虫明 元（東北大学）

私達がある課題（主課題）に取り組んでいるとき、別の課題（割込課題）が外部から割り込んでくることはよくあることです。そんなとき、私達は一旦主課題を中断し、割込課題に対応した後、主課題を思い出して再開することができます。本研究は、このような複数課題を脳がどのようにやってのけるのかを解明しようとしています。研究グループでは、ニホンザルに主課題と割込課題からなる運動課題を行わせ、そのときの脳の電気活動（LFP）を「内側運動野」と呼ばれる領域から多数記録しつつあります（上図）。今年度は、サルが記憶した運動をきちんと思い出せない時は、思い出せる時と比べてβ波と呼ばれるLFPの振幅が弱くなることを発見しました（下図）。内側運動野のβ波が、一旦組み立てた運動のプログラムを維持するのに大事であることを示した結果です。



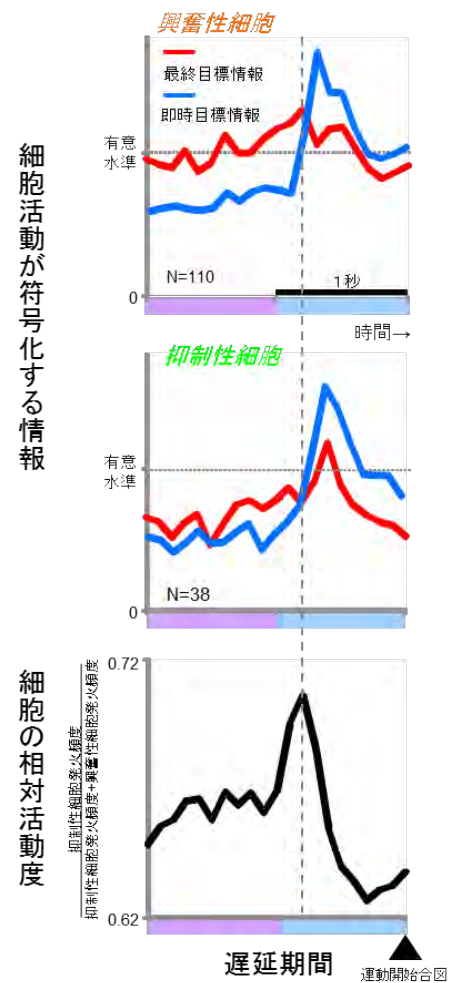
B01P2 班

興奮性細胞・抑制性細胞神経回路の前頭葉領野間分業と動物-環境間の関係創発

研究代表者：坂本 一寛（東北大学）

連携研究者：虫明 元（東北大学） 研究協力者：川口 典彦（東北大学）

我々はこれまで、経路探索課題（迷路課題）と呼ばれる課題を遂行中のサルの前頭前野には、ゴール表現が遷移する細胞、すなわち細胞発火活動が符号化している情報が行動の最終目標から即時目標（1手目の行動）に遷移する細胞を見出してきた。平成24年度では、このゴール表現遷移と興奮性細胞・抑制性細胞の活動間の関係に焦点を当て解析したところ、図に示した通り、ゴール表現の遷移時刻と抑制性細胞活動の一過性の相対的上昇時刻が見事に一致した。このことは、興奮性細胞と抑制性細胞の活動のバランスが前頭前野神経回路の情報符号化状態を動的に変化させることを示唆する。動物が時々刻々変化する環境に適応する上で前頭前野は重要な役割を果たすと考えられるが、その背後には、ここで示したような柔軟かつ動的な神経機構が存在すると思われる。今後は、興奮性細胞・抑制性細胞の活動バランス変化の意義の一般性や、神経細胞活動の同期現象、ゆらぎ現象との関係を検証していく。



B01P3 班

神経回路網のカオスを用いたヘテロ脳間及び脳内ヘテロコミュニケーションの原型モデル

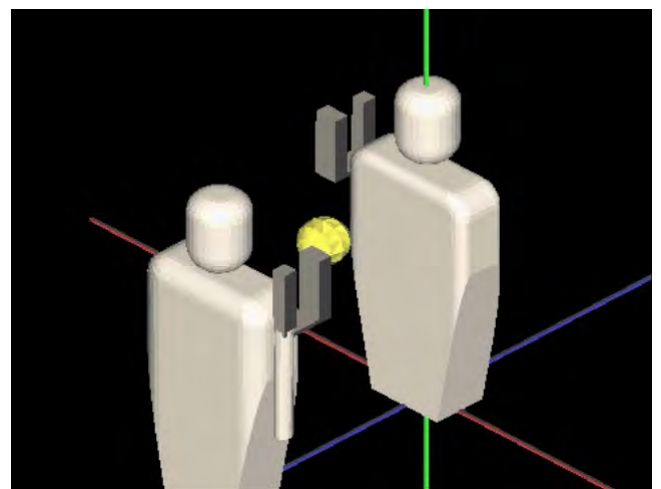
研究代表者：奈良 重俊（岡山大学） 連携研究者：長屋 智之（大分大学）

本期間では特に、

(1) 神経回路網に適切なアトラクターを埋め込み、ネットワーク構造を変化させてカオスを導入し attractor regime と chaos regime を適応的に切り替えることにより自律的に不良設定問題求解を行うロボットシステムを構築し、成功裡に計算機機能実験を行い、カオスを含む複雑なダイナミックスの生体的制御機能に関する役割解明へのアプローチを行った。

(2) 神経回路網に適切なアトラクターを埋め込み、ネットワーク構造を変化させてカオスを導入し、設定した送受信素子群間において**多点間の同時多チャンネル双方向信号伝達**に関する計算機機能実験を行った。そしてそれを基礎にした脳内ヘテロコミュニケーション機能にアプローチを行った。

(3) カオスを導入した制御系を搭載したロボットを2体想定し、それらの行動に関する機能的相互作用（[追跡と逃亡]や[物体の取り合い（図参照）]）の計算機実験を行い、それらを通じてヘテロ脳間コミュニケーションへのアプローチを行った。



B01P4 班

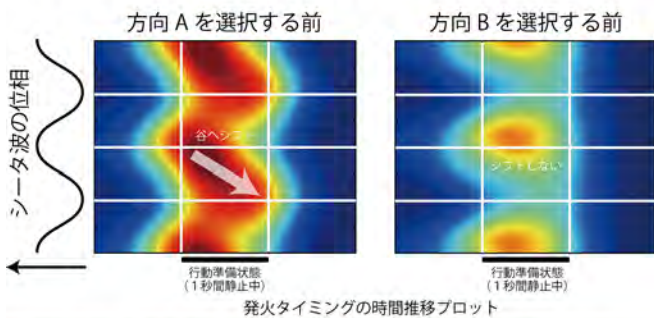
ラット海馬における「自己」と「他者」の空間表現のメカニズム

研究代表者：ローレンス ヨハン（九州大学） 連携研究者：高橋 宗良（九州大学）

他者とのコミュニケーションのためには、他者の存在やその行動意図を理解する脳機能が必要である。我々はその基本的なメカニズムのひとつとして、他者の空間的な位置やその軌跡を把握するための神経基盤に興味を持ち、ラットにおいて空間認知の研究が盛んな海馬に注目した。ラットの海馬には、ラット自身が特定の空間領域を通過する際に選択的に活動する「場所細胞」の存在が知られている。霊長類等で報告されているいわゆるミラーシステムの発想を加えて発展的にこの場所細胞システムを捉え、これらの場所細胞の一部が自己のみならず他者の位置情報についても反応を示すことが期待される。しかし、過去に他者の位置情報と強い相関を示す海馬ニューロンは報告されてない。我々は従来の研究手法の問題点を修正した「他者の行動軌跡を模倣することが解法につながる迷路課題」を構築し、実験装置の開発を進めてきた。

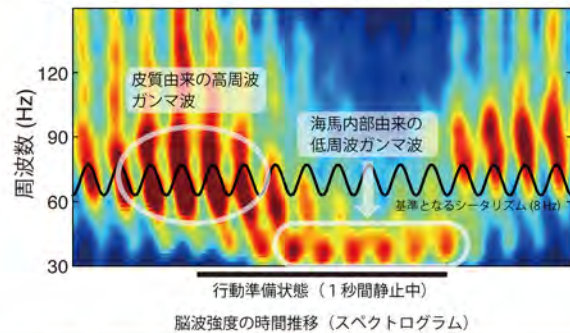
また上記の新課題開発と並行して、(自己の) 空間情報の脳内表現として場所細胞の活動頻度以外の可能性を探求してきた。なかでも我々が注目したのはシータ波をはじめとする脳内脳波と細胞活動のタイミングである。海馬内で観測されるシータ波は移動行動時に顕著に観測されるが、一方で行動を停止し、周囲に注意を払っているときや、次の行動への意識を高めているときにも観測されることが知られている。我々は後者の行動準備状態に見られるシータ波と細胞活動やガンマ波との関係性について詳細な解析を行った。その結果、次を取る行動方向の違いによって静止中のシータ波に対する細胞活動のタイミング(位相)がシステムティックに変化する特性を発見した(図参照)。今後は他者の動きを注視している状態の海馬において、他者の空間表現がこのような脳内リズムと個々の細胞活動のタイミングに埋め込まれている可能性に着目しながら、個体間のコミュニケーションの基礎となる他者の認識、他者の脳内表現の神経基盤を解き明かしていきたい。

行動準備中の海馬ニューロンの発火タイミングは、特定の行動開始前にシータ波の山から谷へとシフトする



特定の脳波の位相に合わせた発火をすることで、海馬ニューロンが異なる情報を送信している可能性を示唆(特に行動再開直前)

