

脳科学と人工知能の交流のあり方

大森 隆司

玉川大学 教授 / 日本神経回路学会会長 / 総括班評価者

人工知能の主要技術として語られることが多いが、ニューラルネットの一学習方式であるDeep Learningに端を発した世界的な人工知能の開発のブームは、ニューラルネットが脳科学の進展の成果であるという位置づけで、神経科学の研究者も巻き込んで新たな研究の流れとなりつつある。本新学術領域はその一つである。脳科学の研究成果が人工知能の性能をより向上させるはずという期待がある。しかし、脳研究が人工知能にどのように関わられるかという点については、議論が必要である。それには、過去のブームの経緯を見る必要があろう。

まず第一次のブームは1960年代で、神経細胞のメカニズムの解明がパーセプトロンという数理的なモデルにつながり、機械学習が始まった。この時の脳科学の寄与は、単体や集団の神経細胞モデルと、脳は学習できるという目標設定であった。

第二次ニューラルネットブームは1980年代で、機械学習アルゴリズムとしてバックプロパゲーション(BP)が提案されたことがきっかけであった。BPは多くの小規模な問題を解くことに成功し、その解析は多くの機械学習方式の元となった。

このときの脳科学の寄与はBPそのものではない。むしろ、多くの細胞モデルを組み合わせてより複雑な機能を生み出す先に、脳のような知能が実現できるはずという信念を多くの研究者に与える間接的な寄与であったように感じる。

そして現在は第三次ニューラルネットブームとも言われる。Deep LearningによるCNNの高い認識能力は多くのパターン認識問題で人間並みかそれ以上の成績を発揮している。

この第三次ブームでの脳科学の貢献は何だろう? Deep Learningの開発には脳科学は直接的には関与して

ない。脳科学の寄与は、Deep Learningの深い階層の理由として、脳の複雑な領野構造がヒントになった、ということであろうか。

こう見ると、脳科学と人工知能の関係が見えてくる。確かに、今の人工知能ブームの鍵となっている機械学習は脳のモデル化研究から生まれた、その意味で脳研究は人工知能の起源である。しかしその個々のアルゴリズムは脳とは異なる方法で人間並みかそれ以上の機能を作り出している。そしてその個々の開発過程への脳科学の寄与はない。今後も、脳の科学的な解明が直接に人工知能の個別研究に寄与することは少ないだろう。

それでも、脳は知能の存在証明であり、目標である。加えて、人工知能の研究者は知能研究の方向性を考えるとき、必ず脳の知能のことを考え、脳についての知見をヒントに目標を定めている。すなわち、脳科学の寄与は、課題設定や目標設定のような間接的な部分である。

では我々のプロジェクトで脳科学は、人工知能にどう寄与するべきだろうか? Deep Learningの新たな応用開発への寄与はできない。逆に、脳にヒントを得てより高次の人工知能を開発したいと考える研究者は、脳の要素的な知見ではなく、マクロなシステム構造、例えば言語や問題解決などの高次認知に関わる脳のシステムについての知見を求めらるであろう。しかし、この要請に答えることは容易ではない。それには、ミクロからマクロまでの幅広い脳・認知・心理の知見を統合する必要がある。その統合の過程には多くの努力が必要である。それを脳科学側がするのか、あるいは人工知能側がするのか。ここに研究交流のギャップ、あるいは接点があるように思う。





松本 正幸

筑波大学 教授



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



松本 よろしくお願ひします。

森本 よろしくお願ひします。

松本 筑波大学の松本です。

森本 ATRの森本です。

松本 まずは森本さんが研究の世界に入られたきっかけとか、動機というのがあれば教えてもらっていいですか？

森本 米国のロボットコンペティションをテレビで見て、ロボット面白いなと思ったんです。その後、ロボットが学習するという研究があるというのを聞いて、そこから研究としても興味を持ち始めました。

松本 最初はロボットで、それから学習がどういう風になっていくのかと。

森本 はい。

松本 実際にそういう分野だったら大学や研究所ではなく、普通の一般企業に入ってロボットの開発とかするというような道もあったと思うんです。いわゆるアカデミックなポジションに進まれたというのはどういう経緯があるんでしょうか？

森本 企業に入るとどうしても開発がメインになると聞いていましたから、ロボット学習に関する研究を進めたいと思っていました。

松本 自由な環境で好きなように研究をしたかった。

森本 はい。

松本 私自身、脳科学をやっているんですけど、最初の興味はロボットでした。

森本 そうなんですな。

松本 知能ロボットにすごく興味があったんです。多分森本さんと僕って同年代だと思うんですけど、僕が大学でロボットとか知能を学んでる時って、人工知能が今ほどそんなにすごいという感じではなかったです。僕自身はこれ続けても本当に知能ロボットができるのかなっていう印象を持っていて、それなら脳の方に移ってみようかなと思ったんです。今はすごく人工知能が発展していますが、森本さんが学生の頃っていうのは人工知能にどういう夢を抱いていたんですか？

森本 確かに今世間の人たちが持っているほどの大きな期待があったかというところではなかったと思いますな。

そうは言っても、ロボットを動かすとなるとすべてをプログラムするのは大変なので、ヒトのように状況に合わせて自分で判断し動くような機能というのは役に立つのだからと考えていました。

松本 はい。

森本 その機能を経験から得られるデータを用いて学習するシステムを導出することは重要なだと思っています。

松本 この新学術領域、AIの人もいっぱいいるし脳の人もいっぱいいるんですけど、これまでは脳科学とAIあるいはロボットと、完全に別にやっていたような印象が僕にあったんですけど、AIの研究者あるいはロボットの研究者の立場から脳科学に期待するものってどういうものがありますか？

森本 まず存在証明としてはやっぱりすごいものがあると思います。私自身は運動制御、運動学習に興味を持って研究を行っていますが、今のロボットの能力に比べてヒトの運動学習能力というのは圧倒的に高いわけですね。それをどういう風に、脳では実現しているかについての興味と期待はあります。その一方で、そこを理解するためのアプローチがあるべきかについては具体的なイメージがつかないのですが、そのあたりを松本さんはどのように考えられますか？



© 2016 ATR

Sugimoto et al., IEEE Robotics & Automation Magazine, 2016 より転載

松本 僕は、脳科学の人って多分すごくAIのことを興味を持って見ていると思うんですよ。自分が発見した脳の働きのことを突き詰めていけば知能みたいなものができるみんな思ってる。それをハードウェアに落とし込む時にやっぱり自分たちだけではどうしてもできないので、AIの研究者とかロボットの研究者の力を借りれば自分たちの発見が本当に知能に結びついているんだっていう証明ができるんじゃないかってみんな期待していると思うんですね。

森本 なるほど。

松本 多分、脳科学者がAIの研究者に期待していることと、AIの研究者が脳科学に期待していることって全然違うんじゃないかなと僕は思っています。それをどうやってひとつにまとめていくかっていうのもこの新学術領域の面白いところかなっていう風には思っているんです。多分これから一緒に勉強していかないとまだ全然進まないんじゃないかなって思っています。ぜひよろしくお願ひします（笑）。

森本 お願ひします（笑）。

松本 話が変わるんですけど、僕自身も昔はAIの研究者に憧れていた時期があるんですけど、AIあるいはロボットの研究者になろうと思ったらどういうキャリアパスを巡っていけばいいの。多分この対談は若い学生の人も見るかもしれないので、そういう人たちへのアドバイスがあれば、森本さん自身のキャリアパスを教えてもらってもよろしいですか。

森本 私はもともと機械工学出身なので、ハードウェアの方がメインの学部スタートではあったんですけど、その後大学院では情報系に進んで情報処理あるいはソフトウェアを学ぶというような流れでした。

松本 はい。

森本 ロボットは統合システムですから、どこに興味を持つかによって入り口はいくつかあるのだと思います。それこそ人工知能とかソフトの方からスタートする人もいますし、信号処理とか画像処理のところから興味を持ってロボットに来る人もいます。やっぱり一番興味があるところから入って他と繋がっていくというのがいいのではないのでしょうか。

松本 僕も機械工学科出身でロボットアームとかやっている研究室にいたんですけど、その後もうちちょっと知能寄りのことがしたくていろいろ研究室を探したら、その中で脳のニューラルネットワークモデルを研究している理論系の研究室を見つけてそこに入ったんです。そういう脳の理論研の研究室っていうのは人工知能やっている人たちから見ると人工知能研究と言っているんですか？

森本 えっと（笑）。本人がいいと言えばいいということになるんじゃないかと。

松本 僕はそれがすごく人工知能に近いようなものを感じて入ったんですけど、結局はそれをやめて本当の脳に行くことになったっていう経緯があります。

森本 それは大体いつぐらいにニューロサイエンスの方に移られたんですか？

松本 脳の理論の研究室に行ったっていうのが大学院の修士で、一年ぐらいそこで勉強してやっぱり本当の脳がしたいなってことで博士課程の大学院を探し始めて博士課程からそういう研究室に入りました。

森本 なるほど。それまでロボットとか脳のモデルをやってきた知見っていうのは逆にニューロサイエンスの研究ではどういう役に立ってきた印象が、あるいは経験がありますか？

松本 正直言うと役に立ってないような気がします（笑）。大学時代は本当にロボットの製図を引いたり、純粋なプログラミングを勉強したり、C

言語とかFORTRANのようなコンピュータ言語を学んできたんです。脳の理論の研究室にいたときは、実験系の論文も読むんですけど、その時に身につけた知識と技術が今の研究にどれぐらい活かされているのかっていうのはちょっと疑問があるなって思います。

