

目 次

巻頭言 木村 實（玉川大学 脳科学研究所）.....	3
特集 1 リレー対談.....	4
第2回 ヒトの発達・熟達の過程にモデルフリーの思考はあるか？ 柴田 智広 × 今井 むつみ	
特集 2 公募研究メンバーのご紹介.....	8
イベント情報.....	20



木村 實

玉川大学 脳科学研究所 脳科学研究センター 教授

銅谷賢治先生を代表として、平成 23 年度に新学術領域研究『予測と意思決定』が発足したことは、大変意義深いと思います。それは、この領域が現在の脳科学で最も多くの研究者が興味を持つ分野のひとつであり、研究発表が大変多く、今後大きな発見が期待され、更に高い研究能力を備えた日本の研究者が多い分野だからです。

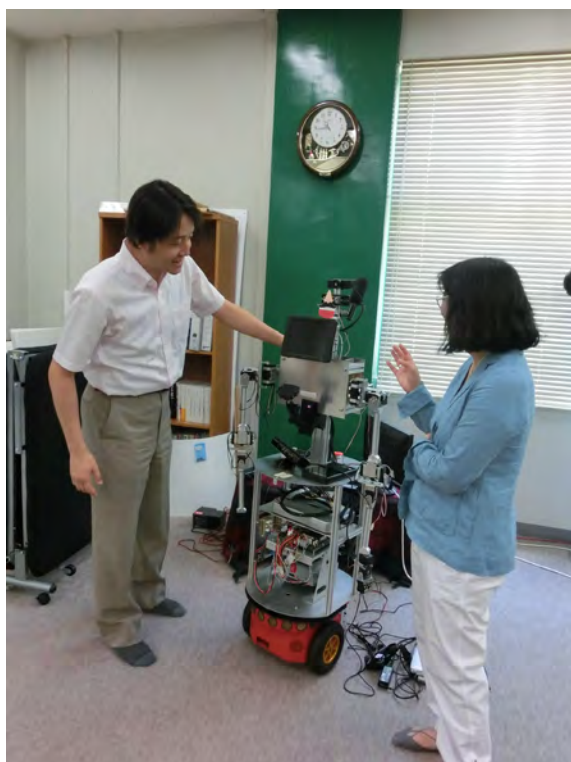
意思決定は人間の最も大切な心のはたらきとして、思考、情動、言語、行動、意識などに関わり、大脳皮質、基底核、小脳、大脳辺縁系、脳幹にわたる広範囲の脳がはたらくと考えられます。領域では、神経回路の作用メカニズム、神経回路に作用する分子・遺伝子、そして機械学習を含む計算論的神経科学、論理学という異なる分野の研究者が、あくまでも自由な発想に基づく研究を進める中で、領域内の連携によって研究を格段に発展させることができると期待されます。

幾つかの明確な作業仮説を掲げてこれを検証するという領域の方針があります。第一は、モデルフリーとモデルベースの意思決定です。予備知識が乏しい新しい環境では取り敢えず試してみた結果で次を考える試行錯誤（モデルフリー）が基本であり、経験によって知識がある場合にはこれを活用して脳内でシミュレーションをする（モデルベース）ことで、より賢い判断をすることができる。第二は、報酬による行動強化、罰による抑制がドーパミン依存的に基底核の直接路と間接路によって実現、報酬予測の時間スケールのセロトニンによる制御です。これらは、異分野の研究者が連携によって取り組み、高い実績を挙げることができる重要な方針であると共に、例えば大脳辺縁系が関与する情動に基づく意思決定などのように、報酬や罰だけでは説明されない新しい理論モデルの提案に繋がる脳の仕組みが明らかにされることも期待されます。

脳の特異的な神経回路や作用分子を標識したり、光によって刺激・抑制したり（optogenetics）、伝達を遮断、脱落したり、機能を再獲得する、いわゆる神経回路の”操作”技術がマウス、ラットだけでなくサルの脳においても可能になって、脳研究の新しい時代の到来を告げていますが、今後さらに大きな展開が予想されます。この領域でも複数の班員の方がすでに成果を挙げていらっしゃいますが、領域として、班員同士の連携や新しい試みを積極的にご支援いただきたいと思います。

「予測と意思決定」リレー対談：第2回

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 准教授


柴田 智広


▼柴田 リレー対談第2回ということで、今回は前回対談を行われた今井先生と、ご指名をいただいた私とで対談をさせていただきます。どうぞよろしくお願いいたします。

■今井 前は銅谷さんとお話しさせていただいて、脳科学、とくにモデリングサイドで活躍しておられる銅谷さんの、リーダーとしてのお考えをお聞きしました。この銅谷さんの新学術領域研究には、ほかの脳関係の新学術領域研究と比べても非常に特徴的で、いろいろな領域の方がおられ、学際的で、意思決定というものを考えるときにバランスがとれていると思います。その中で前回対談させていただいた銅谷領域リーダーの、どちらかというとミクロなレベルでの神経回路の研究も重要ですし、柴田さんの、購買行動のような社会と直結する、マクロな（ということばが適切で

はないかもしれませんが）、目に見える形で人間の意思決定行動をモデリングするアプローチもとても重要だと思います。私は心理学の人間なので、ミクロな分子レベルの研究をされている方たちよりも、柴田さんのほうが研究の関心が近いのかなということもあり、柴田さんとお話しさせていただきたいと思いました。工学サイドの方とのディスカッションは私にとっていつも刺激的で、とても興味があります。

▼柴田 ありがとうございます。私もこの新学術領域のおかげで、今井先生とよくお話しさせていただけるようになって、同じ人間の行動を扱っていても、工学の人間と異なる意見や考え方を教えていただけるので、とても刺激的です。この領域の研究者は本当にダイヴァース（多様）ですよ。この前ちょうど領域会議がありましたが、今井先生はどう感じられましたか。

■今井 化学物質や遺伝子のレベルから、人の意思決定、さらに大規模データからどうパターンを抽出していくかという機械学習まで、こんなに幅広い分野がかわる意思決定の研究は世界でも例がないと思います。それは素晴らしいことで、まさに新学術領域という目的にも合っていると思います。ただし課題としては、ダイヴァースな分だけ、自分の領域から一見遠いと思われる研究を、それぞれの研究者が理解するのはなかなか難しいと思いました。領域が遠いということは方法論がちがうということです。自分とまったくちがう方法論の研究を理解するのは簡単ではないことなので。

▼柴田 方法論がちがうけれど、これはすごいと思った研究をしている人といっしょに新しい仕事ができるといいのですが、すごいと思うにはまずその方法論を理解しないといけなくて、それがなかなかむずかしい。領域運営体制の中にそういう仕掛けをいれていかないといいけませんよね。

■今井 その意味で先日の領域会議の前日に開催されたチュートリアルみたいなことを定期的にするのは大事だと思います。動物を使った遺伝子解析、分子レベ

ヒトの発達・熟達の過程にモデルフリーの思考はあるか？

慶應義塾大学環境情報学部 教授

今井むつみ



ルの解析がとても重要であることは、非常によく理解しているつもりですが、領域の最終的な目標として、ぜひ、人間の意思決定の仕組みを理解して、それを社会に応用したり、あるいは教育などに活かしていくことまで行きたいですね。そのために、非常に遠い道のりであっても、研究者一人一人が、自分のやっている研究が次にどういうジャーナルにどんな成果を出せるか、ということを超えて、ほかの領域とどうつながっていくのか、人間の意思決定のメカニズムを理解し、社会にどのように役にたつのかということを明確に意識していただくことで領域としてのシナジーが生まれると期待しています。

続：人間にモデルフリーの意思決定はあるのか？

▼柴田 話は変わりますが、前回のリレー対談で、熟達のプロセスにおけるモデルベース、モデルフリー意思決定の話題を非常に楽しく拝見させていただきました。ぜひ今回も、そのあたりのお話をもう少し続けていきたいのですが、いかかでしょう。

■今井 私の中で、ずっとこの領域の準備段階から思っていたのは、ヒトの意思決定にとって本当にモデルフリーという状況があり得るのかということです。今、たとえば車を運転していてどこに向かうかというとき、ほかのことを考えていて運転にはまったく注意を払わず、右に曲がったり左に曲がったりしていることはよくありますよね。そういう時にはああこれがモデルフリーなのかな、と思ったり（笑）。意識的な思考をしていないというか、とにかく頭はぜんぜん別のことを考えていて、体が運転しているという感じ。熟達者のことを考えると、ある意味で共通しているとも違うとも言える。熟達者はすごく直感が働きますよね。直感とは意識的な熟慮を経ない思考なので、その意味でモデルフリーといえなくもないと思いますが、しかし熟達者のレベルの、無意識に出てくる直感というのと、さっきの車を運転するときになにも考えてい

ないので道をまちがえてしまうというのは、やはり明らかに区別しなければならないという気がします。

▼柴田 私もゲストを乗せて運転したりすると、レストランに連れて行くはずだったのに帰宅ルートを走っているとか、よくあります（笑）。会話の認知負荷が高いと起こり易いように感じています。この時の運転って、単に記憶の呼び出しをしているだけという気がするんですよね。モデルフリー、モデルベースという方法以外に、メモリーベースという意思決定方法を考えると、先生の中で気持ち悪く感じておられたところが少しすっきりしてくるかもしれません。

■今井 それはそうかもしれないですね。メモリーベースという概念はとてもいいと思います。ただいずれにしても、熟達者の直感というのが、強化学習の枠組みでほんとうにモデルフリーといえるのか……。



どんなに初歩的なことでも、ある種のモデルがないと、世の中の情報のセグメント化すらできないのではないかという気がします。人間の発達の過程の特徴の一つというのは、皆さんが思われているのと逆で、カテゴリーをつくらず、非常に細かく知覚世界を分節しているところから、ある特徴に基づいてカテゴリーをつくっていくことです。そのとき、外界の情報の、カテゴリーをつくるために必要でないことを切り捨てていくこと、これが学習にとって非常に重要なのです。例えば音の認識で言うと、日本人の赤ちゃんは、LとRの区別が最初はできているけれども、一歳くらいになるともうできなくなる、という有



「予測と意思決定」リレー対談：第2回

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 准教授

 柴田 智広

名な話がありますが、それはカテゴリ化による知覚のしかたの変化を反映しているのです。絶対音感から相対音感に変わっていくのもその例です。顔の認識もそうですね。小さい赤ちゃん、四、五ヶ月の赤ちゃんは、たとえばサルの個体の顔を弁別できる。それが一歳くらいになるとできなくなって、人の顔の弁別はできるけれども、サルの顔はできなくなる。人間はそういうふうにどんどん自分でカテゴリを作っていくって、そのカテゴリの中での事例の差異には注意せず、お隣のカテゴリと区別するのに重要な特徴に注意を向けるようになります。そのカテゴリを作る過程では、内部モデルがないと作れないと思います。

