

報 告

2018 年度時限研究会実施報告 脳科学若手の会第 10 回合宿 「若手脳研究者に向けたレクチャー&ワークショップ合宿 ～脳と人工知能の情報表現, データ解析からモデル構築まで～」

脳科学若手の会第 10 回合宿運営スタッフ (五十音順)

赤 尾 旭 彦, 川 端 政 則, 小 山 雄 太 郎, 長 野 祥 大,
速 水 琢, 三 須 宏 武, 八 木 佐 一 郎, 山 下 愛 博

脳科学若手の会 (<http://brainsci.jp/>)

去る 2018 年 3 月 17 日 (土) ~18 日 (日) の 2 日間, 脳科学若手の会及び日本神経回路学会, 加藤バイオサイエンス振興財団の主催により, 「脳科学若手の会第 10 回合宿」をリフレフォーラムにて開催いたしました. この合宿は「脳科学・神経科学関連領域の若手研究者が互いの分野の壁を越えて共に学び合い, 交流するための場所を提供する」という目的の下, 毎年春に開催している合宿形式の研究会です. 今回の合宿は「脳と人工知能の情報表現, データ解析からモデル構築まで」をテーマとし, 理研 BSI システム神経生理学研

究チーム チームリーダーの藤澤茂義先生にご講演いただき, 京都大学 情報学研究科 教授の神谷之康先生にワークショップを行っていただきました. 定員を超える数の応募があり, 高校三年生からポスドク・助教までの幅広い年代の 44 名の方にご参加いただきました (図 1, 図 2). 本合宿には, 小原医科産業株式会社様, 室町機械株式会社様, ミユキ技研様から広告協賛を頂戴致しました.

脳科学若手の会は, 様々なバックグラウンドを持つ若手研究者の交流を目的に 2008 年 6 月に発足しました. 現在では全国に支部があり, それぞれの地域で精力的に活動しています. 近年では, 生化学若い研究者の会や生物物理若手の会, 分子科学若手の会といった他の若手の会とも連携し, 合同セミナーを定期的で開催しています. 本合宿は脳科学若手の会のメインイベントであり, 全国から集った参加者が互いに刺激し合

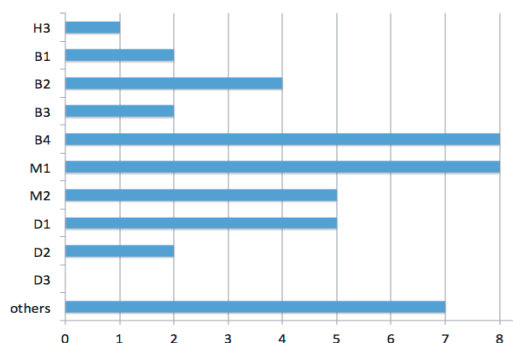


図 1 参加者の学年分布

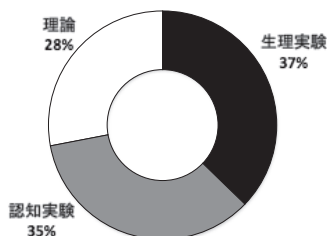


図 2 参加者の学術分野分布

表 1 合宿スケジュール

1 日目 (3 月 17 日 (土))	
12:30 ~ 13:00	受付
13:00 ~ 14:00	自己紹介
14:00 ~ 16:00	藤澤先生ご講演
16:30 ~ 19:30	神谷先生ご講演
19:30 ~ 21:00	夕食・入浴
21:00 ~ 24:00	ポスター発表・懇親会
2 日目 (3 月 18 日 (日))	
8:00 ~ 9:00	朝食
9:00 ~ 12:00	ワークショップ
12:00 ~ 13:00	昼食
13:00 ~ 14:00	ワークショップ発表
14:00 ~ 15:00	ワークショップ総括
15:00 ~ 16:00	閉会



写真 1 藤澤茂義先生による講義の様子

い、若手研究者同士のネットワークを広げるための場となっています。

今年の合宿は表 1 のスケジュールに沿って行われました。参加者全員の自己紹介の後、まずは藤澤先生によるご講演が行われました。藤澤先生には、「海馬における時間・空間情報の表現」というタイトルでご講演を行っていただきました（写真 1）。

記憶や海馬についての基礎知識から講義は始まりました。記憶は、ある日時や場所などに付随した主観的な経験に関するエピソード記憶と事物の名称などに関する意味記憶の 2 つに大別されます。てんかん患者であった HM 氏から海馬を切除したところ、エピソード記憶ができなくなった事例を発端として、海馬は記憶に関連する脳部位だと言われるようになりました（WB Scoville and B Milner, *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*, 1957）。一方、海馬には女優のジェニファー・アニストンの顔や名前にのみ反応するニューロンが見つかっており、意味記憶にも関連することが示唆されています（RQ Guiraga, et al., *Nature*, 2005）。さらに、海馬には特定の場所のみ反応する場所細胞が存在することも分かっています（J O'Keefe, *Experimental Neurology*, 1976）。これらの結果から海馬には、外的な刺激を基にした主観的な表象である認知地図があるのではないかという仮説が立てられました。認知地図は 1948 年に EC. Tolman が提唱した概念で、迷路を学習したマウスは最短経路が塞がれてもすぐに他のルートを探すことができたことから、脳内には学習に利用可能な過去の経験が蓄積されていると考えられています。

