

## 領域代表あいさつ

### 銅谷 賢治

新学術領域研究「人工知能と脳科学の対照と融合」領域代表者  
沖縄科学技術大学院大学 神経計算ユニット 教授



今年度より新学術領域研究「人工知能と脳科学の対照と融合」(略称:人工知能と脳科学)がスタートしました。これまで人工知能と脳科学は、「電子回路で知能を実現するのに脳をまねる必要はない」という視点と、「脳のような高度な知能の実現例に学ばない手はない」という視点から接近と乖離を繰り返してきました。しかし近年、人工知能が専門家の知識をプログラム化する方式から、大量のデータの統計学習により知識を抽出する方向にシフトするなかで、「ディープラーニング」として知られる脳の構造にならった方式が非常に高い性能を示したことから、脳に学んだ人工知能への期待が再び高まってきています。脳科学の側でも、ゲノミクスやイメージングなどの計測技術の高度化にともない、大量のデータから知識を得るために統計学習や人工知能を導入することは不可欠になりつつあります。そこで人工知能と脳科学の研究者の対話と共同作業を深化させることで、新たな研究の展開を生み出すことがこの領域のねらいです。

ディープラーニングのための多層神経回路の学習法は、1960-80年代に日本の甘利俊一先生、福島邦彦先生らが世界に先駆けて発表されたものです。これまで脳に学んだ人工知能というと、画像や音声のパターン認識が中心でしたが、それ以外にも脳に学ぶべき点はいろいろあるはずだ、という発想で、それを具現化するためのメンバーを神経科学と人工知能の両分野から集め新領域を提案しました。

本領域では、教師あり学習による内部モデルの獲得、強化学習による行動探索と評価、多層神経回路による表現学習など、それぞれの学習機構の高度化と脳での実現の解明を進めるとともに、それらを統合する脳の仕組みを

探り、人間のように柔軟な行動やコミュニケーションが可能な人工知能の実現のための研究をめざしています。

また総括班、国際活動支援班では、人工知能と脳科学を融合する新たな人材育成と国際ネットワーク形成のため、海外拠点合同ワークショップ、サマースクール、ハッカソン、若手研究者の海外派遣などを企画しています。

8月には、同時期にスタートしたポスト「京」萌芽的課題「脳のビッグデータ解析、全脳シミュレーションと脳型人工知能アーキテクチャ」とブレインストーミングのための合同ワークショップを、理化学研究所革新知能統合研究センターの杉山将センター長、ドワンゴ人工知能研究所の山川宏所長をゲストに開催しました。

9月に東京大学で開催したキックオフシンポジウム+公募研究説明会は、アナウンスした翌日にすでに100名近い参加登録があり、あわてて会場を変更するほどの手応えがあり、当日も大学だけでなく企業からの参加者も含め、活発な議論を行うことができました。

来年度からは公募研究を加え、より多様なメンバーで議論と共同研究が広がることを期待しています。今後、国内外の学会など様々な場で、脳と知能の謎に取り組む多くの皆さんとの出会いと連携を楽しみにしています。





## 銅谷 賢治

沖縄科学技術大学院大学 教授



## 松本 正幸

筑波大学 教授



**銅谷** まず松本さんが脳科学をやろうと志したのがいつ頃からなんですか。

**松本** もともと工学部の機械工学科にいた時にずっと知能ロボットに興味があったんですけど、僕がいた大学ではそういう研究室が無くていろいろ探していた時に、東工大の中村清彦先生の研究室で脳のモデルをやっているということを知って移ったのが最初のきっかけです。中村先生はずっと数理モデリングをやられていたんですけど、僕が行ったぐらいからサルは電気生理をやられてて、それに影響を受けまして。

その後、どうせやるならサルは電気生理ばりばりでやってる研究室がいいと思って、博士課程は生理学研究所の小松英彦先生のところで、サルを使って視覚の電気生理の研究をずっとやっていました。最初に研究室を訪れた時に小松先生から伺ったのは、視覚っていうのはただ単に入力を受けてそれを処理するだけじゃなくて、視覚皮質自身が外部からの情報を使って感覚みたいなものを作り出している、非常に能動的なものだったという風に仰って、それに非常に興味を持って小松先生のところに入ることになりました。

**銅谷** 小松先生のところではどういうテーマを？

**松本** 盲点の充填という研究で、視覚皮質は網膜上に光受容細胞が無い領域があって、なのにそこに何かものが見えるっていうのは、脳が周りの情報を使って視覚を作り出しているんじゃないかっていうのを大テーマとしてやっていました。

**銅谷** で、それからポスドクの時にNIHに行ったんですね。

**松本** NIHの彦坂先生のところで、視覚系から報酬系で180度くらい変わってるんですけども、小松研からもうそろそろ卒業するって頃に将来どういう方向性があるのかなっていうのをそこで考える機会があったんです。その時に脳にとって一番重要な機能って何なのかなって考えた時に、当たり前っちゃ当たり前なんですけども、入力を受けて出力に変換するっていうのが脳の機能だとは思ってました。僕がやった視覚系というのはまさにその入力の段階の研究で、運動野とかのアウトプットがあって、そのちょうど間を繋ぐような変換システムっていうのがまさに昔僕がやりたかった知能に相当する部分なんじゃないかなって感じました。

じゃあその中間の部分って何なのかなって考える時に、ちょうど報酬系や意思決定の研究が盛んに行われるようになっていて、それがちょうど知能にも繋がる変換で研究なんじゃないかなっていうことで、いくつかラボを探しているうちに彦坂先生が来ていいよって言うてくださったのでそこに行くことになりました。

### 手網核からドーパミンへ

**銅谷** やっぱり一番松本さんの仕事ですごく印象に残ったのは、手網核というあまり知られていない脳部位の細胞がすごい特徴的な応答を示すということを示したということだと思うんですけど、そこに行き着いたのはどういうきっかけだったんですか？

**松本** 最初は社会行動に関するようなことを一緒にやろうかと彦坂先生に言っていたら、それに関係するような実験というのをある程度はデザインしていました。NIHに赴任したら2頭のサルに競争みたいなことをさせるタスクの案をメールで送ったりしてたんですけども、ある日突然、手網核をやりたいっていう彦坂先生からのメールが来て。

**銅谷** (笑) そうですか。

**松本** (笑) 僕は手網核について何も知らなくて寝耳に水だったんですけど。そのメールに添付してあった論文を読んで初めて手網核が何なのかっていうのを知ったっていう感じです。解剖学に関する論文が1本か2本と、麻酔してるネズミにテールピンチか何かすると手網核の活動が上がるっていう論文と、手網核を電気刺激するとドーパミンニューロンが抑制されるみたいだというような論文が添付してありました。

じゃあ覚醒下の動物で実際にタスクをした時に、ドーパミンニューロンを抑制するような信号を手網核が持っているのかなっていうのをやりたいと彦坂先生がおっしゃられて。

**銅谷** それまでサルで手網核の神経活動を記録するなんてことあんまり誰もやってなかった研究ですよ、きっと。

**松本** はい。手網核ってすごく小さい神経核で、サルで2mm無いぐらい、1.5mmぐらいの神経核なんで当然電極を刺すのが難しいからなかなかできないっていうのがあったと思うんです。げっ歯類でも1980年代ぐらいの研究はあったんですけども、それ以降ほとんど手網核やってる人がいないような状況がずっと続いてて。

**銅谷** やはり技術的に難しい？

**松本** 技術的に難しいってのがありますし、あとやっぱり脳の中の大きい領域が大切なことやってるんじゃないかみたいな考え方があったと思います。ヒトの場合だと大きく発達した前頭前野が重要だみたいな。そうすると、小さな手網核が大切なことやってるはず無いっていうような考えがあったかと思います。

**銅谷** そういうところに攻めていこうというのはかなりの勇気がいったんじゃないかなと思うんですけど、不安とかは無かったですか？



**松本** すごい不安で、そもそも電極が刺せるのかどうかも分からなかったです。刺さっても分かるのか、刺さってること自体が分からないんじゃないかなって、ずっと思ってた。実際刺してみたら、本当に取れなかったら、最初のチャレンジなんですぐにテーマ変えて次のプロジェクトに行ってもいいかなって僕は思ってたんですけど。

ところが手綱核だろうと思われるようなところに電極を刺した時、ふたつのターゲットのうちひとつだけで報酬が出る「IDRタスク」で、報酬がもらえない時にそのバックグラウンドの活動が上がるのが分かりました。報酬がもらえない時に手綱核の活動が上がるだろうなという予測があったので、まさにその予測通りにデータが取れた時、こりゃすごいってなりました。

