

## 目 次

---

ニュースレター発刊によせて .....	3
研究領域概要 .....	4
特集 1 リレー対談 .....	6
第 1 回 意思決定とは、モデルベースとは？ 銅谷 賢治 × 今井むつみ	
特集 2 計画研究メンバーのご紹介 .....	10
イベント情報 .....	20



銅谷 賢治

沖縄科学技術大学院大学 教授・副プロボースト

文部科学省科学研究費新学術領域研究

「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」

領域代表者

私たちの毎日の生活は意思決定の連続です。朝さっさと起きるかももう少し寝てようか、朝ごはんは何にして、どの服を着てといった選択から、受験や就職、結婚など人生の選択まで、わたしたちは数多くの意思決定を次々となし、時に深く悩みながら生きています。人の意思決定の原理としくみは、哲学、心理学、経済学、政治学、脳科学、精神医学など幅広い分野で古くからの研究されてきたテーマです。近年、人工知能の分野から生まれた「強化学習」という理論と、脳イメージング技術の融合を契機に、意思決定のしくみを脳の回路や分子、遺伝子の働きから解明しようという機運が高まってきています。

このような中、私たちは科研費新学術領域研究として「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」を提案し、平成23年度に採択されスタートを切ることができました。この領域の大きなねらいは、直感的、習慣的な意思決定と、予測的、熟考的な意思決定が、それぞれどのように実現され、それらがいかに選択され統合されてるのかを明らかにすることです。特に予測的な意思決定では「脳内シミュレーション」による行動結果の予測が行われているはずですが、これがどのような神経回路の働きにより実現されているのかを、最新の実験技術と数理解析手法を駆使して明らかにすることが大きな課題です。

私たちの研究は、意識とは何か、自由意志はあるのか、といった哲学的な問題や、思考や行動に遺伝子や分子がどう関わっているのかという科学的な問題に新たな解を与え、予測と意思決定のゆがみをともなう精神障害、例えばうつ病、統合失調症、ADHDなどの原因と処方に関しても新たな手がかりを導くことをめざしています。このニュースレターが、私たちの研究のねらいや成果を多くの方々に知っていただくとともに、関心をお持ちの幅広い方々の議論と情報交換の場となることを期待しています。



## 研究領域概要

### 本領域の目的

日々の行動から人生の選択にいたるまで、人がどのような原理とメカニズムにより意思決定を行っているのかは、哲学から心理学、経済学、政治学、脳科学、精神医学にわたる大きな問題です。本研究領域の目的は、人の意思決定の原理と脳機構を、論理学や統計推論の理論、人の行動解析と脳活動計測、実験動物での神経活動の計測と操作、計算機シミュレーションとロボットによる再構成を通じて解明することにあります。

意思決定には、直感的、習慣的なモデルフリーの機構と、計画的、適応的なモデルベースの機構が考えられています。これらがいかに選択され統合されるのか、後者で必要な「脳内シミュレーション」による行動結果の予測がどのような神経回路の働きにより実現されているのか、またそれらが分子や遺伝子によりいかに制御されているのかを、最新の実験技術と数理手法を駆使して明らかにしようとしています。

### 本領域の内容

3つの主要課題を設定し、それぞれ以下の作業仮説と手法により意思決定と脳内シミュレーションのメカニズムの解明に取り組んでいます。

#### 1) 行動と意思決定の計算理論

モデルフリーの意思決定は処理は単純ですが融通がききません。一方モデルベースの意思決定では経験から得た知識をより柔軟に活用することができますが、その処理は複雑になるという得失を持ちます。そこでヒトや動物は、脳の進化と発達段階、各個体の経験、また意思決定の実時間的拘束のもとで、それぞれの方式による価値評価の確実性に応じた選択と組み合わせているという作業仮説をとります。論理学や機械学習の理論を使い、異なる手法の選択と組合せのアルゴリズムを導出し、それらによる予測とヒトや動物の行動を照らし合わせる実験により仮説の検証を行ないます。

#### 2) 意思決定の神経回路機構

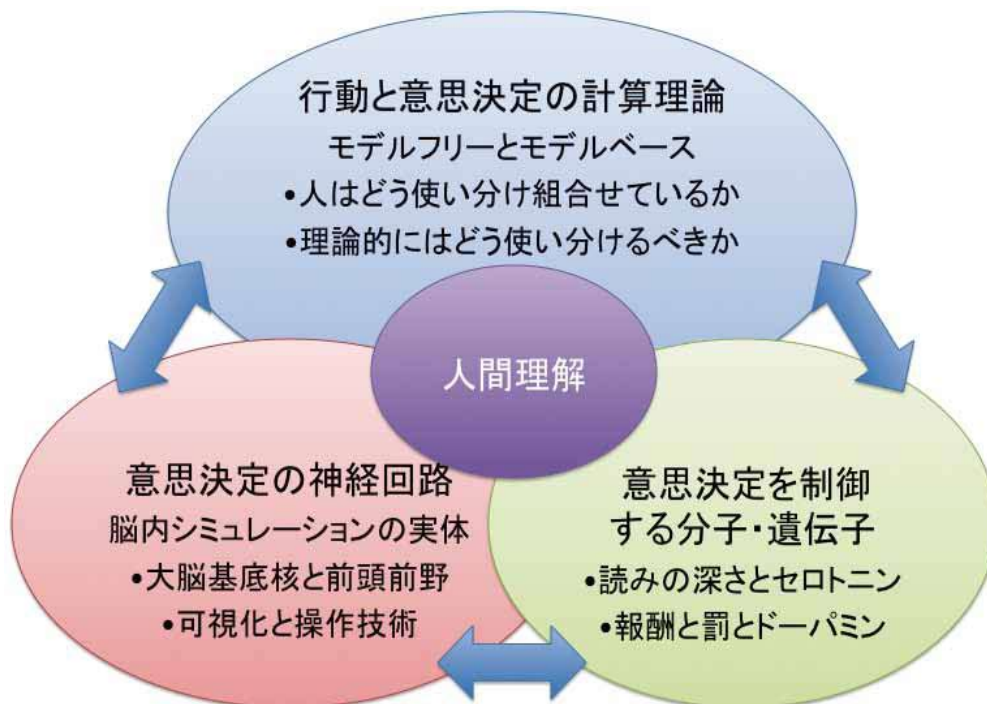
脳内シミュレーションには小脳の予測モデルや大脳皮質の確率推論機構が関与しており、線条体、扁桃体、手綱核による報酬と罰の評価機構との連携により行動選択が行われるという作業仮説をとります。神経活動記録による行動の結果の予測や報酬評価に関与する脳部位の特定、神経活動の刺激と操作実験による機能の検証を行い、さらに多数の神経細胞の光学記録により脳内シミュレーションの計算過程を具体的な形で明らかにします。

#### 3) 意思決定を制御する分子・遺伝子

行動の結果得られる報酬予測の時間スケールが脳内のセロトニンのレベルにより制御され、報酬による行動強化と罰による抑制が異なるドーパミン受容体により制御されるという作業仮説をとります。これら意思決定の特性は、環境条件や個体の経験に依存して調節されるだろうことが理論的に予測され、これを多様な環境条件のもとでの行動解析と薬理、遺伝子操作により検証します。

### 期待される成果と意義

この新学術領域による意思決定の脳機構の解明は、思考、意識、意欲など人の心の基盤となる物理機構により深い理解を与えることにより、意思決定の障害をともなう精神疾患の解明と処方の導出、より良い教育手法や社会経済制度の策定、さらに人の意思決定の特性にねざした親しみやすいソフトウェアや情報技術の開発を可能にするものです。



## 計画研究メンバー

### A01 行動と意思決定の計算理論

岡田光弘（慶應義塾大学）：予測・判断・意思決定の論理と計算

今井むつみ（慶應義塾大学）：ヒト乳児の言語学習を可能にするモデルフリー・モデルベースの学習機構

杉山将（東京工業大学）：予測と意思決定のための機械学習理論の構築とその神経回路での実現

柴田智広（奈良先端科学技術大学院大学）：実店舗での購買意思決定過程

### A02 意思決定の神経回路機構

坂上雅道（玉川大学）：モデルベースの意思決定を可能にする神経回路

銅谷賢治（沖縄科学技術大学院大学）：予測と意思決定の神経回路ダイナミクスの解明

岡本仁（理化学研究所）：意思決定神経回路の可視化と操作

### A03 意思決定を制御する分子・遺伝子

高橋英彦（京都大学）：精神・神経疾患における熟慮的および直感的意思決定障害の脳内基盤の解明

木村實（玉川大学）：予測と意思決定の大脳基底核と扁桃体の神経回路基盤

疋田貴俊（京都大学、大阪バイオサイエンス研究所）：報酬・忌避の意思決定の機構解析

## 領域 web サイト

<http://www.decisions.jp>

# 「予測と意思決定」リレー対談：第1回

沖縄科学技術大学院大学神経計算ユニット 教授

銅谷 賢治



▼ 銅谷 2011年夏にスタートした新学術領域研究「予測と意思決定」ですが、そのねらいや成果をより多くの方に知っていただくために、このニュースレターを発行することにしました。そのメインの企画として、関係する研究者の対談をリレー形式で連載しようとおもいます。今回がその第1回目です。今井さん、よろしくお願ひします。

