

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9回 機械学習と脳科学 杉山 将 × 銅谷 賢治	
特集 2 論文紹介	11
Double Virus Vector Infection to the Prefrontal Network of the Macaque Brain (坂上 雅道)	
Hyper-influence of the orbitofrontal cortex over the ventral striatum in obsessive-compulsive disorder (成本 迅)	
Surprise signals in the supplementary eye field: rectified prediction errors drive exploration-exploitation transitions. (坂本 一寛)	
特集 3 大会参加記	14
A report about participation in ISSA (濱田 太陽, Ray Lee)	
International Symposium on Prediction and Decision Making 2015 参加記 (藤野 純也)	
第10回領域会議 参加記 (Tom Macpherson)	
脳と心のメカニズム第16回冬のワークショップ 参加記 (吉澤 知彦)	
イベント情報・Vol. 8 訂正箇所について	19

表紙図 出典

Abe, Y., Sakai, Y., Nishida, S., Nakamae, T., Yamada, K., Fukui, K., and Narumoto, J.

Hyper-influence of the orbitofrontal cortex over the ventral striatum in obsessive-compulsive disorder, European Neuropsychopharmacology, 25, 1898-1905, 2015



予測と意思決定：班員として領域の活動を顧みると共に更なる発展に期待する

木村 實

玉川大学 脳科学研究所

新学術領域「予測と意思決定」は沖縄科学技術大学院大学の銅谷賢治先生を代表者として5年間精力的に活動してきましたが、今年3月に終了します。私は、計画班員の一人としてシステム神経科学の立場から領域の研究に参加しました。

現在、予測と意思決定に関する神経科学研究は、実験動物を対象とする脳の神経回路基盤、ヒトの行動と脳機能を中心に世界中で活発に行われ、成果が一流科学誌に毎号掲載される花形の研究テーマになっています。この領域では、遅延報酬待機における背側縫線核セロトニン系の役割 (Amou et al., 2014 他)、推移的推論における前頭前野と線条体の役割 (Pan and Sakagami, 2012 他)、意思決定制御におけるセロトニントランスポーターの役割 (Takahashi et al., 2012)、恐怖・不安と意思決定におけるゼブラフィッシュ手綱核の役割 (Okamoto et al., 2012 他)、大脳基底核直接路・間接路の報酬獲得、嫌悪回避における役割 (Hikida et al., 2013 他) をはじめとして影響力のある成果を多数発表しました。

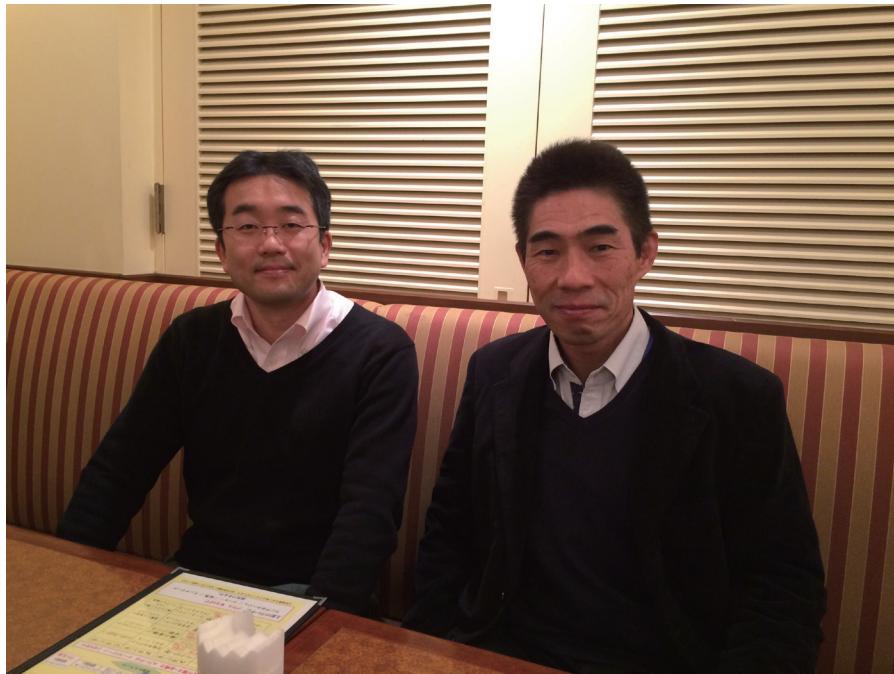
銅谷領域代表の方針は、モデルフリー対モデルベース強化学習、脳内シミュレーションを実現する神経回路基盤などのテーマに、A01: 行動と意思決定の計算理論、A02: 意思決定の神経回路機構、A03: 意思決定を制御する分子・遺伝子という3分野から、総力を挙げて取り組むことでした。意思決定に関する重要で独自性の高いテーマであり、多数の重要な発見によって着実に進歩した一方、解き明かすべき新たな謎も明らかになりました。現状では困難であると思われるこの謎を解くことが、花形の研究テーマである「予測と意思決定」の理解を飛躍的に進めると期待されます。そのカギとなるのは、光遺伝学、化学遺伝学、顕微内視鏡、DNA編集を含む先端技術を有効に利用することによって、神経細胞・局所回路・領域間の機能システムの因果関係を知ること、脳機能システムの計算原理を知ること、そのポイントは、それらが独創的な研究戦略で実施されることであると考えます。この領域研究から生まれたアイデアと幅広い分野の研究者の連携、更に若手研究者の自由な発想と高い潜在能力に期待したいと思います。

「予測と意思決定」リレー対談：第9回

東京大学 大学院新領域創成科学研究科 複雑理工学専攻 教授



杉山 将



● 盛況だった NIPS2015

▼杉山：今日はどうぞよろしくお願ひいたします。

■銅谷：よろしくお願ひいたします。2015年12月、機械学習と計算神経科学をテーマとする世界的な会議、NIPS (Neural Information Processing Systems) コンファレンスがカナダのモントリオールで、開催されました。杉山さんはその組織委員会で、プログラムチアーズ（プログラム議長）を務められました。ご苦労様でした。

▼杉山：お越しいただき、ありがとうございました。

■銅谷：杉山さんは日本を代表する研究者として、あれだけのプレステージの高い学会を仕切られた。僕らにとっても誇るべきイベントだったと思います。

▼杉山：あの会議のために投稿された論文の投稿数は、去年と比べ、10%ほど増えていました。参加者の数は2500から3800へ、1.5倍の増加です。この分野の世界的な盛り上がりを感じるイベントでした。

■銅谷：NIPSは、元々、ニューラルネットワークとか、計算神経科学をテーマとする研究者の集まりとしてはじ

● 多彩な研究テーマ

■銅谷：ええ。長い年数が経過しているので、参加者は僕の全然知らない人や若い人ばかりだろうと予想していたんですが、昔からやっている人たちをポツポツと見つけることができました。懐かしい顔に会えて楽しかったですね。杉山さんはプログラムチアーズとして投稿論文をご覧になって、最近の傾向についてどんな特徴があると感じられましたか？

▼杉山：ニューラルネットワークに関する研究がたしかに増えましたが、それほどでもないという気もしました。世間の関心の盛り上がりを見ると、ニューラルネットワークに関する研究が半分以上になんておかしくなかったのですが、フタを開けてみると、ニューラルネットワーク、その中でもディープラーニングを第一カテゴリーとして選んだ論文は10%ほどしかなかったですね。ディープラーニングに強い関わりのある画像認識、音声認識を扱う論文を含めても20%ほどです。思ったほどディープラーニング一色ではありませんでした。

機械学習と脳科学

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：学会でも、2日目はディープラーニング系の発表が多かったですね。しかし、初日はもっと幅広い話が聞けました。

▼杉山：そうですね。理論の研究者は、ブームが来たからといって、急にテーマを変えられません（笑）。ディープラーニング関連以外の論文で扱われるトピックは多様で、全論文数に占める割合がそれぞれ3、4%しかありませんが、様々なトピックが、この分野を埋めています。

■銅谷：発表を聞いて、僕が個人的に面白いと思ったのは、ズービン・ガラマーニ（Zoubin Ghahramani ケンブリッジ大学）の試みです。ガラマーニが最初に発想したわけではないかもしれません、彼らは probabilistic programming といって、データを生成するプログラムを生成モデルとして機械学習に使うという考え方を広めています。それと、NIPS と同じ時期、ジョシュ・テネンバーム（Josh Tenenbaum マサチューセッツ工科大学）たちが Science 誌に論文を出して、一見わけのわからない手書き文字でも、そのストロークをちゃんと学習できて、新しいサンプルも生成できることを示した。ただのフィード・フォワード・ネットワークではなくて、生成モデルを使ったアーキテクチャや手法が生まれつつある。僕自身、昔からそこに興味があったのですが、機械学習の分野でも、同じ関心が再び高まりつつあると感じられて面白かったですね。