**銅谷** じゃあもう細かい解析とかをする以前に神経スパイクの音を聞いてると、しっかり応答するのが分かったということですか。それから報酬が無いという結果や、無いことを予測することに関しても応答するというような感じのことが段々広がってきたわけですね。そこからさらに手綱核と黒質、VTAなど、その回路全体を解きほぐしていこうという風に段々広がっていったんですね。

**松本** そうですね。次に、手綱核の活動をもっと詳しく解析しようとなつて、嫌悪刺激を使って手綱核の活動を記録する実験を進めることになりました。その頃、もう最初の論文はアクセプトされてたと思うんですけど、彦坂先生からは、嫌悪刺激を使う以外は細かい指示はなくて、後はもう松本君の方針でやればいいという感じでした。

嫌悪刺激を使った古典的条件付け、少しだけ凝ったものを使って手綱核の活動を記録すると、報酬を使っただけでは分からなかったネガティブなバリューみたいなものをコードしていることが分かりました。そこで、同じ条件付けを使ってドーパミンニューロンからも記録したらどうなるのかっていう話になりました。

**銅谷** それで、嫌悪刺激と報酬刺激の両方をドーパミンニューロンで記録してみると、これまで教科書的に言われていたのとはちょっと違うということが分かってきたと。

**松本** はい。ドーパミンニューロンはいいことに対して興奮して、悪いことに対して抑制するっていう風によく言われてたんで当然そうなるかなと思ってたんですけど、一部のドーパミンニューロンは嫌悪刺激に対しても報酬に対しても両方に対して興奮するっていう応答が見られて。最初は何か変だねって話をずっとしてたんですけど、ただ記録部位が上の時は嫌悪刺激に興奮して、下に行くと嫌悪刺激に抑制されるっていうのが見つかってきて。

**銅谷** どういう風にして気がついたんですか？場所によって違いそうだっていうのは。

**松本** ドーパミンニューロンを記録する時は、上の方から記録していくんですけど、そうするとほぼ嫌悪刺激に対して興奮ばかりしてるんで、あれ何か変だねって。たまに下の方で記録すると抑制されるニューロンも見られるってことが分かってきて、深さ方向解析してみたらそういう関係性がきれいに出てきたので、ああこれは何か面白いってということで論文にしたっていう経緯になります。

**銅谷** そうやって、これまで誰も気がつかなかったことを明らかにしてきたのはすごいと思うんですね。

**松本** ありがとうございます。やっぱりそういうのは脳科学、特に実験で自分で測る研究をやってるのは非常に面白いところじゃないかなと思うんですけどね。

## オプトジェネティクスへの挑戦

**銅谷** これから、あるいは現在やってる研究についてちょっと話をさせていただけますか。

**松本** 僕らは上の方と下の方のドーパミンニューロンで持っている信号が違うっていうのは見つけたんですけども、それぞれどういう機能を持ってその機能にどういう違いがあるのかっていうのは全く分かってない。応答を調べて違いがあるっていうので終わってたらやりっぱなしになっちゃうんで、機能までちゃんと突き止めてふたつのドーパミン神経系というのが本当にあると決着を着けたいっていうのがあって、そのプロジェクトを進めています。

**銅谷** 神経活動に操作を加えるような試みでしたっけ。

**松本** はい。昔は、電気刺激であるとか、ニューロン活動を抑制するような薬を脳内に局所注入するっていう実験が行われてたんですけど。最近、光遺伝学っていう手法がすごく発達してきて、これまで分からなかったようなことが特にげっ歯類の脳ではすごく分かるようになってきたって背景があります。そういう手法をなんとかサルで使えるようにしたいなと考えていて、霊長研時代にお世話になった高田昌彦先生と共同でその開発を今進めているところです。

**銅谷** 僕は分子生物学の具体的なことを全然分かってないんですけども、ネズミでは使えるってことが分かってるウイルスとかをサルでも使えるようにするというのは、どういった仕組みがあるんですか？

**松本** 僕自身はウイルス自身の改良とかは行ってないので、共同研究者から聞いた話になるんですけども、ウイルスがどれくらい神経細胞に感染するのかっていう効率が重要らしいんです。ネズミでうまく感染したウイルスがサルでうまく感染しないとか。

それと、サルの脳はすごく大きいので、活動操作の影響を出すためにはネズミよりもっと感染効率がよくないといけない。で、ただ感染効率を上げると神経細胞が死ぬようなこともあるんで、感染効率を上げつつ脳への毒性を下げるっていうのはすごく大変な操作だっていうのを聞いています。

**銅谷** そういふ霊長類でも使えるような技術が発展してくると、そのうち人の治療とかにも使うようになるという日も近づいてくるんでしょうか。

**松本** そうなるとすごくエキサイティングだなと思うんですけども、ただ実際の患者さんが本当に自分の脳にウイルスを打つっていう気になるのかどうかっていうのはありますよね。倫理的な問題とかあるいは感情的な問題をクリアすれば、そういう方向に進んでいくんじゃないかなっていう風に考えられますかね。

**銅谷** 例えばサルの場合に、ドーパミンニューロンでも場所によって機能が違うっていうのを、光ファイバーの位置を変えることで選択的に刺激するというようなことを考えているんですか？

**松本** 特に、ドーパミンニューロンが無くなるとパーキンソン病を発症するんですけども、パーキンソン病の患者さんは初期は上の方のドーパミンニューロンが無くなって、後期になって下の方のドーパミンニューロンが無くなるっていうのが分かっています。そうすると先ほど銅谷先生が仰っていた、上の方に光ファイバーを刺した時と下の方に光ファイバーを刺した時で、ドーパミンニューロンの活性化による行動への影響が変わるのかっていうことにひとつ注目しています。

**銅谷** 今もう、そのオプトジェネティクスの実験はどれくらいまでできてるんですか？

**松本** ドーパミンニューロンを選択的に活性化するためのウイルスを作ってもらっているところで、検証実験とかをやってもらってるんですけども、まだ絶対にこれでうまく行くかっていうのは検証待ちになっています。ドーパミンニューロンに選択的ではないものについてはもうすでに開発が終わっていて、眼球運動系に使えるっていうのを確認してます。例えば、皮質から線条体への神経路でそれを使った時にどういうデータが得られるのかなんて言うのはもう今でもやろうと思えばチャレンジすることは可能な段階にはきていると思います。

**銅谷** そういうこれまでなかなか電気刺激だけではできなかったことができるようになって、本当に脳科学の新しい可能性が一気に広がってきているという感じですね。しかもそれがこれまでではネズミだけだったのがサルでもできるようになると、高度な認知課題であったり、そういったものに関しても脳の働きを実際に検証することができるっていうのはすごい楽しいと言うかやりがいのある時期にきましたね。

**松本** そうですね。

## 脳型人工知能はいつできるか

**松本** 後どれぐらいで脳を真似た人工知能ができると思いますか。

**銅谷** そうですね。ある部分ではすでに真似たものになっています。

**松本** 脳と遜色無いような人工知能はいつぐらいできるのかって言う。

**銅谷** そうですね、自分のアシスタントと同じぐらい頼りになるとか、自分の友達と同じぐらい話をして楽しいとか、そういうものができるぐらいいつ頃出てくるかってことですね。ひょっとしたら意外と早くできてしまうという可能性はあると思うんですね。人工知能の強いところというのはインターネットに直結していて、普通のひとりの人間ではアクセスし切れないような膨大な情報に常にアクセスできるという、そういうズルを（笑）しているわけですよ。だから知識の量とかに関して言えば、今の普通の人間を遥かに超えたものが容易にできてしまう可能性があるわけです。

**松本** それは脳を真似て人工知能を作るよりも、そういう知識ベースと言うか情報ベースで何か考えることができるもの。

**銅谷** やっぱりそこから何を選んでいくかっていうところですよ。ここで相手が何を本当は欲しがってるなということを推定している、人間のモデルみたいなものを持った上で対応するようなシステムが必要になってくると思うんです。それができると言うことは逆に言うと、人間とはどんなものかということが分かると。

**松本** はい、なるほど。

**銅谷** 多分そういう人工知能の研究というのは、人間そのものの研究と表裏一体という感じになってくるんじゃないかと思うんですね。僕は多分この5年10年ぐらいの内で、ちょっと人間ばいと思うような人工知能応用ってのは出てくるんじゃないかと思ってんですけどね。