動物の行動から記憶表現を探る方法として、迷路課題を解かせることが考えられます。迷路上の位置や通っ

た経路を表現する細胞が存在すれば、それぞれエピソード記憶や意味記憶を表現していると考えられます。藤澤先生は、迷路課題を用いて海馬に認知地図が存在することを示すためには以下の 3 つの条件が必要だと述べられました。

- ① 外部からの刺激に応答しているだけではなく、内的に構成された表現を持つ。
- ② 地図の情報をを用いて経路の情報を再構成できる。
- ③ 他者や物体を地図上に投射できる。

①については、2005 年に J. O'Keefe らが行った実験で示されています。四角い箱と丸い箱の中で場所細胞を形成させたラットを、四角から丸に徐々に形状が変化する箱の中に入れると、途中の段階で新たに場所細胞が形成されるのではなく、ある形状を境にして事前に学習した四角い箱での情報表現から丸い箱での情報表現に切り替わることが確認されました（TJ Wills, et al., *Science*, 2005）。このことから、場所細胞は壁の模様などの外部刺激依存ではなく、内的に保持されている表現に依存して形成されていることが示唆されました。

②については、ラットの休息中に海馬で生じるリップル波の中で今まで歩いた経路中やこれから歩く経路中の場所細胞が順番に発火する現象（リプレイ、プリプレイ）が確認されたことから、場所細胞を組み合わせた経路の表現の存在が示唆されています（BE Pfeiffer and DJ Foster, *Nature*, 2013）。

藤澤先生は、まだ示されていない③の条件を調べる為に、T 字迷路の中を 2 匹のラットに歩行させ、先行したラットが曲がった方向と同じまたは違う方向を後攻のラットに選択させる他者観察課題を構築されました（T Danjo, et al., *Science*, 2018）。どちらの方向を正解とするかはセッションの前半と後半で切り換え、それぞれの課題における情報表現の違いを同一ニューロンで比較しました。この 2 つの表現を比較することで、そのニューロンが他者（先行したラット）の位置を表現しているのか自分の将来の位置を表現しているのかを区別することができます。解析の結果、海馬には自分の位置・他者の位置・両方を表現しているニューロンがそれぞれ 70%・20%・8% の割合で存在することが分かりました。これらの場所を表現しているニューロンの活動から、自分の位置や他者の位置をデコードすることもできました。海馬に表現されている場所の情報の中に他者の位置の情報も存在していることが示され、認知地図仮説を強く支持する結果となりました。

最後に、海馬における場所以外の情報表現を探った研究について紹介されました。ラットに 2 種類の音と

2 種類のおいを組み合わせて順番に呈示し、呈示された組合せに応じて左右のレバーを選択させる組合せ弁別課題を行わせ、課題中に海馬から細胞外記録を行いました (S Terada, et al., Neuron, 2017). その結果、海馬には匂いや音を特異的に表現しているニューロンと左右の選択を表現しているニューロン、これらの組合せを表現しているニューロンが存在することが分かりました。しかも、これらのニューロンは海馬で生じている θ 波の位相にロックして発火していました。特に、左右を表現しているニューロンは、実際に選択を行う前の刺激提示時点から発火しており、将来の自分の行動を予測するような活動をしていることが示唆されました。

*

次に、ワークショップの導入として神谷先生が「脳情報のコーディングとデコーディング」というタイトルでご講演されました (写真 2)。Theoretical Neuroscience (P Dayan and LF Abot, The MIT Press) の 2~3 章に沿いつつ、ニューラルネットワークの基礎から最先端までが概観できるように構成されていました。

初期視覚野には方位選択性を持つニューロンが存在することが知られており、ニューロンはこのような特定の特性を持ったフィルタを通して入力刺激を符号化 (エンコーディング) する情報処理ユニットであるといえます。そのため、脳における情報処理を理解するためにはこのフィルタ特性を明らかにすることが重要であり、与えられた画像とニューロンの活動から受容野の構造を推定することはエンコードモデルの

同定と呼ばれます。入力される刺激に対してニューロンが常に同じ受容野を維持していることを仮定すると、ニューロンの発火した時点における画像を平均加算することでそのニューロンが反応している情報を推定することができます (Spike-triggered averaging)。

