

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：94301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26870935

研究課題名(和文) 画像に対する印象の脳情報デコーディング

研究課題名(英文) Brain decoding of impressions on visual images

研究代表者

堀川 友慈 (Horikawa, Tomoyasu)

株式会社国際電気通信基礎技術研究所・脳情報通信総合研究所・主任研究員

研究者番号：60721876

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：画像観察中に機能的磁気共鳴画像法を用いて計測されたヒトの脳活動を、脳情報デコーディング技術を用いてパターン解析することにより、脳活動パターンから、1)階層的視覚特徴、2)画像の表面特性に関する印象スコア、3)ポジティブ・ネガティブに関する感情価の解読を行った。全脳を網羅的に解析することにより、各視覚特徴や印象項目の予測に有用な脳部位の探索を行った結果、低次・高次視覚特徴はそれぞれ低次・高次の視覚野から、画像の表面特性に関する印象項目は比較的高次の視覚野から、感情価は脳の前頭部から高い予測成績が得られ、印象に関連する多様な視覚情報が脳の広範な部位から解読可能であることが示された。

研究成果の概要(英文)：The brain decoding approach was used to examine whether impressions on visual images can be predicted from human brain activity patterns measured using functional magnetic resonance imaging. The decoding analyses were performed to evaluate the predictability of 1) hierarchical visual features, 2) twelve types of impression scores associated with surface characteristics, and 3) positive-negative scores (valence), which were obtained using computational models and human rating. The analyses suggest that the lower/higher visual features were better predicted from the lower/higher visual areas, the impression scores were successfully predicted from the mid- to high-level visual areas, and the valence score was accurately predicted from the frontal brain areas. These results suggest that the multi-level visual information associated with subjective impressions on visual images can be decoded from human brain activity patterns.

研究分野：神経情報学

キーワード：脳情報デコーディング fMRI 印象 視覚

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、消費者が商品に対して抱く自然な印象や、消費者の無意識の行動をもたらす脳の働きを解明し、マーケティングの現場に活かそうとする「ニューロ・マーケティング」という試みが活発になってきている。従来の研究では、機能的磁気共鳴画像法(functional magnetic resonance imaging; fMRI)を用いて計測した脳活動を調べることで、購買に関わる行動時や、特徴的な商品画像を見たときに、脳のどの部位が活動しているのかを調べる研究が行われていた(Ariely & Berns, 2010)。しかし、これらの試みはいまだ基礎研究の域を出ず、マーケティングの現場で利用可能な知見を得るための、応用研究としての発展に乏しいのが現状であった。

(2) 一方で、fMRIで計測される脳の活動パターンを、機械学習の技術を用いて解析する「脳情報デコーディング技術」の発展に伴い、計測された脳活動信号から、従来以上に詳細な情報を解読することが可能になってきている(Kamitani & Tong, 2005; Miyawaki et al., 2008; Horikawa et al., 2013)。したがって、デコーディング技術を用いて画像観察中の脳活動を解析し、見ている画像に対して被験者が抱く多様な印象を解読することが可能になれば、従来のアンケート調査にかわる新たな印象評定手段を提供できる可能性がある。

### 2. 研究の目的

(1) 本研究課題では、脳情報デコーディング技術を活用し、画像を見ている時の脳活動から、ヒトが見ている画像に対して抱いている多様な印象を予測する技術を開発することを目指す。また、画像から得られる多様な情報に関して、脳からのデコーディング成績を異なる脳部位間で比較することで、それぞれの情報が脳のどの部位に表現されているかを明らかにする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 画像観察時の脳活動信号計測

物体画像や風景画像、多様な印象を引き起こす素材画像、ポジティブ・ネガティブな印象を与える画像などを見ている時のヒト脳活動を fMRI を用いて計測した。ランダムな順で各画像を 8-9 秒程度提示し、それらの画像を見ている時の脳活動の計測を行った。脳全体の情報表現を調べるため、視覚野などの感覚野から前脳部を含む全脳を撮像範囲とした。

