

「人工知能と脳科学の融合」の過去・現在・未来

北澤 茂

大阪大学 教授 / 総括班評価者

私が脳生理学教室の大学院生だった30年前に、深く感銘を受けた論文があります。1988年にNature誌に掲載されたZipserとAndersenの論文です。当時ブームになっていた誤差逆伝搬法を使って、網膜像と眼の位置の入力を頭部中心座標系に変換しただけではありません。そのとき「育った」中間層のニューロンの生理学的な性質(複雑な受容野の形状など)が、頭頂葉7a野で実際に記録されたニューロンの性質とそっくりであることを示したのです。これぞ理論と生理学の融合の理想像だ、と興奮しながらラボのミーティングで紹介したことを思い出します。

当時3層で高々200個の素子で構成されていた人工神経回路は、9層80万個に成長して歴史の舞台に「戻って」来ました。2012年にAlex Krizhevskyらが発表して、今では親しみをこめてAlex netと呼ばれる人工知能は、100万枚を超える写真を使って写真を1000個の名詞に分類するように徹底した訓練を受けた人工神経回路です。画像処理の世界でのすばらしさも然ることながら、私はAlex netの素子の「受容野」に深く驚きました。人工網膜層からの入力を受ける一つ目の中間層の素子の「受容野」が一次視覚野と同様の縞模様を示したのです。どうして脳は世界を縞々に分解するのかな、と長年不思議に思っていたのですが「網膜のどこに映っても、見たものが何か分かる」という機能を実現するには都合がよかったのです。今や、Whatの問題を解く多層神経回路の各層が初期視覚野から側頭葉の高次視覚野に至る脳の「中間層」の性質とよく似ていることが示されています(YaminsとDiCarlo, 2016)。生物が進化の過程で時間を

かけて脳に獲得した階層構造を、ディープラーニングがいとも簡単に「再現」してしまったというわけです。

そうすると、ヒト特有の高次機能の研究に目が向きます。コウモリのエコロケーションの仕組みはよく

わかっているのに、ヒトの言語機能の神経基盤については、未だにおぼろげな「場所」がわかっているに過ぎません。これは、ヒトから取得できるデータに制約があることに依っています。それなら、人工神経回路が言語を理解するように育ててしまえばいいではないか。そうすれば、後はゆっくりその中身を調べて「言語機能」の核心を取り出して、ヒトの脳と比較することができるはずです。

そんな回路はすでにある、という声が聞こえてきます。確かに「今日の天気は?」とsiriに聞くと「今日は天気がよくないでしょう...」と答えてくれます。私の発音を正しく解析しているので、脳の「音韻学」の解はすでにこれらの人工知能の中にあると思われれます。でも、本当にsiriは「言葉を理解」しているのでしょうか。どうやらそうではなさそうです。「現在のAIの理論と技術では「意味とは何か」の解明の見通しは立っていない」といいます(新井、2017)。この本質的な問題を解決するには、異分野の知恵、例えばヒトの発達研究に根差した素朴で力強い哲学など、が必要ではないかと考えています。「人工知能と脳科学の融合」の未来はさらに人文科学的な知との融合によって拓かれる。私はそう確信しています。





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



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 上席特別研究員



五味 森本さんはロボットが専門だと思いますが、私ももとはロボットの研究室を出ていて、ドクターは早大の加藤一郎先生のところで取らせていただいたんです。

森本 それはすごい。日本でヒューマノイド研究をはじめて手がけた著名な先生ですよ。

五味 実は私は、加藤一郎先生のファイナルドクターなんです。3月に博士をいただいて、博士授与式後の大学の祝賀会では加藤先生にもお祝いしていただきました。その6月だったと記憶していますが、急病で亡くなられて、突然でびっくりして、また大変残念でした。3月にお会いした時にはお元気そうだったのですが。

森本 どのようなテーマで博士論文を書かれたのですか？

五味 ATRで行った、運動学習メカニズムのモデル化の話で、フィードバック誤差学習をフィードバック制御系に拡張した話を軸にして、そのメカニズムで前庭動眼反射や視機性眼球運動などの小脳学習モデルができるという話、その考え方で追従眼球運動 (OFR) の小脳データを解析して逆モデル的な表現が小脳で獲得されていることを示した話、それからその拡張でモジュラー学習を使ってロボットの負荷適応 (ソフトマックスでの制御系の切り替え) がうまくできるという話です。

森本 それを加藤先生は聞かれたわけですよ、公聴会を。どのようなコメントをされていましたか？

五味 加藤先生は、歩行制御を中心としたヒューマノイドロボットが専門でしたが、お話をする中で、やっぱり単に運動ということだけではなく「人間」というものに興味があるという気がしました。

森本 なるほど。

五味 究極は心の問題に興味があったのではないかと。

森本 そちら側の興味を持たれていたのですね。

五味 加藤先生がご存命中に準備されたと同ったのですが、早稲田大学で95年からしばらく『心と機械』というタイトルの講義を一部担当しました。加藤先生が亡くなられて、講義を分担する話が来たのですが、タイトルが大きすぎて講義内容を組み立てるのに悩みました。加藤先生がどう考えてこの講義を計画したのかを考えた時に、加藤先生は人間というものを理解したくて、ヒューマノイドロボットを研究していたんだろうと自分なりに解釈して、講義では、私自身がそれまでに行ってきた脳の情報処理を理解する取り組みを中心に紹介していました。私も、機

械工学科に入って、でも人間のことが理解したくて、人間を模したロボットっていうのに惹かれて加藤研に入ったので。

森本 そこからどのようにニューロサイエンスに移っていかれたのでしょうか？

五味 実は、NTTに入るときにロボットはやめようと思ったんです。

森本 (笑) それはなぜ。

五味 NTTはロボットの会社じゃないと思っていたので、ロボットはやらないだろうと。情報処理系に興味があったので、そういう方向で研究開発ができたかと思っていました。しかし、配属されたところはロボットをやっていた部署で、はじめ部署名は違っていたのですが、ほどなく『知能ロボット部』という部になりました。

森本 そのような研究部署があったのですか。

五味 ロボット関係を大学で専攻した人が必要で、その部署に配属されたようです。昔のNTTは割とゆとりがあったのか、何を研究開発すればいいか自由に考えてみなさいと言われました。それで、ロボット関連のことで何が一番やりたいかって考えて、どうしたら知的なロボットができるかを考えたい、と思ったんです。その頃流行っていたのが、AIではブラックボードモデルだったかとおもいます。もう忘れてしまっていますが、ブラックボードの中に有用な情報を入れていき知的なシステムを作っていく、というような、いわゆるAI。それをちょっとかじってみて、やっぱり機械の特に制御系を考えるのが好きだったので、適応制御の勉強をずっとしていました。

森本 そうなんですね。

五味 学習ってなんだろう、賢くなるってなんだろうっていうのをずっと考えていて、学習が一番近い適応制御を勉強していました。時間があつたので、しっかり専門書を読み込んでいました。そのうちにニューラルネットワークを知る機会があつて、ニューラルネットワークを使って制御をより賢くできないかということを考えて、Cart-Pole Systemの学習制御ができないかとトライしていました。当時、音声研究で有名な河原さんという方が基礎研究所にいらつしゃって、ニューラルネットワークを研究題材にされていたので、そこに3ヶ月間の実習行って勉強したりしていました。ニューラルネットワーク研究をいろいろ見ていると、川人さんの論文を目にすることがあつて、フィードバック系の学習に使えないかと勉強していました。そうしたら、ある日「お前 ATR 行かないか」という話が突

然飛び込んで来たんです。

森本 そうだったんですか。

五味 もう少しシニアな方を派遣しようと思っていたようなのですが、テーマ的に合う人がたまたま私だったようで、まだ入社間もない私に話が来ました。川人さんの研究は目にしていたので、行きますって即答して、それがニューロサイエンスの世界の入り口でした。深く学習メカニズムを考えようすると、脳の仕組みを知りたくなる。そんな感じです。

森本 なるほど。

五味 もともと学習というテーマに興味があったのと、川人さんが当時やられていた研究は、すごく制御理論と親和性があると思いました。ロボット適応制御の整理された理論の枠組みと対比をすると、もっとラフな（生体に近い）学習系でどうすればいいかを考えるきっかけが得られました。学習系をシミュレーションしながら、収束をさせるにはどのようにしたらいいかを悩んで、ようやくフィードバック系の学習の基本が組み立てられました。川人さんが以前からやられていたフィードフォワード系のフィードバック誤差学習の話と合わせて考えると、小脳の3つのエリア、外側部、中間部、虫部が、こんな風に学習モデルと対応するのではないか、ということ川人さんが提案されてモデル化の話が進みました。私は、前庭動眼反射(VOR)や機視性眼球応答(OKR)の小脳ゲイン適応が、新たに考えたフィードバック系の学習モデルで説明できるのではないか、と提案して、VOR、OFRの同時適応を模擬するシミュレ-

ションプログラムを作って、ちゃんと動くことを示すと、川人さんもすぐに納得されて、論文化が進みました。(図1)

森本 後に有名になる論文を多数書いておられますよね。

五味 あの頃が一番研究をしていて楽しかったように思います。僕は制御を勉強してきていたのでその視点から考えることが多くて、川人さんはニューロサイエンスと物理をバックグラウンドに持っておられたので、すぐに私の話を理解してさらにいろいろ助言をいただきました。すごいインタラクション量で毎日のようにディスカッションとシミュレーションと理論の検討というので、すごく楽しかった時期でした。

森本 ニューロサイエンスの問題があってそこに制御のツールを提供してうまく説明ができたということですよね。そこから逆にニューロサイエンスのほうから制御へ戻ってくるような部分というのはなかなか無いことなんでしょうか？

五味 制御は数式で表現するじゃないですか。ブロック図で考えて、理にかなっているかどうか考えて、最後は数式として表現していくわけです。私は、その過程でニューロサイエンスの話から離れて考えました。一度整理してみて、また実際の神経回路を眺め直して見るみたいな感じでした。学習のための誤差表現を考えている時に、あの頃はForward model(予測器)で出力誤差をbackpropagation(BP)で制御入力への誤差に変換をするという話を、Narendra や Jordan が提案していました。しかし実際の脳でBPはないだろうと川人さんは思っ

