

# 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. 1**

---



## CONTENTS

---

---

|                    |    |
|--------------------|----|
| 本領域の発足にあたって .....  | 2  |
| 研究計画概要             |    |
| A01 班.....         | 4  |
| B01 班.....         | 7  |
| C01 班.....         | 11 |
| TOPICS .....       | 15 |
| 第 1 回全体会議報告.....   | 16 |
| 第 1 回総括班会議報告 ..... | 18 |



# 本領域の発足にあたって

領域代表 津田 一郎（北海道大学電子科学研究所 教授）

近年の脳科学の進歩には目を見張るものがあります。計測技術の格段の進歩。それに伴うさまざまな機能領域の特定と機能的な神経ダイナミクスの観測、さらには人工物を含む外界と脳との相互作用に伴う脳の機能強化や修復。こういったマクロレベルでの脳のダイナミクスの研究が進展を続けています。いまや人類の脳観は一昔前の「静的脳観」から「動的脳観」へと革命的な変化が起きています。そのダイナミクスを探求するひとつの視点として、私たちはコミュニケーションに着目しました。コミュニケーションを「日常的創造性」と捉え、複数の脳の相互作用によって脳のダイナミクスがどのように変化するのかを数理的に解析していこうというプロジェクトです。ミクロからマクロにいたるさまざまなレベルの動的でヘテロな相互作用によって脳の活動状態がダイナミックに遷移していくことで日常的な創造性が達成されるのだという考えを研究の出発点にしています。したがって、私たちのプロジェクトを一言で言い表せば、次のような表現になるでしょう。

本領域は、数理理論と実験の協働による「コミュニケーション神経情報学」の確立を目指します。

以下でまず領域全体の目標と内容について簡単に説明し、それに引き続いて各研究代表者による各研究課題についての説明を行います。

## 1. 本領域の目的

コミュニケーションにおいては、複数の個体が相互作用することで意味が生成されたり役割分担が発生したりといった日常的な創造活動が見られる。本領域ではコミュニケーションを成立させている脳内神経機構を複雑系数理科学と

実験神経科学の協働によって解明し、コミュニケーション神経情報学という新領域を開拓することを目的とする。

## 2. 本領域の内容

上記の目的を達成するために、「数理システム論」、「ヘテロ脳内システム間相互作用」、「個体間相互作用」の3研究項目を立て、それらの間の共同研究を通して研究を推進する。「数理システム論」では、引き込みやカオスの遍歴を軸に拡張した力学系、離散と連続の変数を同時に扱うハイブリッド系、ランダムな力学系、進化系などの研究を通じて、コミュニケーションの脳内ダイナミクスを記述する理論を構築する。「ヘテロ脳内システム間相互作用」では、人などの主体がコミュニケーションを行うときの脳内の活動状態を様々な計測技術を駆使して測定し、引き込み協調や脱引き込み、ダイナミックな記憶過程の役割を研究する。「個体間相互作用」では、人と人、人とサル、人とロボット、人と物体が相互作用するさまを行動学的に観察し脳計測を行うことでコミュニケーションを支える脳活動の論理を研究する。

## 3. 期待される成果

本領域の研究が推進されるならば、コミュニケーションの本質的理解が得られることによる次のような波及効果が期待される。1. コミュニケーション障害の理解と介入へのバックグラウンドが与えられる。2. 教育現象の本質的理解へと迫ることが可能になる。3. コミュニケーションロボットの開発が促進される。4. 社会におけるイノベーション、すなわち組織的知識創造に関する理論の出発点が得られる。

— 組織表 —

| 総括班                        |  |        |               |
|----------------------------|--|--------|---------------|
|                            | 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     |        |               |
|                            | 研究代表者                                  | 津田 一郎  | 北海道大学         |
|                            | 研究分担者                                  | 西浦 廉政  | 北海道大学         |
|                            |  | 大森 隆司  | 玉川大学          |
|                            |  | 水原 啓暁  | 京都大学          |
|                            |  | 相原 威   | 玉川大学          |
|                            | 連携研究者                                  | 乾 敏郎   | 京都大学          |
|                            |  | 金子 邦彦  | 東京大学          |
|                            |  | 山口 陽子  | (独) 理化学研究所    |
|                            |  | 奥田 次郎  | 京都産業大学        |
|                            |  | 中村 克樹  | 京都大学          |
|                            |  | 橋本 敬   | 北陸先端科学技術大学院大学 |
|                            |  | 阪口 豊   | 電気通信大学        |
| A01：数理システム論（数理システム班）       |  |        |               |
|                            | 動的脳の情報創成とカオスの遍歴の役割                     |        |               |
| G1 班                       | 研究代表者                                  | 津田 一郎  | 北海道大学         |
|                            | 研究分担者                                  | 藤井 宏   | 京都産業大学        |
|                            |  | 高橋 陽一郎 | 京都大学          |
|                            | 連携研究者                                  | 青柳 富誌生 | 京都大学          |
| 山口 裕                       |  | 北海道大学  |               |
|                            | ヘテロな動的パターンの相互作用の数理解明とその生命科学への展開        |        |               |
| G2 班                       | 研究代表者                                  | 西浦 廉政  | 北海道大学         |
|                            | 研究分担者                                  | 國府 寛司  | 京都大学          |
|                            | 連携研究者                                  | 上田 肇一  | 京都大学          |
|                            |  | 荒井 迅   | 北海道大学         |
|                            | 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 |        |               |
| G3 班                       | 研究代表者                                  | 金子 邦彦  | 東京大学          |
| B01：ヘテロ脳内システム間相互作用（脳システム班） |  |        |               |
|                            | 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           |        |               |
| G1 班                       | 研究代表者                                  | 山口 陽子  | (独) 理化学研究所    |
|                            | 研究分担者                                  | 北城 圭一  | (独) 理化学研究所    |
|                            | 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           |        |               |
| G2 班                       | 研究代表者                                  | 相原 威   | 玉川大学          |
|                            | 研究分担者                                  | 酒井 裕   | 玉川大学          |
|                            |  | 藤井 聡   | 山形大学          |
|                            | 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   |        |               |
| G3 班                       | 研究代表者                                  | 奥田 次郎  | 京都産業大学        |
|                            | 研究分担者                                  | 藤井 俊勝  | 東北大学          |
|                            | 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  |        |               |
| G4 班                       | 研究代表者                                  | 水原 啓暁  | 京都大学          |
|                            | 研究分担者                                  | 乾 敏郎   | 京都大学          |
|                            |  | 笹岡 貴史  | 京都大学          |
| C01：個体間相互作用（個体システム班）       |  |        |               |
|                            | 他者との相互作用を介した情報獲得メカニズムの解明               |        |               |
| G1 班                       | 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        |
|                            | 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             |        |               |
| G2 班                       | 研究代表者                                  | 大森 隆司  | 玉川大学          |
|                            | 研究分担者                                  | 岡田 浩之  | 玉川大学          |
|                            |  | 有田 隆也  | 名古屋大学         |
|                            |  | 長井 隆行  | 電気通信大学        |
|                            | 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     |        |               |
| G3 班                       | 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 |
|                            | 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      |        |               |
| G4 班                       | 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        |
|                            |  | 石田 文彦  | 電気通信大学        |
|                            |  | 成瀬 康   | 情報通信研究機構      |
|                            | 連携研究者                                  | 村田 哲   | 近畿大学          |

