

人工知能と脳科学

理化学研究所 荣誉研究員 甘利 俊一

人工知能の始まりは、1950年代に遡る。コンピュータを使い始めたこの時代、その万能性に注目した研究者達は、人間の知的機能を実現する試みに挑んだ。これには二つのやり方があった。一つは、記号を用い、論理的推論を実行することで、知能を実現する構想であり、もう一つは、ニューロンの論理的な万能性と学習能力に依拠して知的な機能を習得しようというものであった。いずれも素晴らしい夢であり、両者が対立していたわけではない。しかし熱気に燃えた夢の時代はほどなく終わりを告げる。

しかし、面白いテーマはやはり面白い。20年ほどの時代を経て、この夢はまた盛り上がった。人工知能はより実用的な、エキスパートシステムに力を注いだ。一方、脳のモデルには認知科学が参画し、コネクショニズムなる流派を作る。これに物理学者なども相乗りして、一大ブームを巻き起こした。1980年代の第2次ニューロブームである。

この頃から、記号と論理に固執する伝統的 AI 研究者と、脳の学習機能を重視するニューラルネットワーク派の対立が始まる。いま、長老としてこの世界に君臨している研究(指導者)たちは、この時代に活躍して、成果を生み出せなかった者たちである。

時代がさらに30年ほど流れた。コンピュータの性能は驚くほど増大し、さらに大量のデータが利用可能になった。ここで登場したのが第3次 AI (ニューロ) ブームと呼ぶ流れで、深層学習を引っ提げて華々しく登場し、従来の情報技術の枠を破っただけでなく、パターンの識別や囲碁などでは人をはるかに凌駕する性能を示した。ついには機械翻訳などの言語処理にまで乗り出して、記号対パターンの対立を止揚した。わかり易く言えばニューラルネット派が勝利したのである。

ただ、ここで使われる確率降下学習法や画像のコンボリューション構成などはいずれも日本で最初に提案されたものである。日本は、Hintonをはじめとする欧米人ほどの執念がなく、研究環境も整わなかった。いまになって、ドタバタしてももう遅い。

彼らの後追いをするのではなく、新しい構想と展望を考える必要がある。

一つは脳の仕組みに学ぶことである。例えば、人が持つ意識の機能を考えてみよう。意識とは、自分が何をしようとしているかを自分で知り、これを吟味する機能である。脳は、外界からの情報を素早く処理し、何が起こるかを予測し、それに対処する方策を決定して実行する。これは多く無意識で行われる。しかし、重要な状況ではこれが意識に上り、自分の決定(候補)を吟味し、場合によっては再考する。この時多くの情報を統合し、言語を用い論理で考える。この局面だけを重視したのが古典的な AI であった。今の深層学習は、素早い予測機能を学習により取り込むことにはある程度成功したが、後者はまだ手つかずで残っている。

人間は永年の進化の過程で、素晴らしい脳を獲得した。情報には基本的な原理があり、脳は進化の過程でその原理を実装するに至ったが、その過程はランダムサーチで、決して綺麗なものではなかった。だから、現実の脳から情報の原理を探ることは一筋縄ではいかない。

ここには数理脳科学が必要であるというのが私の主張であるが、それはさておこう。

一方、人工知能もこの素晴らしい情報の原理を技術の力で実現したい。だがその実装は脳と同じである必要は全くない。ただ、これを一足先に実装した脳に学ぶことはいくらでもありそうである。また逆に、人工知能が素晴らしい性能を発揮すれば、その原理が現実の脳にどのような形で実装されているか、これを探ることで、脳の仕組みの理解に役に立つはずである。

脳と人工知能は違う。違うからこそ相互に啓発することが重要である。本研究領域が、対照と融合という、これにふさわしい名称を付けたことに敬意を表したい。





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

谷口 忠大
立命館大学 情報理工学部 教授



五味 では、よろしくおねがいします。

谷口 よろしくおねがいします!

五味 早速ですが小さい頃の夢などからお伺いしたいのですが、先生は京大学の物理工学のご出身ですよね? 小さい頃の夢はやはり物理学?

谷口 いえいえいえいえ! そんな高尚なものではございません。むしろ、小さい頃はSFアニメやマンガ好きとか、そういう子供でした。ガンダムとか、……あと、好きだったのがサイバーフォーミュラ。

五味 へー、知らないですねえ。

谷口 すみません(汗)。サイバーフォーミュラっていうのは、人工知能が搭載された未来のF1みたいなマンガで、主人公と人工知能が搭載された車がともに成長していくみたいな話で……、好きでした。

五味 マッハGOGOGO! みたいな?

谷口 あー、近いかも(笑)。ナイトライダーとか。

五味 物理といえば、天文学とか、量子力学とか、そういうのがあると思いますが、そういうものに憧れていたわけではなかった?

谷口 京大の『物理工学科』っていうのは、もともと機械系を中心に改組されたものなんです。エネルギー科学や材料科学なんかが統合されて。そういう意味では僕の出身は機械系。僕はその中でも、ロボット……、乗り込むタイプじゃなくて自律のロボットをやることになった。

五味 京大の物理というのを知らなかったのですが、そういう学科だったんですね。

谷口 そうですねー。本当は中高時代から数学が得意でして、日本代表にはなれなかったものの数学オリンピックなんかにも出ていたので高校の先生からは『谷口は理学部の数学科

に行く』と勝手に思われていた節があったんですけど、行かなかったんですね。数学科に行く現実世界との接点の切れて、世捨て人になってしまいそうで。

五味 僕も物理が好きで、数学が好きでした。考えて解くことが好きだったんですね。それで、機械工学科が人数も多いし、つぶしがききそうだし、受けたみたい。

谷口 機械は定員多いですからね。うちも定員多くて受験の時は安心感がありました。いやー、受験は怖かったからですね。

五味 そうですね。高校の間は世界も狭いし、将来も見えないですね。日本の教育が変わって、もっと高校の時代から面白い世界を見せてくれたらいいのにな、と思いますけど。それでも、昔に比べたら今の子供達はいろんなバリエーションが出てきて良くなっているのかな、と思いますけど。どうですかね?

谷口 どうですかね? 教育が変わっているかどうかに関してはよくわかりませんが、情報の流れは変わってきているでしょうね。YouTubeとかオープンコンテンツとか。学校教育について言えば、小学校の英語やプログラミングのように多様なことを文科省が下ろしていたりするから、逆にそれで現場の時間がパンパンになってしまって、一人ひとりが主体的に学ぶ時間が無くなってしまっている。小学校でも英語でコミュニケーション出来ない先生が英語の授業を持ったりしているから、非常に学習効率が悪い。なんだこれは?

五味 教育を学校教育だけに狭く捉えると良くないですね。

谷口 教育というよりは学習や勉学なんでしょうね。

五味 そうですねー。

谷口 日本語の教育というのはどうしても、知っているものが知らないものに教えるという、シャノン・ウィバー型のコミュニケーションモデル、科学コミュニケーションでは欠如モデルって言い

ますが、そういう先入観にどうも思考がバイアスされる。これは、学習者を他律的な存在にして、自律性を奪ってしまうんですよね。学習では能動的なExploration(探索)こそが大事。

五味 僕、ロンドンによく行くんですけど、自然史博物館ってあるじゃないですか？初めて行った時は本当にびっくりしますよね。こんなに面白く見せてるんだ！っていうのが日本の博物館とはぜんぜん違う。

谷口 そうですね。まさに、科学コミュニケーションの発祥の地はイギリスですしね。

五味 そう！

谷口 そして議会制民主主義の発祥の地、そしてディベートの本場もイギリスなんですよ。これらの関係は実に強い。そして、それが教育に影響を与えている。イギリスの教育では自分で考えて、自分の意見を持ち、自分の言葉で話せることに重きが置かれている。これに対して、日本の教育はやはり舶来物の輸入、封建的な師弟感が強い。情報を教授して、理解させるというところに重きが置かれている。

五味 そう。そして、それが変えられるかどうか？

谷口 まさにそれがチャレンジ。前回の新学術領域の領域会議のワークショップで何故か、銅谷先生からのリクエストで、僕は新学術領域の研究テーマではなくて、別に僕が代表をさせていただいているJST 未来社会創造事業のプロジェクト『「知」の循環と拡張を加速する。対話空間のメカニズムデザイン』の紹介をさせていただいたんですよ。そのプロジェクトで目指しているのが正にそういうチャレンジなんですよ。

五味 ええ。ありましたねえ。

谷口 そのプロジェクトは僕のビブリオバトルに関わる研究・実践活動の延長にあるんですが、そこで目指しているのはコミュニケーション場のメカニズムの設計論。特に、それぞれの人間が、あるゲームのルールに従って議論すれば自然と論理的で、生産的な議論が出来るような、そんなコミュニケーション場を生み出す手法を研究しているんですよ。

五味 なるほど。

谷口 こういう議論を皆がうまく出来る素地を作る、皆の前で発表する技術を身につけるといえるのは科学技術の文化を国内で成熟させていくためにも大変大事なんですよ。

自らの考えを話せるようになるためには、そういう練習の場がたくさんあることが大切なんです。それが、ビブリオバトルを僕が推進し続けている理由でもあるわけです。

五味 ふむふむ。

谷口 実は我々が議論する前提として、自分の考えを堂々と話すということが出来ないと行けないんですが、日本の教育では、そういう自己主張をきちんとするというところの教育機会が

相対的に非常に少ない。日本の学生でありがちなのは、『君の考えを喋って』という、『○○ですか？』のように、疑問文で返ってきたりする。僕が学生自身の考えを聞いているのに僕の心の中にあるであろう『正解』を求めようとするんですよ。『こういう意見で間違っていないですか？』っていうような感じなんですよ。そうじゃなくて、間違っているか間違っていないかは置いておいて、自分の考えの情報を出して欲しいんですよ。