▼柴田 いろいろな見方があったものを一般化する、汎化性能を上げる、という目的に合った低次元の空間を選んでくことを信号処理や学習理論の分野で特徴抽出とか情報圧縮と言ったりしますが、そういうことを発達段階でやっているのではないのでしょうか。熟達化のプロセスも同様なのではないかと思っています。前回の対談で、熟達には3段階あって、ざっくりいってしまうと最初モデルフリー、次にモデルベースになるけれども、最後またモデルフリーに戻ってくるかもね、という議論がありましたよね。そして、最初のモデルフリーと最後のモデルフリーはちがうかもしれない、それをどう理解するのか、という問題が指摘されたこと記憶しています。私の思うに、熟達者、例えばプロの将棋の棋士は、当てずっぽうで意思決定しているわけでもない。ただ記憶を引き出しているとも思いがたい。非常に広い将棋の局面を巧みに低次元空間で表現していて、その上で局面と価値との関係が学習されているという可能性が考えられます。そして、価値の高い局面を選ぶという意思決定を行う。

■今井 それはすごく納得できます。

▼柴田 実際、理研の研究では、プロ棋士が直観的に次の一手を決めるとき、将棋盤面の状況を脳皮質頭頂葉の楔前部で処理した後、脳基底核の尾状核へ情報を送って次の一手を導き出すことが示唆されていま

す。また、尾状核は脳皮質の前頭前野背外側部とも結合があることが従来から知られています。頭頂葉や前頭前野背外側部は、予測的な行動選択をしている時に活動することも知られています。熟達者が脳皮質で高度な特徴抽出をして、脳基底核で迅速な意思決定をしている様子が見えてきているように思います。

■今井 柴田さんがおっしゃった情報圧縮というのはすごく大事だと思います。発達心理学では、世界のカテゴリ化に必要な能力を最初持って生まれて、 unnecessaryなものを切り捨てていくというイメージで語られてきたのですが、私はずっとそれだけではなにかが足りないと思っていたんです。それがいまの話で腑に落ちて、ただ切り捨てているのではなくて、情報圧縮なんだと。すごく多次元の情報を低次元に圧縮するのであって、ただ切り捨てているわけではない。

▼柴田 情報量の多いところをもってきていると考えられますよね。もしくは報酬のある方向に。

■今井 そうです。あるいはいくつかの次元をまとめてしまっているというか。いまの柴田さんのおっしゃっていることは、いままでの赤ちゃんの発達心理学で言われていることを、もうすこし上手に説明できる、大事なカギかもしれないと思います。直観的に。

今井計画班のねらい

▼柴田 あっという間に時間がたってしまいました。最後に、今井計画班の狙いを簡単に教えていただけますか。

■今井 そうですね、やはり私はシンボル接地という問題に興味があります。子どもの言語学習はひと言でいうとシンボル接地だと思っています。外界から受ける雑多で多層的な、ものすごい量の情報を、赤ちゃんなりに整理して分節して、それを言葉というシンボルに置き換えていく。それは単なる置き換えではなくて、マッピングとクリエイションを同時にやっている、そういう過程だと思います。一般の方は、先に赤ちゃん

ヒトの発達・熟達の過程にモデルフリーの思考はあるか？

慶應義塾大学環境情報学部 教授

今井むつみ



の方で世界の分節ができており、他方で言葉というものが世界には存在している。赤ちゃんがすでに分節した概念と言葉をただ対応づければ、シンボル接地ができる、言語が学習できるというイメージがあると思うのです。でも、私はそれとはぜんぜんちがうイメージを持っています。言語は世界のセグメンテーションと切っても切り離せないもので、どちらが先と単純に言えるものではありません。ただ、なんらかの端緒は必要です。最初の一步を踏み出すための認知的な能力がないと最初の一步を踏み出せないと思うんですね。だからセグメンテーションをするための最初の一步、最初の能力というのは何なのかということがまず知りたいと。それがまず推論能力ではないか、と思っています。分節化されていない感覚情報から、離散的な言語にマッピングする最初の一步はどのようにできあがるのかということです。それがヒトに固有なものなのか、あるいはどこまで動物と共通した能力の上に成り立っているのか、そこをわかりたいです。言語獲得の研究とひとことでいっても、実際には、特定の狭い期間に限定して研究がおこなわれていることが多いです。発達研究者は自分の得意な年齢があって、たとえばうちは生後六ヶ月までですとか、うちは六ヶ月から十二ヶ月までですとか、自分は乳児の音の知覚の研究をしているから、2歳以降の赤ちゃんはもうやらないとか、そういう方が結構多いです。でも、言語はダイナミックに常に成長していきます。子どもは、学習したことを足がかりにどんどん学習の仕方を発展させていっています。私はそれを bootstrapping という言葉で表現しているのですが、bootstrapping の過程を理解するためには、音声のカテゴリをどう作っていくかとか、意味のカテゴリをどうやって作っていくかとかに限定した局所的な理解ではダメで、音声が

どういうふうに意味を助けていくか、意味と文法の理解がどのようにかわっていくか、そういう相互作用を、発達を追って見ていかなければならないと思っています。それなので、うんと小さい一歳代の赤ちゃんから、七歳とか八歳とかかなり大きい発達ウィンドウを対象にしていますし、大人のデータも常にとっています。長い発達スパンを見る研究者はほとんど長期的観察研究手法を取る人が多いのですが、私はその月齢に即して、実験的に細かいところを見ながら、シンボル接地の大きな絵を描けたらよいと思っています。

▼柴田 なるほど、先生はさまざまな月齢で横断研究を行い、その年齢群に共通のものを発見されようとしているのですね。ところで、最先端の情報コミュニケーション技術（ICT）を用いれば、頑張れば一人の一生を追うこともできなくは無くなっている状況です。先生の横断的なアプローチと、ICTを使って可能になる縦断的なアプローチをどう組み合わせたらシナジー効果を発揮できるのか、今後も議論させていただければと思います。今日はどうも有難うございました。



平成 24-25 年度 公募研究 研究代表者

A01 行動と意思決定の計算理論

峯松 信明	(東京大学大学院工学系研究科)
島田 敬士	(九州大学大学院システム情報科学研究院)
石渕 久生	(大阪府立大学大学院工学研究科)
梅田 聡	(慶應義塾大学文学部)
内部 英治	(沖縄科学技術大学院大学神経計算ユニット)
岩橋 直人	(情報通信研究機構ユニバーサルコミュニケーション研究所)

A02 意思決定の神経回路機構

大村 優	(北海道大学大学院医学研究科)
小川 宏人	(北海道大学大学院理学研究院)
田中 真樹	(北海道大学大学院医学研究科)
筒井 健一郎	(東北大学大学院生命科学研究科)
岩崎 広英	(東京大学大学院医学系研究科)
田中 暢明	(京都大学生命科学系キャリアパス形成ユニット)
藤山 文乃	(同志社大学大学院脳科学研究科)
小林 康	(大阪大学大学院生命機能研究科)
小林 和人	(福島県立医科大学医学部)
武藤 彩	(国立遺伝学研究所)
中原 裕之	(理化学研究所脳科学総合研究センター)
寺前 順之介	(理化学研究所脳科学総合研究センター)
小村 豊	(産業技術総合研究所)

A03 意思決定を制御する分子・遺伝子

成本 迅	(京都府立医科大学大学院医学研究科)
井之川 仁	(京都府立医科大学大学院医学研究科)
尾仲 達史	(自治医科大学生理学講座)
橘 吉寿	(自然科学研究機構生理学研究所)

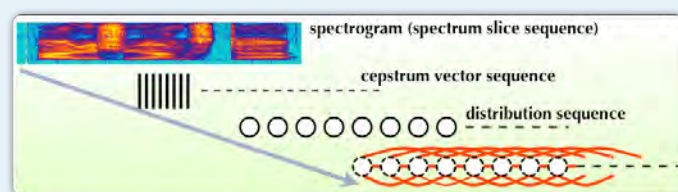
A01 行動と意思決定の計算理論

音声の構造的表象に基づく幼児の単語獲得過程の構成論的シミュレーション

峯松信明 (東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻・教授)



ヒトの言語獲得は健常児を対象とすれば音声言語の獲得となるが、本研究では、種々の発達心理学の知見に基づき、彼らの単語獲得の過程を構成論的に論じることを目的とする。特に、1) 音としては大きく異なる同一メッセージ音声 (例えば父親の声と母親の声の「おはよう」など) に対して、これを同一な対象物として認知する枠組みの構成、2) 連続した音ストリームから頻出パターンとしての語を分節・獲得する枠組みの構成、に着眼した研究を進める。鍵となる技術は、音声から体格や年齢の情報を排除して音声を表象する手法 (音声の構造的表象) と、教師無しパターン発見手法 (Unsupervised pattern discovery) との融合である。我々は既に、話者性を排除した上で音声を表象し、それに基づく孤立単語音声認識システムを構築している。音声から非言語的側面がそぎ落とされているため、非常に抽象的な音声表象となっている。入力音声を抽象化 (構造化) し、これを既に抽象化 (構造化) されたテンプレートと比較することで認識結果を得るが、この場合両者の時間的アライメントがずれることが頻繁に起きる。本研究では、幼児の言語リズムへの sensitivity に着眼し、入力パターンと照合パターンとを、リズム (sonority pattern) に基づいて時間合わせを行い、認識率の向上を目指す。この単語認識システムの学習は教師有りの形態で行なわれるが、これを、教師なしの音声パターン発見システムへと発展させる。なお、上記は音声の抽象化を念頭に置いているが、その逆のプロセス、抽象表象に対して話者の体格などの情報を戻すことで、音声として生成する (幼児の音声模倣プロセスに相当する) についても検討することを考えている。



参考文献

峯松信明, 櫻庭京子, 西村多寿子, 喬宇, 朝川智, 鈴木雅之, 齋藤大輔, “音声に含まれる言語的情報を非言語的情報から音響的に分離して抽出する手法の提案 ～人間らしい音声情報処理の実現に向けた一検討～”, 電子情報通信学会論文誌, vol.J94-D, no.1, pp.12-26, 2011
Y. Qiao, N. Minematsu, “A study on invariance of f-divergence and its application to speech recognition,” IEEE Trans. on Signal Processing, vol.58, no.7, pp.3884-3890, 2010

連絡先

URL : <http://www.gavo.t.u-tokyo.ac.jp/~mine/>

Email : mine@gavo.t.u-tokyo.ac.jp

メンバー

尾崎 洋輔 | 東京大学大学院情報理工学系研究科電子情報学専攻

散策行動における意思決定アフェクタの可視化に関する研究

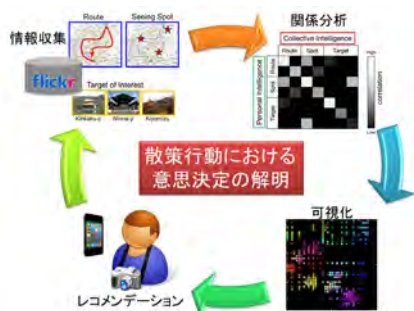
島田敬士（九州大学大学院システム情報科学研究院イメージ・メディア理解研究室・助教）



