

# NEWS LETTER



Vol.

2024

研究と行動の統一 | 理解の開拓と検証

Development and validation of a unified theory of prediction and action  
Transformative Research Area (A) : unified theory of prediction and action



## greeting

### 予測と行動の統一理論の 開拓と検証：統一理論

磯村 拓哉

理化学生命研究所 脳神経科学研究センター  
脳型知能理論研究ユニット  
ユニットリーダー



2023年度 学術変革領域研究(A)「予測と行動の統一理論の開拓と検証」(統一理論)を採択いただきました。この場を借りて、本領域の取り組みを紹介させていただきます。

知能とは何でしょうか？人工知能はこれまで神経科学からヒントを得ることで発展し、特徴抽出や強化学習、生成AIの分野において大きな成功を収めました。しかし、機械と人間の知能の間には未だ大きなギャップが存在します。知能の謎を解明するには、それを司る脳を理解する必要があります。脳には、神経回路の力学系としての側面、計算を行う機械としての側面、統計的な推論を行う機械としての側面があり、統一理論の構築にはこれらを融合することが求められます。

本領域では、実験班が最新の計測技術を用いて実験を行い、理論班がそれに基づく理論の拡張と人工知能実装を行うというループを回していく、一体となって統一理論の開拓と検証に挑みます。本領域を通じて、神経回路の計算原理、すなわち脳や心の仕組みへの理解を深めるとともに、脳の予測を可能にすることを目指して努力いたします。本領域の成果は、精神疾患の機序解明や、新たなニューロテックの創出、脳のように効率的な学習アルゴリズムを搭載した人工知能の開発など、様々な分野への波及効果が期待できると考えています。

また、ワークショップやシンポジウムなどの機会を通じて脳科学や人工知能関連のコミュニティの皆様とも交流や協力をしながら、理論と実験の融合と分野の発展に微力ながらも貢献したいと考えております。今後とも、皆様からご理解、ご支援、ご指導をいただければ幸いです。どうぞよろしくお願ひいたします。

一緒に領域を盛り上げてくださる仲間を随時募集中です。

詳しくは領域ホームページ(<https://unifiedtheory.jp>)、YouTubeチャンネル(<https://www.youtube.com/@unifiedtheoryjp>)、およびX(旧Twitter)アカウント(@unifiedtheoryjp)を参照ください。

### index

**NEWS  
LETTER**  
Vol.1 2024

01	ご挨拶	09	Group A 03 銀谷 賢治
02	対談 磯村 拓哉 蝦名 鉄平 鈴木 雅大 小松 三佐子	10	Group B 01 岡本 仁
06	領域概要	11	Group B 02 蝶名 鉄平
07	Group A 01 磯村 拓哉	12	Group B 03 小松 三佐子
08	Group A 02 鈴木 雅大	13	Group B 04 高橋 英彦
		14	イベント情報

## 統一理論が目指す景色とは

2023年度 文部科学省科学研究費補助金に採択された、

学術変革領域研究(A)「予測と行動の統一理論の開拓と検証」(統一理論)。

スタートから1年目が終わり、今後の展望を理論領域の磯村拓哉、鈴木雅大、

実験の小松三佐子、蝦名鉄平の4人のメンバーが語り合いました。

**磯村** 僕は子供の頃に「生物のように自律的に考えるモノを作りたい」と思って、心を持つロボットなら自分で作れそうだな、そのためには脳を理解したいなっていうのが、理論神経科学に進んだきっかけなんですが、みなさんはどういうきっかけでAIや脳の研究をやろうと思ったんですか？

**鈴木** ドラえもんが好きでロボットに興味を持ったんですけど、ある日、二足歩行のロボットをTVを見て、体は人間っぽいのに知能はヒトに全然追いついていないなって思っちゃって。知能って、実はまだ全然わかっていないんだってことに気づいて、大学に入るときにはもう人工知能やろうって決めていました。ただ、入学したら「人工知能は死んだ言葉だ」と言っていたので、とりあえず機械学習に取り組みました。その後ディープラーニングが登場してから一気に人工知能が盛り上がって、それから今に至るまでディープラーニングの研究をしています。

**蝦名** 生物の進化にもともと興味があって。大学入試の頃にちょうどヒトゲノム計画が進んでいて自分でも分子進化とか、そういう研究をしたいと

思ってました。学生の時にはタンパク質の物性を計算的に解析、予測するバイオインフォマティクスが流行っていて、自分もこういった研究をやっていました。ただ、遺伝子やそこにコードされているタンパク質の構造や機能がわからても、それがどうやってヒトを構成しているのかがなかなか想像できなくて。細胞～組織くらいのスケールでウェットな研究をしたいと思ってた時に理研BSIの津本先生のラボで研究する機会をもらって、そこから2光子イメージングを使って神経細胞の活動を調べる研究をするようになりました。

