

平成 30 年 6 月 26 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26330172

研究課題名(和文)脳情報復号化技術を用いた視覚野における触覚情報表現の解明

研究課題名(英文) Study of tactile information representation in the visual cortex using neural decoding techniques

研究代表者

宮脇 陽一 (Miyawaki, Yoichi)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号：80373372

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：閉眼下において触覚刺激を触るだけでも第一次視覚野に脳活動が生じることが先行研究によって示唆されている。そこで本研究では、触覚刺激時に生じる第一次視覚野の脳活動に、触覚刺激の情報が表現されているのかを脳情報復号化技術を用いて検証した。その結果、健常者であっても触覚刺激時に第一次視覚野が活動することは確かであったが、その脳活動からの触覚刺激のデコーディング成績はいずれの被験者においても低く、統計的に有意ではなかった。以上の結果は、少なくとも本研究で用いた触覚刺激の範囲においては、触覚刺激時に生じる第一次視覚野の脳活動は触覚刺激の情報を含んでおらず、刺激非特異的なものである可能性を示唆している。

研究成果の概要(英文)：Previous studies suggest that the primary visual cortex can be activated by touching tactile stimuli while participants are closing their eyes. In this study, we investigated whether the activation in the primary visual cortex induced by tactile stimulation represents tactile stimulus information using neural decoding techniques. Results showed that the primary visual cortex was activated by tactile stimulation even for normal sighted participants but tactile stimulus prediction from the activity in the primary visual cortex was not statistically significant for all participants. These results suggest that the activity in the primary visual cortical evoked by tactile stimulation might not contain tactile stimulus information, at least with regard to types of tactile stimuli used in our experiments.

研究分野：神経科学

キーワード：脳・神経 認知科学 脳機能計測 機械学習 クロスモーダル

1. 研究開始当初の背景

大脳後部に位置する視覚野は、眼から入力された視覚情報を処理する脳部位であるというのが従来の定説である。しかし、盲人においては、点字刺激を触っているときにも視覚野が活動する場合があることが報告されており (Sadato et al., 1996)、また近年においては健常者でも触覚刺激時に視覚野が活動する場合があることが報告されている (Amedi et al., 2001; Merabet et al., 2007)。このような感覚モダリティを超えた (クロスモーダルな) 脳活動が反映する情報には、生物が豊かな自然環境のなかで複数の感覚器からの入力を統合し、あるいは補完しあうことにより、巧みな情報処理を実現するメカニズムを理解するための重要な手がかりが潜んでいる可能性が高い。

一方、我々の研究グループは、脳活動パターンと実験条件との対応関係を機械学習することにより、脳活動パターンに表現された情報を解析する脳情報復号化 (デコーディング) 技術の開発をこれまで行ってきた。とくに機能的磁気共鳴画像 (functional magnetic resonance imaging, fMRI) 装置を用いて計測された視覚野の脳活動パターンから、そこに表現された情報を解読する技術は極めて大きな発展を示している。よって、この技術を触覚刺激時に生じる視覚野の脳活動に適用することにより、そこに表現されている情報を解析可能になることが期待されている状況であった。

2. 研究の目的

こうした背景をもとに、本研究では触覚-視覚の相互作用を対象と設定し、脳活動パターンから情報を読み取る脳情報復号化 (デコーディング) 技術を用いることで、触覚刺激時の視覚野の脳活動パターンにどのような情報が反映されているのかを明らかにし、クロスモーダルな感覚情報の脳内表現様式を解明することを目的とした。

3. 研究の方法

上記の目的を達成するために、大きく分けて以下の研究課題に取り組んだ。

【課題1】視覚野からの触覚情報のデコーディング

本課題では、触覚刺激時の脳活動を fMRI 装置で計測し、計測された視覚野の fMRI 信号に触覚刺激の情報が反映されているかどうかをデコーディングによって検証した。

触覚刺激装置としては、刺激の時空間特徴を厳密に制御可能な高密度高速ピンアレイ型触覚刺激装置を使用した。この装置を示指先端部のみで触る場合、および示指、中指、薬指の3指へと拡大し、知覚的により明瞭な刺激へと変更した。その結果、実験に参加した12名の被験者全てにおいて体性感覚野内での活動増加が確認され、刺激の変更により目的通りの効果を得ることに成功し

かった。実験は閉眼下で実施した。本実験では健常被験者を対象とした。

触覚刺激としては、線分方位刺激を主として用いた。まず、四種類の傾きをもった線分方位刺激を触っている時に生じる脳活動を fMRI 装置で計測し、各刺激条件と脳活動パターンとの統計的対応関係を計算機プログラム (デコーダ) に機械学習させた。次に、このデコーダを学習データと独立したテストデータに適用し、このテストデータがどの刺激条件で計測されたものかを予測した。予測成績が統計的に有意に高ければ、入力した脳活動パターンに触覚刺激の情報が表現されていたことになる。

解析対象とした脳部位は、視覚野と触覚入力を受けている体性感覚野などを主たる関心領域として設定した。さらに、全脳を対象としたサーチライト解析も実施することにより、仮説なしに触覚刺激情報が反映されている脳活動部位を探索することも試みた。