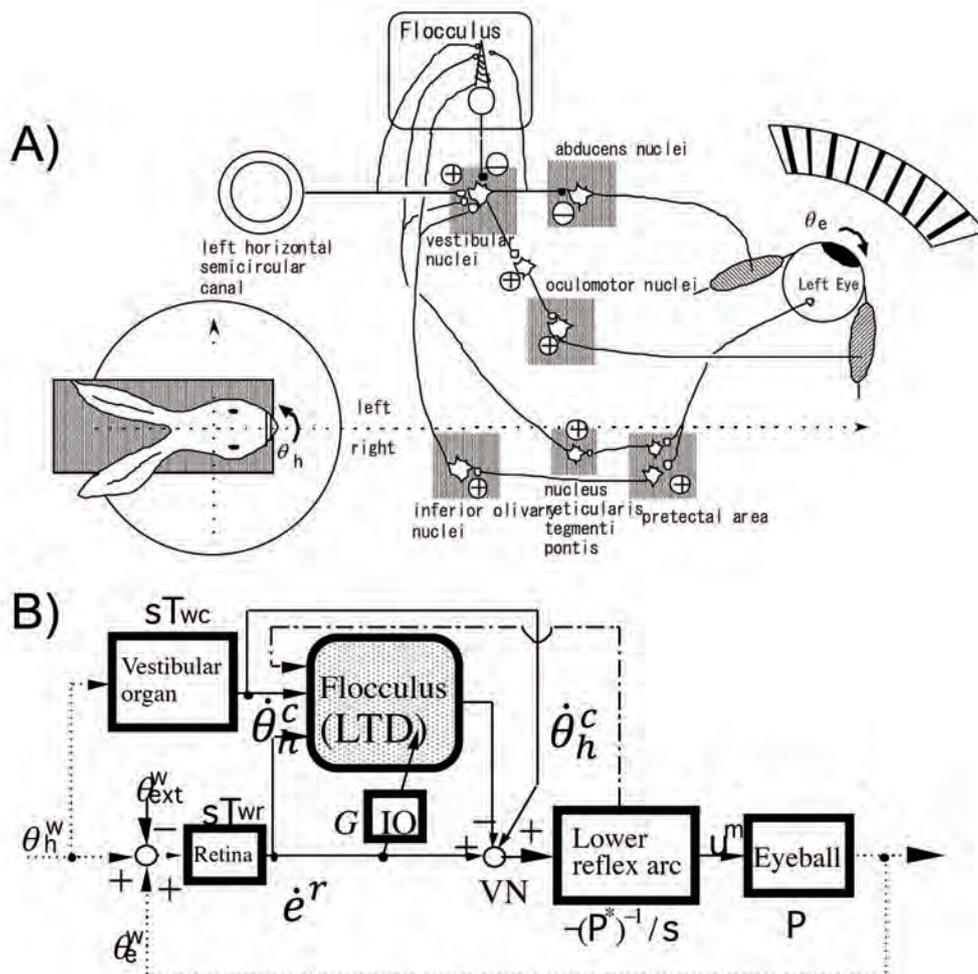


図1 前庭動眼反射(VOR)、視機性眼球反応(OKR)を引き起こす神経回路(A)と適応学習モデル(B)

ていて、私もそれに賛同していました。それにこだわって、フィードバック系のフィードバック誤差学習ができてきたんです。でもそれを考えているときは、ニューロサイエンスの話は横に於いて理論的な枠組みを考えることが多かったと思います。

森本 なるほど。

五味 ニューロサイエンスは考えるきっかけやコンセプトを作るのにすごく役に立つのだと思います。多分、多くの神経回路モデルをやっている研究者もそんな感じではないのでしょうか。ディープニューラルネットワークとかニューラルネットワークを研究している人たちも、ニューロサイエンスの知見が出发点になっているのだと思います。しかし、モデルを深く考え始めた途端に、モデリングのフィールドでの合理性で考えていくのではないかと思います。いかがでしょうか。次元を減らして、単純化して、モデリングパフォーマンスがよいものを作る、という過程ではあまり実際の処理がどうなっているかは考えづらいように思いました。

森本 メタなレベルでのコンセプトとか考え方とかアプローチとか、そういうところを取ってくるって感じですかね。

五味 そうですね。でもそう思いませんか？

森本 そうですよね、そうならざるを得ないというか。

五味 ならざるを得ないですよ。

森本 かつ、ヒトがやっていると存在証明はあって。

五味 人は動いてます、ということで。そこは殺し文句な気がしますよね。それは加藤研の時代からそうでした。コップを取るって動作は健常者にとっては簡単ですよ。それがロボットでやろうとするとこんなに難しいとか、歩く動作をロボットでやろうとするとこんなにも大変なのはなぜだろうって、そこは考えさせられました。バイオロジーだったり Human Behaviour Control の研究から、素朴だけど難しい疑問が得られて、その疑問を解くにはどうすればいいかっていうように考えさせられる。疑問を突き付けられることが、生体から学ぶということかなと思います。

森本 そういうレベルではやっぱり研究者のインタラクションが一番あるべき姿ということなんですね。

五味 そうですね、そうだと思うし自分の中でそれができる環境があったっていうのがすごく幸せだったなっていう風に思います。本当に川人さんのところに行けたのはたまたまの偶然だったんだけどすごくよかったし、研究のコミュニケーション・インタラクションの中で1+1が2以上になっていくような体験できたのはすごく貴重でした。やっぱり共同研究で面白いのは、1+1が2以上になっていくことなんですよ。共同研究でもポジティブループが回ったときの面白さを何度も体験させてもらいました。

森本 一方で、なかなか回り始めないということもあると思うんですけど、インタラクションを促進する上で重要なポイントはどのようなところでしょうか？

五味 ゆとりとか無駄な時間がないとそういうインタラクションってなかなか生まれないう風に思います。そう痛切に思いますね。余裕がない人と楽しく話すとかができないし、やっぱり研究についてフランクに楽しく話ができる人と一緒に研究したいなっていう気持ち。この人と一緒にやると面白そうだな、と直感が得られることが重要に思います。そこはみなさんあるんじゃないでしょうか。単にこの人がエキスパートだからじゃあこの人とやりましょうみたいな感じじゃなくて、共感できたり、思考がシンクロする印象があったりすると、共同研究はうまく進むんじゃないかっていうような気はします。

森本 重要なサジェッションですね。

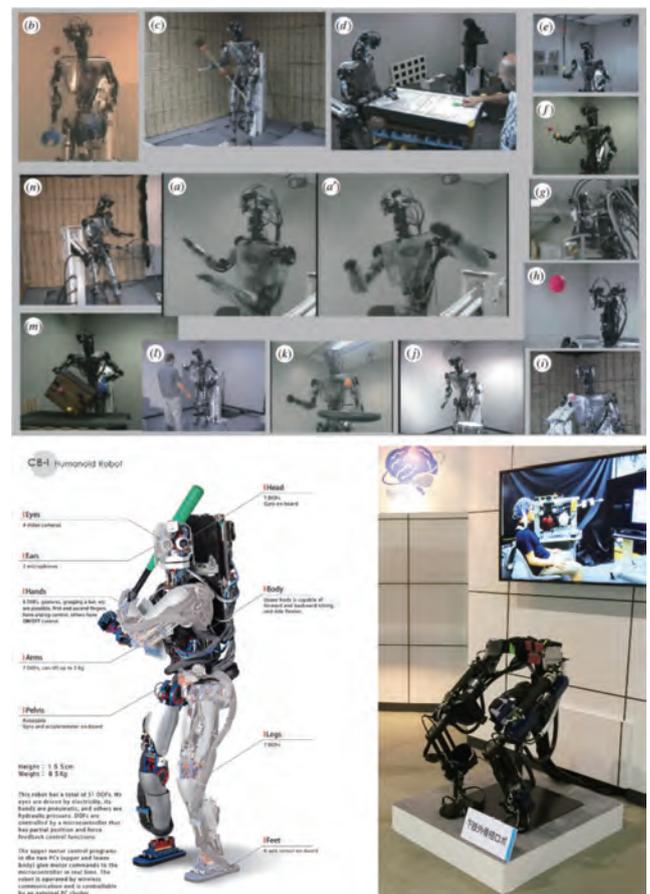
五味 いろんな研究者と話しているとそれは結構重要なのかなと思います。あんまり合理的に考えてないというか、優秀な研究者が好き嫌いで別の研究者を判断していたりする。そんなもんなのかなって思っぴっくりしたりすることがあります。なんとなく馬が合うっていうのはすごく重要なんだろうなって。私もある研究者と長く共同研究してるんですけど、彼とは馬が合うんだと思うんですよ。彼と話して楽しいし、新しい知識が入ってくるし、違う視点や価値観を持っていても、それを知るのが楽しいと思えるのが長く続いている理由なのかなと思います。

森本 そこの中で具体的な共同研究に具体化していくフェーズに移行するかどうというのはどういうところで決まってくるのですか？

五味 たまたまきたチャンスに乗る、乗ってみて考えるってことでしょうか。いま共同研究している方も、いろいろ話を聞くと彼の興味と僕の興味と若干違うんですね。それが結構重要で、若干違うんだけど共通で話すところも結構ある、というのが面白くて。だからコンペティターにはならない。

森本 そうか、同じ過ぎるとかえってよくない。

五味 同じ過ぎるとコンペティターになっちゃうから。やっぱり若干違って、同じ問題でも見る視点が違ったりだとか。見る視点が違うと違うアイデアが出てくるし、アプローチも違う。あんまりお互いにやっていると対して干渉はしないんだけど、でもいろいろコメントはするみたいな関係ですごくうまく進むように思います。たまたま共通の話があったりすると一緒に考えたりできることは重要ですね。



Morimoto and Kawato, The Journal of the Royal Society Interface, 2015

森本 それは理想的に進んだケースですね。

五味 その共同研究では、一緒に公的ファンディングを取ったり、互いの研究室のメンバーの交流もしていて、若手にも刺激になっているのではないかと思います。共同研究もいろいろなパターンがあって、同じところに興味があるんだけどちょっと見方が違うので、少し違う視点で議論が面白いので一緒にやる、みたいなものもあります。いろんなパターンがあるのだと思います。でも、やっぱりお互いその問題に対してすごく興味を持ってることっていうのはすごく重要ですよ。そうしないとなかなか続かない。

森本 確かに。他方で、こうやったら面白いだろうなとは思いつつも、時間的な制約から共同研究が始まるところに乗せるまでの難しさを感じます。

五味 そうですよ、ゆとりが無くなってきますよね。僕、面白い体験をしたなって思い出すのは、設楽先生・河野先生とのコラボレーションが始まるきっかけです。生理研での会議で河野先生が追従眼球応答の話がされていて、それを見た川人さんと私は「これは俺らの方法で説明できるんじゃないか」と思ったんです。そこで、解析すると面白いのではないかという会話を河野先生としたところ、後日、設楽先生から貴重なデータを送っていただけました。その頃、私は別のトピックの議論やシミュレーションに忙しく、川人さんにはそれを気遣っていただき、「先方も解析してるんだから、そんな簡単にうまくいかないよ。また時間ができたら解析すればいいから」といったような言葉を頂きました。しかし私は「いやいやもしかしたら面白いかもしれない」という思いに突き動かされて、自分たちの逆モデル説に基づいて解析をしてみました。そうし

たら意外とすくなくうまくできてしまったんです。(図2)川人さんに結果を持っていったら目の色が変わって、河野先生、設楽先生にも興味をもつていただき、一気に解析に熱が入りました。あれは面白い経験でした。共同研究では、壁を突き崩すトリガーが無いといけない、双方が面白いと思うきっかけがなきゃいけない、そして、上司の言うことに従ってばかりではいけない、と思いました(笑)。