**小松** もともと学部は物理だったんですが、脳って物質じゃないですか。物質からなんで形而上学的なものが生じてくるんだろうって思って、脳科学に興味を持ったんです。動物実験ができる環境じゃなかったので、卒業ではゼロイチで神経活動をモデル化してシミュレーションをしたんですが、本物の脳データを見ないとこれ以上アイディアが湧かないなと感じて、大学院は靈長類でユニットレコーディングをやっていた研究室に進みました。



**磯村** 「予測と行動の統一理論の開拓と検証」(以下「統一理論」)は科研費の学術変革領域(A)に採択されて大型予算をいただいたなんだけれど、ヒアリングでは「少人数過ぎるのでは」という指摘もありましたね。

**蝦名** 研究計画が7つで分担者を入れても8名ですからね。

**小松** 磯村さんは「少人数だからいい」って返してましたよ。

**磯村** そう。「世界でこの人しかできない」というメンバーなので少数精鋭です」って言っておきました。

**鈴木** だから風通しが良いし、全員が「統一理論」という同じ方向を向いているのがいいと思います。

**磯村** そもそもAIと脳を結びつけるときに理論と実験を融合してアプローチするというのは、10年ほど前から新学術領域で銅谷先生(沖縄科学技術大学院大)がやっていらしたんですよね。係わってきたメンバーで次の展開をいろいろと模索していく中で、お話をいただきました。

僕はここ数年、等価性という概念に興味を持っていて、このネタなら理論と実験の両方に広がっていくんじゃないかと思って引き受けました。

**小松** 計測技術とか、コンピュータの性能の向上とかで、今ようやく本当に理論と実験を融合させられそうな下地ができている状況だと思うので、このプロジェクトの中で実現できればいいなって思っています。

**蝦名** 「統一理論」の1年目が終わりましたが.....。

**磯村** わりとすぐ過ぎちゃった感はありますね。僕自身はこの1年はわりと理論をやっていたんです。

現在の「自由エネルギー原理」よりももっと踏み込んだ、オリジナリティのある理論ができてきました。あとはそれをどう実験に落とし込むかなんですが、難しいですね。まずはテーマ通り「予測と行動」から実証していかないと。

**鈴木** 今のAIは行動の扱いが下手くそというか、実際は人間のようにはできていないんですよ。例えば「持つ」という行動について、人間はシンプルに「持つ」とだけ考えて一連の行動をとっていますが、今のAIでは時間を区切って「1ステップ目はこれ」「2ステップ目はこれ」「3ステップ目はこれ」みたいにデータを与えているんです。

**蝦名** 今のニューラルネットワークで行動をさせようとすると、1ステップごとに視覚情報を入れて運動出力してってやらなければいけないってことですか？

**鈴木** はい。観測(もしくは状態)と行動は一般的にはペアです。細かく区切っちゃうと学習が大変になるので通常は時間幅を固定にして切っているって感じです。AIは時間の使い方も人間と比べて苦手なので、それを何とかしたいとも思っています。

**小松** 脳では細かく切っているというよりも、むしろ観測がまばらなんじゃないかなと思うんですけど。

**蝦名** 脳にワンステップ、ワンステップ、フィードバックがかかるってことはないですよね。

**鈴木** そうですよね。だからAIも動的なシステムにしなきゃいけないんですけれど。

**小松** 動きと感覚情報のサンプリングに結構ブレがあって、ある程度ネットワークのダイナミクスに



僕はこのプロジェクトでは理論を  
どう実験に落とし込むか、どう検証するかって  
ところに興味がある。

**蝦名 鉄平**  
東京大学 大学院医学系研究科  
講師

AIはこのまま進んだら、止まっちゃう可能性がある。

そのとき、どうやってブレーカスルーを起こすかっていうと、

脳の知見がどうしても必要になる。

鈴木 雅大

東京大学 大学院工学系研究科  
技術経営戦略学専攻  
特任助教



任せている部分があるんじゃないかな。そういうモデルができると、脳に近づいて、しかも省エネになってくるはず。

**鈴木** AIも、毎回毎回入力が必要になるんじゃなくて、ダイナミクスに任せて行動していく感じにしたいんですよね。

**蝦名** 僕はこのプロジェクトでは理論をどう実験に落とし込むか、どう検証するかってところに興味があって。それにはどういう実験を組むべきなのかってことを理論グループと一緒に考えたいですね。今年度はプロジェクトで必要になりそうな技術開発をいろいろとやってました。計測が始まればデータはいっぱい取れるので、それを理論チームとシェアしていくのが次の目標です。

**小松** 私も技術開発は順調に進行しています。理論との連携ではデータをたくさん取るっていうところが非常に重要になってきますが、自由に動き回ってるマーモセットの大脳皮質の広域から神経活動を取るっていうシステムが技術的には確立してきたので、データは取り溜まっています。連携が追いついていなくて。