【課題2】視覚-触覚間でのクロスモーダルな情報表現の類似性の検証

視覚野で触覚刺激の特徴量が表現されていたとして、その表現方法が、相同な視覚特徴量の表現と同じなのかどうかを検証することを試みた。

課題1の実験で触覚刺激として与えた線分方位刺激と相同な視覚刺激を被験者に視覚的に観察させ、その際の脳活動を fMRI 装置で計測した。このデータを用いて、まず視覚的に与えた線分方位を視覚野の脳活動から読み取ることができるデコーダを作成した。次にこのデコーダを、対応する触覚刺激を触っている時の視覚野の脳活動に適用し (デコーダの汎化)、提示した触覚刺激の種類が予測できるかを検証した。もし触覚的に与えた特徴量と視覚的に与えた特徴量が類似した脳活動パターンで表現されていれば、視覚刺激に対する脳活動を用いて学習したデコーダが触覚刺激時の脳活動に汎化し、提示した触覚刺激の種類を予測できるはずである。この実験及び解析により、触覚刺激の特徴量がモダリティを超えて共通的に視覚野で表現されているのか、あるいは異なる脳活動パターンで多重独立的に表現されているのかを検証することを試みた。

4. 研究成果

課題1に関しては、研究期間前半においては示指のみを刺激部位として実験を重ねたが、触覚刺激に対して強い脳活動が観察されるべき体性感覚野の脳活動が小さい被験者があり、個人差が大きく出る結果となった。この問題を解消すべく、刺激部位を示指、中指、薬指の3指へと拡大し、知覚的により明瞭な刺激へと変更した。その結果、実験に参加した12名の被験者全てにおいて体性感覚野内での活動増加が確認され、刺激の変更により目的通りの効果を得ることに成功し

た。

この体性感覚野の脳活動を対象として触覚刺激のデコードを試みたところ、被験者平均としては高い予測成績が得られたものの、個人間では差があり、統計的に有意な予測成績が得られたのは12名中9名であった。

同被験者における視覚野の脳活動を解析したところ、12名中7名の被験者において触覚刺激時における第一次視覚野内の脳活動の有意な増加が観察された。第二次視覚野以降の高次視覚野における脳活動変化については個人差が大きく、現在のところ統一的な解釈は得られていない。

この視覚野の脳活動を対象として触覚刺激のデコードを試みたところ、どの被験者からも統計的に有意な予測成績は得られなかった。デコーダとして用いる判別アルゴリズムとしては線形サポートベクタマシンに加え、一般的により高い判別成績が得られるとされる非線形サポートベクタマシン、特徴量の自動選択を可能にするスパースロジスティック回帰なども用いたが、結果に定性的変化は見られなかった。こうした結果が、例えば被験者の課題への集中度や指先への刺激の付加具合などによって生まれる可能性も考えられなくはないが、触覚刺激の弁別成績はどの被験者も90%以上と非常に高いこと、また体性感覚野で脳活動が十分生じており、かつ体性感覚野の脳活動から触覚刺激が予測できる被験者においても同様の結果が得られることから、そうした可能性は低いものと考えられる。すなわちこれらの結果は、仮に視覚野が触覚刺激で活動していたとしても、その活動には触覚刺激の情報が表現されていない可能性を示唆するものであろうと考えられる。

課題2は、視覚野において触覚情報が表現されていたとして、それが視覚野において相同な特徴量を視覚的に表現する様式と似ているかどうかを評価することが目的であったが、そもそも視覚野の脳活動に触覚情報が表現されている可能性が低いので、この課題は検証が難しいものであると推察される。ただし、デコーダが高い予測成績を出すように学習された場合は、汎化がうまくいく場合もありえるので、視覚刺激で学習したデコーダを触覚刺激時の脳活動に汎化させる解析も試みた。しかしながら結果は否定的であり、視覚刺激で学習したデコーダであっても、触覚刺激時の視覚野の脳活動から触覚刺激を予測することは困難であった。

これらの結果を踏まえ、視覚野に限らずに触覚刺激の情報が表現されている脳部位を探索的に調査したところ、体性感覚野に加え頭頂部において、多くの被験者において触覚刺激の予測が可能な部位があった。この部位は、従来研究 (Kitada et al., 2006) において方位情報を含む感覚刺激に対してクロスモーダルに活動するとされる部位とオーバーラップしていた。すなわち、体性感覚野に

加え、この頭頂部の脳活動には本研究で用いた触覚刺激の情報が表現されている可能性が高いと考えられる。

以上の結果を総合すると、従来研究において観察されてきた健常者における触覚刺激時の視覚野の脳活動が、触覚刺激の情報を表現している可能性は低いと考えられる。すなわち、触覚刺激時に変化する視覚野の脳活動は、触覚刺激の(少なくとも方位刺激の)種類には依存しない非特異的な脳活動である可能性が高いものと考えられる。一方、頭頂野など従来研究において触覚刺激時に脳活動が生じるとされた部位からは触覚刺激が有意に予測可能な場合が多いため、これらの部位では触覚刺激の情報表現がなされている可能性があると考えられる。こうした部位での触覚情報表現が体性感覚野のそれとどのように異なるのか、また視覚野における刺激非特異的な脳活動にどのような機能的意義があるのかなどの問題が、今後の研究課題として挙げられる。