# A01-G1 動的脳の情報創成とカオスの遍歴の役割

(研究代表者：津田 一郎)

## 目的

近年の計測技術の進歩によって脳神経系のダイナミックな活動状態が観測されるようになり、本計画研究の代表者が提案してきた動的脳観が実証される機運が高まってきた。実際、疑似アトラクター間の遷移ダイナミクスは海馬 CA1、CA3 や嗅球、嗅皮質において神経活動として存在することが実証された。最近の実験はトップダウン情報のダイナミクスによって入力情報が選択されることを示し、カオスの遍歴との関係が注目されている。本計画研究では、脳の情報創成におけるカオスの遍歴の役割を明らかにすることを目的とする。特に本年度は、コミュニケーションを想定した連想記憶型ネットワークへのトップダウン情報の引き込み協調や記憶の動的表現への関わりを明らかにすることを目的とする。

## 概要

本計画研究では次の三系からなる方法論によって研究を実施する。[1] 脳内ヘテロシステム間相互作用系、[2] ヘテロ力学系ネットワーク系、[3] ランダム力学系である。本年度の研究計画は以下によって進める。

### 【脳内ヘテロシステム間相互作用系】

・海馬 CA3, CA1 の神経生理学的モデルを結合微分方程式の形で構築する。興奮性の錐体細胞と抑制性の介在細胞について Pinsky & Rinzel 型の 2-コンパートメントモデル (Pinsky & Rinzel, J. Comput. Neurosci. 1994) を用いる。このモデル構築により、海馬 CA3 の抽象的なモデルで見出された埋め込まれたパターン記憶間

のカオス的な遷移 (IT, BBS 2001; IT & Kuroda, J. J. Appl. Math. 2001) の情報表現を調べる (津田 (代表者)、山口 (連携研究者)、黒田 (北大電子学術研究員))。

・内側前頭皮質-マイネルト核-大脳新皮質注意回路系の神経連絡などの構造を精査し、ヘテロ相互作用系のひな型モデルを構築する (藤井 (研究分担者)、塚田 (北大電子研大学院生)、津田 (代表者))。

### 【ヘテロ力学系ネットワーク系】

・ヘテロ力学系ネットワークの挙動をシミュレーションによって明らかにする (青柳、津田、山口 (連携研究者)、京大大学院生 1 名、北大大学院生 2 名)。

### 【ランダムな力学系 (Noised Dynamical Systems)】

・脳内のヘテロ神経回路には少なくとも二種類の雑音がかかっていると考えられる。ひとつは樹状突起などに周りの細胞から漏れてきた電位変化が与える雑音であり、他のひとつは確率的シナプス素量放出に伴う雑音である。これらが一様なシステムに与える影響についてはある程度解析されているが、ヘテロなシステムに与える影響については数学的に未知の問題を含む。まず、この問題の定式化を大偏差原理などで試みる (高橋 (研究分担者)、津田 (代表者))。

# A01-G2 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)

## 目的

コミュニケーションを相互作用による情報の交換ならびにその交換を通しての自分と相手へのフィードバックダイナミクスと捉える。そのためにコミュニケーション主体としての個(individual)とよべる形での存在、コミュニケーション手段を持つこと、そしてフィードバックを通しての変化が生じるための豊かな内部ダイナミクスをもたねばならない。そのような典型例の一つとして散逸系における粒子解ダイナミクスがある。空間的に局在することで「個」として認識され、自走し、衝突することでコミュニケーションを行い、さらに局在解として多彩な内部ダイナミクスを有する。本研究においては、**ヘテロな個体間の相互作用ダイナミクス、多体衝突、そして集団ダイナミクス**を組織的に研究する。さらにそれらが伝搬する場の**環境とのコミュニケーション**により、システムレベルでどのような遷移が起こるのか、またそれらの間のフィードバック結合から形成される大域的なヘテロクリニック構造の数理的機構を明らかにする。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ることを考慮すれば、そのような脳をもつ個体が社会的な文脈の中で、役割分担や協調行動を伴いつつ、新たな関係性の創発するダイナミクスの本質の一部は上の数理的機構に埋め込まれていると考えられる。

## 概要

2つの研究班：**時空間相互作用研究班**（西浦、上田、寺本、西）と**ネットワーク力学系班**（國府、荒井）の密接な連携により、少数および集

団相互作用理論、時空間不均一環境との相互作用、余次元3標準理論とヘテロネットワーク理論の構築、ヘテロ脳内システム間および個体間相互作用への数理的アプローチ等のテーマについて、代表者、分担者、連携研究者、研究協力者が一体となり、ヘテロ動的パターンの相互作用理論の構築とその応用を飛躍的に目指す。研究協力者として寺本敬（千歳科学技術大）、西慧（北大理院生）を加える。平成21年度は22年度以降に向けての基礎固めとしての3つの課題：「高次元少数相互作用系」、「1次元時空間不均一環境の相互作用理論の解明」、および「余次元3不安定性の数値的アプローチ」を中心に実施する。平成22年度以降は4つの課題、とりわけ「**時空間環境変化と粒子解ダイナミクス**」および「**ヘテロ脳内システム間および個体間相互作用への応用**」を軸にすえ、システムが他とのコミュニケーションを通して、新たな関係性の創発するダイナミクスの機構を明らかにしていく。これらの実施のため、研究補助員を若干名雇用する。これは構造探索型の計算（具体的には大自由度系の解の枝追跡）は空間2次元以上ではそのコーディングおよび計算には多大な労力とスキルが必要であることによる。上記2課題の遂行には領域内における他の班との議論が不可欠であり、そのためのコーディネーションは西浦が中心となり、領域代表者の津田と連携をとりながら実施する。