**磯村** 今年度は技術開発が進みましたね。来年度は理論チームと実験チームの連携がとても楽しみです。

**蝦名** AIの研究をする上で、脳の理論ってどれくらい重要なんでしょうか？ 脳の理論がなくてもAIは発展していくんでしょうか？

**鈴木** すごい重要な議論だと思います。今の主流であるLLM(大規模言語モデル)みたいな基盤モデルをどんどん作っていくって方針だと、我々

が考えているような理論はもういらないんですね。ただ、AIは良質な文書データだったら2026年とか全部学習しきっちゃうんじゃないかなって話もあって。それでも今のAIって、人間と話をするとちょっとおかしいところがあるじゃないですか。

**磯村** そうだね。

**鈴木** 僕たちはAIほど学習していないのに、自然に喋れますよね。ってことは、AIはこのまま進んだら、これ以上良くならなくて止まっちゃう可能性があるんです。そのとき、どうやってブレーカスルーを起こすかっていうと、脳の知見がどうしても必要になる。

**磯村** 実際にプロジェクト終了までに、ただ理論ができたっていうのではなく、実用的なAIのブレーカスルーだとか、実験的に何か新しいことがわかった、検証できたって見せることが必要だし、テーマが「統一理論」だから基本的な部分をちゃんと説明できているっていうのが重要ですよね。特定の課題中の脳活動をちゃんと予測できるところまで行けたらいいなと思います。

**鈴木** 構成論的なアプローチで我々の方で仮説を作って実際に動くようなAIを作った上で、それがちゃんと脳に対応してるかどうかを確認しつつ、脳の知見を取り入れて新しい方向性をぜひ提示したいなと思っています。今のLLMじゃない方向性を提示して、LLMがポシャったときに次にスムーズに移行できる方法を提案したいですね。

**蝦名** そういう研究をする上で理論グループとしてこういうデータだったら使いやすいみたいのはありますか？

**磯村** ブレーカスルーのためには、脳の学習を理解するのが大切ですね。それには、学習前から後まで

今ようやく本当に理論と実験を融合させられそうな下地ができている状況だと思うので、このプロジェクトの中で実現できればいいな。

小松 三佐子

東京工業大学  
科学技術創成研究院  
特任准教授



きるだけ長く取った、脳の中の変化が見えるデータが欲しいです。

小松 マーモセットがケージでボーっとしているデータだと駄目ってことですね。

磯村 マーモセットが何を考えてるかの情報が読み取れるといいんです。だからタスク中だったら何を考えてるか予想がつくから、解析もしやすいんじゃないかな。

鈴木 今日の話だけでも、ずいぶんと新しい知見が得られました。

磯村 このプロジェクトの魅力は、「統一理論」に興味を持ったメンツが集まって実際にグランツを取ってやれたことですね。若手でもやりたいことができると示せたのはすごく重要だと思います。今後、公募班も入ってきますが、それに限らず若手研究者や学生も自由に入ってきてどんどん絡んできてほしい。そういうカルチャーを作るのに役立てたらと思います。

小松 こういう複数のグループが集まってやる研究プロジェクトって、個々の興味が分散していたりす

るんですけど、ここはみんな同じような方向に向いている珍しいグループ。本当に融合させたい人だけ集めているから話が回りやすいというか。

鈴木 何か一緒にやろうっていっても、どうやって、何を目指すの？というところが難しかったりするので、「統一理論」をみんなで作っていくんだとはっきりと提唱しているところがいいと思います。あと若手に言いたいのは、AIが数年後どうなるって展望はずっと間違え続けているんですよ。LLMの普及とか生成AIの流行とか、数年前だったら誰も言っていたなかつたんです。なので、今の主流じゃない別の方向もぜひ考えて欲しくて、その中で我々の脳をよりどころにして研究していくって方向性も候補として考えいただければなと思います。

蝦名 いろんな先生とフランクに喋れるのもいいですよね。もともと知り合いだったっていうのはあるんですけど、代表が若いっていうのもメリットの一つなのかな。議論も遠慮なくできるので、実験と理論が融合しやすいんじゃないかなと思っています。今も、学生が積極的に話に入ってきたりしているので、今後が楽しみです。

若手研究者や学生も自由に入ってきて  
どんどん絡んできてほしい。  
そういうカルチャーを作るのに役立てたい。

磯村 拓哉

理化学研究所 脳神経科学研究センター  
脳型知能理論研究ユニット  
ユニットリーダー



取材：茜 灯里

## 領域 概要

### 知覚的な予測と行動の計画・生成を 統一的に説明可能な脳の統一理論を確立

生物は外界のダイナミクスを表す「生成モデル」を脳内に構築することで外界の状態を能動的に推論・予測し、将来のリスクを最小化するよう行動を最適化しています。このような生物の予測と行動の基盤となる脳の情報理論として、ベイズ脳仮説や自由エネルギー原理等の理論が脳の統一理論の候補に挙げられていますが、理論の抽象度が高く、生命現象との対応づけはこれまで困難でした。