▼杉山：元々、機械学習の分野でも、生成モデルを推定するアプローチと、識別モデル（サポートベクターマシンなど）を学習するというアプローチがあって、両者が競い合ってここまで発展してきました。近年のディープラーニングのブームでは、IT 業界が牽引する形で、どちらかというと識別モデルのほうが優勢です。一方、restricted Boltzmann Machine を使うような生成モデルも昔からコツコツ研究されてきて、最近、勢いづいています。

■銅谷：ラスラン・サラクトディノフ（Ruslan Salakhutdinov トロント大学）も、「ヘルムホルツマシンの逆襲」として、新しいバージョンを考えているそうですね。そのへんの展開は今後、面白そうですね。さらに言えば、そういう動きに食い込んでいけるように、自分たちも新しい研究をしなければならないとも思いますね。

▼杉山：そうですね。この分野では欧米が圧倒的に先を走って、日本は出遅れている印象があります。何とか我々も頑張って、食らいついでいかないといけないですね（笑）。

基礎研究と実用研究

■銅谷：杉山さん自身はここ数年、カーネル関係を主に研究され、最近は密度比推定などをされるようになったのですか。

▼杉山：カーネルにそれほどこだわっていたわけではないのですが、使いやすいモデルの一つとして利用してきました。機械学習の研究には、学習法開発の軸と、新しいモデル作成の軸があると考えています。私は主に取り組んでいるのは、学習法の研究です。問題に合わせて、カーネルや、たまにニューラルネットをモデルに使ったりしています。新しい問題に適用できる、新しい学習法を作ることに特に興味を持っているのです。今おっしゃっていただいた密度比推定は、そういうアプローチの一つです。それによって、まだ解かれていない基礎の問題を解いたり、すでに解かれている問題を効率よく解くアルゴリズムを見つけたりしています。

■銅谷：最近は、最小二乗法のような考えがありますね。これまで使えないと考えられていた対象に使える。

▼杉山：そうですね。アルゴリズムを使いやすくするという意味で、強調している側面はありますが、本当のところは新しい学習の枠組みを提案するのが研究の主旨です。いろんな実装の仕方があります。凝るといいくらでも難しくできるのです。論文を書くときは難しい問題を解かないといけませんが、実際に世の中の人に使ってもらうためには、シンプルでわかりやすいものがいい。そこで、新しく作った学習法の、最小二乗法版をあらためて考え直した。これを使うと、ものすごく短いプログラムで、それなりの性能を出せます。学術向けと一般向けの両輪を使い分けようとしています。理論的な追究が必要な場合は、凝った方法を取りますし、実用性を重視する場合は、カーネルを使った最小二乗法を考えると、シンプルなアルゴリズムで書けます。

■銅谷：杉山さんは最初、どういうきっかけで機械学習に取り組むようになったのでしょうか。

「予測と意思決定」リレー対談：第9回

東京大学 大学院新領域創成科学研究科 複雑理工学専攻 教授



杉山 将

▼杉山：大学で私は情報工学を学んでいたので、最初はプログラミングが好きだったのですが、しばらくするとプログラムを書くことそのものにあまり喜びを覚えられなくなってしまったのです。一方で、何のプログラムを書くかということに興味が移りました。そこでもう少し数学的なことを学ぶべきだと思うようになった。それが大学4年の時でした。同じ頃、コンピュータに知能を持たせる分野にも興味を持って、数理的な立場から人工知能の研究したいと思ったのが、この分野に入ったきっかけです。

■銅谷：関心領域を変えてから、確率統計などの勉強をされたんですか。

▼杉山：そうなんですよ。恥ずかしいことに大学院に入るまで、プログラミングの勉強ばかりしていました。大学院での私の指導教官は、確率統計は使わない機械学習の専門家でしたが、この分野では確率統計の知識が必要だと感じて、独学で勉強しました。

■銅谷：コンピュータ科学や情報科学といった分野では、プログラミングは必要だけれども、その知識と基礎的な数学力がマッチしていないと、新しいアルゴリズムを作るときに限界にぶつかると思いますね。

▼杉山：ええ。自分では学生時代にやっていなかったのに、最近では講義で、学生たちに、「今はプログラミングだけじゃなくて数学もやらないとダメですよ」とか「英語もできないとダメですよ」と言っています。あれもこれもやれと言われる今の学生は大変だという気もするのですが（笑）。

■銅谷：数学を含んだ融合研究が大事だと思います。数学もまた、数学だけ勉強するつまらないですね。僕も学部生の頃、数学を勉強する意義がよくわからなかつたけれども、たとえば計算しながら数学をすると具体的なイメージも掴める。新しい勉強の仕方があるんじゃないかなと思いま

たと思うんですが、どういうきっかけで脳科学に興味を持たれたんですか？

■銅谷：計数工学科を選んだのも、学科の紹介冊子に、「生体情報工学」という聞き慣れない言葉が書かれていて、「これは一体何だ」と思ったのがきっかけです。元々、脳には興味はありましたが、生理学的な興味ではありません。物を作るのが得意だったので、脳を作ることで脳を理解するのがいいんじゃないかと何となく思っていました。そういう研究がすでにあるとは知らなかったのですが。計数工学科に入った後、数学の講義ではわけがわからなくてついていけないことがよくありました（笑）。でも、大学院に入つて、自分なりのアルゴリズムを考えるとき、関数解析や確率統計が大事だということがだんだんわかつてきました。それでもう一度勉強しなおしたのです。1980年代後半、僕が修士を出た頃、コネクションリストームの時代が到来しました。そこで自分自身も、リカレントニューラルネットワークの学習アルゴリズムの研究に取り組みました。ところが、研究室にはすごく数学のできる後輩がいっぱいいた（笑）。そこで、ずっとアルゴリズムの開発をやっていくよりも、計算アルゴリズムと脳の世界の間をつなぐ研究をするのが自分にとっては面白いだろうと思ったんです。ドクター取得のための学位審査の翌日、学位が取れたかどうかわからないうちにUCSD（カリフォルニア大学サンディエゴ校）の生物学科でポスドクを始めました。

▼杉山：工学から生物へいきなり移られたわけですね。

■銅谷：その頃のサンディエゴは、コネクションリストームのメッカと言っていい場所でした。所属する研究室は生物学専攻だけれども、今で言う計算神経科学の研究者が周囲にたくさんいることがわかつてました。それでUCSDに行つたのです。

▼杉山：そのご経験は、これからドクターに進む、あるいはポスドクになろうとしている学生には非常に参考になりますね。自分の興味に従つて進んでいくことが大事ですね。

● 工学と生物学で脳を理解する

▼杉山：今は大学で学ぶ数学が社会にまさに役に立つ時代です。そういう意味で、今の学生は、基礎的な勉強をするモチベーションを持ちやすいですね。銅谷先生も、東京大学工学部の計数工学科のご出身なので、数学を勉強をされ

● 環境の変化がイノベーションのきっかけに

■銅谷：身を置く環境を変えると、勉強になることが多いですね。生活も研究もすべて英語で行うことは自分自身のトレーニングになりましたし、普通の大学院生が偉い先生

機械学習と脳科学

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



に素朴な質問を平氣である場面もたびたび目にして、学問に対する姿勢を考え直すきっかけにもなりました。

▼杉山：大学にいると、今、海外に留学する日本人学生が昔より明らかに減っていることを痛感します。若いうちに海外経験を積むことはやはり重要でしょうか？

■銅谷：そうですね。物事の考え方については文化的な要素がかなり影響を与えると思います。既存の学問に少しずつ別の考え方を付け加えていくのではなく、新しい切り口を見つけようとするとき、日本の文化とは違った発想の仕方、研究の仕方を学ぶことは有益ですね。学生たちが海外に出なくなった理由の一つは、日本の研究環境が昔ほど悪くないからでしょう。しかし可能であれば、たとえばアメリカやヨーロッパで勝負してまた日本に戻ってくる人が増えればいいと思っています。それと同時に日本の大学自体も、国際化しなければならないと思います。