■ 今井 はいこちらこそ、はるばる沖縄からありがとうございます。ではまず、「予測」とか「意思決定」とか、心理学でも非常に重要な言葉なのですが、いろいろな人がいろいろな意味で使っていて、赤ちゃんもふくめて人間がやっていることはすべて予測と意思決定じゃないかという気もするくらいですが、銅谷さんはどのようなものとして捉えているのでしょうか？

▼ 銅谷 動物や人間の行動には、ほとんど無意識に自動的に行われる部分も多くありますが、意思決定という場合、いくつかの選択肢があって、その良し悪しの価値判断をもとにその一つを選択することと捉えています。行動の結果得られる報酬や罰を予測して、

■ 今井 この新学術領域では「モデルフリー」と「モデルベース」の意思決定というのがキーワードとなっていますね。これは自動的な行動と価値判断をともなうものと捉えてよいのでしょうか？

▼ 銅谷 いいえ、価値判断にも直感的なもの、いろいろな思いをめぐらして行うものがあると思います。例えばお皿の上いくつかのお菓子があってどれを選ぶかといった場合、こうやって対談をしながらほ

とんど意識しなくても自分の好みに応じたものを選んでいきますよね。これはモデルフリーの意思決定だと思います。それに比べて、この製品は賞味期限がいつで栄養成分がどうでということを調べて、そのもたらすメリットや危険をいろいろ考えて選択する、というのがモデルベースの意思決定の例だと思います。理論的には、いろいろな行動を取った結果起こる状況を予測するのが「モデル」で、そのモデルによって予測された状況の評価をもとに行動を選択することをモデルベースの意思決定と言っています。

■ 今井 なるほど。この新学術領域のねらいは、その違いと仕組みを明らかにしようということなんですね。

▼ 銅谷 そうです。まずここ数年、意思決定の科学というのは、脳科学やロボット工学、心理学や経済学など、幅広い分野の研究者が、報酬や罰の経験と予測によって行動を学習するための理論である「強化学習」の枠組みをもとに共通の言語で議論をするようになり、多いに活性化しています。サイエンス、ネイチャーニューロサイエンスなど、メジャーな学術誌でも特集号が組まれています。こういった中で、単純なモデルフリーの意思決定には大脳基底核などの脳回路やドーパミンなどの脳内物質がどのように関わるかがかなりクリアになって来たと思います。

しかし一方で、人間の意思決定はモデルベースで行われることが非常に多いわけですが、これが具体的にどのような形で脳の中で実現されているのかはわかっていません。けれども今、脳科学の実験技術がどんどん進歩して、大脳皮質の多数のニューロンの活動を蛍光色素を使って同時に記録するとか、遺伝子操作によって脳の回路の中の特定のタイプのニューロンだけ刺激したり抑制したりするといったことができるようになってきています。これらをうまく使えば、これまで謎だった「思考実験」や「脳内シミュレーション」の実体に迫れる可能性が出てきたと思って、今回このような領域を提案しました。



# 意思決定とは、モデルベースとは？

慶應義塾大学環境情報学部 教授

今井むつみ



## 人間にモデルフリーの意思決定はあるのか？

■ **今井** あらためて「モデルフリー」「モデルベース」とは何かを、ヒトの学習や意思決定の状況で考えてみると、直観的にすんなり納得できない部分があります。そもそも「モデルフリー」がほんとうに人にとって意味ある状況下での意思決定でありうるのかという問題です。たとえば、生まれたばかりの赤ちゃんでも、何の予測もせずにまったくランダムに何かを決めているということはほぼありえないと思います。つまり、赤ちゃんの予測、意思決定は常に何かに制約されているのです。生得的な知識を赤ちゃんが持って生まれ、それが制約として働いていると考える研究者もいますが、私は先天的な知識をもって生まれてきているというのは考えにくいと思っていますが、たとえば何か特定の視覚刺激、聴覚刺激に注意を向けやすいなどの生物学的にプログラムされた制約はあり、それが生まれたばかりの赤ちゃんの学習、予測、意思決定を制約していると考えています。工学モデルで意思決定や学習の理論をつくるとき、赤ちゃんの場合の「制約」に相当するものは考えるのでしょうか？

▼ **銅谷** ロボットに行動を学習させるとき、注意を引いてほしいものに報酬を割り振っておくことはあります。僕らの研究室では、バッテリーパックを捕まえたり、ほかのロボットと学習のパラメタをやり取りすることで学習して進化していくロボットを作っていますが、全くランダムに世の中を動き回っているのでは、最初の1回の意味ある経験を得るまでにべらぼうに時間がかかってします。そこで、バッテリーパックの色や、ほかのロボットがつけるLEDの色にひきつけられるような「種（たね）」を報酬として埋め込んでおくことで、そういったものに対する経験を集中的に積ませるのです。これは知識というよりは、行動のヒントとして制約を与えていることになると思います。

■ **今井** そうして何かが一たび学習され、それが

記憶されて知識となれば、その知識は新しい状況での何かの予測、意思決定に使われ、さらに学習を制約します。その意味では、「モデルフリー」というのが何なのか、ということ、ヒトの学習の文脈からあらためて考えなおす必要があるがあるのではないかと思います。

## 熟達化のプロセス

■ **今井** 私は、「熟達化」の認知プロセスに興味をもっているんですが、たとえば将棋の場合、熟達者になるほど、局面ごとの判断が早い。名棋士は、盤面を見た瞬間に次の一手の候補が頭に浮かびます。何万もある選択肢の中から、二つか三つに直観的に絞り込むわけです。そのうえで、ああでもない、こうでもない長い時間をかけて熟考する。そういう過程がありますよね。前者の直観的な絞り込みが「モデルフリー」、後者の熟考を経た意思決定が「モデルベース」なのでしょうか？

▼ **銅谷** そう思います。最初はいちいちその先の盤面を予測して、その結果をもとにこれはいけるとかだめだとかいったモデルベースの意思決定したかもしれないけれど、何度もそういう経験を重ねるうちに、先読みをしなくても、一瞬でこの手はいい、この手はまずいとわかるようになって、モデルフリーの意思決定ができるようになる。モデルフリーとモデルベースは、原理は違うけれども、実際の場面では両者補い合う形で学習され使われているはずですよ。

■ **今井** ただそうすると、熟達者が体に染みついた



# 「予測と意思決定」リレー対談：第1回

沖縄科学技術大学院大学神経計算ユニット 教授

銅谷 賢治

知識をもとに、直観的に判断する意思決定も、初心者が状況がよくわからずとにかく適当に選ぶ意思決定も、モデルフリーと呼ぶことになってしまうような気がします。それらは性質が違う気がするのですが。

▼ 銅谷 僕らも実際、人間の系列的な運動学習の実験をしているのですが、初めのころの本当に何もわからない時期と、ある程度経験を積んで予測的な行動をする時期と、もう正しい行動がわかって定型的な動作を繰り返す時期があって、最初と最後の段階はいちいち予測を使わないという意味では両方ともモデルフリーと言えるのですが、処理の中身は違うと思います。MRI で調べると脳の活動も違ってきます。

■ 今井 違うと思いますね。熟達者の場合、なぜモデルフリーの意思決定が必要になるかという、もっと大事なことを熟考しなければならないからですね。

▼ 銅谷 時間の節約のためでもありますね。

■ 今井 ええ。計算の効率化によって、より深い部分に注意を向けて処理能力を発揮できるようになります。言語にも同じようなところがある。私たちが日本語を話すとき、文法的に「が」が正しいのか「は」を使うべきなのか、あるいは敬語を使わなければならないのかなど、あまり考えなくてもできますよね。じゃあ何を考えるかというと、相手の表情を見ながら、こういうことを言って銅谷さん怒らないかしらといったことを考えるわけです（笑）。そういうことを考える余地を残すには、やはり自動的にできることは自動的にする必要があります。自動処理に任せないと、オンラインの処理が破綻するからです。熟達化するとモデルフリーに戻るというよりは、今までモデルベースでしていた意思決定をどんどんモデルフリーへ圧縮して、その分、今までできなかったことをモデルベースの意思決定で判断するというような仕組みをイメージすればよいのでしょうか。



