

令和元年6月24日現在

機関番号：82636

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H05311

研究課題名（和文）ヒトの個性を司る知覚・認知脳機能の定量理解

研究課題名（英文）Quantitative understanding of perceptual and cognitive representations

研究代表者

西本 伸志 (Nishimoto, Shinji)

国立研究開発法人情報通信研究機構・脳情報通信融合研究センター脳情報通信融合研究室・主任研究員

研究者番号：00713455

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 18,060,000円

研究成果の概要（和文）：私たちの日常は視聴覚を代表とする感覚知覚から情動、判断、推定、想像、比較、意思決定、行動にいたる多様な認知機能の精緻な複合によって成立している。本研究においては、これらヒトの多様な認知機能を司る脳内情報表現を解明するため、様々な知覚・認知条件下におけるヒト脳活動を機能的磁気共鳴画像法（fMRI）によって計測し、認知条件と脳活動の関係を説明する予測モデルを構築した。これにより、個々人の脳について定量的な知覚・認知機能を司る情報表現空間の同定や、新規条件下における認知機能解読等の成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究において、様々な知覚・認知条件下における個人脳を説明するためのこれまでで最も包括かつ高精度なモデルを構築することが出来た。特に大規模脳機能データベースを介した認知特徴空間モデルはヒト大脳皮質のうちの80%以上の領域について有意な予測精度を示し、また新規認知課題下における課題解読についても平均95%以上の精度を実現した。これらの結果は、予測モデル構築がヒト認知機能を汎用的に説明する枠組みとして有効であり、認知機能全般を対象とした脳機械インターフェース構築のための数理基盤となることを示唆する。

研究成果の概要（英文）：Our daily life is realized via fine mixtures of diverse cognitive functions, including perception, decision, and action. In this study, we developed predictive modeling schemes that unveil the relationship between brain activity and diverse cognitive functions. To this aim, we recorded human brain activity under naturalistic cognitive conditions using functional MRI. We modeled individual brains using predictive modeling schemes and quantified the cognitive space that spans the diverse cognitive functions. We also succeeded in decoding cognitive states from individual brains performing even novel perceptual and cognitive conditions.

研究分野：システム神経科学

キーワード：認知空間 エンコーディングモデル デコーディングモデル fMRI

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

私たちの自然な日常は、複雑多様な感覚入力を処理し、合目的な行動を生み出す高度で精緻な脳機能によって成立している。従来の脳内における知覚・認知機能を対象とした研究においては、個々の知覚や認知機能はそれぞれ個別の研究対象として切り出され、高度に統制された実験パラダイムにおいて精査されてきた。このような従来型の研究は特定機能と脳活動の関係性について定性的な知見を得るための強力な手法であるものの、私たちの日常は多様な知覚・認知機能が複合的に作用して成立するものであり、統制条件下で得られた知見がより日常的・一般的な条件下においてどの程度汎化するかは不明であった。また個別に検証された知覚・認知要素間にどのような関係性があるかも不明であった。更には、従来型の多くの研究は多人数の被験者を平均化した知見を得ることを目的としており、個々人の知覚・認知の相同性や差異に関する定量的な知見を得ることは困難であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ヒトの自然な知覚・認知を司る脳内情報表現を定量的かつ個別に理解すること、また得られた知見を応用することで脳情報の解読を介した脳機械インターフェース等の数理的基盤を構築することにある。

3. 研究の方法

上記の目的のため、主にはヒト被験者を対象として様々な知覚・認知課題条件（視聴覚、情動、比較、想像、推定、意思決定、記憶、運動、他）における脳神経活動を機能的磁気共鳴画像法（functional MRI）等によって記録した。MRI 計測は全脳を対象とした高解像度撮像（典型的には 2mm 角解像度で 1-2 秒/全脳撮像）を行った。利用した個々の視聴覚刺激・認知課題について、各種画像特徴抽出や自然言語処理技術由来の定量化手法、また大規模データベースを用いた特徴量算出手法等、様々な機械学習手法を用いて定量的なベクトル表現を得た。得られた刺激・課題に関するベクトル表現と脳神経活動の関係性を正則化つき線形回帰等の手法を用いてモデル化し、個々人の脳について得られた同モデルを解析することで脳内における知覚・認知情報表現を得た。

ヒト被験者を対象とした実験を行う際には、国立研究開発法人情報通信研究機構および脳情報通信融合研究センターが規定する倫理委員会・安全委員会における事前承認を得た。また被験者に事前説明を行った上で書面による実験参加の同意を得た。得られたデータは個人情報と分離保管する等、プライバシー保護を遵守した。

4. 研究成果

動画視聴下におけるヒト脳神経活動について、視聴覚刺激の内容に関する自然言語記述に由来する言語意味空間（word2vec; Mikolov et al., 2013 NIPS）との関係性を定量的にモデル化することに成功した。またこのモデルを用いた脳活動解読を行い、脳活動から名詞・動詞・形容詞（それぞれ主には物体・動作・印象に相当）によって指示されるヒトの知覚・認知情報を約 1 万語の単語の尤度として推定することに成功した（図 1; Nishida and Nishimoto 2018 NeuroImage）。また同技術は企業にライセンス供与し、世界初の fMRI 脳計測に基づいた CM 動画等の印象評定技術として商用サービスが始まっている（下記プレスリリース等参照）。