海馬内ガンマ波はシータ波の変調を受け、行動準備中に高周波成分と低周波成分の強弱が逆転する



海馬系の情報処理が「外部からの情報取り込み」から「海馬回路の計算結果送信」にスイッチした可能性を示唆

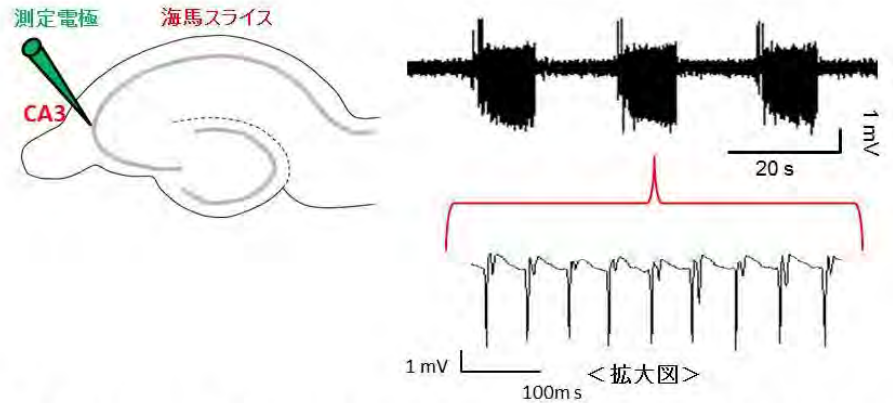
B01P5 班

神経リズム中に誘導されるダイナミカルセルアセンブリの実験的検証

研究代表者：夏目 季代久（九州工業大学）

個体間コミュニケーションにとって記憶過程は重要な機能である。記憶が無いと相手の事も忘れてしまいコミュニケーションが成立しない。本研究は、コミュニケーション神経情報学にとって必要なダイナミカルな記憶情報処理過程の解明を目的とする。記憶学習の脳内表象として、複数の神経細胞集団の発火が関わるセルアセンブリ(CA)が考えられている。一般的に、CAは時間的には一過的な発火が見られるだけである

が、1996年に塚田、津田、合原、藤井らによって、提案されたダイナミカルセルアセンブリ (DCA) は時間パターンも持つ。しかし、まだ実験的にその存在が証明されていない。脳内海馬では、記憶学習に関わっている θ 波、 β 波、 γ 波などの脳波が観察されている。また記憶過程の障害に関わる、てんかん発火も観察される。研究代表者は、これまでアセチルコリンと同様の作用をするカルバコールを海馬スライスに投与すると θ 、 β 波が誘導される事を明らかにした。本研究では、その β 波中には少数の神経細胞が同期しており、その同期発火が興奮波となり伝搬する事を示唆する結果を得た。さらに多点電極システムを用いてスライスで発生する θ 波中の神経発火の時空間パターンを測定し、興奮波の伝搬が誘導される事を明らかにした。この事は θ 、 β 波発生中に、海馬神経回路内に神経活動の時空間パターンが自発的に誘導され、外界刺激と連合し、その結果、DCAを形成する可能性が示唆される。



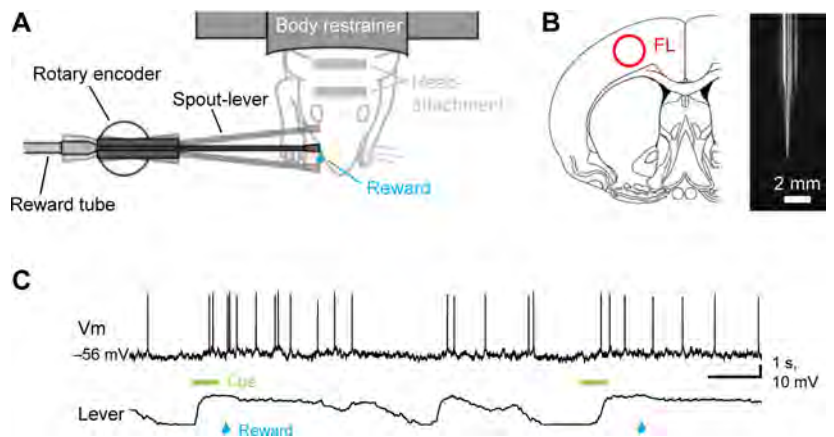
海馬スライスからの電気測定(左)と海馬スライスで観察される β 波(右)。 β 波(右下)は20-30秒インターバルでバースト的に誘導される(右上)。

B01P6 班

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

研究代表者：磯村 宜和 (玉川大学) 連携研究者：福島 康弘 (川崎医療福祉大学)

本研究は、随意運動をトップダウン的(内発性)またはボトムアップ的(外発性)に発現する際に、大脳皮質の運動野の神経細胞群がどのように運動情報を処理するのかを、マルチニューロン記録をもちいて解明することを目指している。そこで我々は、前肢で操作するレバーと報酬スパウトを合一化した「スパウトレバー」を活用して、頭部を固定したラットが外発性/内発性運動課題を数日以内に効率的に学習する行動実験系を確立した(Kimura et al., 2012)。このように外発性と内発性の運動発現を繰り返す多数のラットにおいて、一次運動野の前肢領域に2シャンク4テトロード配置を有する16チャンネル・シリコンプローブを挿入し、複数の神経細胞の発火活動を解析した。その結果、外発性と内発性の運動発現でRS(興奮性)細胞とFS(抑制性)細胞の活動に若干の相違がみられること、運動発現の諸局面に応じて活動する機能的に異なる細胞間で同期的発火がみられること、一次運動野と二次運動野の活動に大きな違いはみられないことなどを見出した(投稿準備中)。また、運動の保持の段階と実行の段階で、それぞれ低周波と高周波のガンマ・オシレーションが生じ、多くの神経細胞が両段階で位相特異的に発火することを示した(理研BSIとの共同研究)。現在、特に運動野における同期的発火活動の特性と意義について解析中である。



運動発現中の運動野細胞の膜電位変化。A) 前肢によるスパウトレバー操作運動課題。B) 運動野の記録部位とホールセル記録電極。C) 運動野細胞の膜電位変化とレバー軌跡。(Kimura et al., 2012 を改変)

B01P7 班

実環境におけるリスクと情報探索の神経機構

研究代表者：鮫島 和行（玉川大学） 連携研究者：植田 一博（東京大学）

朝の通勤時間帯、あなたはいつも駅のキオスクで缶コーヒーを買い、電車に乗り込みます。さて、あなたなら銘柄はこれと決めたいつも買っている缶コーヒーを買いますか？それとも今週から売り出した新商品を選ぶでしょうか？日常は意思決定の連続でありその意思決定は、変化する環境に適応するように選択肢の価値を学習・評価・比較する脳機能によって担われています。本研究では、強化学習における脳機能が日常の意思決定を特徴づける事ができるのかどうかについて調べています。複数の銘柄のミネラルウォーターから、「もし買うならどれを買うか」という意思決定を行ってもらい機能的MRI スキャナによって脳活動を計測しました。それと同時に確率的に報酬が得られる4つの選択肢から1つを選択する強化学習課題を行ってもらいました。その結果、自分の知らない新規な商品を選択しようとする時により強く活動する領域は、強化学習では経験から得られた価値よりも探索を優先したときに賦活する領域でした。さらに、強化学習でより探索を優先する傾向にあるヒトは、商品選択課題でも新商品をより多く選択する傾向があることがわかりました。すなわち、「あたらしもの好き」の商品選択傾向は、単なる新規好みだけでなく、未知の選択肢をあえて選択する「探索好き」の傾向と一致する事がわかりました。実験室環境で使われる行動課題と計算論的モデルによって個人傾向を特徴付けることで、日常の意思決定傾向の一端を明らかにしました。



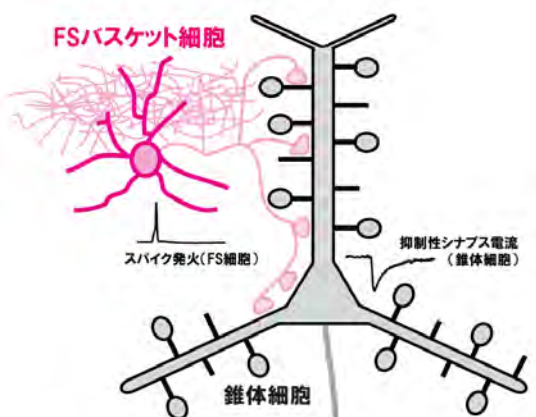
図1 商品選択課題；4つのミネラルウォーターから1つを選ぶ際の脳活動をfMRIによって計測する。

B01P8 班

大脳皮質FSバスケット細胞から錐体細胞への抑制シナプス支配の機能的解析

研究代表者：窪田 芳之（生理学研究所）

ラットの大脳皮質のスライス標本を用いて、FSバスケット細胞の発火により錐体細胞で観察される抑制性シナプス電流（IPSC）を（図参照）、ペア電気生理記録法で解析し、NeuroLucidaを使った樹状突起と軸索の3次元解析、電子顕微鏡によるシナプス結合部分の3次元観察等の形態観察を組み合わせ、解析した。FSバスケット細胞の神経終末が、錐体細胞の細胞体から40 μ mより近位にシナプス結合を持ったペアはIPSCを観察する事ができたが、それ以遠にシナプス入力するペアではIPSCは検出できなかった。それらのシナプス結合を電子顕微鏡連続切片観察によって3次元再構築し、シナプスジャンクション面積を測定した。その結果、細胞体に接着するシナプスの面積は大きく、樹状突起上のシナプス面積は小さく、棘突起上のシナプス面積はさらに小さい事がわかった。モデル細胞を使ったシミュレーション解析の結果、樹状突起や棘突起上のシナプスの面積が小さいのでシナプスを流れる電流も小さく、IPSCが減衰してしまい遠くまで伝導しないということがわかった。