# A01-G3 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

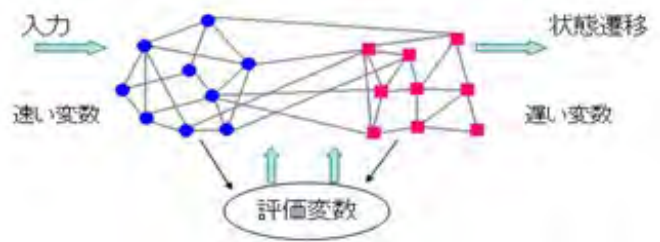
(研究代表者：金子 邦彦)

## 目的

生命システムは、多くの異なる時間スケールを持った素子からなり、その発展を通して、自らの発展を規定するルールがシステムの中から生成されている。一方で、システムの時間発展を調べるためには、発展規則を前もってあたえておくことが必要であるので、発展規則自体がいかにつくられ発展していくかは昔からの難問である。規則が内側から生成されるためには、要素からなるシステムの中から、他を制御する「ルール」とみなせる部分が形成されなければならない。このための原理を、異なる時間スケールを持った神経素子や適応素子結合系の数値計算、その結果の理論的表現によって明らかにする。具体的には、素子の時間スケールの干渉を通し、素子間の関係が変化することで、元来あった規則が自ら塗り替わり、新規規則の形成が可能になることを示す(図1)。それにより、認知過程、伝達創成の数理的基盤を提供する。この研究を通して、ヘテロでダイナミックな素子集団から、環境の変化に対して柔軟に適応し安

定した機能が生まれることを示し、生命システムのみたす特性の基盤を明らかにする。

## 概要

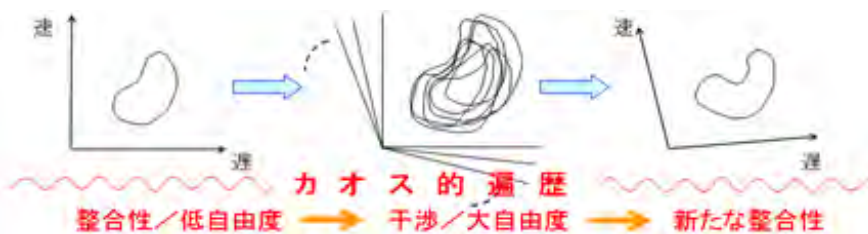


(図2)

上記の要請に答えるために、大自由度力学系、カオス結合系、進化-発生モデルの研究をふまえて以下の特性を持つモデル群を調べる(図2)

- (i) 異なる時間スケールを持つ素子が相互作用する
  - (ii) その要素の集団座標として、生命システムの評価(増殖速度、活性など)を与える大域的な変数が決まる
  - (iii) 状況に応じてその時間スケールが変化する
- これらのシステムの数理的性質を調べ、その系が外部変化を内部にうめこんでいき、外界に対応する力学系を構築していく、「力学系の力学系」の性質を明らかにする。これらを通して、生命システムが外界に対して柔軟にその発展規則を変えていくしくみを明らかにし、伝達創成の数理的基盤を整える。

これらを通して、生命システムが外界に対して柔軟にその発展規則を変えていくしくみを明らかにし、伝達創成の数理的基盤を整える。



(図1)



# B01-G1 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)

脳の活動を神経のダイナミクスとして捉えようとする場合、神経細胞、局所回路、領野間の大域的結合などそれぞれが様々なスケールで固有の時間空間的な構造を持ち、それぞれのレベルで非線形ダイナミクスを持ち相互に同期したり非同期することが知られている。このようなヘテロで複雑なシステムの自己組織的な動的回路形成があることで脳は単一刺激単一応答ではなく、多様な文脈に依存した柔軟な情報創成を可能としていると考えられる。本研究では認知に関わると考えられる広汎な脳部位の領野間結合および局所回路での活動が協力して、異なるレベルの情報を担い、互いに制約をしていると考えられる。このような活動の協力の神経基盤として非線形振動子結合系の同期の形成と崩壊の原理によるものという作業仮説から出発する。

山口らはこれまでに海馬と皮質の一部の神経回路モデルを用いて、神経リズムの皮質間の同期がエピソード記憶形成に必須であることを示した。また大域的回路としては、脳波の解析から、脳の全域に生まれる脳波の様々な周波数での位相同期回路が、脳内領野の動的結合に対応しており、それが認知課題条件で変化することを示した。

本プロジェクトでは、これらの知見をもとに、脳のヘテロなモジュールの相互作用を記

述する数理モデルを構築する。らに、本プロジェクトでは同期の認知機能における因果性を検証するために脳波の同期を外部から操作して認知状態の変化を観察する方法を導入する。脳波などの実験データより領野間の結合や脳リズム特性を回路のパラメータとして設定し、実験知見と比較しながら計算論としての作業仮説の有効性を検証する。これらのアプローチは様々な認知機能に適用可能になり、コミュニケーションについても他のプロジェクトと協力して神経ダイナミクスの原理として解明する。