しかし、最近の脳科学における実験技術の発展によって細胞種の特定や複数の層、領野を対象とした高精度大規模データの取得が可能となった事に加え、理論面でも神経回路ダイナミクスと生成モデルを一対一に対応づけるリバースエンジニアリング手法が開発された事で、脳と心の理解に極めて重要な「生物が持つ生成モデルを実験データから同定すること」が現実的になってきました。

そこで本領域では、脳の神経活動を高精度・大規模に取得し、データから脳が持つ生成モデルをリバースエンジニアリングすることで様々な脳の情報理論を検証し、予測と行動の統一理論の確立を目指します(図1)。

そのために様々な生物種を対象として外界の予測や行動に関連する神経活動を計測し、実験データから構築した生成モデルが動物の脳活動や行動、学習を予測できるかテストすることで理論を検証し、改良・拡張します。

理論と実験の双方性の連携を中心として研究を進め、知覚的な予測と行動の計画・生成を統一的に説明可能な脳の統一理論を確立し、ヒトのように考える人工知能や精神疾患の早期診断手法の開発への道筋を開拓していきます。

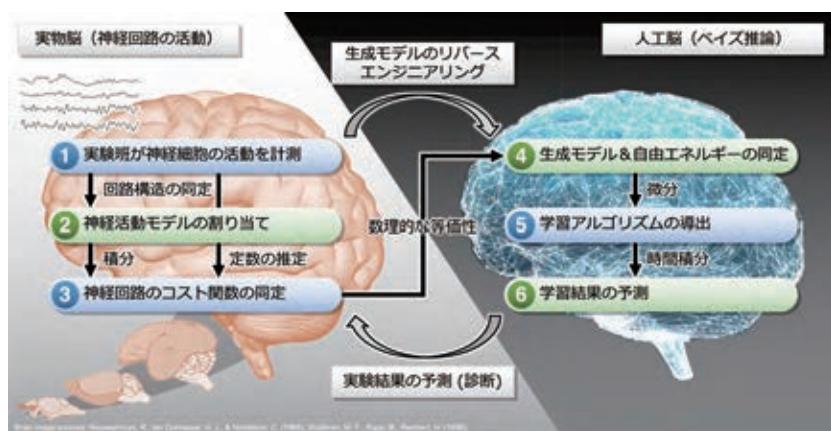


図1. 生成モデルのリバースエンジニアリングを用いた統一理論の検証

A 01

## 生成モデルのリバースエンジニアリングに基づく 脳型人工知能の創出



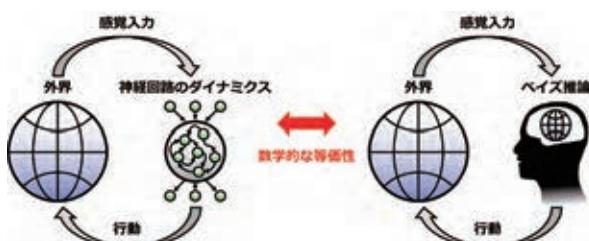
生物は、外界のダイナミクスを表す生成モデルを脳内に構築することで、知覚や行動を行うと考えられています。脳の情報理論「自由エネルギー原理」によると、全ての生物の知覚・学習・行動は、変分自由エネルギーと呼ばれるコスト関数を最小化するようになります。その結果、生物は変分ベイズ推論を自己組織化的に行うとされています。最近は自由エネルギー原理を発展させた、一般的な力学系をベイズ推論として概念化する「ベイズ力学」という分野が立ち上がりつつあります。

しかし、脳の基本単位である神経細胞やシナプス結合レベルの現象についても自由エネルギー原理やベイズ力学が正しいかどうかはまだ十分に検証されていません。この検証には、生理学的なメカニズムに基づいた神経回路モデルと自由エネルギー原理に基づいた計算モデルを結びつける必要があります。

そこで本計画研究では、我々が近年開発したリバースエンジニアリング手法に基づき、実験班が取得する様々な生物種(サカナ・ネズミ・サル・ヒト)の神経活動データから、それらを統一的に説明・予測可能な普遍的な生成モデルである「基盤脳モデル」を創出します。この基盤脳モデルは自由エネルギー

原理に従う脳型人工知能であり、原理的には様々なタスク下の神経活動や行動を予測できるはずです。未経験のタスクに対しても、外部システムが生成する感覚入力を与えれば、基盤脳モデルは起こりそうな神経応答や行動の定性的な予測を行います。タスクの初期の神経活動を入力すれば、その動物の生成モデルを再構成し、その後の神経活動や行動の自己組織化(学習)を定量的に予測します。もし予測が可能であれば、ベイズ脳仮説や自由エネルギー原理、能動的推論の妥当性を実証できるため、理論班と実験班が連携してこれらの検証を行います。そして、神経回路ダイナミクスとベイズ推論の等価性を軸として、統一理論の構築を目指します。