五味 はいはい、議論の中から新しい考え方や問題意識が出てくることを期待しているのに、若い人は、正解がすでにあると思っていて、すぐに答えを求めようとしがちですよ。

谷口 ヤバイ。これ、新学術の対談ですよ？新学術の話をしないと(笑)！

五味 はっはっは！で、先生は機械系に入られたわけですが。

谷口 戻りますね。

五味 はい。そして、機械系から情報系に移動して行かれた？さっき、ポロッと『機械系が面白くなかった』っておっしゃってましたよね？

谷口 いやいや……、そう言うところが立ちますが。気付いたんですよ。僕は目に見えるモノにあまり興味が無いんですよ。目に見えない構造に興味がある。物理をやっている、物そのものには興味がなくて、様々な現象が非常にシンプルな数式で表現される、そういう隠れた構造に興味があるだって。やっぱり、数学も好きなので。個別なものではなく、本質的な原理(プリンスプル)に興味があるんですよ。

五味 うんうん。

谷口 でも、大学に入った20世紀末。そこで気付くのは、物理はもう出来ることは殆どやられたと。もう、ぺんぺん草も生えないのではないかと。そこで次のターゲットはどこだ？と。それで心や知能の問題に。それともう一つ。僕の母親が教育心理学の出身で、昔、河合隼雄先生に師事していたんですよ。それで、小学生や中学生のころからユングやフロイトっていう意味での心理学に興味があったんですよ。

五味 おー、それは。

谷口 僕にとっての心理学のイメージの始まりって、知覚心理学や認知心理学じゃなくて、深層心理学や精神分析なんですよ。そういう意味で。そういうところから『人間の主観』をいかに捉えるか、主観的な世界の認知をいかにロボットや人工知能でモデル化するかという今の研究に繋がってきたんだと思います。

五味 そういう意味では、やっぱり、大学に入る前から、そういう研究に興味があったと。

谷口 あったんじゃないですかねえ。よくわからないですが。

五味 実は私も大学に入る前に理系か文系かで凄く迷ってですね。むかし、私、小説を書いていたんですよ。夏目漱石とか読むのがとても好きで。島崎はちょっと……、倒錯しているので、ちょっと……でしたが。夏目の描く心の世界がすきでしたね。

谷口 へー!へー!へー! そうだったんですか!! それはスゴイ! 純文学系ですね。

五味 自分の心の内を表現していくのがとても好きで、なんか、そういうのからロボット。機械系の中でも人間に近い、ロボットって所に進んでいったのかなあ、って思いますね。そういう意味では似ているかもしれないですね。

谷口 いやあ、僕も、高校時代に小説とか書いていたんですよ。とはいっても、僕らの世代はちょうどライトノベルのブームが巻き起こった世代で、純文学なんて高尚なものからは程遠かったんですが。僕は兎に角、創作好きで、マンガ書いたし、ゲーム作ったし、高校は演劇部で、大学はアカペラサークルで曲も書きました。でも、なかなか、創作でプロになるのは難しい。で、小説は無理でも、本の出版が夢だったんですよ。そこで、自分のスキルセットなんかを眺めた時に、大学の研究者なら、本を書けるんじゃないかと……。そんな思いも、僕が大学の研究者になった動機の一つでしたね。

五味 僕も昔はそういうのが好きだったんですが、今は客観的な事実を積み重ねてまとめていくのが好きで、なかなか本を書くというのには距離を感じますね。

谷口 確かにそれはありますね。本と論文なら役割が違いますからね。大きなビジョンであったり、個別の論文では語れない世界観みたいなものを書いたりするのはやっぱり本かな、なんて思います。

五味 先生の出されてる『記号創発ロボティクス』なんて本でもそうなんですが、先生のアプローチは構成論的アプローチが多いですね。私も昔、そういうことをやっていたのですが、なんとというか、すこし飽きてしまって、今は実験的、解析的なアプローチをやってますね。構成論的アプローチって魅力的だとも思うんですけど、結局自分が作ろうと思ったものしか出来ていない気がして……。

谷口 お! それは、ちょっと異論ありますよ。

五味 あ、そうなんですか?

谷口 僕は、修士の時代から構成論的アプローチしかやってないくらい人間ですから、構成論的アプローチとはなんぞ? 何の役に立つの? というところは随分と悩みました。実は、構成論的アプローチの科学哲学的位置づけに関して、述べているような書籍って本当に少ないんですが。僕の『記号創発ロボティクス』では丸々一章割いて、書いているので、もし良かったらニュースレターを読んでもる人にも読んでもらいたい

ですが。ちなみに、その他の本だと金子邦彦先生の『生命とは何か』くらいじゃないかなあ? ちゃんと構成論的アプローチの位置付けについて解説しているの。

五味 まあ、僕も飽きっぽいので、構成論やって、今は解析的アプローチをやって、また、そのうち飽きると構成論に戻るかもしれないませんが(笑)。グルグル回って。

谷口 僕も飽きっぽいですよ (何故か対抗して)! 僕、ずっと構成論ですけど、ロボットやったり、社会システムやったり、構成論の中で、グルグル回っています(笑)——今度こそ、新学術の研究テーマにつながる話に行きます。

五味 はい、そうですね。

谷口 僕はさっきも言っていたみたいに人間の主観をモデル化することを研究の主眼においてきたんですね。その主観が立ち現れてくるダイナミクスをモデル化したい。主観的なものは科学では嫌われますが、主観的な世界の観察という私達の活動自体は、ある種の物理現象なわけで、その主観を客観的にモデル化すれば、その研究自体は科学たりえるだろうというのが、僕の根本的なスタート地点です。

五味 うーむ。

谷口 その第一歩として、修士課程から博士課程で取り組んでいたのがシエマモデルというやつなんです。これはある種のモジュール型の学習機構です。例えば、ロボットがダンベルを渡されてそれを動かしていると、その特徴や力学を学習して予測出来るようになってくる。これをピアジェのシエマ理論になぞらえてシエマの同化と調節なんて呼んでいました。ところが、この後に、違う重さのダンベルを渡されると、『あれ? なんか違うぞ』となって、新しいシエマを分化させるんですね。こういう形で、徐々にボトムアップに環境との相互作用の中で概念形成するような学習機構をシエマモデルとか呼んで作っていました。

五味 私もモジュラ学習をやっていましたが、発展形は川人先生や銅谷先生のMOSAICで、それに似ていますね。

谷口 そうなんです。ところがあろうことか、修士課程当時の僕は不勉強で、MOSAICのことを全く知らなかったんですね。数理的にはシエマモデルが仮説検定をベースにしている、MOSAICはベイズ推論をベースにしているという違いはありますけれども。さて、博士課程一回生の時にある研究会に呼ばれて、そこで修士論文の成果を発表させていただいたんですが、その研究会が激しい研究会で、2,3時間揉まれました。今から考えると、余りに自分が不勉強だったので恥ずかしい限りなんですが、その会に居られた先生の一人が銅谷先生だったんですね。銅谷先生の前でMOSAICの類似モデルを示してMOSAIC知りませんとのたまう博士課程一回生ということで、……僕の黒歴史です。トラウマですね。

五味（笑）。そして、それが、今回の新学術のテーマの二重分節解析に繋がると聞きましたが、そこはどう繋がるんでしょうか？

谷口 はい。時系列データに分節を導入する際に、どういう基準で切るかというのは本質的な問題です。また、その基準は『どういうものをひとまとまりとして見るか』という問題意識と直結しています。例えば、野球のピッチングモーションを考えてみましょう。そこでは、大きなまとまりとしての『ピッチング』というまとまりがあります。意味あるまとまりとしては一つなわけです。これに対して『ピッチング』という動作をさらに細かい単位に分けようとすると、その部分的な振り上げのモーションや、リリースのモーションなどに分かれてくる。これらは意味的なまとまりというよりも、物理量的な意味において、ダイナミクスの意味において分かれてくるんですね。当時、過去の動作分節化の研究を見ると、大体この二通りの分節化が、混じって存在していた。人間が言葉で表現するような意味あるまとまりをとってきたいのか、物理的なコントローラの切り替わりのような動作内の構造を推定したいのか。最低でも、この二階層、二重の分節構造を考慮する必要があると考えました。

五味 それが、二重分節と？

谷口 はい。僕の作っていたシエマモデルでもMOSAICでも、基本的には一つのダイナミクスは線形ダイナミクスでモデル化することを基本とします。そして、これが決まったパターンで繋がることで『ピッチング』意味的なまとまりをとるようになると考えたわけです。ふと、人間の言語を見ると、そこにも同じ構造があるわけですね。単語と音素。単語は意味を持つけれど、それが分解されて物理的、音響的特徴としてのまとまりの音素には人間は意味を与えない。その動作の分節化と音の分

節化の同形性のようなものが、僕の二重分節解析、そして、今回の新学術領域でのテーマの基礎にあるわけです。

五味 谷口さんは『記号創発ロボティクス』ということでロボットを使われていますが、身体とか形って大事ですよね。

谷口 そうですね。僕はいわゆる『モデル屋』だと思っているんですが、ロボットっていうのは、感覚器、運動器、計算機を備えた、知能のモデルなんですよ。

五味 僕は大学に入って早稲田大学の加藤一郎先生の研究室に入ったんですが、その時に加藤先生がおっしゃっていたのが『人間の形をしたロボットを作ることに意味がある』ってことでした。自動機械と人間型のロボットでは似た要素技術は使うんですけど、『形』っていうのが重要なんだってことだったんですね。当時は僕も『なんのこと言ってるんだ？』って分からなかったんですけど、今は何となくわかります。外界とインタラクションする『形』っていうのが知能も決定するし、色々な拘束条件になるんだろうと。

谷口 最近のディープラーニングに端を発した『パターン情報処理』を核とした人工知能ブームでは身体性や形の重要性が再び忘れられてきている気がします。人工知能と脳科学ということは、身体を持った私達人間の知能から人工知能を捉えようということでもあるわけですから、そういう点も忘れずに取り組んでいきたいですね。