# B01-G2 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)

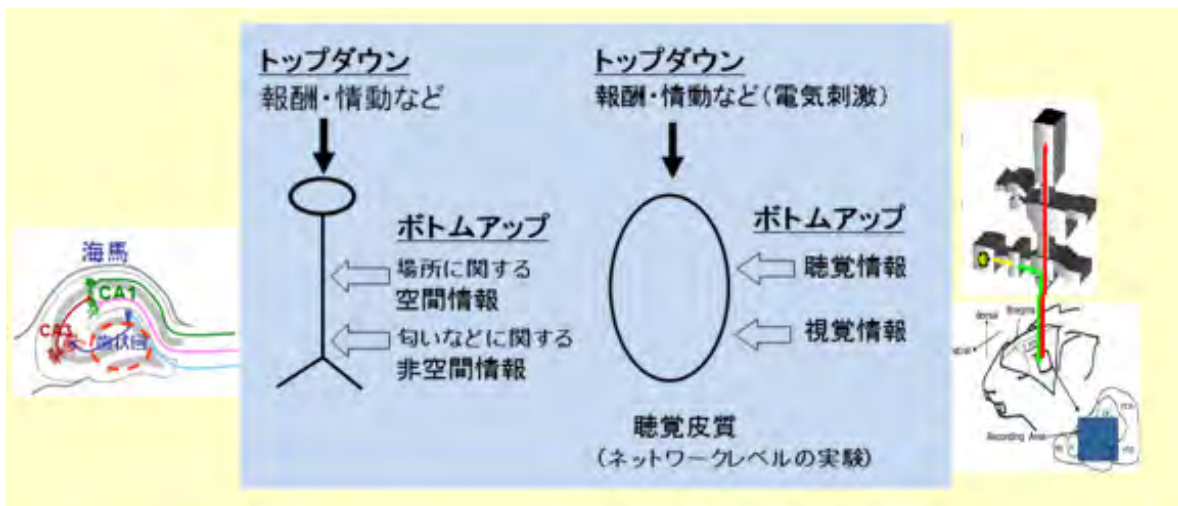
脳は外界のモデルを個体の目的に合わせて脳内に再構成し、しかもその状態を操作することができる。この操作が新しい知識を生み出す情報創成の根源である。このような脳内モデルの形成には外界からのボトムアップの情報だけでなく、トップダウンの情報も融合する必要がある。従来の研究によってボトムアップ情報のみ依存した外界モデルの形成メカニズムは実験的にも理論的にもかなり明らかになってきているが、情報創成の視点から見たトップダウン機能を実現するメカニズムに関する研究はほとんどない。

本研究では、トップダウンの作用として報酬・罰の程度（情動的情報）に応じた感覚情報（ボトムアップ情報）統合への修飾に着目し、個体の目的に合わせて脳内モデルの自己組織化を可能にするメカニズムを探る。またそれらの情動的情報は、個体間のコミュニケーションで重要な情報と直結しており、脳内モデルの自己組織化に与えるコミュニケーションの影響として捉えることができる。ボトムアップとトップダウンというヘテロな系の相互作用ダイナミクスを実験と理論の両側面から明らかにすることで、

コミュニケーションの脳内神経機構を探る糸口としていく。

本研究はいくつかのレベルでボトムアップ情報とトップダウン情報の相互作用によって自己組織化する神経回路を実験的に調べ、モデル構築と理論解析を通じて、その自己組織化原理を探る。現在具体的に計画している生理実験は以下の2点である。

- (1) 細胞レベルのトップダウンとボトムアップの相互作用：ラット海馬歯状回においてはモダリティーの異なる感覚入力情報（匂いなどの非空間情報と場所に関する空間情報）ボトムアップ型相互作用による情報統合を明らかにする。さらに報酬系や随意運動などにかかわるトップダウン入力、いかにニューロンにおける情報統合に影響を与えるかを調べる。
- (2) ネットワークレベルのトップダウンとボトムアップの相互作用：皮質間ネットワークのレベルにおいてボトムアップ的なモダリティーの異なる入力刺激（視覚刺激と聴覚刺激）の組み合わせが、報酬などのトップダウン入力による連合学習（条件付け）状況下において、どのように新しい文脈として形成されるかを明らかにする。



# B01-G3 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

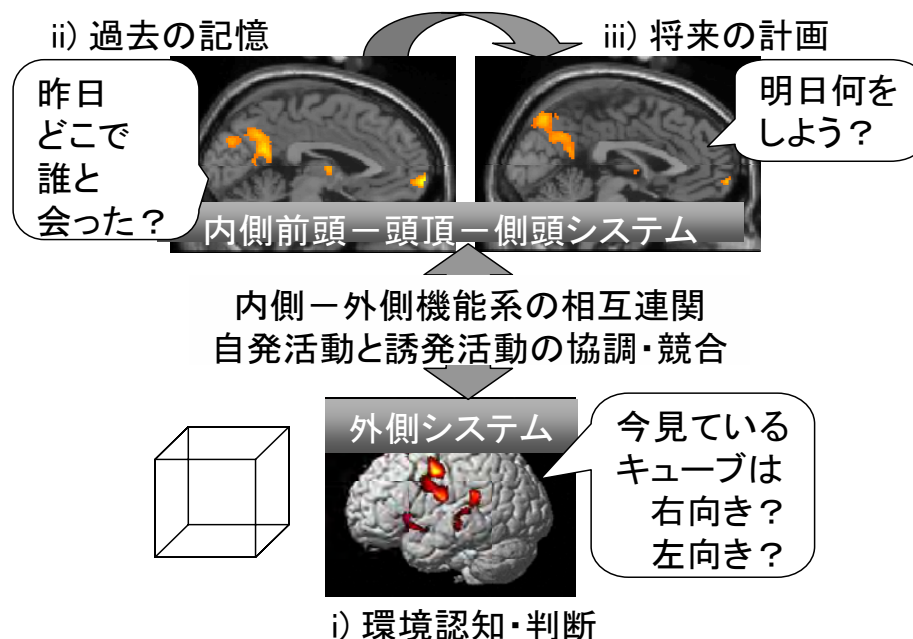
(研究代表者：奥田 次郎)

本研究では、私たちが過去の経験から将来の行動を計画・記憶し、環境や他者など自己を取り巻く現在の状況に即してこれを動的に更新・遂行する過程に焦点を当てます。環境の知覚・認知から記憶を形成し、未来の行動意図をダイナミックに編成・遂行する一連の高次認知機能は人間特有の創造的で自由度の高い社会コミュニケーション活動を支えるとともに、高齢者や認知症患者における障害が社会的な問題ともなる次世代の重要な課題です。多数の要因や認知プロセスが時間的な幅をもって動的に絡み合うこのような過程の実現に寄与する脳身体的なメカニズムを明らかにすることを通して、個体内ひいては個体間の時空間的情報コミュニケーション機構に迫ります。

本研究では、一見複雑なこの過程を複数認知システム間の相互作用・連携過程として捉え、その実現メカニズムを脳内の複数神経システム間の動的連関という視点から検討します。特に、i) 環境の知覚と認知、ii) 文脈依存的な記憶

の形成と取り出し、iii) 未来の行動予定の計画立てと制御という3つの中核的な認知プロセスに焦点を絞り、これら各プロセス個々の脳身体メカニズムを探るとともに、プロセス間の文脈依存的な連携関係を大域的な神経活動のダイナミックな相互作用の観点から明らかにすることを目指します。この目的のため、脳波、機能的MRI、ポジトロンCT、経頭蓋磁気刺激など複数の実験手法を併用して、時空間的な脳身体活動ダイナミクスの解析を行ってゆきます。