森本 そうですね(笑)。

五味 私も、余裕があったというか、体力があったというか。

森本 やはりインタラクションは重要なですね。

五味 新学術でもよいインタラクションをできるように心がけたいと思います。

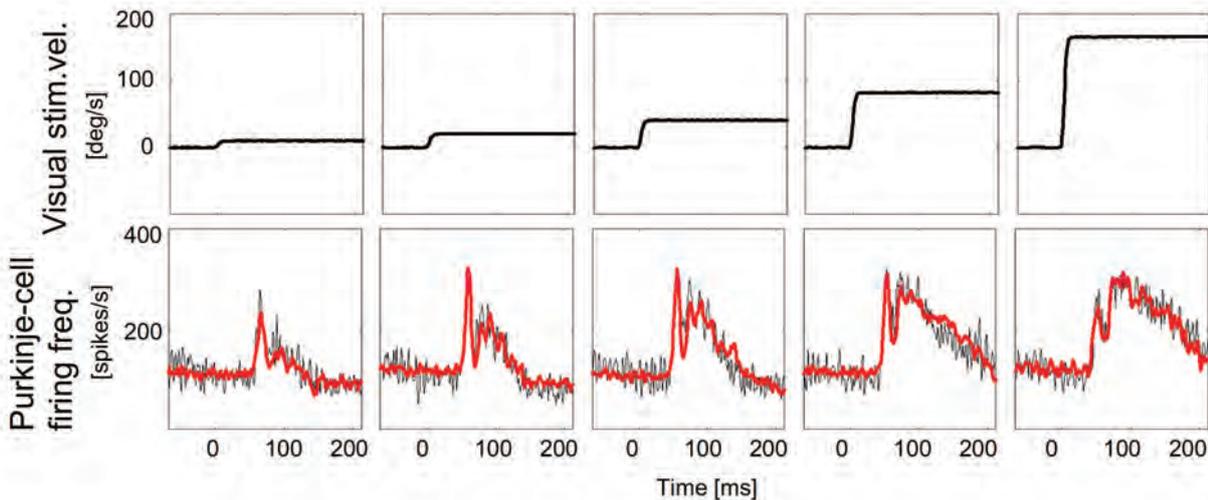


図2 小脳プルキンエ細胞の活動解析

様々な速度の視覚刺激によって起こる追従眼球応答に関連する小脳プルキンエ細胞の活動(黒)が運動データから逆推定(赤)できることを示した。(Shidara et al. Nature, 365(2) 50-52, 1993; Gomi et al. J. Neurophysiol. 80 818-831, 1998)

人工生命国際会議「Alife Conference 2018」

生命現象を人工的に立ち上げることは、人工知能に先行します。既存の生命に限定されない、可能性としての生命をわかる、これを人工生命の研究(Artificial Life = AL)と言います。1987年にアメリカのLos AlamosでChris Langtonの呼びかけで始まった人工生命の国際会議も今年で30年を迎えます。ヨーロッパでも92年ぐらいからALの国際会議が始まっています。研究対象は、自律ロボット、人工化学反応システム、セル・オートマトン、そして生命哲学と、その裾野は当初から大きく広がっています。

2018年、これまで隔年で開かれていたアメリカとヨーロッパでのALの国際会議を統一して、ALの国際会議を開くことになりました。その第一回を東京で開催することとなりました。それが、ALIFE2018です。

場所は、東京のBay Area、お台場の未来館の7階を貸し切って、7/23 から7/27まで開催します。

ALIFE2018のテーマは、Beyond AIです。いま、深層学習を中心に急激に人気を博しているAIの次に来るもの。それは間違いなくALの研究です。だから、AIの次に来るもの、なのです。サブテーマは、人工生命と複雑系の科学の新しい認識論を目指して！です。

今回は3つの大きな特徴があります。1つめは、7/22にTEDのように一般向けのALの1日会議を開くこと。2つめに、生命をテーマとしたアートを未来館の3階で開催すること。3つめは、これまで取り上げてこなかった新しい分野を見据えたキーノートを招待していることです。それは、Rodney Brooksのようなパイオニアに加えて、開かれた進化を見据えた新しいアルゴリズムNEATを開発したKen Stanleyや、去年のアルス・エレクトロニカで最優秀賞を獲得したコンピュータゲームのDavid O'Reilly を迎えていることです。加えて、Kids Workshopとして、小倉ヒラクを迎えて、発酵ワークショップを開きます。ぜひ、皆さんにも投稿してもらって、新生ALIFEを盛り上げていきたいです。

池上 高志 (東京大学)

Conference page <http://2018.alife.org/>



Alife Conference 2018のロゴ

Location	東京都、日本科学未来館
General Chair	Takashi Ikegami (The University of Tokyo, JP)
Program-Chair	Nathaniel Virgo and Olaf Witkowski
Keynote Speakers	Rodney Brooks (Founder of iRobot / Director of MIT Artificial Intelligence Laboratory (AI Lab), US) Kenneth O. Stanley (Professor at University of Central Florida / Senior research scientist at Uber AI Labs, US) David O'Reilly (Film Maker / Artist , IE) Hiroshi Ishiguro (Professor at Osaka University, JP) Inman Harvey (Professor at University of Sussex, UK) Hyejin Youn (Assistant Professor at Northwestern University, US) Elena Antonova (Lecturer, King's College London, UK)
Important dates	January 19th 2018, Deadline for workshop and tutorial proposals March 19th 2018, Submission of papers/abstracts April 23rd 2018, Notifications of acceptance May 21st, 2018, Camera-ready versions July 23-27 2018, Conference convenes

The 8th Joint IEEE International Conference on Development and Learning (ICDL) and on Epigenetic Robotics 2018 (IEEE ICDL-Epirob 2018)

人工知能と脳科学の対照と融合は、新学術領域であると同時に、伝統的な領域でもあります。ご存知のように、現在流行中のディープラーニングは人間の脳神経系に示唆を受けたニューラルネットワークを基盤とし、その視覚野の処理に関する理解などに影響を受けて高い精度を持つパターン認識装置を作り上げてきました。これは、より広く言えば、人間の認知を支える、人間の学習のハードウェア、ソフトウェアに示唆を得た研究の成果といえます。しかし、さらに、より長期的に学び、成長し続けていく人工知能、ロボットを作ろうとするならば、学習のみならず、発達に目を向けることも重要でしょう。



IEEE ICDL-Epirob 2018の開催地（東京都）

発達ロボティクス (Developmental Robotics) は人工知能を含んだロボティクス研究と、発達心理学、脳科学等の人間理解のコラボレーションの下に学際的な研究を進めようという学問領域です。日本国内では、大阪大学の浅田稔教授らにより主に推進され、認知発達ロボティクス (Cognitive Developmental Robotics) という言葉でも呼ばれるものです。筆者らが推進する記号創発ロボティクス (Symbol Emergence in Robotics) はその一つの派生として捉えることもできます。ロボティクス全体からみると、比較的小さな、また、特徴的な領域であります。発達心理学からみれば、かなり変わった領域に見えることもあるでしょう。しかし、このような研究ビジョンは、現在、ディープラーニングの成功を経て、より長期的な学習・発達 (Life-long learning) を実現し、汎用人工知能 (Artificial General Intelligence) を実現しようとする Google Deepmind に代表されるような人工知能研究の潮流とも奇しくも一致する側面も大なりと言えます。

発達ロボティクス分野における、唯一の国際会議 IEEE ICDL-Epirob (Joint IEEE International Conference on Development and Learning and on Epigenetic Robotics) です。その会議が、今年、東京 (早稲田大学) で9月に開催されます。大会委員長を国内のロボティクスのディープラーニング応用の第一人者である尾形哲也教授が務め、プログラム委員長を筆者が務めます。本、新学術領域との関わりとしては、筆者自身がプログラム委員長を務めるのみならず、領域代表の銅谷賢治教授が基調講演として登壇される予定でもあります。

会議自体は100人~200人程度の小規模であり、参加者同士が議論しやすい環境であり、また、国際的な研究者との交流もしやすい環境であると感じています。論文の投稿も頂きたいですが、発表の無い方も是非足を運んでいただければ幸いです。また、現在、唯一ともいえる発達ロボティクスに関する包括的な記述がなされている書籍「Developmental Robotics (発達ロボティクス)」 (Angelo Cangelosi 著) も筆者と玉川大学岡田浩之教授との共同監修で日本語版が出版される予定です。こちらも併せて手にしていただければ幸いです。

谷口 忠大 (立命館大学)

Conference page <http://www.icdl-epirob.org/>

Location	東京都、早稲田大学
General Chairs	Tetsuya Ogata (Waseda University, JP) and Angelo Cangelosi (Plymouth University, UK)
Program-Chairs	Tadahiro Taniguchi (Ritsumeikan University, JP) and Emre Ugur (Boğaziçi University, TR)
Important dates	March 15, 2018: Submission deadline (archival and non-archival track) June 1st, 2018: Notification due July 1st, 2018: Final Version due September 16-20, 2018: Conference dates

IEEE SMC: Workshop on Brain-Machine Interface Systems 2018

伝統ある国際会議IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)が2018年は宮崎県のシーガイアにおいて開催されます。本稿では、このSMCに付随して近年毎年開催されているブレインマシンインタフェース(BMI)のワークショップについて紹介したいと思います。ワークショップとはいっても、本会議前後に開かれる複数のワークショップの内の一つというのではなく、講演も本会議同様にワークショップに投稿されたものの中から査読を通じて選ばれ、本会議と並列開催される規模の大きなワークショップです。近年では、シリコンバレーにおいてBMIが大きな注目を集めており、今年のIEEE SMC Workshop on BMI systemsは大きな盛り上がりが見込まれます。また、日本開催(日程:2018年10月7-10日)ですのでぜひ研究成果の投稿または参加を検討いただければと思います。ところで、このワークショップにおいてはハッカソンが同時開催されます。若手研究者、学生さんで、BMI技術に興味のある方は挑戦してもらえればと思います。



IEEE SMC: Workshop on BMI Systems 2018の開催地(シーガイアコンベンションセンター、宮崎県)

森本 淳 (ATR)

Conference page http://go.epfl.ch/smc2018_bmi

Location	宮崎県、シーガイアコンベンションセンター
General Chair	Michael Smith (UC Berkley)
Technical Program Chairs	Masayuki Hirata (Osaka Univ). Jun Morimoto (ATR)
Special Session chairs	Kyousuke Kamada (Asahikawa Medical Univ.) Keiichi Kitajo (Riken BSI)
Hackathon student competition chairs	Kojiro Matsushita (Gifu Univ.) Takeshi Ogawa (ATR)
Important dates	March 31, 2018: Deadline for submission of contributions for BMI regular and special sessions June 1, 2018: Acceptance notification for all categories of BMI submissions July 10, 2018: Author registration July 20, 2018: Final camera-ready papers due for BMI regular and special sessions October 7-10, 2018: Conference dates October 7-8, 2018: BMI Hackathon

Conference on Robot Learning (CoRL) 2018

The Conference on Robot Learning (CoRL) は、2017年から始まったロボティクスと機械学習分野の交流に焦点を当てた新しい国際学会です。第1回(CoRL2017)は米国のMountain View (California)にあるGoogle社屋において11月に行われました。350名程度のトップクラスのロボティクスおよび機械学習の研究者が集まって発表と議論が行われたとのこと。より具体的には、200件を超える投稿、70件程度の発表がありました。記念すべき第1回ではKeynote speakerとして、お掃除ロボットルンバで有名なiRobotを創設し、現在はRethink Roboticsにおいて産業用ロボットの開発を進めるRodney Brooks氏(MIT)や、



CoRL 2018の開催地(Zürich, Switzerland)