#### (2) 画像情報のデコーディング

画像から得られる多様な情報はそれぞれ脳の異なる部位で別々に表現されていると考えられる。そこで、画像から得られる様々な要素的情報を、複数のデコーダを用いて予測する「モジュラ・デコーディング」ア

プローチを用いて各要素的情報のデコーディングを行なった。また、画像の低次の視覚特徴や高次の視覚特徴など、さまざまな要素がヒトの主観的な印象体験と関連している可能性があるため、予測対象としては、1) 深層ニューラルネットワークモデルを含む計算モデルを用いて画像から抽出した階層的視覚特徴量、2) 被験者が行動実験を行なって画像にラベル付けを行った、画像の表面特性に関する 12 種類の形容詞スコア、3) 大規模行動実験によってラベルづけられた、画像のポジティブ・ネガティブに関するスコア、の予測を行い、それらが脳のどの部位から予測可能かを検証した。

### 4. 研究成果

#### (1) 画像から抽出した階層的視覚特徴のデコーディング

被験者に物体画像を提示した時の脳活動を計測し、得られた脳活動パターンから、画像から抽出した低次/高次の視覚特徴量の違いを予測することができるかどうか検証した。その結果、画像の低次特徴量は脳の低次視覚野(lower visual cortex; LVC)の活動から高い成績で予測ができ、高次特徴量は高次視覚野(higher visual cortex; HVC)の活動から高い成績で予測できることが明らかになった(図1)。また、各視覚特徴の予測に有用だった脳部位を調べることで、高次の視覚特徴の予測に有用な脳部位が高次視覚野に分布しており、低次視覚特徴の予測に有用な脳部位が低次視覚野に分布している様子を可視化することができた(図2)。この結果は、この技術を応用することで、さらに高次の印象に関連する要素特徴の予測に有用な脳部位を可視化することが可能であることを示唆している。

さらに、ここで用いたデコーダを使うことで、想像している物体の画像や夢に見ている物体の画像から計算した視覚特徴量も予測することができ、予測された視覚特徴量のパターンから、見ている物体や想像している物体、夢に見ている物体を同定することができることが示された。この結果は、モジュラ・デコーディングを介した要素特徴の予測結果を組み合わせることで、高次の視覚情報を解読することができることを示している。以上の結果は、被験者が抱く多様な印象を脳活動から解読し、得られた印象の多次元的な特徴パターンを利用することで、被験者の求める印象にマッチする商品画像の検索など、脳活動ベースでの情報検索技術の開発につながると考えられる(学会発表②⑤⑥⑦、論文①③)。