五味 そうですね。おっと、対談は、多分、もう、時間いっぱいですかね（笑）。

谷口 喋りすぎました（笑）。どうもありがとうございました。

五味 どうもありがとうございました。

参考情報



「知」の循環と拡張を加速する
対話空間のメカニズムデザイン
(JST 未来社会創造事業)
<http://taiwa-kukan.tanichu.com/>



谷口忠大「記号創発ロボティクス」
講談社
[http://bookclub.kodansha.co.jp/
product?item=0000195539](http://bookclub.kodansha.co.jp/product?item=0000195539)

二重分節解析に関わる主要論文。ノンパラメトリックベイズモデルに基づいて音声データから音素と単語を同時に教師なし学習する手法。

Tadahiro Taniguchi, Shogo Nagasaka, Ryo Nakashima, "Nonparametric Bayesian Double Articulation Analyzer for Direct Language Acquisition from Continuous Speech Signals", IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems, Vol.8 (3), pp. 171-185 .(2016)
DOI:10.1109/TCDS.2016.2550591



分野横断共同研究の最前線 ～ 人工知能と脳科学の対照と融合に向けて～

編集 / 谷口 忠大（立命館大学 情報理工学部 教授）

新学術領域「人工知能と脳科学の対照と融合」の発足から約二年が経過しました。この間、人工知能研究を取り巻く環境は激変し、その中で、脳科学と人工知能研究の対照と融合に期待する声はますます大きく響きだしています。その中で、まさに人工知能の対照と融合を数多く生み出し、新たな人工知能と脳科学の調和した発展のフロンティアを創成することを使命とした本領域では様々なコラボレーションが胎動し、その横断研究の企画数は三十を優に超えます。通常、このような企画は結果が出るまで語られずに、論文が出た後に紹介されるのが常ですが、そこは人工知能と脳科学の対照と融合を加速させる本領域の使命として、より「前のめり」にそのようなアクティビティを発信して行きたいと思います。

ここで紹介するのは、テーマの公開に同意頂いたテーマであり、本新学術領域で走っている共同研究テーマのほんの一部になります。二年半後、新学術領域の終わりまでにこれらのテーマの内のいずれから、どのような具体的な研究成果、論文等が生まれていくのか。最後まで本領域の研究活動から目を離さずに注目頂ければと思います。

ロボティクス・機械学習 × 計算神経科学



森本 淳
(株)国際電気通信基礎
技術研究所 (ATR)
室長



五味 裕章
NTT コミュニケーション
科学研究所
上席特別研究員

ヒトの潜在的感覚運動情報処理のヒト型ロボット制御への応用

ヒトの潜在的な感覚運動情報処理の学習・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明らかにするアプローチは、ヒューマノイドロボットの感覚運動処理系の設計にも通じるものです。そこで、特に視覚系に着目したロボットの運動制御に関する研究を共同で進めます。これまでのロボティクスにおいては、視覚系は主に物体認識に用いられてきました。一方で、運動制御においてロボット自身に搭載された視覚系を活用することの有用性については十分に議論されていませんでした。ここでは、脳の感覚情報処理の考え方に基づいて、オプティカルフローを含む視覚情報がロボットの動的な運動制御・学習にどの程度有用となり得るかの検討を共同で進めます。

統合失調症の神経科学 × ロボットの概念形成の確率モデル



高橋 英彦
京都大学大学院
医学研究科 准教授



谷口 忠大
立命館大学
情報理工学部 教授

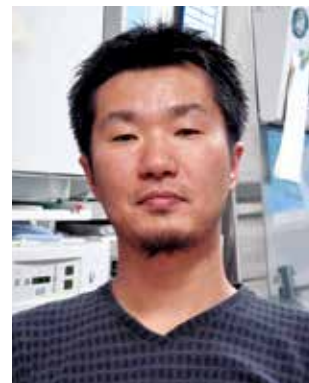
動的カテゴリ形成と文脈活用に着目したモデルによる統合失調症の確率的生成モデル化

統合失調症患者をその発話や行動から適切に診断するためのパターン認識技術はまだ開発されていません。また、統合失調症は高次の障害であることから、思考や表象のレベルでどのような障害が起きているのかを計算論的に理解するためには、カテゴリ形成から思考のプロセス、対話まで含めたモデルが必要になります。このような、モデルは人間とコミュニケーションするロボットを作る上でも大きなチャレンジになります。本共同研究では、ロボットの概念形成や文脈理解のための最先端の統計モデルを活用することで、統合失調症で起きている疾患を説明するための確率的生成モデルの開発を目指します。これにより、統合失調症の診断ツールの開発、神経科学実験を構築するための仮説の提案につなげていきます。

ドーパミンニューロンの機能解析 × 光遺伝学技術の開発



松本 正幸
筑波大学
医学医療系 教授



井上 謙一
京都大学
霊長類研究所 助教

マカザルに適用可能な光遺伝学技術の開発

黒質緻密部・腹側被蓋野に分布するドーパミンニューロンは報酬シグナルを伝達する神経系として注目されてきましたが、松本らのマカザルを使った研究は、これらのニューロンが一様に報酬価値の情報をコードしているわけではなく、黒質緻密部の背外側に位置するものは刺激やイベントの salience（顕著性）をコードすることを明らかにしました。ただ、ドーパミンニューロンの salience 信号が動物の行動にどのような役割を果たしているのかは不明なままです。次のステップとして、これらのニューロンの活動を、光遺伝学を用いて操作したとき、マカザルの行動にどのような影響が見られるのかを解析する実験を計画しています。ただ、齧歯類を中心に開発された光遺伝学を大きな脳を持つ霊長類にそのまま用いることはできません。そこで、ウイルスベクターの開発で世界的な実績を有する井上と共同研究を立ち上げ、マカザルのドーパミンニューロン選択的な活動操作が可能な光遺伝学技術を開発しました。これまでにこの手法によって高確率でドーパミンニューロンの活動操作が可能であることを確認しました。

並列強化学習

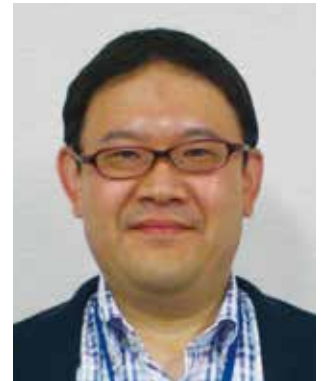


大脳基底核の直接路と間接路



内部 英治

国際電気通信基礎技術
研究所 主幹研究員



足田 貴俊

大阪大学蛋白質研究所
教授

報酬・忌避行動学習のための強化学習モデル

報酬・忌避行動の学習において、大脳基底核における直接路と間接路の役割分担に着目した計算モデルが足田らによって提案されていますが、人工システムに適用可能なレベルまでの実装にはいくつか解決すべき問題があります。また内部らは工学的観点から、報酬の正の報酬と負の報酬を区別して学習する並列強化学習法を提案していますが、並列学習した結果を統合して意思決定する機構がヒューリスティックな評価によって実現されています。この共同研究では、工学的な並列強化学習を神経科学的に妥当な報酬・忌避行動の計算モデルに拡張することで、生物のような柔軟な学習アルゴリズムを開発するだけでなく、生理データを詳細に説明できる計算モデルを開発することを目指します。現在は工学的なモデルの精緻化が終わりつつあり、その結果を国際会議に投稿中です。今後は共同研究を進めることで学習結果の統合部分を改善します。

計算論的精神医学



精神疾患の神経科学



山下 祐一

国立研究開発法人国立精
神・神経医療研究センター
神経研究所
疾病研究第七部 室長



高橋 英彦

京都大学大学院
医科学研究科 准教授

深層ニューラルネットワークを用いた精神疾患の評価法開発：大規模臨床脳画像データによる検証

安静時機能的磁気共鳴画像(rsfMRI)は、安静状態でMRI撮像を繰り返し、自発的脳活動の時間的変化を捉える脳画像検査法で、個人の脳状態を反映した有益な情報源であると考えられます。また、深層ニューラルネットワークは、急速に進歩を遂げる人工知能(AI)の基盤技術であり、画像や音声などの大規模データから、標的課題に有用な情報(特徴量)を自動的に抽出するアルゴリズムです。

本共同研究では、rsfMRIデータから深層ニューラルネットワークにより特徴量を抽出する技術開発と、精神疾患の脳機能計測に基づく臨床研究が共同することで、患者個々人の症状評価・疾患予後・治療反応性予測などを総合的に評価する、精神疾患の新しい評価法開発のための基盤となる技術の確立を目指します。

モデル動物の社会行動 × 時系列文脈の確率モデル



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
研究員



谷口 忠大
立命館大学
情報理工学部 教授

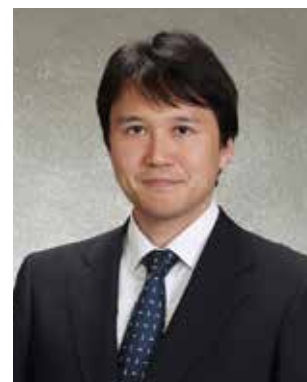
社会行動文脈の数理モデル表現

社会性行動は感情や意図等の内部状態の伝達・受領する機能であり、特にモデル動物を用いた神経基盤の探索においては、音声表現がヒト言語と比較可能でない場合、身体表現の定量が必要になります。現在の一般的な神経科学の枠組みでは、モデル動物に対して特定の身体表現モジュールが突出して再現される状況を設定・誘導し、特定の神経活動操作による影響を評価します。身体表現が神経活動と1対1に対応していれば有効な手法ですが、より自然に近い状況では、双方を共に確率的な枠組みで捉えた観測データの生成過程として記述する必要があります。そこで本研究では、神経活動に対する制御のON/OFFを化学遺伝学操作で明示的に加え、出力される自由度の高い身体表現の確率的生成モデル化を目指します。すなわち、自由行動中の動物から算出された身体パラメータ時系列に対し、教師なし機械学習により潜在的な状態（分節構造）推移モデルの適用を目指します。これにより、仮説設定の枠組みを拡張し、より自然に近い多様な身体表現が表出する社会的交流の中で神経機能の影響を評価できる基盤的な数理モデル表現の提案につなげていきます。