**松本** 5年10年ですか?嬉しいような悲しいような（笑）。

**銅谷**（笑）作り方として、人はこういうものを求めているはずだという対応リストみたいな形で作るものもあるんだろうけども、やっぱり僕らとしては、それが、人の脳がどうやってるかということと繋がるような形で作っていきたいですね。いろんな仮説を生成しながらそれを検証して、その場、状況に応じた対応の仕方を見つけていくというようなシステムを人工物として作るというのと、その脳の仕組みを明らかにするというのを是非この新学術の5年の間で、ひとつのステップが明らかになったところまでは持っていきたいですね。

**松本** 先ほどいろんな知識を集めてきて、いろんなことを考えるAIっていうのはすぐできるかもしれないという話だったんですけど、そういう方向で進んでいったとしてそのAIっていうのは自我を持つのかどうか、どのように思われますか?

**銅谷** 自我を持っているかをどうやって判断するかすごい難しいんですけど。例えば、コンピュータが自分の電源を抜かれないようにどれくらい頑張るかとか（笑）ですね。

ただ、デジタルコンピュータと生き物の大きな違いっていうのは、保存とか複製とかがデジタルコンピュータ、ソフトだと簡単にできてしまうという点ですね。人間とか生き物って自分と全く同じものは決して作れないところがあるので、個々の命というのは非常に大事なわけなんですね。コンピュータソフトの世界だと、今動いているコンピュータをしばらくシャットダウンしてまた後で動かす、全く同じ状態から動かすとか、あるいはそれをコピーして複数のコンピュータで動かすとかが簡単にできてしまうので、そういう条件だと自我とは何かということ自体、人間とか生き物とは同じものではないものになっちゃうんじゃないかと思うんですね。

同じプログラムで動いているふたつのコンピュータがどれくらいお互いに自我を持つのか。例えば昆虫とかだとお互いに遺伝的にはほとんど同じで、そのために利他行動とか積極的に取ることもありますし。そういう複製がいくらでも可能な知能というものは、そう簡単には複製できない人間の知能と同じになるのか違うものになるのかというのは、いろいろ考えてみると面白そうですね。

**松本** 面白い、はい。自分でも考えてみます。

**銅谷** 何をもって自我とするのかっていうのは、あんまりはっきりとした定義は無いかもしれないけども、そういう性質を持ったようなソフトウェアの方が世の中にはびこるっていうことはあるかもしれませんね。例えばいろんな病原菌やウイルスとかも別に自我を持つるわけじゃ無いんだろけども、なかなか消えないような性質を持つるものは世の中にはびこっている。それで結局完全には消えていくことは無くて、みんな共生するか無くなったみたいなどころがあると思うので。

**松本** はい。

**銅谷** どうしたら自分が周りに認められるか、人間とかコンピュータを含めた世界の中で役に立つ、あるいは無くては困るような存在であろうとするようなプログラムはどうできてくるのかということですね。それをどうプログラムすればいいのかよく分からないけども、結果的にそういう性質を持ったものが生き残っていくということは、ひょっとしたらあるかもしれませんね。あんまり答えにはなっていないと言うか、答えはそう簡単に無いのかもしれないけども。

## AO1: 知覚と予測

### ディープラーニングと記号処理の融合による予測性の向上に関する研究

研究代表者：松尾 豊（東京大学大学院工学系研究科（工学部）特任准教授）

近年、ディープラーニング（深層学習）という技術が注目を集めています。最近ではディープラーニングにおける生成モデルの重要性が認識されており、生成モデルと記号の操作を組み合わせた技術は、今後、ディープラーニングの研究の進展の上で、また脳機能との対比を考える上でも大変重要な技術になると予想されます。そこで、本研究では、次の2点をテーマにして研究を行います。

ひとつめは、記号処理を組み込んだDeep Q Network(DQN)の構成です。DQNは、アルファ碁でも有名なアルゴリズムで、深層学習と強化学習を組み合わせたものです。これを発展させ、アクションのチャンク化や状態の抽象的表現等の課題を解きながら、記号処理と強化学習を結びつけ、より深い推論・探索ができるアルゴリズムを構築します。

ふたつめは、文章と画像を変換するような技術の構築です。画像を介した翻訳機能の実現や画像空間における演算を活用した演繹推論の実現などを目指します。

こうした取り組みを通じて、ディープラーニングによる認識機能に加えて、記号処理や言語処理など、どのような処理系が必要なのかを工学的に模索します。そして、脳科学で得られている知見との対応を考えることで、新たなアルゴリズムの構築につなげると同時に、脳科学分野に対しても新たな知見を提供することを目指します。



## AO1: 知覚と予測

### 多階層表現学習の数理基盤と神経機構の解明

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）

環境の変化や身体の動きを予測したり、望ましい行動を実現するための強化学習には、感覚情報と運動情報を統合した階層的な内部表現を学習することが必要です。私たちは、そのような表現学習を可能にするディープラーニングの数理基盤を解明することと、脳の多階層表現学習の機構をヒトのfMRIとマウスの光学神経活動計測により解明することをめざすと同時に、脳内の多様な学習モジュールが自己組織的に選択され結合される機構を明らかにすることを目標として研究を進めています。

#### 1) 多階層表現学習の数理基盤

ディープラーニングを強化学習に用いる場合を中心に、感覚入力だけでなくそれを行動出力や報酬予測につなぐ内部表現がいかに実現されるかを、系統的な計算機シミュレーションと数理解析により解明していきます。

#### 2) 多階層表現学習の神経機構

同じ強化学習課題をヒト被験者と多階層神経回路モデルに学習させ、機能MRIによる脳の各部位の活動と、神経回路モデルの各層の応答とを対応づけることによって、感覚野、運動野、前頭葉、大脳基底核など各部の情報表現の違いを明らかにします。またそこで特徴的な違いの見られた脳部位に関して、マウスの相当する脳部位で光学神経活動計測を行い、表現学習の神経細胞レベルでの実体を明らかにすることをめざします。

#### 3) 全脳レベルのモジュール自己組織化

以上のような多階層表現学習の神経機構の知見と、領域内の他の研究からの知見を統合して、学習したモジュールの柔軟な選択とつなぎ合わせを可能にしている脳機構を、ドーパミンやセロトニンなどの神経修飾物質による制御や、神経スパイクの同期的ダイナミクスなど、多面的に探索していきます。





## コンフリクトコストに対する調和・不調和情報シーケンス効果の神経基盤の研究

研究代表者：田中 啓治（理化学研究所・脳科学総合研究センター シニアチームリーダー）

複雑な環境で生きる高等動物は、過去の経験の中で学習した行動規則を用い、環境に応じて異なる規則を適用することで、柔軟に最適な行為を行います。しかし高等動物の行動規則のレパートリーは多く、環境が必ずしも適用すべき規則を一意に特定するとは限りません。試行錯誤で規則を適用する場合もあるし、複数の規則が同じ行為を示す場合もあります。そこで、行為の結果を得たときに行うべき強化学習は、規則適用の状況に応じて制御しなければなりません。私達は、色一致と形一致のふたつの刺激選択規則がときどき切り替わる規則交代課題をマカク属サルに訓練し、前頭前野のいくつかの異なる領域を破壊して、課題遂行への影響を調べてきました。その結果、間違いの次の試行においてサルはふたつの規則のどちらかを試行錯誤で選んで行為を決めること、この試行錯誤モード下での1回の成功からの急速な学習が前頭眼窩野の破壊ではほぼ消失することを見出してきました。試行錯誤モードでは、その試行で適用した規則を覚えておいて、結果に応じてその規則の価値を急激に変えなければなりません。従来は前頭眼窩野の働きは刺激—報酬連合学習であると考えられてきましたが、私達は前頭眼窩野が行為選択を行う内的な状態を表現・維持し、結果による学習を制御しているとの仮説を持ちました。今回の研究では、規則交代課題にふたつの規則のうちひとつが行為選択に役立たない中立条件の試行を混ぜることにより解析の精度を上げます。実験対象をヒトに移し、行動観察と磁気共鳴画像法による脳機能画像測定を用いて、前頭眼窩野が内的認知状態を表現する可能性を追求します。前頭眼窩野は磁場歪みのために共鳴信号が失われやすい脳部位ですので、脳機能画像撮像法の最適化にも努力します。