人間が行動意思を決定するメカニズムを解明するためには、①情報収集、②行動案の考案・比較、③行動決定という意思決定プロセスを分析する必要があります。本研究では、人間の意思決定に作用した因子を『意思決定アフェクタ』と呼び、その可視化を通して人間の行動意思決定メカニズムを解明することを目的としています。

本研究では、旅行先における観光行動（これを『散策行動』と呼ぶことにします）を題材としています。散策行動においては、“①情報収集”はこれから散策行動を行う被験者が、おすすめの観光スポット情報、観光ルート情報などを収集することに相当します。本研究では、FlickrやPicasaなどの画像共有サイトで公開されている世界中の旅行者が投稿した大量のタグ付き画像を解析することでこれらの情報を獲得して、被験者が利用できるようにします。一方で、“③行動決定”後の行動は、被験者が携帯するスマートフォンに記録された位置情報や写真情報を分析して獲得します。そして、統計的手法やデータマイニング手法を利用して、収集した情報と実際に採った行動の関係の分析を行うことで、“②行動案の考案・比較”を経て人間の行動意思決定に影響を及ぼした“意思決定アフェクタ”を解明します。

意思決定アフェクタは、個人の趣味趣向などに起因する多様で高次元な情報で、さらに時間とともに変化するものであるため、可視化技術を利用してその究明を助長します。意思決定アフェクタが推定できれば、ユーザ指向型の散策行動レコメンデーションサービスなどを実現することが可能になります。以上のように、本研究では情報収集、関係分析、可視化、レコメンデーションの循環を通して、散策行動における意思決定アフェクタの究明と、個人に適した散策行動に関するサービスの実現を目指しています。



参考文献

Atsushi Shimada, Vincent Charvillat, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, Landmark Detection based on Common Visual Features in Web Images, the 18th Japan-Korea Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision, pp.379-383, 2012.
Atsushi Shimada, Vincent Charvillat, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, Geolocation based Image Annotation, First Asian Conference on Pattern Recognition(ACPR2011), pp.657-661, 2011.

連絡先

URL : <http://limu.ait.kyushu-u.ac.jp/~atsushi/>
Email : atsushi@limu.ait.kyushu-u.ac.jp

メンバー

有田 大作 九州先端科学技術研究所生活支援情報技術研究室・室長

複雑性の異なる多数の意思決定戦略が混在する状況でのゲーム戦略の進化

石淵久生（大阪府立大学大学院工学研究科計算知能工学研究室・教授）



外部環境に応じて、複雑性の異なる意思決定システムが進化することを明確に示すことが研究目的です。例えば、外部環境が単純な場合、単純な意思決定システムが進化的に有利であり、進化により複雑性が増加することはないと思われます。逆に、動的に変動する複雑な外部環境では、多様な状況に応じて異なる意思決定を行うことができる複雑な意思決定システムが進化的に有利であると予想されます。しかし、複雑な意思決定システムは、長い学習時間や多くの入力情報を必要とするため、必ずしも単純な意思決定システムよりも進化的に有利とは限りません。

本研究では、図1に示すような『空間型繰り返し囚人のジレンマゲーム』の戦略進化シミュレーションにより、複雑性の異なる意思決定システムの進化に関する研究を行います。格子空間内に配置されたエージェントは近傍内で対戦を繰り返し、交叉や突然変異により戦略が進化します。図1では、戦略を表現する記号列の長さが意思決定システムの複雑性に対応します。我々は、すでに、長さの異なる2種類の記号列[1]および3種類以上の記号列[2]を用いた戦略進化シミュレーションを行いました。今後は、記号列だけではなく、決定木やニューラルネットワークなどが混在する状況での戦略進化の研究を行う予定です。

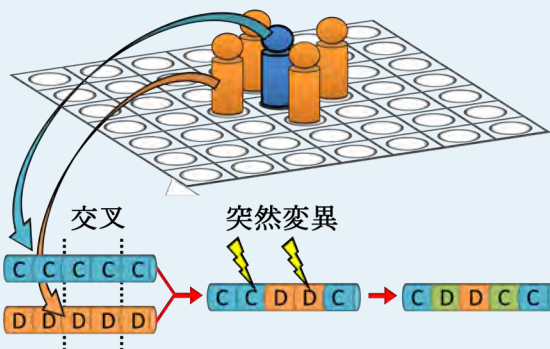


図1 空間型繰り返し囚人のジレンマゲームの戦略進化

参考文献

[1] H. Ishibuchi, H. Ohyanagi, and Y. Nojima, "Evolution of strategies with different representation schemes in a spatial iterated prisoner's dilemma game," IEEE Trans. on Computational Intelligence and AI in Games, vol. 3, no. 1, pp. 67-82, March 2011.
[2] H. Ishibuchi, K. Hoshino, and Y. Nojima, "Evolution of strategies in a spatial IPD Game with a number of different representation schemes," Proc. of 2012 IEEE Congress on Evolutionary Computation, pp. 808-815, Brisbane, Australia, June 10-15, 2012.

連絡先

URL : <http://www.cs.osakafu-u.ac.jp/~hisaoi/>
Email : hisaoi@cs.osakafu-u.ac.jp

メンバー

能島 裕介	大阪府立大学大学院工学研究科計算知能工学研究室・助教
星野 洸一郎	大阪府立大学大学院工学研究科計算知能工学研究室

予測と意思決定に及ぼす自律神経活動の役割：認知神経科学と心身医学の融合

梅田 聡（慶應義塾大学文学部心理学研究室・准教授）



行動の予測や意思決定の背後にある脳内メカニズムについては、近年、多くの研究者が注目していますが、これまでの研究の多くは、主に心や脳の機能から、予測や意思決定の背後にあるメカニズムを探ろうとしたものが多く、実際にそれらの処理に深く関わっていると考えられる身体の機能、特に自律神経活動の役割を取り上げた研究はあまり行われていません。我々のこれまでの研究から、日常的に経験する不安などの精神状態は、将来的な予期の結果であり、予想以上に身体機能の不全が、日常生活における意思決定に強く関与していることが明らかになっています。例えば、自律神経の過活動を示す症例では、不安が高く、不確実な状況下では、より慎重な予測や意思決定が行われる傾向にあります。こうした研究は、これまで精神医学や心身医学の分野で検討されてきたものの、心理学や認知神経科学の分野で得られた知見と結びつきが薄く、これまでの成果が十分に活かされていません。そこで、本研究プロジェクトでは、社会における人間の活動を「心・脳・身体」という三者関係のダイナミクスの中で捉える枠組みをもとに、これまでは見落とされがちであった身体機能として自律神経活動に焦点を当てます。本研究で得られた成果は、予測や意思決定の背後にあるメカニズムの解明に貢献できるとともに、精神症状の発生メカニズムの解明にも結びつけることができると考えられます。最終的には、不安などの精神状態を生み出す「心・脳・身体」の関係性を、主に認知神経科学と心身医学の視点から融合的にモデル化することを目指します。

日常生活における予測と意思決定の諸問題



参考文献

- Umeda, S., Mimura, M., & Kato, M. 2010 Acquired personality traits of autism following damage to the medial prefrontal cortex. *Social Neuroscience*, 5, 19-29.
- Umeda, S., Kurosaki, Y., Terasawa, Y., Kato, M., & Miyahara, Y. 2011 Deficits in prospective memory following damage to the prefrontal cortex. *Neuropsychologia*, 49, 2178-2184.
- Fukushima, H., Terasawa, Y., & Umeda, S. 2011 Association between interoception and empathy: Evidence from heartbeat-evoked brain potential. *International Journal of Psychophysiology*, 79, 259-265.
- Shibata, M., Abe, J., Itoh, H., Shimada, K. & Umeda, S. 2011 Neural processing associated with comprehension of an indirect reply during the scenario reading task. *Neuropsychologia*, 49, 3542-3550.
- Terasawa, Y., Fukushima, H. & Umeda, S. 2012 How does interoceptive awareness interact with the subjective experience of emotion? An fMRI study. *Human Brain Mapping*.

連絡先

URL : <http://flet.keio.ac.jp/~umeda/index.html>
Email : umeda@flet.keio.ac.jp

モデルベース予測状態フィードバックを組み込んだ強化学習

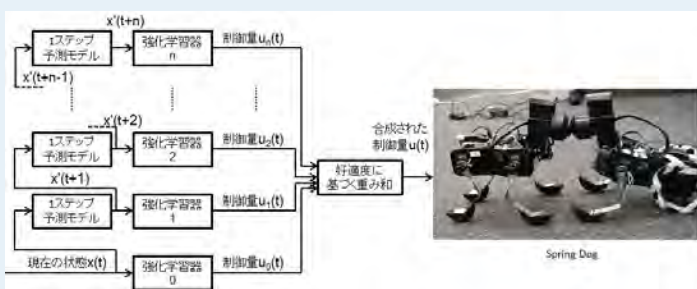
内部英治（沖縄科学技術大学院大学神経計算ユニット・グループリーダー）



意思決定の数値モデルの一つである強化学習は価値関数を推定する枠組みとしてモデルフリー型とモデルベース型に大別できます。学習効率や計算コストなどの観点からは両者は一長一短ですが、現在の状態から将来得られるコストの系列を価値というスカラーの情報にまとめ、その値に基づき意思決定するという点では同じです。本来、モデルベース型強化学習では、モデルから多様な情報が得られるにもかかわらず、それを完全には利用していないという問題があります。一方、制御理論の分野では予見制御やモデル予測制御など将来の状態の系列を明示的に予測しつつ、最適な意思決定を行う手法が開発されています。しかしこれらの手法はモデルが既知である場合にのみ適用可能で、モデルフリー型強化学習のような手法と統合するような研究はなされていませんでした。

そこで本研究ではモデルフリー型とモデルベース型の強化学習を統一する際、モデルから得られるより多様な情報、つまり将来得られる予測状態の系列も意思決定に組み込んだ強化学習アーキテクチャを開発することを目指します。現在の状態に基づき意思決定する部分はモデルフリー型強化学習として実装されるのに対し、予測状態に基づき意思決定する部分はモデルベース型として実装されます。

そして各モジュールによって個別に決定された行動（制御量）は重みづけされて最終的な値が決定されます。本研究では制御量について重ね合わせの原理が成り立つ Todorov の線形ベルマン方程式に基づく強化学習法を採用します。これら機械学習や制御理論の最新の知見を利用することで、モデルから得られる予測情報を積極的に利用した意思決定モデルを開発します。提案手法を複数ロボット実験プラットフォーム SpringDog を用いて有効性を検証します。