▼杉山：そういう意味で、銅谷先生が在籍する OIST（沖縄科学技術大学院大学）は日本の中では一番国際化が進んでいる大学ですね。

■銅谷：やればできることを示すのが、OIST の役目の一つでしょうね。最近、奈良先端大（奈良先端科学技術大学院大学）も、大学院の授業は基本的に英語で行われるようになっています。少なくとも大学院レベルでは、授業を英語にして、世界中からいろんなバックグラウンドを持った人を集めしていくべきだと思います。

● 存在感を増す中国と韓国

▼杉山：NIPS にも、中国や韓国から多くの人が参加していましたが、中国や韓国の人たちはみんな英語がうまくて、欧米人のコミュニティーに溶け込んでいる印象を受けました。一方、日本人はどちらかというと日本人だけで集まっている。

■銅谷：機械学習の分野でも、神経科学の分野でも、中国や韓国の人たちの存在感が、この 3、4 年でずいぶん変わりましたね。僕は、「Neural Networks」という雑誌の編集長を務め、杉山さんにも編集委員をしていただいているけれども、しばらく前まで、中国から投稿される論文の多くはひと目見て、リジェクトと判断できた。しかし最近の中国の論文はきちんと勉強して、練られているものが増え

ています。その背景として考えられるのは、アメリカやヨーロッパに留学して研鑽を積んだ後、自国に帰った中国人、韓国人が増えたことでしょうね。彼らのレベルが世界のスタンダードに追いつき、今やボーダー自体がなくなつた。そういう印象を受けます。

▼杉山：中国や韓国で、いい大学の職を得ようとすると、自分の大学ではなく、アメリカの有名大学でドクターを取って帰ってこなければならないというウワサを聞いたことがあります。

■銅谷：日本も世界的なネットワークの中に入していくことが重要だと思いますね。

▼杉山：そこを我々も大学の教員として、頑張って促進していくしかないといけないですね。

● ディープラーニングブームの行方

■銅谷：最近、日本でも人工知能ブームが広がっていますが、そのきっかけの一つにグーグルによる華々しいデモがあるのでしょう。杉山さん自身は、この分野における日本の、また世界のリーダーとして活躍されておられますか？

▼杉山：今は、特にアメリカの産業界の勢いが強いですね。この分野に何千億円という単位の研究費が投じられているアメリカに、大学レベルでコツコツ研究している日本が立ち向かうのは難しいと感じています。しかし、企業で大規模なデータを取って、巨大なディープネットワークを学習する研究が発展していくのはいいことだと思いますが、それがすべてではないと考えています。大規模なデータを大きなネットワークをトレーニングして解ける問題はよいですが、原理的にデータを大量に取得することが不可能な問題も無数にある。そういう問題が最近、軽視されてきていることを懸念しています。ディープラーニングブームは今後数年間続くと思いますが、解ける問題は解け、解けない問題は解けないままでブームは終わるのではないか。データをたくさん取れない問題に対する基礎研究はやはりコツコツと続けていかなければならぬと感じています。

■銅谷：ディープラーニングを使えば、どんな問題でも解けてしまうという素朴な期待を抱いている人も多いと思います。しかし、ディープラーニングにはまず大量のデータ

「予測と意思決定」リレー対談：第9回

東京大学 大学院新領域創成科学研究科 槍谷教授



杉山 将

がないといけない。単にビッグデータといっても、横方向にビッグなのか、縦方向にビッグなのかという問題がある。

▼杉山：サンプル数と次元の関係ですね。

■銅谷：次元の多いデータは、これをうまく使いこなすことができれば、有用だけれども、サンプル数が限られている中で高次元のデータをどう扱うのか。これは簡単な問題ではなく、まだまだ研究の余地がありますね。

▼杉山：機械学習のコミュニティーでも、もう少し応用に近い分野では、何でもディープ（ラーニング）に関わらないと、論文が通りにくくなりつつある状況があります。しかし、先ほどのNIPSや、ICML（International Conference on Machine Learning）という機械学習に関する有名な国際会議では、基礎を大事にするカルチャーが残されています。ディープラーニングが勢いを増してきた一方で、これまで通りの地に足のついた基礎理論の研究も高く評価されているので、今のところこの業界は大丈夫だろうと思っています。

● ビッグデータがすべてではない

■銅谷：杉山さんご自身は企業の方と共同研究もされていますが、様々なデータをどう活用できるかという点に、企業は問題意識を持っているのですか？

▼杉山：実際のところ、データがいろいろあればいいのですが、データはないけれどもやりたいことがあるという場面が多いんですね。企業としても、ある程度何ができるかわかつてからでないと、プロジェクトをスタートできない。そこでまずは2、3人の社員から集めたちょっとしたデータを使って何かできないかと相談を受けることが多い。ビッグデータがすべてではないと感じているのは、そういう経験をしているからでもあります。

■銅谷：何ができるかはデータの種類、質、数などいろいろ関わってきますね。先日のNIPSにおけるテネンバームたちは、ワンショットラーニングを宣伝していました。人間は1～数個のサンプルを示されると、そのカテゴリーを判断してしまう。それはなぜなのかを研究のテーマにしていました。そういう方向の研究は面白いなと思って、その後フォローしています。

▼杉山：これまでの統計的学習のパラダイムを超えるテー

マですね。理論的にはサンプル数がnだと、学習の汎化誤差はn分の1程度でしか減っていないことが示されているので、統計的にはそれを超えることができない。しかし、人間はそれをはるかに超える速さで学習しているわけです。人間は何らかのバイアス、あるいは前提知識を利用して、学習しているのでしょうか。その仕組みの解明は、人間を超える人工知能実現のための王道だと思いますね。

■銅谷：生き物の進化の過程で、どういうものをカテゴライズするか、どういう条件を仮定するかといったプライヤーみたいなものが脳の生得的な回路の中に埋めこまれているでしょう。それと、別の問題で蓄えてきた経験や知識が、新しい局面でうまく利用できるような仕組みもある。脳の学習のプライヤーは何なのか、経験や知識のトランസファー（転送）を可能にする仕組みは何なのかについては、脳科学の問題としても面白い。それがわかれば、人工知能にも応用できる可能性が出てきますね。

● ニューロブーム、再び

▼杉山：第二次ニューロブームの頃は、脳から学ぼう、生物から学ぼうという気概が人工知能学者にありました。しかしその後、どちらかというと数学的に研究することがよいという風潮が生まれて今に至りますが、最近再び、脳から、生物から学ぼうという機運が高まっています。一方で、数学的な理解もこの10年で進み、1980年代、1990年代よりもはるかに複雑な解析ができるようになった。これからは脳から学んだことを数学的にバックアップすることによって、これまで以上に優れた学習システムを作ることができるのではないか。そういう意味で、この分野はこれから盛り上がりっていくだろうと期待しています。

■銅谷：具体的にどのように脳から学ぶことができるのかについては、いろいろな議論があると思います。このNIPSの中で開催されたBrains, Minds, & Machinesというシンポジウムの一部に僕も参加しました。最初に講演したトマソ・ポッジオ（Tomaso Poggio マサチューセッツ工科大学）が研究の基礎には、やはりヒューベルとウイーゼルの特徴抽出細胞があって、福島邦彦先生のネオコグニトロンがあって、今のディープラーニングがあるという話をしていました。他にも何人か、（ディープラーニングの）

機械学習と脳科学

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



源流はネオコグニトロンにあると言及する方がいた。その一方、ヒューベル、ウィーゼルくらい昔のニューロサイエンスはよいとして、最近のニューロサイエンスの発見が機械学習や人工知能にどう寄与しているかというと、あまり寄与していないのではないかと言う人もいた。そのあたりについてはどうでしょうか。これからどういう形で人工知能学者は脳から学んでいけばいいのか。

▼杉山：そこが研究にチャンスを与えてくれる部分ですね。
■銅谷：回路図だけ眺めても回路の動作原理は分からぬのと同じで、脳のデータだけによって、アルゴリズムを抽出することは結構難しいと思うのです。それでも神経活動を記録するとどういう表現を使って処理しているかはある程度推測できる。その知見が機械学習にもヒントを与えることになると思います。たとえばスパースネスの概念もそうですね。この概念が理論的に生まれたのか、実際に観測されたのかわからないけれども、いずれにしても神経科学の世界で知られていたことが、ラッソ（L1 正則化）などのアルゴリズムに使われているわけですね。脳科学のデータが直接、機械学習のアルゴリズムにつながることはないかもしれないけれども、表現のレベルでヒントを与えることはこれからもあると思うんですね。