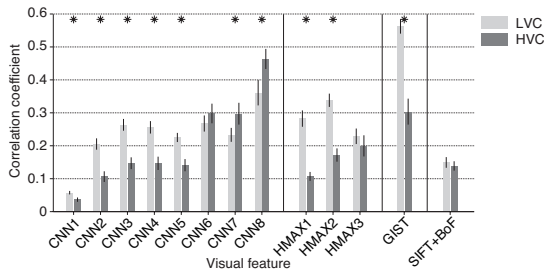


図 1. 低次 (LVC) / 高次 (HVC) 視覚野から予測した視覚特徴量の予測成績。

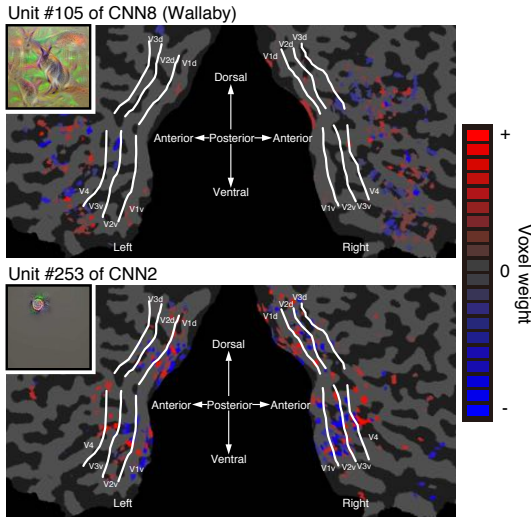


図 2. 低次 (CNN2) / 高次 (CNN8) 視覚特徴の予測に有用だった脳部位のマップ。

(2) 多様な素材画像の表面特性に関する印象のデコーディング

脳活動からさらに多様な印象の解読が可能であるかを検証するため、多様な素材画像を被験者に提示している時に計測された脳活動から、被験者自身がラベル付けを行なった画像の表面特性に関する 12 種類の印象形容詞のスコア (simple-complex, colorful-colorless, elastic-inelastic, dry-wet, soft-hard, cold-warm, opaque-transparent, regular-irregular, natural-artificial, smooth-rough, matte-glossy, light-heavy) の予測が可能であるかを調べた。その結果、脳の視覚野の広い範囲から、各形容詞スコアを予測することが可能であることが示され、また、脳の低次視覚野から高次視覚野を中心として、それぞれの形容詞スコアの予測に有用な脳部位がお互いに重なり合っている様子を可視化することができた (図 3)。さらに、予測された形容詞スコアの形容詞間の類似度が、被験者の行動実験によって付けられたスコアの形容詞間の類似度と高い類似性を示していたことから (図 3 左下)、これらの表面特性に関する印象が、脳の視覚野の活動パターンによって説明できる可能性が示唆された。今後は、これらの形容

詞スコアを独立に扱うのではなく、複数の印象に共通する潜在因子を特定し、それらの潜在因子と脳活動との対応関係を調べることで、多様な印象をより効率的に解読するために重要であると考えられる。

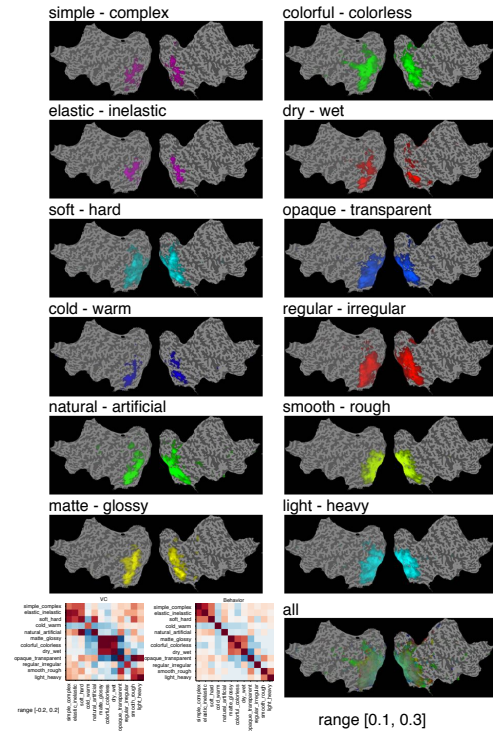


図 3. 12 種類の印象形容詞の予測で高い予測成績を示した脳部位のマップ。

(3) ポジティブ・ネガティブな印象のデコーディング

より抽象度の高い印象情報の解読が可能であるかを調べるために、大規模行動実験によって画像にラベル付けされた、ポジティブ・ネガティブの印象スコア (感情価, valence) を、画像観察中の被験者の脳活動から解読可能であるかどうかを調べた。全脳をサーチする手法を用いて脳のどの部位からポジティブ・ネガティブのスコアを予測できるかを調べたところ、高次視覚野に加えて、眼窩前頭皮質 (orbitofrontal cortex) を含む前頭葉を中心に高い予測成績が得られた (図 4)。この結果は、味覚と視覚における好悪に関連する脳部位を調べた先行研究の結果とも合致しており (Chikazoe et al., 2014)、デコーディング技術を用いてポジティブ・ネガティブな印象の解読が可能であることが示された。今後は、顔画像や風景画像、絵画など、多様な視覚刺激に対する印象の情報表現の共通性をさらに探っていくとともに、視覚刺激だけではなく、聴覚刺激など他のモダリティにおける印象が脳でどのように表現されているかを調査していくことが重要であると考えられる。