深層学習の研究で著名な Yann LeCun 氏 (NYU) など、ロボティクスと機械学習の両分野から豪華なメンバーが講演を行いました。すべての会議の様子が動画で確認することが可能です (<http://www.robot-learning.org/home/corl2017>)。2018 年においては会場をヨーロッパに移し、Zürich (スイス) において 10 月 29 ~ 31 日の日程で開催されます。前回はアジアからの参加・発表者が少なかったとのことで、日本をはじめアジア地域からの投稿が期待されています。立ち上がったばかりの学会ですが、世界的に大きな注目を集めている分野ですので、ぜひこの機会を活用いただければと思います。

森本 淳 (ATR)

Conference page <http://www.robot-learning.org/>

Location	Switzerland, Zürich
General Chair	Aude Billard (EPFL)
Program-co Chairs	Anca Dragan (UC Berkley) Jan Peters (TU Darmstadt) Jun Morimoto (ATR)
Important dates	June 15, 2018: Paper submission deadline (archival and non-archival track) August 25, 2018: Conference waitlist opens September 1, 2018: Paper acceptance notifications September 30, 2018: Accepted co-author registration window September 30, 2018: Camera ready papers due Oct 29-31, 2018: Conference dates

日本神経回路学会第 28 回全国大会 (JNNS2018) in 沖縄

日本神経回路学会は、甘利俊一先生、福島邦彦先生らの先導のもとに 1989 年に創立以来、脳の学習機構の理論的解明とそれに基づく知能システムの構築に向けた研究を牽引してきました。毎年の全国大会は、口頭発表はシングルトラックで生物系から工学系まで幅広い研究者の間での知の共有と、ポスターセッションでの深い議論を特徴としています。

今年の大会 JNNS2018 は、新学術領域「人工知能と脳科学」の銅谷賢治代表を実行委員長として、沖縄科学技術大学院大学で下記のように開催されます。みなさまぜひふるってご参加ください。

銅谷 賢治 (沖縄科学技術大学院大学)



JNNS2018 の開催地 (OIST、沖縄県)

Conference page www.jnns.org/conference/2018

Location	沖縄県、沖縄科学技術大学院大学 (OIST)
General Chair	Kenji Doya (OIST)
Program Chair	Jun Tani (OIST)
Keynote Speaker	Dr. Shun-ichi Amari
Tutorials (24th Oct.)	Dr. Yutaka Matsuo, Dr. Yukiyasu Kamitani, Dr. Tetsuya Ogata "Deep Learning, Basic and Application"
Special Sessions	Dr. Horoshi Yamakawa (The Whole Brain Architecture Initiative) Dr. Taro Toyozumi (Learning of Multi-Layered Spiking Network) Dr. Tadahiro Taniguchi (Emergent Robotics)
Important dates	End of June, 2018: Paper submission deadline (schedule) Oct 24-27, 2018: Conference dates

ドーパミンニューロンは、その報酬予測に「信念 (belief)」を反映させる

坂上 雅道 (玉川大学脳科学研究所 教授)

Midbrain Dopamine Neurons Signal Belief in Choice Accuracy during a Perceptual Decision.

Lak A, Nomoto K, Keramati M, Sakagami M, Kepecs A.

Curr Biol. 2017 27(6):821-832. doi: 10.1016/j.cub.2017.02.026.

中脳のドーパミン (DA) ニューロンは、報酬経験に基づき、報酬予測誤差 (Reward Prediction Error: RPE) 情報を計算していると考えられてきました。実験的には、被験体の動物に刺激呈示後一定の条件で報酬を与え、刺激呈示時と報酬呈示時の DA ニューロンの活動を記録することによって、そのことを確かめてきたわけですが、多くの研究では、DA ニューロンの RPE の計算は、実験者が設定した実験条件 (刺激と報酬の関係) を客観的に反映したものであることが強調されてきました。我々は、ランダムドットを使った動き弁別課題を使うことで、DA ニューロンの RPE は、報酬履歴だけでなく刺激知覚の confidence も反映することを見つけました。

はじめに

この論文は、2010年に発表した下記の論文のデータを解析し直したものです。

Temporally extended dopamine responses to perceptually demanding reward-predictive stimuli. Nomoto K, Schultz W, Watanabe T, Sakagami M. J Neurosci. 2010 30(32):10692-10702.

この論文は、ランダムドットの動く方向に眼を動かすと報酬がもらえる課題ですが、ドットが同一方向に動く割合 (coherence) を変えることで、その知覚難易度を変えることができます。報酬は正解するともらえるのですが、動いた方向で量が違います (たとえば、右に動くとき大報酬、左に動くとき小報酬)。この課題遂行中のサルから DA ニューロンの活動を記録しました。ランダムドット刺激の呈示に対して、DA ニューロンは2度応答するのですが、1度目は課題全体でもらえる報酬量の平均に対応する RPE で、すべての条件でほとんど同じ応答でした (刺激の onset だけを反映)。2度目の応答は、ラ

ンダムドットの動き方向と coherence を反映するもので、平均値からのずれの報酬量に対応する RPE をコードしていました。第一著者の野元さんが、Cold Spring Harbor のジョブトークで話すのを聞いた Adam Kepecs が、DA ニューロンは confidence を反映している、と言い出しました。その後、Schultz も交えてすったもんだの大論争をした結果、この論文ができたというわけです。

2つの TDRL モデル

これまで多くの研究では、DA ニューロンの RPE をモデル化するのに、TDRL (Temporal Differential Reinforcement Learning) モデルが使われてきました (図 1A の Q (s, L) と Q (s, R) と、図 1B の下と F, G, H)。2010年の論文でも RPE をこれと同様に説明しています。

しかし、Kepecs は、同じ方向に動く同じ coherence の刺激でも、誤反応試行での応答は全く違う、と指摘しました。同じ刺激でも、脳がその刺激の真の状態を推測するとき、正しく推測する場合と誤って推測する場合があるからだ、というわけです。その推測は、一般的に信念 (belief) と呼ばれます (図 1A の Stimulus belief state)。同様の TDRL モデルでも刺激の物理量にたいしてではなく、信念に基づく刺激の主観的強さにたいして RPE が計算されるとすると、理論的には、特に誤反応試行における RPE は全く異なるはず (図 1B の上と C, D, E)。

DA ニューロンがコードする RPE は、報酬量と confidence の両方を反映する

実際に誤反応試行の DA ニューロンの活動も合わせて解析をし直してみました。結果は、信念に基づく TDRL モデ

ル (TDRL model with belief state) が予測するものでした (図2)。DAニューロンの刺激にたいする応答は、正反応試行 (図2B左のCorrect) では、coherenceにたいして単調に増加するものでしたが、誤反応試行 (図2B左のError) では、単調に減少しました。このグラフは、これまでKepecsらが信号検出理論に基づいて刺激の状態の判断のconfidenceを説明してきたものと同様のものです (図3)。

おわりに

Schultzは、DAニューロンのRPEが刺激のuncertainty

を反映していることは認めるが、それをconfidenceと呼ぶ必要はないのではないかと主張しました。しかし、刺激の主観的知覚が不確かであれば、DAニューロンの活動は全体として低下するが、coherenceにたいして単調に減少する必要は無いように思われます (図1FのErrorが全体として下にずれる)。いずれにしても、DAニューロンのRPEは、これまで考えられてきた以上に動物の主観的判断を反映しているようです。

先日のロンドンでのギャッツビーとのシンポジウムの際に、Armin Lakと会って祝杯を挙げてきました。

この論文は、[http://www.cell.com/current-biology/pdf/S0960-9822\(17\)30163-X.pdf](http://www.cell.com/current-biology/pdf/S0960-9822(17)30163-X.pdf) からダウンロード可能です。

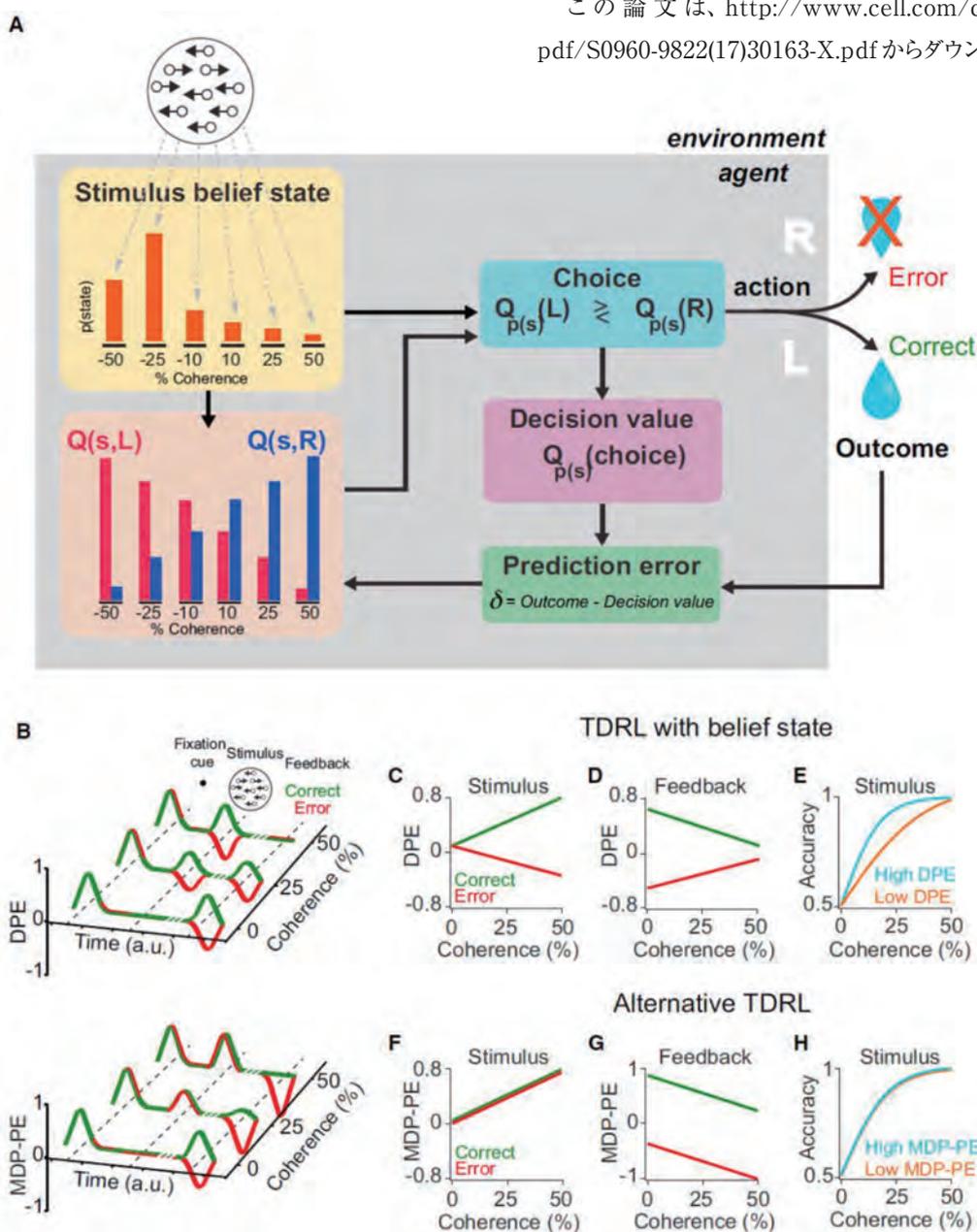


図1 TDRL model with belief stateとTDRL model without belief state

A. TDRL model with belief stateに基づくRPE (Decision value prediction error; DPE) の生成。B上とC, D, E. TDRL model with belief stateに基づくRPE (DPE)。B下とF,G, H. TDRL model without belief stateに基づくRPE (Markov decision process RPE)。