▼杉山：モデルも学べますね。まさに今のディープラーニングのモデルは、福島先生のネオコグニトニアーキテクチャや、脳科学から学ぶことができた部分です。アルゴリズムについては今のところもう少し数学的な立場から攻めていくのが自然だらうと感じています。

■銅谷：どういう機能が実現できるのかという視点も重要なと思います。人間という学習システムがちゃんと動いているわけですが、何が人間の学習システムを可能にしているのか。その要素を明らかにすれば、機械学習が実現すべきターゲットもはっきりするからです。

▼杉山：神経科学の分野と工学的な機械学習の分野はこれまで以上に切磋琢磨し合って発展していく気がしますね。

今後の展望

■銅谷：杉山さんは、これから 10 年、あるいは 20 年、どんな展望を描いていらっしゃいますか？

▼杉山：それは非常に難しい質問です（笑）。あまり遠く

のゴールを設定していませんが、基礎的な、地味な研究をつづけていきたいというのが正直な気持ちです。機械学習に関してまだわかっていないことはたくさんありますし、ちょっとでも改良すれば世の中に役立つ学習システムは無数にあります。そういう課題を一つずつ解決して、いずれ人間に匹敵する知能を持つ機械を開発できればと考えています。

■銅谷：機械学習には関数近似とか、教師なし学習の表現学習とか、個別の学習方式の開発は重要ですが、僕がもっと必要だと思うのは、それらを含めた全体のシステムに関する理解です。今のところ、アドホックに組み合わせて動かしている印象がありますが、パターン認識なり、関数近似なり、要素がいろいろあったとき、それをつなげて全体としてうまく動くシステムを実現するための、システムレベルでの情報処理というか、学習システムがこれから求められるのではないかと考えています。

▼杉山：今のところ、そういう問題についてはあまり研究が進んでいない状況ですね。

■銅谷：この問題を数学的に定式化するところからはじめなければならないわけですが、そちらについても是非アイデアを出していただければありがたいです。

▼杉山：銅谷先生のご興味も人工知能に移りつつあるのですか？

■銅谷：元々、ニューラルネットの学習の研究をしていましたが、特に沖縄に移ってからこの 10 年くらいは、ラットの実験施設を作って、実際の動物の脳の中の回路や物質がどういう働きをしているのかを探ってきました。しかし僕にとって脳を理解するとは、脳に相当をする物を作り、動かしてみて理解することなんです。元々、そういう立場から研究活動をスタートさせました。だから、原点に戻って、これまでに得た動物の脳に関する知識をベースに、動くシステムを作りたいと思っています。

▼杉山：私が強化学習の研究を始めたきっかけは銅谷先生の昔の論文を読んだことです。ロボットを動かしてこんなことが本当にできるんだと感銘を受けました。

■銅谷：今、僕らは Android のスマートフォンを使って動くロボットを作っています。今、普及しているスマートフォンの CPU は僕らが大学院生時代に使っていたコン

ピューティのCPUより数倍、数百倍高いパフォーマンスを持っているので、それを使わない手はない。そうすると比較的低いコストで、かなりの計算パワーを備えたロボットをすべての人が1台、あるいは複数台所有することが可能になります。最初はある程度作り込みをするだろうけれども、センサーからアクチュエーターまでをつなぐシステムがなるべく自然な形で学習して、必要なモジュールが自己組織化していくような仕組みを作るというのが僕の夢の一つですね。

▼杉山：これからこの分野がどんどん発展していきそうで、楽しみですね。

■銅谷：ロボットの脳を作ることもしたいし、脳の、特に大脳基底核の回路、大脳皮質の回路がどう機能しているのか、どうしてメンタルシミュレーションのようなことができるのかといった謎を明らかにすることも是非やりたいですね。今、進めている新学術領域研究の予算で購入した二光子顕微鏡を使って、僕の研究室の船水（章大）君が頑張ってくれたおかげで、マウスがPOMDPというか、不確かな環境の中で活動しているときに、ニューロンがどう動いているのかが観察できるようになってきています。そういう現象を観察するのと同時に、それをモデル化して、シミュレーションを走らせて理解することもしてみたい。実際に得られる詳細なデータと比較できる程度の大脳基底核、大脳皮質のモデルを作ることを目指してこれからも研究をつづけていきたいですね。

▼杉山：我々は理論しかやっていないので、実際にデータを取って研究されているのはすごいといつも感じています。

■銅谷：データが膨大になればなるほど、それを解析するための技術が重要になってきます。その意味で、機械学習の重要性もこれからどんどん高まっていきますね。今、僕らは日本の「革新脳」というプロジェクトに関わって、マーモセットの脳を調べて、構造やアクティビティのデータを系統的に取得しています。これから先、このような形で取ったデータをどう活用して、どういう理解につなげていくかが重要になるでしょう。これまで誰も思いつかなかった解析の仕方、データの使い方が必要になる。その点、機械学習に素養のある学生さんに、実際に大量のデータを与

えて、何ができるか試す、ハッカソンみたいな試みを是非やってみたい。

▼杉山：いろいろなアイデアがあって素晴らしいですね。この対談企画も今回で10回目で、今年度で、5年間の新学術領域研究も終わりを迎えます。私は6年前、銅谷先生に、このプロジェクトに入りませんかと声をかけていただいて、その当時、脳に関する研究はしておらず、純粋に機械学習しかやっていませんでした。しかし、このプロジェクトに参加したおかげで、5年間、いろいろな脳研究者と交流の機会があり、かけがえのない経験をさせていただきました。

■銅谷：同じ領域のメンバーとして、難しい疑問にも答えていただけて、こちらとしてもありがとうございました。

▼杉山：銅谷先生はプロジェクト終了後の展望はどうお考えですか。

■銅谷：人工知能と脳科学に対する関心が非常に高まっている状況なので、この二つをしっかりとあわせる新学術領域を作るべきだという提案を出しているところです。ヒューベル、ウィーゼルからはじまった階層ネットワークでのパターン認識の理解が進み、強化学習の理論から報酬予測誤差が大事だという着想でドーパミンニューロンの活動の解釈が可能になり、それを元に、大脳基底核に関する理解がこの20年一気に進んだ。こうした成功例を超えるブレイクスルーを実現するには、脳科学、人工知能、機械学習の新たな発見と発想を組み合わせる必要があります。そういうことができるような新学術領域が求められていると思います。

▼杉山：本日はどうもありがとうございました。



Double Virus Vector Infection to the Prefrontal Network of the Macaque Brain

Mineki Oguchi, Miku Okajima, Shingo Tanaka, Masashi Koizumi, Takefumi Kikusui, Nobutsune Ichihara, Shigeki Kato, Kazuto Kobayashi, Masamichi Sakagami
PLoS ONE 10(7): e0132825, 2015.

脳における情報処理は各領域間に複雑なネットワークを形成することで行われています。脳における情報処理機構を理解するためには、ネットワークを構成する各々の神経回路に対して操作的な介入を行い、その機能を個別に特定してゆく必要があります。近年、こうした神経回路選択的な操作技術として、遺伝子操作技術と光遺伝学や薬理遺伝学を組み合わせた手法が注目を集めています。しかし、こうした手法の適用はこれまでおおむねげつ歯類に限られてきました。

本研究で、私たちは、マカクザルにも適用可能な手法として「ウイルスベクター2重遺伝子導入法」に着目し、その前頭前野ネットワークを用いて当該手法の有効性を検証しました（図1）。2重遺伝子導入法では、逆行性と順行性にそれぞれ感染可能な2種類のベクターを用います。本研究では、2頭のサルを被験体とし、それぞれの大脳の片半球では前頭前野外側部（LPFC）から大脳基底核の線条体尾状核（Cd）へ投射する経路を、もう片半球ではLPFCから前頭眼野（FEF）へ投射する経路を標的としました。まず、標的経路の投射先であるCdないしはFEFに組み換え酵素のCreを組み込んだ逆行性ベクターを打ち込みます。逆行性ベクターとしては、サル2頭に対してそれぞれアデノ随伴ウイルスベクターの9型（AAV9）とHiRet（Highly efficient Retrograde gene transfer）ベクターを用いました。逆行性ベクターは投

射先領域にある軸索終末を介して投射細胞の細胞体へと移行し、その細胞体でCreが発現します。次に、mCherryを組み込んだAAV5を標的経路の投射元であるLPFCに打ち込みます。mCherryはdouble-floxed inverted orientation (DIO)システムに逆向き