森本 そういう意味ではやっぱり何か根本的な距離感があるということなんですかね。



松本 僕自身がそういう2つの領域のインタラクションというのを。

森本 体験済み。

松本 体験済みってどうか（笑）、無視して研究してきたので。それなので距離があるように感じているのかもしれないです。

森本 今ここにきて何か応用できそうな部分とかはありますか？

松本 僕は今ドーパミンの研究をしていて、これから森本さんとも一緒にそのデータを元にロボット制御に活かせないかという議論をさせてもらっているんですけど、ドーパミンというやっぱり強化学習に関係があるってことなのでようやくそこでAIプロフェッショナルと組めば少しはそちに近づけるんじゃないかなという風には期待しています。

森本 なるほど。

松本 森本さんは、同じグループの中で僕と正田さんはドーパミンの研究をしているんですけど、その2人に期待することって何かありますか？

森本 実際の脳の計算メカニズムを解析されておられるので、それが実は我々がまったく気づいてなかったような制御モデルあるいは学習方法に繋がるっていうのを期待しています。

松本 実際、動物が何かタスクをやっているところを見られたことありますか？

森本 お猿さんが餌を取るとかそれぐらいしかないです。

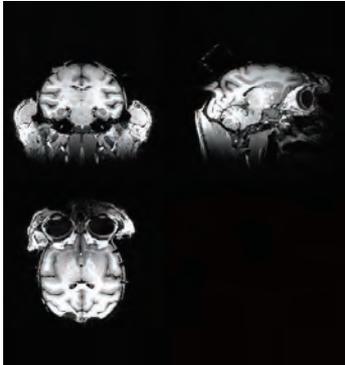
松本 森本さんがトークの時によくロボットが学習しているビデオを見せてもらうんですけど、そうするとロボットはすごく時間がかかるんですけどステップバイステップで着実にゴールに近づいていくっていう風に見えるんです。実際僕達がサルにタスクをやらせていると、ある日はできるんだけど次の日はできたことがまったくできなくなったりっていうそういう繰り返して、いわゆるAIの方達が作られているモデルみたいに全然きれいなじゃなくて本当に効率が悪くて、こんなの再現しても（笑）AIに役立つないっていう風に常々思ってます。

森本 それはでも必要だからそうなっているんですかね？

松本 ひとつはやっぱり、タスクを学習するということに特化しているんじゃないっていろんなものを探索することが、実際の生物には必要なんで。探索という意味でシステムに余裕を持たせるというか、いろいろトライアンドエラーみたいに、ある程度学習してもそれを一旦忘れて何かするって

というようなことはあるのかもしれないなと思っています。

森本 そういう意味では脳科学とAIが繋がる部分考えた時に、ひとつのタスクとか狭い範囲での整合性を見るのではなく、もっと一般的な知能レベルでの整合性を見たほうがお互いに有益な情報が得られるのかもしれないですね。



サル脳のMR画像

松本 よく銅谷先生もこの領域で言われていますけど、汎化型のAIっていうのにそういう意味では繋がっていくかもしれない。

森本 そうですね。

松本 もうひとつAIの先生にお聞きしたかったのは前回の銅谷先生との対談でもちょっとお話したんですけど、先ほどのいわゆる汎化型のAI、人間みたいなことができるAIができたとして哲学的な質問になってしまうんですけどそのAIは意識を持てるのか、心を持てるのか。

森本 そこはどうなのでしょうね。私自身は敢えてそこは距離を置くようにはしています。外から見て心があるように見えれば心を持っていることとするというような考え方もあるようですけど。一方で工学的な観点からいくと意識の機能的な意味には興味があります。意識の解釈はいろいろあるとは思いますが、意識の機能があるからこそこれができるということであればそこに重点を置いた研究の方向性というのものもあるのかもしれないですね。

松本 ありがとうございます。あと、今森本さんが行っている研究について簡単に説明してもらってもいいですか。

森本 はい。ヒトができていて運動制御がロボットでどのように実現できるのかに興味を持っていて、機械学習や制御理論のツールを基礎としてロボットの運動学習システムの構築をおこなっています。

松本 そういう非常に運動能力が高いロボット、森本さんがプレゼンテーションで見せてくれるアスリートのような動きができればすごいですよね。現在は全然そこまで達してないと思うんですけど、そういうロボットができたとなると将来それは社会をどう風に変革していくって風になりますか?すごい技術なのでかなり大きなインパクトはあると思うんです。

森本 そうですね、それを見てどう使いたいと思うかは人によって、変わってくると思いますが、ヒトのような運動制御が実現できればロボットは極めて有用な労働力となり得ます。なので、今後日本社会の場合だと働く人の数が減ってきますからそこへのサポートというか、社会的な貢献ができると思っています。

松本 なるほど。すこし話がそれるのかもしれないんですが、ひとつ今、脳科学の視点でよく言われているのが脳科学はおそらく教育にはすごく密接に関係している。どうやって子どもを教育するのか、脳をどうやって

鍛えていくのか。脳だけじゃなく、多分AIもそういうのにすごく関係しているんじゃないかなっていう風に思うんですね。どうやって何を学習していけばいいのか、その学習を効率化していくためにどういう風にアルゴリズムを組んでいけばいいのかとか、もしかしたら教育分野にも応用可能なかなっていう風に思うんです。脳科学ではそういう風な研究あるいは分野に視点を向けている人が少しずつ出てきていると思うんですけど、AIの研究者はあまりそういうことは考えない?

森本 ご指摘のように学習過程の効率化はAI研究の中心課題ですが、それを教育分野に応用するという研究に関してはどうなのでしょうね、多分おられるとは思いますが。重要なことだとは思いますが。学習されるもの、そのものよりもどういう学習過程であるべきかということですよ。

松本 この新学術にもおられる谷口さんのどうやって言語を獲得したのかっていう、ああいうのはもしかしたら教育も関係してくるかもしれないですね。

森本 確かにそうですね。

松本 もうそろそろ時間もきているんですけど、最後に森本さんの夢みたいなものがあればお聞かせいただけますか。

森本 繰り返しにはなるのですが本当に役に立つロボットを実現する上でボトルネックは、運動制御能力の低さによるところが大きいと思っています。その性能を少し上げるだけでも大きなインパクトがあると考えています。ヒトの脳の学習メカニズムを参考にしながらこれまで到底期待できなかったようなパフォーマンスを実現したいですね。

松本 どうもありがとうございました。

これからもよろしくお願いします。

森本 よろしくお祈りします。

AO1: 知覚と予測

人工知能と神経基盤の相互参照アプローチによる視覚一価値変換機構の解明

研究代表者：近添 淳一（生理学研究所 脳機能計測・支援センター 生体機能情報解析室 准教授）

生物の行動は主観的価値によって規定されています。外界の情報は感覚器を介して捉えられ、脳内で抽象的価値情報に変換された後、価値に基づく意思決定を経て適切な行動が選択されます。ヒトを対象とした機能的MRI研究によって、前頭眼窩野や帯状回、線条体が価値処理に関わることが明らかにされていますが、感覚情報からどのような過程を経て価値の情報が生じるかは明らかにされていません。視覚情報からカテゴリ情報への変換が階層的に行われることから、視覚情報から価値情報への変換も同様の階層的処理を受けている可能性があります。そこで本研究計画においては、深層学習を用いて価値情報処理を行う人工神経回路を作成し、これを人間の価値情報処理のモデルとして用いることを計画しています。さらに、価値処理領域として既に同定されている領域間で価値の情報表現構造を比較するだけでなく、未知の価値処理領域をモデルの情報構造との対応から明らかにします。この過程で人工神経回路に人間の情報処理を模倣するよう学習させることにより、深層学習と機能的MRIを融合させた次世代の人工知能の開発を目指します。



モデルから推定された情報処理を行う脳領域の同定



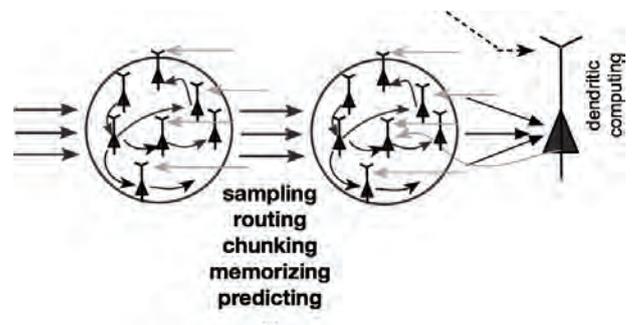
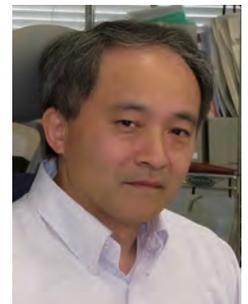
脳内情報処理を反映したモデルの再設計

AO1: 知覚と予測

大脳皮質局所回路に学ぶ新しいアーキテクチャと学習モデルの構築

研究代表者：深井 朋樹（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）

脳には人工知能の視点から未だ検討されていない、さまざまな生物学的特徴が存在しています。例えばスパイクを用いる情報伝達と学習、あるいは神経細胞の樹状突起がネットワークレベルで果たす機能的役割などがそれに当たります。本研究ではこのような脳の神経回路の特徴がもたらす計算論的な利点を明らかにして、それを人工知能の新しいアーキテクチャや学習則の開発に応用することを目指します。人工知能の能力は近年著しく向上しましたが、計算の柔軟さやスマートさという点においては、まだ脳には及ばない点があるためです。この目的を達成するために、具体的にはスパイク時間依存のシナプス可塑性（STDP）や構造的シナプス可塑性による興奮性及び抑制性シナプスの学習理論、錐体細胞の樹状突起を考慮した学習理論とそれに基づく新しい予測符号化や記憶のメカニズムの提案、スパイク計算に基づく深層回路モデルや多層回路の新しい学習理論の開発、領野間情報伝達の神経回路メカニズムの動的モデル化、リカレント神経回路によるリザーバ計算の枠組みと機能の拡張などを目指します。それにより脳に学ぶ人工知能技術の開発に貢献しつつ、階層ベイズ計算の大脳皮質局所回路の計算メカニズムや、大脳皮質-大脳基底核ループが外界の情報をコンパクトに表現して処理するメカニズムの解明などにつなげます。