## 自己と他者の動作データからの内部モデルの構築と行動則の獲得

研究代表者：森本 淳

（株式会社国際電気通信基礎技術研究所（ATR）脳情報通信総合研究所 ブレインロボットインタフェース研究室 室長）

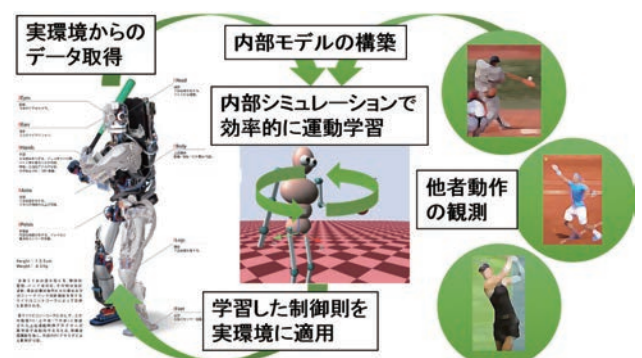
近年の計算機能力の向上を背景にビッグデータを用いた解析が盛んです。その一方で、ロボット等の制御系への応用は立ち遅れています。本研究では、脳に学んだ計算原理に基づいて自己や他者の動作データから身体や外界の内部モデルを構築するアルゴリズムの開発を目指します。特に他者データの利用を可能とすることで、ビッグデータの制御系設計への活用の道を開くとともに、内部モデルを構築することでロボットシステムが仮想的に外界とインタラクションを行うことを可能とし、結果、計算機能力を活かした行動則の獲得を実現します。具体的には、以下の2点の取り組みを中心に研究を推し進めます。

### 1) 他者動作データからの自己内部モデルの導出

他者の動作データから、身体と外界との相互作用を表す内部モデルを推定する技術を開発します。自らサンプルしたデータのみならず、多数の他者のサンプルデータを活用した上で、内部モデルの推定を行う手法を導出します。ロボティクス研究において養われてきた観測データからの身体モデルパラメータ推定技術と運動学習に関わる限定的なモデルを同定する技術を組み合わせ、限られたサンプルから効率的な内部モデル学習を可能とすることを目指します。

### 2) 内部モデル学習と強化学習の接続とその相互作用の設計

内部モデルと制御則獲得のための強化学習システムを接続することにより、実環境においての試行を行うことなく内部シミュレーションにより大量のデータをサンプルし制御則の学習が可能となります。一方で、内部モデルは自己や他者の実環境における動作データから逐次更新されます。この二つのシステムが同時に学習を行いながらシステム間の適切な相互作用により、効率的かつ安定した運動学習を可能とする枠組みの導出を目指します。



## 潜在的運動における学習適応メカニズムの解明と計算モデル構築の研究

研究代表者：五味 裕章（日本電信電話株式会社 NTT コミュニケーション科学基礎研究所 人間情報研究部 主幹研究員）

多くの場合、熟達した運動は様々な入力や様々なレベルの処理の複合によって構成されています。私たち人間は、運動に必要な複雑な情報処理をすべて意識的・明示的に行うわけではありません。本研究では、未だ謎の多い、感覚情報によって無意識に駆動される「潜在的な感覚運動生成」の情報処理の学習・適応のプロセス、および自己運動感覚とのインタラクションを、運動学的・心理物理学的手法、電気生理学的手法、計算論的モデリングなどを組み合わせて明らかにし、随意的・潜在的運動の統合学習モデルに結び付ける基礎知見を明らかにすることを目標としています。潜在的な感覚運動の具体的対象として、視覚運動によって誘発される潜在的な腕応答（追従腕応答）を生成する系をメインターゲットとして、大脳皮質を含む情報処理神経基盤を明らかにし、自己運動感覚がある随意運動の運動指令生成過程とのコントラストを浮き彫りにし、潜在的感覚運動生成の学習・適応メカニズムに迫りたいと考えています。さらに、新学術他チーム研究者と協力し、新たに明らかになった事実を組み込みながら、統合運動学習モデルへとつなげ、新たな脳型計算の枠組み構築に貢献することを目指しています。



## 報酬と注意の情報処理に関与するドーパミン神経回路機構

研究代表者：松本 正幸（筑波大学 医学医療系 教授）

ドーパミンニューロンは報酬に関連した情報を伝達する神経系として注目されています。たとえば、予想していたよりも大きな報酬を得たときにドーパミンニューロンの活動は上昇し、予測よりも小さな報酬しか得られなかったときは活動が減少します。このようなドーパミンニューロンの活動は、動物が学習したり、その意欲を調節するために重要な役割を果たすと考えられています。一方、ドーパミンニューロンが変性・消失するパーキンソン病などの疾患では、報酬に関連した障害（たとえば意欲障害）のほかにも、運動機能障害や認知機能障害が生じることが報告されています。報酬情報を伝達するドーパミンニューロンは、どのようなメカニズムにより、このように多様な脳機能に関与しているのでしょうか？



これまでの研究の中で我々のグループは、報酬以外の刺激（たとえば罰刺激や記憶することが求められる図形）を呈示したときのドーパミンニューロンの活動を記録し、ドーパミンニューロンがこれまで考えられてきたような報酬情報を伝達する一様な集団ではないことが明らかにしてきました (Matsumoto & Hikosaka, Nature, 2009; Matsumoto & Takada, Neuron, 2013)。黒質緻密部の腹内側や腹側被蓋野のドーパミンニューロンは、これまで報告されてきたように、動物が報酬を得たときに活動を上昇させ、その価値に関係した情報を伝達していました。一方、黒質緻密部の背外側にあるドーパミンニューロンは、罰刺激や記憶することが求められる図形が呈示されたときにも活動が上昇し、呈示された刺激の salience（顕著性）に関係した情報を伝達していました。

本研究では、共同研究者と開発した光遺伝学的手法 (Inoue et al., Nat Commun, 2015) を用いて、様々な認知行動課題をおこなっているサルでのドーパミンニューロンの報酬価値信号と salience 信号を人為的に操作する実験を計画しています。そして、その際にサルの報酬機能や運動機能、認知機能がどのような影響を受けるのか解析し、ドーパミンニューロンが多様な機能に関与し得るメカニズムに迫りたいと考えています。



## 報酬 / 目的指向行動の神経回路機構

研究代表者：足田 貴俊（京都大学大学院 医学研究科 特定准教授）

報酬 / 目的指向行動を適切にかつ柔軟性を持って遂行する機構の解明は脳科学と人工知能に共通する課題です。大脳基底核は報酬 / 目的指向行動に必須な脳部位であり、パーキンソン病、薬物依存症、PTSD、うつ病、統合失調症といった多くの精神神経疾患で障害されています。研究代表者は、これまでに大脳基底核の直接路と間接路のそれぞれに特異的な可逆的神経伝達阻止法を開発し、報酬行動と薬物依存症形成には直接路が、忌避行動と柔軟性には間接路が重要な役割を担っていることを示し、ドーパミンシグナルが直接路と間接路という並列回路の切り替えを行っているという新しい神経回路機構を示しました (Hikida et al., 2010; 2013; 2016)。



本計画研究では、可逆的神経伝達阻止法を用いた報酬 / 目的指向行動と柔軟性に関する大脳基底核神経回路の解析から、腹側線条体回路と背側線条体回路、直接路と間接路の役割の違いに焦点を当てて、並列情報処理機構を同定します。さらに大脳皮質、海馬体、扁桃核、黒質からの大脳基底核神経回路への入力による並列回路のトップダウンの切り替え制御を明らかにします。また、研究代表者はこれまでにさまざまな精神神経疾患のモデルマウスを確立しており (Hikida et al., 2007; 2008; 2010)、モデルマウスの報酬 / 目的指向行動と領域・回路特異的な脳内表現を調べることによって、各精神神経疾患の神経回路制御異常と分子病態を同定しトランスレーショナルリサーチにつなげます。これらより報酬 / 目的指向的な表現学習における並列回路における情報処理機構と精神神経疾患モデルでの破綻を解明し、領域内の連携により人工知能、ロボティクス、計算精神医学と脳科学の融合に貢献します。