<引用文献>

- ① Norihiro Sadato, Alvaro Pascual-Leone, Jordan Grafman, Vicente Ibañez, Marie-Pierre Deiber, George Dold, and Mark Hallett, Activation of the primary visual cortex by Braille reading in blind subjects, *Nature*, vol. 380, pp. 526 – 528 (1996).
- ② Amir Amedi, Rafael Malach, Talma Hendler, Sharon Peled, and Ehud Zohary, Visuo-haptic object-related activation in the ventral visual pathway, *Nature Neuroscience*, vol. 4, pp. 324 – 330 (2001).
- ③ Lotfi B. Merabet, Jascha D. Swisher, Stephanie A. McMains, Mark A. Halko, Amir Amedi, Alvaro Pascual-Leone, and David C. Somers, Combined activation and deactivation of visual cortex during tactile sensory processing, *Journal of Neurophysiology*, vol. 97, pp. 1633 – 1641 (2007).
- ④ Ryo Kitada, Tomonori Kito, Daisuke N. Saito, Takanori Kochiyama, Michikazu Matsumura, Norihiro Sadato, and Susan J. Lederman, Multisensory activation of the intraparietal area when classifying grating orientation: a functional magnetic resonance imaging study, *Journal of Neuroscience*, vol. 26, pp. 7491 – 7501 (2006).

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 3 件)

- ① 宮脇陽一, スパースモデリングを用いたヒト脳活動の解析, システム/制御/情報, vol. 61, pp. 138 - 145 (2017), DOI: 10.11509/isciesci.61.4_138, (査読有) .
- ② Yoichi Miyawaki, Multivariate analysis of magnetic resonance imaging signals of the human brain, Current Topics in Medicinal Chemistry, vol. 16, pp. 2685 - 2693 (2016), DOI:10.2174/1568026616666160413135303, (査読有) .
- ③ 宮脇陽一, 機能的磁気共鳴画像法を用いた神経コードの解析, システム/制御/情報, vol. 59, pp. 353 - 359 (2015), DOI: 10.11509/isciesci.59.9_353, (査読有) .

〔学会発表〕(計 9 件)

- ① 宮脇陽一, 非侵襲脳活動計測を用いた神経情報表現の研究, 日本学術振興会先端ナノデバイス・材料テクノロジー第 151 委員会平成 30 年度第 1 回研究会「生体情報計測: ウェアラブル・脳計測技術の最近の展開」(2018) (招待講演) .
- ② 宮脇陽一, 機械学習を用いた脳機能画像解析と細胞形態解析への応用, Neurovascular Unit 研究会 2018 (2018) (招待講演) .
- ③ Yuta Suzuki, Gowrishankar Ganesh, Yoichi Miyawaki, Investigation of the change of body representation due to a sixth finger, 「脳と心のメカニズム」冬のワークショップ 2018 (2018).
- ④ 宮脇陽一, 神経情報の復号化を用いたヒト脳内における視知覚表象の解明, 第 5 回 MEET Young Cardiologists (2017) (招待講演) .
- ⑤ 宮脇陽一, 機械学習を用いた脳活動解析とヒトの感覚知覚メカニズムの解明, 電気通信大学技術士会総会 (2017) (招待講演) .
- ⑥ 野崎恵, 中谷駿, 衛藤祥太, 高橋陽香, 青木直哉, 角谷基文, 北田亮, 定藤規弘, 神谷之康, 宮脇陽一, 触覚刺激時における第一次視覚野の活動と情報表現の解析, 日本視覚学会 2017 年冬季大会, (2017).
- ⑦ 野崎恵, 中谷駿, 衛藤祥太, 高橋陽香, 青木直哉, 角谷基文, 北田亮, 定藤規弘, 神谷之康, 宮脇陽一, 触覚刺激時における第一次視覚野の活動と情報表現の解析, 第 8 回多感覚研究会 (2016).
- ⑧ 中谷駿, 高橋陽香, 青木直哉, 北田亮, 定藤規弘, 神谷之康, 宮脇陽一, 触覚刺激時におけるヒト視覚野の活動と触覚情報表現, 第 7 回多感覚研究会 (2015).
- ⑨ 中谷駿, 高橋陽香, 青木直哉, 北田亮, 定藤規弘, 神谷之康, 宮脇陽一, 触覚刺激時におけるヒト視覚野の活動と触覚情報表現, 第 25 回日本神経回路学会全

国大会 (2015).

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

該当なし

○取得状況 (計 0 件)

該当なし

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.cns.mi.uec.ac.jp> .

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮脇 陽一 (MIYAWAKI, Yoichi)

電気通信大学・大学院情報理工学研究所・教授

研究者番号 : 80373372

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし

(4) 研究協力者

該当なし