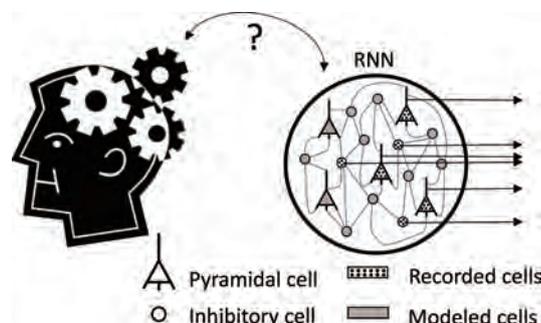


Using Recurrent Neural Networks to Study Neural Computations in Cortical Networks

研究代表者：Andrea Benucci (RIKEN Brain Science Institute, Laboratory for Neural Circuits and Behavior Team Leader)



The Neuroscience field has recently rekindled its interest for the use of artificial neural networks to model neural responses. Boosting this trend have been important advances in hardware technology, the refinement of machine-learning algorithms, and the availability of large dataset. At the same time, there have been technological innovations for simultaneous recordings from many neurons, leading as well to the creation of large neural databases. Powerful computational tools are now needed to model such neural big-data and to formulate a unifying theoretical framework capable to reveal the underlying computations. To this end, recurrent neural networks (RNN) are becoming increasingly popular. Their structural and dynamical properties are directly inspired by the recurrent architecture of cortical circuits, thus potentially providing an ideal platform to model large-scale recordings. However, besides impressive data-fitting, it remains unclear what classes of dynamical problems RNN are best suited for that cannot be addressed using simpler theoretical frameworks, making it doubtful whether RNN can boost our knowledge on fundamental principles of neural computations. In our research we will examine how RNN can be used to answer key questions on sensory processing and decision-making that traditional doctrines have not been able to elucidate. To this end we are focusing on the study of response variability, across time and neurons, and on the large spontaneous variability observed in “unstimulated” cortical networks. These forms of variability have been traditionally considered a source noise to get-rid of via spatial and/or temporal averaging. Instead, we hypothesize they reflect the evolution of the network along dynamical dimensions involved in fundamental aspects of the computations. To validate our hypothesis, we are combining powerful experimental technologies (two-photon imaging, optogenetics) with modeling methods based on RNNs. A distinguishing element of our work is the use of tools to perturb the neural dynamics at the single-cell spatial resolution. This technology allows us to perform causal experimental validations of model predictions, representing a major step forward for the elucidation of neural principles, compared to standard correlative methods. Overall, our research aims to demonstrate that RNNs are mature and interpretable computational tools for much needed unification theories of neural computation.



積層独立成分分析の深化と脳科学応用

研究代表者：平山 淳一郎 (理化学研究所 革新知能統合研究センター 研究員)



多変量データのもつ意味や法則性を理解するためには、データの性質を捉えた表現や特徴量へと適切に変換することが重要です。意味のある表現をデータから自動的に獲得すること（表現学習）は機械学習における中心的な課題のひとつであり、その原理やアルゴリズムの追求は脳の情報表現や処理を理解するうえでも示唆に富みます。本研究で取り扱う独立成分分析（ICA）は学習に正解や報酬といった補助情報を用いない「教師なし」表現学習の基本手法の1つで、初期より脳・神経科学分野で広く応用されています。標準的なICAは1階層の線形変換を学習する手法ですが、非線形変換やいわゆるプーリング演算をはさんで再帰的に積み重ねることで、多階層表現学習へと拡張することができます（積層ICA）。しかし、これまでの試みの多くは近似やヒューリスティクスに基づき、応用例も多くありません。本研究では、積層ICAやその拡張について確率的生成モデルの観点から統一的な扱いを提案し、理論的な基盤を整備します。また、近年注目される多層ニューラルネットワークに基づく深層生成モデル等との比較検証を実施し、脳機能イメージングや自然画像統計など脳神経科学に関連した新たな応用可能性を探索します。

生成系の深層学習を用いた空間/音の認知に関する研究

研究代表者：池上 高志（東京大学大学院 総合文化研究科 広域科学専攻 教授）

脳には空間表象「認知地図」が存在し、主にラットで見つかった海馬の場所細胞で表現されているとされます。近年この認知地図と場所細胞の関係は深く研究され、地図の成り立ちについてより興味深いことが報告されています。本研究では「生成モデル」としての深層学習を用いることで、主体の自律運動と出来上がる認知地図との関係を解析し、最近の知見に基づいた認知地図の理論構築を目指します。特に「見かけ上の試行錯誤 (VTE)」と呼ばれるラットの鼻振り運動と、認知地図をもとにした過去の replay や未来の pre-play 現象を理論的にもつなげて議論します。そのような主体運動と認知地図の生成を通して、「身体的な認知」と「既存のAIの知能」の違いから、身体をベースとした脳の理論を新しく提案していく予定です。特に、生成モデルの深層学習の先駆的なDCGAN(Deep Convolutional Generative Adversarial Network)の準備実験を行ってきました。DCGANのデータセットとして、一人称視点で撮影された動画のフレームを用いて、風景の時間的な変遷が内部状態空間にエンコードされ、実際の空間の構造が反映されることを示し、さらにVAEGAN(Variational AutoEncoder+GAN)という手法により、場所細胞に相当するものが、理論モデルでも構成できることを示唆する結果を得ています。また同様の手法を用いてDCGANによる、一音(周波数)入力 of データ学習をもとに多音階を生成するシステム開発なども行い、こちらも人工知能学会・日本物理学会において発表を行っています。これらの研究を進展させ、ロボットの自律運動生成などに組み込んで、広くその成果を社会に知らしめてゆく予定です。

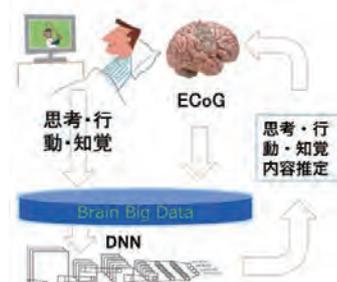


皮質脳波ビッグデータによる革新的人工知能の開発

研究代表者：柳澤 琢史

(大阪大学 国際医工情報センター 臨床神経医学寄附研究部門 寄附研究部門講師)

頭蓋内に留置した電極で計測した脳表脳波を機械学習により読み解くことで、人の行動や思考内容、認知内容について高精度で推定できることが明らかになっています。また、この技術をリアルタイムに用いることで、体に重度の障害がある患者さんが運動を念じるだけで機械を動かす Brain-Machine Interface を実現できます。さらに、脳内での情報処理を明らかにすることは、その原理を応用した人工知能の研究にも寄与してきました。しかし、これまでの研究では、数種類の行動や知覚内容等のデータと数十分程度の脳表脳波のデータしか利用できず、人が日常生活で行う様々な動作や思考内容、認知内容を広く推定することは困難でした。そこで本研究では、自由な条件下での人の脳表脳波を、様々な思考や行動・知覚内容とともに長時間計測することで、皮質脳波ビッグデータを作成します。これに対して、Deep Neural Network 等の人工知能技術を適用することで、これまでない精度で、脳情報を推定することを目指します。さらに、推定された脳情報から、ヒトの脳情報処理過程を明らかにし、新たな人工知能技術の開発に寄与します。



A01: 知覚と予測

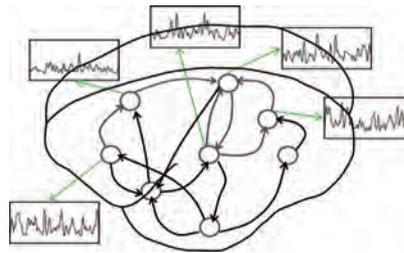
予測の神経基盤：全脳皮質脳波における時空間構造

研究代表者：小松 三佐子

(理化学研究所 脳科学総合研究センター 高次脳機能分子解析チーム 研究員)

本研究では、聴覚刺激提示中にサルの皮質全域から記録された皮質脳波（全脳皮質脳波）に最新の人工知能研究の知見を適用し、予測にかかわる脳内情報処理の時空間構造を明らかにします。

脳は、時々刻々と入力される刺激に対し、絶え間なく般化と予測（予測符号化）を行っています。予測符号化に関する数学的モデルは皮質の層構造や神経細胞レベルの役割を考慮したものまで様々提案されています。近年ではこのようなモデルを機械学習に適用したディープラーニング（深層学習）により大規模データ解析に大きな進展がみられています。しかし、脳内での実装についてはまだ不明な点が多く、とくに全脳レベルでの動力的性質についてはまったくわかっていないのが現状です。本研究では、時間及び空間解像度に優れた皮質脳波を皮質全域から計測し、深層学習によりその時空間構造を抽出することで予測符号化に関する全脳レベルでの動力的性質を検証します。



A01: 知覚と予測

単機能の重ね合わせにより新機能を創発するマルチファンクショナル深層学習ネットワーク

研究代表者：柳井 啓司

(電気通信大学 大学院情報理工学研究所 情報学専攻 メディア情報学プログラム 教授)