## 感覚運動と言語をつなぐ二重分節解析の脳内計算過程の理解と応用

研究代表者：谷口 忠大（立命館大学 情報理工学部 准教授）

人間は自らの知覚したものを分節化、カテゴリ化することで異なる存在を同じものとして認識します。例えば、この世に全く同じりんごはありませんが、異なるりんごを同じ「りんご」というモノの一種として捉えます。これがカテゴリ化です。時系列情報に関しては、例えば自動車運転行動の右折という行動は一度一度が異なる時系列情報であり、連続した運転行動の中でどこからどこまでが右折かは事前にはさまらないものですが、これを人間は「右折」として抜き出します。これが分節化です。人間の行う分節化能力の中で人間特有なものに言語における二重分節構造があります。



二重分節構造は人間の音声言語には音声信号が音素に分節化され、また、これが単語へと分節化されるという二段階の分節構造を指します。言語は人間特有のものですが、この言語を支えている構造の一つが二重分節構造なのです。この事実は人間の脳が二重分節構造を解析すること（二重分節解析）に秀でた計算能力を持っていることを示唆しています。しかし、脳科学の分野においては人間の脳内における二重分節解析の計算過程は未だ明らかではありません。また、人工知能の分野においても二重分節解析を用いて人間との実音声対話から言語を獲得し実世界コミュニケーションを実現するロボットの設定論は確立されていません。

研究代表者の谷口らはノンパラメトリックベイズ理論に基づいて音声データのみから二重分節構造を推定する機械学習手法としてノンパラメトリックベイズ二重分節解析を提案して先進的な成果をえています。また、ロボットの言語獲得に関して一連の成果を得てきました。

本研究では人間の言語獲得の基盤としての二重分節解析と動的カテゴリ形成の脳内計算過程を明らかにし、新たなコミュニケーションロボットの設計論、統合失調症などの言語・思考・感覚運動に渡る疾患の理解と支援に役立てることを目指します。

- 1) 二重分節解析と動的カテゴリ形成の脳内計算過程を表現する内部モデル計算論の構築
- 2) 二重分節解析と動的カテゴリ形成の脳内計算過程の解明
- 3) 自律的な言語獲得・運動学習を実現するロボットの創造

上記のような課題の達成が本計画研究の目標です。



### A03: 認知と社会性

## 脳内他者を生かす意思決定の脳計算プリミティブの解明

研究代表者：中原 裕之（理化学研究所・脳科学総合研究センター チームリーダー）

私たちの研究室では、適応行動の脳メカニズムとその計算論的原理の解明に向けて研究を進めています。特に、人間や動物のしなやかな知能・行動の根幹を成す「意思決定と学習」と、日常生活を送る上でもっとも重要な「社会知性」に注目しています。「脳機能を実現するのは脳の計算、つまり情報処理である」というのが私たちの基本的な考え方です。研究では実験と理論の両面を並行して進め、両者を協同・融合させた研究も行っています。実験面では「ヒトfMRI」に、理論面では「脳計算モデル」や脳の理解と応用に資する脳数理や脳型知能の研究そして脳データの解析技術の開発に取り組んでいます。

この新学術領域では「脳内他者を生かす意思決定の脳計算プリミティブの解明」の研究を推進します。脳内他者を生かす意思決定とは、端的には「脳内他者を用いた他者予測」と「その予測を用いた適切な意思決定」である。この2つの脳計算基本要素の解明と、これらの基本要素の修正過程の解明を行います。この課題に、他者のいない状況での脳計算（価値意思決定）を「自己システム」の土台とし、脳内他者のシミュレーションを要する価値意思決定を「自己システム+（脳内）他者システム」と捉えることでアプローチし、モデル化解析などを用いることで脳計算モデルとヒトfMRI実験の融合研究を推進します。これにより、社会認知という「心の理論」——他者の心や意図を推測して、自らの行動に生かす——の創出の土台となる、「脳内他者を用いた他者予測」と「その予測を用いた適切な意思決定」の基本要素の神経基盤と脳計算を明らかにすることをめざします。



### A03: 認知と社会性

## 前頭前野における情報の抽象化と演繹的情報創生の神経メカニズムの研究

研究代表者：坂上 雅道（玉川大学 脳科学研究所 教授）

動物は、学習により、生得的に持って生まれた感覚・運動・行動のレパートリーを超えて、環境に順応していく能力を獲得することができます。しかし、ここでの学習が、実際に経験したことに限られるとすれば、ヒトに見られるような新たな情報の創成は生じ得ません。新たな情報の創成を可能にする機能の一つが「推論」です。多くの場合、推論を通じた新たな情報の生成は、無からの創造ではなく、経験を通じて学習した情報を加工したり結合させたりすることによって行われます。われわれは、新学術領域研究「予測と意思決定」を通して、推論課題遂行中のニホンザル前頭前野と大脳基底核線条体のニューロン活動を記録・解析することにより、前頭前野外側部ニューロンは、推移的推論（三段論法）を反映した情報をコードしていることを見出しました（Pan et al., 2012, 2014）。推論に関係する前頭前野のニューロンは、同時に、カテゴリー情報もコードしており（Pan et al., 2008）、前頭前野外側部の神経回路は、個々の刺激ではなく、抽象化されたカテゴリー情報を使って推論を実現するという仮説を提唱しました（Tanaka et al., 2015）。本新学術研究では、この仮説を実証するために、カテゴリー推論を行うニホンザル前頭前野のニューロン群の活動を、最新のカルシウムイメージング技術を使って同時記録し、人工知能技術を使ったデコーディング解析を行うことにより、推論の神経メカニズムを明らかにすることを目指します。



### A03: 認知と社会性

## 精神疾患における思考の障害の神経基盤の解明と支援法の開発

研究代表者：高橋 英彦（京都大学大学院 医学研究科 准教授）

精神疾患における思考の障害には概念形成や抽象化の障害、推論し先読みをする能力の障害等があります。健常成人なら文脈に応じて柔軟に抽象化のレベルや先読みのステップを調節することができますが、精神疾患ではこれらの能力が不十分で、社会性の障害につながります。従来は特定の概念や脳部位に限定して仮説を検証するアプローチが主流でしたが、網羅的に概念や脳部位を扱う大量データの解析が可能になってきました。そこで、本研究では、患者を対象に、社会や文脈に応じて他者の概念の抽象度や先読みの度合いを推定する能力の神経基盤の異常を主に脳MRIデータを用いて探ります。さらに人工知能研究者と共同で、思考や推論の障害に相当するモデルを検討し、その破綻として思考の障害を理解するとともに、その生物学的な基盤を探索していきます。



## 大脳皮質における動的ベイズ推定の神経基盤

船水 章大 (Cold Spring Harbor Laboratory (CSHL)、沖縄科学技術大学院大学 (OIST))

船水章大先生 (CSHL, OIST)、Bernd Kuhn 先生 (OIST)、銅谷賢治先生 (OIST) による「大脳皮質における動的ベイズ推定の神経基盤」を明らかにした論文が、Nature Neuroscience 誌に掲載されました。

Neural substrate of dynamic Bayesian inference in the cerebral cortex.

Funamizu A, Kuhn B, Doya K.

Nature Neuroscience (2016) doi:10.1038/nn.4390.

プレスリリース

日本語: <https://www.oist.jp/ja/news-center/press-releases/26790>

英語: <https://www.oist.jp/news-center/press-releases/finding-your-way-around-uncertain-world>

### 概要

不確実な感覚情報に基づく状況推定では、自分の行動による状況変化を推定に組み込むことが重要です。このヒトや動物の高次な認知機能の解明は、脳科学の大きな課題です。一方、この課題は、工学分野では、動的ベイズ推定という理論で実現されています。本研究は、大脳皮質の頭頂葉が、動的ベイズ推定の重要な2要素を実現することを発見しました。具体的には、頭頂葉は、自身の運動による状況変化の予測と、感覚情報による予測の更新を実現しました。本研究は、これまで理論的な提案にとどまっていた仮説に、実験的な検証で証拠を示した初の成果となります。

### はじめに

動物は、暗闇や雑音下といった感覚情報の不確かな状況でも、行動する必要があります。不確かな感覚情報と自身の行動情報を組み合わせて現在の状況を推定することが重要です。この推定は、工学分野では、動的ベイズ推定 (例: カルマンフィルター) で実現されています。動的ベイズ推定は、自身の運動による状況の変化を予測し、感覚情報の取得で予測を更新します。例えば、マウスが暗闇で餌を探す場合、自身の歩行運動と匂いで、餌の位置を推定できます。

大脳皮質は、ベイズ推定を実装する脳部位として注目されてきました。また、動的ベイズ推定は、人工的な神経回路で実現できることが確認されています。大脳皮質は、6層のコラム