本成果は脳の計算原理の解明に重要なだけでなく、次世代の脳型人工知能の開発や、新たなブレインマシンインターフェイスの創出、精神疾患の機序解明への応用が期待できます。



研究代表者  
磯村 拓哉

理化学研究所 脳神経科学研究センター  
脳型知能理論研究ユニット  
ユニットリーダー



研究協力者  
松田 孟留

東京大学 大学院情報理工学系研究科  
数理情報学専攻 准教授  
理化学研究所 脳神経科学研究センター  
統計数理研究ユニット ユニットリーダー

A 02

## 自由エネルギー原理に基づく 深層生成モデルに関する研究

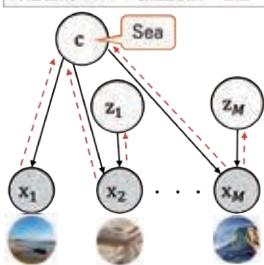


近年、深層学習、特に大規模言語モデルなどの研究が進んでいることにより、人工知能分野は大きな進展を遂げています。しかし、「ヒトのような知能を実現する」という観点から考えた場合、依然として多くの課題が存在します。まず、現在の深層学習は、大量のデータを人間が事前に準備する必要があるため、人間のように環境と相互作用しながら学ぶことができません。また、多くのモデルは入力から出力への一方向の対応関係のみを学習するという課題があります。一方、神経科学領域では近年「自由エネルギー原理」に注目が集まっています。この原理は、生物の推論・行動・学習を一つの枠組みで理解することを可能にし、環境と相互作用しながら能動的に情報を処理するという考え方を自然に導き出します。しかし、これまでに大規模かつ多様な観測データでの検証は十分に行われていません。

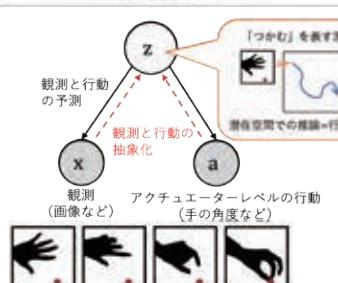
本研究では、深層生成モデルを用いて、大規模な観測データに基づく自由エネルギー原理に則った推論・行動・学習の手法を提案します。これにより、大規模な環境と相互作用し、能動的に推論や学習を行うヒトに近い知能の実現を目指します。また、設計した深層生成モデルを、大規模なヒトの神経活動データから学習し、ヒトの脳活動や認知プロセスと比較することで、構成論的アプローチによる知能の理解を深めることを目指します。

本研究は、深層生成モデルを設計することで知能構造に関する仮説を導入し、自由エネルギーを目的関数として用いることで学習や推論を行う点において、本研究領域全体の目標である「予測と行動の統一理論」の確立へのトップダウン的なアプローチと考えられます。

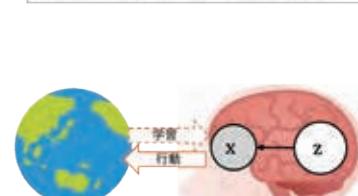
1. 大規模マルチモーダルデータからの  
深層生成モデルの推論方法の確立



2. 深層生成モデルにおける推論としての高次  
レベルの行動表現の獲得手法の確立



3. 深層生成モデルにおける能動的推論に基づく  
探索によるデータ収集と学習方法の確立



研究代表者

鈴木 雅大

東京大学 大学院工学系研究科  
技術経営戦略学専攻 特任助教



研究分担者

熊谷 亘

東京大学 大学院工学系研究科  
技術経営戦略学専攻 特任助教

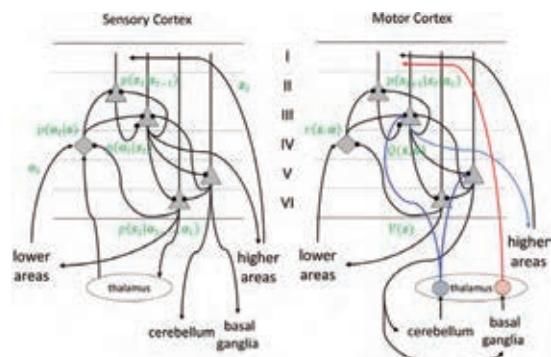
A 03

## 推定と制御の双対性に基づく感覚野と運動野の神経回路機構の解明



大脑皮質は canonical circuit と呼ばれる 6 層の回路構造を持っています。視覚野や体性感覚野など大脑の後半分は主に感覚認知に、運動野、前頭前野などの前半分は主に行動制御を担っていますが、共通の回路構造がなぜ感覚認知と行動制御という異なる機能を実現できるのかは、謎である以前に問題にもされてきました。しかし近年、control as inference という理論的な枠組みのもとで、知覚のためのベイズ推定と行動のための強化学習が共通の計算手法で実現可能なことが明らかになり、新たなアルゴリズムの提案と応用が進んでいます。