モデルフリーとモデルベースの組み合わせ

▼ 銅谷 そうですね。でも、どう予測しようにも、いろんな結果がありすぎて具体的な予測が成り立たないというときには、「えいやっ」とモデルフリーでやるしかないときもあると思います。例えば将棋は先読みが重要なゲームですが、毎回サイコロを振って進めるバックギャモンでは、深い先読みは難しい。将棋のプログラムは最近ようやくプロ棋士を負かすくらいになって来ましたが、バックギャモンのコンピュータープログラムはすでに 1990 年代に世界チャンピオンに勝っていて、これは深読みを行わずに主にモデルフリーのアルゴリズムを使ったものでした。

■ 今井 ただし、熟達した領域に関しては、「えいやっ」とモデルフリーで何もわからずにやるということとはほぼないと思うんですね。常に状況は新しくて、ハプニングもある。ハプニングに柔軟に対処するためには、今まで経験はしていないけれども、今までの経験の中でそれに近い状況をいくつか見つけて、それらの組み合わせによって今まで経験していない新しい状況に適応していると思うのです。それはモデルフリーではないと思うのです。

▼ 銅谷 複数のモデルの組換え、組み合わせで予測的な意思決定しているという場合もあると思います。その場合、どのモデルを選択するか、という意思決定のしかたの意思決定みたいな問題も出て来ます。モデルベースの意思決定の中で選択肢を刈りこむためにモデルフリーの選択が使われることもあるし、モデルベースでプランを複数立てて、そのどれを取るかはモデルフリーで決めることもあるかもしれません。常に両者補い合っているのが普通の意思決定のあり方だと思います。

■ 今井 そうですね。私の関心は、両者の仕組みを別々に明らかにするというよりは、両者の関係が知りたいです。両者の関係が、学習の初期から、かなり進んだとき、さらに熟達したときで、どう変わっていくのか。しかも人間の一般的な状況、言語の学習のような状況で、モデルフリーとモデルベースの二つの関

# 意思決定とは、モデルベースとは？

慶應義塾大学環境情報学部 教授

## 今井むつみ



係はどういうふうに変わっていくのか、それによって行動がどう変わっていくのか。脳がどう変わっていくのか。それがわかれば素晴らしいと思います。

### 「予測と意思決定」領域のねらい

▼ 銅谷 そのへんが、この新学術領域「予測と意思決定」のねらいです。そのためにロボットや理論を研究している人たちから、今井さんのように人間、赤ちゃんを対象に研究している人たち、その間に、ネズミやサルなどの動物実験ができる人たちを集めて一つのチームを作ろうと思ったんですね。今から15年ほど前からfMRIが脳科学の世界に入って来て以来、意思決定をしているときに脳のどこが活動するかという知見はかなり得られてきています。モデルフリー的な行動選択をしているときには大脳基底核とか前頭葉の眼窩野と言われているところが活動するといった知見です。より予測的な行動選択をしているときには背外側前頭前野、頭頂葉といったところが活動しているということがわかってきています。じゃあ、そのような場所でいったい何が起きているのかを知りたいわけですね。そこでどういう処理、ニューロンのどんなダイナミクスで実現されているのかということを明らかにしたい。

■ 今井 人間は脳全体を使ってネットワークで物事を計算しているわけですから、脳の局所的な仕組みだけでなく、ネットワークの仕組みまでぜひ解明したいですね。

▼ 銅谷 局所のネットワークの仕組みと、それがつながった脳全体のネットワークがちゃんと働くための学習と仕組みですね。

■ 今井 認知の研究をしている中で、私は常々、学習に関して科学的に得られた知見を社会になるべく生かしていきたいと考えています。銅谷さんとしては、社会に何ができるか、どういうイメージを持っていますか。

▼ 銅谷 こういった脳の意思決定や学習の仕組みに関する知見は、予測や意思決定のゆがみとも言える精神疾患、例えばうつ病、統合失調症、ADHDなどの解明につながると思います。また、どうしたら知識や技術をより良く学習できるか、あるいは勉強をするかゲームをするかといった意思決定のしくみの理解は、教育にも役に立つ可能性はあると思います。僕自身の運動のトレーニングにも生かしたいと思っていますし。

■ 今井 トライアスロンをやっておられるんですたっけ？

▼ 銅谷 ええ。トライアスロンは3種目の勝負なので、たとえば自転車で頑張りすぎてしまうと、次のランニングでひどい目に合う。そういった予測をちゃんとやらないとゴールにたどり着けないところが、面白いところですね。やっぱりモデルベースでやることと、モデルフリーでやることにはそれぞれ良し悪しがあるので、両方使えるようにしたうえで、バランスよく使っていくことが大事だと思います。この領域の研究で、学習の仕方を助けるような何かが見えてくるといいと思います。世の中の役に立つし、自分の運動学習にも役に立ちますので（笑）。





# A01 行動と意思決定の計算理論

## 予測・判断・意思決定の論理と計算



4つの方法論及びそれらの融合的方法論の開発を通じて、モデルベース、モデルフリーを中心に、人の意思決定・行動判断のメカニズムに迫ります。

- (1) 言語行為論などの行為論哲学による意思決定動的論理
- (2) ゲーム理論と認識論理を組み合わせた、社会的行動判断
- (3) 直観—空間的グラフィック推論—言語的推論など関係の認知情報科学的解明
- (4) 双生児法による調査を導入し、意思決定における遺伝要因—環境要因の解明をしていきます。

私たち人間の意思決定・判断行動は複雑な諸相を含んでいます。本計画研究班はそのなかで特に、論理的観点を中心に人間の意思決定・行動判断を解明することを目指しています。

例えば、モデルベースの典型と言える合理的思考や計算に基づいた意思決定・行動判断に対して、さまざまな現実の意思決定・行動判断の場面で多くの人間は非合理的意思決定・行動判断をすることが知られています。

### 双生児法



一卵性(MZ) 双生児は遺伝子が100%等しいふたり



二卵性(DZ) 双生児は遺伝子多型がおおよそ50%等しい(50%異なる)ふたり

行為論哲学や行動経済学・行動心理学などの分野で取り上げられてきた非合理的意思決定などの問題について、本研究班では動的論理学や行動遺伝学の手法を導入して新たな視点を与えます。例えば、モデルベースとモデルフリーの意思決定の相違が、遺伝要因や環境要因にどのように依存するかが明らかになると期待されます。

また、ゲーム理論の示す合理性概念を認識論理をはじめとする論理的手法で捉え直し、合理的判断が限定される場合のモデルを取り出します。

上で触れたように人間は限定された時間や状況の中で、計算コストの大きなモデルベース意思決定をできるわけではなく、さまざまな仕方で脳内計算コストのかからない意思決定を行っていると考えられます。その代表例として、グラフィックな空間的情報による判断について、認知情報科学的方法によりこのことを示します。

### 参考文献

- ・ Koji Mineshima, Mitsuhiro Okada and Ryo Takemura, Dyagramatic reasoning and natural language, *Studia Logica*, 2012 年近刊
- ・ Chizuru Shikishima, Mitsuhiro Okada, Tatsushi, Juko Ando et al. Is g an entity? A Japanese twin study using syllogisms and intelligence tests. *Intelligence*, Vol. 37, No. 3, pp. 256-267, 2009