構造を持ちますが、皮質2、3、5層の錐体細胞で、ボトムアップ信号 (感覚情報) とトップダウン信号 (自身の運動情報) を統合します。なお、運動情報は、皮質深層での神経活動に特に反映されるため、私たちは、大脳皮質の2、3、5層、特にその深層が、動的ベイズ推定を実装すると予想しました。

この仮説を検証するために、マウスで、仮想環境下での音源到達課題を実施し、断続的な聴覚刺激のもとで、自身の歩行運動をもとに目標位置を推定する脳のしくみを調べました。二光子顕微鏡での神経活動カルシウムイメージングと、脳情報デコーディング技術を用いた結果、大脳皮質の頭頂葉の皮質3・5層は、動的ベイズ推定と同様に、自分の行動をもとに目標位置の変化を予測し、感覚情報で予測を更新することがわかりました。

### 自らの運動に基づく距離予測

私たちは、発泡スチロールのボールの上にマウスをのせ、ボールの回転に応じて周囲のスピーカーからの音の強さと方向を変える仮想現実環境を構築しました。音源到達課題の1試行は、音源の約1メートル先から始まり、マウスが前進してボールを回すと、音源が近づきます。マウスが音源の位置に来ると、目の前の管から砂糖水を提示されました。マウスは学習後、音源に近づくにつれて管をなめる行動を増加させました。次に私たちは、音源に向かう途中の約20センチのいくつかの区間で、音を止めました。この実験でも、音源に近づくにつれ

て、マウスは管をなめる頻度を増やしました。この結果は、マウスは自分の歩行運動をもとに目標位置を予測したことを示します。また、私たちは、マウスの頭頂葉に神経活動を抑制する薬 (GABA-A 受容体作動薬：ムシモール) を注入すると、音の無い区間では管をなめる行動が増えない、つまり自分の行動による目標位置の予測ができなくなることを発見しました。

### 頭頂葉の神経細胞による動的ベイズ推定の実現

8匹のマウスで、音源到達課題時の頭頂葉の数百個の神経細胞の活動を、二光子顕微鏡で同時計測しました。多くの神経細胞は、目標位置への距離に応じて活動を変化させました。また、これらの神経細胞の多くは、音の無い区間でも、その活動を維持しました。

この神経細胞集団の活動の意味を知るために、私たちは脳情報デコーディング技術を応用しました。この技術は、音のある区間で個々の神経細胞がどの距離でどれくらい活動するかという特性 (コーディング) を調べて、ある時点での多数の細胞の活動からゴール距離を確率的に推定 (デコーディング) します。頭頂葉の神経細胞集団は、音の無い区間でも、マウ

スの歩行に応じたゴール距離の変化を予測しました (図1)。また、音のある区間では、距離予測の精度が向上しました。頭頂葉は、外界からの感覚情報が無い場合にも行動から現在の状態を予測し、感覚情報が得られるとその予測を更新するという、動的ベイズ推定を実現していることが明らかになりました。

### おわりに

これまで、大脳皮質の神経回路が動的ベイズ推定を行うという理論的な仮説はありましたが、実験的に検証されていませんでした。私たちは、課題中のマウスの多数の神経細胞の活動を計測・解析することで、大脳皮質の頭頂葉が自らの運動情報による動的ベイズ推定に関わる証拠を得ました。

本研究は、新学術領域研究「適応回路シフト」と新学術領域研究「予測と意思決定」(<http://www.decisions.jp>) との連携により得られた成果のひとつです。また、本研究は、科研費若手B、沖縄科学技術大学院大学の研究費の補助を受けて実施されました。

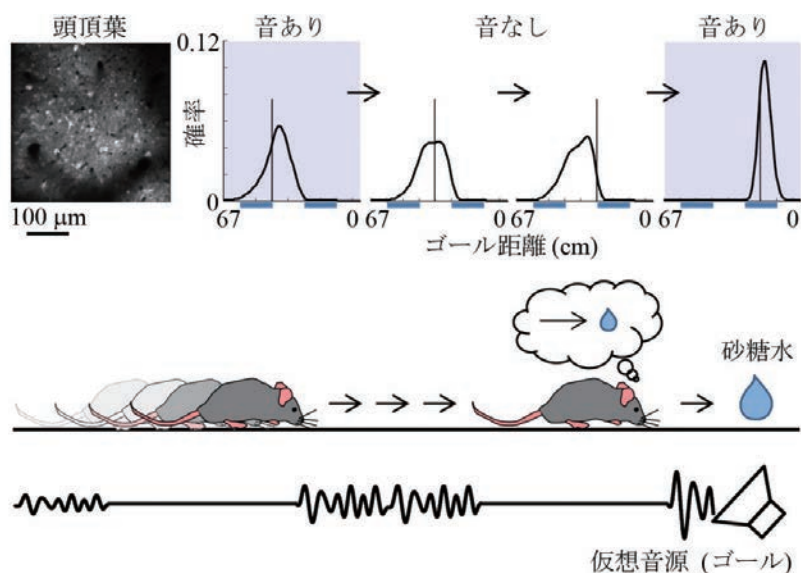


図1. 動的ベイズ推定に基づく頭頂葉の距離予測

頭頂葉で計測した神経細胞群の活動から、音源までの距離 (ゴール距離) をデコードした。頭頂葉は、音の鳴らない区間でも距離を推定できた。音の鳴る区間では、距離推定の精度が向上した。これらの結果は、頭頂葉が動的ベイズ推定の子測・更新に基づいて距離を推定することを示唆する。(右上の図：点線がマウスの位置、分布が神経活動から推定した距離)



# NIPS 2016 参加記

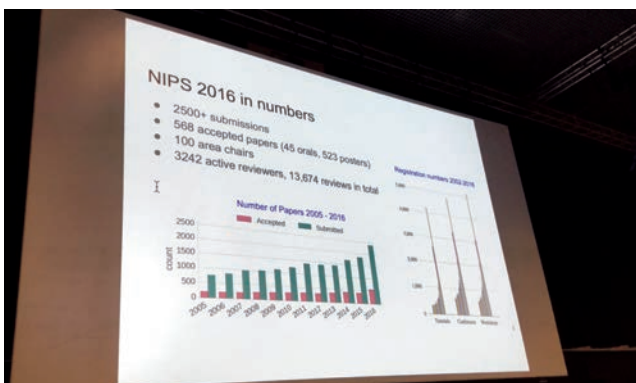
The Thirtieth Annual Conference on Neural Information Processing Systems

谷口 忠大 (立命館大学)

2016年12月5日から10日にかけてNIPSがスペインのバルセロナで開催されたので参加してきました。NIPSは現状では機械学習のトップ会議の一つとして見られており、論文の採択率は20%前後の大変難しい会議の一つです。現在の人工知能ブームが本質的には機械学習ブームであることを鑑みると、まさにその中心にあるような学会と言えるでしょう。また一方で正式名称が”Neural Information Processing Systems”であることが表すように、計算論的な神経科学に関する発表もあり、「人工知能と脳科学」という私たちの新学術領域にとっては最も関係する国際会議の一つと言えるかと思います。写真とともに様子をお伝えします。



巨大な会場に満席の参加者。参加者合計は5000人に上った。興味深かったのはNIPSは極めてアカデミックな「基礎理論寄り」の会議であるにもかかわらず、企業からの参加が多変多かつたということです。半分近い参加者が企業から来ていたそうです。また、会期中に「Googleからだけで300人来ています」という噂話を聞きました。「Googleからの参加者だけでカンファレンスできんじゃなの?」という冗談を言ったりしていました。



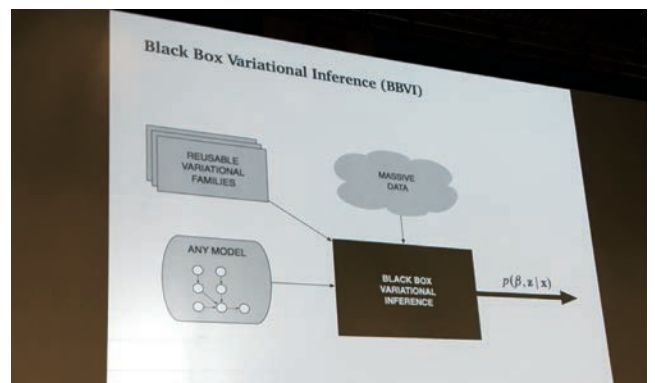
参加者数は文字通り指数関数的に伸びており、2017年がどうなるのが楽しみとともに不安にもなります。このままいくと1万人に達してしまい、もはや、理論系の国際会議としてはどう考えても大きすぎます。一方で投稿件数の伸びは二倍増とはいかず、伸びてはいるものの、急激に採択されない会議に変わっているわけではない様子が見受けられました。