連絡先

URL : <https://groups.oist.jp/node/9>
Email : uchibe@oist.jp

メンバー

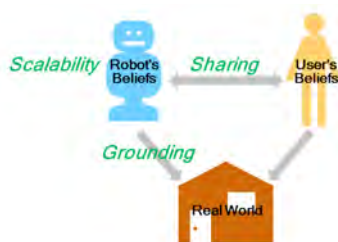
金城 健	奈良先端科学技術大学院大学数理情報学研究室
------	-----------------------

意思決定理論に基づくロボットの言語と動作によるコミュニケーションの能動的学習

岩橋直人（情報通信研究機構ユニバーサルコミュニケーション研究所音声コミュニケーション研究室・主任研究員）



本研究では、生活支援ロボットと安心して快適にコミュニケーションするために、ユーザの意図や状況を適切に理解し行動する能力をロボット自身が、日常生活空間におけるユーザとのコミュニケーションを通して学習する技術の開発を目的とします。マルチモーダルコミュニケーション能力を表現しているダイナミックグラフィカルモデルを意思決定理論に基づいて能動的に学習するアプローチをとります。本研究の独創的な点は、人間とロボットが信念を効率的に共有してゆける対話と行動を、意思決定理論に基づいて実現することです。研究代表者は、統計学習の枠組みに基づく言語獲得手法 L-Core を開発してきました。L-Core を実装したロボットは、音声・視覚・動作によるユーザとのインタラクションを通して、対話と行動に関するコミュニケーション能力を学習することができます。このロボットは、言語的知識（単語音声・簡単な文法・語用法）、行動に関する非言語的知識（「物体を載せる」など動作の軌道・行動のコンテキスト）、実世界知識（画像特徴・動作と物体の関係）などの種々の知識を適応的に関連付け、状況に応じてユーザの意図を適切に推定し、発話や動作を適切に理解・生成することが可能です。L-Core は、ユーザの行為に対するレスポンスが安定しており、本研究のプラットフォームとして用いるのに十分な性能を有しています。なお、L-Core を利用し、H20 と H22 に、家庭用ロボット国際競技会であるロボカップ@ホーム世界大会で優勝しています。ただし、L-Core は、観測による受動的な学習が主体であり、学習の能動性が欠如していました。本研究では、より協調的なコミュニケーションによる、意思決定理論に基づく言語と動作によるコミュニケーションの能動的学習を実現します。研究成果は、生活支援ロボットの普及を促進するために、テレビやインターネット等のメディアを通し、国民にアピールしてゆきます。



参考文献

Iwahashi N, Sugiura K, Taguchi R, Nagai T, Taniguchi T. "Robots That Learn to Communicate: A Developmental Approach to Personally and Physically Situated Human-Robot Conversations," Proc. of AAAI Fall Symposium on Dialog with Robots, pp.38-43, 2010.

連絡先

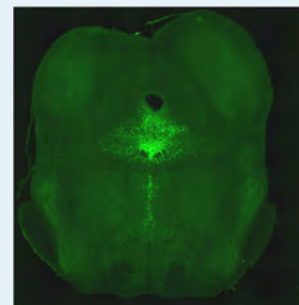
URL : <http://naotoiwahashi.jp/>
Email : naoto.iwahashi@nict.go.jp

オプトジェネティクスによる正中縫線核セロトニン神経と衝動性の関係の解明

大村 優（北海道大学大学院医学研究科神経薬理学分野・助教）



「セロトニンが足りないから衝動性が高まり、セロトニンが増えれば衝動性は低下する」という非常にシンプルな話は耳にされたことがある方も多いと思いますが、実はこれがまだ「仮説」に過ぎないことは、意外に知られていません。これまでの技術ではセロトニン神経のみを選択的かつ可逆的に刺激・抑制することが難しく、時間的に精密な制御もできませんでした。そのため、セロトニンと衝動性の関係について決定的な証拠が得られず、仮説だけが一人歩きしている状況が続いてきました。しかし、オプトジェネティクスを用いることにより、これらの問題が解決できるのです。光受容体であるチャンネルロドプシン2は特定波長の光に反応してNa⁺を細胞内に流入させ、細胞の活動を一過性に上昇させます。遺伝子導入技術を用いて、このチャンネルロドプシン2をセロトニン神経特異的に発現するマウスを作製します（写真参照）。そしてセロトニン神経の核である正中縫線核に留置したファイバーにより光を照射し、セロトニン神経活動のON/OFFを可逆的かつ時間的に精密に制御し、衝動的行動の変化を計測します。この方法により、脳内セロトニンと衝動性の関係について直接的な証拠が得られると私たちは考えています。異常な衝動性の亢進は薬物依存や犯罪の危険因子であり、気分障害を併発する場合には自殺の危険因子にもなり得えます。今回の研究により得られる知見は衝動性の神経メカニズムについての理解と、衝動性亢進に対する治療法の開発に貢献できると考えています。



マウス脳スライス写真：チャンネルロドプシン2（緑蛍光）がセロトニン神経核に特異的に発現している。（連携研究者 田中謙二提供）

参考文献

Tsutsui-Kimura I, Ohmura Y, Izumi T, Yamaguchi T, Yoshida T, Yoshioka M., The effects of serotonin and/or noradrenaline reuptake inhibitors on impulsive-like action assessed by the three-choice serial reaction time task: a simple and valid model of impulsive action using rats. Behav Pharmacol. 2009 Sep;20(5-6):474-83.
Tanaka K F, Matsui K, Sasaki T, Sano Hiromi, Sugio S, Fan K, Hen R, Nakai J, Yanagawa Y, Hasuwa H, Okabe M, Deisseroth K, Ikenaka K, Yamanaka A, Expanding the repertoire of optogenetically targeted cells with an enhanced gene expression system. Cell Reports (in press)

連絡先

URL : <http://hokudaineuropharmacol.com/>（研究室）
http://www.geocities.jp/neuropharmacology_yuohmura/（個人）
E-mail : yohmura@med.hokudai.ac.jp

メンバー

田中謙二	慶應義塾大学医学部精神神経科学教室・准教授
山中章弘	名古屋大学環境医学研究所神経系分野2・教授

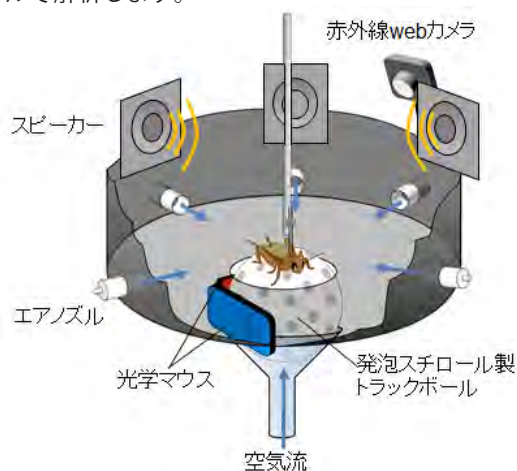
昆虫の刺激方向予測に基づく運動意思決定に関する神経回路機構の解明

小川 宏人（北海道大学大学院理学研究院生物科学部門・准教授）



昆虫は、ほ乳類とは大きく異なる脳構造を持ちながら、社会性行動や学習・記憶などの複雑で洗練された適応的行動を示します。しかし、その行動決定に関する神経メカニズムはよく分かっていません。昆虫の脳では、多くのニューロンがその形態的特徴から同定が可能であり、刺激の予測と行動の意思決定に関連する神経回路とその機能を、単一ニューロンの特性と配置から理解することができるという、実験モデル動物としての長所を持っています。本研究課題は、昆虫の脳内における刺激予測と行動決定に関する神経機構を明らかにすることを目的として、コオロギに気流刺激と音刺激を罰刺激に組み合わせた新しい学習タスクを実施し、昆虫が刺激方向を予測したモデルベースの意思決定によって歩行行動を起こせるかを調べます。

コオロギはもともと気流刺激を捕食者の接近とみなして、刺激の逆方向に逃げようとする歩行行動を示します。そこで、コオロギを運動方向やターン角度をモニタできるトラックボール型トレッドミル上に乗せ、同一方向からのトーン音とエアパフを罰刺激としての電気ショックに組み合わせた条件付けを行います。学習後、コオロギが音刺激から気流刺激方向を予測して回避歩行運動を行えるようになるかを検証します。そして、気流刺激だけで誘導された運動と学習後に音刺激で誘導された運動での潜時を計測し、モデルフリーとモデルベースの脳内処理時間を比較します。さらに、刺激方向の予測または歩行行動の開始決定に関連した下行性介在ニューロンを探索するため、このタスクを行っているコオロギの頸部腹側縦連合から下行性神経活動を記録します。そして、歩行運動の開始に先行するスパイクユニット、学習成立後に音刺激に対して発火頻度が変化するスパイクユニットなどを調べ、刺激の予測と運動の意思決定を行う神経回路を同定ニューロンレベルで解析します。



連絡先

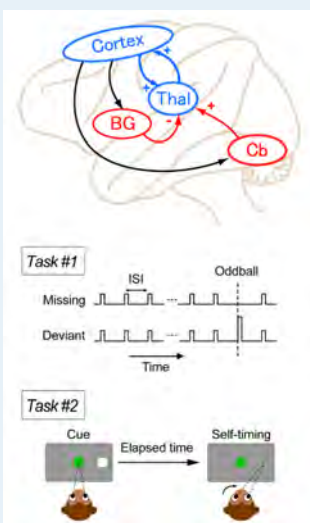
URL : <http://www.sci.hokudai.ac.jp/~hogawa/>
Email : hogawa@sci.hokudai.ac.jp

タイミング予測と意思決定に関わる皮質下信号の解析

田中 真樹（北海道大学大学院医学研究科神経生理学分野・教授）



次に起こる出来事を予測して、適切なタイミングで意思決定を行うためには、時間の情報が不可欠となります。私たちの研究室では、行動課題を訓練したサルを用いて時間の情報処理に関わる脳内機構を調べています。本研究では、研究協力者である教室員と共に2種類の行動課題を用いた実験を進めます。第一の課題では、一定の時間間隔で現れる視聴覚刺激の不意の欠落を検出させます（欠落オドボール課題）。これには試行ごとに異なる刺激間隔を学習し、次に現れる刺激のタイミングを予測し、感覚入力がないことに対して予測誤差の信号を生成する必要があります。これまでの研究で、小脳歯状核に刺激提示の時間間隔をコードするニューロン群が見いだされており、本研究ではその上流である小脳皮質（Crus領域）と、主な投射先である運動性視床（VL核）の神経活動を解析することで、小脳-視床大脳経路における予測信号生成のメカニズムの解明を目指します。また、第二の課題では、手がかり刺激の提示後、一定の経過時間の後に自発的に眼球運動を行わせます（時間再現課題）。この課題の際に、視床と前頭葉背内側部に漸増する準備活動がみられることがこれまでの研究で示されていますが、その信号源を基底核（線条体）および小脳核（歯状核）で探索します。両部位の神経活動を比較検討する際には、再現時間の長短による違いに注目します。また、線条体では意思決定タイミングに各経路がどのように寄与しているのか、薬理学的操作を行うことで調査する予定です。本研究により、時間情報処理の脳内機構の理解を進めることができるとともに、その成果を世界に発信することで、予測と意思決定の機構を調べようとする本領域の進展に貢献できるものと期待されます。



参考文献

- Kunimatsu, J. & Tanaka, M. (in press) Alteration of the timing of self-initiated but not reactive saccades by electrical stimulation in the supplementary eye field. *Eur. J. Neurosci.* in press.
- Tanaka, M. & Kunimatsu, J. (2011) Contribution of the central thalamus to the generation of volitional saccades. *Eur. J. Neurosci.* 33: 2046-2057. [Review]
- Tanaka, M. (2007) Cognitive signals in the primate motor thalamus predict saccade timing. *J. Neurosci.* 27: 12109-12118.
- Tanaka, M. (2006) Inactivation of the central thalamus delays self-timed saccades. *Nature Neurosci.* 9: 20-22.