で挿入されており、Creを触媒とする組み換え反応によって反転し発現可能となります。したがって、この2重遺伝子導入法によって、2重に感染が生じた細胞でのみ、つまり、LPFC-Cd経路およびLPFC-FEF経路を構成する特定の投射細胞のみにmCherryが発現することになります。

結果、私たちが標的とした4つの半球のすべてでmCherry陽性細胞が確認されました（図2）。このことは、二重遺伝子導入法を利用した神経回路操作がマカクザルの前頭前野ネットワークでも機能しうることを示唆しています。ヒトにおける思考や推論を介した複雑な意思決定は、高度に発達した前頭前野のネットワークによって可能になっていると考えられます。マカクザルはヒトと多くの高次認知機能を共有しており、その前頭前野ネットワークでの神経回路選択的な操作は、意思決定研究において非常に強力なツールになると期待されます。（小口峰樹）

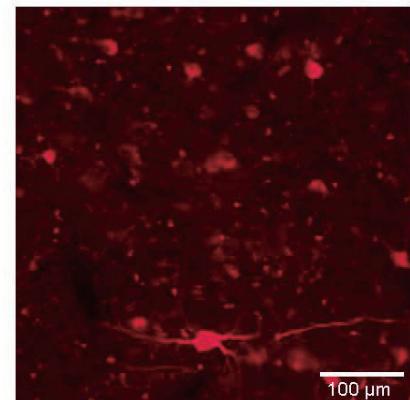
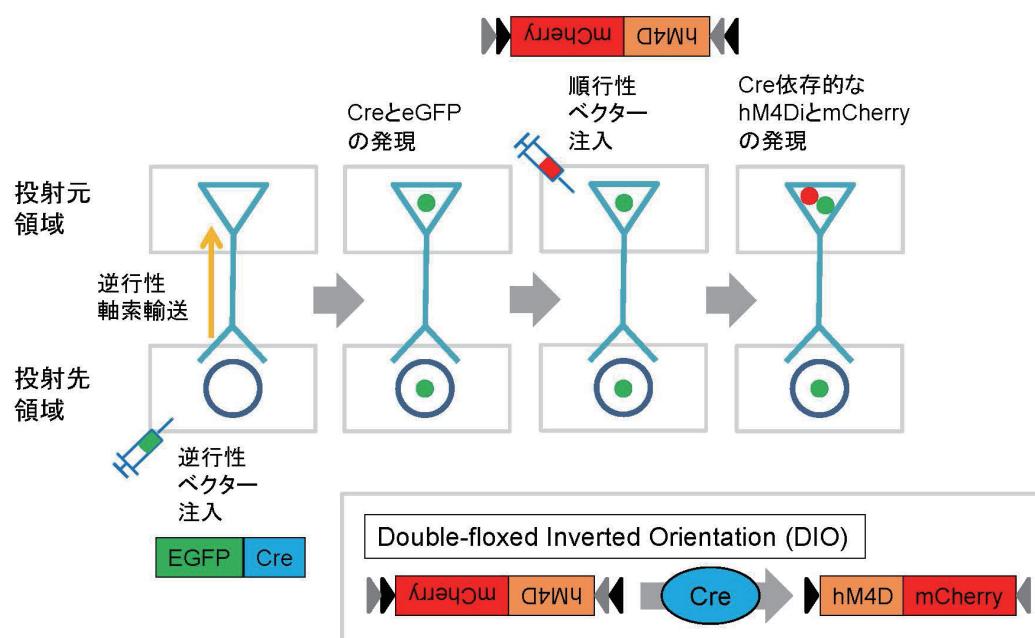


図2 LPFCのCd投射細胞におけるmCherryの発現



Hyper-influence of the orbitofrontal cortex over the ventral striatum in obsessive-compulsive disorder

Yoshinari Abe, Yuki Sakai, Seiji Nishida, Takashi Nakamae, Kei Yamada, Kenji Fukui, Jin Narumoto
European Neuropsychopharmacology 25(11) 1898–1905 (2015).

強迫性障害は侵襲的な強迫観念が繰り返し思い浮かび、それを打ち消すための強迫行為に多大な時間と労力を費やす精神疾患である。患者は日常生活動作や社会的に必要な行動よりも強迫行為を優先して行ってしまい、予測と意思決定も障害される疾患である。生涯有病率が2～3%と高率な上に経済的損失も多大だが、現在確立されている治療法のみでは約70%の患者にしか治療効果が得られず、さらなる病態の解明が望まれている。脳炎、脳梗塞、脳出血などの器質的病変を契機に発症ないし寛解することが知られており、これらの病変の分布から強迫性障害の病態には前頭葉眼窩面を通る皮質線条体回路の関与が示唆されてきた。強迫性障害患者における安静時機能的MRI画像の機能的結合解析でも前頭葉眼窩面と腹側線条体の過結合が繰り返し報告されている。さらにマウスの実験では、前頭葉眼窩面から腹側線条体へ投射する線

維を光遺伝学の技術を用いて繰り返して刺激すると強迫症状の繰り返し行動が誘発されることが示されている。これらの知見から我々は強迫性障害患者の皮質線条体回路における前頭葉眼窩面から腹側線条体への過剰な入力が強迫症状を形成しているとの仮説を立てるに至った。一方で機能的結合は空間的に離れた脳領域で同時に起こる脳活動の相同性と定義され、脳領域間の影響の方向性についての情報は検討されない。脳領域間の方向性を持った影響力を検討するための手法として影響性結合解析が注目されている。本研究では、強迫性障害研究で初めて影響性結合解析を行った。37人の無投薬強迫性障害患者と38人の対照健常者を対象に安静時機能的MRI画像を撮像し、影響性結合解析を行ったところ強迫性障害患者においても前頭葉眼窩面から腹側線条体へ過剰な影響が及ぼされていることを同定した（図1）。前述のマウスの実験では神経線維を繰り返し刺激することで脳の基底状態の機能が変化し、強迫症状の行動が誘発されたが、本研究ではすでに強迫性障害を発症している患者においてマウスの実験で同定されたのと同様の脳の基底状態の機能の変化を確認した。この変化は強迫性障害を発症する機序に関わっていると思われる。

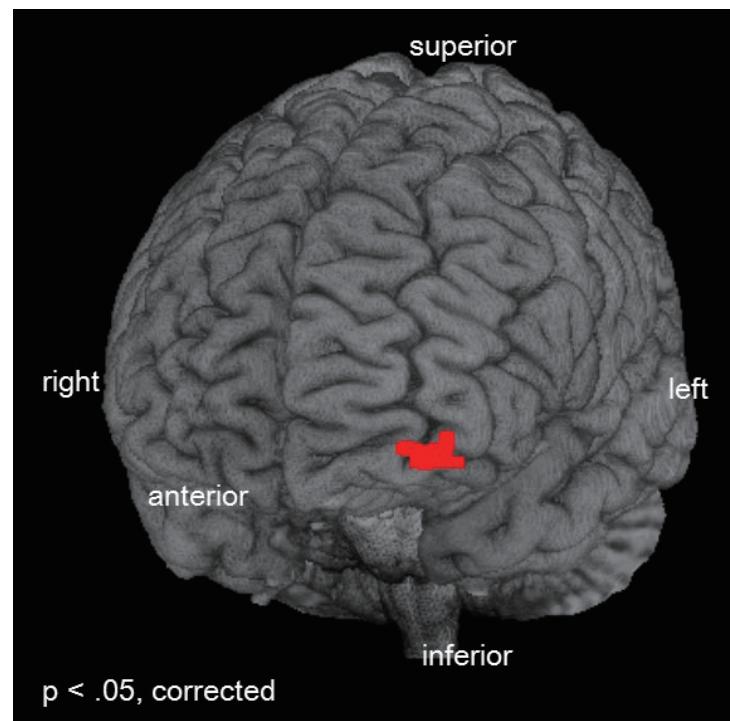


図 1



Surprise signals in the supplementary eye field: rectified prediction errors drive exploration-exploitation transitions.

Kawaguchi N, Sakamoto K, Saito N, Furusawa Y, Tanji J, Aoki M and Mushiake H.
J. Neurophysiol., 113, 1001-1014 (2015).