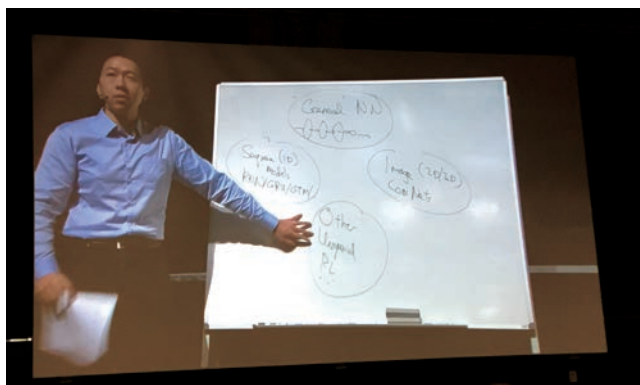
一方で、トピックに関しては、昨年度の段階ではまだ、「ディープラーニングだらけ」という状況ではありませんでしたが、今年はやはり、ディープラーニングが飛びぬけて多い印象を持ちました。

特に今年度の傾向としては、

1. Generative Adversarial Network(GAN)や Variational AutoEncoder(VAE)をはじめとした生成系のディープラーニング
  2. ディープラーニングの学習過程の解析や学習結果の解析に関する定理や手法に関するもの
  3. ダイナミクス (力学) の学習に関するもの
- などが多かったのがトレンドでしょうか。ディープラーニングのアーキテクチャやモデル、ディープ強化学習などは引き続き論文はありましたが、上記のような項目が目を引きました。



David Bleiらによるチュートリアルは” Variational Inference: Foundations and Modern Methods” という題目で、変分ベイズにかかわる基礎的な内容から、最先端の話題までを網羅した大変わかりやすく、エキサイティングなものでした。世の中の注目はディープラーニングに集まっていますが、階層ベイズモデルを対象とした変分推論においても大きな進展があることが分かりました。また、興味深かったのは変分推論のアルゴリズムの中でディープラーニングが用いられたり、変分推論の実装のためにディープラーニングのフレームワークである Tensorflow が用いられたりするようになってきている点でした。

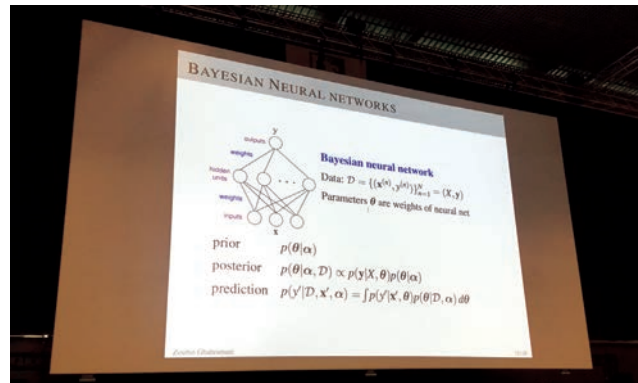


Baiduの Andrew Y Ngによるチュートリアル講演は” Nuts and Bolts of Building Applications using Deep Learning” という題目で、いかにディープラーニングの技術を製品にまで持っていくかという内容で、それにかかわるプロジェクトマネジメントの行い方にまで話は進みました。ディープラーニングがもはや基礎研究の段階ではないことを象徴しているように感じられました。また、通常のソフトウェア開発と同じような、同時に機械学習ならではの特徴を持ったソフトウェア工学的な視点が必要であることがよく分かりました。



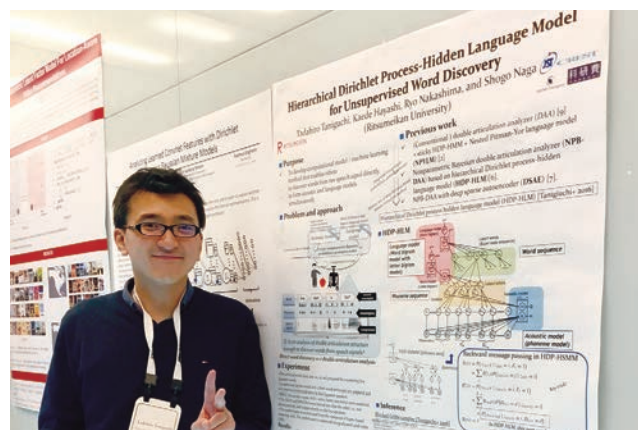
本会議のポスターセッションも、とにかくすごい人数でした。気持ちを強くしていかないと、人込みに酔ってしまいます。興味を引いた論文は多くありましたが、敢えて一つ紹介するならば、Matthew Johnsonらの ” Composing graphical models with neural networks for structured representations

and fast inference” です。いわゆる隠れマルコフモデルや混合ガウス分布といった階層ベイズモデルの出力分布にVAEを用いた上で効率的な変分推論を導くというもので、ベイズアプローチとディープラーニング双方の強みを生かしながら、データをモデリングすることができそうであり、人間の認知のモデルを構成する上でも、大変重要そうに思えました。私たちの計画班の課題にも応用できそうです。



本会議が終わった後は二日間のワークショップがありました。参加者数が多すぎるため、多くのワークショップが何百人という観客が入る状況で、もはやワークショップの段階になって初めて「普通のシンポジウム」が始まったという印象でした。多くのワークショップがありましたが、その中でも目を引いたのが Zoubin Ghahramani や Kevin P Murphy もオーガナイザに加わっていた ” Bayesian Deep Learning” でした。改めてニューラルネットワークとベイズアプローチの歴史を振り返りながら、今後の展開に関して議論がなされました。ベイズアプローチとディープラーニングの融合は本新学術領域の中でも注目している今後の方向性であり、私たちのグループからもこのような議論に加わっていくことが大切だと感じました。

主には情報収集を中心とした参加ではあったが、” Hierarchical Dirichlet Process-Hidden Language Model for Unsupervised Word Discovery” という題目で Practical Bayesian Nonparametrics というワークショップでポスター発表も行ってきました。本プロジェクトにおいても2~4年目のあたりでNIPSでワークショップを開催するなどして国際的な発信を強化していきたいと考えます。





## 新学術領域「人工知能と脳科学」+ポスト京「脳と人工知能」 合同ワークショップ

村上 晶郎（京都大学大学院 医学研究科 精神医学）

私は昨年（2016年）夏、8月11日、12日に湘南国際村センターで開催された、新学術領域研究「人工知能と脳科学」とポスト京「脳と人工知能」の合同ワークショップに、前者の研究班 A03-4の一員として参加しました。三浦半島の高台に立つ同センターで2日間、人工知能や脳科学についてのいろいろな角度からの議論が行われました。

私は前者の研究班の一員として参加したのですが、参加前から後者のポスト京プロジェクトの話が聞けるのを楽しみにしていました。なぜなら、後者はポスト京における全脳シミュレーションを計画していますが、私は偉大な哲学者・科学者である A.N. Whitehead が bifurcation of nature と名付けた、日常世界と原子や分子の運動で記述された世界が現代では分裂してしまっているという問題について長く考えており、たとえば原核生物の *Mycoplasma genitalium* で行われた whole-cell computational model というような試み (Karr et al. Cell 2012) は、生命体の活動と分子レベルの世界がどのようにつながっているのかを考えるのに重要な実例であると考えていたからです。もちろん原核生物のシミュレーションとニューロンモデルを基礎にした全脳シミュレーションには多くの違いがありますが。

精神科医として臨床をしながら研究も続ける者にとって、苦しむ人間を前にして自分には何ができるかを考えることと研究の主題が切り離せないのは自然なことと思われます。そうであるなら、統合失調症のような、人がそれによって苦しみまたその病態生理の解明が難しい疾患について、脳機能の解明と手を携えて研究することは、まず私たちにとっての一つの明らかな課題となるでしょう。私たちも実際この新学術領域研究において、知覚処理の場面で bottom-up と top-down の過程がどのように組み合わせられて処理が行われ、また統合失調症においてはそれらの過程にどのような変化が生じているのか、ということを示すだけでも明らかにしようと、まだこれまであまり試みられていないニューラルネットワークモデルを用いた解析法を利用する計画を進めています。これはまさしくこの新学術領域研究、人工知能と脳科学の意図に沿ったものと思われます。