本研究では、単一のCNN（Convolutional Neural Network, 畳み込みネットワーク）に複数のタスクのための機能を同時に学習させ、学習した独立の機能の組み合わせ・重ね合わせによって、事前に学習した個別の単一機能とは異なる、新しい機能を実現し、Neural Networkがより人間の脳に近い汎用的な能力を持っていることを実証することを目的とします。

我々は画像のスタイル変換を効率的にモバイル実装するために、複数スタイル画像に基づく画像変換を同時学習するConditional Encoder-Decoderネットワークを考案しましたが、様々な実験を行ううちにCNNの線形性、局所性の性質から、このネットワークは学習時にはそれぞれのスタイルは独立に学習するにもかかわらず、スタイルの混合と、スタイルの局所的使い分けが可能である性質があることが分かりました。我々はこの知見にに基づいて、補助信号とそれに応じた学習時の損失関数の切り替えによって、スタイル変換のみならず、スタイル変換と領域分割などのように1つのネットワークが複数の機能を同時に併せ持たせることを研究しており、本研究ではこの研究をさらに発展させることによって、CNNにおける単機能からの複数機能の創発の実現を目指した研究を実施します。



A01: 知覚と予測

前頭前野活動の網羅的計測と情報表現解読法の開発

研究代表者：宇賀 貴紀（山梨大学大学院 総合研究部医学域基礎医学系生理学講座統合生理学 教授）

環境の変化に応じて多様な意思決定をする能力は、霊長類で特に発達した本質的な脳機能です。本機能に前頭前野が深く関わっていることは明白です。しかし、前頭前野の情報表現は複雑であり、行っている計算をどのように大脳皮質ネットワークとして実現しているかを理解するのは困難です。本研究では、意思決定研究の2大潮流の1つである知覚判断の系に則ったタスクスイッチ課題中に、前頭前野の複数領域か



ら皮質脳波（ECoG）を計測し、神経活動を網羅的に取得します。さらに、情報表現が複雑な前頭前野の神経活動に、深層学習によるデコーディング技術を適用し、柔軟な意思決定を可能にする大脳皮質神経ネットワークを明らかにします。具体的には、外界の情報、環境、意思の推移など意思決定に重要な高次内的情報を神経活動から解読するために最適なニューラルネットワークを構築します。構築したネットワークの構成を可視化することにより、取得したECoGデータのどの部分（どの電極のどの時間帯の神経活動、どの電極間機能結合）が高次内的情報を解読するのに役立つかを確認し、高次内的情報がどのような神経活動で実現されているのかを理解します。

A01: 知覚と予測

神経活動と分子活性が織り成す学習規則の可視化

研究代表者：濱口 航介（京都大学大学院 医学研究科 生体情報科学講座 講師）

人工知能は特化された問題解決能力を持つ一方で、脳は様々な問題を解決できる汎用の知能と言えます。人工知能が多様な課題解決能力を持つためには、脳がもつ学習の仕組みを理解することが一助となるでしょう。本研究ではアルゴリズムとしてあまり理解が進んでいない神経可塑性分子に着目します。脳科学では遺伝子操作技術の発展に伴い、学習や神経可塑性に関わる分子が数多く同定されています。例えば転写調節因子のCREBは長期シナプス可塑性の発現に重要な役割を果たし、遺伝子操作によってCREBを活性化したマウスは、長期記憶能力が高まることが知られています。このように遺伝子操作の技術を使えば、遺伝子の活性化や欠損によって、分子と行動との相関を調べる事ができます。しかし、分子活性がどのようにして、なぜ、行動に変化を引き起こすのかはよく理解されていません。これは分子と行動の中間レベルにある神経回路のレベルで、分子活性の持つ意味がわかっていないことが、理由に挙げられます。分子活性と学習との関係を、神経回路レベルで理解するため、本研究班では2光子顕微鏡を用いて分子活性と神経活動の同時観察を行います。神経活動と分子活性の相互作用によって、脳が行う効率のよい学習規則を明らかにし、これを人工知能研究に還元することを目指します。



A01: 知覚と予測

神経信号からネットワーク構造を推定し、そこに発現する活動パターンを予測する

研究代表者：篠本 滋（京都大学 理学研究科 物理学宇宙物理学専攻 准教授）

私たちは同時並列計測された神経データの解析手法の開発とその応用を目的として、まずその基本となる以下の2つの研究に注力する所存です。

(A) 同時計測データから神経回路を推定する

神経スパイク信号は神経結合を通して他の神経細胞の活動に影響を与えるので、活動相関から結合を推定できます。ただし神経細胞対はそれ以外の多くの神経細胞の影響を受けているため、いくつかの同期スパイク発生が計測されたからといってそれでシナプス結合があると結論づけることはできず、同期発火の発生が有意になるまで十分長くスパイクを計測する必要があります。私たちは、想定する強度のシナプス結合を推定するのに必要な計測時間を見積もることに成功しました。この知識は実験スケジュールをデザインする上で有用な情報になります。

(B) 回路の上に発現する神経活動を推定する

動物の感覚や行動は多数の神経細胞が共同的に働くことで担われていますが、各脳領域でどの程度の集団が共同作業を行っているかということに関する知見は得られていません。それを知るためには、計測技術を向上させるだけではなく、その膨大なデータを解析する理論体系とアルゴリズムが必要です。私たちは自己励起システムに関して、与えられたネットワークが引き起こす神経発火のゆらぎ発生を理論的に予測することに成功しましたが (Onaga and Shinomoto, Sci Rep 2016)、理論を発展させてネットワークの活動予測を行う方法論を構築する予定です。

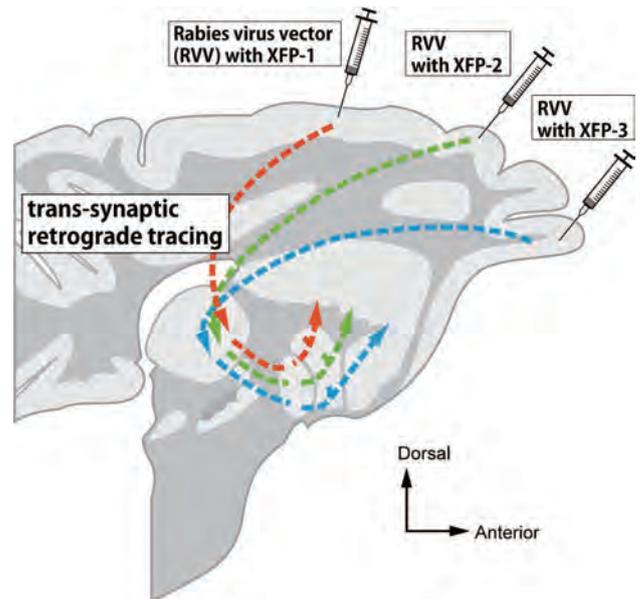


行動選択の回路モデル構築のための前頭前野—大脳基底核・小脳連関の構築様式の解明

研究代表者：井上 謙一（京都大学 霊長類研究所 助教）

定型的な反応では対応できないような状況に対し、外的・内的情報を統合して、適切な判断に基づき行動を組織化する脳機能には、大脳皮質前頭前野が重要な役割を果たします。前頭前野は前頭極、眼窩前頭皮質、腹内側部、背外側部、前部帯状皮質など複数の領域に分かれており、これらの領域は大脳基底核、小脳とループ回路を形成しています。このことから、脳の柔軟な行動選択のメカニズムを理解するためには、前頭前野の各領域が大脳基底核、小脳と形成するループ回路の構造を解明することが必要となると考えられます。

本研究は、狂犬病ウイルスベクターを用いた逆行性越シナプスの多重トレーシング法などの先端の回路解析法を開発することにより、前頭前野—大脳基底核、小脳ループ回路が形成する行動選択ネットワークの構築様式を明らかにすることを目的とします。具体的には、前頭前野の各領域が形成するループ回路間における相違（トポグラフィ）と重複（オーバーラップ）のパターンを解析し、前頭前野—大脳基底核、小脳ループ回路の情報伝達様式を明らかにすることを目指します。また、上記研究におけるラベル解析を機械学習を利用して自動化する手法や、ラベルデータの標準化手法などを領域内連携により検討し、各脳領域のラベルデータを短時間で解析し、汎用的なフォーマットとして保管するための技術開発を行います。



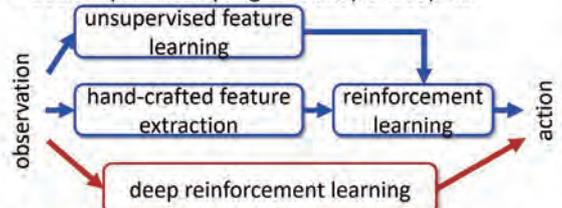
並列深層強化学習

研究代表者：内部 英治（(株) 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 主幹研究員）

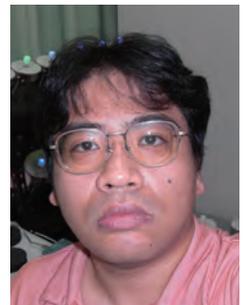
グーグルディープマインド社の提案した深層強化学習は人間と同程度にビデオゲームをプレイし、囲碁のエキスパートに勝利するなど非常に高度な制御則を自律的に学習できることを示しました。しかしデータ収集に用いられる制御則はランダムに初期化された単一のディープニューラルネットで実装されることが多く、学習初期に得られた経験はあまり有用ではなく、結果として学習が非常に遅いという問題が指摘されています。このデータ収集の効率の悪さが深層強化学習を実ロボットの制御に適用する際の問題となっています。一方で、我々はアルゴリズムや状態表現の異なる複数の学習器を同時に学習できる並列学習法 CLIS を開発してきました。CLIS では制御則は線形のニューラルネットを用いていましたが、学習の進捗に応じて適切な状態表現を持つ学習器を自律的に選択し、有望なデータを効率よく収集できます。これにより、性能はあまり良くない単純な学習器が収集したデータを複雑な学習器の学習に用いることで、単に複雑な学習器だけを用いるよりも学習が高速化できることを示しました。本研究では、深層強化学習と CLIS を統合した並列深層強化学習を開発し、深層強化学習のデータ収集効率を改善します。そして、現実的な時間で学習できるロボット学習のための手法を提案します。