下図に模式的に示したように、記憶の想起や未来の想像といった内的な思考過程には脳の内側面を中心とする機能ネットワークが対応し、環境に対する知覚や反応といった刺激誘発的な過程とは脳内で独立に働くことが最近の研究から明らかになっています。刺激応答的な過程と、現在の刺激応答処理には直接関与しない記憶や想像などの創造的な過程との間の競合・協調関係の解明をキーワードに、研究を進めてゆきます。





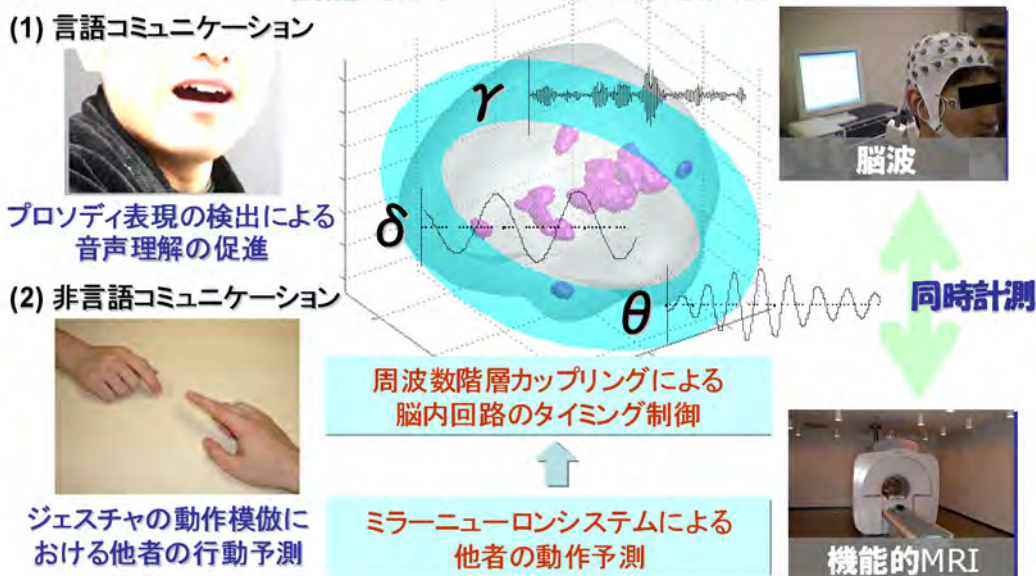
# B01-G4 脳内回路の引き込み協調による言語・非言語コミュニケーションの創発原理の解明

(研究代表者：水原 啓暁)

言語理解や他者の動作理解において、他者の運動指令を予測しつつ模倣学習を進めるというダイナミックな情報の処理過程が重要であることが乾 (1998) により予見されており (運動系列予測学習仮説), その妥当性について実験的に明らかになってきている (Ogawa & Inui, *J Cogn Neurosci.* 2007)。音声を理解する際においても、構音にかかわる器官の活動が重要であることが指摘されており、このことは、ミラーニューロンシステムを介した他者の運動系列予測を実施することがコミュニケーションの創発原理であることを示唆している。ヒトのミラーニューロンシステムは、腹側前頭前野や頭頂葉の広範な範囲における神経活動が関連していることが報告されている (Rizzolatti & Craighero, *Annu Rev Neurosci.* 2004) もの、そのネットワークの動的形成のメカニズムについては未解明の問題である。

研究代表者らの従来研究により、皮質間の機能的結合は神経の集団電位として観察される脳波の位相同期現象により動的に形成されていることが示されており (Mizuhara & Yamaguchi, *NeuroImage* 2007)、ミラーニューロンシステムに関連する皮質間の相互作用についても同様の神経振動子ダイナミクスの引き込み協調により実現されている可能性が示唆される。そこで、他者の予測的模倣を実現する新たな脳機能ネットワークが、ミラーニューロンシステムを起点とした皮質間の振動子位相の引き込み協調により動的に創発することで言語・非言語コミュニケーションが実現されているものと考え、研究代表者が世界に先駆けて開発した脳波と fMRI の同時計測技術を用いることで、予測的模倣に関する脳内ネットワークの動的な形成過程を明らかにする。

## ミラーニューロンシステムを起点とした神経振動子協調による機能的ネットワークの動的形成



# C01-G1 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)

コミュニケーション機能の基盤として、他者の動作を理解し相手と興味を共有したり、相手の意図や注意を理解したり、情動を理解したりする能力、そして動作を模倣することによって自他の認識・身体図式等を確立する能力などが重要であると考えています(図1) こうした発



図1：指さしをしながら同じものに興味を向ける母子

想に基づき、他者との相互作用が新たな知識や技術といった情報獲得を促進しているか否かを、ヒトと霊長類を対象とした行動学的・神経心理学的・神経生理学的・脳機能画像学的研究を組み合わせ明らかにする。特に、ニホンザルやアカゲザルといったマカクザル、



図2：道具を使って蜜を舂めるフサオマキザル

小型新世界ザルのコモンマーモセット、そして南米の類人猿といわれるほど知能の高いフサオマキザル(図2)を対象とした模倣や道具使用の獲得の研究を実施する。その一方で、動作の理解や表出に関連する神経機序を神経生理学的な手法を用いて検討する。

また、コミュニケーションに障害を示す自閉性障害児を対象として、動作理解・観察学習・動作模倣という観点でどのように健常児と差が見られるのかを検討する。ヒトが新たな技術や知識、さらには概念といったものを獲得していく過程において、他者との相互作用がどのような影響を持っているのかを検討する。相手の動作等を見ているときの視線の分析を行ったり(図3)、NIRSやEEGの装置を用いることによって脳機能を記録・解析したりする。



図3：乳幼児の眼球位置を非侵襲的に計測する装置

こうした研究成果から、より良い教育環境の提案へとつながり、将来を担う子どもを健やかに育てることに貢献できると期待する。

# C01-G2 社会場面での人の役割分担の自律的発生メカニズムの 説明

(研究代表者：大森 隆司)

## 目的

社会的場面での協調的行動決定は人間の社会を作る能力の根源的な過程であり、そのモデル的理解は本領域の研究の進展に必須である。社会的場面の本質は自己以外に他者という行動決定主体が存在する場での複雑かつダイナミックな行動決定である。本研究では対人コミュニケーション行動の情報処理構造を明らかにするため、対人行動ロボットを使用した構成的研究により、自己と他者のあいだの役割分担の自律的発生過程の計算モデル化を試みる。

