

機械の脳で読み解くヒトの脳

～ AI と脳情報解析技術の融合による脳メカニズム理解～

Decoding the human brain through machine brains

- Unraveling brain mechanisms through integration of AI and neural information analysis techniques -



NTT コミュニケーション科学基礎研究所 人間情報研究部

堀川 友慈

Tomoyasu Horikawa

●プロフィール

NTT コミュニケーション科学基礎研究所 人間情報研究部 感覚表現研究グループ 特別研究員。2013年奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・博士課程単位取得退学。同年博士取得(理学)。2013年より株式会社国際電気通信基礎技術研究所にてfMRIを用いたヒトの心的イメージのデコーディング研究に従事。2021年にNTTに入社以来、深層学習などのAI技術を用いた脳情報解析技術の開発と応用研究に従事。

脳活動から情報を解読するブレイン・デコーディングの技術の進歩により、ヒトの心の状態を脳から読み取るマインドリーディングが高い精度で実現可能になりつつあります。講演者はこれまで、深層学習などのAI技術を利用して、脳活動から夢や想像、注意に関わる心的イメージの情報を解読する研究を進めてきました。本講演では、これらの研究を概観するとともに、画像・音声・テキスト情報処理など、実社会の多様な情報処理課題でその有効性を発揮しつつあるAIの技術が、私たちの心を生み出す脳の仕組みの理解にどのように活用できるかについて、今後の課題や展望を交えて議論します。

脳情報を解読するブレイン・デコーディング技術

脳は私たちの心や身体の状態に応じてさまざまな活動を示します。観測される脳活動パターンの違いを機械に学習させることで、脳に表現されている知覚内容や認知・運動状態、心的内容の情報を解読する技術は「ブレイン・デコーディング」(以下、デコーディングと略記)と呼ばれています。この技術は、解析対象とする脳部位に解読対象の情報が表現されているかを検証するツールとして、fMRI (functional magnetic

resonance imaging)などを用いた脳イメージング研究において広く利用されるようになってきました。また、脳とコンピュータを直接つなぎ、身体運動を介さずに機械の操作や意思伝達を可能とするブレイン・マシン・インターフェイスの基盤技術ともなっており、身体の制約を受けないコミュニケーションを実現とする未来の情報通信技術として期待が持たれています。

AIの技術を用いた心的イメージのデコーディング研究

講演者はこれまで、さまざまな視覚体験に伴う心的イメージの情報を脳から解読するデコーディング技術の研究開発を進めてきました(図1, [1-5])。特に、深層ニューラルネットワーク(deep neural network, DNN)をはじめとするAIの技術とデコーディング技術を組み合わせる解析アプローチの開発を進め、夢や想像、注意に関わる心的イメージの情報が、私たちの脳内でどのように表現されているのかを研究してきました。具体的には、ヒトが画像を見ているときの脳活動から、同じ画像を入力として与えたときのDNNモデルの出力を予測(デコード)することで、fMRI脳計測信号パターンをDNNの信号パターンに変換可能であることを発見し、人工的な脳モデルで

あるDNNが、ヒト脳の視覚野と類似した階層的視覚情報表現を有することを明らかにしました[3]。また、脳活動からDNN信号への信号変換を介して脳活動から任意の物体情報の解読が可能であることを示しました。これにより、想像や夢の心的イメージが脳内で知覚と同様の階層的視覚特徴によって表現されていることを明らかにしました(図1左、[3,4])。さらに、脳活動から変換したDNN信号を画像再構成アルゴリズムで処理することで、ヒトが見ている画像や想像している画像、重ね合わせた2枚の画像のうち注意を向けている方の画像を脳活動から再構成(可視化)できることを示しました(図1中央と右、[1,2])。

このように、夢や想像、注意に関わる情報など、元来本人にしかアクセスできないと考えられていた心の情報を脳から読み出す「マインドリーディング」の技術は、私たちの主観的意識体験に関わる心の情報をデジタル化し、定量的に調べることを可能にします。この技術を活用すれば、心的イメージを生成することに困難を持つ「アファンタジア」という特質を持つ人々の脳の特性の解明など、新たな応用研究にも役立てることができるともありません。