### 研究代表者

岡田 光弘  
慶應義塾大学文学部・教授



研究代表

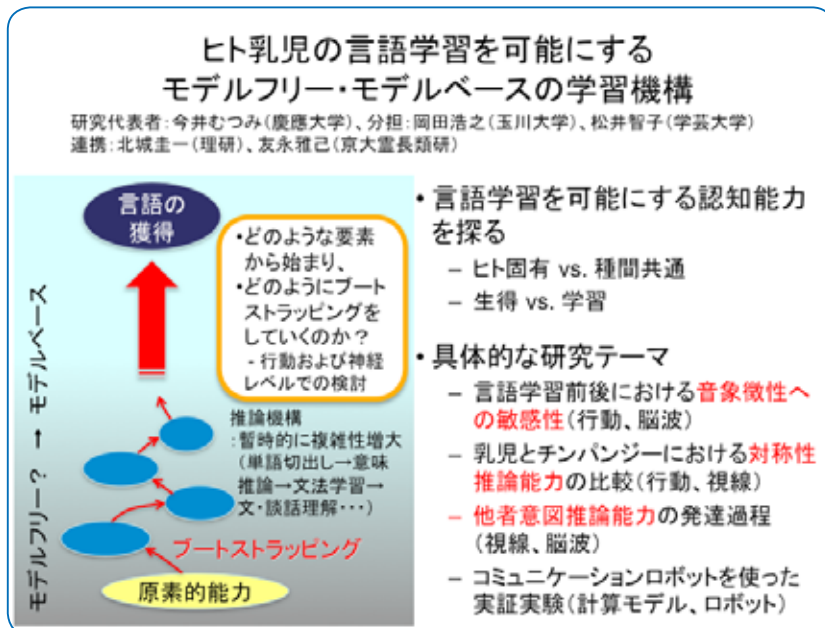
### 研究分担者

金子 守 (筑波大学システム情報工学研究科・教授)  
山田 友幸 (北海道大学大学院文学研究科・教授)  
下嶋 篤 (同志社大学文化情報学部文化情報学科・教授)  
敷島 千鶴 (慶應義塾大学先端研究センター・特任講師)  
協力者  
安藤 寿康 (慶應義塾大学文学部・教授)



## ● ヒト乳児の言語学習を可能にするモデルフリー・モデルベースの学習機構

人は言語によって世界を記号化し、言語を介して思考し、学習します。しかし、乳児が知覚する世界をどのように分節し、記号に対応づけ、記号を学習していくのかは未だに大きな謎のまま残されています。本プロジェクトでは、人の赤ちゃんが世界をどのようにして**記号に接地**しているのか、**言語の学習はどのような神経基盤**で行われるのか、まわりの大人はどのようにそれを補助するのか、**言語と子どもの思考、推論、学習はどう相互作用**するのか等の問題に取り組み、ヒト乳幼児とチンパンジー、サルなどの動物、ヒト成人を比較した認知心理実験や脳機能イメージング、EEG実験、ロボットによる構成的手法などによってこれらの問題を明らかにしていくことをねらいとします。



### 参考文献

- Göksun, T., Hirsh-Pasek, K., Golinkoff, R. M., Imai, M., Konishi, H., & Okada, H. (2011). Who is crossing where?: Infants' discrimination of figures and grounds in events. *Cognition*, 121(2):176-195.
- Saalbach, H. & Imai, M. (2011). The Relation between Linguistic Categories and Cognition: The Case of Numeral Classifiers. *Language and Cognitive Processes*. DOI:10.1080/01690965.2010.546585

- Kantartzis, K., Imai, M. & Kita, S. (2011). Japanese sound symbolism facilitates word learning in English speaking children. *Cognitive Science*, 35, 575-586.
- Haryu, E., Imai, M., & Okada, H. (2011). Object Similarity Bootstraps Young Children to Action-Based Verb Extensions. *Child Development*, 82-2, 674-686.

### 研究代表者

今井 むつみ

慶應義塾大学環境情報学部・教授  
252-0816 神奈川県藤沢市遠藤 5322  
Tel: 0466-47-5111（内線 53233）  
Fax: 0446-49-3503  
Email: imai@sfc.keio.ac.jp

### 研究分担者

岡田 浩之（玉川大学工学部・教授）  
松井 智子（東京学芸大学国際教育センター・教授）

### 連携研究者

安西 祐一郎（（独）日本学術振興会・理事長）  
友永 雅己（京都大学霊長類研究所・准教授）  
北城 圭一（（独）理化学研究所脳科学総合研究センター・ユニットリーダー／副チームリーダー）





## ○ 予測と意思決定のための機械学習理論の構築とその神経回路での実現

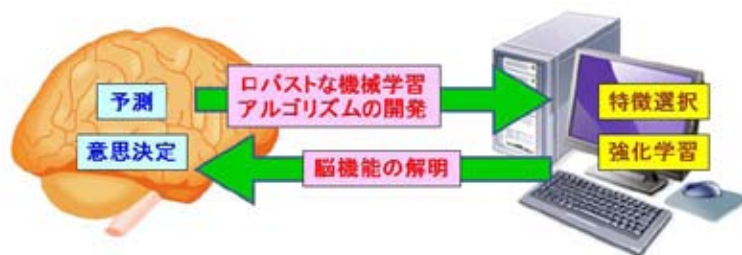
インターネットやセンサーネットワークなどから得られる膨大な量のデータから、有用な知識を自動的に発見するための「機械学習」と呼ばれる技術が近年注目を集めています。しかし、最先端の機械学習技術をもってしても、強い非線形性・非定常性を持つ複雑なデータからロバストに学習を行なうことは未だ困難です。一方ヒト



多自由度システム

の脳内では、神経回路のように非定常かつノイズの影響が深刻な系においても、ロバストな制御（意志決定）システムが構築されています。そこで本研究では、情報科学的な機械学習研究を神経科学の知見と融合させることにより、予測と意思決定のための新しい機械学習理論を構築します。そして、世界最高性能を達成する実用的な次世代機械学習アルゴリズムを開発すると共に、ロボットなどの多自由度システムの制御に応用します。更に、工学的な機械学習アルゴリズムを神経回路で

実現するためにはどのような制御機構が必要となるかを理論的に明らし、神経科学分野に新たなブレイクスルーをもたらす事も目指します。



### 研究項目

- ・ 予測のための特徴選択
- ・ ロバストな行動学習
- ・ 多自由度システムの制御

### 参考文献

- ・ Takeuchi, I. & Sugiyama, M.  
Target neighbor consistent feature weighting for nearest neighbor classification.  
Advances in Neural Information Processing Systems 24, pp.576-584, 2011.
- ・ Morimoto, J. & Atkeson, C. G.  
Nonparametric representation of an approximated Poincare map for learning biped locomotion,  
Autonomous Robots, 27(2), 131-144, 2009.
- ・ Ude, A., Gams, A., Asfour, T., & Morimoto, J.  
Task-specific generalization of discrete and periodic dynamic movement primitives.  
IEEE Transactions on Robotics, 26(5), 800-815, 2010.
- ・ Tomioka, R., Suzuki, T., & Sugiyama, M.  
Super-linear convergence of dual augmented Lagrangian algorithm for sparsity regularized estimation.  
Journal of Machine Learning Research, vol.12, pp.1537-1586, 2011.
- ・ Nakajima, S., Sugiyama, M., & Babacan, D.  
Global solution of fully-observed variational Bayesian matrix factorization is column-wise independent.  
Advances in Neural Information Processing Systems 24, pp.208-216, 2011.
- ・ Morimura, T., Sugiyama, M., Kashima, H., Hachiya, H., & Tanaka, T.  
Nonparametric return distribution approximation for reinforcement learning.  
27th International Conference on Machine Learning, pp.799-806, 2010.

### 研究代表者

杉山 将

東京工業大学情報理工学（系）研究科  
・ 准教授

Email: isugi@cs.titech.ac.jp



### 研究分担者

森本 淳（ATR 脳情報通信総合研究所ブレイン  
ロボットインターフェース研究室・室長）



### 連携研究者

竹内 一郎（名古屋工業大学情報工学科・准教授）  
山下 宙人（ATR 脳情報解析研究所・主任研究員）  
富岡 亮太（東京大学数理情報学・助教）

### 研究協力者

中島 伸一（ニコン コアテクノロジーセンター 研究開発本部光  
技術研究所・主任研究員）  
木村 昭悟（NTT 科学基礎研究所協創情報研究部知能創発環境  
研究グループ・主任研究員）  
森村 哲郎（IBM 東京基礎研究所・研究員）

## ●実店舗におけるヒトの購買意思決定過程のモデル化と操作

自然な人の購買意思決定過程を明らかにするため、ロボット工学とユビキタスIT技術を活用し、人工的に統制された実験室内ではなく、実店舗において人の購買意思決定過程に関する多様なデータを収集します。そして、それらのデータに基づいて人の購買意思決定モデルの構築を行うとともに、実店舗においてそのモデルの検証を行います。



### 研究項目

近年では、生物学的基盤や環境条件、社会状況に応じた行動予測が可能な科学として確立するため、実験経済学、さらには神経経済学といった新たな学問分野が發展しています。これらの学問分野では、意思決定の要因を可能な限り減らした実験環境下で実験を行いますが、研究から得られた知見が実環境（例えば実店舗）に適用可能であるかの検証は困難でした。

