

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料
〔平成30年度研究進捗評価用〕

平成27年度採択分
平成30年3月12日現在

心的イメージの神経基盤の解明
Neural Basis of Mental Images

課題番号：15H05710

神谷 之康 (KAMITANI Yukiyasu)

京都大学・大学院情報学研究科・教授



研究の概要

外界を表象するイメージはわれわれの心の状態を構成するもっとも重要な要素の一つである。イメージは刺激によって誘発されるだけでなく、想起や記憶、睡眠中の夢でも生じる。本研究課題では、脳情報デコーディング法を用いて、さまざまなイメージに共通する神経基盤を解明し、内的イメージを可視化する方法を開発する。

研究分野：情報学

キーワード：脳認知科学

1. 研究開始当初の背景

心的イメージは外界からの刺激によって誘発されるだけではなく、記憶や自発的想起、睡眠中の夢でも生じる。これらのイメージの現象的類似性は共通の神経基盤の存在を示唆するが、その実体は明らかではない。

われわれのグループは世界に先駆けて脳イメージング信号から心的内容を解読する脳情報デコーディング法を開発してきた。脳情報デコーディングとは、従来の脳機能マッピングと異なり、機械学習によるパターン認識を用いて脳活動パターンを解析し詳細な心的内容を解読（デコード）するアプローチである。これまでに、機能的磁気共鳴画像（fMRI）から方位や運動方向などの視覚特徴を解読することに成功したほか、知覚像の再構成や睡眠中の夢内容の解読が可能であることを示した。

これらの研究は、デコーディングを通して、異なる種類のイメージ間で共通する脳情報表現を検出し、内的イメージを可視化できることを示唆している。

2. 研究の目的

これまでの研究で調べられてきたのは、イメージの脳情報表現の一端にすぎない。以下のような興味深い問いが未解決である：

- ・物体カテゴリー以外のイメージの内容（コントラスト、形、アクション、情動等）についても、知覚、想起、夢の間で脳活動パターンの共通性があるか？
- ・複数の脳部位でイメージがどのように表

現・処理されているか？

- ・多様な脳情報表現を用いて、内的イメージを可視化することは可能か？

これらの解明を通して、心的イメージの脳内表現と情報処理過程を理解することを目指す。

3. 研究の方法

本課題では、知覚課題および睡眠中の脳活動に加え、想起課題や記憶課題、自発的想起時等、さまざまなイメージを伴う心的状態における脳活動を、主としてfMRIおよび皮質脳波（ECoG）を用いて計測し、脳活動パターンを解析する。これまでの研究で対象とされてきた物体カテゴリー情報だけではなく、イメージの低次特徴（コントラストや形）、中間特徴（視野位置や回転に対する不変性をもつ特徴）、運動や行為、情動に関する内容にも注目する。イメージタイプごとのデコード精度やイメージタイプ間の汎化精度を調べることで、各脳部位やイメージ特徴について、脳情報表現の類似性と相違を定量化する。また、多様な情報表現を計算モデルを利用して統合することで内的イメージを可視化する。

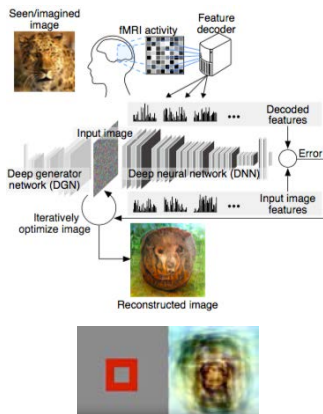
4. これまでの成果

（1）夢の脳内表現を、刺激に誘発される知覚、および、トップダウン的に生成される想起と比較した調べた結果、高次視覚野において、知覚と想起のどちらも共通する脳活動パターンによって表現されていることがわかった。また、視覚野以外の脳活動部位でも、