しかし、私にはその他に、日々の臨床を通して、あるいは特に精神科の臨床にとどまらず人生を通じて、生じる問いがあり、それが私の中で上記に述べた bifurcation of nature の問題とつながるのです。人間の生には、自分のコントロール外

のものによって、ある時はその能力の開花が可能になるという面があるとともに、ある時には強く苦しめられることにもなるという面があります。不幸な事件の当事者が精神科に来院することがあります。その人たちは、気付いた時には重荷を背負っており、それは自分がコントロールし得ないことです。自分がなぜその重荷を背負うことになったのか理解しようと、せめて理解することで苦しみを和らげようと問いますが、その答えを見つけることが極めて難しい時が多くあります。そして人間は誰もがそうした重荷を背負う可能性を持っています。こうした人間の救いはどこにあるのでしょうか。

私にはこうした人間の問いが常に頭にあり、そしてこうした問いが生じる人間の日常が primary であって、そこにおいて他に出発点はないと考えています。しかし、科学の描く世界とこうした問いが生じる日常の世界にはやはり距離があり、その両者の関係については、よく知られているように、いろいろな考えの立場があります。私は、現在の科学の枠組みは、やはり歴史のある地点から始まった一つの試みであって、実に素晴らしく成功をおさめてきた試みではありますが、他の選択肢がないわけではないのではないかと考えています。つまり、現在の科学の枠組みの変更を行うことで bifurcation of nature の問題を考えたいと思っているのです。もちろんそのようなことは多くの人が考えていることなのですが、それを具体的にを行うのは非常に困難です。しかし、この脳科学や人工知能といった科学の最前線では今、生命体の活動と分子レベルの世界がどうつながっているのかを具体的に議論することが可能になり始めているのです。

今回のワークショップは二つのプロジェクトの共同で開催され、少なくとも私にとっては、大変有意義なものとなりました。そうした共同を可能にした両プロジェクトの代表である銅谷教授をはじめ、参加者の皆様にはここで感謝を述べたいと思います。





## 第1回領域会議 新学術領域研究「人工知能と脳科学」

塚田 啓道（沖縄科学技術大学院大学 神経計算ユニット）

2016年12月21日、学術総合センターにて新学術領域研究「人工知能と脳科学」第1回領域会議が開催されました。

はじめに領域代表の銅谷賢治先生からこの領域研究で目指す研究の方向性についてお話をいただきました。人工知能と脳科学の先端的な研究者が両分野の最新の知見を議論することにより、新たな学習手法の開発や脳機構の解明を目指したいとお話がありました。

会議はA01「知覚と予測」、A02「運動と行動」、A03「認知と社会性」の順にそれぞれの進捗報告があり、それぞれの研究がどのように融合可能か議論されました。

A01班の報告では、「知覚と予測」に関して松尾豊先生、銅谷賢治先生、田中啓治先生の発表がありました。従来の人工知能技術との違いや最近の人工知能技術についての動向についての発表があり、人工知能を使った予測研究として0.1秒後を予測する動画や静止画から生成したの動画等も紹介されました。また、脳科学研究としてはマウス大脳皮質における動的ベイズ推定の原理の検証実験や、マカクザルと人間の学習の違いについての発表がありました。特にマカクザルと人間の違いについて、課題のルールが変わった直後のタスクの成功率は人間では非常に高い正解率になるのに対し、マカクザルではチャンスレベルになってしまうとお話がありとても興味深いと思いました。



A02班の報告では、「運動と行動」に関して森本淳先生、疋田貴俊先生、松本正幸先生、五味裕章先生の発表がありました。大脳基底核の間接路の遮断が弁別学習へ及ぼす影響や、ドーパミンニューロンの行動への影響についての発表がありました。また、視覚に引きずられる動作の話もあり、異なるモダリティの情報統合がどのように行われているのか興味深いと思いました。ドーパミンなどの神経修飾物質が神経回路にどのように働き、外界から同時に入力される異なるモダリティの並

列情報を制御しているのかを明らかにすることによって、今後の人工知能の情報処理システムをより柔軟にすることができると思いました。



A03班の報告では、「認知と社会性」に関して坂上雅道先生、村上先生、谷口忠大先生、中原裕之先生の発表がありました。fMRI測定によってLPFC（前頭前野外側部）領域とカテゴリ機能の関係や統合失調症と健常者の情報処理の違いを明らかにするお話がありました。社会性に関連して、他者の報酬と自分の意思決定との関連や他者予測を生かす意思決定についての発表もありました。音声認識分野における二重分節構造を教師なし学習で解析する二重分節解析の手法も紹介され、今後この手法が他の研究とどのように共同研究されるのか非常に興味深いと思いました。



今回の会議は人工知能と脳科学が双方の知見をどのように融合できるのかに興味があり参加しました。サルと人間の情報処理の違い、精神疾患患者と健常者の情報処理の違い、神経修飾物質を利用した情報統合機能やカテゴリ化の脳内メカニズム等、人間の高次情報処理メカニズムを究明していくことで、今後の人工知能情報処理をどこまで柔軟なシステムにすることができるのか大変興味深いと思いました。また、逆に人工知能の情報処理で有用なシステムが脳の情報処理の新しい仮説にどのように繋がるかを考えることの重要性も学ぶことができました。

# イベント情報

## 平成 28～29 年度 主催イベント

### 新学術領域「人工知能と脳科学」+ポスト京「脳と人工知能」 合同ワークショップ

日程：2016.8.11-12

場所：神奈川県 湘南国際村センター

[http://www.brain-ai.jp/events\\_j](http://www.brain-ai.jp/events_j)

### 新学術領域「人工知能と脳科学」キックオフシンポジウム +公募説明会

日程：2016.9.13

場所：東京都 東京大学工学部 2 号館

[http://www.brain-ai.jp/events\\_j](http://www.brain-ai.jp/events_j)

### 第 1 回 領域会議

(次世代脳プロジェクト2016年度冬のシンポジウム期間中)

日程：2016.12.21

場所：東京都 学術総合センター内一橋講堂、中会議

<http://www.nips.ac.jp/brain-commu/2016/outline.html>

### 第 17 回冬のワークショップ

#### 脳と心のメカニズム

日程：2017.1.11-13

場所：北海道 ルスツリゾートホテル

<http://brainmind.umin.jp/wt17.html>

### 第 1 回 サマースクール

#### 新学術領域「人工知能と脳科学」

日程：2017.8.2-4

場所：埼玉県 理化学研究所 脳科学総合研究センター  
(RIKEN BSI)

## 平成 28～29 年度 共催・協賛・後援イベント

### 第 2 回全脳アーキテクチャ・ハッカソン

#### 「みんなで作る認知アーキテクチャ」

日程：2016.10.8-10

場所：神奈川県 慶應義塾大学日吉キャンパス

<http://wba-initiative.org/1705/>

### Florentin Worgotter 教授

(Georg-August 大学計算論的神経科学グループ) 講演

日程：2016.10.21

場所：滋賀県 立命館大学びわこ・くさつキャンパス

<http://www.aml-dynamics.net>

### ASCONE2016

日程：2016.11.3-6

場所：長野県 かたくら諏訪湖ホテル

<http://spike.eng.tamagawa.ac.jp/ASCONE/>

### 第 1 回 NIPS 読み会・関西

日程：2016.11.12

場所：大阪府 立命館大学 大阪茨木キャンパス

<https://air-osaka.doorkeeper.jp/events/53325>

### 長井隆行教授 (電気通信大学) 講演

日程：2016.11.23

場所：滋賀県 立命館大学びわこ・くさつキャンパス

<http://www.aml-dynamics.net>

### 第 2 回 NIPS 読み会・関西

日程：2016.12.26

場所：大阪府 立命館大学 大阪茨木キャンパス

<https://air-osaka.doorkeeper.jp/events/55199>

### ISSA サマースクール

日程：2017.5.22-6.2

場所：大阪府 脳情報通信融合研究センター (CiNet)

<https://groups.oist.jp/ja/issa>



発行 / 編集 新学術領域研究「人工知能と脳科学の対照と融合」

お問い合わせ 新学術領域研究「人工知能と脳科学の対照と融合」事務局  
Mail [ncus@oist.jp](mailto:ncus@oist.jp)

2017年3月発行

[www.brain-ai.jp](http://www.brain-ai.jp)