Parallel deep reinforcement learning

- Goal: improve sampling efficiency of deep RL



- Traditional approaches are still useful to collect promising experiences
- Use **deep reinforcement learning** and **traditional methods** simultaneously



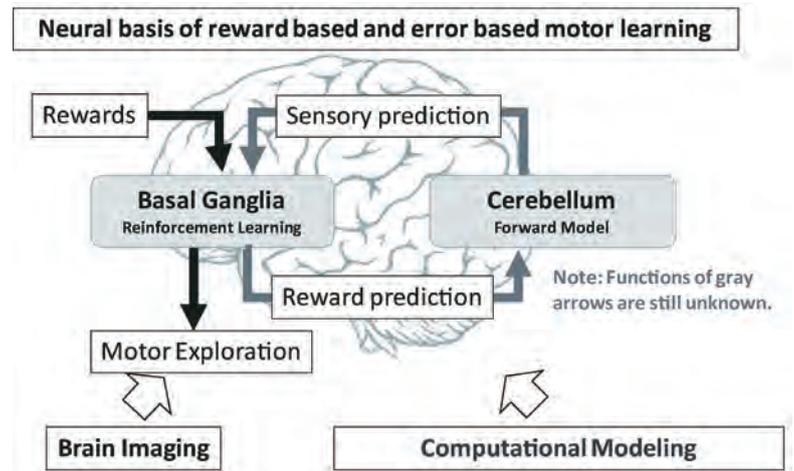
A02: 運動と行動

感覚予測と報酬予測に基づく運動学習の計算理論的理解と脳内基盤の解明

研究代表者：井澤 淳（筑波大学 システム情報系 准教授）



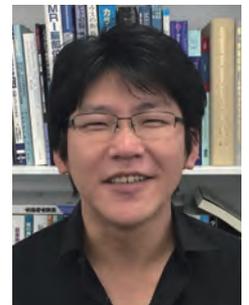
ロボット運動学習とヒト運動学習の比較対照を通じた「ヒト運動学習における強化学習システムの役割」の解明は、極めて重要な研究課題です。しかし、これまでのヒト強化学習の研究の多くは、意思決定や系列行動を対象としており、その運動学習に対する役割は明らかではありませんでした。一方、私達は運動学習における報酬情報の役割を世界で初めて明らかにし、強化学習との関連を示唆することに成功してきました。しかしながら、その脳内メカニズムは未だ十分に解明されたとはいえません。そこで、本研究では、運動学習における探索ノイズの変化に着目し、強化学習と順モデル（感覚予測のためのモデル）の学習に関わる脳部位を、計算モデルに基づいた機能イメージング解析によって明らかにすることを目的としています。例えば、ヒト強化学習における大脳基底核と小脳の相互作用を同定することで、「強化学習における順モデルの役割」と「順モデル獲得における強化学習の役割」に加えてそれらの相互作用が担う計算論的機能を明確化することができると期待しています。また、本領域のその他の項目とコラボレーションを通じて、運動から認知や社会脳に関して、内部モデルや強化学習が担う役割を解明できればと考えています。



A03: 認知と社会性

分節構造推定による自閉症モデル霊長類の家族行動解析

研究代表者：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）



社会的交流とは、複数の自律エージェントが感情や意図など内部状態の交換を介して双方向に作用しながら時間発展する動的な過程です。計算機の発展を背景に、これまで必須であった単純化した仮説検証や測定条件統制の枠組みを超え、この社会的交流のダイナミクスそのものにアプローチが可能となってきました。特に自然言語分野では、最小意味単位である形態素の抽出や、自然な会話の構成論的理解など、意欲的な報告があります。しかし、そのカウンターパートであり、また非ヒト動物をも包含する普遍的な枠組みとなりうる非言語コミュニケーション過程の構造理解は進んでいません。

そこで本研究では、以下2点について研究を進めます。

1. 自由運動中の身体動作の計測系開発

深度カメラを用いた空間走査を利用し、骨格モデルの力学推定に基づくモーションキャプチャ技術を開発します。身体部位の軌道と相対角から姿勢の詳細な時系列を得ることを目指します。

2. 行動時系列の分節構造解析

教師なし形態素解析を応用し、行動時系列から意味のある分節単位とその推移を抽出します。これを用い、エージェント間相互作用のダイナミクスを記述することを目指します。

検証系として、この計測・解析法を局所的な神経回路操作を行った霊長類モデル動物と正常動物間の社会性行動に実装します。障害が動物間の社会的相互作用に及ぼす影響の構造理解を進める事で、自閉症に代表される社会性機能障害の疾患理解と支援に役立てることを目指します。

A03: 認知と社会性

構造学習の脳計算モデル：脳イメージング実験と大規模 WEB 調査による検証

研究代表者：鈴木 真介（東北大学 学際科学フロンティア研究所 助教）

「環境の構造」を学習する能力は我々ヒトに備わった知能の重要な要素の一つです。環境の構造を正しく把握することで、環境に合わせた柔軟な意思決定が可能になるからです。本研究では、人工知能分野で培われた計算論的アプローチを脳イメージング実験と組み合わせることで、「経験から直接学習することが難しい“環境の隠れ構造”をヒトがどのように学習しているのか？」を脳計算という観点から調べます。学習過程を記述・再現し得る計算論モデルを構築することでその背後にある計算理論やアルゴリズムを特定し、モデルと脳活動の対応を検証することでそれを支える脳機能を解明します。また、1000人規模の被験者を対象にした大規模 WEB 実験を実施し、計算論モデルの妥当性・頑健性を検証するとともに、「学習様式の個人差から各種精神疾患傾向を予測する手法」の開発を目指します。



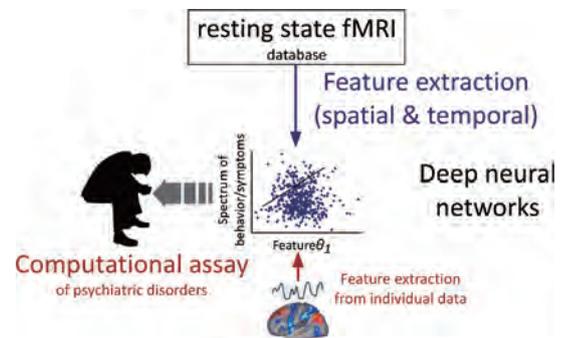
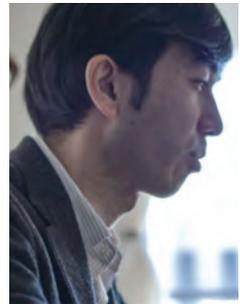
A03: 認知と社会性

深層学習を用いた精神疾患の計算論的検査・評価法の開発

研究代表者：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）

本研究は、深層学習 (Deep learning) 技術を用いた安静時機能的磁気共鳴画像 (rsfMRI) データ解析に基づく、新しい精神疾患の検査・評価法「計算論的検査・評価法 (computational assay)」を開発することを目的とします。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、脳領域間の機能的結合が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、精神疾患の病態把握を含む医療応用も見据えた研究が活発に行われています。しかし、rsfMRIデータに豊富に含まれる時間的な脳活動のダイナミクスから有益な情報を取り出す技術は未だ十分に確立できていません。そこで、本研究では、時系列情報から時間・空間的階層性をもった自己組織的特徴量抽出が可能な深層学習モデルを用いて、rsfMRIデータから、精神疾患患者個々人の脳状態に対応するデータを抽出する方法の確立を目指します。特に、従来の精神疾患カテゴリにとらわれず、非特異的に出現しうる精神症状と、それに対応する生物学的基盤の検討を重視する次元的方法アプローチに基づいて精神疾患患者個々人のデータを検討することで、患者ごとの診断・疾患予後や治療反応性予測などを総合的に評価する方法の基盤となる技術の確立を目指します。