我々は対人コミュニケーションを、自己の行動決定過程を他者にあてはめ、他者の行動から直接には観測困難な他者の意図や目的を推定し、それに合わせて行動決定する過程としてモデル化する。しかしその過程は動的であり、相手の意図を推定しての自己の役割を動的に決定する場面などの極めて短時間での役割分担の発生を、我々は「機能部品組み合わせモデル (FPC モデル)」により説明することを試みる。

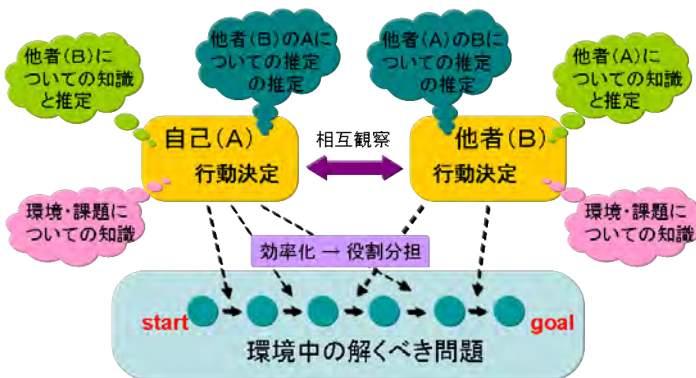
## 概要

FPC モデルでは、我々は脳にある皮質および皮質下の多くの領野を機能部品と考える。そして、脳はそれらの機能部品を動的に組み合わせることでその瞬間のタスクが要求する情報処理を実現すると想定する。本研究は、行動実験、モデル解析、ロボットによる実装での検証、他グループとの研究の相互作用などを通じて、コミュニケーションの FPC モデルとしての解釈の検証と計算理論化を、以下の手順で行っていく。

(1) 人対人の非言語相互作用実験で、参加者間で協調的な行動が発生する過程を分析し、その行動に対応する処理が発生する脳内処理過程の説明を試みる。

(2) 対人相互作用機能を組み込んだロボットと人との協調作業タスクを行ない、モデルの現象説明能力とより広い場面への適用可能性を評価する。ロボットを利用することで、実験の再現性を高めると同時に、モデルを実際を作って評価する構成的研究手法により、より曖昧性のない現象理解とモデル構築が期待できる。

(3) より一般的なコミュニケーション場面における役割対応処理の探索についての計算理論の構築を試み、より広範囲の行動の説明を試みる。その過程で随時、得られたモデルを他の研究グループの成果と照合し、モデルの脳における実現形態とヘテロ複雑システムの理論としての位置づけについて検討する。





# C01-G3 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)

## 目的

コミュニケーションとは、伝えたいことをメッセージにコードし送ったものがデコードされるというだけの過程ではない。コミュニケーションを通じて新しい表現や意味が創発し、それがコミュニケーションのダイナミクスを生み出す場合がある。本研究では、言語的コミュニケーションを、言語的類推による新しい表現生成と、身体環境相互作用による意味づけの連鎖プロセスとして捉え、動的・生成的コミュニケーションの特徴とそれを支える基盤メカニズムのシステム論的理解を、次の3項により行うことを目的とする。

**A**：上記連鎖プロセスの数理モデルを言語的推論と連続ダイナミクスのヘテロシステムとして構築する。このモデルを解析し、新しい表現・意味の生成が可能となる要件・プロセス・メカニズムを明らかにする。

**B**：上記連鎖プロセスを実現する実験パラダイムを構築する。この実験により、表現・意味生成の動的プロセスの特徴、それが生じる条件を明らかにする。

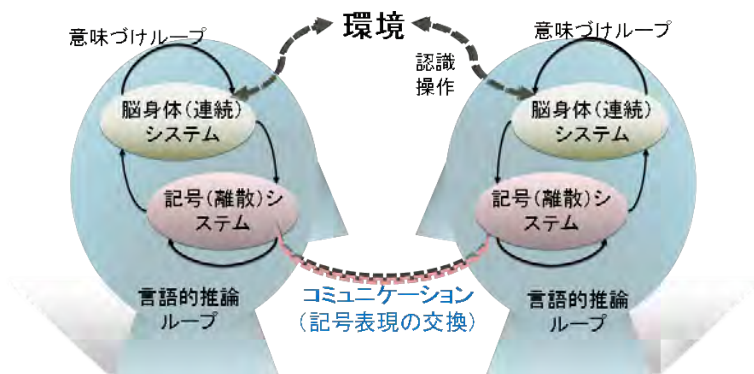
**C**：モデルを抽象化し、組み合わせの無限と連続的無限の階層的ヘテロ複雑システムとして定式化・解析し、新しい表現・意味・構造の生成についてシステム論的知見を引き出す。

## 概要

**目的A**→モデル研究：言語的推論を担う記号システムによる離散的ダイナミクスと、意味づけ部分に対応する神経回路網モデルを用いたヘテロシステムを構築する。各システムが導出・受理する離散記号列のやりとりを通じた言語獲得と意味生成のシミュレーションを行う。この分析により、新表現生成・意味拡張のメカニズムを解析する。

**目的B**→実験研究：2者間でグラフィックのコ・デザインを行う認知実験パラダイムを構築する。コミュニケーションのモードや言語ルールの拡大適用を操作可能にする様々な条件（共有/生成の目的、グラフィック自体あるいはグラフィックをコード化した文字列の交換、文字列に対する操作等）で実験を行い、動的・生成的コミュニケーションの特徴、新表現生成・意味生成のプロセスと条件を検討する。また、コミュニケーション時の脳活動の測定を行えるよう、実験パラダイムを発展させ、動的・生成的コミュニケーションの神経基盤を調べる。

**目的C**→理論研究：言語的類推は離散的記号操作、意味づけは連続的数値操作を行うシステムによりモデル化される。本研究では後者についてカオスが生じる数理モデルを用いる。これらをより一般的な形に抽象化することで、組み合わせ論的無限性と実数的無限性（カオス）の相互作用が生じる階層的ヘテロ複雑システムとして定式化する。このような異なる無限性の相互作用によって生じるダイナミクスの性質を数値的・数理的に解析し、新しい構造や機能が生じるメカニズムを明らかにする。



# C01-G4 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)

本研究の目的は、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、およびそのようなメカニズムが自律的に創成されるメタメカニズムを解明することである。