脳機能画像を用いた脳内表象解析 × 皮質脳波ビッグデータ



近添 淳一
生理学研究所 脳機能計測・
支援センター 准教授



柳澤 琢史
大阪大学
高等共創研究院 教授

表象類似度解析による ECoG データの時系列解析

脳活動から認知状態を推定する decoding の手法は機能的 MRI および脳波研究において、広く用いられています。脳表面電気記録（Electrocorticogram: ECoG）によって取得された脳活動データは機能的 MRI データに比べて時間解像度が高く、脳波と比べてシグナルが強いことが知られています。動画を視聴中の被験者から得られた ECoG データに対して、表象類似度解析を適用することにより、脳内表象が時間的に変化していく過程を可視化します。この研究により、概念がどのように生まれ、他の概念にどのように移り変わるかを明らかにします。

HDBCellSCAN × Neural Substrate of Vision-based Decision Making



Kosuke Hamaguchi
Kyoto University,
Graduate School
of Medicine, Senior
Lecturer

Andrea Benucci
RIKEN CBS, Team
Leader



A robust cell-segmentation platform for in vivo functional fluorescence imaging

Studies of neural coding are increasingly benefiting from large-scale recordings acquired simultaneously from populations of neurons. Ca2+ imaging in particular has been extensively used by hundreds of laboratories around the world with a great diversity of GCaMP and Voltage indicators. Extracting the neural dynamics from the raw recordings poses several computational challenges. Lab-specific implementations have led to a plethora of software solutions that hardly generalize across labs and represent a source of variability that hinders the reproducibility of the data analyses. Here we propose to develop a robust segmentation algorithm that can be applied to both Ca2+ and Voltage imaging data taken across different imaging setups, based on a newly developed density-based clustering method, HDBCellSCAN.

意思決定の神経科学 × 計算論的精神医学



鈴木 真介
東北大学
学際科学フロンティア
研究所 助教

山下 祐一
国立研究開発法人国立精神・神経医療研究センター
神経研究所
疾病研究第七部 室長



強化学習と精神疾患傾向：大規模 WEB 調査による検証

「経験から最適な行動を学習する能力」は我々ヒトの生存に不可欠です。このような能力は「強化学習」として定式化され、最新の人工知能に搭載されるなど様々な分野で大きな注目を集めています。また、近年の精神医学研究によって、ヒトの強化学習能力が様々な精神疾患（うつ、統合失調症、強迫性障害など）と関係する可能性が示唆されています。しかしながら多くの研究では少数の被験者（数十人程度）を対象にしており、「強化学習のどのような側面がどのような精神疾患と関連するのか？」の詳細な理解は得られていません。そこで本共同研究では、インターネット上で大規模な実験を行い、1000人規模の被験者を対象に強化学習能力と精神疾患傾向の関係を調べます。これにより、精神疾患の病態や機序、特に強化学習との関連についての詳細な理解を目指します。

姿勢・動作の計算論的記述



高次脳機能への操作介入

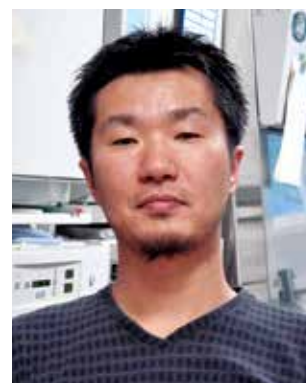


三村 喬生

量子科学技術研究開発機構
放射線医学総合研究所
研究員

井上 謙一

京都大学
霊長類研究所 助教



自由行動測定による神経機能仮説の統合的解析

モデル動物を用いた社会脳の理解は、神経活動の制御に対して特異的に生じる社会行動モジュールの異常検出を基本として発展し、神経操作技術の精密化に伴い、より焦点を絞った機能仮説とそれが評価可能な行動試験の設計法が工夫されてきました。明らかになってきた種々の神経-行動モジュール仮説を、社会性を司る神経機能の全体の中で計算論的に位置付け、仮説と仮説の隙間を埋めるためには、あえて多様な行動表現系が表出する状況を設計し、データ・ドリブンに特徴を抽出するための新たな解析技術が必要になります。そのため本研究では、活性制御のON/OFFを低負荷かつ再現的に行える神経活動の操作介入技術を、自由運動中の動物の姿勢・動作を高解像度で検出するモーショントラッキングシステムと組み合わせることで、様々な神経領域の活動が与える影響を、同一場面の行動表現系における異なる側面として相互に関連付ける事を目指します。これを核とし、個体同士が自由に相互作用しながら交流する時間発展系において生じる様々な神経-行動プロセスを丸ごと確率的にモデル化する試みへつなげていきます。

脳機能イメージング



統計的機械学習による時空間特徴解析



近添 淳一

生理学研究所 脳機能計測・
支援センター 准教授

平山 淳一郎

理化学研究所 革新知能統
合研究センター 脳情報統
合解析チーム 研究員



機械学習による脳局所情報からの全脳情報の解読

古典的な神経心理学研究では、ヒトの脳機能は限局した脳領域によって分担されていると考えられていましたが、近年では、高次脳機能は複数の領域間の協同により支えられるという考え方が提唱されています。この共同研究においては、私たちのグループは「同一の脳領域であっても異なるネットワークに関与するときは、結合の違いを反映して、局所の脳活動パターンが変化するのではないか」という仮説をおき、これを検証します。具体的には、安静時の脳活動データにおいて、局所の脳活動と全脳の脳活動のパターンの対応を機械学習的手法で学習することにより、局所の脳活動から全脳の情報を解読することを試みます。技術面では高次元の全脳活動から適切な少数の特徴量を抽出することが最も難しく、ここではニューロイメージングにおける既存の手法に加え、統計的機械学習によって新たな時空間特徴量を探索することでこの問題に迫ります。

報酬確率と時間的不確実性は辛抱強さに対する背側縫線核セロトニン神経の効果を変更する

宮崎 勝彦（沖縄科学技術大学院大学 神経計算ユニット スタッフサイエンティスト）

論文タイトル: Reward probability and timing uncertainty alter the effect of dorsal raphe serotonin neurons on patience

著者: Katsuhiko Miyazaki Kayoko W. Miyazaki, Akihiro Yamanaka, Tomoki Tokuda, Kenji F. Tanaka, and Kenji Doya

Nature Communications volume 9: Article number: 2048 (2018)

DOI: 10.1038/s41467-018-04496-y

概要

将来的に予測される報酬のために辛抱強く待てることは、その報酬を獲得できる機会を増大させます。本研究は、光遺伝学を用いて背側縫線核のセロトニン神経細胞を活性化すると、「報酬のエサを獲得できる可能性が高いが、それをいつ獲得できるかわからない」という状況下で報酬をより長く待てるようになることを見出しました。さらに数理モデルを用いたシミュレーションで、セロトニンの活性化が報酬を獲得できる確信度を高めるとすると、結果の確実さとタイミングの不確実性に対する影響を統一的に説明できることを明らかにしました。いつ結果が得られるかわからないという時間的不確実性のもとで報酬をめざす行動をセロトニンが促進するという本研究による知見は、うつ病などの精神障害において、認知行動療法とあわせることで、いつ回復するか予測不能な治療を継続するための辛抱強さを効果的に高め、患者が回復途中で治療から脱落するのを防ぐことに貢献する可能性があります。

はじめに

人気のお店で並んだり、海で釣り糸を垂らして大物を狙って待ち続けたりするなど、私たちの生活で「辛抱強さ」が必要とされる場面は多く存在します。将来的に予測される報酬のために、焦らず辛抱強く待つことが求められる時、どのような脳内メカニズムがそれを可能にするのでしょうか？

私たちはこれまで、光によって脳内の特定の神経細胞の活動を正確なタイミングで制御する「光遺伝学」の手法を取り入れたマウス実験により、セロトニン神経の起始核の一つである背側縫線核のセロトニン神経細胞を刺激することで、将来報酬が与えられる小窓に鼻先を入れるノーズポークという行動（報酬待機行動）が、より長く持続されることを報告してきました。

将来的に予測される報酬のために辛抱強く待てることは、その報酬を獲得できる機会を増大させます。一方で、あまり確実ではない報酬を持ち続けることは、時間や体力を浪費し得策ではありません。

このように将来の報酬に対する確かさ（確信度）に基づいて行動を柔軟に切り替えることが、より多くの報酬を獲得するうえで大切です。

そこで今回、私たちは、セロトニンが将来得られる報酬の確実さの予測に応じて辛抱強さの調節に関与していると考え、報酬の確率を変化させた場合と、獲得できるタイミングの確実さを変化させた場合に、報酬待機行動に対するセロトニン活性化の効果がどのように変化するかを詳細に調べました。その結果、①セロトニンの待機促進効果は報酬の確率に依存する、②報酬の時間的不確実性はセロトニンの待機促進効果を増大させる、③セロトニンの活性化は将来報酬の確信度を高めることで辛抱強さを促進する、ことを明らかにしました。

セロトニンの待機促進効果は報酬の確率に依存する

実験では、7匹のマウスに、実験箱内部の壁面に設置された小窓にノーズポーク（鼻先を入れる）した状態で数秒間じっと待つことでエサを獲得できる課題を学習させました。マウスにはノーズポークをする習性がありますが、通常はすぐに鼻先を出してしまいます。今回の課題ではノーズポークを一定時間続けるとエサを獲得するため、マウスはノーズポークを続けました。待ち時間を3秒とし、75%の確率で報酬を獲得できる課題、25%の確率で報酬を獲得できる課題でそれぞれの半数の試行で、報酬待機中に背側縫線核のセロトニン神経細胞を光で刺激しました。この時、事前の合図はなく、待ち時間やエサの有無は待ってみたいとわかりません。私たちは、報酬が出ない試行に注目してマウスのノーズポーク時間を計測しました。その結果、75%報酬の課題では、セロトニンを活性化するとノーズポーク時間が約7秒から約8秒に延長しました。それに対し、25%報酬の課題では、セロトニンを活性化してもノーズポーク時間は約6秒と変化しませんでした（図1）。50%報酬の課題でもノーズポーク時間に対するセロトニンの効果は見られませんでした。