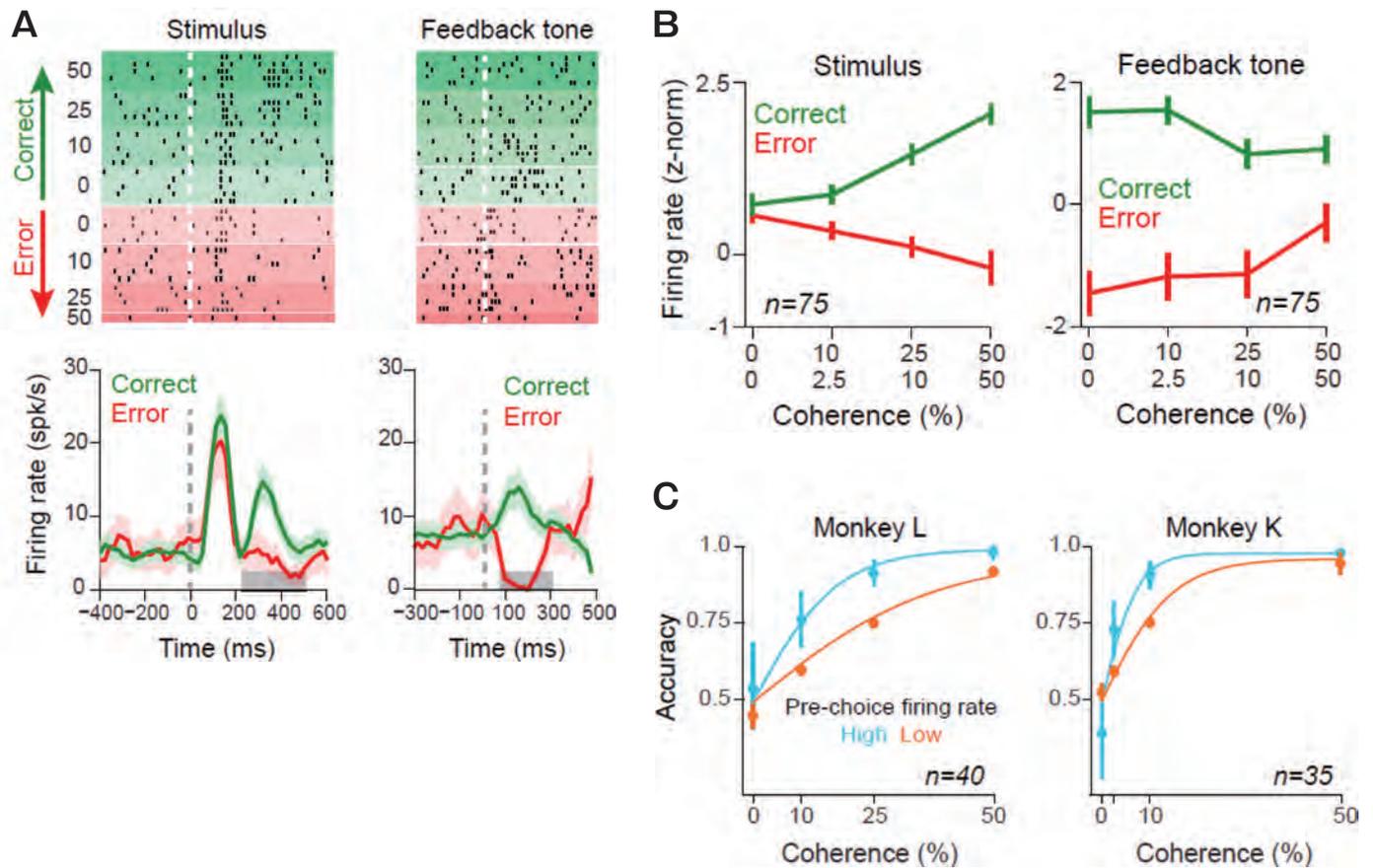


図2 報酬履歴と知覚的難易度を反映するDAニューロンの応答

A. ランダムドット課題におけるDAニューロンの応答例。ラスタグラム（上）とヒストグラム（下）。ランダムドット刺激呈示時点での応答（左）とフィードバック音（正誤に基づき報酬あるいは報酬無を示す音刺激）（右）。B. ランダムドット刺激呈示（左）あるいはフィードバック音呈示（右）にたいするDAニューロンのポピュレーション応答（coherenceの違い）。C. 刺激難易度（coherence）と正答率。サッケード反応直前の応答で2つのカーブに分けて計算。

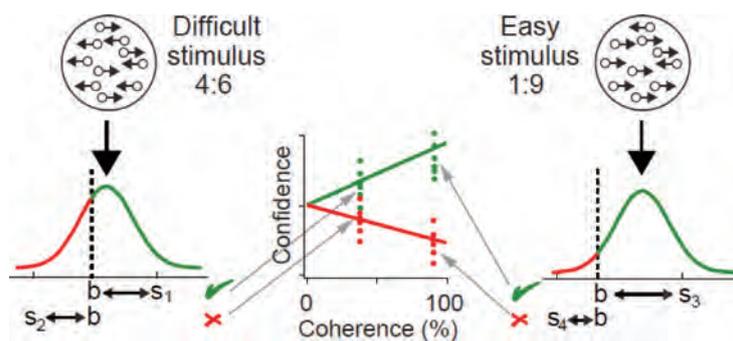


図3 信号検出理論に基づく confidence

b は判断基準（decision criterion）。刺激の主観的知覚が b より大きければ右に動いたと判断（ S_1 と S_3 ）、小さければ左と判断（ S_2 と S_4 ）。この例では、実際の刺激は右に動いているので S_2 と S_4 の場合は誤判断をする。Confidenceは b からの絶対的距離と定義すると、誤反応試行での confidenceは、刺激の弁別の難易度が高い場合（左図、coherence 低）の方が、難易度が低い場合（右図、coherence 高）より大きくなる。

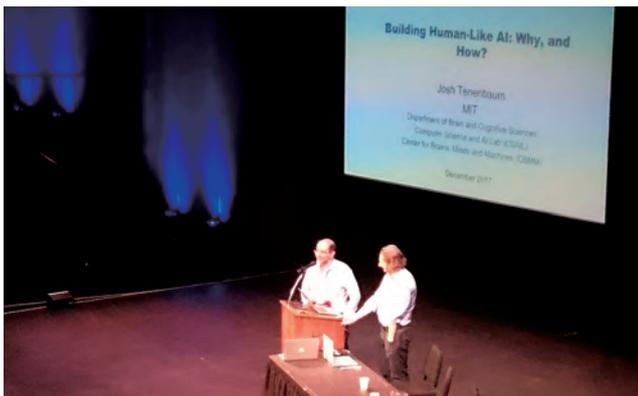
NIPS 2017 参加記

The Thirty-first Annual Conference on Neural Information Processing Systems

久保 孝富（奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 特任准教授）



NIPS 2017が2017年12月4日から9日にかけて米国カリフォルニア州ロングビーチで開催され、参加して参りました。参加者数は2013年以降指数関数的に増加しているとされますが、今年度もその傾向は続いたようで、その人数は約7,850人に上ったとされています（昨年度は約5,600人）。会場の容量を鑑みて参加者数が制限された上でこの人数ということでした。その影響から、当日のレジストレーションには会場外まで長蛇の列ができていました。聴講を予定していた発表に間に合わなかった人がおそらく多数出たと思われ、狂想曲の様相を呈していました。



また、企業からの参加・投稿が多くなっている傾向も変わらなかったようです。今年は Google から450人の参加があったり、Google・DeepMind など一部企業からの論文投稿数が全体の約20%を占めるようになっていました。日本経済新聞シリコンバレー支局 中西豊紀氏の談によると、このような傾向に対する賛否について、NIPS 会期中に行われた記者会見でも議論となったそうです。NIPS 運営者側は上述の企業主導となりつつある傾向に対して、「バブル感はあるがだか

らとってどうにかできることではない。学生に職を与えてくれているという点で歓迎だ」との見解を示したそうです。少なくともこの傾向が直ちに終わるということはなさそうに感じられますが、運営者側自身が「バブル」として捉えている状況は今後どうなっていくのか注視が必要だと思われます。一方で、会場の企業出展ブースには学生が群がって熱心に出展者側と議論する場面が見られました。確かに学生に職を与えるチャンスにも繋がっているようです。残念ながら、その場に日本人学生はあまり見受けられませんでした。

発表内容としては、今年度はディープラーニング一色、と言っても過言ではないくらい、ディープラーニング関連の内容が多くを占めていました。「GAN (Generative Adversarial Network) zoo」という語に表されているような状況を実際に目の当たりにしたと言えます。私達の発表内容がディープラーニング関連ではなかったのも、正直なところ疎外感を受けました。実際、私達が参加したワークショップへの参加者数は、ディープラーニング関連のもの比べると、半数あるいは三分の一以下で顕著に少ない状況でした。やや行き過ぎた傾向なようにも思われます。ディープラーニング研究のキートピックとして、Bayesian Deep Learning、メタラーニング、シミュレータの活用が繰り返し強調されていたように思われます。個人的には Peter Bartlett のディープラーニングの学習性能に関する理論解析も興味が惹かれました。

神経科学・認知科学との融合を目指す研究でもいくつか気になるものがありました。例えば、BigNeuro ワークショップでの Yoshua Bengio の "More Steps towards Biologically Plausible Backprop" や、Joshua Tenenbaum のグループの発表が挙げられます。また、シンポジウム「Kinds

of Intelligence」でも、Demis Hassabis、Joshua Tenenbaum、Zoubin Ghahramani などの世界をリードしている研究者達が、分野を越えて artificial general intelligence、human-like intelligence といったトピックについて真剣に意見を交わしている様子にはとても惹き込まれました。Demis Hassabis はそのような方向性の研究の一例として、数日前に arXiv で発表されたばかりの AlphaZero を紹介していました。AlphaZero は碁だけでなく、将棋・チェスも学習させたもので、汎用な知能の実現に向けて少なからず研

究は進んでいるようです。

今後、日本でも同様の土壌がより一層育まれ、「人工知能と脳科学の対象と融合」が促進し、世界においてより存在感を示せるようになることを願ってやみません。NIPS は新学術領域「人工知能と脳科学の対象と融合」にとって関連性が強い国際会議の一つであり、そして存在感を示すための良い機会でもあります。末尾になりましたが、今後日本からの NIPS 発表者が増加することを心より願い、本参加記の結びとさせていただきます。