本研究では、企業と連携することにより、実店舗（またはその一部）で実験を実施します。被験者だけでなく一般消費者の購買過程（位置、視線、商品選択）を記録し、さらにロボット（写真）やデジタルサイネージを用いて、人の購買過程に実時間で介入可能な実験システムを構築し、実験に活用します。

得られたデータから購買意思決定過程のモデリングを行います。経済学における既存の意思決定モデルや、脳の計算モデルである強化学習モデルを参考にします。モデルパラメータの推定や、モデルの予測能力の評価をより正確に行うためには、リッチな環境変動が必要です。本研究においては、実店舗を用いるため、商品の選定や陳列が店側の戦略に従って変動するだけでなく、実験に無関係な客の位置が、実験参加者の行動に制約を与えます。さらに、ロボット、デジタルサイネージ、音声放送などによって能動的に環境変動を生み出すことができます。

高い予測性能を持つモデルが得られれば、それを用いて消費者の購買行動の支援や、店側の意図に従った購買行動の操作が可能になると考えられるため、ロボット工学やユ

ビキタスIT技術を活用した新しいマーケティング方法の提案につながることも期待されます。

### 参考文献

- ・柴田智広（2005）．脳科学とロボティクス、ロボットフロンティア、岩波書店、2005, Vol. 6, pp. 37-71.
- ・Koji Kamei, Tetsushi Ikeda, Masayuki Shiomi, Hiroyuki Kidokoro, Akira Utsumi, Kazuhiko Shinozawa, Takahiro Miyashita, Norihiro Hagita, "Cooperative Customer Navigation between Robots outside and inside a Retail Shop, An Implementation on the Ubiquitous Market Platform," Special Issue on Ubiquitous Networked Robots, Journal Annals of Telecommunications, Springer, 2012. (to appear)



### 研究代表者

柴田 智広

奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科・准教授

631-0192 奈良県生駒市高山町 8916-5

TEL: 0743-72-5984; Fax: 0743-72-5989

<http://hawaii.naist.jp/~tom/index-j.html>

Email: tom@is.naist.jp

### 連携研究者

宮下 敬宏（ATR 知能ロボティクス研究所ネットワークロボット研究室・室長）

### その他協力者

船谷 浩之（奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科・研究員）

梶本 功弥（奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科・大学院生）

上田 公介（奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科・大学院生）



## A02 行動と意思決定の計算理論

### モデルベース的意思決定を可能にする神経回路

意思決定とは、ある目的を達成するために、複数の選択肢の中から最適と思われるものを選ぶ行為を指します。私たちは、これを無意識のうちに自動的に行うこともあれば、事前に選択の結果を熟慮して予想することもあります。意思決定には、事象と報酬の経験的関係を客観的・確率的に結び付けて判断を導くモデルフリーシステムと、直接経験をルールや論理によって組み合わせ（内部モデル）、直接経験していない選択肢の価値の予測を可能にするモデルベースシステムとがあります。特に、ヒトを特徴づける複雑な思考能力は、モデルベースシステムが持つ内部モデルを使ったシミュレーション能力にあると考えられます。この機能の理解は、ヒトの意思決定や思考の特徴の理解につながり、ひいては人間の科学的理解にもつながります。我々はこれまで、前頭前野ネットワークがモデルベースの機能を、大脳基底核・中脳ドーパミンネットワークがモデルフリーの機能を担っていることを明らかにしてきました。本研究では、推移的推論課題と自由選択課題を訓練したサルの前頭前野ネットワーク（外側部、内側部、眼窩部）に複数の電極を刺入し、単一ニューロン活動と局所場電位を記録、相互作用の解析を行うことにより、前頭前野においてどのように内部モデルがコードされ、それがどのように脳内シミュレーションに使われるのかを明らかにします。さらに、同様の解析を前頭前野ネットワークとモデルフリーシステムを担うと考えられている大脳基底核ネットワークの間で行うことにより、2つのシステムの間の相互作用を調べます。

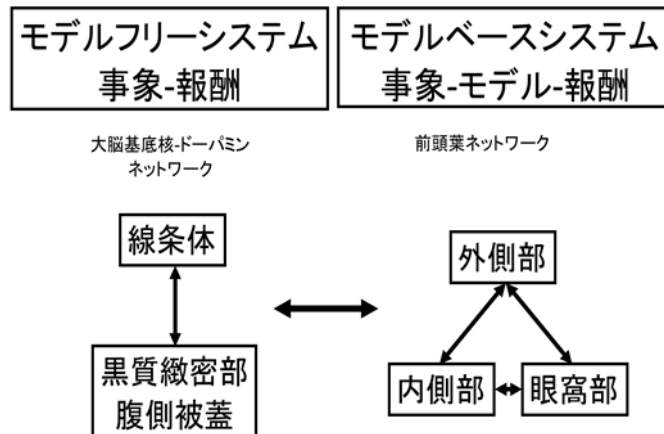
#### 研究項目

1. 推移的推論課題を使った、単一ニューロン活動の記録実験  
二ホンザルに推移的推論（三段論法）課題を学習させ、課題遂行中のサルの前頭前野と大脳基底核線条体から単一ニューロン活動を記録し、サルが行動的に推論を行っているときの脳の情報処理機能について調べます。我々の仮説では、前頭前野ニューロンは推移的推論により報酬の予測を行っていると考えられますが（モデルベース）、線条体のニューロンは過去に直接経験した情報を再現することしかできない（モデルフリー）と考えています。特に、前頭前野は、なぜモデルベース的な処理ができるのか、そこで使われるモデルとは何か、について計算理論的な手法も使って解明していきます。
2. 局所場電位（LFP）の記録によるネットワーク解析  
推移的推論課題に加え、自由選択課題遂行中の二ホンザルの前頭前野（外側部、内側部、眼窩部）と大脳基底核線条体（尾状核、被核）・中脳ドーパミン領域に複数の電極を刺入し、これらの場所から複数の単一ニューロン活動とともに局所場電位（LFP）を記録・解析します。これにより、以下の2つの点について検討します。

1) ループ構造をなしていると考えられる前頭前野と線条体の間で、どのようなシグナルの流れがあるのか解析することにより、モデルベースシステムがモデルフリーシステムの持つ情報をどのように利用しているのかを明らかにします。

2) 異なる入出力関係を持ちながらも、密接な相互連絡がある前頭前野内の異なる部位（外側部、内側部、眼窩部）間

の情報処理の特徴とその相互作用を解析することにより、脳内シミュレーションを可能にする内部モデルがどのようにコードされているのかを明らかにします。



#### 参考文献

- Pan, X. & Sakagami, M. Category representation and generalization in the prefrontal cortex. *European Journal of Neuroscience*. In press
- Yamamoto, M., Pan, X., Nomoto, K. & Sakagami, M. Multiple Neural Circuits in Value-based Decision-making. *Attention and Performance XXII*. (Delgado, M et al., eds.). Oxford Press, 355-369, 2011
- 坂上雅道, 山本愛実: 意思決定の脳メカニズムー顕在的判断と潜在的判断ー. *科学哲学* 42-2, 29-40.2009.
- 中山剛, 坂上雅道: 「脳科学と哲学の出会いー脳・生命・心」, 玉川大学出版部, (2008)

#### 研究代表者

坂上 雅道

玉川大学脳科学研究所脳科学研究センター・教授  
194-8610 東京都町田市玉川学園 6-1-1  
TEL: 042-739-8679(office) 042-739-8609(lab)  
FAX: 042-739-8663(office) 042-739-8609(lab)  
Email: sakagami@lab.tamagawa.ac.jp

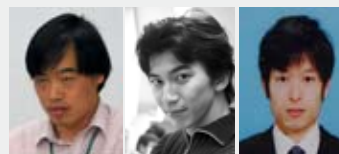


#### 連携研究者

Xiaochuan Pan (Institute of Cognitive Neurodynamics, East China University of Science and Technology・教授)

田中 慎吾 (玉川大学脳科学研究所脳科学研究センター・嘱託研究員)

横山 修 (玉川大学脳科学研究所脳科学研究センター・嘱託研究員)



## ① 予測と意思決定の神経回路ダイナミクスの解明

「脳内シミュレーション」による意思決定がどのような神経細胞のネットワークの働きによって実現されているのかを明らかにするため、行動中のマウスの多数の神経細胞の活動を最新の光学計測技術により同時記録し、外界の状態の認識と予測に応じた情報の表現とそのダイナミックな計算機構の解明をめざします。