C01： 個体間相互作用（個体システム班）

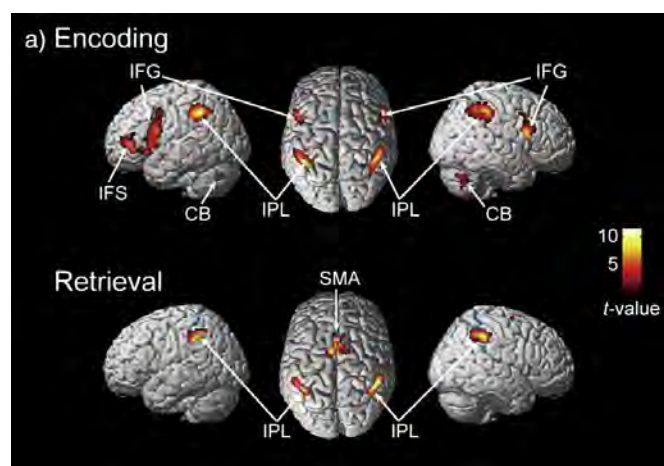
C01G1 班

他者との相互作用を介した情報獲得メカニズムの解明

研究代表者：中村 克樹（京都大学） 研究分担者：中村 徳子（昭和女子大学）

連携研究者：倉岡 康治（京都大学） 佐々木 丈夫（日本公文教育研究会） 研究協力者：鴻池 菜保（京都大学）

「リズム」は音楽だけでなく言語においても重要な要素のひとつです。私たちが音楽や言語を習得するには、特定のリズムを覚え、保持し、その覚えたりズムを思い出すという記憶の過程が必要です。私たちはリズム記憶課題を用いて、ヒトの脳のどこが働いているのかを調べました。リズムを音として提示しても、光として提示しても、前頭葉・頭頂葉・小脳が同様に働くことを見つけました（Konoike et al., 2012）。リズムの記憶に関わる脳領域の多くは、今まで運動制御に関わると考えられていた領域です。音楽を聴くと自然と体がリズムをとって動くというように、リズムと運動は密接な関係があります。リズムは脳内で運動情報として記憶されている可能性があると考えられます。



リズムを覚えるとき（Encoding）と思い出すとき（Retrieval）に働いた脳の場所を赤や黄で示している。左から左半球の側面図、上面図（上が前）、右半球の側面図。前頭葉・頭頂葉・小脳が働いている。

C01G2 班

社会場面での人の役割分担の自律的発生メカニズムの解明

研究代表者：大森 隆司（玉川大学）

研究分担者：長井 隆行（名古屋大学） 有田 隆也（電気通信大学）

本研究班は、インタラクション場面において他者の意図や心的状態を考慮した行動決定過程のモデル化を行なう。具体的には、カードゲームやじゃんけんなどの遊びを行うロボットに、表情や身振りから相手の遊びやロボットへの興味を推定し、それに基づいて行動を変えていく他者理解の機能を付加した。そして、相手の心的状態に応じて行動を変えていくアルゴリズムの開発とその評価を通じて、コミュニケーションに必要とされる情報処理の脳における実現のあり方を検討する実験課題を検討してきた。



これまで、このロボットを用いて子供（6歳児）との遊び実験を行い、相手の状態に応じて行動を変えることが子供のロボットに対する行動をより人間に対するものに近くする効果があることを確認した。すなわち、子供は遊びの間はゲームなどに集中しているが、その終了の瞬間に「次はどうする？」というように相手の顔を見ることが多い。我々の実験で、子供は従来のロボットの顔はあまり見ないが、我々のロボットにはその顔を見て次のアクションを待とうとすることが確認された。これは、コミュニケーション場面で相手の様子を見て行動を決めるという人なら普通の機能が、これまでのロボットには無く、この研究で人のコミュニケーションの仕組みを組み込むことで初めて実現されたと考える。我々はさらに、ロボットからの働きかけに対する子供の応答とその性格傾向の関係を分析し、子供との遊び行動選択には子供の性格傾向を考慮することが有効であり、さらに子供の行動からその性格傾向を推定できることを示した。

コミュニケーション場面では、自己と相手の個性の組合せにより円滑に行く・行かないが分かれることがしばしば発生する。これまでそれは相性という言葉で簡単に表されてきたが、本研究はコミュニケーションの背後にある脳認知過程でそれを説明しようとするものであり、今後はより多くの事例での検証が必要とされている。

C01G3 班

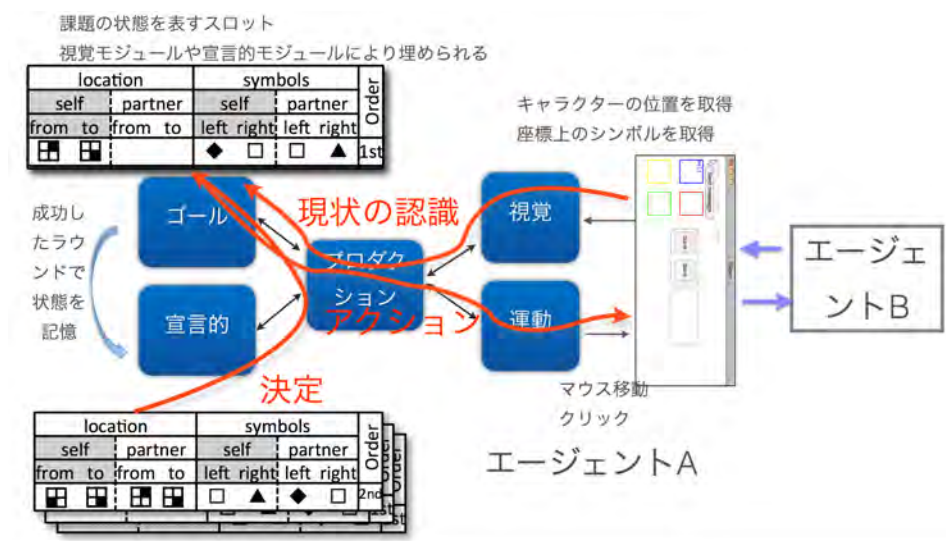
言語的推論と連続ダイナミクスの相互作用による意味創造メカニズムの解明

研究代表者：橋本 敬（北陸先端科学技術大学院大学） 研究分担者：森田 純哉（北陸先端科学技術大学院大学）

本計画班では、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研究している。これまで、(1) コミュニケーションシステム自体も共通言語がない状態から二者間の相互作用を通じて創発すること、(2) その過程には、共通基盤の構築（前記号的語用論段階）、denotation を伝える記号システムの共有（意味論・統語論段階）、connotation を伝える役割分担の形成（語用論段階）の3つのステップがあることを、言語進化実験により明らかにした。

この実験を、ACT-R という認知アーキテクチャ（下図）を用いてシミュレーション解析を行った。その結果、他者が用いたメッセージや行動を模倣して行動決定をする方法を採用すれば、人間の実験が良く再現されることが分かった。実験の解析では、二者の行動を交えた transfer entropy が課題成功群において有意に下がることが分かっている。これらを合わせて考えると、模倣により相手の行動を採り入れることで二者間の情報流が秩序化され、コミュニケーションシステムがうまく作られることが示唆される。

B01G3 班との共同研究により、この実験課題中の二者脳波同時計測を行っている。脳波データの予備的解析より、メッセージの送受信時に頭頂葉で μ 波抑制が見られることが分かった。この結果はミラーニューロンシステムの活動を示唆するものである。本課題では、相手の動作を見聞きしていないが、そのような状況においても、コミュニケーションシステムをともに作っていく過程にはミラーシステムが関与する可能性がある。



C01G4 班

環境と神経モジュールの相互作用による実時間運動指令創成のメカニズム

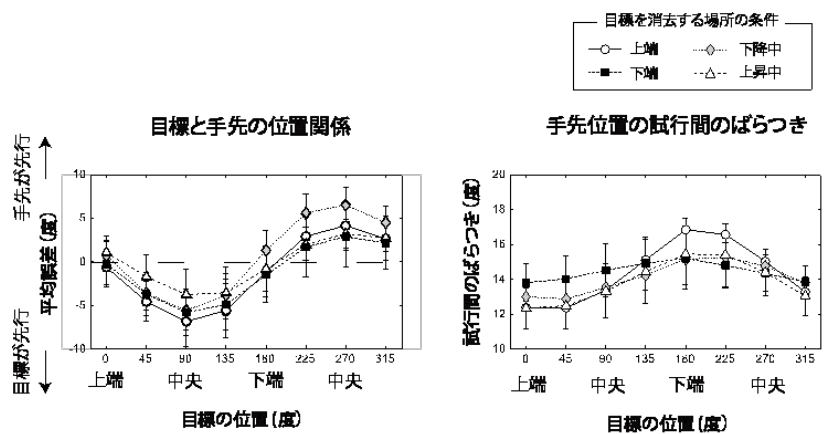
研究代表者：阪口 豊（電気通信大学）

研究分担者：宮下 英三（東京工業大学） 成瀬 康（情報通信研究機構） 石田 文彦（富山高等専門学校）

連携研究者：村田 哲（近畿大学） 研究協力者：井上 康之（電気通信大学）

この班では、環境との相互作用の中で脳神経系が運動指令を実時間で生成するメカニズムの解明を目的として、計算理論、行動実験、生理実験を組み合わせた研究を行っている。

計算理論では、連続的な運動課題を離散的な時間区間に分節して実行する「間欠的制御モデル」をモデル予測制御の考え方に基づいて実装し、ヒトに近い振る舞いを再現しつつある。行動実験では、正弦波状に運動する視覚目標を手先で追従する課題において目標と手先の位相関係、また目標消去が追従性能に与える影響が、目標の位置に応じて変化することを見出した（図参照）。この結果は、ヒトが目標追従課題を間欠的な予測的制御により実行していることを強く示唆する。加えて、サルを対象とした行動実験では、連続的な円描画動作において腕運動に先行したサッカーボール眼球運動が数回生じることや手先軌道の曲率が不連続的に変動することを見出し、サルの随意運動制御においても間欠的な制御が行なわれていることを示す結果を得た。一方、生理実験では、単一試行のヒト定常脳波からその位相跳躍を検出する信号処理手法を感覚運動領野で観測される脳波に適用し、運動開始に先んじて検出される位相跳躍について解析した。