共通する脳情報表現を示唆する結果が得られた (Hosokawa, Horikawa, Kamitani, *in preparation*)。

(2) 深層ニューラルネットワーク (deep neural networks, DNNs) を含む複数の計算モデルとデコーディング解析を組み合わせ、想起課題中、および、夢見中の脳活動から視覚内容の階層的視覚特徴を予測することができることを示した。また、想起中には、高次から低次へと逐次的に視覚特徴表現が現れることがわかった (Horikawa, Kamitani, *Nature Communications* 2017, *Frontiers in Computational Neuroscience* 2017)。

(3) 画像を想起している時の脳活動パターンを、(2) で開発した方法を利用して多階層 DNN 信号パターンに変換した。この DNN 信号を画像最適化アルゴリズムで処理することにより、想起内容を画像として再構成することに初めて成功した (Shen et al., *bioRxiv* 2017, 2018)。



図：イメージ再構成アルゴリズム (上) と再構成の例 (下、左：想起画像、右：再構成)

<https://www.youtube.com/user/ATRDNI/>

(4) その他、運動内容のデコーディング、REM 睡眠データ取得のための実験系開発、および、皮質脳波 (ECoG) と行動データを同時に記録するライフログ計測のセットアップを進めた。上記アプローチを、連想記憶に伴うイメージの脳活動解析 (Nakahara et al., *Nature Communications* 2017) や幻肢腕の運動イメージの解読 (Yanagisawa et al., *Nature Communications* 2016) に応用したほか、開発した解析手法を、サルの視覚脳表現・マウスの運動脳表現の同定や、活動量推定、ヒトの脳磁図 (MEG) を用いたブレイン・マシン・インターフェースの構築に利用した。脳活動・行動データ時系列を共有するためのデータベースプラットフォーム “Brainliner” を構築し、論文発表済みのデータをこのデータベース上で公開した。

5. 今後の計画

これまでの成果にもとづき、REM 睡眠中の急速眼球運動に伴うイメージや自発的な想起に関する研究を進める。深層ニューラルネットワーク (DNN) を利用した解析法が当初の予想以上に強力であることが判明したため、積極的にその強みを活かすべく各プロジェクトに取り入れ、より詳細なイメージ内容を解読する方法を開発する。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

堀川友慈, 神谷之康. テレコムシステム技術賞 (第 33 回). 公益財団法人電気通信普及財団 (2018).

Shen, G., Dwivedi, K., Majima, K., Horikawa, T., Kamitani, Y. End-to-end deep image reconstruction from human brain activity. *bioRxiv* 272518 (2018).

Shen, G., Horikawa, T., Majima, K., *Kamitani, Y. Deep image reconstruction from human brain activity. *bioRxiv* 240317 (2017).

Horikawa, T., Kamitani, Y. Generic decoding of seen and imagined objects using hierarchical visual features. *Nature Communications* 8, 15037 (2017).

Horikawa, T., Kamitani, Y. Hierarchical neural representation of dreamed objects revealed by brain decoding with deep neural network features. *Frontiers Computational Neuroscience* 11, 4 (2017).

Yanagisawa, T., Kamitani, Y., et al., BCI Award 2017, 3rd Place. (2017).

Nakahara, K., Adachi, K., Kawasaki, K., Matsuo, T., Sawahata, H., Majima, K., Takeda, M., Sugiyama, S., Nakata, R., Iijima, A., Tanigawa, H., Suzuki, T., Kamitani, Y., Hasegawa, I.

Associative-memory representations emerge as shared spatial patterns of theta activity spanning the primate temporal cortex. *Nature Communications*. 7, 11827 (2016).

Yanagisawa, T., Fukuma, R., Seymour, B., Hosomi, K., Kishima, H., Shimizu, T., Yokoi, H., Hirata, M., Yoshimine, T., Kamitani, Y., Saitoh, Y. Induced sensorimotor brain plasticity controls pain in phantom limb patients. *Nature Communications* 7, 13209 (2016).

神谷之康. 大阪科学賞. 大阪府・大阪市および一般財団法人大阪科学技術センター (2015).

ホームページ等

<http://kamitani-lab.ist.i.kyoto-u.ac.jp>