A03: 認知と社会性

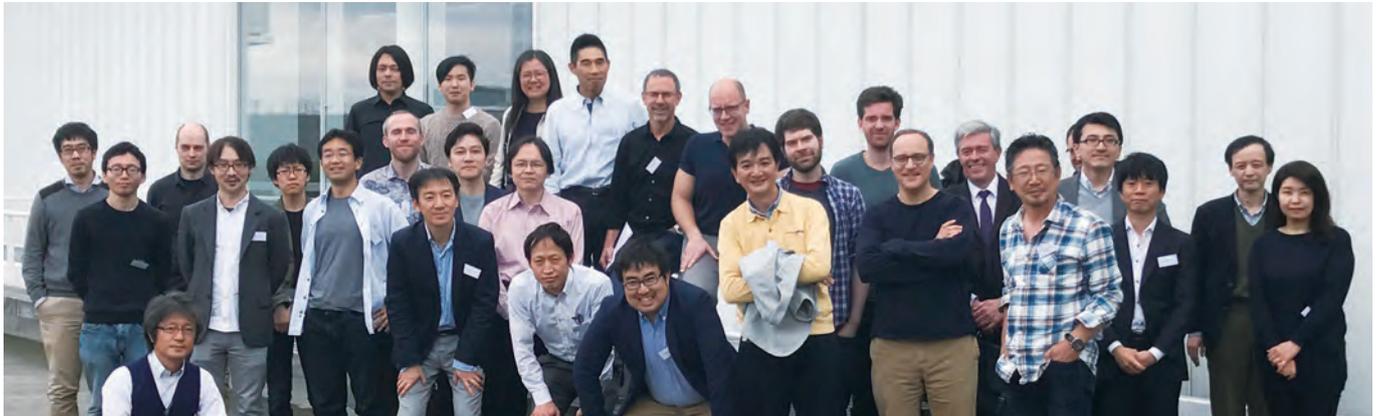
予測符合化モデルと、自律推論する脳機構との照合

研究代表者：小村 豊（京都大学 教授）

近年、自由エネルギー原理が、これまで、個々の脳機能モジュールごとに提唱されてきた理論を、統一的に説明できる可能性から、注目されています。その内容は、ヘルムホルツの考え方から一歩進み、脳を情報のホメオスタシス装置としてとらえ、予測符号化モデルという形で、定式化されています。その骨子は、脳は、能動的な推論装置で、予測誤差（自由エネルギー）を最小化するように、予測生成モデルを更新するというものです。脳の諸動作を、幅広く説明できる点で魅力的ですが、実験的検証が不十分な点も、多く残されています。特に、予測テンプレートが、脳のどこを起源に、どの経路で伝達され、どのように更新されるのか、不明です。本研究は、サル・ヒトを対象にした実験データと、予測符号化モデルを照合させて、自律推論のメカニズムを明らかにすることを目指します。本研究は、脳は、どのように、多数の機能モジュールを統合し（状況によっては、特定モジュールを選択し）、その自律性を維持できているのかという問題に直結し、脳科学だけでなく、人工知能の情報処理様式についても、新洞察をもたらす可能性があります。



ギャツビー / 科研費合同ワークショップ：人工知能と神経科学



2017年5月11日～12日、ロンドンのGatsby Computational Neuroscience Unitにて「ギャツビー / 科研費合同ワークショップ：人工知能と神経科学」を開催しました。イギリスと日本から約35名が参加し、人工知能と神経科学の今後について、大変活気ある議論が交わされました。

Session 1 Current status of AI and what's next

岩澤 有祐（東京大学 工学研究科技術経営戦略学専攻 松尾研究室）

本ワークショップ最初の発表は東京大学の杉山将司先生の発表から始まりました。発表では、教師付きデータが大量には得られない問題設定（Weekly Supervised）の中で、特にPU学習と呼ばれるラベル無しデータを活用した学習方法に関する杉山先生の研究室の最近の研究成果についてご報告がありました。



次の発表は、Google DeepMindのShakir Mohammed先生からでした。Mohammed先生は深層学習の中でも特にここ1、2年研究が活発に行われている深層生成モデルに関する研究で数多くの成果をご発表されているDL研究をリード

している若手研究者の1人であり、本発表でも深層学習に関する最近の成果について包括的で刺激的な内容の発表でした。

つづいてのPreferred Networksの岡野原先生のご発表では、実世界における深層学習技術の活用事例として自動運転やロボティクス、ヘルスケア、芸術活動と多岐にわたる応用範囲での発表がなされました。その領域の広さや各領域での成果に加えて、PFN自体も非常に大きくなっているという旨のお話があり、深層学習の社会応用の進展のすさまじい早さを感じるご発表でした。

次に、2群の距離を測るカーネル法によるアプローチであるMaximum Mean Discrepancy (MMD)について従来から研究されてきたGatsby UnitのArthur Gretton先生からは、MMDに関連する最新の研究結果やMMDを派生させたMaximum Stein Discrepancy (MSD)についてのご発表がありました。MMDやMSDは生成モデルや強化学習で既に応用が進められており、その基礎技術に関する理解が深まる私にとって非常に有益なご発表でした。



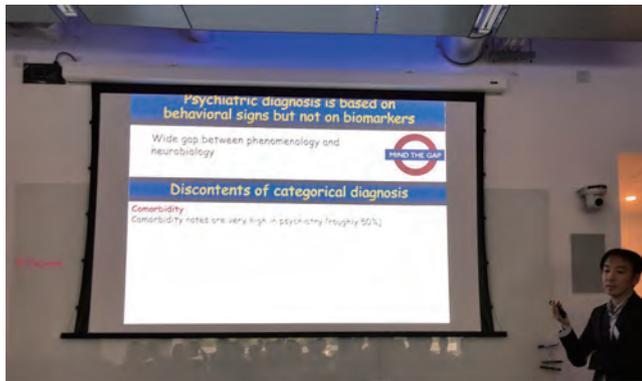
最後に、ATRの森本淳先生からはヒューマノイドの制御技術に関してご発表がありました。特に、人間のデモンストレー

ションの活用や階層性の組み込みなど、深層強化学習の大量にデータを使ってなんとかするというとはまた異なるアプローチに関する先生自身の研究について、さまざまな動画によるデモを交えたご発表がなされました。

Session2 Advancing neuroscience by AI

村上 晶郎（京都大学大学院 医学研究科 精神医学教室）

Advancing neuroscience by AIと題された初日午後のセッションでは、Gatsby Computational Neuroscience Unitの三人と、日本から二人の方の講演がありました。後者二人のうちの一は私の所属研究室の高橋先生で、もう一人のCiNetの西本先生は、私たちの研究室と共同で統合失調症の研究を進めており、私たちに関係の深い方からの講演が含まれていました。ではこのセッションのいくつかの講演について、まずは精神疾患に関する講演から紹介したいと思います。



現在の精神疾患の診断基準は臨床症状に基づくものであり、より神経基盤に依拠したものを求めて疾患のバイオマーカーを見つける試みは以前からありました。高橋先生の講演では、統合失調症などの疾患で今新たに行われている脳の領域間のコネクティビティをバイオマーカーの候補と考え、機械学習の手法を用いて健常者との間に差異があるものを探し出す試みが紹介されました。

精神疾患の分類については、さらに、カテゴリカルな捉え方とディメンショナルな捉え方に関する議論や、症状の元にある神経機能の異常に基づいたRDoCという考え方など、現在の枠組みを越えようとする試みがいくつもあります。GatsbyのPeter Dayan先生は、ベイジアン意思決定理論の枠組みでの精神疾患の整理を提唱しておられました。事前知識などの偏りでそもそも問いの立て方がずれている場合、問いの立て方はよいが推論過程に問題がある場合、さらに、問いの立て方も推論過程にも問題はないが属している環境に問題がある場合と、三つの場合に分けて整理することが提案されていました。

そして西本先生は、動画を刺激にしてそれを見せた時の被

験者の脳活動を記録し、動画刺激と脳活動の対応をエンコーディングとデコーディングの両方の方向から、また、間に様々なレベルのモデルを入れて解析してきたこれまでの研究を振り返り、さらに、様々なニューラルネットワークを組み合わせる脳活動から知覚内容を文章として取り出す試みなどが報告されました。

残りのGatsbyの二先生のうち、Aapo Hyvarinen先生からは、教師なし学習という機械学習の重要な課題に、線形の場合は古くから使われている独立成分分析を非線形に拡張することで一つの方向を提示するという、最近の仕事が紹介されました。私は8月にこの同じ新学術領域研究の企画で開催されたサマースクールにも出席しましたが、興味深かったのは、そこでも講演をされたPreferred Networksの岡野原先生が、ニューラルネットワークの原理的な側面の解明において、このHyvarinen先生の議論を取り上げていたことで、この領域研究の企画がつながって発展している成果を感じました。



Session3 What should/can we further learn from the brain?

小津野 将（沖縄科学技術大学院大学（OIST）神経計算ユニット 適応システムグループ）



二日目午前のセッションは沖縄科学技術大学院大学の銅谷賢治先生から始まりました。発表は、現在の人工知能と脳の違い・脳内での自己位置のバイズ推定・セロトニンと報酬待ち時間の関係についてでした。発表後、注意と強化学習の関係

第2回領域会議 新学術領域研究「人工知能と脳科学」

井澤 淳（筑波大学 システム情報系 准教授）

2017年5月20日～21日、脳情報通信融合研究センター(CiNet)にて、第2回領域会議が開催されました。今回は公募班が採択後に初めて参加する全体会議であり、計画班と公募班の研究計画を把握し、領域全体の方向性を共有する貴重な機会となりました。

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いただきました。1959年に始まるヒューベル、ウィーゼルによる視覚野の単純型細胞・複雑型細胞の発見に始まり、1962年のローゼンブラットによるパーセプトロンの提案、福島先生によるネオコグニトロンなどニューラルネットワーク研究の歴史に加えて、1903年パプロフによる古典的条件づけ、スキナーによるオペラント条件づけから、バルトーのTD誤差学習に基づく強化学習モデル、シュルツによる腹側被蓋野の活動などの初期の研究から、それらの統合として近年のDeep Q-networkの成功まで黎明期から現時点までの「人工知能と脳科学」の歴史が紹介され、その外挿として本領域が切り開く新学術領域の未来を示していただきました。

次にA01班計画研究「知覚と予測」の計画発表では、松尾豊先生、銅谷賢治先生、田中啓治先生から、新しいディープラーニングのアーキテクチャの提案、移動ロボットへの応用可能性、強化学習における内部モデルの使用や、マカクザルの学習におけるコンフリクトコストに関する研究報告を示していただきました。引き続きA01班公募研究からは柳井啓司先生からマルチファンクショナル深層学習ネットワークについて、濱口航介先生から学習規則の可視化、柳澤琢史先生のチームからは皮質脳波ビッグデータによる新しい人工知能の提案、近添淳一先生からは視覚一価値変換機構、深井朋樹先生から大脳皮質局所回路のアーキテクチャに基づく新しい学習モデル、アンドレアベヌッチ先生からは光遺伝学を用いた因果的アプローチ、平山淳一郎先生からは積層独立成分分析、篠本滋先生からはネットワーク構造を推定に関する研究報告をしていただきました。