NHK Eテレ 「人間ってなんだ?超 AI 入門」

松尾 豊（東京大学大学院 特任准教授）

NHK の E テレ「人間ってなんだ?超 AI 入門」に出演したときのことを書いて欲しいというので、少し書いてみたいと思います。

昨年の秋 10 月から 12 月にかけて全 12 回にわたって番組は放送されました。シリーズ化される前に、特番として 2017 年 3 月に放送された回があり、それが大きなきっかけになりましたので、そのことについて紹介したいと思います。

人工知能のテレビ番組はよく見ますが、報道でもバラエティでも特集でも、ほとんどの場合、プロデューサーやディレクターの人工知能に対する理解が浅く、人工知能と言っていいのかどうかも微妙なニュースを集めてきて紹介します。そして、「あれもこれも人工知能」「人工知能ってすごいですね」と持ち上げたかと思えば、一方で「人工知能が職を奪うのでは」「怖いことに使われないか」といった否定的な面もセットにして、おしまいというものがほとんどです。その表面的な内容には辟易することが多いです。

一方で、この番組は、丸山俊一という辣腕プロデューサーの意向で、知能とは何かという根源的なところに光を当てることができました。特番の回では、およそ 4 時間に渡って撮影が行われましたが、かなりの部分、私の主導で話が進んでいきました。「そもそも知能とは何か」「我々は意識をもっていると思っているが本当なのか」といったところから司会のチュートリアル 徳井さんやゲストに問いかけていきました。ゲストが「人間はひらめきだと思う」「感情を持つことだと思う」とか言うのを、人工知能・ディープラーニングの実例を紹介しながら、いちいち論駁していきました。そして、最後にはみんな「知能ってなんだか分からなくなってきた」「人間というのが単にデータを処理する箱のように思えてきた」ということを感想として述べるように



なりました。これは、私にとってはガッツポーズをするほどうれしいことで、大成功だと思いました。つまり、人工知能の面白さを分かってもらうには、まさにこの「人間の知能はよく分からない」ということを心から感じてもらうしかなく、最近の人工知能の番組の中では、これを初めて伝えることができたのではないかと考えています。

それは視聴者にも届いたようで番組は好評を博し、シリーズ化されました。全 12 回の放送で、ちょっと大変かと思いましたが、こういった趣旨で知能の難しさや面白さを伝えることは、重要な仕事ではないかと思い、引き受けました。撮影全般を通じて、丸山プロデューサーだけでなく、番組ディレクターをはじめとするスタッフの優秀さや熱意、そしてゲストの素晴らしさもあって、良いシリーズになったと思います。私自身も、知能の面白さを話していると自然に熱くなってしまうので、良い面をうまく引き出してもらえたように思います。そして、いつも驚かされたのが、司会の徳井さんの見事なコメントです。人工知能の技術内容をかなり正確に理解し、一方で視聴者の理解レベルも正確に把握し、いつもその中間を取るようなコメントを瞬時的に発するさまは、まさにプロだと感じました。私は研究者のなかでは話せるほうだとは思いますが、やっぱりプロのレベルは全く違います。収録のたびに、「自分はなんて話が下手なんだろう」と絶望しながら帰宅しましたし、「伝える」ということだけでも、本当に奥が深いと感じました。

我々の新学術領域研究「人工知能と脳科学」は、知能の仕組みを、人工知能と脳科学の両方の側面から探求していくものですが、こうした研究が前に進むとともに、より多くの人にこうした研究の面白さを伝えることであればと思います。

番組 HP: <http://www.nhk.or.jp/aibeginner/>

新学術領域研究「人工知能と脳科学の対照と融合」若手サマースクール 参加記（1）

岩城 諒（大阪大学大学院工学研究科 知能・機能創成工学専攻 創発ロボティクス研究室 博士課程2年）

私は、8月2日から4日にかけて理科学研究所で開催された、「人工知能と脳科学の対照と融合」若手サマースクールに参加しました。3日間、機械学習と脳科学に関する最先端の研究発表を聴講し、さらにそれらがどう影響し合うかについて議論しました。

サマースクールでの講義の半分近くは、強化学習と呼ばれる分野に関するものでした。強化学習は機械学習手法の一種で、将来得られる報酬を最大化することを目的として、意志決定則である方策を最適化するための手法です。強化学習は、ロボット制御をはじめとした様々な応用先があります。さらに、強化学習理論は、ヒトの意志決定過程を理解する道具としても非常に有用です。私自身、大学院で強化学習について研究しているため、今回のサマースクールは非常に楽しみにしておりました。

森本淳先生は、強化学習理論の基礎について非常に丁寧にご説明された後、ロボット制御における強化学習の応用例についてご講演されました。モデルベース強化学習の枠組みの中で、ヒューマノイドロボットの非常に複雑な制御則を獲得できることを示されました。

中原裕之先生は、強化学習の脳内基盤についてご講演されました。大脳基底核をはじめとする報酬系の働きについて、強化学習理論の観点から説明され、その後、社会性を始めとする様々な高次機能と報酬系の関連などに関する研究結果をお話しされました。特に、碁の世界チャンピオンを圧倒したAlpha Goの学習の段階が、基底核回路の構造と対応付けられるというお話は、非常に印象に残りました。

内部英治先生は、近年特に注目を浴びている深層強化学習が興った背景として、強化学習の研究の歴史についてご説明されました。その後、最新の研究成果として、深層学習器との組み合わせに適した強化学習手法や、報酬関数を自律的に獲得するための手法である逆強化学習について発表されました。

さらに、今回のサマースクールでは、先生方の講義だけでなく、実際の研究活動に関連するデモ展示もあり、非常に勉強になりました。強化学習のデモでは、シミュレータ上でヒューマノイドロボットの運動制御を獲得する様子を見ることができました。デモで使用されたシミュレータや強化学習器は、一つの

パッケージとしてweb上で公開されました。このパッケージは、これから強化学習研究に取り組みたい方の足掛かりとして非常に有用です。また、fMRIのデモでは、実際に脳画像を撮影する場面に立ち会うことができました。fMRIを実際に研究に利用されている方々が、人が顔を見るタスクにおける脳活動測定を実演してくださり、脳機能研究の空気を感じることができました。

サマースクールには、私のような工学系出身者だけでなく、医学や生物学を専門とする方が数多く参加しておられました。さらに、それら様々な分野の若手研究者たちと、機械学習と神経科学が結びつく可能性について議論する機会がありました。国外に目を向ければ、学際的な議論が可能な場として、機械学習と神経科学の両方の観点から強化学習について議論する、「Multidisciplinary Conference on Reinforcement Learning and Decision Making」があります。これまで国内ではそのような機会は非常に限られていましたが、今回のサマースクールは学際交流の場としても非常に素晴らしいものでした。

今回のサマースクールでは、非常に豪華な講師の皆様による、人工知能と脳科学についての最新の研究成果を聴講できました。さらに、異分野の方と密に議論できる非常に貴重な場でもあり、私にとって大変有意義なものとなりました。銅谷先生をはじめ、講師・参加者の皆様にここで感謝したいと思います。



新学術領域研究「人工知能と脳科学の対照と融合」若手サマースクール参加記（2）

川端 政則（玉川大学脳科学研究科 博士課程後期1年）



2017年8月2～4日の3日間、理研BSIのセミナールームにて第1回若手サマースクールが開催されました。このスクールは、人工知能と脳科学の研究に携わっている若手研究者の育成と交流を目的としており、全国各地から集まった30名の若手研究者と新学術領域関係者を合わせた約70名が参加しました。参加者の研究分野は、脳科学の理論系・実験系、機械学習、ロボット、精神医学、物理学など多岐に渡っており、学年も学部1年生からポストドクまで様々でした。

講義は、脳科学・深層学習・強化学習・ベイズを組み合わせて研究されている10名の先生方によって行われました。まずは初日に基礎講義として田中啓治先生と鹿島久嗣先生が、それぞれ脳科学と機械学習の基礎について講義されました。田中先生は、2光子カルシウムイメージングやウイルスベクターと遺伝子組換え動物を組み合わせた細胞種特異的な遺伝子導入法、functional MRIといった最新技術の原理と最新の研究を紹介されました。膨大な実験データが得られるようになってきており、実験系であっても機械学習を扱えないとデータ解析できないということを痛感しました。鹿島先生の講義は、機械学習の定義から始めて、教師なし・あり学習の基礎と応用例、強化学習や深層学習の基礎まで人工知能分野の概観が俯瞰できるように構成されており、2日目以降の講義の理解を助ける内容となっていました。

深層学習についての講義は、まず松尾豊先生が人工知能ブームの歴史的な経緯から現在注目されている深層学習の特徴やトレンドについてご説明されました。莫大な計算リソースが必要なことや身体性をどのように組み込むかなど、深層学習が広まった背景や問題点を理解できました。次に岡野原大輔先生が、なぜ深層学習が上手く学習できるのかについて最新の理論研究をご紹介されました。パラメータが増える程過学習しにくくなるという不思議な性質について、スピニングラスモデルな

どを用いて説明されました。最後に神谷之康先生が、大脳皮質視覚野の活動(fMRI)とCNNの各層の表現を比較した研究についてご紹介されました。人工知能研究と脳科学研究が見事に融合しており、今後の脳研究の方向性を予感させる内容となっていました。

ベイズについての講義は、石井信先生と銅谷賢治先生によって行われました。まずは石井先生がベイズ推定の基礎から変分ベイズ、ベイズフィルタなどの応用までを講義されました。不良設定問題であってもベイズ推定を使うことで解が得られるということをよく理解できました。最後に銅谷先生が、脳科学とAIの共進化の歴史を紐解きつつ、脳内におけるベイズ推定の表現についてご紹介されました。脳内で身体や環境の変化を予測することはまさにベイズ推定を行っているということであり、実際にその現場を捉えることができたということにとっても驚きました。

各セッションの後には先生方から出されたテーマを基にディスカッションが行われました。例えば、「脳のベイズ推定仮説を検証するにはどうすれば良いか」というテーマでは、線虫やハエで全脳のイメージングを行ってデコーディングしたらどうかといった意見や赤ちゃんから大人まで統一して測定できる実験系を作って最適手法の変化を追ったらどうかという意見が出ました。異分野同士で多種多様な意見を出し合いながら洗練された結論を導く様子は、これからの科学研究のあるべき姿の様に感じました。

私にとってこのサマースクールは、脳の機能を解明していく上で現在の実験技術や解析手法で何ができて何が足りないのかを知り、今後の研究の方向性を見つめ直す良い機会となりました。運営して下さいだったスタッフの方々や講師の先生方、昼夜問わず議論に付き合ってくれた参加者の皆様に感謝して筆を置きたいと思います。ありがとうございました。

JNNS2017 企画シンポジウム参加記

内部 英治（(株)国際電気通信基礎技術研究所（ATR）主幹研究員）

2017年9月20日～22日に北九州国際会議場にて第27回日本神経回路学会全国大会が開催され、企画シンポジウム「人工知能と脳科学の対照と融合」として4件の講演がありました。講演の前に領域代表のOIST 銅谷賢治先生から当新学術領域研究の領域全体で目指す研究の方向性や、他の人工知能や神経科学に関するプロジェクトとの違いや、どのように連動するかについてお話しいただきました。