・場所によって、手先は目標に先行する。
→単に目標を追いかけているわけではない。

・上端、下端で目標を消去すると、下降中・上昇中に消去するときに比べてばらつきが大きくなる。
→上端、下端の視覚情報が重要である。

C01P1 班

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

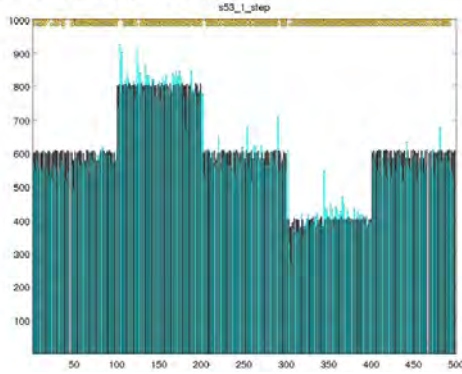
研究代表者：船曳 康子（京都大学）

連携研究者：村井 俊哉、高橋 英彦（京都大学） 研究協力者：深尾 憲二郎（京都大学）

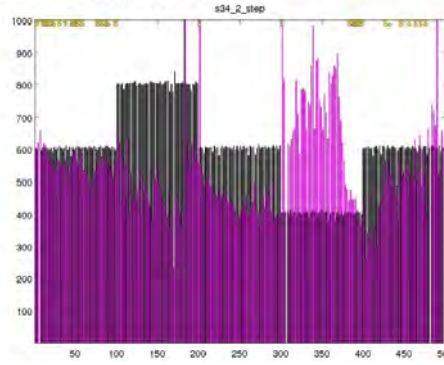
発達障害者は程度の差はあれコミュニケーションの障害を有することが多く、当該疾患の社会性の障害もコミュニケーション障害の結果という解釈もできる。そこで、その基盤を明らかにすることで、学習や教育、更には社会支援に生かすことを目的とする。これまでに、状態差、個人差、評価者間の差により、これらの評価にずれが生じることを見出し、それらの統制をとった上での計測を行っている。

今年度は、理化学研究所の山口先生、北城先生、川崎研究員と共同で、2者間で協調タッピング課題時の脳波測定を行った。主として、自閉症スペクトラム障害者（ASD）とコントロールのペアーとし2者間のタッピング、そして、相手がコンピューターであることを告げずに、種々の条件のコンピューターとタッピングさせた。行動レベルでの結果は、ASDでは急な変化に対応できず、一端、リズムが乱れると途中から修正することも困難な傾向にあった。引き続き、上記課題を遂行するとともに、計測機器を増やし、解析も進めていく予定である。

タッピング間隔例：健常群



タッピング間隔例：ASD群



黒：コンピューター、青：コントロール、ピンク：ASD、縦軸：タッピング間隔（ミリ秒）、横軸：タッピング回数

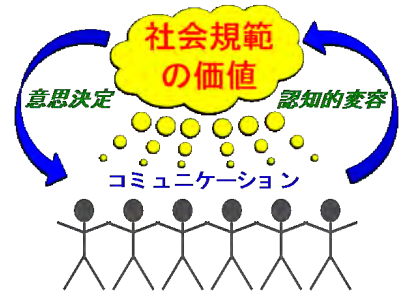
C01P2 班

社会規範の価値表現とその認知的変容の神経基盤

研究代表者：松元 健二（玉川大学）

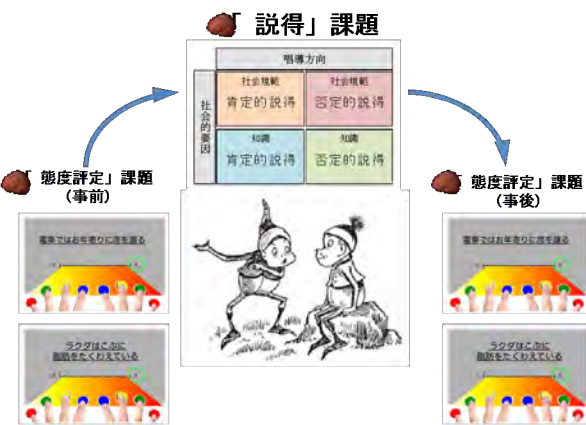
研究協力者：蓬田 幸人、青木 隆太、阿部 嘉織好、杉浦 綾香、村山 航、出馬 圭世、松元 まどか（玉川大学）

私たちは、自ら従うべきと思っている社会規範に従っている他者に対して好感を持ち、従っていない他者を目にすると、例えば自分が直接に迷惑と被っていないまでも、その人に対して不満を抱く。私たちが属する社会的コミュニティではさまざまな社会規範が共有され、それぞれがその重要度に応じて固有の価値付けをされている。この社会規範の価値は、コミュニケーションを通じて形成され、それがコミュニティの各メンバーの意思決定の



基礎となり、そしてコミュニケーションを通

じてダイナミックに変容する（右図）。この社会規範の価値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、それらの態度を説得によって変容させる課題（説得課題）とを考案（左図）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。



C01P3 班

サル間同調行動における脳内統合過程の解明

研究代表者：長坂 泰勇（理化学研究所）

本年度は、サルの同調行動を検討する上で、統制条件として設定するための、サル代替現実呈示システム (mSR) の製作を行った。代替現実とは、仮想現実 (VR) とは異なり、それを体験しているヒトや動物が、現実と全く区別がつかず、あたかも自分が置かれている状況が、現実であると錯覚させるシステムである。

ヒトではすでに成功を収め、さまざまな分野への応用が期待されている (Suzuki et al. 2012)。製作された mSR を実際に使用して、サルの行動を解析した。その結果、サルは mSR にすぐに適応せず、特殊な訓練が必要であった。すなわち mSR のライブ空間内で、視覚-運動-一体性感覚の3つを統合させる訓練を数分間行うことによって、mSR に適応した。これは検討したいだけのサル (3頭) でも同様であった。その後、代替現実を呈示したところ、サルは実世界と全く同様な行動を示した。したがって、サル研究においても SR 技術が応用可能であることが示された。今後は、mSR 装着時のサル脳から脳信号を記録解析することで、SR による時空間のズレにサルの行動やそれに伴う脳活動がどのように変化するかを解析する予定である。

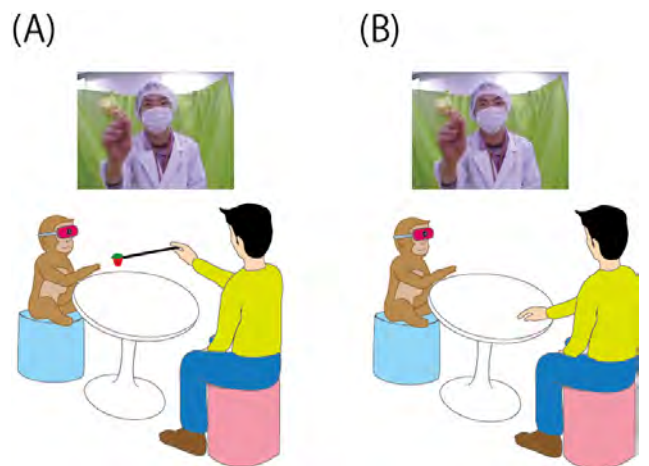


図:実験風景。サルはビデオカメラでとらえた映像(上図)をゴーグル内のモニターを通して観察している。ライブ映像条件(A)でも、代替現実条件(B)でも、サルはエサを取ろうと腕を伸ばした。なお代替実験条件では下図にあるように、実際にはエサを与えていない。

C01P5 班

リハビリテーションの治療者-患者間コミュニケーションの効果とその神経機構の解明

研究代表者: 服部 憲明 (大道会森之宮病院) 連携研究者: 小久保 香江 (神戸学院大学)

医療現場において、患者と医師や医療関係者との間のコミュニケーションが重要であるのは言うまでもありませんが、特に、リハビリテーションは治療者と患者が直接対話をしながら共同で進めていく治療であり、コミュニケーションを円滑に行うことは治療の成否に大きく関わってきます。

超高齢化社会に突入した日本において、脳卒中は、介護が必要となる主要な原因疾患です。急性期の治療は進歩してきましたが、運動、感覚、認知機能などに障害が残存する場合も多く、リハビリテーションの必要性は益々増してきています。

これまでに、脳卒中後のリハビリテーションでは、回復の状況を適切にフィードバックして励ますことが、歩行機能の改善に有効であるというような報告もあります。今回の研究は、脳卒中後の運動機能障害のリハビリテーションにおけるコミュニケーションの影響を対象としており、コミュニケーションが有効に働く仕組みを神経科学的に明らかにしたいと考えています。そのために、コミュニケーションを図りながら、麻痺した手で運動課題をおこなっている時のパフォーマンスや脳活動を定量的に計測できる装置を作成しました(図)。現在、この装置を用いた新しいデータ解析法の開発をおこなっています。



イベント報告

第4回神経科学・リハビリテーション・ロボット工学の
シナジー効果に関する研究会

「第4回神経科学・リハビリテーション・ロボット工学のシナジー効果に関する研究会」参加報告

B01P2 班 坂本 一寛
(東北大学電気通信研究所)