過去に試みたことがない行動、過去に試みた中で効果的な行動は、それぞれ探索 (exploration)、知識利用 (exploitation) と呼ばれる。この一見相反する二つの行動戦略は、どのように切り替わり、使い分けられるのか。この問題は、探索 - 知識利用ジレンマと呼ばれ、強化学習の重要な問題の一つである。日常生活において探索と知識利用の切替は、眼球運動において極めて頻繁に行われる。本論文では、眼球運動探索 - 知識利用課題 (図 1) を学習したサル大脳皮質補足眼野 (supplementary eye field) に “驚き (surprise)” 細胞が多数存在し、それらが眼球運動による探索 - 知識利用の切替に関与していることを示唆した。

一連の試行は、探索期 (ブロック切り替わり後、新しい正解ターゲットペアを発見し終わるまで) と知識利用期に分けることができる。あるターゲットを固視した試行の次の試行でどのターゲットを見るのかについて、探索期には 180° 反対

側 (反対) を見る確率が増し (探索的眼球運動)、知識利用期にはほとんど隣を見る (知識利用的眼球運動)。

“驚き” 信号とは、実際の結果 O と予測 V の差の正部分と定義される。このように定義される驚き信号には、予測と結果の評価が、正と負、つまり、望ましい結果についての処理と望ましくない結果についての 2 種類が存在する (図 2A,B)。記録の結果、正負 2 種類の “驚き” 信号を符号化する細胞が、多数見出された (図 2C,D)。

これら細胞活動と探索的、知識利用的眼球運動との対応を検討した。負の “驚き” 細胞の発火頻度を、次の試行で反対ターゲットを見た場合と隣のターゲットを見た場合で比較すると、前者のほうが有意に高かった。この細胞とは別群の負の結果細胞 (不正解が判明した時によく活動するが前の試行の影響を受けない細胞) では、次の試行でどのターゲットを見るかによらず発火頻度の違いは見られなかった。逆に、正の “驚き” 細胞の発火は、次の試行で隣のターゲットを見た場合に有意に高かったが、正の結果細胞 (正解が判明した時によく活動し、履歴のない細胞) については見られなかった。これらの結果は、負の “驚き” 細胞の発火の上昇が以降の試行における探索的眼球運動を、正の “驚き” 細胞の発火の上昇が知識利用的眼球運動を促進していることを示唆する。

図 1

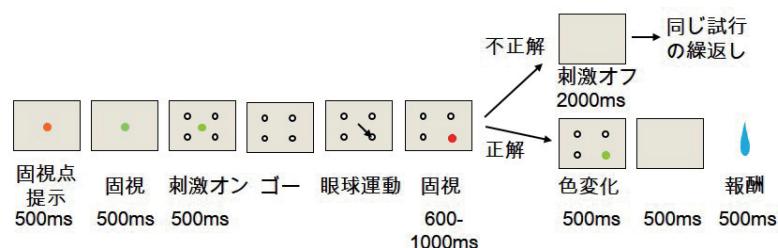
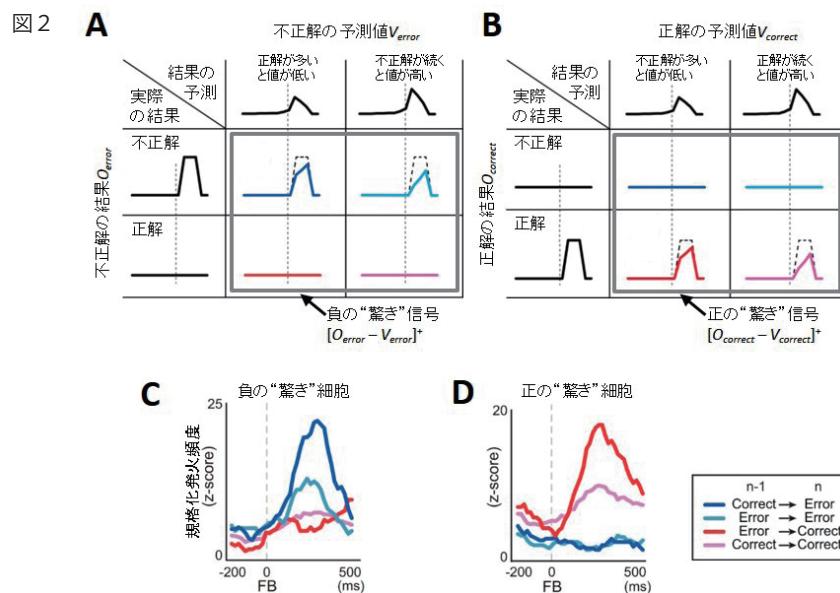


図 2





8月3から22日までの間、“The Initiative for a Synthesis in Studies of Awareness”(ISSA)のサマースクールに参加した。プリンストン高等研究所から宇宙物理学者であるPiet Hut教授のもと神経科学、認知科学、哲学、物理学等の様々な分野から30人ほどの研究者が集まり意識について議論するという不思議なサマースクールであった。しかしながら、何を議論するか決まっていない。決まっているのは意識というテーマだけだ。サマースクールに参加する前の私はテーマに興奮を覚えつつ、一抹の不安を感じた。「何を議論するのか、何がここから生まれるというのだろうか」と。クリストフ・コッホラが積極的に研究している意識の神経相関や、ジュリオ・トノーニが提唱する情報統合理論(IIT)など、一部の神経科学者の間では“意識”が確かに注目されている。しかしながら、これらについて議論するだけでは、それほど“不思議”ではない。さらに、参加者の一人である神経科学者の土谷 尚嗣 准教授(モナシュ大学)は「他の分野から学ぶことがそもそもあるのだろうか」と疑問に思っていたようだ。この時点で僕たちはすでにHut教授の術中に嵌っていたのかもしれない。

サマースクールの最初の二週間は、午前中に様々な分野の専門家からの二つのレクチャー、午後はそれに関連した議論を小グループで行い、その内容の発表を行う。神経科学者からは、意識のレベルや内容について、認知科学からは社会的認知、適応システムについて、哲学者からは意識の認知的な構造、物理学者からは物理現象を計測することについて、さらにはそもそも生命とはなにかについてレクチャーが行われた。議論には一時間半が与えられ、その中でレクチャー中に出てきたトピックについてメンバーがざっくばらんに話し合う形だ。議論の時間には、異なる専門分野の用語の定義について、意識を捉える方法、意識の進化的、適応的意義、さらに哲学でいう現象学的意識とは何を指すかと様々に話し合った。こうした議論は、毎日3回ある30分の休憩中や、1時間半のランチでも自然発生的に続き、様々なアイディアや疑問点が生まれた。それぞれの議論は刺激的で、参加同士が意識というテーマを通じて強く繋がったように思えた。また、土谷氏はこの時点で、哲学者と數学者とともに新たな具体的な研究のアイディアが浮かび、論考の執筆まで終えてしまったようだったし、他の学生は共同研究の予定まで決めてしまったほどだ。具体的な研究の予

定が得られたのだ。普通のサマースクールでは大成功と言える。しかし、僕には根本的な問題が解決していないように思えた。最初の二週間の議論の中で徐々に明らかになったのは、我々には意識に関する統合的理義がそもそも存在しないということだった。それはまるで、嵌る先のないジグソーパズルのピースだけをもっているかのようだった。

最後の週は、他のメンバーと3、4人ほどのグループを作り、意識研究に関するプロジェクトの提案書作成を行った。僕のグループでは、自己や他者の区別や Mentalization といった社会的意識の進化的な意義について進化学習、神経科学、哲学の観点から議論を行いプロジェクトの提案を行った。他のグループもそれぞれ現象学的な枠組みを神経科学と組み合わせたり、人間を説得するAIの実現という文脈でプロジェクトを提案したりした。それぞれのプロジェクトは面白いものもあったが、意識に関する統合的理義にはほど遠いように思えた。

そんな満たされない思いは、最後のHut教授のレクチャーによって吹き飛んでしまった。彼は、まず科学の発展について話した。有史以来、我々は、誰にとっても理解できる三人称の科学を行い、それを発展させてきた。そして、我々は私たちそれぞれが持つ一人称的な意識経験について度外視する形でその宇宙の誕生、生命の誕生やその発展といった三人称の科学を成立させてきた。だが、考えてほしい。個人の意識経験こそ本当は我々の営みの根幹ではないだろうか。我々は、そのことについてまだ深く考えていない。つまり、意識について考えるとそもそもどういうことだろうか。そこからはじめなければならない。Hut教授が最後に問い合わせたものはそれだった。彼が我々に問い合わせたとき、私は蒙を啓かれた。私はこれまで、すでに存在する分野として意識研究を考えていたのだ。そこに嵌らないピースを無駄なピースとして考えてしまっていた。そうではなく、我々(私)がその分野を作らなければならない。まず、我々はジグソーパズルの枠を作らねばならない。そして、これまでのサマースクールでの議論は、その枠をつくるためのものだったのだ。他の参加者もこのレクチャーによって蒙を啓かれたようだ。さらに、Hut教授が提案したモデルについて終止興奮さめやらぬまま参加者同士で議論が続いた。議論の時間には、我々のグループでは一人称的な意識の構造について概念マップの作成が必要だということになった。多くの参加者がこの研究会を続