### 研究項目

私たちは例えば真っ暗な部屋の中でも、どこからどっちに何歩進んだという情報から自分が今いる場所を予測し、壁や机に触れることでその予測を修正しながら目標地点にたどり着くことができます。このように、与えられた状態と行動から

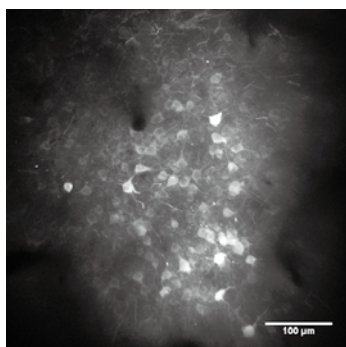


新たな状態を予測する「脳内シミュレーション」の能力は、ある行動を取った時に起こる状況を予測し、その良し悪しの評価によってもっとも良い行動や行動の系列を選択するという、人間の高度な思考や計画能力の基礎に

なっていると考えられます。私たちの研究チームの目標は、この「脳内シミュレーション」というような巧みな機能が、実際に脳の神経細胞の回路のどのような働きで実現されているのかを具体的に明らかにすることです。

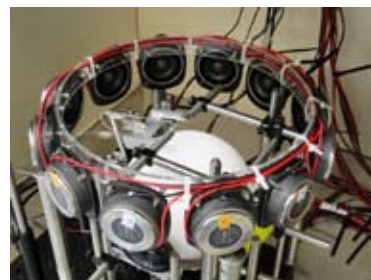
そのため「暗闇の中で目的地に向かう」ということが得意なはずの夜行性のマウスを使って、間欠的に聞こえる音源を目指して歩いている時に、その脳内で何が起きているのかを最新の光学計測技術を使って明らかにしようとしています。これまでの人間のMRIなどを使った研究で、脳内シミュレーションには頭頂葉、運動前野、前頭前野などの脳部位が関わることを示されているので、マウスの脳のそれらに対応する部位に、神経細胞の活動に応じて蛍光を発するタンパクを発現させるウイルスを導入し、二光子顕微鏡という最新の光学計測技術を使うことで、数十から百個以上の神経細胞の活動を同時に記録します。ただし、歩くマウスに合わせて顕微鏡を動かすのは大変なので、マウスを空気で浮かせたボールの上に乗せ、頭は固定したまま歩いてもらい、それに合わせて音源の位置を複数のスピーカーを使って変化させる、という仮想現実感のシステムを開発しています。

この実験によって、脳内シミュレーションという摩訶不思議な能力が、神経細胞のネットワークの働きとして具体的に



ニューロン上から

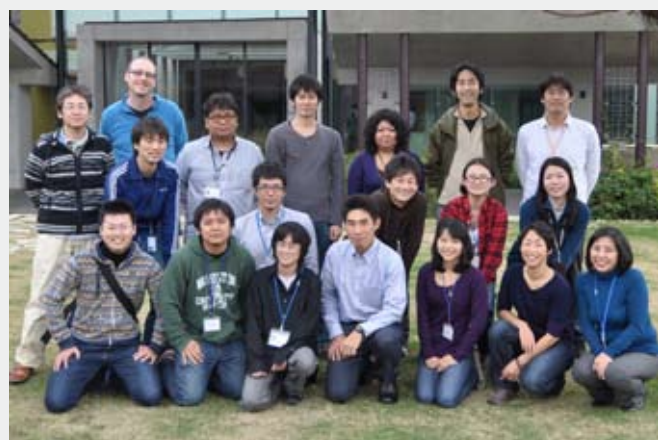
にどのように実現されているかを明らかにすることをめざしています。まずは実際の音源の位置の表現から始め、位置の変化を行動から予測するしくみ、予測を知覚により修正するしくみ、さらに未来の位置を想定した行動から予測するしくみを明らかにしていきます。これにより得られる新たな知見によって、人間の思考や計画的な行動の根源に迫るとともに、うつ病や統合失調症など、脳内シミュレーションのゆがみが要因となる精神疾患の理解と処方に貢献することをめざしています。



実験装置

### 参考文献

- Ito M, Doya K (2011). Multiple representations and algorithms for reinforcement learning in the cortico-basal ganglia circuit. *Current Opinion in Neurobiology*, 21, 368-373.
- 伊藤真, 銅谷賢治 (2008). 意思決定と行動学習の数理モデル. *Brain and Nerve*, 60, 791-798.



### 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

904-0495 沖縄県恩納村谷茶 1919-1

TEL: 098-966-8594

FAX 098-966-2891

<http://www.nc.irp.oist.jp/>

Email: [doya@oist.jp](mailto:doya@oist.jp)

### 連携研究者

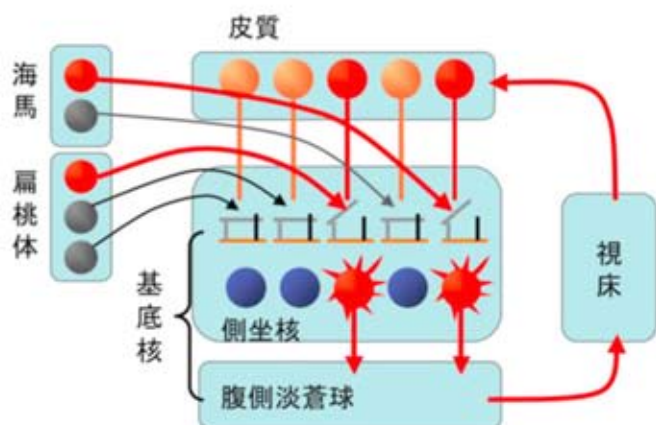
Bernd Kuhn (沖縄科学技術大学院大学光学ニューロイメージングユニット・准教授)



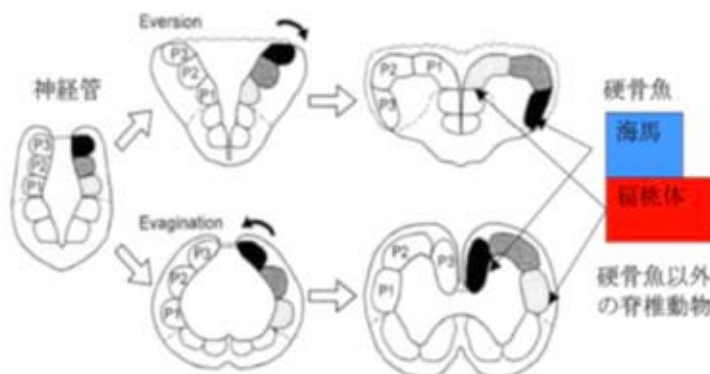
Kuhn ラボメンバー



## 意思決定神経回路の可視化と操作



**図 1：側坐核における行動プログラム選択に関する仮説**  
側坐核は、腹側線条体に属し、皮質、腹側淡蒼球、視床との間で、皮質・基底核・視床ループを構成する。側坐核の神経細胞は、海馬や扁桃体からの入力によって、特定の皮質基底核視床ループだけを活性化するためのゲーティング・スイッチとして働いている可能性がある



**図 2：硬骨魚類とその他の脊椎動物での、終脳のでき方の違い。**

脳に与えられた最も重要な機能は、動物が与えられた状況ごとに、生存状況を最善にするための行動制御プログラムを作成し、その場その場で最適の行動プログラムを選択することである。哺乳類の脳では、扁桃体、大脳基底核、中脳や後脳のモノアミン細胞などの、行動制御プログラムの成立への関与は示されているが、これらの領域がプログラムの成立や選択においてどのように相互作用するのかは、いまだ不明な点が多い。最近の研究から、硬骨魚類の終脳も、哺乳類の終脳の基本構造に相当する構造をもっていることが示された。本研究では、神経回路が簡略化されているゼブラフィッシュを実験材料として、遺伝子操作技術を駆使して、神経活動の可視化や人為的操作を行うことで、基底核を中心として、行動プログラムの形成と読み出しに関わる神経回路の、動作様式を細胞レベルで可視化し、その動作特性を明らかにすることをねらいとします。