本研究課題では、「身体性」と「実時間性」をキーワードに、「運動機能発現には身体の機械力学特性と神経系の計算力学特性の時間的整合が重要である」との考えの下で、脳と環境が連続的に相互作用する条件において運動課題遂行に必要な運動指令を実時間で生成する神経メカニズムと、そのような神経メカニズムが環境・身体・神経系の相互作用の中で創成される過程を研究する(図1)。具体的には、以下の三つの観点から研究を進めていく計画である。

1. 連続的運動を時間方向に分節し、分節した区間ごとに前向き制御の運動指令を計算することにより、実時間で運動指令を生成する「間欠的制御」の仮説を提案・構築する。この作業を通じて、複数の機能モジュールの相互作用を通じて運動指令が決定される運動制御の時空間的な構造を探究する(図2)。

2. この仮説について計算モデル、行動実験、脳計測の手法により多面的に検証する。行動実験や計算モデルでは、トラッキング課題を対象として連続課題を分節化する仕組みやその性質を検討するほか、脳計測実験では脳における運動指令計算や分節過程を反映した脳活動の抽出を試みる。

3. 間欠的制御が創成されるメタメカニズムについて、この制御構造がもつ合理性や制御構造が形成せれる計算モデルを通じて検討する。



図1：脳、身体、環境の相互作用を通じた実時間の運動指令生成

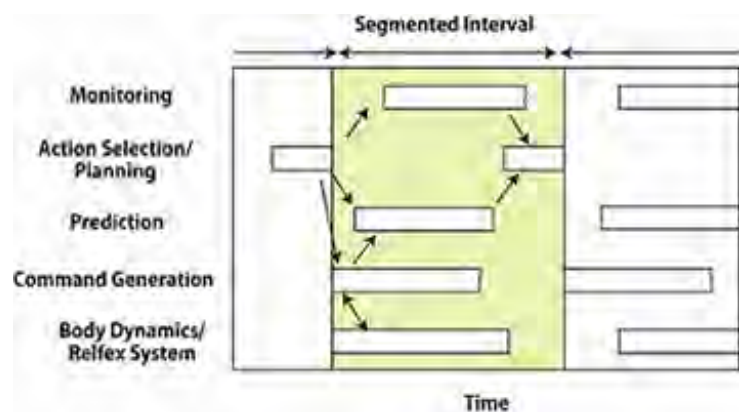


図2：連続的な時間を離散的な時間区間に分割し、区間ごとに間向き制御を行なう「間欠的制御」のモデル：各機能モジュールが非定常的に動作する。

## 領域ロゴの決定



領域のロゴマークが決定致しました。  
領域 HP (メンバーページ) よりダウンロードできますので、ご活用下さい。

### ロゴのコンセプト

無限性を感じさせる図形を、太さの異なる線を組み合わせて描くことにより、鋭さや緊張感を強調している。3本線は3つのグループからなる本領域の構成をイメージしている。

## 領域ホームページの開設

領域のホームページが完成しました。



アドレスは <http://www.dynamic-brain.jp/> です。  
今後このホームページを通じて領域内の活動などをご案内します。

## 領域主催・共催研究会等情報

本年度は下記の会議を開催いたしました。  
(予定を含む)

### —主催—

#### 第1回全体会議

日程： 2009年9月5日～6日

会場： ホテルクレスト札幌

#### 「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～14日

会場： ルスツリゾート

#### 第2回全体会議

日程： 2010年2月23日～24日

会場： TKP 大手町カンファレンスセンター

### —共催—

#### 言語の起源と進化の国際セミナー

#### JAIST-EELC2010

日程： 2010年3月10日～12日

会場： キャンパスプラザ京都

### —総括班会議—

#### 第1回総括班会議

日程： 2009年12月3日～4日

会場： しこつ湖 鶴雅リゾートスパ 水の譚<sup>うた</sup>

#### 第2回総括班会議

日程： 2010年3月4日～5日

会場： TKP 銀座カンファレンスセンター

# 第1回全体会議報告

京都大学大学院情報学研究科  
水原 啓暁

新学術領域研究として本提案領域が採択された後の初めての全体会議を、平成21年9月5～6日にホテルクレスト札幌において開催いたしました。

今回の全体会議は領域採択直後のキックオフミーティングとして行われたものであり、計画班の代表者、研究分担者、連携研究者、領域の内部評価委員の先生方、関連研究を行っておられる先生方、および文部科学省の学術審査官の先生方の総勢約40名が参加して、各計画班の研究計画についての説明とともに活発な議論が行われました。

まず、開会の挨拶として津田領域代表から審査ヒアリング時のスライドを用いて領域全体の研究計画の説明が行われました。その中で、コミュニケーションの神経機構を理論と実験で説明することが本領域の目標であり、理論と実験の共同研究に特徴がある領域であるため、積極的な共同研究をすることが重要であることが説明されました。

引き続き、ダイナミック・ブレイン・プラットフォーム (<http://dynamicbrain.neuroinf.jp/>) の山

口陽子副代表から、同プラットフォームについてのご説明がありました。ダイナミック・ブレイン・プラットフォームは、ニューロインフォマティクスを国際的に推進するニューロインフォマティクス国際統合機構の日本拠点の活動の一環として設立され、脳の情報表現やその処理に関わるダイナミクスの研究に関する研究データを共有することを目的としています。本領域の計画班代表者は全員、ダイナミック・ブレイン・プラットフォームの委員として運営に参加しており、本領域の研究により得られた成果の公表や、領域内の共同研究などについては、同プラットフォームを通じて行うことが説明されました。

その後、各計画班代表者から、研究分担者、連携研究者の紹介とともに研究計画について説明がありました。当初予定されていた時間を大幅に超える活発な議論が繰り広げられ、共同研究を見据えた議論が交わされるとともに、内部評価委員としてご臨席いただいた木村實先生（京都府立医大）、澤田康次先生（東北工大）、学術審査官の竹中康司先生（名古屋大）、小泉