第4回になりました“神経科学・リハビリテーション・ロボット工学のシナジー効果に関する研究会”（以下、ニューロ・リハ・ロボ研究会）を平成24年7月18日（水）東北大学・医学部・臨床講義棟・第一および第二ゼミナール室において行いました。今回は、科学研究費補助金・新学術領域研究「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」（以下、伝達創成機構）の若手討論会の一環として行いました。

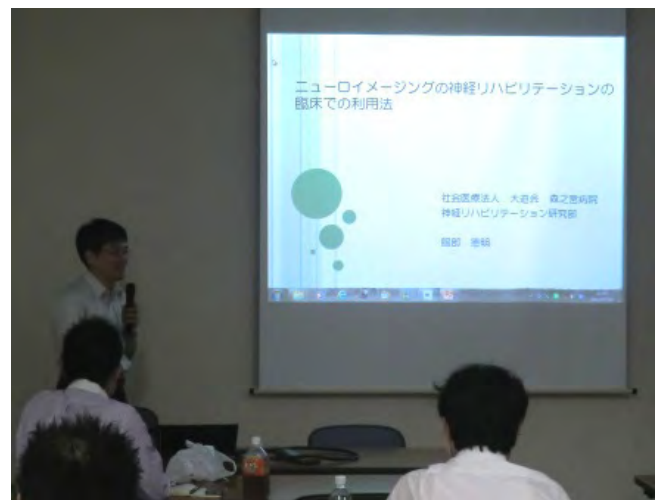
本研究会は、実験神経科学、リハビリテーション等の臨床の現場、理論神経科学・ロボット工学の3つの分野の相乗効果を探ることを目的としています。

研究会の冒頭で、九州工業大学の我妻広明先生より、研究会の目的やこれまでの活動等をご説明いただきました。

玉川大学脳科学研究所知能ロボット研究センターの下斗米貴之先生には、「ロボットによる子供の興味度の推定」という題でお話いただきました。子供はすぐ飽きます。その点が、今後、ロボットを子供の訓練や学習のパートナーとして用いるときに大きな障害となります。ロボットが子供の興味を持続的に引き付けるためには、まず、ロボット自身が子供の興味度を評価する必要があります。下斗米さんらのグループは、カードゲーム（神経衰弱）を行っている最中の子供の画像を記録し、それについて保育園・幼稚園の教員経験者に各時刻の子供の興味度

をリアルタイムに評価してもらいました。この評価を正解として、子供の頭や視線の動きや表情から子供の興味度を推定する手法を開発しました。興味度—飽き、という軸は、報酬—罰という軸とは別の、新たな価値として、今後大いに研究されるべきだと感じました。

大道会森之宮病院の服部憲明先生には「ニューロイメージングの神経リハビリテーションの臨床での利用法」というタイトルで、近年のMRIの多様な利用法について詳細にお話いただきました。MRIは、触れずに脳の中身を見ることができる、放射線被ばくがない、最先端の研究ができる、という点で、臨床研究にとって魅力的な手法です。MRIの様々な手法を用いると、脳の形、血流、神経細胞やグリアの代謝を観察することができます。一方で、fMRI信号を見るときには、被験者の状態や装置の磁場の強さ、血管構造等を正しく把握しないと、誤った結論に至り得ると注意も促されました。近年は、fMRIで課題遂行時だけでなく、安静時の脳活動から、脳梗塞の病態を把握したり、回復具合を予測することが可能となるかもしれないと述べられました。



C01K5 班 服部憲明 氏

同志社大学工学部の富田望先生には、「ヒト歩

容遷移現象の行動実験とデータ解析」についてお話いただきました。歩行と走行は、異なる運動のモードです。この切り替り（歩容遷移）は埋め込まれたパターンの切り替りか、それとも、自己組織的な現象かを明らかにするため、富田さんらのグループは、トレッドミル上を運動する被験者の歩容遷移の運動計測を行い、筋活動のばらつき等についての解析を行いました。個人的な意見ですが、子供の歩容遷移の解析を行うのはどうだろうと思いました。近年、ゲーム等の室内遊びが主流であるせいか、小学校の運動会で子供の走りを見ると、あまり正しい走り方ではないと思われる子供を多数見ます。子供の健全な発育等にも富田さんらの研究が活かされればよいと感じました。

京都大学医学部付属病院の船曳康子先生は、「発達障害の特徴から本質へ」というタイトルで、お話いただきました。発達障害には、いろいろなタイプがあるそうですが、実際には、いくつもの診断名が重なっているそうです。例えば、ある患者はADHD（注意欠陥・多動性障害）とある医者に診断される場合もあれば別の医者にはPDD（広汎性発達障害）と診断されることもあるようです。船曳さんらのグループは、数年がかりで開発した複数の特性からなるレーダーチャートを用い200例を障害のタイプ別に解析しました。その結果、1）それらのタイプの差は、タイプを分けるために人為的に作った診断基準によるものが殆どである、また、2）どの群にも注意制御の困難さがある、ということが見て取れました。この注意制御の困難という共通特徴に焦点を当てると、例えば、自閉症の患者の、社会性の障害、コミュニケーション障害、こだわりといった特徴は説明がつくかもしれない、と非常に興味深いお考えを示されました。



C01K1 班 船曳康子 氏

筑波大学大学院人間総合科学研究科の熊谷恵子先生は「自閉症と感覚過敏」というタイトルでお話されました。アーレン症候群とは読み障害のある人の一症状と捉えられておりますが、それよりも感覚過敏と捉えた方がよいこと、アーレン症候群とは、光に対する感覚過敏の一つで、視力は正常なのに、まぶしい光で頭痛がしたり、本の文字が歪んだり飛び出して見えたりなどし、ある色をカットする有色レンズをかけることで、それら過敏症は収まることについての話でした。興味深いことに、それらの過敏性は他の感覚（前庭感覚、固有感覚、聴覚、触覚、嗅覚、味覚など）のうち、全般的な過敏性がありますが、特に、聴覚や触覚も過敏性が高く、有色レンズをかけると視覚以外の過敏も収まる方向に向かうとのこと。また、このような過敏性は、発達障害の中でも特に自閉症スペクトラム障害に多いそうです。熊谷さんは、自閉症の3組（対人関係の障害、こだわり、コミュニケーション）の背後には感覚統合の問題が非常に大きくあるのではないかと指摘されました。

最後に、東京大学大学院教育学研究科の多賀巖太郎先生に「脳と身体の初期発達」についてお話いた

できました。ヒトは生後1年くらいの間どのよう
に発達するのでしょうか？多賀さんは、特に3か月
児に注目しました。例えば、モービルおもちゃの動
画と無機質なチェッカーボードの画像に対する脳活
動をNIRSで測定したところ、3か月児では、初期
視覚野以外では活動の違い（チェッカーボードに対
してはあまり活動しない）がある一方、2か月児で
は、2種類の映像に対して脳全体が広範に活動する
そうです。その他の機能についても、3か月児にな
ると我々の想像以上に発達しているとのこと。また、
安静時の自発脳活動をNIRSで計測すると、両半球
の対応する領野のコネクティビティは0→3→6カ
月と増加する一方、前頭前野ではむしろ低下し、前
頭前野と他の領野とのコネクティビティはU字型に
変化するそうです。さらに、四肢の自発運動の発達
を解析すると、発達障害や脳性まひ等の早期診断が
可能かも知れないとのこと。具体的には、3歳
児時点での発達遅滞は、新生児時点での自発運動の
頻度、間欠性、四肢の相関等に、脳性まひは、自発
運動のなめらかさや姿勢の安定性等に兆候が出るそ
うです。

今回は、「共鳴するヒト・環境・ロボット」とい
うサブタイトルを何気なくつけましたが、先生方
のご講演を聴くと、的確だったのではと自己満足して
しまいました。ヒトとヒト、ヒトと環境、ヒトとロ
ボットの間、“よい”状態を如何に達成するか、
そのためのヒントが多く垣間見えたご講演ばかり
だったと思います。

今回は、会場を東北大学・医学部に移したことも
あり、参加者は合計32名に上りました。遠方より
のご参加もあり、非常に密度の高い研究会となりま
した。ご参加いただきました全ての皆様に、この場
をお借りしまして厚く御礼申し上げます。

当研究会は、日本神経回路学会のほかに、科研費・
新学術「伝達創成機構」の他に科学研究費補助金・
基盤研究(B)「人と共感できる社会脳ロボットを目
指して—情動機能を考慮した脳型システムの応用」
ならびに科学研究費補助金・基盤研究(C)「ゲーム
遂行における行動の階層的脳内表現と臨床応用」か
らの補助を頂きました。

NRR研究会のホームページは以下の通りです。

<http://www.riec.tohoku.ac.jp/wsrr/>

神経科学・リハビリテーション・ロボット工学
のシナジー効果に関する研究会
(ニューロ・リハ・ロボ研究会：NRR研究会)
日程：2012年7月18日(水)
会場：東北大学医学部臨床講義棟

第1回ヘテロ・ニューロアナリシス研究会



科研費・新学術領域研究「伝達創成機構」若手討論会
「第1回ヘテロ・ニューロアナリシス研究会」のご報告

B01P2 班 坂本一寛
(東北大学電気通信研究所)

領域内の若手討論会の一つとして、「第1回ヘテロ・ニューロアナリシス研究会」を平成24年7月24日、25日の二日にまたがり、仙台国際センターで行いました。研究会は、脳や神経のダイナミクスを捉えるには何を測るべきか、どう解析・解釈すべきか等を中心に深く議論し、新しい脳研究の方向性を探るため、立ち上げました。

24日は、まず、東北大の三浦佳二さんに、「グラフのHodge分解とその周辺」というタイトルで、1. Big dataの時代におけるHodge分解の位置づけ、2. グラフのHodge分解の技術的詳細、3. 離散化した曲面のHodge分解との違い、の3点