待てば報酬が得られる？

低い確率で得られるとき
セロトニン神経活性化の効果が高い

高い確率で得られるとき
セロトニン神経活性化の効果が高い

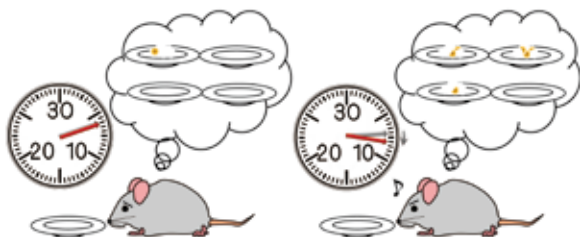


図1 セロトニンの待機促進効果は報酬の確率に依存する

報酬が25%の確率でしか獲得できない場合、エサが出ないときのノーズバーク時間はセロトニンを活性化してもしなくても変化しない（左）。報酬が75%の確率で獲得できる場合、エサが出ないときのノーズバーク時間はセロトニンを活性化すると増大する（右）。

報酬の時間的不確実性はセロトニンの待機促進効果を増大させる

次に、報酬が獲得できることはかなり確実だが（75%の確率）、いつ獲得できるかが予測できない時に（時間的不確実性が高い）、報酬待機に対するセロトニンの効果を調べました。ここでは、エサが必ず6秒後に出る課題、エサが2、6、10秒後のいずれかで出る課題でそれぞれの半数の試行で、報酬待機中にセロトニン神経細胞を光で刺激し、報酬が出ない試行時のノーズバーク時間を計測しました。その結果、エサが必ず6秒後に出る課題では、セロトニンの活性化はノーズバーク時間を約11秒から約12秒へ約10%延長しました。それに対し、エサが2、6、10秒後のいずれかで出る課題では、セロトニンの活性化はノーズバーク時間を約13秒から約18秒へ30%以上延長しました（図2）。

いつまで待てば報酬が得られる？

待ち時間を予測できるとき
セロトニン神経活性化の効果が高い

待ち時間を予測できないとき
セロトニン神経活性化の効果が高い

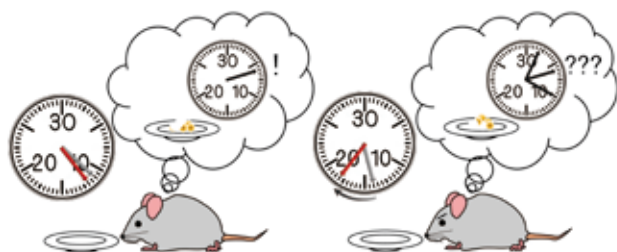


図2 報酬の時間的不確実性はセロトニンの待機促進効果を増大させる

エサが必ず6秒後に出る課題では、セロトニンの活性化によるノーズバーク延長効果は小さい（左）。エサが2、6、10秒後のいずれかで出る課題では、セロトニンの活性化によるノーズバーク延長効果は大きい（右）。

セロトニンの活性化は将来報酬の確信度を高めることで辛抱強さを促進する

それではセロトニン神経の活性化はどのように報酬待機行動の促進を調節しているのでしょうか？ 私たちは、マウスはエサが出るとするといつ頃出るという確率分布を学習しており、長く待ってもエサが出ないと今回はエサあり試行である確率（尤度）が低下するという数理モデルを用いて実験結果を再現する条件をシミュレーションしました。その結果、セロトニン神経の活性化は、エサあり試行の確率が大きいときにそれをさらに大きく予測する（報酬試行の事前確率を増大させる）と仮定すると実験結果を再現できることが分かりました。例えば（2）の実験では、エサの出るタイミングが不確実なほどエサあり試行の事前確率の効果が大きくなり、セロトニン神経活性化により報酬の確信度が増大すると、エサなし試行であるという判断がより遅くなります。この結果は、セロトニン神経の活性化によって、なかなかエサが出ないという現実よりも、きっとエサがでるはずだという確信に基づいて判断を行う、つまり、より楽観的になることで、マウスはより長く報酬を待つようになると考えられます。

おわりに

本研究成果は、セロトニン神経の活性化だけでは辛抱強く待つことを促進するのに十分ではなく、将来の報酬に対する主観的確信度が高いことが必要であることを示唆しています。このことは、精神疾患治療での応用につながる可能性があります。例えば、選択的セロトニン再取り込み阻害薬（SSRI）は、脳全体のセロトニンの作用を高めることによって精神障害、特にうつ病を治療するために広く使用されています。しかし、SSRI治療だけでは症状が落ち着く寛解（かんかい）率が約40%に留まっているのに対し、SSRI治療と組み合わせた認知行動療法などの心理的治療は、薬物治療単独よりも高い改善率を示しています。今回私たちは、辛抱強さを促進するのにセロトニン神経のみの活性化だけでは不十分であり、目標に対する主観的確信（すなわち、高い将来の報酬確率）が必要であることを明らかにしました。この発見は、セロトニンの作用を高めるSSRI治療と患者の悲観的認知を変更する認知行動療法の併用効果を説明するかもしれません。また、認知行動療法の効果は緩やかで、患者にとっていつ回復できるかを予測することは困難だと思われます。報酬の時間的不確実性に対するセロトニンの待機促進効果の知見は、SSRI治療によるセロトニンの増強が、いつ回復するか予測不可能な治療を継続するための辛抱強さを効果的に高め、患者が回復途中で治療から脱落するのを防ぐことに貢献する可能性も考えられます。

第3回 全脳アーキテクチャシンポジウム参加記

谷口 彰（立命館大学 総合科学技術研究機構 日本学術振興会 特別研究員（PD））

私は今回、2018年5月8日（火）に行われた全脳アーキテクチャ・イニシアティブ（WBAI）主催の「第3回全脳アーキテクチャシンポジウム」に参加して参りました。会場はトヨタ自動車株式会社 東京本社の大会議室で開催され、参加者は大会議室が一杯になる程の盛況ぶりでした。「脳に学んで良き汎用知能に至る道筋」というタイトルで行われた今回のシンポジウムでは、前半・後半のセッション共に各3名ずつの講演とパネルディスカッションが行われ、汎用人工知能や脳型AIに関する発表、議論が執り行われました。

前半では、NPO 法人 WBAI 代表 / 株式会社ドワンゴの山川宏先生、沖縄科学技術大学院大学の銅谷賢治先生、玉川大学工学部・科学研究所の大森隆司先生がご講演されました。山川先生の講演では「脳型 AGI 開発を着実に進めるために」というタイトルで、脳のアーキテクチャに学ぶ全脳アーキテクチャの取り組みやオープンプラットフォーム戦略に関する紹介、および特化型人工知能と汎用人工知能（AGI: Artificial General Intelligence）の違いなどについて説明されました。銅谷先生の講演では「脳の回路モジュールはなぜうまく繋がれるのか」というタイトルで、脳科学と人工知能研究の共進化や関係性について語られました。また、脳科学研究に触発された人工知能研究に関する事例を複数紹介されました。大森先生の講演では「AI 研究のガイドとしての能力マップの開発」というタイトルで、脳型アーキテクチャのモジュール開発のための能力マップに関する紹介をされました。能力マップが充実していくことによって、タスクに必要な機能やモジュールが可視化されることは AGI 開発のために非常に役立つことが期待されます。



中盤では表彰式が行われ、WBAI 活動功労賞と WBAI 奨励賞の受賞者が表彰されました。私は WBAI 奨励賞を受賞させていただきまして、ロボットにおける自己位置推定と地図生成を行う SLAM と、場所に関するマルチモーダルなカテゴリリゼーションによる概念形成・語彙獲得を統合したベイズ確率的生成モデル SpCoSLAM に関する研究活動に対し表彰していただきました。このような素晴らしい賞をいただきまして光栄に思います。

後半では、再び山川宏先生が登壇され WBAI 活動の拡がりについてご講演されました。WBAI の国内外の組織などとの連携や立ち位置、WBAI の意義に関する説明がありました。次に、慶應義塾大学理工学部の栗原聡先生、理化学研究所革新知能統合研究センターの中川裕志先生がご講演されました。栗原先生の講演では「汎用 AI に自律性は必要か?」というタイトルで、技術の進歩や自律性、メタ目的に関する話をされていました。また、脳型 AI を実現するための仕組みとして、脳のような自律分散型・群知能型の構造の必要性が語られていました。中川先生の講演では「汎用人工知能と社会」というタイトルで、AI の脅威論や法律問題、AI の負う責任について発表されました。



今回のシンポジウム全体を通して、改めて WBAI や AGI の取り組みが国内外から強く注目をされていることを感じられるシンポジウムでした。この度ご講演された先生方、および、このような貴重な機会を与えてくださったすべての方々に心より感謝いたします。

ALIFE2018 参加記

小島 大樹（東京大学 総合文化研究科 特任研究員）

人工生命の国際会議「ALIFE 2018」が7/23-27に東京お台場の日本科学未来館で行われました。人工生命の学会としては1987年からアメリカを中心に行われてきた the International Conference on the Synthesis and Simulation of Living Systems (ALIFE)、1991年からヨーロッパを中心に行われてきた the European Conference on Artificial Life (ECAL) の2つがあり、これまではそれぞれ別で開催されてきましたが、前回の ECAL を最後にこの2つの会議が合併されることになりました。その合併後最初の学会ということもあって、盛大なものとなりました。



©ALIFE Lab.

