

脳神経情報に基づく視覚体験の可視化技術の開発

研究代表者

林 隆介 産業技術総合研究所 システム脳科学研究グループ



1. 研究の背景と達成目標

ALS 発症などにより重度の運動麻痺となった患者の生活支援技術として、残存する脳機能を各種デバイスの制御に利用するブレイン・マシン・インタフェース(BMI)技術が注目されている。我々の意思や要求の多くは視覚的に表象できることから、これをBMI技術によって直接可視化することができれば、再び他者とのコミュニケーション手段を取り戻すことができ、生活の質が大幅に向上すると期待される。同技術の実現は、障害者支援のほか、より汎用的な対人コミュニケーションや対デバイスインタフェースとして幅広い分野での利用が考えられる。

こうした革新的技術の実証実験として、本研究では、ヒトと同等の視覚機能を有するマカクザルの視覚野から、完全埋め込み型マイクロ電極アレイを用いて、神経活動電位を広範囲かつ高密度に同時記録することを目指した。そして、神経信号から視覚情報への変換を機械学習的手法によってモデル化することにより、神経活動データだけから、サル現在の視覚体験を推定し、可視化する情報処理技術の開発を目標とした。

2. 主な研究成果と社会、学術へのインパクト

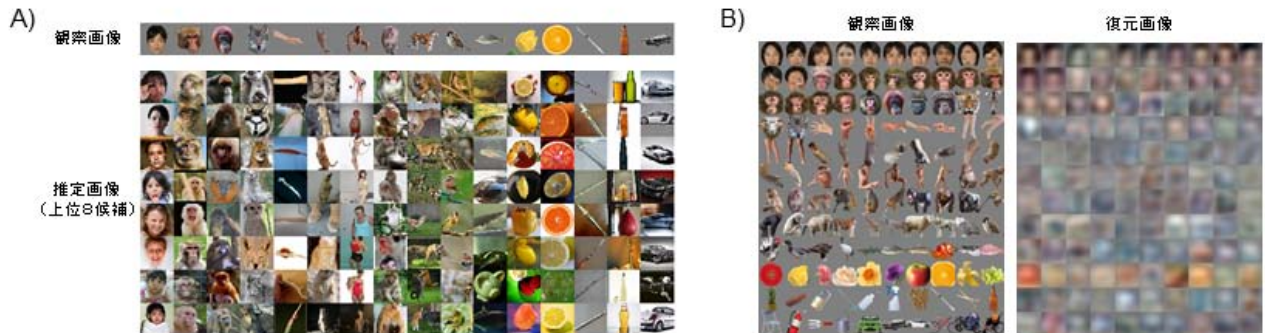
- マカクザルの下側頭葉(TE野)にアレイ型電極を多数埋め込み(電極総数224本)、サルが物体画像を観察する際に誘発される神経細胞群の活動電位を同時記録することに成功した。こうした計測技術は、難度の高い脳外科技術と最新の計測システムを必要とするため、日本国内では、本研究において他に知られておらず、TE野に埋め込んだ電極数としては、世界最多を実現した。
- 神経活動データから観察画像を可視化するアルゴリズムとして、ディープ・ニューラルネットを用いた復号化手法を開発した。最先端の人工知能技術である、ディープ・ニューラルネットをいち早く神経科学研究に取り入れ、世界にさきがけてBMI技術に応用した点で特筆される。開発手法は、見ている画像の物体カテゴリ情報を正確に復元できることが明らかになり、有用性が実証された。

3. 研究成果

視覚物体認識に関わる情報は、下側頭葉の各視覚領野を経由して階層的に処理され、TE野に至ることが知られている。そこで、TE野に400 μ m間隔で配列された約100本の電極からなるアレイ型電極を計3個(電極総数224本)埋め込み、120種類の物体画像を観察中に誘発される神経細胞群の活動電位を同時記録した。

そして、最先端の物体認識性能をもつ、多層の畳み込みニューラルネットを使って、観察画像を特徴量表現に変換することにより、神経活動のパターンベクトルと入力画像の特徴量表現ベクトルとの間の写像関係が、リッジ回帰によってモデル化できることを明らかにした。この回帰モデルを利用すれば、新規の神経活動データであっても、そのときに観察していた画像の特徴量表現が推定でき、大規模画像データベースの中から類似特徴量をもつ画像の抽出により可視化することに成功した。図1Aは、同手法によって、神経活動データから推定した観察画像をしめしており、とりわけ物体カテゴリの情報が精度高く復号化できていることが確認できる。この他、多層畳

み込みニューラルネットによる符号化情報処理の逆変換を、別のニューラルネットを使って学習することにより、大まかな形状と色情報を直接復元するアルゴリズムを開発した（図1B）。



4. 今後の展開

現在までの開発技術により、神経活動データから物体カテゴリの情報は復元できたものの、文脈や情景を含めた視覚体験の復元が実現していない。画像の文脈理解の問題を解く鍵として期待されるのが、画像処理と自然言語処理を統合した人工知能技術である。画像認識用ニューラルネットと、テキスト解釈用ニューラルネットを直接結合し、画像と文章が指し示す概念を共通空間内で表現することにより、画像を入力したとき、文脈に相当する極めて正確な説明文／キャプションを自動生成する技術が確立しつつある。画像-テキスト統合型ニューラルネットワークを利用して、画像-神経-テキスト間の表象関係を機械学習することにより、視覚体験の文脈内容を言語化して出力する技術開発を行いたいと考えている。

5. 発表実績

[Proceedings]

- R. Hayashi, S. Nishimoto, “Decoding visual information in monkey IT cortex using deep neural network”, *Proceedings of Life Engineering Symposium 2013 (LE2013)*, pp.511-514, 2013.

[特許]

- 特願 2014-142389 林 隆介「画像検索装置と画像検索プログラムと画像検索方法」2014年6月10日
- 特願 2014-209241 林 隆介「頭蓋骨固定装置」2014年10月10日

[学会発表]

- R. Hayashi, S. Saga, “Classification of hand shapes for dexterous control of a five-fingered robot hand using neural signals in the macaque inferior temporal cortex”, *Neuroscience 2014*, Washington DC, USA, Nov 16, 2014.
- R. Hayashi, S. Nishimoto, “Image reconstruction from neural activity via higher-order visual features derived from deep convolutional neural networks”, *Neuroscience 2013*, San Diego, USA, Nov 12, 2013. 他

[学術講演]

- 林 隆介, 「脳内視覚情報処理における物体表現の理解を目指して: Deep neural network の利用とブレイン・マシン・インタフェースへの応用」, 第9回全脳アーキテクチャ勉強会:「実世界に接地する言語と記号」, 東京, 2015年.
- 林 隆介, 「Deep convolution network を用いた脳の視覚情報処理の理解と今後の展望」, 日本神経回路学会主催セミナー「Deep learning が拓く世界」, 東京, 2014年.
- 林 隆介, 「ディープ・ニューラルネットワークを利用した視覚神経信号の復号化とその応用」, 神経科学と統計科学の対話4, 東京 統計数理研究所, 2014年. 他