津田領域代表からの挨拶



活発な議論が行われた全体会議会場



周先生（生理研）らからも「コミュニケーション神経情報学」の確立のための大変貴重なご意見を頂戴いたしました。

最後に、津田領域代表から閉会の挨拶があり、第1回の全体会議を無事に終えました。第2回目の全体会議は、平成22年2月23～24日に

東京で開催されることとなっております。今後、全体会議やダイナミック・ブレイン・プラットフォームなども含めた領域内の交流を通じて、「コミュニケーション神経情報学」が確立されていくことが期待されます。

| 第1回全体会議プログラム    |  |           |       |
|-----------------|--|-----------|-------|
| 平成21年9月5日（土）    |  |           |       |
| 13：00～<br>13：30 | 開会の挨拶  | 北海道大学     | 津田 一郎 |
| 13：30～<br>14：00 | ダイナミック・ブレイン・プラットフォームについて                       | (独)理化学研究所 | 山口 陽子 |
| 14：00～<br>14：30 | A01G1 班 動的脳の情報創成とカオスの遍歴の役割                     | 北海道大学     | 津田 一郎 |
| 14：30～<br>15：00 | 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       | 北海道大学     | 西浦 廉政 |
| 15：00～<br>15：30 | 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 | 東京大学      | 金子 邦彦 |
| 15：30～<br>16：00 | 休憩   |           |       |
| 16：00～<br>16：30 | 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           | (独)理化学研究所 | 山口 陽子 |
| 16：30～<br>17：00 | 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           | 玉川大学      | 相原 威  |
| 17：00～<br>17：30 | 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   | 京都産業大学    | 奥田 次郎 |
| 17：30～<br>18：00 | 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  | 京都大学      | 水原 啓暁 |
| 平成21年9月6日（日）    |  |           |       |
| 9：30～<br>10：00  | 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               | 京都大学      | 中村 克樹 |
| 10：00～<br>10：30 | 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             | 玉川大学      | 大森 隆司 |
| 10：30～<br>11：00 | 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     | 北陸先端大学    | 橋本 敬  |
| 11：00～<br>11：30 | 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      | 電気通信大学    | 阪口 豊  |
| 11：30～<br>12：00 | 閉会の挨拶  | 北海道大学     | 津田 一郎 |

# 第1回総括班会議報告

京都大学大学院情報学研究科  
水原 啓暁



総括班会議出席者：前列左から平領域事務，橋本先生，鈴木先生，大森先生，奥田先生，相原先生，浅田先生  
後列左から筆者，西浦先生，塚田先生，乾先生，津田先生，山口先生，栗川先生，阪口先生，中村先生

平成21年12月3～4日に北海道支笏湖鶴雅リゾートスパ水の譚において総括班会議を開催いたしました。今回の総括班会議の目的は、計画班の間の具体的な共同研究を話し合うために行われ、総括班メンバーに加え内部評価委員の鈴木良次先生（金沢工大）、関連研究者として塚田稔先生（玉川大）、浅田稔先生（阪大）にご参加いただき、合宿形式での議論を行いました。各計画班代表者からは、各自が最近取り組んでいる研究の紹介とともに、具体的な共同研究の可能性の提案が行われました。

また、今回の総括班会議では、計画班代表者からの研究紹介・共同研究提案に加えて、浅田先生、塚田先生に特別講演いただきました。

浅田先生からは「共創知能：認知の個体発達から個体間発達に向けて」と題してご講演いただき、人間の認知発達とロボットとの比較について、浅田先生のグループで取り組んでおられる研究のご紹介がありました。浅田先生のグループでは物理的身体と社会的相互作用に着目して研究を推進されており、神経機構の解明について当領域との連携の可能性のご提案がありました。塚田先生からは「美の創成と脳科学」と題して、リアリティとイマジナリティなどについて子供とチンパジーの違いを例にご説明いただきました。また、美の創成の観点からの推進すべき脳研究の可能性についてご提案がありました。



内部評価委員の鈴木先生からは、今回の総括  
 班会議全体を通じて「脳とロボットの話が共存  
 している領域として重要」であり、「理論が分  
 かっている人が実験をやる、実験を分かろうと  
 している理論家が参加していることがこの領域  
 の特徴」として評価いただきました。

今後も同様に総括班会議を実施することで、  
 計画班の間の共同研究を推進していく予定と  
 なっております。

| 第1回総括班会議プログラム   |  |           |                     |
|-----------------|--|-----------|---------------------|
| 平成21年12月3日(木)   |  |           |                     |
| 13:30～<br>13:35 | 総括班会議 趣旨説明                                       | 北海道大学     | 津田 一郎               |
| 13:35～<br>14:05 | A01G1 班 動的脳の情報創成とカオス的遍歴の役割                       | 北海道大学     | 津田 一郎               |
| 14:05～<br>14:35 | 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         | 北海道大学     | 西浦 廉政               |
| 14:35～<br>15:05 | 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   | 東京大学      | 栗川 知己<br>(金子邦彦代表代理) |
| 15:05～<br>15:30 | 休憩   |           |                     |
| 15:30～<br>16:00 | 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             | (独)理化学研究所 | 山口 陽子               |
| 16:00～<br>16:30 | 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             | 玉川大学      | 相原 威                |
| 16:30～<br>17:00 | 休憩   |           |                     |
| 17:00～<br>18:30 | 特別講演：共創知能：認知の個体発達から個体間発達に向けて                     | 大阪大学      | 浅田 稔                |
| 平成21年12月4日(金)   |  |           |                     |
| 9:00～<br>9:30   | 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     | 京都産業大学    | 奥田 次郎               |
| 9:30～<br>10:00  | 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(1) | 京都大学      | 水原 啓暁               |
| 10:00～<br>10:30 | 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(2) | 京都大学      | 乾 敏郎                |
| 10:30～<br>11:00 | 休憩   |           |                     |
| 11:00～<br>11:30 | 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                 | 京都大学      | 中村 克樹               |
| 11:30～<br>12:00 | 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               | 玉川大学      | 大森 隆司               |
| 12:00～<br>13:30 | 昼食休憩   |           |                     |
| 13:30～<br>14:00 | 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       | 北陸先端大学    | 橋本 敬                |
| 14:00～<br>14:30 | 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        | 電気通信大学    | 阪口 豊                |
| 14:30～<br>15:30 | 特別講演：美の創成と脳科学                                    | 玉川大学      | 塚田 稔                |
| 15:30～<br>16:00 | 総合討論   |           |                     |

NEWS LETTER Vol. 1 (2010年2月19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 001-0020 札幌市北区北20条西10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](mailto: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 001-0020 札幌市北区北20条西10丁目  
TEL / FAX 011-706-9450  
Email [shingaku-jimu@math.sci.hokudai.ac.jp](mailto:shingaku-jimu@math.sci.hokudai.ac.jp)