今回は東大の池上研が中心となって開催したため、実は運営側でもあるのですが、これまでにかなりの熱量で準備を行ってきました。そのおかげか、例年より多い212本の論文の投稿があり、そこから採択された64の口頭発表と48のポスター発表が行われました。

発表内容としては、シミュレーション、ロボット、化学実験など多岐にわたっていましたが、やはり進化に関わるものが多かったように思います。例えば今回の最優秀論文は“The Complexity Ratchet”という、進化において複雑な構造が保たれるための条件についてシミュレーションで考察した論文でした。

さらに全体として、特にキーワードとなっていたのが Open Ended Evolution(OEE)です。これはどのようにすれば、生物進化のように、収束せず新しいものを生み続ける進化が可能なのかを見出そうというもので、人工生命のグランドチャレンジの一つであると言えます。NEATという進化的アルゴリズムでよく知られている Uber AI の Ken Stanley の基調講演は、このテーマについてであり、これが彼にとっての最大の興味であるとともに、ALIFE の外の人にもこの問題を広げようとして

いるとのことでした。また OEE をテーマにしたワークショップには多くの人が参加していて、研究者の関心度の高さが伺えました。

基調講演者として他には、ルンバで有名な iRobot の Rodney Brooks も来ており、10年以上前に彼が出した、生命になるには何が足りないのかを問いかける論文をもとに講演していました。興味深かったのは、その足りないものとしては、なんらかの技術ではなく、むしろ Computation や Quantum mechanics のような新しい考え方の枠組みこそが重要なのだと強調していた点です。最近の AI が発展する一方、ものの考え方に関してはブラックボックス化していく傾向にあります。今回の学会のテーマは“Beyond AI”でしたが、まさに AI でのわかり方の欠如をどう乗り越えていくかということに対する期待が、今回の ALIFE の盛り上がり一つの原因となっていたのかもしれません。

もちろんそれに対する明確な答えがこの学会で出たわけではないですが、それでも多くのインスピレーションを与える場としてはかなり機能していたように思います。この学会の特徴の一つに、アートも一つの柱としてなっていることがあります。今回初めて実施された ALife Art Award には200近くの submission があり、そこから選ばれた作品の展示が行われたのに加えて、会議の前日には、阪大の石黒研と池上研で共同開発しているアンドロイド Alter による、アンドロイドが指揮をする渋谷慶一郎のオペラ“Scary Beauty”も関連イベントとして行われました。これまでは、人によって制御される対象であったロボットが、逆に、オーケストラの演奏者を指揮者として導く姿は圧巻でした。人工生命というと Conway の Game of Life のようにコンピュータの中だけのものと見られがちですが、このような生命性をおびた人工物として身近な存在となる日も近いのかもしれません。



©ALIFE Lab.

第41回 日本神経科学大会参加記

大田 絢斗

(大阪大学 蛋白質研究所 高次脳機能学研究室 (足田貴俊研究室) / 大阪大学大学院 医学系研究科 博士課程学生)



7月26日から7月29日まで神戸コンベンションセンターで開催された第41回日本神経科学大会に参加しました。会場は在来線の集中する三宮からアクセスの良いところにあり、約2000人の事前登録者に当日登録者を含めるとさらに多くの来場があったようです。最終日にかけて懸念されていた台風12号は、日本各地で猛威をふるい大きな被害をもたらしたようで、早い復興を祈念するばかりです。幸いにも会場付近では、その被害は最小限に抑えられており、大会に関してもプログラムを変更することなく開催され、大盛況のうちに閉会となりました。

本大会は日本での開催でしたが、一部のセッションを除き、ほぼすべての発表が英語で行われました。海外からの参加者も多く見受けられ、発表の中でも国際交流的に活発な議論が行われていたのが印象的でした。発表内容としては、神経回路研究が多くの割合を占めており、嗅覚や視覚と言った生物の基盤となるような機能において、神経回路に対する機能的な対応が発展していることを実感できる内容が多くありました。また、社会行動や学習に関連する神経回路機能解析も盛んに行われていました。中でも戸田重誠先生の発表にあった、目的指向性行動から習慣への移行を制御する線条体直接路における制御機構について、あるいは同シンポジウムにおけるEisuke Koya先生の発表にあった、食欲に関連する報酬記憶における基底核アンサンブルの機能についての発表は非常に興味深い内容でした。一方でアルツハイマーやパーキンソン病を始めとする神経疾患や、精神疾患も多くの発表テーマとして挙げられており、発達期や加齢期といったライフステージごとにみられる多様な疾患にアプローチされていました。中でも、内匠透先生の自閉症モデルを用いた複雑な社会行動との関連性についての発表や、二井健介先生のアルツハイマー病モデルを用いた病態と炎症性サイトカインとの関係についての発表が、私個人としては興味を持てる内容でした。

私の出身の工学分野においても、川人光男先生の「計算

理論と操作脳科学」や、杉山将先生の「機械学習研究の現状と今後の展開」というテーマで特別講演があり、学会主催の産学連携シンポジウムとして「人工知能と脳科学の共創化が創る未来」が開催され、盛んな議論が行われました。「人工知能と脳科学の対照と融合」にとって関連性の深い内容も多く開催されており、本新学術領域が非常に重要な位置付けであることを実感することができました。

印象的であったもののもう1つに、Jannifer A. Doudna先生のプレナリー講演がありました。開発者本人からCRISPR/Cas9のこれまでの研究と今後の展望について聞くことができ、さらに懇親会でお話できるなど、大変貴重な機会となりました。

本大会の大きなテーマとして、神経科学の新たな水平線「New Horizon of Neuroscience」が掲げられていました。本大会に参加して、神経回路研究、神経変性疾患や精神疾患における分子機構の解明、人工知能や機械学習といった各分野での進展は目覚ましいものがあることを実感しました。一方で、より応用的な研究を進めていくためには、各分野間でシームレスに包括化していく必要があると感じました。神経科学の新たな水平線を目指した研究を進めていくべきだと考えさせられるきっかけとなりました。

華東理工大学 Pan Xiaochuan 教授特別講義

伊藤 健彦（玉川大学 脳科学研究所 研究員）

2018年1月24日、華東理工大学のPan教授によるご講演が行われ、Pan先生が玉川大学脳科学研究所において過去に行ってきた研究のご紹介と今後の研究の方向性についてお話いただきました。ご講演の最中、フロアの皆さんからの英語による質問も頻繁になされ、活発な議論の場となっていました。ご講演では、ニホンザルを対象とした推移的推論の神経メカニズムの研究を中心にお話をいただきました。

具体的には、刺激間および刺激 - 報酬間の関係を組み合わせることで報酬を予測する課題をサルに訓練し、その課題を遂行中のサルの前頭前野外側部 (lateral prefrontal cortex: LPFC) と線条体 (striatum) から単一ニューロン活動の記録を行った研究をご紹介します。まず、LPFCの報酬予測ニューロンには、視覚刺激に対して弁別的な応答を示すものがあり、それは同じカテゴリーに属する刺激に対してはどれも同じく応答するという、カテゴリー的な応答が見られたようです。しかし、striatumの報酬予測ニューロンには、そのようなカテゴリー的な応答は見られなかったようです。

Pan先生によると、LPFCでは、視覚領域から送られてくる視覚情報をカテゴリー化し、そのカテゴリーのあるメンバーに対して得られた報酬予測情報を用いることで、同じカテゴリーに属する、直接報酬と結びついていない新奇刺激に対しても報酬の予測を行えるそうです (図)。よって、LPFCにおいてカテゴリー情報に基づいて報酬予測を行う過程が働くことが、サルの推移的推論を可能にしていると示唆されます。一方で、個々の視覚刺激と報酬の関係をコードするstriatumのニューロンは、同じカテゴリーに属する新奇刺激であっても、経験なしには報酬予測をすることができないそうです (図)。

以上の研究のご紹介の後、Pan先生は今後の研究の方向性についてのお話をしてくださいました。推論という高度な認知機能を可能にする神経メカニズムが明らかになってきたことについて、先生とフロアの皆さんの質疑応答は活気が溢れるものとなっており、参加者としてはとても有意義な時間を過ごすことができたと感じております。

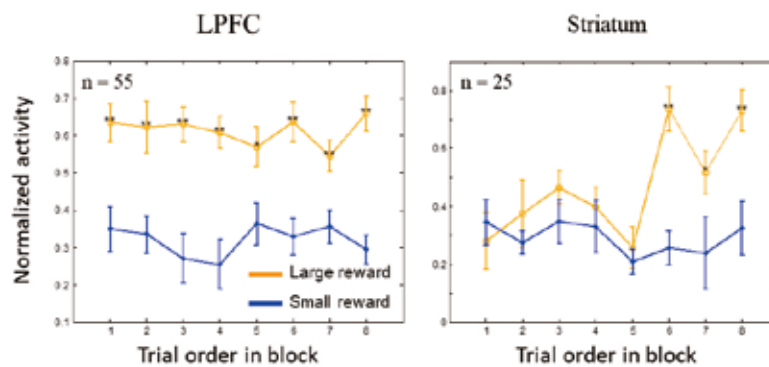


図 新奇刺激が呈示された時のニューロン応答。LPFCでは一試行目から直接結びつけられていない報酬量の違いに対して弁別的な応答が示されている。

春休み高校生理科教室 2018「脳科学と人工知能」

大森 隆司（玉川大学 学術研究所 所長）

本教室は、高校生を対象の脳科学と人工知能の関係について知ってもらうことを目的として開催されたものです。いま注目の人工知能（AI）は、もとは脳の学習にヒントを得て開発されました。しかし、高校生が触れるニュースの多くは、実際のAI利用の場面や、AIと脳科学の関係、さらにはAIの元となる脳科学との関係など、本当に面白い部分になかなか踏み込みません。そこで本教室では、AIと脳に興味のある高校生を対象に、AIの起源であり今後も発展する脳科学とAIの今後の展開について、第一線の研究者が紹介し、対話することで、高校生に脳科学と人工知能の未来について深く理解してもらうことを目的としました。

これまで同種のイベントでは脳科学に興味のある参加者が多かったのですが、今回は集まった高校生7名のうち3名は人工知能に興味があり、人工知能ブームの影響がうかがわれました。