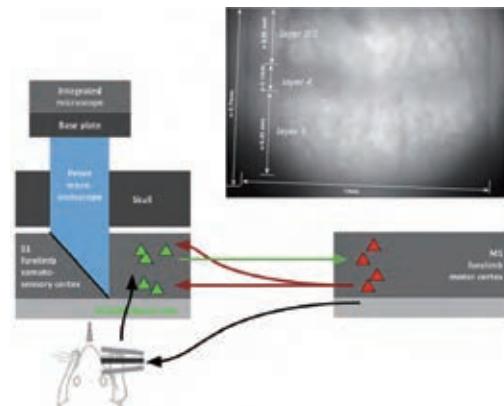
本研究では、ベイズ推定と強化学習の双対性を手がか



感覚野と運動野における推定と制御の作業仮説  
(Doya 2021. Current Opinion in Behavioral Sciences.  
<https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2021.07.003>)

りとして、メッセージパッシング、変分自由エネルギー近似などのアルゴリズムが、大脑皮質の神経回路でいかに実現可能かについていくつかの仮説を設定し、それらを計算機シミュレーションとマウスの脳活動計測実験により検証します。

実験では、レバーを操作する課題を行っているマウスの体性感覚野と一次運動野のニューロンの活動を、プリズムレンズを使ったカルシウムイメージングで異なる層から同時記録し、個々のニューロンやニューロン集団による情報表現とそのダイナミクスをあきらかにすることを目指します。



マウス大脑皮質ニューロンの多層カルシウムイメージング



研究代表者  
銅谷 賢治  
沖縄科学技術大学院大学  
神経計算ユニット 教授

B 01

## 階層的脳部位間の予測と予測誤差信号の 伝達に基づく意思決定行動の制御機構



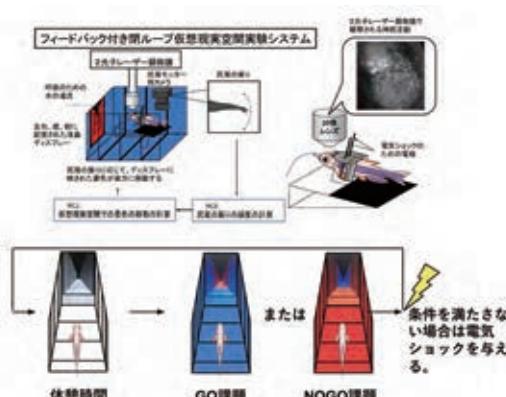
ゼブラフィッシュ成魚の終脳にも、哺乳類の終脳の各部に相当する領域が存在するという最近の知見に基づき、体が透明な変異体の成魚の頭を固定し、尻尾だけが自由に動ける状態で、尻尾の動きを取り囲む景色の後方への移動に反映されるという閉ループ仮想現実空間を創出(右下図)。周囲の景色が青に変わると赤の区画まで泳がなければ罰せられる。逆に、赤に変わるとその場に留まつていなければ罰せられるようなルールを学習させる課題で、魚をトレーニングし、その学習過程での神経細胞の活動をイメージングすることに成功しました。

その結果、周囲が青色になったとき、好ましいと予測される後方に移動する景色と、実際に見られる景色との間の予測誤差をコードする神経細胞集団が生成され、行動制御に反映されることを発見し、予測と予測誤差に基づく行動制御を可能とする仮説的神経回路モデルを提唱するに至っています。

また、ゼブラフィッシュの成魚同士が社会的上下関係を巡って闘争する場合に、手綱核・脚間核回路からの出力が、攻撃や防御のために必要な姿勢や知覚入力の予測を出力し、固有知覚などの内部知覚や、視覚入力などの外部知覚との比較・照合によって

算出される予測誤差が、上位中枢での視覚・運動変換のプログラミングに重要な役割を果たしていると考えています。

本研究では、この様に神経系の最上位の終脳だけでなく、手綱核・脚間核を含む脳幹部においても行われている、予測と予測誤差の計算の実体と、それが脳の部位間の階層的相互作用によって、行動の制御にどのように使われているのかを、脳全体は小さいが、その基本的構造が哺乳類と保存されているゼブラフィッシュを利用して、広範な脳部位の神経活動の同時計測を行うことによって明らかにします。



研究代表者

岡本 仁

理化学研究所 脳神経科学研究センター  
チームリーダー

B 02

環境予測と予測に基づく行動選択を実現する  
脳領域間ネットワーク連関の解明

平坦な道を歩いている時とゆるやかな坂道を上っている時、私たちは同じように足を踏み出し歩き続けることができます。常に変化し続ける環境の中で同じように行動するためには、自身の置かれた環境の情報をもとにその変化を予測して次の行動を適切に制御する事が重要です。