次に東京大学原田達也先生にImage and Video Recognition using Deep Neural Networksと題して深層ニューラルネットワークを用いた画像や動画の認識について現在の研究動向や原田研究室での研究成果について概説いただきました。特にWebアプリケーションとして開発されている画像認識システムを用いたデモンストレーションは非常に安定して動作しており、研究成果を一般に広く認知していただくためのツールとしても興味深かったです。一方、国際電気通信基礎技術研究所の細谷晴夫先生からA mixture of sparse coding models explaining response properties of face neurons in the higher visual cortexと題して、神経科学の立場に立った画像認識モデルについて、高次視覚野の顔ニューロンの反応特性を説明する混合スパース符号化モデルについて解説いただきました。提案モデルでは顔と物体を別々に識別する階層型モデルを提案され、縞状の視覚刺激などに対する実際の神経細胞のデータと同じ刺激に対するモデル細胞の反応データが定量的にも定性的にも対応が取れていることを示されました。

次に意思決定に関する工学モデルの研究として、Forward and inverse reinforcement learning using deep neural networksと題して報告者（内部英治、国際電気通信基礎技術研究所）が深層学習と強化学習を組み合わせた深層強化学習および深層逆強化学習について講演しました。近年の強化学習はカルバックライブラー (Kullback Leibler)を用いて確率的制御則の変化量を制限した方法が主流であり、KLによって制約された報酬関数から順逆強化学習法が導出できることを示し、さらに順逆強化学習が敵対的生成ネットワークとして一般化された模倣学習に拡張できることについても説明いたしました。後半では計算論的には単なるスカラー値として扱われてきた報酬信号を正と負に分割するして独立に学習を進め、あとで統合するMaxPainアーキテクチャを紹介し、リスク回避行動を学習するだけでなく、環境の探索効率も改善できることを示しました。最後にDual neural circuits in

reward and aversive learningと題して大阪大学疋田貴俊先生に生物学的には同じ分子機構を用いながらも報酬と罰が二つのネットワークに分かれて学習を進め、意思決定に結びついているところをお話しいただきました。特に報酬行動には直接路が、忌避行動には間接路が重要な役割を担っていることをわかりやすく紹介いただき、この二つの並列回路の切り替えがドーパミンシグナルによって行われているという神経回路のモデルは、単なる理論的な問題の改善から着想したMaxPainアーキテクチャの改良をする上で非常に参考になりました。

今回の企画シンポジウムは1件当たりの発表時間が15分と短かったですが、それでも人工知能と神経科学の融合領域として研究は着実に進んでいるとの印象を得ました。また発表者の立場から、今回の企画シンポジウムが当領域での研究に興味を持っていただく機会となれば幸いです。なお、次回の神経回路学会は沖縄科学技術大学院大学で開催されると聞いておりますので、そこでも何らかの形で貢献できればと考えております。



NBNI2017 (the 17th China-Japan-Korea joint workshop on Neurobiology and Neuroinformatics) 参加記

朝吹 俊丈 (東京大学大学院 新領域創成科学研究科 複雑理工学専攻 深井研究室 博士課程 1年)

今回私は、新学術領域研究「人工知能と脳科学」の共催イベントであるNBNI2017 (the 17th China-Japan-Korea joint workshop on Neurobiology and Neuroinformatics) に参加してきました。本ワークショップは二日間に渡って理化学研究所の大河内記念ホールにて開催され、中国・日本・韓国を中心としたアジアの様々な国から神経科学、計算論、機械学習のバックグラウンドを持った研究者が集い、最先端の研究成果が報告されました。各国の研究者の方による講演では、会場から質問や議論の声が活発に上がり、有意義なディスカッションが行われていました。

各講演では、脳のモデル化の話から大規模ニューラルネットワークの実データへの適用など多岐に渡っており、現在のAI研究の動向なども学ぶことができました。講演者の方々は、動画などを用いてそれぞれの研究成果をわかりやすく発表してください、非常にインパクトの大きなものが多かったです。特に、ディープラーニングを用いた画像解析や行動パターンの抽出などの研究が活発に行われているという印象を受けました。ニューラルネットワーク以外の分野も興味深く感じたものはいくつもありましたが、中でも谷口忠大先生の記号創発ロボティクスについての発表が印象的でした。先生は、ノンパラメトリックベイズの手法で時系列データの分節化を行うことにより、観測データから教師なしで意味のある単位を抽出する、という内容をお話くださいました。この手法は単語の抽出から行動データのパターン抽出まで幅広い適用が可能であり、非常に刺激的なトークでした。

初日の講演が終わった後には、大学院生によるポスター発表が開催され、私も発表者の一人として参加する機会をいただくことができました。私は、脳が外界の情報をコンパクトな形で学習するメカニズムに興味を持っており、互いに出力を教えあうリカレントニューラルネットワークにより時系列からの規則的な特徴を事前知識なしに学習する方法を研究しています。今回のワークショップでは、人工知能及び脳科学の分野の研究者が集まっていたため、生物学的な妥当性や工学上の応用可能性などについてのコメントをいただくことができました。発表で様々なご意見をいただけたことで、今後の研究を進めていく上で非常に参考になることはもちろん、様々な視点から自分の研究を見つめ直す機会を得ることができました。一方で、ポスター発表およびディスカッションを行うことで、自分の考えを正しく英語で伝え、相手の問うていることを理解し議論し合うこと

の難しさを改めて痛感しました。

また、初日のプログラム終了後は懇親会が行われ、研究の話にとどまらない幅広い話題を語り合うことができました。私は、ポスター発表の際に知り合った海外からの学生の方々と、現在の研究テーマに興味を持った経緯などをはじめ、将来のことなど互いの夢について語り合うことが出来ました。さらに、講演やポスター発表で取り上げられた内容についても学生同士で意見交換を通じて議論を重ねることで、理解をより深めることもできました。今後も、彼らとの交流を続けていきたいと思っています。

今回のNBNIでの講演聴講やポスター、そして懇親会で議論し合えた時間は何物にも変えられない、非常に有意義な経験となりました。分野や国を超えて互いの研究について語り合うことで、さらに自分の研究に磨きをかける上での非常に貴重な学びとなりました。このような素晴らしい機会をくださった全ての方々に、心より感謝致します。



新学術領域研究「人工知能と脳科学」第3回領域全体会議参加記

三村 知洋（立命館大学大学院 情報理工学研究科 博士課程前期課程2年）

2017年12月19日、学術総合センター（一橋講堂）にて新学術領域研究「人工知能と脳科学」第3回領域会議が開催されました。領域代表の銅谷賢治先生の挨拶から始まり、丸一日間、多様なバックグラウンドを持つ最先端の研究者によって熱い議論が行われました。



本会議はA02班「運動と行動」、A01班「知覚と予測」、A03班「認知と社会性」の順に、それぞれの進捗の報告や研究の方向性が示され、その後グループ討論会、ポスター発表&懇親会が行われました。

はじめに、A02班計画研究「運動と行動」の発表が行われました。私は、A03班谷口忠大研究室の学生として参加しました。そのため、このセッションの発表は自身にとって未知の領域であり、とても刺激的でした。松本正幸先生から「ドーパミン神経回路機構と報酬と注意の情報機構の関係」、疋田貴俊先生の計画班から「目的指向行動の神経回路機構」、森本淳先生から「自己と他者の動作データから内部モデルの機構と行動則の獲得」、五味裕章先生から「潜在的行動における学習適応メカニズムの解明と計算論モデルの構築」についての研究報告を受けました。これらの研究発表を受け、人の運動や行動と、強化学習などの機械学習には強い関係性があり、その解明と融合について重要性を再確認しました。また、適応ロボットの設計など、他の領域との関係性も示されており、研究領域を横断した研究が今後のどのように発展していくか興味がわきました。

午後から、A01班計画研究「知覚と予測」の発表が行われました。岩澤有裕先生の「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」から始まり、銅谷賢治先生の「多層表現学習の数理基盤と神経機構の解明」、田中啓治先生の「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」について、研究成果の

報告を受けました。多くの機械学習の手法とこれらの手法によって達成される課題について詳しく説明されたので、学習モデルが階層性を持つことや、確率的に推論することの重要性を実感できました。その後A01班公募研究の発表が行われ、小松三佐子先生から「予測の神経基盤：全脳皮質脳波における時空間構造」、宇賀貫紀先生から「前頭前野の網羅的計測と情報表現読解法の開発」についての研究発表が行われました。これらの発表を通して、脳科学の知見を機械学習計算論モデル構築するという本研究領域の特徴がよく現れていると感じました。

最後にA03「認知と社会性」の発表が行われました。高橋英彦先生から「精神疾患における思考の障害と神経基盤の解明と支援法の開発」、坂上雅道先生から「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」、谷口忠大先生から「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」、中原裕之先生から「脳内他者を活かす意志決定の脳計算プリミティブの解明」という題で研究成果の報告を受けました。これまでの研究発表の流れの中で、より応用分野だと感じました。認知や社会性についてモデル化を行うために階層性を導入することや、脳科学と機械学習の知見を用いて認知について理解を深める研究に強い興味を惹かれました。

グループ討論会で、私のグループでは強化学習について議論を行いました。その中で「脳のリソースなど“物理的なエネルギー”の奪い合いが人間の脳の中に存在するのではないか?」や「人間の脳の中にあると考えられる強化学習はどのように獲得されたのか?」といった挑戦的な仮説に対する議論が大変興味深かったです。

本領域会議を受けて、機械学習が、脳科学や神経科学の解析手法としても重要性が増していることを実感しました。また自身の研究課題について考える良い機会となりました。こうした機会を与えて下さった先生方と参加者の皆様に心からの感謝を申し上げます。



次世代脳プロジェクト冬のシンポジウム2017参加記

平良 正和（沖縄科学技術大学院大学 神経計算ユニット博士課程学生）

2017年12月20日から22日の3日間にわたり、学術総合センターにおいて2017年度次世代脳プロジェクト冬のシンポジウムが開催されました。4領域合同の若手シンポジウムが開催され、「記憶ダイナミズム」、「適応回路シフト」、「人工知能と脳科学」、「オシロロジー」領域の研究者が集まり、シナプス、神経回路、行動、臨床レベルからの研究が紹介されました。



「人工知能と脳科学」領域からは東京大学の鈴木雅大先生からマルチモーダル学習を行うための深層生成モデルについての研究の発表がありました。複数の情報を入力として学習するマルチモーダル学習ではモダリティ間の特徴空間(表現)の違いと分布(情報量)の違いを解決する必要があります。これらを解決する方法として深層生成モデルがあり、このモデルを用いることによってモダリティ間の共有表現を獲得し、一方のモダリティから異なるもう一方のモダリティの情報を作り出すことができるようになることでした。このようなマルチモーダルデータの双方向の生成をよりの確に行うため2つの深層生成モデルを提案されていました。マルチモーダルな情報、すなわち異なる感覚から入力を受けた情報、が脳内でいかにして統合され処理されるか、また互いの情報処理にどのように影響し合うのかということは脳科学においても非常に興味深い研究課題であるため、このような深層学習の研究がマルチモーダルな生物現象を説明するための数理モデルの形成にも役立つと思われました。