A01班においては、基礎・応用両側面において特にネットワークの階層性が重要なテーマであり、ネットワークの表現能力や汎化性において皮質で観測される生理学的現象を上手く学習器へ応用することができるか、もしくは機械学習における様々なテクニックが皮質に埋め込まれているか明らかにすることが重要になると感じました。

A02班計画研究「運動と行動」では松本正幸先生からドー

パミン神経回路機構、疋田貴俊先生から報酬／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の内部モデルの構築、五味裕章先生からは潜在的運動における学習適応メカニズムに関する研究報告と計画発表をいただきました。引き続きA02班公募研究では、井澤から運動学習における強化学習、松崎政紀先生からは大脳-小脳運動適応多層回路、井上謙一先生からは前頭前野-大脳基底核・小脳連関内部英治先生からは並列深層強化学習に関する発表をしていただきました。

A02班においては、感覚運動系に関する脳機能を計算論的に捉えることの必要性と、運動制御系の階層性を適応ロボットの設計にどのように活用していくかが重要な共通テーマになると感じました。

A03班計画研究「認知と社会性」では、坂上正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に関して、谷口忠大先生からは二重分節解析の脳内計算過程、中原裕之先生からは意思決定における脳内他者の神経メカニズム、高橋英彦先生からは精神疾患における思考の障害に関して研究成果と計画に関する説明をいただきました。引き続きA03班公募研究では、鈴木真介先生からは構造学習に関する脳機能イメージング、小村豊先生からは自律推論に関する脳機構、山下祐一先生からは深層学習を用いた精神疾患の計算論、三村喬生からは自閉症モデル霊長類の家族行動解析、池上高志先生からは深層学習を用いた空間／音の認知に関する研究成果と計画の説明をいただきました。

A03班においては、社会性に関わる脳内メカニズムの計算理論に階層構造を見出す試みがなされていることが印象に残りました。

今回の領域会議全体を通じて、神経生理学や脳機能イメージングにおいて、解析技法としての機械学習の重要性がますます高まっているという事が強く印象に残りました。



ISSA サマースクール2017

松永 倫子（京都大学大学院 教育学研究科 修士課程2年）

2017年5月22日から6月2日の2週間にわたり、The Initiative for a Synthesis in Studies of Awareness (ISSA) Summer School が大阪大学脳情報通信融合研究センター (CiNet) にて開催されました。世界中から、神経科学、計算論、心理学、哲学など多様なバックグラウンドを持つ学生が共に、「意識」に関する多角的な講義を受け、議論を行いながら学び合い、小グループに分かれての研究プロジェクトも行いました。



私は、発達心理学の分野で、母子相互作用や母親の情動認知能力の個人差に関心を持ち、研究を行っています。「意識」は、自己と他者、感情という心の働きとは何か、という問いについて考える上で重要だと考えられます。意識が自己あるいは他者の感情に対する気づきにどのように関連しているのか、意識・身体・脳の関係性について、科学や哲学は何をどのように明らかにしているのか、といったことに関心を持ち、学生メンバーの一人として参加できることを楽しみにしていました。

前半の1週間、午前中は「意識」に関する多様な分野からの講義を受け、午後はグループに分かれて議論を行いました。例えば、視覚・神経処理に関する研究、統合情報理論、再帰型ニューラルネットワーク理論、現象学など、私には初めて耳にする内容がほとんどで大変刺激的な講義でした。特に、物理学や計算モデルの視点から人間の行動を説明しようとする試みは私にとって新鮮で、複雑な現象が、ある原理によって説明できる可能性に驚きを感じました。一方で、講義内容の理解に難しさを感じる点も多々ありました。しかし、世界的に研究を牽引しておられる先生方に直接質問できる機会が豊富にあり、また学生同士で「あなたはどうか考えた?どう思った?」と議論を重ねることで日を追うごとに相互理解が深まっていく経験は、何物にも代えがたい貴重な時間でした。例えば、哲学

の講義の後には、哲学を専攻している学生の元に自然と人が集い、会話が盛り上がる場面や、私自身も「発達の分野ではどんな研究があるの?さっきの議論についてどう考える?」などと尋ねられた時はとても嬉しい瞬間でした。講義内容、学生、チューターの方々すべてのバックグラウンドが多様な上に、時間が限られている中で、講義内容の全てを完全に理解すること以上に、それぞれの分野における研究手法や視点から浮かび上がる「意識」の定義や機能は何か、その違いは何か、ということらを皆で追求していく姿勢に、分野を超えて交わり、「意識」について考える場が形成されていることを感じました。

後半の1週間は、午前中は引き続き多様な講義を受けつつ、午後は心理物理学、MEG、MRI、ロボティクスのグループに分かれ、実際に研究プロジェクトを行いました。私は心理物理学のグループに所属し、視覚的な情報処理課題を用いて、刺激にほとんど注意を向けられない状況下での「意識」の働きについて実験研究を行うことにしました。他2人のメンバーとともに、チューターや先生方にアドバイスいただきながら、仮説と実験の構想を練り、データ分析、発表までを4日間で行いました。試行錯誤も多くありましたが、自分たちで実験や発表をしたからこそ、意識研究の一領域に対する理解が実感を伴って深まり、整理され、興味が一層高まっていくことを感じました。

私にとって今回のISSAは、学際的かつ国際的な環境で学ぶ初めての経験であり、共有した時間や経験全てが貴重な学びとなりました。また、他と交わり、比較し、違いを知ることで、自らの研究・研究領域について改めて考える機会となりました。こうした機会を下さった先生方、チューターの方々、参加者の仲間たち、すべての皆様に心から感謝申し上げます。



第40回日本神経科学大会

Alan Fermin (Tamagawa University, Senior Researcher)

The age of 40 is a hallmark of the beginning of early human adulthood. The Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society reached its adulthood with the realization of the 40th event in 2017. The meeting delivered highly exciting and groundbreaking research studies presented by world-renowned scientists and rising stars. Topics ranged from computational and AI approaches to understand brain structure and function as well as the molecular, cellular, and systems control of social behavior, development and psychiatric disorders.

Neuroscience's most well-known and highly used brain atlas, the Brodmann atlas, contains 50 areas mapped on the cerebral cortex of each hemispheres. Professor Van Essen (Washington University) showed that although recent algorithms have increased the accuracy of cortical mapping, the number of cortical brain areas is highly discrepant across studies, ranging from 150 to 300 areas. Professor Van Essen coordinated the Human Connectome Project and developed new algorithms to increase the quality of brain-to-brain registration and identify regional cortical topology by combining neuroimaging data from various modalities including resting-state and task-based functional MRI, diffusion tensor image to track white matter fiber pathways, and structural (gray and white matter). This effort climaxed with the publication of a highly influential Nature paper (Glaser et al., 2016) describing a new human brain atlas with 180 areas in each hemisphere, among these, 97 areas were newly identified. Additional cross-species analysis revealed brain areas, especially in the prefrontal cortex, which were specific for the human brain compared to macaques and chimpanzees.

Continuing the effort to understand brain organization and function through computational approaches, Professor Kenji Doya (OIST) presented his work on the integration of massive data from both macroscopic (structural and functional MRI) and mesoscopic (cell calcium imaging) levels generated by the Japanese Brain/MINDS Project. Professor Doya presented optimization methods to automatically estimate fiber tracking connectivity, and macroscopic connectivity using both diffusion and function MRI. Further, Professor Doya showed how super computers can be used to implement neuron firing models and simulate the interaction among the cerebral cortex, basal-ganglia and cerebellum.

At the Symposium on Artificial Intelligence and Brain Science, organized by this kakenhi project, Professor Karlheinz Meier (Heidelberg University and HBP) presented his work on neuromorphic computing and how to simulate neurobiological networks through massive parallel artificial CMOS architectures, including synaptic plasticity and neuromorphic network activity changes before and after learning, and the implementation of deterministic and stochastic supervised and unsupervised learning methods. At the behavior level, Professor Matt Botvinick (DeepMind) presented his work using a recurrent neural network architecture based on deep reinforcement learning which learns to represent the structure of multiple contexts, and uses such implicit model to speed up learning in new environments. Professor Botvinick discussed the neural implementation of such architecture based on the interaction between the prefrontal cortex and dopaminergic system.

Studies with both humans and animals revealed the role of cortical and subcortical brain regions in the control of social behavior. Two research studies demonstrated the prominent role of the medial prefrontal cortex (MPFC) in social decision-making. Professor Masaki Isoda (NIPS) found neurons in the monkey dorsal MPFC that preferentially code other's actions and errors, while neurons in the ventral MPFC preferentially code one's own actions and errors, and that a monkey with Autism-like disorder display disturbed coding of other's behaviors in the dorsal MPFC. Similarly, Professor Phillip Tobler (University of Zurich) used fMRI to investigate associative social learning in humans and found that individual preferences for selfish or altruistic behavior were associated with differential value representation for self and other's rewards in the ventral and dorsal MPFC, respectively. Other studies found the involvement of subcortical areas in social reward processing, social memory and aggression. Professor Atsushi Noritake (NIPS) found dopamine neurons in the monkey VTA that increased firing rate both when receiving larger rewards and when another monkey received smaller rewards. Researcher Teruhiro Okuyama (MIT) found that ventral hippocampus (vCA1) of mice encodes a memory of other individuals. Professor Aki Takahashi (University of Tsukuba) found that increased release of serotonin in the dorsal raphe nuclei in response to escalated aggression was associated with dorsal raphe interaction with the VTA. Professor Scott Russo (Mount Sinai) revealed that neurons in the lateral habenula of mice increase firing rate when attacking intruders and also in the absence of an intruder after context learning, and Professor Dayu Lin (New York University) found a topographically distinct group of neurons in the hypothalamus that play a role specifically in female aggression.