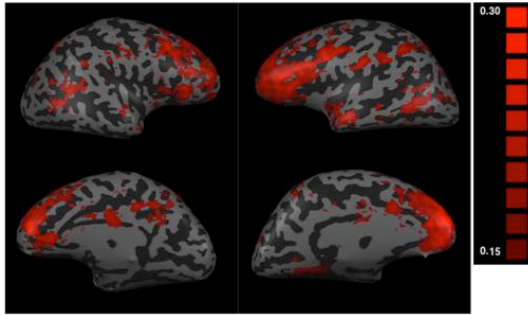


図 4. ポジティブ・ネガティブな印象の予測で高い予測成績を示した脳部位のマップ。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 5 件)

- ① Horikawa T, Kamitani Y, Generic decoding of seen and imagined objects using hierarchical visual features. *Nature Communications*, 8, 15037, 2017, doi:10.1038/ncomms15037 査読有
- ② Majima K, Horikawa T, Kamitani Y, Position information encoded by population activity in hierarchical visual areas. *eNeuro*, 2017, doi:10.1523/ENEURO.0268-16.2017, 査読有
- ③ Horikawa T, Kamitani Y, Hierarchical neural representation of dreamed objects revealed by brain decoding with deep neural network features. *Frontiers in computational neuroscience*, 2017, doi:10.3389/fncom.2017.00004 査読有
- ④ 堀川友慈、間島慶、脳情報デコーディング、細胞工学、638-643、2015、査読無
- ⑤ 堀川友慈、神谷之康、夢内容のブレイン・デコーディング：夢の機能解明に向けて、実験医学、2077-2082、2015、査読無

〔学会発表〕 (計 7 件)

- ① Horikawa T, Shared hierarchical neural representation for perception, imagery, and dreaming, NSF-NICT Collaborative Workshop on Computational Neuroscience (招待講演), 2017/1/17-18, 大阪
- ② Horikawa T, Brain decoding via deep neural network feature representation, 第 39 回日本神経科学大会 (招待講演), 2016/7/20-22, 千葉

- ③ Horikawa T, Kamitani Y, Generic decoding of seen and imagined objects using features of deep neural networks, Vision Science Society, 2016/5/13-18, Florida (USA)
- ④ 堀川友慈, 視覚的夢内容のブレイン・デコーディング, 第 18 回日本ヒト脳機能マッピング学会 (招待講演), 2016/3/7-8, 京都
- ⑤ Horikawa T, Brain decoding of visual dream contents, 脳と心のメカニズム 第 16 回冬のワークショップ (招待講演), 2016/1/6-8, 北海道
- ⑥ Horikawa T, Kamitani Y, Generic decoding of seen and imagined objects using hierarchical visual features. Society for Neuroscience 45th Annual Meeting (Neuroscience 2015), 2015/10/17-21, Chicago (USA)
- ⑦ Horikawa T, Hosokawa Y, Kamitani Y, Common human brain activity patterns during perception, imagery, and dreaming. Society for Neuroscience 44th Annual Meeting (Neuroscience 2014), 2014/11/15-19, Washington D. C. (USA)

〔図書〕 (計 1 件)

- ① 堀川友慈、神谷之康、DOUJIN BIOSCIENCE 睡眠科学、化学同人、2017

〔その他〕

- ① 株式会社国際電気通信基礎技術研究所のホームページにて研究成果を紹介。  
[http://www.atr.jp/topics/press\\_170522.html](http://www.atr.jp/topics/press_170522.html)
- ② 京都大学情報学研究所のホームページで研究成果を紹介。  
[http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research\\_results/2017/170522\\_1.html](http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research_results/2017/170522_1.html)
- ③ 株式会社国際電気通信基礎技術研究所・神経情報学研究室のウェブサイトデータおよびコードを公開。  
<https://github.com/KamitaniLab/GenericObjectDecoding>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

堀川 友慈 (HORIKAWA, Tomoyasu)

株式会社国際電気通信基礎技術研究所・  
脳情報通信総合研究所・神経情報学研究室・主任研究員

研究者番号：60721876