単純型細胞の受容野は、ON 刺激に応答する部分と OFF 刺激に応答する部分が混在しており、ガボールウェーブレットによって記述できる形状をしていることが知られています。STA によって推定した単純型細胞の受容野はガボール関数と一致します。複雑型細胞の受容野は傾きと空間周波数が同じで位相のみが異なる 4 つ以上の単純型細胞の組合せによって決定されることが示されています。それぞれのニューロンが特定の情報のみを表現しているとなると、多様な情報を保持する為には複数のニューロンの情報を統合する必要があります。例えば、コオロギは腹部末端にある感覚毛の動きに合わせて介在ニューロンが反応することで風向を感知しています。それぞれの介在ニューロンは特定の風向に強く反応し、向きがずれるとサインカーブ状に反応が減弱していきます (Tuning curve)。そのため、個々の介在ニューロンの反応は最適方位と風向の内積に比例します。この性質を利用することで、最適方位が異なる複数の介在ニューロンの活動の総和から風向を求めることができます (population vector)。この性質を利用すると簡単な計算で脳活動から外界の情報をデコーディングすることができますが、対象が方向の推定に限られるモデルベースの手法と言えます。

より一般的な枠組みとしては、尤度を最大化する刺激を求める最尤推定や、事後確率を最大化する刺激を求める MAP 推定、損失関数の期待値を最小化する刺激を求めるベイズ推定があります。これらの手法では、それぞ



写真 2 神谷之康先生による講義の様子



写真 3 ワークショップの様子



写真 4 集合写真

れのニューロンの刺激に対する Tuning curve をガウス分布、発火頻度のばらつきをポアソン分布と仮定することで推定値を解析的に求めることができます。さらにこれらの手法では、尤度から計算されるフィッシャー情報量の逆数から推定値の分散の最小値を知ることができるため、データから計算された推定値の分散を基に推定の精度を測ることができます。

最後に、人工知能研究が脳科学から学ぶべきことについてお話いただきました。これまで、樹状突起で情報を受けて統合した結果が閾値を越えたら軸索を通じて情報を出力するというニューロンの構造を基に人工ニューラルネットの基礎が構築されました。また、特定の点に反応するニューロンの情報を集約することで特定の位置の線分へ応答する単純型細胞や、さらにそれらの情報を集約することで位置に不変な線分へ応答する複雑型細胞などの初期視覚野で知られる知見を基に畳み込みニューラルネットワーク (CNN) が生まれました。最近では、これらの深層学習技術を用いて、コンピュータに様々な画像の弁別をさせることが可能になってきています。この手法を応用することで、初期視覚野以降の高次視覚野における情報表現を探ることも可能になってきています (T Horikawa and Y Kamitani, Front. Comput. Neurosci., 2017)。神谷先生は、脳の構造にインスパイアされたニューラルネットの手法を用いて脳の機能をさらに調べてモデル化し、人工知能研究もさらに発展させていくというフェードバックループを実現させたいと述べてご講演を終えられました。

ご講演の後、7つのグループに分かれてワークショップが行われました (写真 3)。ワークショップは、既に多数の画像を学習済みの AlexNet を脳と見立てて、それぞれのユニットや中間層などの情報表現を調べるというものでした。1 日目は、参加者全員が自分でプログラムを書き Python や AlexNet の扱いに慣れることを目標として、各ユニットの Tuning curve を求める方法を TA の方が講義して下さいました。TA は神谷研の学生の村上晃さんと白川健さんが務めて下さいました。プログラミングに初めて触れる参加者もいましたが、TA の方々の丁寧な指導によってほぼ全員が Tuning curve を描くことができました。

2 日目は、班毎にテーマを決めてハッカソン形式でワークショップを行いました。ある班では、人間には全く同じ物体を表した画像に見えるのに、AlexNet に識別させると全く別のものとして認識するように、画像を加工できないかということを考えました。AlexNet では高次の層になるほど抽象的な画像を表現しているため、元の画像とは別の画像を識別しているときの高次層での特徴量を元の画像に付加することで、人間にはほぼ同一の画像に見えるにもかかわらず AlexNet では全く別のものとして認識させることができました。多くの班が、中間層で表現されている画像特徴の抽出に成功し、各々が立てた目標を達成していました。今回の神谷先生のご講義とワークショップの資料は、神谷先生のご厚意によってインターネット上に公開されておりますので、ご興味のある方は是非ご参照ください (<https://goo.gl/mu4EUX>)。

今回の合宿は、脳と人工知能における情報表現の共通点と相違点を基礎から最新の知見まで概観できるようになっており、脳科学分野と人工知能分野のそれぞれの方がどのように連携したら良いかを考える良い機会になったのではないかと思います。1日目の夜に行った懇親会・ポスターセッションでは夜通し活発な議論が行われ、合宿のコンセプトであった参加者同士の交流も十分になされていました。

脳科学若手の会は2018年で創立10周年を迎えまし

た。今後も若手研究者を対象にした学生主体による研究会を定期的に開催し、脳科学分野の興隆に貢献できればと考えております。末筆ではございますが、今回の合宿の実施にあたりましてご協賛をいただきました加藤バイオサイエンス振興財団や日本神経回路学会、企業の皆様に重ねて御礼申し上げます。そして、合宿参加者の皆様および講師・TAの先生方にも改めて御礼申し上げます。ありがとうございました。