And finally, the 2017 Neuroscience meeting had many sessions on the neural basis of developmental and psychiatric disorders. Professor Akemi Tomoda (Fukui University) showed how childhood sexual, verbal and physical abuse lead to dramatic alterations in brain structure including reduced volume in visual, temporal and medial prefrontal cortices. In contrast, Professor Jay Giedd (UCSD) presented the results of a longitudinal study tracking 12,000 children from age 9, and found age effects on brain maturation and connectivity, especially during adolescence when a number of psychiatric conditions emerge. Professor Yutaka Sakai (Tamagawa University) provided a computational approach to explain obsessive compulsive disorder as a disorder of reward prediction error, while Professor Takaki Maeda (Keio University) showed that certain symptoms of schizophrenia, such as reduced sense of agency, can be explained as a deficit in the delay of updating forward decision models.

Together, these exciting findings presented at Neuroscience 2017 pave the way for further studies seeking to understand the basic mechanisms of brain function and structure, and how experience and other processes such as drug of abuse influence brain plasticity and leads to psychiatric disorders. We look forward for 41st Annual Meeting to be held in Kobe in 2018.

サマースクール参加記

Berkeley summer course in mining and modeling of neuroscience data

渡辺 啓太

(理化学研究所 脳科学総合研究センター 脳回路機能理論研究チーム)



2017年07月20日から22日までカリフォルニア大学バークレー校にて開催された神経科学におけるデータ解析に関するサマースクールである Berkeley summer course in mining and modeling of neuroscience data に参加してきました。主に数学や計算機科学のバックグラウンドを持った学生・研究者向けに神経科学における現在注目を集めている研究テーマや、最新のデータ解析手法等を学ぶことを目標とした2週間のコースです。

このサマースクールでは、主に6人の講師による講義が行われました。以下に簡単ですが各講師の講義内容をまとめます。

Robert Kass の講義は、視覚や運動、現在地の情報等の情報がどのように神経細胞の発火率で表現されているのか、そうした情報表現の数理的モデルとして用いられる点過程、特にポアソン過程について、さらに無記憶性を持ったポアソン過程を過去の入力に応じて状態を変化させる様に拡張した Generalized Linear Model (GLM) についての解説が中心でした。また、講義の最後に1神経細胞のモデルだけでなく多数の神経細胞からなるようなダイナミックなネットワークのモデル化の重要性を強調していた点が印象に残りました。

Frederic Theunissen の講義ではモデルがどれだけうまくデータにフィットできるかを示す指標として用いることができる Signal to Noise Ratio の見積もり方と、神経細胞の時間的に変化する刺激に対する応答特性を調べるツールである Spike Triggered Average (STA) について、また STA の線形フィルタ、正規化との関係等が採り上げられました。

Jonathan Pillow による講義は先の二人の講義内容を含むものであったため、上記トピックをより深く理解することができました。さらに GLM を実際に網膜のデータに適用した例が示された他、GLM でモデル化した神経細胞のネットワークについても議論が有りました。また彼の情報理論の解説は個人的には一番直感的で理解しやすいものでした。

Odelia Schwartz は、PCA (Principal Component Analysis) や ICA (Independent Component Analysis)、Hierarchical ICA を用いた視覚受容野のモデル化についての講義を行った他、Deep Learning と皮質の階層構造との類似性に関する議論等を行いました。

Mark Goldman は脳のシナプス可塑性についての仮説である Hebb 則と PCA との関係について論じた他、ニューラルネットが目的の機能を実現するために重要な結合の特徴を調べる方法を解説しました。

Maneesh Shahani はこれまでのトピックを機械学習の観点から見直すと共に、LL-LVM (Locally Linear Latent Variable Model) や demixed PCA (dPCA) 等の高度な手法についての講義を行いました。

また、紙面の都合から紹介できませんが、連日神経科学者が、自身の研究内容について紹介するセッションがあった他、Victoria Sharma からは研究倫理に関する講義もあり、それら大変勉強になりました。

今回のサマースクールで特にありがたかったのは、学生に対する手厚いサポート体制です。金銭的な面では渡航の際の旅費が一部 (600ドルまで) 補助されるほか、大学の寮に滞在することができる、大学の食堂で無料の食事を得ることができる等、貧乏な大学院生の懐事情を酌んでくれているなど感じました。

さらに学習面に対するサポートとしてこれらのコースはすべて録画されております。下記の URL にリンクをまとめました。こうした試みは是非日本の大学でも取り入れてほしいなと思うところです。

https://github.com/KeWata/2017_CRCNS_Summer_School

また、ほとんどすべての講義に対して Matlab ないし Python のコーディング課題が用意されていたため、学習したアイデアを具体的にどのように実装するかを学ぶことができました。

さらに、講義後に Exploratorium を見に行く、休日には Miur Woods や Golden Gate Bridge を回るハイキングをする等参加者同士の交流を深める機会も用意されていました。

斯様なサマースクールですので、神経科学に興味のある機械学習・統計学を専門とする方、神経科学を専門としていてより数理的な解析手法に対する理解を深めたいという方は是非参加を検討してみてください。

平成 29 年度 主催イベント

ギャツビー / 科研費合同ワークショップ

人工知能と神経科学

日程：2017.5.11-12

場所：ロンドン、Gatsby Computational Neuroscience Unit, UCL

<http://www.brain-ai.jp/jp/events/detail/616/>

第 2 回領域会議

日程：2017.5.20-21

場所：大阪府、脳情報通信融合研究センター (CiNet)
<http://www.brain-ai.jp/jp/events/detail/520/>

第 40 回日本神経科学大会シンポジウム

「人工知能と脳科学」

日程：2017.7.23

場所：千葉県、幕張メッセ

http://www.jnss.org/abstract/neuro2017/meeting_planner/sessionlist.php?st_id=201710005&u_s_id=4S04a&u=1499824708&yz=708

新学術領域「人工知能と脳科学」第1回サマースクール

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)

http://www.brain-ai.jp/jp/summer_school2017/

第 27 回日本神経回路学会全国大会

「人工知能と脳科学の対照と融合」シンポジウム

日程：2017.9.20

場所：福岡県、北九州国際会議場

<http://www.brain.kyutech.ac.jp/~jnns2017/index.php/program/>

第 3 回領域会議 (次世代脳プロジェクト 2017 年度冬のシンポジウム期間中)

日程：2017.12.19

場所：東京都、学術総合センター内一橋講堂、中会議場

4 領域合同若手シンポジウム

「脳科学フロンティアへの複合的アプローチ」

日程：2017.12.20

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/2017/outline.html>

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/index.html> (準備中)

中ザワヒデキ講演会

Artificial intelligence Art and Aesthetics

日程：2017.4.19

場所：沖縄県、沖縄科学技術大学院大学

<https://groups.oist.jp/ncu/event/manifesto-artificial-intelligence-art-and-aesthetics-nakazawa-hideki>

The Seventh International Symposium on "Biology of Decision Making" (SBDM 2017)

日程：2017.5.14-16

場所：フランス、University of Bordeaux

<http://sbdm2017.isir.upmc.fr/>

ISSA サマースクール：2017

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/issa>

第 1 回 Language & Robotics 研究会 (LangRobo)

日程：2017.7.2

場所：東京都、理化学研究所 革新知能統合研究センター (AIP)

<http://www.emergent-symbol.systems/news/langrobo-1>

Brain-AI Workshop - NYU Shanghai

日程：2017.7.6-7

場所：上海、NYU Shanghai Academic Building

<https://www.brain-ai-workshop.org/>

第 2 回 Language & Robotics 研究会 (LangRobo)

日程：2017.8.7

場所：東京都、お茶の水女子大学

<http://www.emergent-symbol.systems/news/langrobo-2>

第 2 回 WBA シンポジウム 2017

日程：2017.8.29

場所：神奈川県、ラゾーナ川崎東芝ビル 15F

<https://wba-initiative.org/2475/>

第 3 回全脳アーキテクチャ・ハッカソン

「目覚めよ海馬! : 汎用人工知能プロトタイプにむけた海馬モデルの組み込み」

日程：2017.9.16-18

場所：東京都、φ cafe

<https://wba-initiative.org/2391/>

第 44 回内藤コンファレンス

意思決定の脳科学—動機、予測と学習

日程：2017.10.3-6

場所：北海道、シャトレレーゼ ガトーキングダム サッポロ

https://www.naito-f.or.jp/jp/conference/co_index.php?data=info_44

第 3 回 Language & Robotics 研究会 (LangRobo)

日程：2017.10.7

場所：東京都、国立情報学研究所 (NII)

<http://www.emergent-symbol.systems/news/langrobo-3>

Neurobiology and Neuroinformatics 2017 (NBNI2017)

日程：2017.11.30-12.1

場所：埼玉県、理化学研究所 大河内記念ホール

https://www.neuroinf.jp/modules/nbni/2017/index.html?ml_lang=ja

平成 29 年度 共催・協賛・後援イベント

第 3 回 NIPS 読み会・関西

日程：2017.3.18

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/58019>



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
2017 年 10 月発行