### 参考文献

- Okamoto H, Agetsuma M, Aizawa H. (2011) Genetic dissection of the zebrafish habenula, a possible switching board for selection of behavioral strategy to cope with fear and anxiety. Dev Neurobiol. doi: 10.1002/dneu.20913. [Epub ahead of print]
- Agetsuma M, Aizawa H, Aoki T, Nakayama R, Takahoko M, Goto M, Sassa T, Amo R, Shiraki T, Kawakami K, Hosoya T, Higashijima S, Okamoto H. (2010) The habenula is crucial for experience-dependent modification of fear responses in zebrafish. Nat Neurosci. 13:1354-1356.
- Amo, R., Aizawa, H., Takahoko, M., Kobayashi, M., Takahoko, R., Aoki, T., and Okamoto, H. (2010) Identification of the zebrafish ventral habenula as a homologue of the mammalian lateral habenula. J. Neuroscience. 30:1566-1574.
- Aizawa, H., Bianco, I.H., Hamaoka, T., Miyashita, T., Uemura, O., Concha, M.L., Russell, C., Wilson, S.W., and Okamoto, H., (2005) Laterotopic Representation of Left-Right Information onto the Dorso-Ventral Axis of a Zebrafish Midbrain Target Nucleus, Current Biology, 15: 238-243



### 研究代表者

岡本 仁

理化学研究所脳科学総合研究センター・副センター長

埼玉県和光市 2-1

TEL: 048-467-9712

FAX: 048-467-9714

Email: hitoshi@brain.riken.jp

## ● A03 意思決定を制御する分子・遺伝子

### ㊦ 精神・神経疾患における熟慮的および直感的意決定障害の脳内基盤の解明

高度な意思決定には、結果を先読みする熟慮的な意思決定に加えて、直感的な意思決定も重要で、特に後者には情動が深く関与していることが分かってきています。これまではfMRIを中心にした脳イメージングで意思決定に関するマクロな脳活動を検討するにとどまっていたましたが、本研究では脳内分子（ドーパミン・セロトニン等）が熟慮的および直感的な意思決定の脳内機構をどのように制御しているかを明らかにすることを一つの目的にします。一方、意思決定の障害は精神・神経疾患の患者で、広く認められ、社会生活を困難にする一因と考えられています。その複雑な意思決定障害や精神症状を検討する際も、行動の帰結を予測し、熟慮的意決定に関わるシステムと情動・動機づけなど直感的な意思決定システムの両者の破たんに分けて考えると理解しやすいと考えています。各々の過程を行動レベルで客観的に評価するとともに、それを説明する脳内基盤を明らかにすることにより、精神・神経疾患の意決定障害の客観的評価、病態理解を目指します。

#### 参考文献

・Takahashi H, Takano H,, Camerer C, Ideno T, Okubo S, Matsui H, Tamari Y, Takemura K, Arakawa R, Yamada M, Eguchi Y, Murai T, Okubo Y, Kato M, Ito H, Suhara T. Honesty mediates the relationship between serotonin and reaction to unfairness. Proc Natl Acad Sci U S A Epub ahead

of print

・Takahashi H, Fujie S, Camerer C, Arakawa R, Takano H, Kodaka F, Matsui H, Ideno T, Okubo S, Takemura K, Yamada M, Eguchi Y, Murai T, Okubo Y, Kato M, Ito H, Suhara T. Norepinephrine in the brain is associated with aversion to financial loss. Mol Psychiatry Epub ahead of print

#### 研究代表者

高橋 英彦

京都大学大学院医学研究科脳病態生  
理学講座精神医学教室・准教授  
606-8507 京都市左京区聖護院川原町  
54

TEL: 075-751-3386

FAX: 075-751-3246

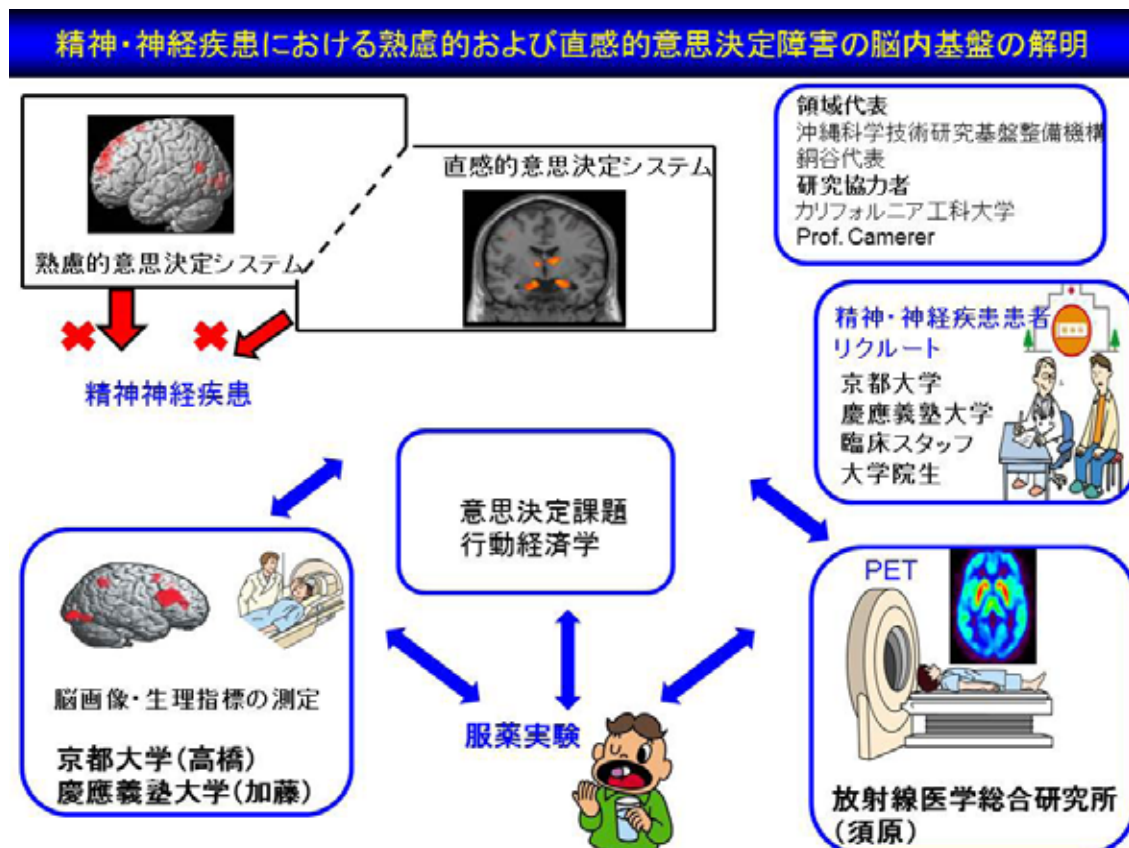
Email: hidehiko@kuhp.kyoto-u.ac.jp



#### 連携研究者

須原 哲也（分子イメージング研究センター分子神経イメージング研究プログラム・プログラムリーダー）

加藤 元一郎（慶應義塾大学医学部精神神経科・准教授）





## 予測と意思決定の脳基底核と扁桃体の神経回路基盤

行動や判断のための意思決定をする際には、過去の経験、喜び・不安・恐怖などの情動、さらに自分の他に他人がいるかなどに基づいて、報酬・嫌悪の価値を予測することが大切です。そしてこの過程には大脳皮質と大脳基底核、ドーパミン系が中心的な役割を果たします。過去におこなった意思決定と行動によって報酬が得られた場合に価値を高め、得られなかった時には価値を下げながら、価値の高い選択肢を選ぶことで目的を達成するという強化学習の大脳基底核モデルを支持する証拠が、私たちの研究 (Sato et al., 2003; Samejima et al., 2005; Minamimoto et al., 2005; Yamada et al., 2007; Hori et al., 2009; Muranishi et al., 2011) を含めて多く得られています。一方、ドーパミン細胞の中には報酬だけでなく懲罰の予測に関係するものもあることが最近判明し、強化学習の大脳基底核モデルの見直しが必要となりました。私たちは、強化学習型の意思決定、顕著な刺激や情動によって導かれる意思決定、自己と他者のいる状況での社会的意思決定について、大脳基底核線条体、ドーパミン系、視床、そして扁桃体でおこなわれる神経信号とその処理のしくみを明らかにするための研究を行います。