けていくことに強い意欲を示していた。今後も意識について議論し続ける必要がある。すでに他の参加者たちも勉強会の予定を決めて、資料作成を行っている。私もその一人だ。私もこのジグソーパズルをみんなでつくろうとしている。楽しみでしようがない。(濱田太陽)

ISSA (Initiative for a Synthesis in Studies of Awareness) was an experimental three-week summer school program, employing an integrative approach to studies in consciousness from different perspectives. There were 15 lecturers and 22 participants from worldwide. During the first two weeks, two 1-hr lectures were given by neuroscientists, philosophers, physicists, computer scientists, or robotic scientists each morning, with a 30-min coffee break in between. In the afternoon, participants were randomly assigned to groups of 4-5 people to discuss questions raised by the morning lectures, followed by an advanced lecture. We also enjoyed a tour at the robotic labs and CiNet (The Center for Information and Neural Networks) at Osaka University. During the third week, groups of 2-4 participants were required to develop a research plan, with the objective of turning it into a concrete project in the future. Since the summer school, both participants and lecturers have continued preparing a WPI (World Premier International Research Center Initiative) grant intended to establish a research center to facilitate a synthesis in studies of awareness, with some satellite activities such as publications, local meetings, special sessions in large international conferences, popular science outreach, and an online journal club for consciousness studies.

For me, the 3-week summer school was interesting, exciting, and productive. A common interest explored together in a free and flexible environment allowed even people with different backgrounds to interact naturally and contribute to meaningful outcomes. Instead of focusing on how to fuse work in different fields into some hybrid form under the banner of “interdisciplinary” or “multidisciplinary” studies, since different disciplines approach the same questions from different points of view, a shared interests can spontaneously attract people

with different backgrounds, encouraging them to find a way to achieve a common goal. In addition, while academic communication is always a learning process in which we strive to understand others and to help them understand us, a casual environment improves the exchange of knowledge by blurring boundaries among people. With the rationality instilled in academia, it is therefore very interesting to discuss concepts with people having different perspectives, and it is really exciting to develop and refine ideas that one has never considered, or to discover one’s own blind spot on an issue. For example, my undergraduate degree was in the life sciences, especially neuroscience, with additional studies in physics and philosophy. However, ISSA actually provided me the first opportunity to interact with physicists and computational scientists who work on artificial life. Surprisingly, I found that they have an even deeper and more logical philosophy about what life is, than do some biologists.

In conclusion, the ISSA summer school successfully established a platform and network for scientists and philosophers to study consciousness together in the future. (Ray Lee)

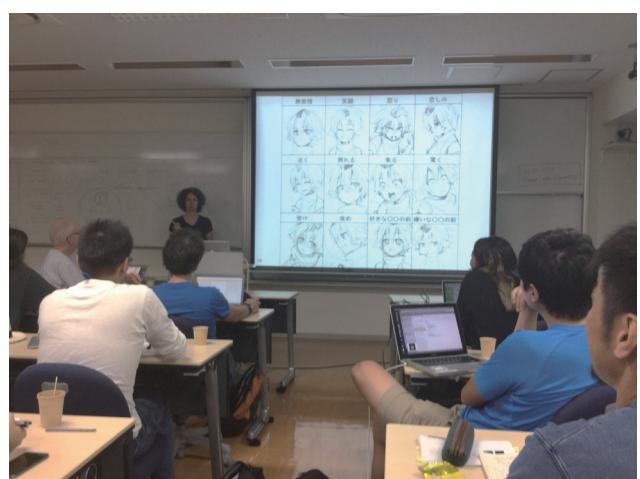


Figure. Lecture on the topic of “From embodied and extended cognition to emotion” by Prof. Giovanna Colombetti during the 2015 ISSA Summer School.



藤野 純也（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 大学院生）

2015年10月31日から11月1日にかけて、東京大学小柴ホールにて開催された International Symposium on Prediction and Decision Making 2015 に参加させていただきました。これまででも、新学術領域「予測と意思決定」主催の領域会議や研究会には多数参加させていただいておりましたが、本会議は私にとって特に学びの機会となり、強く印象に残るものとなりました。

今回の国際シンポジウムでは、我が国だけでなく海外からも著名な先生方がたくさんお越しになり、滅多に聞くことのできない最先端のご講演を数多く拝聴することができました。私は、精神科医として勤務した後に、2012年に京都大学大学院精神医学研究室に入學し、主に精神疾患における意思決定障害のメカニズムの解明を目指して研究をしております。このため特に、Wolfram Shultz 先生のドパミンの機能に関する包括的なレクチャーや、Nathaniel Daw 先生の計算モデルの精神疾患への応用に関するご講演を大変興味深く聴かせていただきました。また、臨床研究を専門としていることから普段聞く機会が少ない洗練された基礎研究のご講演を数多く拝聴し、自身の知見を広めるとともに、基礎研究と臨床のつながりについて考える貴重な機会にもなりました。

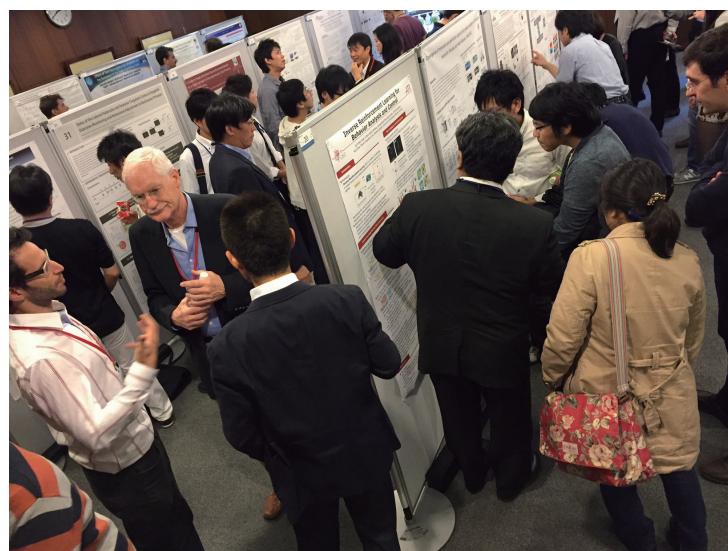
ポスターセッションでは、高橋英彦准教授の指導の下で行った sunk cost effect（埋没費用効果）に関する fMRI 研究について発表させていただきました。



この研究では、sunk cost が生じる状況で意思決定を行う最中の脳活動を測定し、被験者の性格傾向との関連を調べました。結果としては、皮肉なことに社会的規範や規則に忠実な人程、sunk cost effect の罠に引っかかりやすく、そのメカニズムを解釈する際に島皮質が重要であることがわかりました。ポスター発表中は、非常に多くの先生方から御質問や貴重なご助言を賜り、大変有意義な時間を過ごすことが出来ました。例えば、Wolfram Shultz 先生からは、escalation of commitment をもとにした課題設計との比較や、島皮質の sunk cost effect への関与に関して貴重なご助言をいただき、本研究の考察を広げていく上で大変役立ちました。

本会議は2日間にわたり、様々な領域を専門分野とする先生方で熱気にあふれていました。本会議に参加し、専門領域だけでなく、他の分野の先生方と

交流する重要性を実感しました。私は現在大学院4回生で、大学院生活も残りあとわずかなのですが、大学院修了後も継続して研究を続けて行く情熱を抱くことができました。これまででも本学術領域の先生方には多岐にわたりご指導をいただきしており、この場をお借りして、心より感謝申し上げたいと存じます。





第10回領域会議 参加記

Tom Macpherson (JSPS Postdoctoral Fellow, Medical Innovation Center, Kyoto University Graduate School of Medicine)

The 10th Research Area Meeting (Dec 17-18th 2016)

Grant-in Aid for Scientific research on Innovative Areas:Elucidation of the Neural Computation for Prediction and Decision Making

The recent December 2015 symposia marked the 10th and final area meeting of the 5-year MEXT grant beginning in 2011. It was a chance to present new research findings, as well as to look back and review the achievements to date.