本研究では、環境の変化に応じた運動を実行している時の小型霊長類コモンマーモセットを対象として(図1)、大脳皮質広域での大規模同時神経活動計測、その構成要素である個々の神経細胞を対象とした神経活動計測、領野間の情報伝達を担う投射軸索活動の計測を実施します(図2)。この結果から、環境予測や予測誤差、予測に基づく行動の制御に関連する情報が大脳皮質の領野間をどのように伝搬し、投射先の領域でどのように変換される事が最適な運動の実現に必要なかを明らかにします。さらにその機能的な因果性を光遺伝学による介入実験によって検証し、環境の変化による脳領域ネットワークの変動が、行動の変化へと至る一連の情報フローを明らかにしたいと考えています。

また、これらのデータを理論グループと共有することで、霊長類の大脳皮質における階層的な脳領域

間ネットワークの変動がどのように神経回路モデル、あるいはアルゴリズムによって説明され得るのかを検証し、予測と行動のための脳機能の実体を明らかにします。

図1. 外部力場への運動適応課題

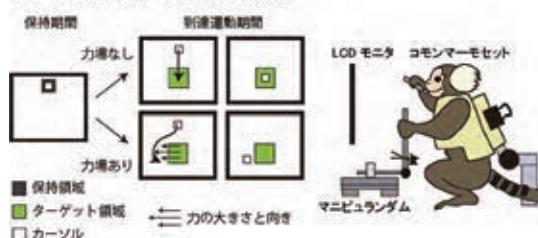
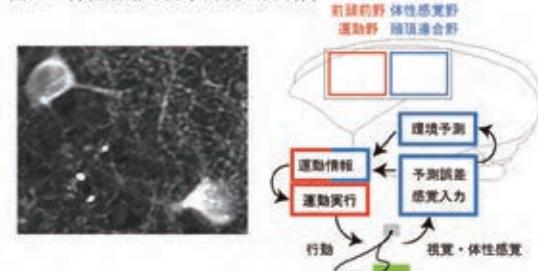
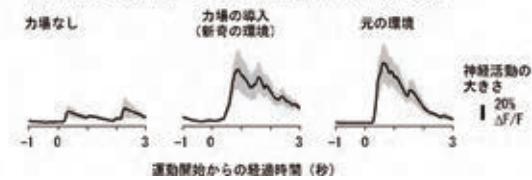


図2. 神経活動の光学計測・光制御



2 光子カルシウムイメージングで計測した神経細胞活動の例



研究代表者

鶴名 鉄平

東京大学 大学院医学系研究科  
講師

B 03

## 非ヒト霊長類の能動的推論における生成モデル獲得の皮質広域神経基盤

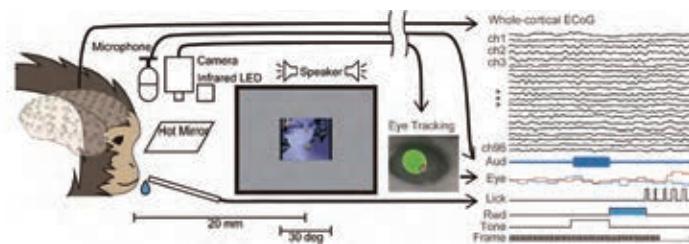


生物の予測と行動を、脳が実現する際の情報処理に関わる統一理論を開拓・検証するために、本研究では予測情報処理および予測に基づく生成モデルの更新が、サル大脳皮質でどのように行われているのかを検証します。

我々は、時々刻々と入力される刺激に対し、絶え間なく汎化と予測を行い、行動を適応させています。これらを実現する過程で、脳内では自己組織的に回路の再編が起こっていると考えられ、普遍的計算論的モデルとして「予測符号化」や「能動的推論」などの枠組みが提案されています。近年ではこのようなモデルを機械学習に適用し、大規模データ解析に大きな進展がみられています。しかしながら、脳内での実装についてはまだ不明な点が多く、とくに全脳レベルで学習前後の回路の更新がどのように行われているかについてはほとんどわかつていません。

本研究では、感覚予測や学習課題時のサルから、前頭葉を含む大脳皮質広域の神経活動を同時計測して、それらのデータを領域内で広く共有し、理論検証および種間比較を通して、脳内情報処理の統一的理解を目指します。

本研究グループの、これまでの研究報告(Jiang et al., 2022; Komatsu et al., 2015)から、聴覚の予測符号化には、大脳皮質広域が関わることが示唆されていますが、視覚などの他のモダリティでも同様の計算原理が適用できるのか、また、感覚の受容だけでなく、行動を通して環境と相互作用がある場合にも、同様の計算原理が適用できるのかは、未だ明らかではありません。そこで、下図のような多感覚提示可能な行動実験装置を構築し、モダリティ非依存の予測情報処理、および、予測に基づく行動学習のメカニズムをあきらかにします。