### 研究項目

1. 上に挙げた目的を達成するために、実験動物（サル）を対象とした神経細胞やその集団の担う神経信号とその処理を調べる研究、ヒトを対象とする脳機能のイメージングによって意思決定にどの脳部位が関与するかを調べる研究、そして計算理論研究の3者を緊密に連携させることによって、予測と意思決定の神経回路基盤を明らかにします。
2. 単数（1頭）または複数（2頭、3頭）のサルが同時に参加する状況で、報酬の予測・判断と意思決定の行動課題を行わせます。その際、自分の意思決定・行動選択の結果自分が得た報酬が他者にも与えられる場合、他者の得た報酬が自分に及ぶ場合を設定します。
3. サルが様々な意思決定をおこなう際に、実施者 (actor) と観察者 (observer) としての行動反応時間、眼球運動、予期的な報酬探索、心拍等を計測して動物の動機づけ、喜怒哀楽反応を定量的に測定し、自己と他者の意思決定とその評価、報酬をどのように受け止めているかを明確にします。
4. 中脳ドーパミン細胞の投射を受ける線条体系、同じくドーパミン細胞の投射を受ける扁桃体系、そして視床が報酬価値に基づく強化学習型の意思決定、顕著な刺激や情動によって導かれる意思決定、自己と他者のいる状況での社会的意思決定の神経回路基盤において、どのような固有の役割を演じるのかを明らかにします。

### 参考文献

- Enomoto K. et al. Proc Natl Acad Sci U S A 108(37):15462-15467, 2011
- Yamada H. et al., Eur. J. Neurosci. 34(3): 489-506, 2011
- Muranishi M. et al., Exp Brain Res. 209(2):235-246, 2011
- Smith Y. et al., J Neurosci. 31(45):16102-16106, 2011

#### 研究代表者

木村 實

玉川大学脳科学研究所 所長・教授

194-8610 東京都町田市玉川学園 6-1-1

TEL: 042-739-8667

Email: mkimura@lab.tamagawa.ac.jp

#### 研究分担者

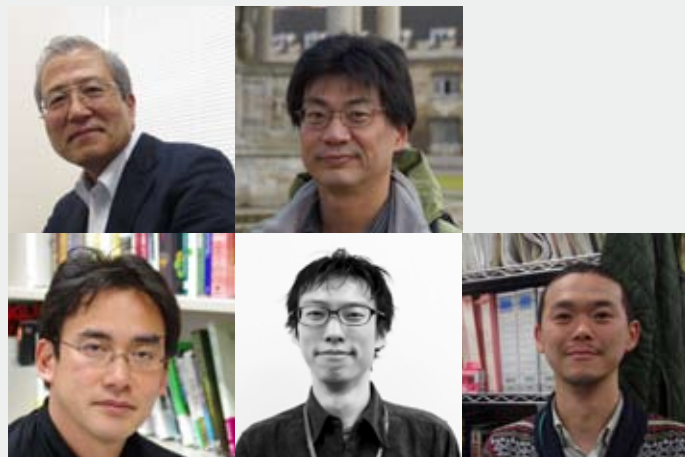
春野 雅彦 (NICT, 玉川大学脳科学研究所・特別研究員)

#### 連携研究者

鮫島 和行 (玉川大学脳科学研究所・准教授)

榎本 一紀 (玉川大学脳科学研究所・研究員)

山中 航 (玉川大学脳科学研究所・研究員)



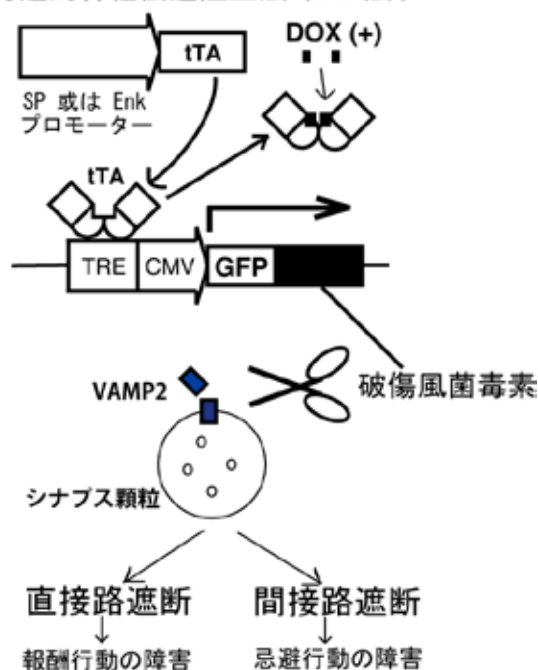
## ● 報酬・忌避の意志決定の機構解析

私たちが危険を避けながら（忌避）好ましいものを求める（報酬）行動は生きていく上での重要な意思決定行動です。報酬・忌避の意思決定に重要な脳神経回路のスイッチ機構と情報処理の分子機構を明らかにすることが本研究のねらいです。

### 研究項目

大脳基底核は報酬と忌避行動を支配し、脳内情報によって意思決定を行う重要な脳部位です。私たちは伝達物質の分泌を阻止する破傷風毒素を特定の神経経路に発現し、特定の神経伝達を選択的かつ可逆的に阻止出来る「可逆的神経伝達阻止法（RNB法）」を開発しました（図参照）。このRNB法を用いて、大脳基底核の2つの伝達経路、即ち直接路と間接路の伝達を特異的に遮断し、直接路が報酬行動、間接路が忌避行動を支配することを明らかにしました（参考文献1）。本計画ではRNB法と種々の操作（例えばドーパミンやセロトニンなどの神経伝達物質の受容体刺激薬あるいは拮抗薬の投与）を組み合わせることで、意思決定に関与する報酬と忌避行動のスイッチ機構を解明します。さらに情動、自発性、意欲、衝動性、習慣性がいかなる神経回路機構と分子機構によって意思決定を支配しているのかを解析します。本研究は種々の脳内情報が基底核の2つの伝達経路を介していかに処理・統合されるのか、さらにこの分子機構を解析することによって意思決定の脳内情報のメカニズムを明らかにします。

### 可逆的神経伝達阻止法（RNB法）



### 参考文献

- Hikida T, Kimura K, Wada N, Funabiki K, Nakanishi S. Distinct roles of synaptic transmission in direct and indirect striatal pathways to reward and aversive behavior. *Neuron*, 66 (6): 896-907, 2010.
- 疋田貴俊、神谷篤、「精神疾患モデル動物の可能性 - 遺伝子から神経回路へ -」 *実験医学*, 28 (14): 2205-2210, 2010.



### 研究代表者

疋田 貴俊

京都大学大学院医学研究科メディカルイノベーションセンター・特定准教授、大阪バイオサイエンス研究所システムズ生物学部門・客員研究員

Email: hikida@tk.med.kyoto-u.ac.jp

### 研究分担者

中西 重忠（大阪バイオサイエンス研究所・所長）

矢和多 智（大阪バイオサイエンス研究所システムズ生物学部門・研究員）

## 平成 23 年度の主なイベント

- 第 1 回領域会議（2011.10.1-2 沖縄科学技術大学院大学）
- 日本神経回路学会第 21 回全国大会 後援（2011.12.15-17 沖縄科学技術大学院大学）  
Dr. Peter Dayan 招待講演 <http://www.jnns.org/conference/2011>
- 脳と心のメカニズム第 12 回冬のワークショップ（2012.1.16-18 ルスツリゾート）  
Dr. Rajesh Rao 招待講演 <http://brainmind.umin.jp/wt12.html>
- ABLE2012 後援（2012.1.28 玉川大学） <http://cogpsy.sfc.keio.ac.jp/able>
- 第 2 回領域会議（2012.3.8-9 東京工業大学）
- 社会的能力発達シンポジウム 協賛（2012.3.18 東京学芸大学）  
[http://crie.u-gakugei.ac.jp/event/event\\_11.html#sym2](http://crie.u-gakugei.ac.jp/event/event_11.html#sym2)
- 玉川大学脳科学研究所 高校生体験理科教室 主催（2012.3.27 玉川大学）  
[http://www.tamagawa.ac.jp/brain/news/science\\_school\\_2012.html](http://www.tamagawa.ac.jp/brain/news/science_school_2012.html)

## 平成 24 年度のイベント予定

- 第 3 回領域会議（2012.6.16-18 玉川大学）
- 脳と心のメカニズム第 13 回夏のワークショップ（2012.7.26 仙台国際センター）
- 新学術領域合同シンポジウム：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（2012.7.27 仙台国際センター） Dr. Nathaniel Daw 招待講演
- 21st Machine Learning Summer School（2012.8.27-9.7 京都大学） <http://www.iip.ist.i.kyoto-u.ac.jp/mlss12>
- 日本心理学会第 76 回大会シンポジウム（2012.9.13 専修大学） <http://www.jpap2012.net>
- 認知科学会サマースクール 後援（2012.9.4-6 箱根湯本）
- 第 4 回領域会議（2012. 秋 京都）