This is the third area meeting that I have attended and what always strikes me is the great variety of fields our group encompasses, ranging from philosophy, psychology, computational neuroscience, robotics, molecular biology, human and animal behavioral neuroscience, and psychiatry. These meetings truly are a unique opportunity to explore decision-making from both top-down and bottom-up perspectives.

The symposium began with a series talks on computational and theoretical models of decision-making including the work of Professors Okada and Shibata. During his talk Prof. Shibata detailed how contemporary eye-tracking equipment can be used to evaluate and model product purchase decision-making processes. He went on to describe how in the future these models might be paired with technology including robotics to help intervene and influence decision-making in a retail setting. We also later heard (and watched an interesting video demonstration) from Professor Sugiyama about how computational learning models could be tested using a robot that learns to effectively throw a basketball.

A particular highlight for me this year was a fascinating talk by Professor Okamoto about the pioneering research of his lab in observing whole circuit activity during decision-making behavior in zebrafish. Using two-photon microscopy and genetically modified zebrafish incorporating calcium indicators, Professor Okamoto's team revealed activity in the brain region corresponding to the cortex during retrieval of long-term memory of a learned avoidance behavior. Details of this research can be found in Aoki et al, 2013. Further studies with this technique will likely expand our understanding of learning and memory processes in decision-making.

Additionally we heard from Dr Takahashi about his lab's recent work exploring whether pathological gambling addicts feel losses to be subjectively greater than gains of an equivalent size. Using a behavioral economics task

they revealed that gambling addicts largely fall within two extremes of high or low loss aversion, indicating the heterogeneity of gambling addiction. These findings highlight the necessity for further research into risk attitudes in pathological conditions. Details can be found in Takeuchi et al, 2015.

The last speaker of the symposium Dr Hikida gave an interesting talk on research published earlier in the year on the role of protein kinase A (PKA) signaling in striatal pathways in controlling aversive learning (Yamaguchi et al, 2015). PKA signaling in dopamine D2 receptor-expressing accumbens core neurons was revealed to be necessary for passive avoidance learning in mice. Microendoscopy further showed PKA activity to be increased in D2-expressing, and decreased in D1-expressing accumbal neurons during aversive memory formation and retrieval. These findings indicate the therapeutic potential of targeting accumbal PKA activity in the treatment of disorders associated with abnormal aversive memories, including PTSD.

Finally, after all the talks had been conducted we had a chance to reflect on the great research this grant enabled and contemplate how we should proceed in the future. This grant was created with the aim of exploring three major research subjects: theory of decision-making, neural circuits of decision-making, and molecular control of decision-making. The research presented at this and previous meetings have demonstrated the merit of exploring decision-making from a wide range of fields, and the wealth of publications and collaborations that have arisen from it highlight not only the success of this group, but the need to continue this collaboration on into the future.





脳と心のメカニズム第16回冬のワークショップ 参加記

吉澤 知彦（沖縄科学技術大学院大学 神経計算ユニット）

平成28年1月6～8日（水～金）の3日間、北海道虻田郡留寿都村のルスツリゾートにおいて、「意思決定のダイナミクス "Dynamics of Decision Making"」をテーマに、脳と心のメカニズム第16回冬のワークショップが開催されました。今回のワークショップでは神経科学の様々な研究分野でご活躍されている国内外の9名の先生による講演のほか、ポスターセッションでは49件の研究発表が行われましたので、本記事ではその様子をご紹介させていただきます。

1日目は海外の先生による3件のスペシャルセッションが行われました。William T. Newsome先生の講演では、ランダムドットの動きに応じてサッケードを行う意思決定課題遂行中のマカクザルの前頭前皮質 (PFC) の多数の神経活動から意思決定の確信度に対応する量をデコードした研究が紹介され、この量の刻々の変化が 'change of mind' を捉えているとの主張をされました。Bahador Bahrami先生は、他者のアドバイスが被験者の意思決定に影響を及ぼすことを利用した課題を開発され、意思決定の確信度に関連するヒトの脳領域をfMRIで明らかにした研究をお話しになりました。Matthew Rushworth先生は、foraging(狩猟採集)を例にヒトの前帯状皮質 (ACC) や腹内側前頭前皮質 (vmPFC) における価値表現の性質の違いについてfMRIを用いて調べた研究を講演され、ACCがforaging環境から得られる報酬の期待値を表現する一方、vmPFCは特定の選択肢をとった結果得られる報酬を表現していたことを紹介されました。2日目は、国内の3名の先生によるトピックセッションが行われました。トピックセッション最初の講師である本吉勇先生は、ジター錯視を視覚刺激として利用した研究をされており、刺激が時間的に離散して認識される場合では連続して認識される場合と比較して、脳波の2-4Hz域の強度が低下していることを紹介されました。明和政子先生は、NIRSを用いてヒト新生児の脳の機能局在を明らかにした研究や、胎児期の段階すでに母親の声を認識し、応答することを示した研究をまず紹介された上で、正期産と早産の乳幼児の泣き声や行動の違いを調べた結果から、早産児では自律神経系の発達の遅れが原因となり、ADHDや学習障害、自閉症などの発達障害のリスクが高くなっている可能性を示されました。天野薫先生は、fMRIで計測した脳活動を画像等でフィードバックし、それを参考に被験

者自身が脳活動を変化させることで視知覚を変化させた研究 (decoded neurofeedback; DecNef) と、視知覚における α 波の役割について脳磁図を使って調べた研究の成果を講演されました。最終日も国内の先生による3件のトピックセッションが行われました。柳下祥先生はグルタミン酸作動性ニューロンから側坐核の投射ニューロン（中型有棘細胞）へのシナプス結合を増強させるドーパミンの作用時間をD1受容体発現－中型有棘細胞に加えてD2受容体発現－中型有棘細胞についても調べられ、その研究成果を紹介されました。堀川友慈先生は機械学習の手法を用いて睡眠中の視覚野のfMRI画像から夢の視覚的内容をデコーディングした研究について、ご自身が被験者となった際の体験も交えユーモアにあふれる講演をされました。本ワークショップ最後のセッションである宮崎勝彦先生の講演では、報酬を辛抱強く待つ行動（報酬待機行動）にスポットを当て、マイクロダイアローシスやセロトニンニューロンが集まる背側縫線核の神経活動記録、オプトジェネティクスによって、セロトニンが報酬待機行動を制御していることを示した一連の研究成果が発表されました。また、1・2日目の講演後に設けられたポスターセッションでは、大学院生や若手研究者の研究成果が中心に発表され、夜12時を過ぎても活発な議論がそれぞれのポスターの前で繰り広げられていました。

蝦夷富士とも称される羊蹄山を望む留寿都村は、冬は白銀に包まれた自然豊かな土地であり、学術的な催しには絶好のロケーションでした。また、会場のルスツリゾートはスキー場をはじめ温泉やプールなどのアクティビティが充実しており、2日目午前の空き時間にはそれらを使ってリフレッシュすることもできました。私は本ワークショップへの参加は今回が初めてでしたが、次回もぜひ参加したいと思う充実した会であったと思います。



ポスターセッションの様子

● 平成 27 年度の主なイベント

- 脳と心のメカニズム 第 16 回 冬のワークショップ
Matthew Rushworth, William Newsome 教授招待講演 (2015.1.6-8 ルスツリゾート)
- 第 89 回日本薬理学会年会 (2016.3.9-11 パシフィコ横浜)
公募シンポジウム：予測・意思決定・情動の脳内計算機構—セロトニン研究の新展開—
(2016.3.11 パシフィコ横浜 B 会場)
- 第 93 回日本生理学会大会 (2016.3.22-24 札幌コンベンションセンター)
公募シンポジウム：海馬神経活動から探る脳神経回路の動作原理
(2016.3.22 札幌コンベンションセンター D 会場)

Vol. 8 訂正箇所について

先のニュースレター「予測と意思決定」12 頁に掲載しております写真において鳥越万紀夫博士と丸山一郎博士のお写真が入れ替わっておりました。この場をお借りして、深くお詫びを申し上げますとともに、謹んで訂正いたします。

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」

Newsletter Vol. 9 (2016年3月発行)

＜領域代表＞

銅谷 賢治

沖縄科学技術大学院大学 神経計算ユニット

904-0495 沖縄県恩納村谷茶 1919-1

Phone: 098-966-8594; Fax: 098-966-2891

E-mail: decisions-secretary@oist.jp

Web: <http://www.decisions.jp>