研究代表者  
小松 三佐子  
東京工業大学  
科学技術創成研究院  
特任准教授

研究分担者  
高司 雅史  
理化学研究所  
脳神経科学研究センター  
研究員

B 04

ヒト脳の予測機構とその変容の理解



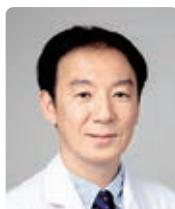
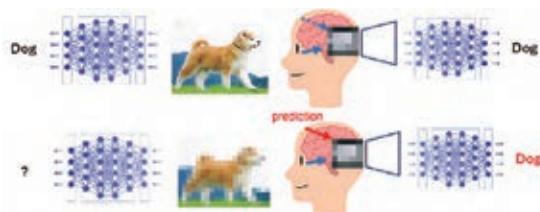
理論や動物実験で示唆された予測情報処理が、ヒトの脳のどこで、どのように行われているのか、また精神・神経疾患では、どのような変容が認められるのかを検証します。

標準的な3TのfMRIに加え皮質脳波による脳活動の高時空間分解計測を行い、これを実現します。fMRIでは脳内に生じるボトムアップとトップダウンの予測情報処理を分離して検討することが難しいです。このため、feedforwardな処理のみで予測機構を持たない深層学習モデルを用い、脳信号を介したモデルと介さない深層学習モデルの内部信号とを対比し、予測信号を分離し、予測機構に伴う情報処理の神経基盤を同定します。視覚情報処理から検討を始め、聴覚やクロスモダルの感覚処理にも同様な手法を応用します。

統合失調症・自閉症スペクトラム障害、認知症等の精神・神経疾患患者に対し同様の方法を適用し、精神・神経疾患の症状を予測機構の異常として理解し、その神経基盤を明らかにします。精神・神経疾患患者の安静時あるいは予測課題や学習課題中の脳情報データは理論や動物実験研究者と共有し、普遍的な理論から提唱された予測情報処理の変容としての病

態モデルの妥当性を検証します。治療による精神症状の回復前後等の縦断的な脳情報データも採取・検討し、予測情報処理の見地から治療効果・回復のメカニズムも明らかにします。

東京医科歯科大学の脳神経外科の協力を得て、定位的頭蓋内脳波(Stereotactic electroencephalography: sEEG)で得られる通常の脳波より高い空間解像度と時間分解能を活用し、予測課題・学習課題での脳情報を計測します。課題は可能な限り、種を超えて似たコンセプトの課題を行います。このデータは他の動物種のデータとともに理論研究者に共有され、予測理論の検証や拡張にも活用されます。



研究代表者  
高橋 英彦

東京医科歯科大学 大学院医歯学総合研究科  
精神行動医科学 主任教授

## Event Information

### イベント活動一覧

#### 2023年度 主催イベント

##### 第1回 領域会議

日程：2023.4.27–28

場所：東京大学本郷キャンパス

##### 学術変革領域研究(A)統一理論 オンライン領域説明会 & 公募説明会

日程：2023.7.26

場所：オンライン

##### 第46回 神経科学大会サテライト企画

「脳科学における理論と実験の  
融合に向けた若手研究者セミナー」

日程：2023.8.4

場所：仙台国際センター

<https://sites.google.com/view/jnns2023-sbce/index>

##### 第33回 日本神経回路学会全国大会 サテライトシンポジウム 「理論と実験の融合のための神経科学チュートリアル」

日程：2023.9.3

場所：東京大学本郷キャンパス

[https://am2023.jnns.org/satellite\\_plan.html](https://am2023.jnns.org/satellite_plan.html)

##### 第2回 領域会議

日程：2023.11.4–5

場所：沖縄科学技術大学院大学(OIST)

カンファレンス・センター

<https://unifiedtheory.jp/events/meeting2/>

#### 2023年度 共催・協賛・後援イベント

##### 数理科学者と解く！ 神経科学のオープンプロブレム@長野

日程：2023.11.17–20

場所：タングラム斑尾 東急リゾート

<https://sites.google.com/view/neuro-mathematics2023>

##### ASCON2023

日程：2023.11.28–12.1

場所：ホテル一宮シーサイドオーツカ

<http://ascone.brainsci.net/>

##### 脳と心のメカニズム 冬のワークショップ

日程：2024.1.9–11

場所：北海道 ルスツリゾートホテル＆コンベンション

<https://brainmind.jnns.org/wt2023/>

##### The Machine Learning Summer School in Okinawa 2024

日程：2024.3.4–15

場所：沖縄科学技術大学院大学(OIST)

カンファレンス・センター

#### 2024年度 主催イベント

##### 第3回 領域会議

日程：2024.5.16–17

場所：理化学研究所 脳神経科学研究センター(CBS)

[お問い合わせ先]

学術変革領域研究(A)「予測と行動の統一理論の開拓と検証」事務局

E-mail: [contact@unifiedtheory.jp](mailto:contact@unifiedtheory.jp)