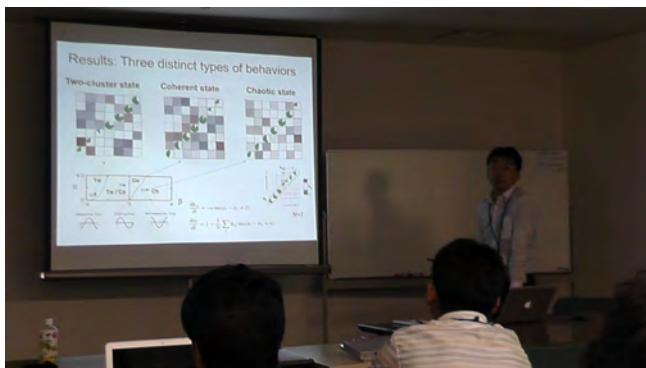
に関してご議論いただきました。

引き続き、香川大の青木高明さんに、「変化するネットワーク上の結合力学系のダイナミクス」というタイトルでお話いただきました。内容は以下の通りです。“シナプスレベルでは、神経スパイク活動の時間構造に応じて可塑性を持つことが実験的に分かっている。このようなシナプス結合で繋がったネットワークというのは、神経細胞の集団活動に応じて、どのように回路構造が変化していくのか？また回路構造の



A01K1 班 三浦佳二 氏

変化は神経集団活動にどのような影響を与えるのか？この問題はネットワーク構造と神経集団活動とが相互依存性を持つことで複雑化しており、解明が困難である。本講演では、神経スパイク活動の発火タイミングのみに注目した数理モデル化を行うことで、結合振動子系としてこの問題へアプローチをする。すなわち従来の振動子系と異なり、シナプス結合のように活動依存的に回路構造が変化する結合力学系の特性を調べる。位相と結合が共に発展する位相振動子モデルを導入し、その力学系の定常解を調べたところ、1. 同期神経細胞クラスタの自発的形成、2. 発火順序関係を保持する splay 状態の形成、3. 結合と神経活動の共変化によるカオス状態、といった3状態があることが発見された”。



A01K4 班 青木高明 氏

翌 25 日は、最初に、玉川大の磯村宜和さんの共同研究者ということで理研 BSI の坪泰宏さんに、「神経細胞の多様な動的特性とその機能的役割」について、以下の内容でお話いただきました。“これまで行ってきた大脳皮質神経細胞の電気特性を調べる研究について、神経細胞のモデリング、同期発火特性、確率的発火の統計的性質を中心として概説した。これらの物性は、細胞ごとに非常にヘテロジニアスである。更に、ヘテロジニアスな同期発火特性や確率的発火の統計特性という物

性から、皮質の層依存的な同期傾向や、発火率コードにおける発火率の分配則など、機能的な側面がみられる事を示した”。



理化学研究所 脳科学総合研究センター 坪 泰宏 氏

次に、玉川大の酒井裕さんに「直接触れないものを操作しよう」というタイトルで以下のようなご講演をしていただきました。“理論家に関わってきた神経活動解析とそれに関わる仮説が曖昧なまま歴史に取り残されて来たのは、主に問題設定がそもそも曖昧であったことと、その仮説を検証すべく神経活動を操作する術をもたなかったことが挙げられる。今や神経活動を操作する道具は着々と開発されつつある中で、同期や分岐など、直接触れない量を操作する方法を、理論と実験が協力して考える時期にあるのではないか、という問題提起を行い、議論を喚起した”。(←硬い要旨になっていますが、ご自身の研究の歩みを面白く振りかえっていただきつつ、スケールの大きな



B01G2 班 酒井 裕 氏

問題提起をいただきました)。

今回の研究会は、包括脳・夏のワークショップと同じ期間・会場で行いました。活発な活動・議論で、他の脳研究者に津田領域のアクティビティを示すことができたように思います。報告者・坂本も「不良設定問題と秩序の自律生成」というタイトルでお話する予定でしたが、両日とも非常に活発な議論があったため、時間がなくなっていました。それもまた、会が成功であったという証でしょう。遠方よりの参加者も含め合計 22 名の参加となりました。ご講演、ご参加いただいた皆様に改めて御礼申し上げます。

今回は、第 1 回ということもあり、議論も手探りだったところがあります。しかしながら、実験家は、より理論家と議論できるよう勉強しなければならない、また、実験家は（坪さんのサブタイトルにもあった通り）複雑系の“物性研究”を超え、脳の機能をしっかり考えていかねばならない、という二つの基礎工事ができたように思います。24 日夜、別会場の“総合討論会”では、複雑なシステムをシステムの内部から記述する新しい枠組みが脳研究をやる一番の意義である、という声も聞こえてきました。

より議論を深め、新しく深くシンプルな問いを発することができるよう、頑張って今後とも会を継続いたします。皆様のご理解とご協力を賜りますよう、よろしくお願い申し上げます。

第 1 回ヘテロ・ニューロアナリシス研究会
日程:2012 年 7 月 24 日(火)～25 日(水)
会場:仙台国際センター

イベント報告

包括脳夏のWS

「伝達創成機構」「予測と意思決定」合同シンポジウム

包括脳夏のワークショップ

「伝達創成機構」「予測と意思決定」合同シンポジウム

Interactive brain dynamics for decision making and communication

「意思決定とコミュニケーションの脳ダイナミクスと相互作用」参加報告

A01G1 班 塚田啓道

(北海道大学大学院理学院数学専攻)

2012年7月27日、仙台国際センターにて包括脳夏のWS合同シンポジウム「意思決定とコミュニケーションの脳ダイナミクスと相互作用」が開催されました。

本研究会は、2つの新学術領域「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」と「予測と意思決定の脳内計算機構の解明による人間理解と応用」のコラボレーションにより、意思決定、他者の意図理解、意味の共有、役割分担などの過程を通じて情報創成されるダイナミックな神経機構を探り、人間行動のより良いモデルを構築することを目的にしています。

はじめに領域代表の津田一郎先生から「2つの領域が交流することによって新たな情報創成が生まれることを期待したい」とのお話をいただきました。

最初の演者として、沖縄科学技術大学院大学の銅谷賢治先生に「Toward understanding the neural substrate of mental simulation」というタイトルのもと、「予測と意思決定」新学術プロジェクトでは幅広い分野からの手法や理論を取り入れ、人間の意思決定のメカニズムを理解することを目標にしているとお話がありました。研究は Theory and behavior, Neural circuit, Molecular

controlの3つのグループに別れて行っており、特に「モデルベース」の手法に注目して脳内シミュレーションの実体を解明することを目指しておられました。また、'grid sailing' taskを人間のfMRI実験に発展させた研究や、トラックボール上に頭を固定したマウスの皮質のニューロンをtwo photon imagingで測定する'dead reckoning' taskの実験の紹介もありました。



「予測と意思決定」代表 銅谷賢治 氏

次に玉川大学、磯村宜和先生に「Motor information processing in rodent primary and secondary motor cortices」というタイトルで、ラットがレバーを引いている間の運動野の神経細胞をjuxtacellular recordingとmultiunit recordingによって測定した実験結果を中心にお話いただきました。この方法を使うことによって、皮質の層毎の興奮性ニューロンと抑制性ニューロンの活動を記録することができるということです。さらにslow(40-60Hz)とfast(80-100Hz) gamma oscillationに対してニューロンスパイク活動が位相同期しているという興味深い実験結果もありました。

3番目の講演者、高橋英彦先生には「Molecular

neuroimaging of emotional decision-making」という題目で、感情的な意思決定や限定合理的な意思決定における神経伝達物質の役割についてのお話をいただきました。PET を用いてドーパミン受容体の密度を観測することで、人間の情動の分子レベルのメカニズムを明らかにするとともに、意思決定損傷の分子メカニズムを理解することは精神神経疾患の評価や予防にも繋がるという大変興味深いお話でした。

4 番目の講演者は、玉川大学の森隆司先生で「Modeling of mental state dynamics through the estimation by others」という題目で、子供と遊ぶプレイメイトロボットを使って、子供の遊びに対する興味の心的スタンスの変化を捉え、評価者から見た他者の心的状態の推定という方法でモデル化を試みるというお話を頂きました。特に子供の興味にはゲームの場面に応じてすばやく変化しつつも、飽きていく、熱中していくなどの長い時定数にしたがって変化する心的スタンスがあるとのこと、このスタンスを望ましい方向に変えていくことが優れたコミュニケーションを行う鍵となるそうです。果たしてロボットが人間の心を理解して振る舞うことができるようになるのか？心的スタンスの変化のモデル化ができれば、ロボットの友達が出来の日がくるかもしれないと思いました。

5 番目の講演者は、New York University の Daw Nathaniel 先生に「Reinforcement learning in humans: Beyond the law of effect」という題目で、生命体の意思決定は過去の成功体験の強化学習によって強化された behavior を繰り返すということだけではなく他の種類の知識によっても決断が変わるため、これらの影響をモデル



ベースの強化学習アルゴリズムを用いて強化学習理論のフレームワークにどのように組み込むことができるか理論と実験の両側面からお話いただきました。

6 番目の講演者は、橋本敬先生で「Integrative study on co-creation of symbolic communication systems」という題目で、2人のプレイヤーが意味を推定できない幾何的なシンボルを送り合うことで、お互いの位置を推定する協調ゲームについてのお話をいただきました。最初は相手から送られてきたシンボルの意味が分からないのですが、やり取りを繰り返すことによって、意味のないシンボルに意味が創成される。そして、相手の部屋の予測が成功したペアには3つのステージ (Building common ground, sharing a symbol system, forming a role division) があるというお話でした。この意味創成の過程における脳の活動を記録することで、人間がどうやって新しい情報に意味付けするのか？そのメカニズムやダイナミクスを探ることは非常に興味深いと思いました。