連絡先

URL : <http://niseiri2.med.hokudai.ac.jp/~niseiri/>
Email : masaki@med.hokudai.ac.jp

柔軟な行動選択を可能にする神経機構の解明

筒井 健一郎（東北大学大学院生命科学研究科脳情報処理分野・准教授）



この研究は、新学術領域研究「推論と意思決定」の主要なテーマのうち、特にモデルベースの意思決定に関係したテーマとして、「柔軟な行動選択を可能にする神経機構」の解明を目指します。試行ごとに異なるルールに基づいて反応を選択することが要求される課題

を、ラットやサルに遂行させながら、前頭連合野から単一ニューロン活動を記録するとともに、申請者が新たに開発した細胞標識技術を使ってそれらを標識して組織学的解析を行います。それにより、課題に関係した活動を示すニューロンの、形態的特徴や神経伝達物質受容体の発現状況、他のニューロンとの結合関係を明らかにします。そして、このようにして集めたデータに基づいて、柔軟な行動選択を可能にする神経回路の計算論的モデルを作成します。行動中の動物においてニューロン活動を記録し、機能の詳細を明らかにしたうえで、そのニューロンの組織学的解析を行うというアプローチは、ほとんど前例のないユニークなものです。この研究によって、推論と意思決定にかかわる神経機構の理解を深く掘り下げるとともに、高次脳機能の研究に方法論的ブレークスルーがもたらされることが期待されます。



図1 前頭連合野実行機能の要素機能とそれに関係したニューロン活動

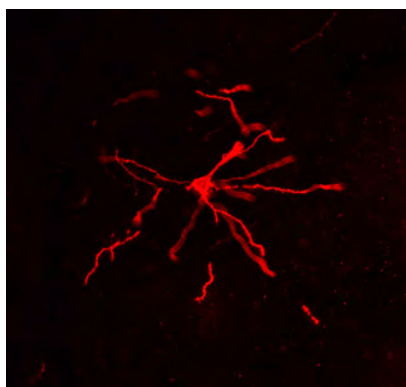


図2 in vivo プラスミド注入によって標識されたラット mPFC 野のニューロン

参考文献

Oyama K, Hernádi I, Iijima T, Tsutsui K. (2010) Reward prediction error coding in dorsal striatal neurons. *Journal of Neuroscience* 30: 11447-57.
Yamada M, Pita MC, Iijima T, Tsutsui K. (2010) Rule-dependent anticipatory activity in prefrontal neurons. *Neuroscience Research* 67: 162-71.
Fujiwara J, Tobler PN, Taira M, Iijima T, Tsutsui K (2009) Segregated and integrated coding of reward and punishment in the cingulate cortex. *Journal of Neurophysiology* 101: 3284-93.

連絡先

E-mail : tsutsui@m.tohoku.ac.jp

意思決定に関わる神経回路のコネクトーム的解析

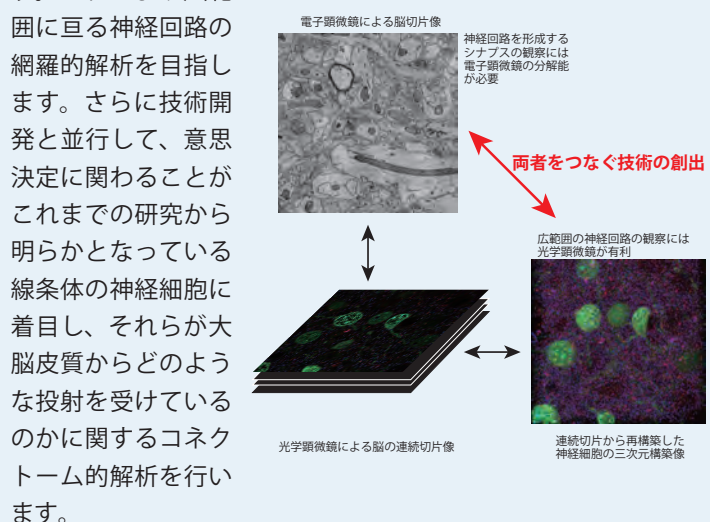
岩崎 広英（東京大学大学院医学系研究科神経細胞生物学分野・助教）



私たちが意思決定を行う際には、視覚、触覚など様々な感覚を駆使して外界からの情報を受け取り、得られた情報を過去に記憶・学習した事柄と照らし合わせ、その上で快・不快などの情動に基づいて価値判断を行うといった一連の過程を経ると考えられます。これらの感覚情報処理、記憶・学習、情動といった活動は全て脳の

高次機能と考えられますが、具体的にどのような神経回路がこれらの高次機能を実現しているのか、その詳細は明らかになっていません。その理由としては、脳を構成する神経細胞数は膨大であり、それらがシナプスを介してどのように結合しているのかを網羅的に記述することが現在の技術では困難である点が挙げられます。またシナプスは極めて小さな構造であり、通常の光学顕微鏡では観察できないことから電子顕微鏡の分解能が必要となりますが、電子顕微鏡では狭い範囲の画像しか取得できません。したがってどの神経細胞どうしが結合しているのかを知るためには、光学顕微鏡による比較的広範囲の画像と電子顕微鏡による画像とを対応づける技術が必要となります。

しかし近年、脳の配線図を網羅的に明らかにするためのプロジェクトが世界各地で始まりつつあり、それらは「コネクトーム (connectome= connect+ome) 解析」または「コネクトミクス」と呼ばれています。本研究では、このような神経回路のコネクトーム的解析を実現するための技術的基盤の確立を目指します。具体的には光学顕微鏡と電子顕微鏡の技術を融合により高解像度かつ広範囲をカバーする画像の自動取得のための技術の開発を行います。これにより広範囲に亘る神経回路の網羅的解析を目指します。さらに技術開発と並行して、意思決定に関わるこれまでの研究から明らかとなっている線条体の神経細胞に着目し、それらが



参考文献

岩崎広英「コネクトーム --- 脳の『ルールブック』をひもとく」実験医学、30(8):1334-1340, 2012.

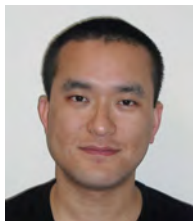
連絡先

URL : <http://synapse.m.u-tokyo.ac.jp/>

Email : h-iwasaki@m.u-tokyo.ac.jp

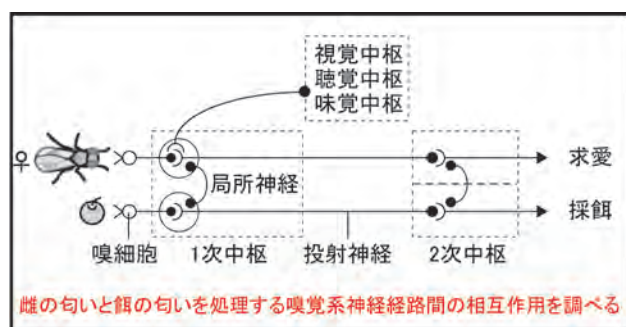
嗅覚系をモデルにした行動選択時の感覚情報処理機構の研究

田中 暢明 (京都大学生命科学系キャリアパス形成ユニット・JST さきがけ研究員)



動物は、感覚刺激情報をもとに外界を認識して行動を開始します。また、行動中も、外界の環境変化に応じて、その都度、行動を切り替えます。では、動物は、複数の選択肢から、どのように行動を決定しているのでしょうか？

ショウジョウバエの雄にとって、採餌場所は雌との出会いの場でもあります。雄は採餌中に雌の匂いを感知すると、採餌をやめて求愛行動を開始します。こうした状況下の雄において、餌の匂いに対する嗅覚系の神経の応答は、雌の匂いを感知した後も、その刺激がある以上、変化しないのでしょうか？ また、飢餓状態の雄に餌の匂いと雌の匂いを選択させた場合、雄は個体維持のためのエネルギー獲得（採餌行動）と種の保存のためのエネルギー消費（求愛行動）の内的葛藤からどのように匂いを選択するのでしょうか？ 本研究では、餌の匂いと雌の匂いに対するショウジョウバエの神経応答をモデルに、異なる感覚入力処理する神経経路間の相互作用を生理学的に明らかにし、行動選択時における感覚情報処理過程のモデルの確立を目指します。



参考文献

Tanaka NK, Endo K, Ito K. The organization of antennal lobe-associated neurons in the adult *Drosophila melanogaster* brain. *J Comp Neurol* In press.