イベントは前半にATR脳情報通信研究所の森本 淳 博士による全体講演「ヒューマノイドロボットのための人工知能」について講演していただき、後半は個別テーマについてのグループに分かれての見学・実験・ディスカッションとしました。前半の講演は、ATRで行われている人工知能によるロボットの開発の話であり、バスケットボールを投げることを極めて少ない経験で学習するロボットの動きが印象的で、背景がよく判らない高校生にも分かりやすい話題でした。

後半は、工学的な人工知能と脳生理学のテーマについてグ

ループに分かれて2時間の個別議論でした。いずれのグループも少人数で深い議論がなされた様子で、そのことは終了後の議論内容についての報告会からも伺われました。グループの指導者からも参加した高校生からも時間が足りなかったという声が多くあり、次回はもう少し長めの時間を取ることを考えたいと思います。

今年はたまたま人工知能のブームで本教室のテーマに興味を持つ高校生が多かったですが、流行りのテーマは時代とともに変わるものであり、脳科学を中心にするとしては幅が広く、今後はどのようなものにするか、難しいところでもあります。高校生は忙しく、その中で優先的に来てもらうニーズをより深く探りたいと思います。

イベントの内容については、玉川大学学術研究所 HP、http://www.tamagawa.jp/research/academic/news/detail_13913.htmlをご覧ください。



新学術領域「適応回路シフト」「人工知能と脳科学」合同領域会議参加記

林 楓（立命館大学大学院 情報理工学研究科 博士課程後期課程 1 年）

5月9日から11日の3日間、沖縄科学技術大学院大学（OIST）にて、研究戦略合同ワークショップ“Strategy for Neuroscience”および「人工知能と脳科学」「適応回路シフト」合同領域会議が開催されました。ひとつの領域会議でも分野横断的なのですが、それが適応回路シフトとの合同領域会議になり、さらにハイレベルな会議に感じました。適応回路シフトとは「行動適応を担う脳神経回路の機能シフト機構」の略称であり、神経回路の損傷に対する機能代償と再編成や行動の調節に重要な神経回路の発達や遷移のメカニズムにアプローチする新学術領域です。これは汎用人工知能など大規模な認知アーキテクチャなどの文脈とも関わりが深いと感じ

ました。

まず、9日の研究戦略合同ワークショップでは、私の指導教員である谷口忠大先生が「コミュニケーション場のメカニズムデザイン ～ビブリオバトルから創造的議論の場作りまで～」というタイトルで講演されました。これは新学術領域研究「人工知能と脳科学」に関する話題ではなく、JST 未来社会創造事業の研究課題に関する話題であり異色だったと思います。しかし、この研究課題は人間の社会行動の自律性を鑑みたコミュニケーション場のメカニズムデザインに関する研究であり、異なる背景を持つ人間同士で効率的に知識が創発され、循環されるための議論のシステムを構築するというものです。こ

の話題は今回のような分野横断的な研究コミュニティでの議論のあり方について考えるきっかけとなり、非常に重要であると感じました。また、このワークショップでは、2領域から神経回路のミクロからマクロまで、様々な観点からの研究が発表され、議論で盛り上がりました。

10日と11日の本会議では、本領域と「適応回路シフト」の研究領域から全26件の口頭発表とポスター発表があり、非常に密度の高い2日間でした。私は博士課程の学生なのですが、同年代の方々と「発表内容はどれも興味深いけれど、専門的な上に分野が入り混じっていて発表を聞くので精一杯です」と話したりして、勉強不足を実感していました。

本領域の目的である「人工知能と脳科学の融合」を推進するためには、各分野の基礎や問題へのアプローチ、得手不得手の違いを互いに理解することが大切であると思います。この点に関して、私は機械学習分野の専攻しており、医学・生理学分野の発表内容を追いきることが難しかったのですが、私なりに分野間の差を実感することができ、大変有意義な経験でした。特に「適応回路シフト」や本領域の脳研究の発表を聴講して、率直に思ったことは現在人工知能で扱われているネットワークとは学習則や過程が随分異なり、複雑であるということでした。また、その複雑なメカニズムに人工知能研究が抱える問題解決の糸口があったとき、そのメカニズムの重要性を異なる分野の研究者が共有し、円滑にアプローチする態勢を作ることが重要であると思いました。そのためには新学術

領域のような異なる背景を持つ研究者コミュニティで効率的に情報交換ができるシステムが望まれます。

今回の研究戦略合同ワークショップ および「人工知能と脳科学」「適応回路シフト」合同領域会議では、紙面の都合上、各研究内容の紹介は省略しましたが、分野横断的に多くの研究が発表されました。また、OISTは日本に在ることを忘れてしまうような国際的で素晴らしい大学であり、この場所で、このような刺激的で有意義な会議の開催を支えてくださった方々に参加者として感謝を述べたいと思います。



SBDM 2018 参加記

Eighth International Symposium on Biology of Decision Making

鈴木 真介（東北大学 学際科学フロンティア研究所 助教）

2018年5月21日から23日までの三日間、フランス・パリで開催されたEighth International Symposium on Biology of Decision Making (SBDM18)に参加してきました。シンポジウムは27件の招待講演と約100件のポスター発表から成り、ヒトやその他の動物の「意思決定メカニズム」をキーワードに神経科学、心理学、情報科学など様々な分野の研究者が一堂に介し活発な議論が行われました。

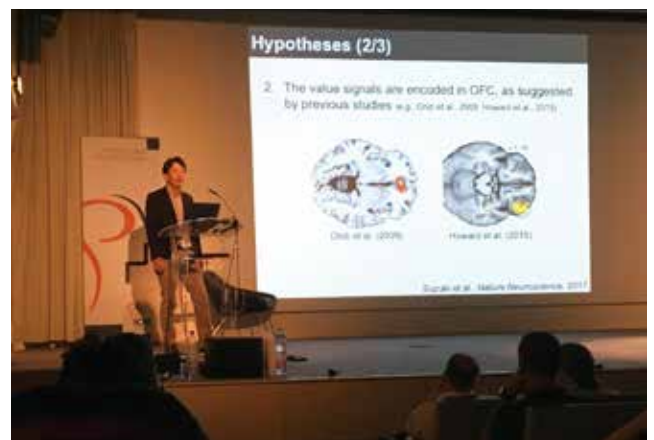
初日の午前中のセッションでは、サルやマウスなどの意思決定とその神経基盤についての研究が発表されました。ヒトには適用が難しい電気生理学、薬理学、光遺伝学など多様な手法を組み合わせ、意思決定を支える神経メカニズムを詳細に明らかにしようとする研究に感銘を受けました。午後のセッションは「食べ物やその他のモノの好み（価値）が脳内でどのように処理されているのか？」がテーマでした。このセッションでは、筆者も招待講演者の一人として「食べ物の好み（価値）は脳内でどのように計算されているのか？」について調べた研究を発表しました。この研究では、機能的脳イメージング（fMRI）で得られたデータにパターン認識手法を適用することで（脳情報デコーディング）、「食べ物の好み（価値）の計算は、栄養価の情報が眼窩前頭皮質で統合されることで行われている」ことを示しました。聴衆からは「食べ物の好みは、栄養価だけではなく、風味や新鮮さなどもっと高次の要因で決まるのでは？」などの質問があり、質疑応答も大いに盛り上がりました。

二日目の午前は「五人の命を助けるために一人の命を犠牲にするべきか?」、「ヒトは他者の痛みをどのように評価するのか?」など道徳に関係する意思決定についての研究が発表されました。非常に魅力的かつ難しいテーマに、機能的脳イメージング、視線追跡、計算論モデルなど様々な手法を組み合わせ挑んでいる研究が紹介されていました。二日目午後のセッションのテーマは「環境構造の学習」でした。「ヒトが未知の環境の構造をどのように学習しているのか?」や「人工的に作られたニューラルネットワークはどのようにして未知の環境構造を学習できるのか?」などのトピックについて活発な議論が繰り広げられていました。

最終日である三日目は意思決定の発達の側面に焦点を当てたセッションから始まりました。思春期と大人の意思決定様式を比較した研究などが紹介され、「発達（加齢）に伴いヒトの行動がどのように変化していくのか?」について聴衆も巻き込ん

で議論がなされました。その後のセッションでは、「不確実性をヒトがどのように扱っているのか?」、「好奇心のような概念を学習・意思決定の計算論モデルやロボットにどのように取り入れられるか?」などについての議論が行われ、三日間に渡って行われたシンポジウムの幕が閉じました。

三日間に渡り「意思決定」についての研究発表を聞き、この分野の学際性が印象に残りました。招待講演者だけでも神経科学、心理学、経済学、計算論、ロボティクスなど様々な分野の研究者がおり、意思決定メカニズムの理解にはこれらの分野の知見を結集することが不可欠であると強く認識しました。また、今回のシンポジウムはフランス・パリでの開催でしたが、イギリスを中心に国外からの参加者が約半数を占めていたのも印象的でした。イギリス、ドイツ、スイスなどから鉄道で気軽に来られるパリの国際都市としての地の利を感じました。今後、日本においてもこのような学際的かつ国際的なシンポジウムが増えていくと良いなと思いました。



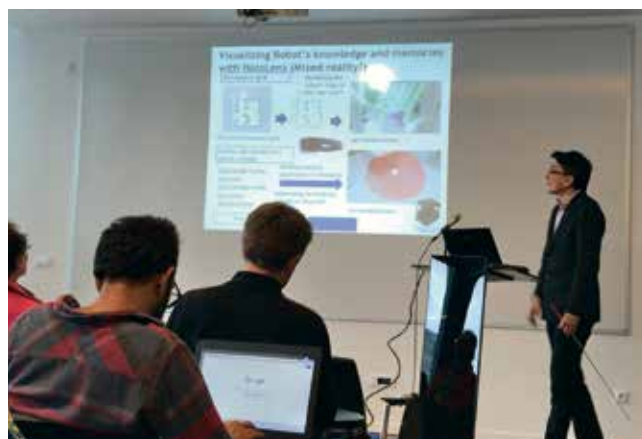
SBDM2018 サテライトワークショップ参加記

Workshop on "Learning and decision-making at the interface between Neuroscience, Artificial Intelligence and Robotics"