次に京都大学の松本有紀子先生が、統合失調症において主要な症状として見られる思考障害を意味や概念の形成異常として捉えこれらの症状を可視化し、定量化する方法を紹介されました。統合失調症患者が動画を見ている間にfMRIによって脳活動を計測し、動画を説明する各単語が脳内どのようにコードされているのかを数理的処理を用いて可視化、定量化されていました。この実験から統合失調症患者におい

てはヒトに関連する単語のクラスターが崩壊気味であり、統合失調症によるカテゴリー化の障害に一致するものであることが示されました。定量化や可視化の難しい概念形成の障害という現象を明らかにするために数学的手法の重要性を学びました。

他領域からの発表内容は紙面の都合上割愛させていただきますが、アプローチやフォーカスの違う4つの領域は、周辺環境、感覚入力、疾患等の影響を受けて柔軟に変化する脳のメカニズムに迫っていくという点では、関連しあっている領域であるということを感じました

冬のシンポジウムでは他にも興味深いプログラムがありましたが、ここでは特に印象深かったものとして「デコーディング脳科学」について報告します。このプログラムでは脳科学で注目されているデコーディング技術の理論と応用例について理論系、実験系両面の研究者から紹介されました。具体的に講演ではデコーディングの原理と手順の説明やスパースモデリングを用いたデコーディングが説明されました。登壇された方々によるのグループディスカッションでは、このようなデータの数理的処理に関しては、機械学習などの理論系の研究者と生物学の実験系の研究者が連携をとることの重要性も強調されていました。

複雑な脳情報処理、適応行動や高次機能の制御など、これから神経科学者が解明していきたい問題はこれまでの生物学の知識や実験的手法だけでは迫るのが難しくなっています。その問題を解決するために 様々な分野からのアプローチが今まで以上に必要になってきており、今回のシンポジウムを通して実際どのように複数の分野が連携して研究を進めているかを目のあたりにすることができました。



第4回 Language & Robotics 研究会参加記

三村 喬生（量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所 脳機能イメージング研究部 研究員）

2018年1月6日に立命館大学朱雀キャンパスで行われた第四回 Language & Robotics 研究会に参加しました。この研究会は、自然言語処理とロボティクスは本質的には共に実世界情報を扱う学問だという視点から、機械学習等を媒介としながら橋渡しする事で、双方向の発展を目指しています。今回は第4回で、関西圏では初めての開催となりました。

最初に、幹事団の谷口忠太先生から研究会の概論と目指すところと方向性について紹介がありました。教師なしの語彙獲得・構文解析、句単位の記号接地問題などの自然言語学分野の Open Challenge と、実世界情報を元にコミュニケーションを取りながら動くロボットの開発に向けた取り組みを融合させた研究構想をご紹介いただきました。

次に、Michael Spranger 先生より、ロボティクスの視点から見た実世界コンピューティング、特に自律型ロボット群におけるコミュニケーションシステムについて関連分野の概論を踏まえた最新の成果に関する発表がありました。個々のロボットが概念を獲得していくステップのみならず、複数のエージェントが相互作用しながら時間発展する空間場として社会的機能を捉える視点には強く共感しました。研究を応用し、ヒトとロボットが共に溶け込んだような空間デザインのプロトタイプなども手がけられておりました。

続いて、私の方から話題提供させていただきました。私は、神経科学と行動センシングを用い、動物の社会性機能を研究しています。これは一見、Lang・Robo の双方から遠い学問領域に見えますが、すでにそこにある社会的交流に対して脳機能の操作による変化を観測しながら、いわばトップダウン的に理解していくアプローチと捉えれば、まさに実世界情報を扱う学問分野でもあります。今回は、動物の音声および非言語コミュニケーションに関する概論と最近の成果について紹介させていただきました。

井上直也先生からは、文書データの意味推論に関する最新のフレームワークに関してお話いただきました。ヒトがやっているように、文章の前後から陽に示されていない意味を推論する事で、無意味なノイズを自律的に除去して適切に文意を汲み取ることができるというアイデアを、エンコーダ・デコーダを組み込んだ参照系により高速に実装しているアルゴリズムに感銘を受けました。この系を用いる事によるロバスト性の向上をどう測定するのか、知識ベースの設計などについて議論が盛り上がりました。

最後に中野幹生先生より、対話システムについての概論と

将来に向けた発展の方向性についてお話いただきました。事前には有限の知識しかコードできないロボットを、多様な状況の実世界でヒトと関わりながら自律的に動かすかという課題において、ヒトと柔軟で自然に対話しながら知識を獲得していくアルゴリズムは非常に重要です。対話システムでは、実際にヒトとロボットが対話を積み重ねないとデータが取れないという難しさが、大量情報処理で発展しつつある機械学習などの利点をいかに上手く組み合わせるかが今後の展望として描かれました。

全体を通して今回の研究会では、個体から個体間の交流へ、表面的な情報から意図や意味へ、というアプローチが多角的に紹介されました。神経科学との対照・融合においても重要なテーマだと思います。私自身は、異種格闘技戦に更に場外から乱入という参加風景でしたが、活発な議論とクリエイティブなエネルギーに触れる貴重な機会となりました。



Workshop on Mechanisms of Brain and Mind 2018

Sergey Zobnin (Okinawa Institute of Science & Technology Graduate University, Neural Computation Unit, Graduate Student)



The theme of the winter workshop was “Body control and self-representation”. Investigation of how the brain generates behavior by modelling itself and controlling the body is the approach that is complementary to studies of perception in the pursuit of the common goal, i.e. understanding the nature of consciousness, self-awareness and other cognitive processes. The workshop enabled experienced scientists to present results of their decades-long research projects as well as fresh academic recruits to demonstrate preliminary results of their theses. The presented studies demonstrated a multitude of approaches to understanding how body control and self-representation are implemented. These range from neuroimaging studies and computational models of the neural mechanisms to behavioral studies and models on the level of individuals and even societies.



The notions of hierarchy and prediction have been crucial in studying the neural mechanisms controlling the body and underlying self-awareness.

For example, Professor Jun Tani presented data from neurobotic experiments in which a recurrent neural network implemented a recognition process in a hierarchical bottom-up manner from fast to slow representations. The timescale hierarchy was achieved in the networks built on predictive coding principles, such as the propagation of prediction and prediction error signals. The author believes that the interaction between bottom-up recognition and top-down intentions may account for the emergence of conscious phenomena.

Notably, predictive coding finds its reflection in the sense of agency, i.e. attributing actions distinctly to oneself or the external world. Professor Hiroaki Gomi conducted behavioral experiments studying the interaction between visual and motor motions in a target reaching task. The data suggest that the lack of motor-dependent sensory predictions can be the cause of visual illusions such as Duncker illusion.

Researcher Atsushi Yokoi used fMRI experiments to directly investigate neural hierarchical representations of simple and complex motor sequences. The presented work indicated possible coexistence of both hierarchical and non-hierarchical representations in primary and secondary motor areas of the cerebral cortex.

In the behavioral study and the computational model by researcher Ken Takiyama, the errors of future actions were predicted, which allowed to explain and reproduce multiple motor-learning-related

phenomena.

Technologies such as virtual reality have enabled researchers to better approach the questions related to self-representation, including social interactions. Researcher Antonia Hamilton presented her work in which she used virtual reality and near-infrared spectroscopy to probe the mechanisms of imitation. Researcher Tatsuya Kameda used computer simulations, anthropological and behavioral data to argue that egalitarian behavior can be an adaptive device to reduce statistical risks involved in resource acquisition.

Metacognition was tackled in the experiments by researcher Aurelio Cortese, who used real-time fMRI to deliver neurofeedback and manipulate neural correlates of confidence. The participants could implicitly access the spontaneous neural activity that determined the task, thus maximizing their reward. In addition, learning resulted in increased connectivity between basal ganglia and prefrontal regions.

The molecular mechanisms of memory were addressed in the presentation by researcher Hiroshi Nomura. Their studies showed that the weak long-term memory engrams can be reactivated through activation of histamine, thus restoring access to forgotten memories. This was achieved by administering inverse agonists of histamine H3 receptors that downregulate histamine synthesis and release.



Researcher Masafumi Oizumi used Integrated Information Theory to make predictions about the boundary problem of consciousness. Based on the theory, consciousness results from locally maximized integration of information. The author discussed

theoretical predictions and possible ways to test them experimentally.

Finally, the poster presentations allowed fresh research projects to be presented, discussed and constructively criticized. A wide range of projects from computational models to neuroimaging and behavioral studies was presented.

Together, the presented findings and preliminary results will inspire further scientific progress towards understanding the mechanisms of brain and mind.



イベント情報

平成 29~30 年度 主催イベント

脳と心のメカニズム第 18 回冬のワークショップ

日程：2018.1.9-11
場所：北海道、ルスツリゾートホテル
<http://brainmind.umin.jp/wt18.html>

Pan Xiaochuan 氏（華東理工大学 教授）特別講義

日程：2018.1.24
場所：東京都、玉川大学

Korean AI Flagship Project Joint Workshop

日程：2018.1.29-1.30
場所：Korea、Welli hilli Park

高校生理科教室「脳科学と人工知能」

日程：2018.3.19
場所：東京都、玉川大学

新学術領域研究「適応回路シフト」「人工知能と脳科学」 合同領域会議

日程：2018.5.9-11
場所：沖縄県、沖縄科学技術大学院大学

UCL、NTT、「人工知能と脳科学」合同ワークショップ

日程：2018.10.22-23
場所：沖縄県、OIST シーサイドハウス

平成 29~30 年度 共催・協賛・後援イベント

第 4 回 Language & Robotics 研究 (LangRobo)

日程：2018.1.6
場所：京都府、立命館大学
<http://www.emergent-symbol.systems/news/langrobo-4>

新皮質マスターアルゴリズムフレームワーク 公開ワークショップ

日程：2018.2.27
場所：東京都、角川本郷ビル内 φカフェ
<https://wba-initiative.org/en/2902/>

第 5 回 Language & Robotics 研究会 (LangRobo)

日程：2018.3.24（準備中）
<http://www.emergent-symbol.systems/news/langrobo-5>

The Eighth International Symposium on "Biology of Decision Making" (SBDM 2018)

日程：2018.5.21-23
場所：France、Paris
<http://sbdm2018.isir.upmc.fr/>

人工生命国際会議 Alife Conference 2018

日程：2018.7.23-27
場所：東京都、日本科学未来館
<http://2018.alife.org/>

第 26 回脳の世紀シンポジウム「AIと脳」

日程：2018.9.12
場所：東京都、有楽町朝日ホール
http://www.braincentury.org/index.php?page=brainsympo_index

IEEE ICDL-Epirob 2018

日程：2018.9.16-20
場所：東京都、早稲田大学
<http://www.icdl-epirob.org>

IEEE SMC Workshop on Brain-Machine Interface Systems 2018

日程：2018.10.7-10
場所：宮崎県、シーガイアコンベンションセンター
http://go.epfl.ch/smc2018_bmi

日本神経回路学会第 28 回全国大会（JNNS2018）

日程：2018.10.24-27
場所：沖縄県、沖縄科学技術大学院大学 (OIST)
<http://www.jnns.org/conference/2018>

Conference on Robot Learning (CoRL) 2018

日程：2018.10.29-31
場所：Switzerland、Zürich
<http://www.robot-learning.org/>



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
2018年3月発行

www.brain-ai.jp