AIと脳情報解析技術の融合による脳メカニズム理解のための今後の展望と課題

視覚を中心に大きな発展を遂げてきたデコーディング研究ですが、今後さらに多様な感覚・認知情報処理に関わる脳データ解析への展開が可能になると考えられます。特に、近年のAI技術の発展に伴い、視覚以外の感覚モダリティや高次の認知情報処理課題に対しても高い性能を発揮し、脳の情報表現とも高い類似性を持つAIモデルの開発が進んでいるため、AI技術と脳情報解析技術のさらなる協調的発展が期待さ

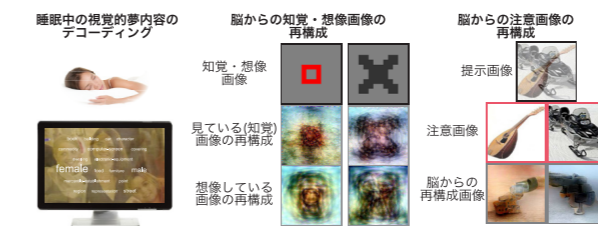


図1：脳からの心的イメージのデコーディング研究

れます(図2)。例えば、聴覚や触覚の信号を扱うDNNモデルがヒトの行動や脳の特性と高い類似性を示すことが報告されているため、これらのモデルの内部表現を活用することで、聴覚や触覚の知覚体験に関わるより詳細な情報を脳から解読できるようになるかもしれません。また、自然言語処理分野で高い性能を発揮している深層言語モデルは、ヒトの言語課題中の脳活動をよく説明できることが示されており、これらのモデルを利用してヒトが聞いている音声スピーチの内容を脳活動から再構成する試みもすでに進められつつあります。

一方で、AI技術を用いたデコーディング研究においては、脳から解読した情報を修飾することで、脳が実際に有している情報の忠実さや正確さをよそに過度に華美な出力を生成できてしまう、という側面に注意をする必要があります。例えば、脳からの視覚像再構成研究では、敵対的生成ネットワークや拡散モデルなどの画像生成モデルを用いることで、写真のようにリアルな画像を脳から生成できることが最近の研究で示されています。しかし、生成モデルがもつバイアスによって、脳に表現されていないような情報も生成されてしまうことがあり得ます。応用を目的として脳の情報を解釈しやすい形で取り出すことには重要な意義がある一方で、生成結果に基づいて脳に表現される情報を探るためには、生成結果のどこまでが脳の情報に基づいていて、どこからがAI技術により付加されたものなのか慎重に吟味する態度が重要であるといえます。

本講演では、デコーディング技術を用いて脳のもつ可能性を最大限に引き出しつつ、同時に私たちの心を生み出す脳の仕組みについて正しく理解するために、どのように技術と向き合っていくべきか、講演者自身の経験を交えてお話しする予定です。

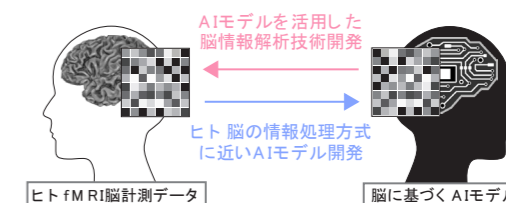


図2：AIと脳情報解析技術の融合による脳メカニズム理解

●参考文献

[1] T. Horikawa, Y. Kamitani, "Attention modulates neural representation to render reconstructions according to subjective appearance," *Commun. Biol.* Vol. 5, No. 34, 2022.
 [2] G. Shen, T. Horikawa, K. Majima, Y. Kamitani, "Deep image reconstruction from human brain activity," *PLoS Comput. Biol.* Vol. 15, e1006633. 2019.
 [3] T. Horikawa, Y. Kamitani, "Generic decoding of seen and imagined objects using hierarchical visual features," *Nat. Commun.* Vol. 8, No. 15037, 2017.
 [4] T. Horikawa, Y. Kamitani, "Hierarchical neural representation of dreamed objects revealed by brain decoding with deep neural network features," *Front. Comput. Neurosci.* Vol. 11, No. 4, 2017.
 [5] T. Horikawa, M. Tamaki, Y. Miyawaki, Y. Kamitani, "Neural decoding of visual imagery during sleep," *Science*, Vol. 340, pp. 639-642, 2013.