連絡先

URL : http://cp.kyoto-u.ac.jp/Ntanaka/career_path/Top.html
Email: nktanaka@cp.kyoto-u.ac.jp

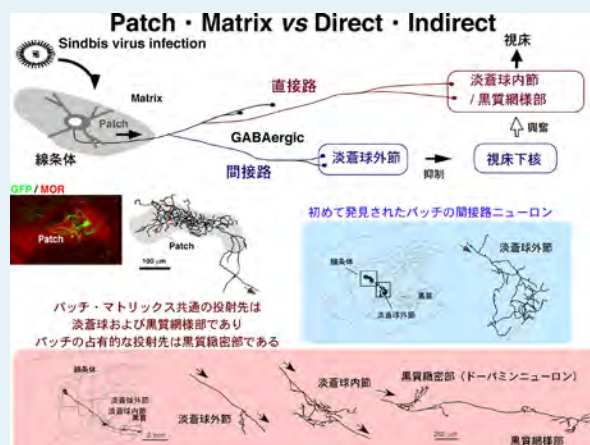
報酬予測をつくるネットワークの解明

藤山 文乃 (同志社大学大学院脳科学研究科神経回路形態部門・教授)



従来的大脑基底核スキームはパーキンソン病やハンチントン舞踏病の寡動や多動という病態を説明するものであるが、「寡動を示すパーキンソン病に振戦という不随意運動が生じるのは何故か？」という問いに答えるものではなく、ましてや強化学習を説明できるものではありません。私たちはより正確な大脑基底核スキームを模索する過程で、線条体の生化学的なコンパートメント構造であるストリオソーム・マトリックス領域の入出力様式を明らかにしました。

この解析の過程で、従来の直接路・間接路スキームの矛盾点を見だし、大脑基底核経路には従来のスキームの他にフィードバックループが存在するのではと考え、その検証を始めたところ。また、レイヤーもカラム構造もない線条体の局所回路を探るための試みも始めており、神経形態学と電気生理学を融合した新しい神経回路解析法を確率することで、学習と運動の両方を実現する皮質—基底核—視床ループの解剖学および機能的解明を目指します。



参考文献

Fujiyama F, Sohn J, Nakano T, Furuta T, Nakamura KC, Matsuda W, Kaneko T. Exclusive and common targets of neostriatofugal projections of rat striosome neurons: A single neuron-tracing study using a viral vector. *Eur J Neurosci*, 33(4), 668-677, 2011
Matsuda W, Furuta T, Nakamura KC, Hioki H, Fujiyama F, Arai R, Kaneko T. Single nigrostriatal dopaminergic neurons form widely spread and highly dense axonal arborizations in the neostriatum. *J. Neurosci*. 29 : 444-453, 2009.
Nakamura KC, Fujiyama F, Furuta T, Hioki H, Kaneko T. Afferent islands are larger than μ -opioid receptor patch in striatum of rat pups. *NeuroReport* 20 : 584-588, 2009.

連絡先

URL : <http://brainscience.doshisha.ac.jp/introduction/sys/nc.html>
Email : ffujiyam@mail.doshisha.ac.jp

メンバー

高橋 晋	同志社大学大学院脳科学研究科神経回路形態部門・准教授
苅部冬紀	同志社大学大学院脳科学研究科神経回路形態部門・准教授
日置寛之	京都大学大学院医学研究科高次脳形態学教室・助教

中脳神経回路ダイナミクスによる行動予測形成機構

小林 康（大阪大学大学院生命機能研究科脳神経工学講座視覚神経科学研究室・准教授）



生物の行動基本原理は、報酬獲得、嫌悪回避です。その行動制御の根底となる報酬、嫌悪の予測学習の神経回路機構を明らかにしたいと思います。

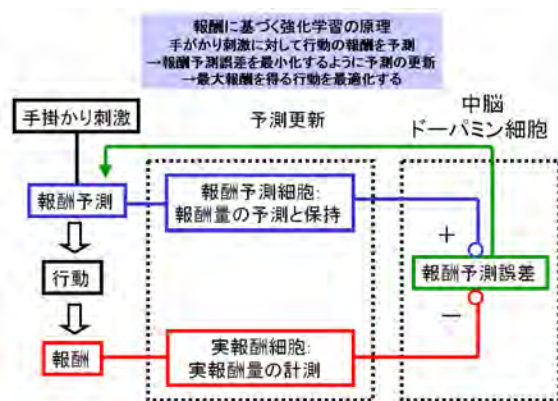
生物が複雑な環境で生存していくためには視覚や聴覚といったさまざまな感覚入力を手がかりにして予測的に危険や報酬を察知する必要があります。種々の手がかりによる報酬や嫌悪の予測は生後環境で学習され獲得されますが、この学習過程で何が起きているのでしょうか。

たとえば、どのような脳内計算メカニズムで手がかり刺激に価値の情報が連合付加されるのでしょうか。

また、手がかり刺激で与えられた報酬嫌悪の予測情報は、手がかり刺激、報酬嫌悪のくりかえし経験によって予測の精度がどんどん向上します。

この過程で手がかり刺激の情報、これまで与えられた報酬の情報は脳内で一定時間保存され、実際に与えられた報酬情報と逐次比較し予測を更新させていく必要があります。この情報保持、情報比較、情報更新はどのような脳内機構で起きているのでしょうか。

本研究では嫌悪報酬条件付け課題遂行中のサルの中脳ニューロン記録による神経回路のダイナミクスの理解から、嫌悪、強化学習に関わる予測価値情報の形成、保持、更新に関わる神経機構を明らかにしたいとおもいます。



参考文献

A Neural Correlate of Predicted and Actual Reward-Value Information in Monkey Pedunculo-pontine Tegmental and Dorsal Raphe Nucleus during Saccade Tasks
Ken-ichi Okada, Kae Nakamura and Yasushi Kobayashi
<http://www.hindawi.com/journals/np/2011/579840/>

連絡先

URL : <http://www7.bpe.es.osaka-u.ac.jp/~yasushi/>
Email : yasushi@fbs.osaka-u.ac.jp

メンバー

岡田研一 大阪大学大学院生命機能研究科・博士研究員

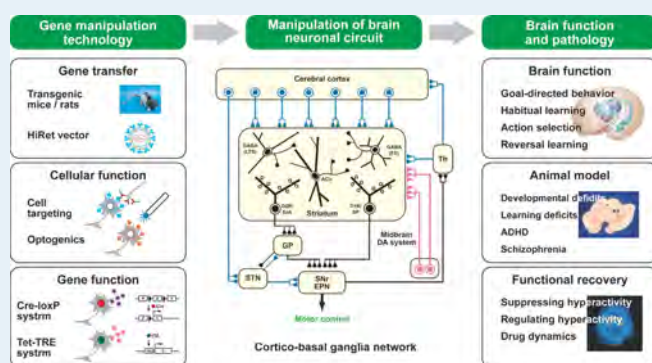
前頭前野皮質—線条体を介する行動柔軟性の制御機構

小林 和人（福島県立医科大学医学部生体機能研究部門・教授）



私たちの研究室では、遺伝子改変技術を利用して、大脳皮質—基底核ネットワークを介する学習や行動制御のメカニズムの解明に取り組んでいます（図参照）。マウスやラットというげっ歯類を動物モデルとし、特定の神経細胞に目的の遺伝子を発現する動物を作製します。また、最近では、高頻度逆行性遺伝子導入ベクターという新しい技術を用いて、特定の神経路に遺伝子導入を行うことも可能になっています。このような技術を応用して、特定の神経路の機能を改変し、回路の動態や行動への影響を解析します。

私たちは、特に、学習の獲得や実行に重要な役割を持つ大脳皮質—基底核ネットワークに着目し、動物の行動がどのように獲得され、環境に適合するためにどのように調節されるのかという脳内機構の解明に取り組んでいます。この新学術領域研究では、行動の柔軟性に関わる前頭前野皮質と線条体を連関する神経回路の働きに注目しています。前頭前野皮質—線条体神経回路の機能異常は、統合失調症などのさまざまな精神・神経疾患の病態に深く関与することも知られています。外界の情報に基づいて行動を変換する神経回路メカニズムの解明は、学習の基盤となる脳内機構の研究において重要な課題です。発達・学習障害の病因や病態の神経機構を理解するためにも大切な問題です。本研究では、前頭皮質から線条体への入力経路や線条体に局在する介在ニューロンの役割に着目し、皮質—線条体神経回路が行動の柔軟性を生み出す脳内神経機構を明らかにしたいと考えています。



参考文献

Kato, S., Kuramochi, M., Kobayashi, K., Fukabori, R., Okada, K., Uchigashima M., Watanabe, M., Tsutsui, Y., and Kobayashi, K. (2011) Selective neural pathway targeting reveals key roles of thalamostriatal projection in the control of visual discrimination. J. Neurosci. 31 (47) 17169-17179
Fukabori, R., Nishizawa, K., Okada, K., Kai, N., Kobayashi, K., Uchigashima, M., Watanabe, M., Tsutsui, Y., and Kobayashi, K. (2012) Striatal direct pathway modulates response time in execution of visual discrimination. Eur. J. Neurosci. 35 (5) 784-797
Kato, S., Kobayashi, K., and Kobayashi, K. (2012) Dissecting circuit mechanisms by genetic manipulation of specific neural pathways. Rev. Neurosci. (in press)

連絡先

Email : kazuto@fmu.ac.jp

ゼブラフィッシュ捕食行動をモデルとした視覚認知と意思決定の神経メカニズムの解析

武藤 彩 (国立遺伝学研究所初期発生研究部門・助教)



動物が生存するためには、常に変化する外界の情報に合わせてその都度最適な行動を選択できなければなりません。感覚情報が脳に入力してから、行動という出力に至るまでの過程は、脳内のどのような神経回路で処理されているのでしょうか？この問いに答えるために、本研究ではゼブラフィッシュの稚魚が示す捕食行動を研究モデルとしています。稚魚は餌となりそうな小物体やゾウリムシなどの微生物が目に入るとそれに対して捕獲行動を起こします(図参照)。しかしながら視界中の物体が餌かどうかを認識し、判断・予測するメカニズムや、捕獲行動を起こすか否かの意思決定に関わる神経メカニズムは全くわかっていません。そこで、捕獲行動の際にどの神経細胞が活動するのかを脳機能イメージングにより明らかにし、その神経細胞の必要性を検討するために神経毒等を用いた阻害実験を行います。ゼブラフィッシュ稚魚は脳が透明で蛍光プローブを用いた脳機能イメージングに適しており、しかもそのサイズが小さいことから神経細胞一つ一つが観察できるほどの空間解像度で脳全体をイメージングできるという利点があります。多数の神経細胞から同時記録する方法としては、活動電位発生に伴うカルシウム(Ca)シグナルをイメージングする方法があり、特に、遺伝学的に細胞へ導入することが可能なタンパク質性のCaプローブGCaMPを用いれば、特定の神経回路の活動が可視化できます(Muto et al., 2011)。また、特定の神経細胞集団に神経毒を発現させてその機能を阻害した場合の効果を調べる

ことにより、それらの神経細胞が動物行動において果たす役割を解析することが可能になります。脳機能可視化と神経機能阻害という2つの手法を用いて、ゼブラフィッシュが小物体を視覚的に認識し、それを餌であるかどうかと予測して捕獲行動を取るかどうかの意思決定を行うまでの神経プロセスを明らかにします。



参考文献

Muto A, Ohkura M, Kotani T, Higashijima S, Nakai J, Kawakami K. Genetic visualization with an improved GCaMP calcium indicator reveals spatiotemporal activation of the spinal motor neurons in zebrafish. Proc Natl Acad Sci U S A. 2011 Mar 29;108(13):5425-30.