7 番目の講演者は、慶応大学の今井むつみ先生で、「Sound symbolism paves the way to language



development in preverbal infants」というタイトルで、乳児が言語をどうやって獲得するかという内容を中心にお話していただきました。言語を学習し始める年齢の11ヶ月の乳児に知らない単語と視覚的な形を同時に示しERP計測したところ、幼児がまるですでにその単語を知っているかのように処理しているような反応が見られるそうです。また、音と形の情報の間に関連付けが成功したときと失敗した時では、脳波の領域間の oscillation の出方が異なるとのことで、単語の意味創成に oscillation をどのように利用しているのか非常に興味を覚えました。

今回の2つのプロジェクトの合同シンポジウムは所々で共通の問題意識が見られ、プロジェクト間の交流が自然に行われていたように思えました。また、分子メカニズムからロボットまで研究分野も多岐に渡っていたため、色々な角度からのアプローチがあることを知ることができました。

「伝達創成機構」「予測と意思決定」合同シンポジウム

Interactive brain dynamics for decision making and communication

意思決定とコミュニケーションの脳ダイナミクスと相互作用

日程：2012年7月27日（金）

会場：仙台国際センター 橘

Dynamic Brain Forum (DBF) 2012

Dynamic Brain Forum (DBF) 2012 参加報告

B01G3 班 奥田 次郎
(京都産業大学コンピュータ理工学部)

2012年9月3日から6日にかけて、スペインのセビリア地方の歴史的な小都市である Carmona (カルモナ) にて、Dynamic Brain Forum (DBF) 2012 が開催され、参加しました。

DBF は、「脳のダイナミックな情報処理の理解」を目標に、1990年代半ばに本新学術領域代表の津田一郎先生を始めとしたメンバーを中心に第1回目の会議が開催されて以来、世界各国の会場にてほぼ毎年開かれてきた脳情報処理ダイナミクス国際的な研究フォーラムです。第14回目を迎える今回は、スペイン Pablo de Olavide University の José Maria Delgado-García 教授の主催のもと、広大な平原の中の断崖にそびえ立つ城壁と白亜の白壁の街並みとのコントラストが美しいカルモナの街にて、世界10カ国以上から80余名の参加者を交えて、3日間の白熱した論議が繰り広げられました。

3日間に渡る会期中、午前2セッション、午後1セッションのスケジュールで計7セッションの口頭発表が行われ、また各日の夕刻にはポスターセッションが開かれました。

会議1日目の第1セッションでは、Hungarian Academy of Sciences の Péter Érdi 先生による「計算論的精神医学」の提唱、スペイン Barcelona Starlab の Giulio Ruffini 博士による「頭皮上多点電気刺激」の新しい技術展開の紹介、アメリカ Florida Atlantic University の Emmanuele Tognoli

博士による「神経細胞外電場の脳情報処理への寄与」についての発表が行われました。統合失調症やうつ病などの症状の変化を脳内の神経ネットワークの動力学的状態の変遷として捉えられるという Érdi 先生の主張や、神経細胞外空間を巻き込んだ脳内の大域的な電場の空間パターンが「意識」の成立に積極的に関わるという Tognoli 氏の議論は大変斬新なものでした。また、Barcelona Starlab で開発中の多電極による経頭蓋電気刺激の空間解像度向上技術は世界的にも類を見ない大変刺激的な技術革新であり、会場は驚嘆の声と多数の質問で覆われました。このような発表を受け、本セッションの Discussant である玉川大学の塚田稔先生から、「脳によるコミュニケーションと情報統合がいかんにして新しい情報処理を創造するか」という議論が提起されました。続く第2セッションでは、アメリカ University of California, Berkeley の Walter Freeman 先生を Discussant に迎え、スペイン University of Granada の Joaquín Torres 博士による「動的シナプス」の理論提起、スペイン Hospital Nacional de Paraplégicos Toledo の Guglielmo Foffani 博士による「神経スパイクの変動性に関する情報理論」の考察、イタリア SISSA Trieste の Sahar Pirmoradian 博士による「ニューラルネットの動的結合による言語生成モデル」についての研究報告がありました。どの報告も脳の情報処理様式のダイナミックな側面を巧みに分析・モデル化する興味深い試みでしたが、特に Pirmoradian 氏の言語生成シミュレーション実験は、シェイクスピアや Wall Street Journal といった実際の英語文章中の単語出現確率データベースを題材として用い、「意味」と「文法」の2つのサブネットワークの動的な結合変

遷が意味のある新しい「文章」を作り出す過程を示すもので、「人工知能」の研究に新たな方向性をもたらす可能性を感じさせました。さらにこの後の第3セッションでは、玉川大学の坂上雅道先生による「前頭前野と大脳基底核線条体ニューロンにおける異なった報酬推論機構」の実験的証明、スペイン University of Santiago の Carlos Acuña 先生による「エラーの検出とその意思決定への連鎖的活用」を示す脳波事象関連電位研究、そしてスウェーデン SLU の Hans Liljenstrom 先生による「脳ダイナミクスにおける因果律とは」という深遠な議論が展開され、アメリカ NIH の Barry Richmond 先生が Discussant として議論のまとめを行いました。本セッションは、より実験的な神経科学の計測データを中心とした議論に捧げられており、脳内の神経細胞活動の実際の観測結果をつぶさに検討することがヒトや動物の高次機能の解明に如何に重要であるかを改めて考えさせられました。Liljenstrom 先生の講演の最後には、来夏にスウェーデンにて開催が予定されている International Conference on Cognitive Neurodynamics の紹介があり、積極的な参加の呼びかけがありました。

会議2日目の第4セッションでは、Robert Kozma 先生を Discussant として、スイス University of Lausanne の Jérémie Cabessa 博士による「再帰的ニューラルネットワークによる super-Turing マシン」の計算原理、ならびにスペイン CSIC の Alberto Ferrús 博士による「興奮／抑制比に注目した脳と機械の計算原理」について紹介があ

りました。Turing マシンは、「有限の計算アルゴリズムに無限のデータ入出力を加えることで、解が存在する問題は全て解くことができる」という有名な計算原理ですが、Turing マシンを階層的に組み合わせることで計算可能性が飛躍的に増大し、ヒトや動物が自然に行っているような曖昧で状況依存的な問題解決にも対応できるようになるとのことです。Cabessa 氏は、階層的な super-Turing マシンは正に脳の再帰的な神経回路網によって実現されるという魅力的な説を提唱しました。その後の第5セッションにて、当新学術領域からの研究発表として、理研の山口陽子先生による「自他の協調動作における脳波律動の脳内・脳間同期」についての研究発表、玉川大学の大森隆司先生による「遊び場面における子どもの心的状態ダイナミクスを記述する計算論的モデル」の提起が行われました。「2者が相互にタッピングを繰り返す協調タッピング課題をタイミング良く遂行できるかどうかは、自己の脳内の広域的神経振動子ネットワークの位相を他者の行動観察に応



じて更新できるかが関わる」という山口先生の
実験結果や、「ロボットと遊ぶ6歳児の視線や表情、体の動きの計測データから子どもの興味の強さという心的状態パラメータの連続的な変化を数理モデル化し、インタラクション場面における他者推定の問題へと応用することができる」という大森先生の講演には、会場内の異なる分野の研究者からも多数のコメントや質問が寄せられ、本領域の研究取組が着実に世界に発信されつつあることを実感しました。本セッションではさらに、玉川大学の斉藤秀昭先生による「神経細胞集団による視覚フロー知覚の情報表現」についての講演と、フランス Université de Cergy-Pontoise の Alexandre Pitti 博士による「視聴覚情報統合におけるゲイン調節機構の役割」についての発表があり、Edgar Koerner 先生を Discussant として討論が行われました。視覚情報の知覚成立や多種感覚情報の脳内統合は人間の言語コミュニケーション機構の解明においても鍵となる問題であり、会場からは「ミラーニューロンシステムとの関係についてはどう考えるか？」といった質問がなされました。第6セッションでは、同じく新学術領域から、東京大学の栗川知己博士による「学習過程における自発／誘発神経活動の発生とその役割」に関する理論モデル考察、九州大学の Jan Lauwereyns 先生による「ラット海馬における多様な空間情報コーディング」についての研究発表が行われました。栗川氏の学習・記憶の動力学的な理論モデル提唱や Lauwereyns 氏の「記憶経験から将来の行動場所決定を導くラットの海馬神経活動」の詳細な分析結果報告には、発表終了と同時に数え切れない人数の質問の手が上がり、学習・記憶と意思決定の問題と、そのダイナミクス

理解への関心の高さを再認識させられました。またこの他、スペイン Pablo de Olavide University の Agnès Gruart 博士による「神経回路網の機能状態からみた学習と意思決定」についての報告があり、岡山大学の奈良重俊先生が Discussant として討論をまとめました。

初日・2日目とも、夕刻にポスターセッションが設けられ、30件を越すポスター発表の前で、ところ狭しと熱心な議論が繰り広げられました。当新学術領域の研究班からのポスター発表も多数出展され、また特に、大学院生や博士研究員など若手研究者が元気に発表を行う姿が目立ちました。純粋な数学理論の研究から、理論モデルのコンピュータシミュレーション実験、動物やヒトの行動ならびに神経活動計測の結果、さらにはモデルシミュレーションと行動・神経活動との対応・統合を議論するものまで、幅広い分野の発表に対して世界各国の研究者が入り乱れながら、熱心な議論が夜遅くまで続きました。