谷口 忠大（立命館大学 情報理工学部 教授）

パリの地下鉄を乗り継いでソルボンヌ大学のキャンパスに辿り着く。ヨーロッパの涼やかな初夏、よく晴れた日でした。キャンパスに入って高い塔を目印にピロティーを抜けて階段を上る。少し迷いが、声を掛けてくれた先生が教えてくれてワークショップの部屋を見つけた。一番乗り。しばらく待っていると、フランス側の参加者がチラホラと現れ、銅谷先生の姿も。

ワークショップは Mehdi Khamassi 先生による会の趣旨説明から始まりました。本人が当該新学術領域の代表である銅谷賢治先生の研究室に滞在していたこともあり、強化学習と脳科学、そしてロボティクスを繋げる研究の重要性、そして、フランスと日本の研究交流の重要性について導入として話されました。人柄も表れた暖かなトークでワークショップがスタート。次に銅谷先生が「Building Autonomous Robots to Understand What Brains Do」というタイトルで日本側を代表して導入。その内容は新学術領域の紹介を含めつつ、自身の見つめる強化学習を媒介とした脳とロボティクス・AI・数理モデルを語るものでした。



講演は筆者を含めて日本側から3件、フランス側から5件の計8件でした。それぞれの発表が45分という長さで、非常に高密度な議論の機会となりました。Natalia Díaz-Rodríguez 先生 (ENSTA Paris Tech) は最近注目される深層学習による様々な形での表現学習をまとめたサーベイに関して紹介されました。谷淳先生 (OIST) はこれまでのロボットを用いた認知モデル研究を基礎としながら Predictive Coding（予測符号化）原理の重要性についてあらためて主張。大変示唆的で、議論も盛り上がりました。認知から言語をつなぐ上位の知能に関しては筆者自身が「Unsupervised Language

Acquisition by Robots with Hierarchical Bayesian Models」という題目で記号創発ロボティクスの研究に関して概説し、Peter Dominey 先生 (INSERM) が「Narrative Intelligence : The structuring role of language」という題目でより他者とのコミュニケーションにおける長期、そしてエピソード記憶に基づく理解の重要性について解説されました。SBDMの本会議に比べると、ロボティクスや機械学習の比重が多いながらも、日本・フランスの当該分野に於ける取り組みが共有され、盛り上がったワークショップだったと思います。



ワークショップが終わった後、大学のそばのレストランで懇親会。主催者を中心に「次は是非、日本でやりたいね」と。参加者の少なくないメンバーは、東京で9月末に開催するICDL-Epirob 2018にも参加予定。ワークショップを一つの飛び石にしながら学術交流は続きます。



Korean AI Flagship Project Joint Workshop 参加記

森本 淳 ((株)国際電気通信基礎技術研究所 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)



韓国 AI flagship project が主催する AI project workshop and Brain and AI symposium に、当領域から 5 名が招待講演者として参加しました。韓国側は若手を中心に多数のメンバーが参加していました。参加総人数は 121 名で、そのうち韓国側のプロジェクトメンバーが 25 名、学生が 81 名、我々を含む招待講演者が 15 名でした。また学生を中心に 43 のポスター講演が行われました。人工知能から神経科

学まで興味深く幅広い研究発表が行われました。学術界からは KAIST や韓国電子通信研究院 (ETRI) などからの、産業界からは Samsung や Naver などの韓国における AI 産業を先導する企業からの講演が行われました。韓国の人工知能研究の中心メンバーとの交流を深めるとともに、当領域の研究成果をアピールする良い機会となりました。

**FAIM Workshop on Architectures and Evaluation for
Generality, Autonomy and Progress in AI (AEGAP) 参加記**
2018.7.15, Stockholm Convention Center
(<http://cadia.ru.is/workshops/aegap2018/>)

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)

ICMLとIJCAIが合流した人工知能の夏の祭典 Federated AI Meeting (FAIM)、その間の2日は提案された様々なテーマでのワークショップに充てられています。慶応大の栗原聡さんを中心に提案した“General AI Architecture of Emergence and Autonomy”は、Reykjavik大のKristinn Thorissonらの“Architectures for Generality & Autonomy”、Valencia工科大のJose Hernández-Oralloらの“Evaluating Generality and Progress in Artificial Intelligence”と合同で行いなさいというプログラム委の裁定により、“Architectures and Evaluation for Generality, Autonomy and Progress in AI (AEGAP)”という、ちょっと苦しそうなる名前で開催することとなりました。

最初の招待講演は Allen Institute for Artificial Intelligence の CEO に就任した Oren Etzioni. Allen Institute for Brain Science は脳マップなどでおなじみだけど、AI の方はどうなんだろうと興味津々で臨んだところ、テーマは "Learning Common Sense". AI への common sense の導入では Doug Lenat による Cyc プロジェクト (<http://www.cyc.com>) が有名ですが、common sense を人が考えて定義するのではなく、テキストマイニングやクラウドソーシングを活用して構成しようというのがポイント。そのため Open Information Extraction (OpenIE) というツールを開発、公開しています。しかし common sense とはその人の生まれた落ちた環境や文化圏しだいなので、子供が common sense を獲得する認知発達のしくみが大事なんじゃないの、という質問をしてみたところ、そういうやり方もあるかもしれないけど僕たちはこれで行くんだ、というお答えでした。

もう一つの招待講演は当領域の谷口忠大さん。

Intelligenceを機能としてではなく、環境や他者とのインタラクションのなかから生まれて来るものとして捉えようという立場を提言し、連続音声からの教師なし学習での単語と言語モデルの獲得、確率的プログラミングにdeep learningを取り込んだEdward (<http://edwardlib.org>) に、さらに複数の確率モデルを結合するフレームワークSERKET (<https://doi.org/10.3389/fnbot.2018.00025>) を紹介してくれました。SERKETは今後さまざまなAIモジュールをつないで汎用性を実現していく上で重要なツールになり得る予感がありました。

バレンシアグループの発表は、AIの自律性と汎用性のインパクトを考える上で、その計算方式と社会経済的な応用分野の両面からタスクというものを捉えるべきという提案。レイキャビックグループの発表は、汎用人工知能のテストベッドとして、様々な知識や拘束条件が必要な航空管制タスクを使おうという提案で、しかしこれは究極の専用人工知能ではないかという疑問が。その他、今は19x0年代かという伝統的な香りのする提案も。



私も参加したパネルディスカッションは、「汎用性と自律性に意識と自我(self)は必要か」という設問。これは結局意識とか自我とかをどう定義するかしだいなのですが、私としては、自分を含む物理世界や社会関係の脳内モデルを獲得しシミュレーションを行う能力と、さらに抽象化されたモデルの変数を具体的な事物にすみやかにマッピングできることが重要で、そこには意識と呼ばれているようなものも関係するかも、という話をしていました。

シンポジウム全体を振り返ってみて、3グループの混成による視点の違いが明らかになり、Artificial General Intelligenceと言っている人たちのなかには、ディープラーニングを中心とした今日的なAIに乗り切れず、いつまでも無い物ねだりしている昔ながらのAI屋さんもかなりいるんだなということを感じさせられました。出来上がった汎用性を競ったり評価したりというよりも、物理世界や他の個体とのインタラクションの中で汎用性を獲得していく知能の発達プロセス、Developmental Intelligenceと呼ぶべきようなものを解明して実装してみることが、自分のやりたいことなのだなということに気づけたという点で有意義なシンポジウムでした。

イベント情報

平成30~31年度 主催イベント

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（OIST）

Brain & Deep RL Ideathon

日程：2018.8.28-29

場所：東京都、φカフェ

第5回領域会議

日程：2018.11.12-13

場所：京都府、(株)国際電気通信基礎技術研究所 (ATR)

平成30~31年度 共催、協賛、後援、関連イベント

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/>

SBDM 2018 Satellite workshop: Learning and decision-making at the interface between Neuroscience, Artificial Intelligence and Robotics.

日程：2018.5.24

場所：France、Paris

<http://sbdm2018.isir.upmc.fr/index.php?perma=1520611011>

人工生命国際会議 Alife Conference 2018

Rodney Brooks 博士 (MIT) 招聘

日程：2018.7.23-27

場所：東京都、日本科学未来館

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

第41回日本神経科学大会 シンポジウム 1S08m 「スパコンは神経科学をいかに加速するか：エクサフロッ プ時代に向けて」

日程：2018.7.26

場所：兵庫県、神戸コンベンションセンター

<http://www.neuroscience2018.jnss.org/items/symposia.pdf>

第40回日本生物学的精神医学会

新学術領域研究「人工知能と脳科学」の紹介・平成31 ~32年度公募紹介

日程：2018.9.6

場所：兵庫県、神戸国際会議場

<http://www.c-linkage.co.jp/jsbpjsn2018/data/timetable.pdf>

第26回脳の世紀シンポジウム「AIと脳」

銅谷賢治：人工知能は脳から何を学べるか

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

UCL-ICN、NTT、UCL-Gatsby「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

<https://sites.google.com/view/satellite-meeting-jnns/>

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)

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/>

次世代脳プロジェクト2018年度冬のシンポジウム

午前：新学術4領域合同シンポジウム「脳と社会の共創を
科学する：どう仮説し、どうアプローチするか」

午後：新学術領域「適応回路シフト」「身体性システム」「オ
シロロジー」「人工知能と脳科学」「脳情報動態」合同シン
ポジウム

日程：2018.12.12

場所：東京都、学術総合センター内一橋講堂

<http://www.nips.ac.jp/brain-commu/2018/outline2018.html>

脳と心のメカニズム第19回冬のワークショップ

日程：2019.1.9-11

場所：北海道、ルスツリゾートホテル



AI
AND
BRAIN

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10月発行

www.brain-ai.jp