連絡先

URL : <http://kawakami.lab.nig.ac.jp/>
Email : akimuto@nig.ac.jp

意思決定のための価値の生成と統合の脳機能：数理モデル提案と実証検証

中原 裕之 (理化学研究所脳科学総合研究センター理論統合脳科学研究チーム・チームリーダー)



私たちは、意思決定の脳機能、また情動や感情や社会的知性を生み出す脳機能、の解明を、その脳数理原理とあわせて解明することを目指しています。本研究では、「意思決定のための価値の生成と統合の脳機能」解明のために、数理モデル提案と実験検証を合わせて行う。研究目的は、価値の「学習」に焦点をあてた目的Ⅰ「価値予測を形成する脳内入力の表現学習」と、価値による「行動選択」に焦点をあてた目的Ⅱ「複数の価値統合による行動選択」の二つです。目的Ⅰの「学習」では、「表現学習(価値学習を行うための脳内表現自体の学習)」と統合されたモデルフリーの学習」の提案/検証を行います。目的Ⅱの「行動選択」では、異なる起因で生成された複数の価値統合に基づく行動選択の脳機能の解明を目指します。

参考文献

Bromberg-Martin, E. S., Matsumoto, M., Nakahara, H., Hikosaka, O. (2010). Multiple timescales of memory in lateral habenula and dopamine neurons. Neuron. 67(3): pp.499-510.
Nakahara, H., Itoh, H., Kawagoe, R., Takikawa, Y., & Hikosaka, O. (2004). Dopamine neurons can represent context-dependent prediction error. Neuron. 41(2): pp.269-280.

連絡先

URL : <http://www.itn.brain.riken.jp>
Email : hn@brain.riken.jp



確率脳内シミュレータとして的大脑皮質自発発火活動と学習の解明

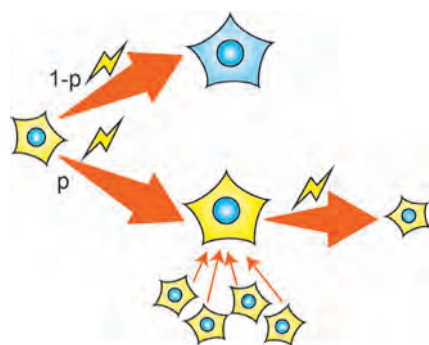
寺前 順之介（理化学研究所脳科学総合研究センター脳回路機能理論研究チーム・副チームリーダー）



人や動物は、様々な経験を活かして日々の生活を続けています。その中には、出かけた場所、聞いた話の記憶など、自覚的なものもあれば、人の声の音声的特徴、目に入る様々な視覚入力 of 性質など、成長に伴って無自覚に身に付き、随時我々の認知に活かされる経験も含まれます。これら多様な経験の成果は、何らかの形で我々の脳内に蓄積され利用されているはずで

す。しかし脳が、これまで目にした全てのものの形など経験のすべてを蓄積しているとは考えにくく、効率的とも思えません。もし、全てを蓄積する代わりに、似た経験を上手くまとめ、経験した頻度や、経験相互の関係を蓄える事が出来れば、ずっと効率的なはずで

す。頻度を用いるという事は、確率を用いて情報処理する事を意味します。最近、脳の大脳皮質が、この確率的情報処理を行っている可能性を示唆する研究が報告され始めました。しかし、大脳皮質のどこに経験の頻度や関係が蓄積されているのか、その情報がどう使われているのかなどは未解明に残されています。本研究計画では確率的神経情報処理への理論的アプローチを用いてこの問題を解決します。我々が着目するのは大脳皮質の神経ネットワークの自発発火活動です。動物が何の感覚刺激を受けていない時でも、我々の脳内では神経活動が休む事なく続いています。これが自発発火活動です。自発発火活動は不規則である一方、我々の認知や行動にも影響を及ぼします。つまり神経情報処理に影響する確率的な活動なのです。この特徴は経験の確率的表現が持つべき性質に非常に良く一致します。我々は、この自発発火活動の性質を数理的に解明し、その性質が経験に依存した神経ネットワークの変化によりどう変化するか、その変化が認知や行動計画の基盤となる神経活動にどう影響するかなど、確率的情報処理の実体として的大脑皮質自発発火活動の特性と機能を明らかにします。



参考文献

Optimal spike-based communication in excitable networks with strong-sparse and weak-dense links, Jun-nosuke Teramae, Yasuhiro Tsubo & Tomoki Fukai, Scientific Reports 2, 485 (2012)

連絡先

URL : <http://nct.brain.riken.jp/~teramae/>
Email : teramae@riken.jp

意思決定における迷いの検知・制御メカニズム

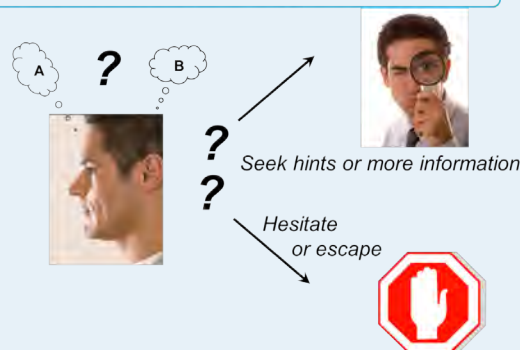
小村 豊（産業技術総合研究所システム脳科学グループ・主任研究員）



意思決定とは、複数の可能性のある選択肢から、ベストを決定する脳機能とみなせます。不確定要素の多い現代において、人々は、意思決定に迷い、悩むケースにしばしば出くわします。我々は、迷いを感じると、それに合わせた適応行動をとります。例えば、有用なヒントを得るために、異なる情報ソースをあさったり、煮詰まるほどの迷いであれば、決断をためらい、逃げ出すことだって、ありえるでしょう。しかし、これまで、脳がどのように、意思決定における迷いをモニターし、それをもとに、様々な適応行動につなげているのかというメカニズムについては、ほとんど分かっていません。近年、私たちの研究チームは、サルをモデル動物として、意思決定のゆれを的確にとらえる系を確立しました。また、その系を用いて、視床領域に、迷いの程度をコードする神経表現が存在することが分かってきました。本研究では、このような信号が、どのようにして生成されるのか、そして、どのように利用されるのかという問題に対して、行動学的手法、生理学的手法、薬理学的手法、数理手法を組み合わせ、明らかにしていきます。

中・長期的には、動物実験で得られた知見をもとに、健康なヒトの、もしくは病的な意思決定の構造を分析し、そこで生まれた新仮説を、動物実験で検証するという、動物実験とヒト研究の間で、好循環をおこすことを目指したいと思っています。領域会議では、異分野の方々が一堂に会し、様々な神経科学的手法を用いた実験の話から、実世界や臨床におけるヒトの行動解析、論理学・学習モデルをベースにした理論の話まで、一度に聞くことができる場なので、良いインタラクションが生まれることを楽しみにしています。

Neural mechanism of handling decision uncertainty



参考文献

小村豊：近刊（2012）Journal of Rehabilitation Neurosciences 12, Thalamic involvement in percepts, attention and decision

連絡先

Email : komura-y@aist.go.jp

A03 意思決定を制御する分子・遺伝子

セロトニン神経系の障害をともしう精神疾患における意思決定神経基盤の解明

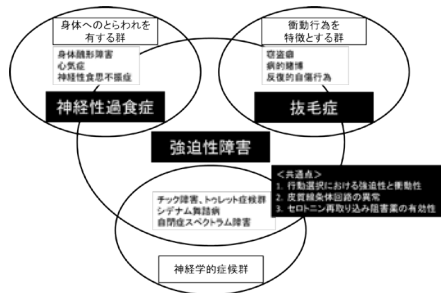
成本 迅（京都府立医科大学大学院医学研究科精神機能病態学・講師）



精神疾患は、いまだに病気の原因が特定されておらず、従来の治療法では改善しない難治性の疾患も多く存在しています。そういった意味で医学の世界における最後のフロンティアであるということが出来ます。

精神疾患においては様々な形で予測と意思決定が障害されていることが観察されてきていますが、とりわけ不潔恐怖にもとづく手洗い行為や、鍵が閉まっているか確認行為を繰り返すことなどを主な症状とする強迫性障害を中心とした強迫スペクトラム障害に分類される疾患は、セロトニン再取り込み阻害薬が効果を発揮することや、神経心理学的研究や脳画像研究の結果から、セロトニン神経系と皮質線条体回路の異常を背景とした予測と意思決定の障害が病態の基盤にあると推測されています。

私たちはこれまで、連携研究者の田中らが開発した異時点間の意思決定を伴う報酬予測課題遂行中の脳活動を機能的MRIにより計測し、数理モデル解析を行うことで、強迫性障害患者では線条体や皮質の報酬予測に関する活動が健常者と異なっているとの結果を得ています。本研究では、さらに強迫性障害と同様にセロトニン再取り込み阻害薬が効果的であることや脳画像研究で線条体皮質回路の異常が報告されていて、共通の神経基盤が想定されているものの、異なる症状を呈する神経性大食症と抜毛症を対象に同様の脳活動計測を行い、多様な精神症状がどのように予測と意思決定の障害やそれに関連する脳活動と関係するかを包括的に解明することを目的としています。このような研究により、人間の意思決定を支える分子機構とその異常の解明が進み、病態生理の理解を基にした革新的な治療法の開発に結び付くものと期待されます。



参考文献

Sakai Y, Narumoto J et al., Corticostriatal functional connectivity in non-medicated patients with obsessive-compulsive disorder. *European Psychiatry* 26: 463-469, 2011

連絡先

URL : <http://www.f.kpu-m.ac.jp/k/psyche/>
Email : jnaru@koto.kpu-m.ac.jp

メンバー

田中 沙織	大阪大学社会経済研究所・准教授
山田 恵	京都府立医科大学大学院医学研究科放射線診断治療学・教授
和田 良久	京都府立医科大学大学院医学研究科精神機能病態学・准教授
中前 貴	京都府立医科大学大学院医学研究科精神機能病態学・助教
西田 誠司	国立病院機構舞鶴医療センター精神科・医員
酒井 雄希	京都府立医科大学大学院医学研究科精神機能病態学