会議最終日の第7セッションでは、京都産業大学の藤井宏先生が Discussant を務め、玉川大学の磯村義一先生による「ラット自発運動における運動皮質ニューロン集団の協調的な情報処理」の研究紹介、主催者である Delgado-García 先生による「連合学習の獲得における赤核ニューロンの役割」についての講演、スイス University of Lausanne の Alessandro Villa 先生による「経済的意思決定における感情・性格の影響」についての研究紹介がありました。そして最後に、当領域代表の津田一郎先生による「動的に相互作用する複数脳におけるカオス遍歴」について理論と実験シミュレーションの最新知見の紹介が行われました。磯村先生ならびに Delgado-García 先生の精

細な電気生理計測に基づいた神経細胞集団の機能同定とモデル化に始まり、Villa先生の最新の神経経済学的応用研究、そして津田先生の動的脳研究の根幹をなす「カオス遍歴」理論の「複数脳間インタラクション」への拡張の新展開と、正に脳の情報処理ダイナミクスへの多岐にわたる実験的アプローチと多様でありながらも統合的な理論構築とをハイライトする、DBFを締めくくるに相応しいセッションとなりました。

会議終了後には、主催者のDelgado-García先生ならびに当領域代表の津田一郎先生に加え、カルモナ市の市長をも来賓に迎え、閉会の辞が述べられました。それぞれの立場から相互に感謝の意が伝えられ、和やかな余韻に包まれながら閉会を迎えました。

今回のDBFでは、多様な学問領域の様々な立場の研究者が世界各国から集い、異なった研究分野、国と文化、そして研究と行政といった、様々なレベルでの相互作用が自然に湧き起こり、まさに「ヘテロなコミュニケーション」が創発されて

ゆく様を体感できたように感じました。今後この経験をもとに、「異質なシステム同士が相互作用することによる新しい情報処理様式の発現」の過程の解明に取り組んでゆければと考えました。

最後になりましたが、本DBFの開催実現に多大なご尽力を頂きましたDelgado-García先生を始めとする関係各先生方、ならびに有形無形のご支援と共に暖かく迎えて下さったカルモナ市の皆様に改めて御礼申し上げます。

Dynamic Brain Forum (DBF) 2012

日程：September 3-6, 2012

会場：Palacio de los Briones, Carmona, Spain



左より、津田一郎代表、Delgado-García氏、カルモナ市市長

イベント報告

SSH サイエンス先端講座 2

「脳が行う意思決定の不思議～行動や脳機能画像を解析してわかること～」

SSH サイエンス先端講座 2 「脳が行う意思決定の不思議～行動や脳機能画像を解析してわかること～」開催報告

2013年2月2日、奈良女子大学附属中等教育学校 多目的ホールにて、SSH サイエンス先端講座 2 「脳が行う意思決定の不思議～行動や脳機能画像を解析してわかること～」を開催した。奈良女子大学附属中等教育学校が主催、文部科学省科学研究費補助金 新学術領域研究「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」と「予測と意思決定の脳内計算機構の解明による人間理解と応用」、NPO 法人 脳の世紀推進会議が共催し、脳週間関連行事の1つでもある。

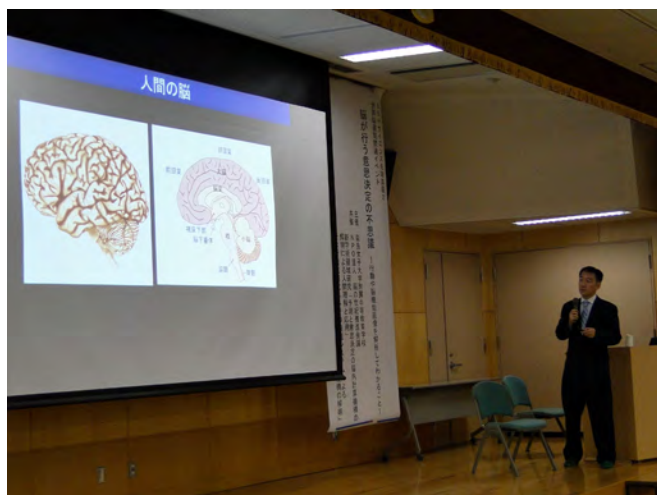
中学生・高校生・保護者・教職員・一般の62人の参加者は、講師の高橋英彦准教授（京都大学）の「人の社会的感情の脳科学」と題し、食事のメニューを決める日常的な意思決定など身近な例や全員参加の「相手の考えを押し量る力を用いた数当てゲーム」を行う中で、道徳的ジレンマなどそれぞれが自分の立場に置き換える例題もあり、社



会的感情と脳の関係についての話題を聴講した。

次に、伊藤真グループリーダー（沖縄科学技術大学院大学）の「経験によって変わる意思決定」のタイトルのもと、同じ状況でも何を選ぶかは経験で変わる、という「学習」についてを中心に、カード選択ゲームを通して正解率を高めるために脳の中で何が行われているかを海馬や線条体など専門的な用語も丁寧な説明にうなづく姿が見受けられた。

参加者は、脳が行う意思決定についての専門的な話も例やゲームをまじえ、時に笑い声もあがる講義に聞き入っており、終了後の質疑応答でも活発なやりとりの中、開催時間ぎりぎりまで話題はつきず盛会のうちに終了した。



SSH サイエンス先端講座 2 「脳が行う意思決定の不思議～行動や脳機能画像を解析してわかること～」

日時：2013年2月2日（土）

会場：奈良女子大学附属中等教育学校

領域研究者の平成 24 年度研究受賞一覧

本領域の代表者・分担者・連携者の実施する研究が、平成 24 年度中に以下の賞を授与されました。

【B01P4】 関連研究 (2012 年度前期)

包括脳ネットワーク育成支援委員会：国内研究室相互の訪問研究プログラム

受賞題目：「カオス理論を用いた新しい神経活動解析法の開発」

授賞者：西田 洋司

【B01G1】 関連研究 (2012.07.26)

包括脳ネットワーク若手優秀発表賞

受賞題目：「Inter-brain synchronization for behavioral synchronization in an alternate tapping task」

授賞者：川崎 真弘



【B01P4】 関連研究 (2012.07.26)

包括脳ネットワーク若手優秀発表賞

受賞題目：「行動準備状態の海馬における情報の流れをシータ・ガンマリズムから推測する」

授賞者：高橋 宗良

【B01P3】 領域課題 (2012.10.22)

電子情報通信学会中国支部奨励賞

受賞題目：「リカレント型神経回路網モデルにおけるカオスを用いた制御応用
－ 相互作用する移動体を用いた計算機実験 －」

授賞者：松本 翔

【A01P1】 関連研究 (2012.12.07)

青葉工学研究奨励賞

受賞題目：「嗅覚皮質の電気信号解読による脳の匂い判別機構の解明」

授賞者：三浦 佳二

平成 24 年度実施の研究会・公開講座

主催会議

2012 年度第 1 回全体会議

日程：2012 年 5 月 8 日(火)～10 日(木)

会場：北海道大学 学術交流会館

脳と心のメカニズム 第 13 回 夏のワークショップ

「神経回路網の動的組織化 - 研究の最前線 -」

Dynamic organization of neural networks -Frontline researches-

日程：2012 年 7 月 26 日(木)

会場：仙台国際センター

「伝達創成機構」「予測と意思決定」合同シンポジウム

Interactive brain dynamics for decision making and communication

「意思決定とコミュニケーションの脳ダイナミクスと相互作用」

日程：2012 年 7 月 27 日(金)

会場：仙台国際センター 橘

Dynamic Brain Forum (DBF) 2012

日程：September 3-6, 2012

会場：Palacio de los Briones, Carmona, Spain

2012 年度第 2 回全体会議

日時：2012 年 12 月 19 日(水)～20 日(木)

会場：東京大学大学院数理科学研究科大講義室

SSH サイエンス先端講座 2

「脳が行う意思決定の不思議～行動や脳機能画像を解析してわかること～」

日時：2013 年 2 月 2 日(土) 13:30～16:30

会場：奈良女子大学附属中等教育学校多目的ホール

共催研究会

玉川大学脳科学トレーニングコース 2012

一心をくすぐる技の共演

日程：2012 年 6 月 28 日(木)～30 日(土)

会場：玉川大学脳科学研究所

神経科学・リハビリテーション・ロボット工学のシナジー効果に関する研究会

(ニューロ・リハ・ロボ研究会：NRR研究会)

日程：2012 年 7 月 18 日(水) 13:00～18:00

会場：東北大学医学部臨床講義棟

包括脳ネットワーク夏のワークショップ

日程：2012 年 7 月 24 日(火)～27 日(金)

会場：仙台国際センター

第 1 回 ヘテロ・ニューロアナリシス研究会シンポジウム

日程：2012 年 7 月 24 日(火)～25 日(水)

会場：仙台国際センター

日本認知科学会サマースクール

日程：2012 年 9 月 4 日(火)～6 日(木)

会場：神奈川県箱根町 湯本富士屋ホテル

シンポジウム：ミラーニューロンの発見から 20 周年

日程：2012 年 9 月 9 日(日)

会場：京都大学 百周年時計台記念館 大ホール

NEWS LETTER Vol. 4 (2013年2月28日発行)

< 領域代表 >

津田 一郎

所属 北海道大学電子科学研究所
住所 060-0812 札幌市北区北12条西6丁目

< 事務局 >

水原 啓暁

所属 京都大学大学院情報学研究科
住所 606-8501 京都市左京区吉田本町
TEL / FAX 075-753-3147
Email hmizu @ i.kyoto-u.ac.jp

平 厚子

所属 北海道大学電子科学研究所
住所 060-0812 札幌市北区北12条西6丁目
TEL / FAX 011-706-2413
Email singaku-jimu @ math.sci.hokudai.ac.jp