自発行動発現の意思決定機構とセロトニン系の役割

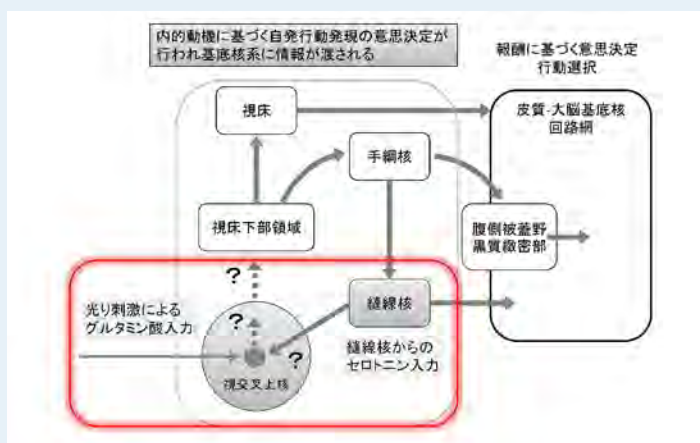
井之川 仁（京都府立医科大学大学院医学研究科神経生理学・講師）



自発的に行動を起こすとき、どのような意思決定過程が中枢神経系において生じているのだろうか。報酬や報酬予測に基づく行動選択の意思決定基盤については、皮質-大脳基底核神経回路が重要な役割を担うことが明らかにになって来ていますが、自発行動発現にどのような意思決定基盤が関わるのかはよく分かっていません。私は、齧歯類が行う輪回し行動を自発行動のモデルとしてこの問題に取り組みたいと思っています。

齧歯類は、夜間に盛んに輪回しを行い昼間はあまり回さないというリズム的な行動を発現します。この行動は、餌や水を自由に摂取出来る状態で、昼夜を区別する光刺激がなくとも、正確な24時間の概日リズムを持って起こる純粋な自発行動であります。この行動の概日リズムの制御は視床下部の視交叉上核により制御されています。さらに、幾つかの研究から、この行動が報酬として強化されているのではないかと考えられています。これらのことから、私は、内的な動機に基づく意思決定機構が、この行動の開始時間や持続時間などの意思決定要因を規定し、皮質-大脳基底核系に伝えられ、実際の行動が発現し行動の強化が起こっているのではないかと考えています(図1)。さらに、視交叉上核には縫線核からの豊富なセロトニン入力があり、自発行動発現の制御に関わっていると考えられています。視交叉上核や視床下部の局所神経回路とセロトニン投射関係の詳細を電気生理学的、薬理学的に調べることで自発行動発現の意思決定に関わる神経回路基盤とセロトニン系の役割を明らかにしたいと思っています。

齧歯類は、夜間に盛んに輪回しを行い昼間はあまり回さないというリズム的な行動を発現します。この行動は、餌や水を自由に摂取出来る状態で、昼夜を区別する光刺激がなくとも、正確な24時間の概日リズムを持って起こる純粋な自発行動であります。この行動の概日リズムの制御は視床下部の視交叉上核により制御されています。さらに、幾つかの研究から、この行動が報酬として強化されているのではないかと考えられています。これらのことから、私は、内的な動機に基づく意思決定機構が、この行動の開始時間や持続時間などの意思決定要因を規定し、皮質-大脳基底核系に伝えられ、実際の行動が発現し行動の強化が起こっているのではないかと考えています(図1)。さらに、視交叉上核には縫線核からの豊富なセロトニン入力があり、自発行動発現の制御に関わっていると考えられています。視交叉上核や視床下部の局所神経回路とセロトニン投射関係の詳細を電気生理学的、薬理学的に調べることで自発行動発現の意思決定に関わる神経回路基盤とセロトニン系の役割を明らかにしたいと思っています。



連絡先

URL : <http://inoblo2010.blogspot.jp/>
Email : inokawa@koto.kpu-m.ac.jp

オキシトシンによる行動選択修飾作用の解明

尾仲 達史（自治医科大学生理学講座神経脳生理学部門・教授）

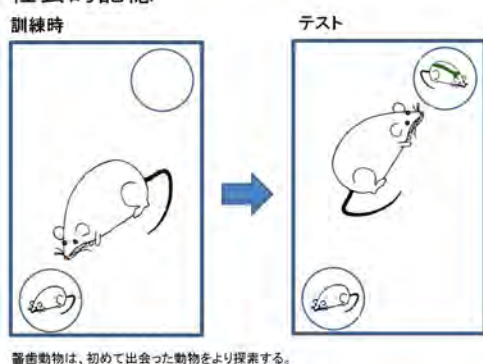


本研究は、出会った相手を覚えて適切な社会行動を選択するのにオキシトシン受容体の活性化が必須であることを証明し、さらに、この行動選択修飾作用を担うオキシトシン産生細胞とオキシトシンの作用部位を明らかにすることを目的としています。

ヒトにオキシトシンを外来性に投与すると、扁桃体の活動が修飾され、相手をより信用した行動を選択すると報告されています。また、オキシトシン受容体遺伝子の遺伝子多型と楽観的な予想を立てる傾向とが関連しているという報告もあります。一方、齧歯動物は見知らぬ相手に対して探索行動を示し、何度か会い慣れるに従いこの行動は減少していきます。このとき出会う前にオキシトシンを投与しておくと、次に会った時の探索行動がより減少します。逆に、オキシトシン受容体を阻害しておいた動物においては、何度合わせても、探索行動の減少が観察されません。従って、オキシトシン受容体が活性化されることが、出会った相手を記憶し適切な社会行動を選択するのに重要であると考えられます。本研究では、まず、安心できる相手と接触することでオキシトシン産生ニューロンが活性化されることを明らかにし、この活性化されるオキシトシン産生ニューロンを同定します。さらに、活性化されたオキシトシン産生細胞から放出されたオキシトシンが、どの脳部位に作用して社会記憶と社会行動の選択を修飾するかを明らかにすることを目指します。この目的のために、様々な遺伝子改変動物を使用し

て、生理学的、解剖学的あるいは行動科学的手法を用い、局所のオキシトシン産生細胞、あるいは、オキシトシン受容体発現細胞の機能を阻害あるいは活性化することで、明らかにしていく予定です。

社会的記憶



参考文献

Onaka T, Takayanagi Y, Yoshida M. Roles of oxytocin neurones in the control of stress, energy metabolism, and social behaviour. J Neuroendocrinol. 2012; 24: 587-598.

連絡先

URL : <http://www.jichi.ac.jp/medicine/about/department/basic/physiology/neurology/index.html>
Email : tonaka@jichi.ac.jp

メンバー

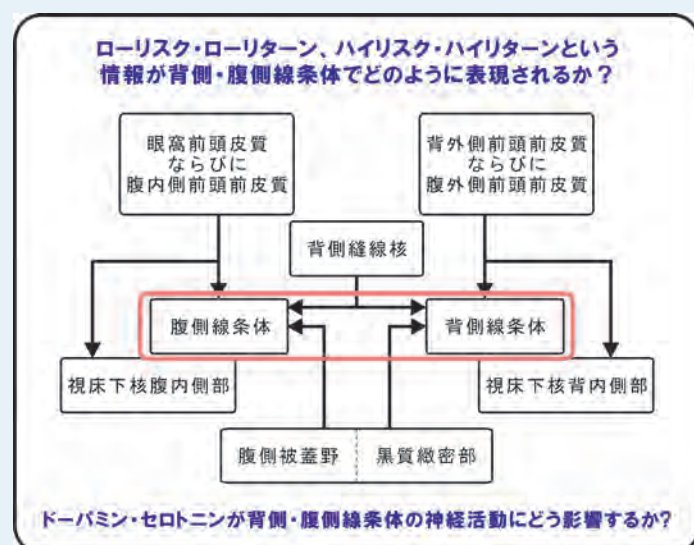
高柳友紀 自治医科大学生理学講座神経脳生理学部門・講師

ハイリスク・ハイリターン、ローリスク・ローリターンを選択する神経基盤と調節因子

橘 吉寿（自然科学研究機構生理学研究所生体システム研究部門・助教）



我々ヒトを含めた動物の行動は、意思決定の連続から成り立っています。慣れ親しんだ局面では、半ば無意識に意思決定を行い、型にはまった行動発現がなされるかもしれませんが、他方、今まで出くわしたことの無いような局面においては、周囲の状況を良く判断し熟慮を重ねた上で、その場に適した行動を選択するかもしれません。一般的に、前者はローリスク・ローリターン、後者はハイリスク・ハイリターンな状況であることが多いのではないのでしょうか。我々の脳のどの領域がこのような状況を反映（符号化）し、また、行動制御に影響を及ぼすかに関しては未だよく分かっていません。本研究課題においては、実験動物（サル）がローリスク・ローリターン、ハイリスク・ハイリターンな状況におかれた際、どのような行動選択をとり、その際、大脳基底核（線条体）ニューロンがどのように活動するかを電気生理学的に記録・解析します。線条体は、解剖学的観点から背側部と腹側部に分けられ、大脳皮質・中脳からの入力様式が異なることから、線条体の背側部と腹側部で異なった機能発現がなされているかもしれません。この点についても、電気生理学と免疫組織化学を組み合わせた手法を用いることでアプローチしたいと考えています。また、近年、ドーパミンやセロトニンといった神経修飾物質が意思決定に関与することが明らかになってきており、これら物質の放出・制御異常と、多動・衝動性行動やギャンブル依存症など精神疾患との関わりも臨床的に示唆されています。本研究では、ドーパミン・セロトニン入力が線条体ニューロン活動に対し、どのような影響を及ぼすかについても薬理学的手法を用いて検討したいと考えています。



連絡先

Email : banao@nips.ac.jp



平成 24 年度の主なイベント

- 第 3 回領域会議 (2012.6.16-18 玉川大学)
- 2012 年度 包括脳ネットワーク 夏のワークショップ (2012.7.24-27 仙台国際センター)
https://www.hokatsu-nou.nips.ac.jp/?page_id=1946
- 脳と心のメカニズム 第 13 回夏のワークショップ (2012.7.26)
<http://brainmind.umin.jp/sm13.html>
- 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) Dr. Nathaniel Daw 招待講演
http://decisions.naist.jp/assets/files/2012_7_27symposium.htm
- ABLE2012 Summer：科学的発見はどう生まれるか (2012.8.5 玉川大学)
<http://cogpsy.sfc.keio.ac.jp/able/>
- Analogical Mind 講演会 (2012.8.6 慶応大学三田キャンパス)
Dr. Dedre Gentner, Dr. Kenneth Forbus 招待講演 <http://cogpsy.sfc.keio.ac.jp/ssw/top.html>
- 21st Machine Learning Summer School'12 in Kyoto (2012.8.27-9.7 京都大学)
<http://www.iip.ist.i.kyoto-u.ac.jp/mlss12>
- 認知科学会サマースクール「知識の表象」後援 (2012.9.4-6 箱根湯本富士屋ホテル)
http://www.jcss.gr.jp/summer_school_2012.html
- 日本心理学会 第 76 回大会シンポジウム (2012.9.11-13 専修大学) <http://www.jpa2012.net>
- 日本科学哲学会第 45 回大会シンポジウム「意思決定・学習・合理性」(2012.11.10-11 宮崎大学)
- 第 4 回領域会議 (2012.11.16-18 京都市)
- 脳と心のメカニズム第 13 回冬のワークショップ (2013.1.9-11 ルスツリゾート)
Dr. Kent Berridge 招待講演