ヒトが見た映像



脳活動から推定した知覚意味内容解読例

名詞	動詞	形容詞
1. 髪 (hair)	1. 着る (wear)	1. 可愛い (cute)
2. 金髪 (blond hair)	2. 喋る (talk)	2. 親しい (close)
3. 髪型 (hairdo)	3. 気に入る (like)	3. 優しい (friendly)
4. 顔 (face)	4. 明かす (divulge)	4. 幼い (young)
5. 容姿 (appearance)	5. 演じる (play)	5. 欲しい (wanted)
6. 女性 (woman)	6. 付き合う (socialize)	6. 怖い (scary)

↑
もっともらしさ

図 1 被験者に提示した動画（左）および脳活動から解読した知覚内容（右）

また上記の脳活動モデル化および解読を個人の脳でそれぞれ独立に行ったところ、動画シーンごとの個人間の解読内容のばらつきが映像刺激に対するアノテーション記述内容のばらつきと有意に相関することが判った（図 2; Nishida and Nishimoto 2018 NeuroImage）。この結果は、今回開発したモデル化の枠組みが、個人間の知覚内容の差異に関する検証に利用可能であることを示唆する。

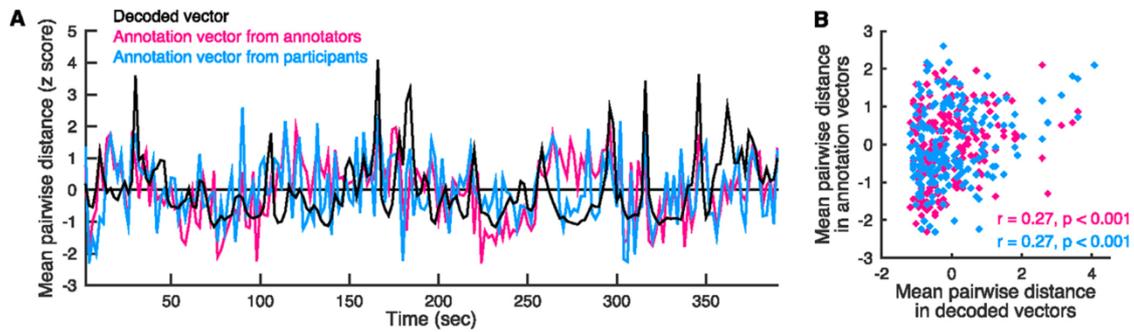


図2 動画シーンごとの脳活動解読結果およびアノテーションの個人間分散の比較

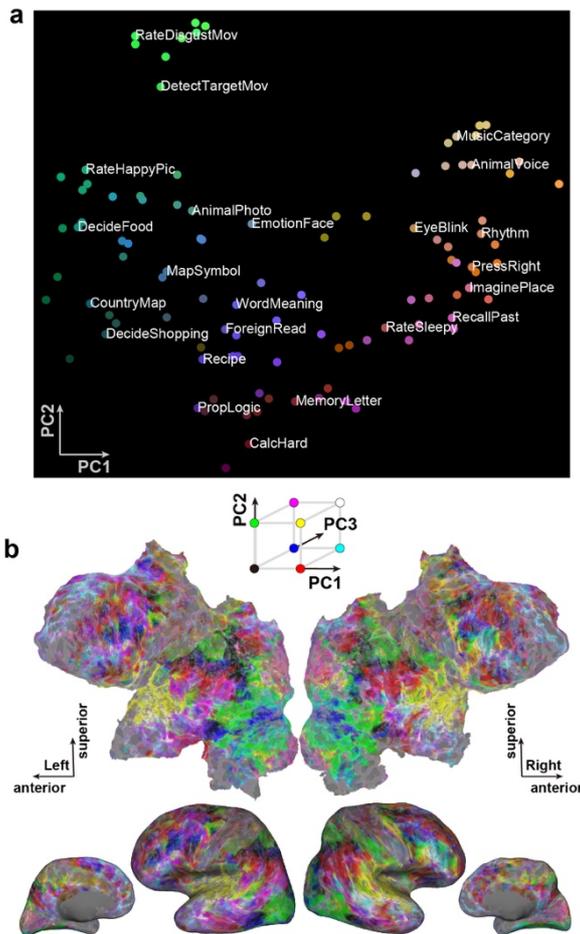


図3 脳内認知空間(a)およびその皮質マップ(b)

100種類以上の多様な知覚・認知条件下における全脳活動をタスクの種類を変量としたモデルで解析することで、多様な知覚・認知を司る認知特徴空間の定量を行った(図3a; Nakai and Nishimoto 2019 bioRxiv)。また同認知特徴空間を大脳皮質上にマップすることで、多様な認知内容の寄与分布を示す大脳認知機能マップを作成することに成功した(図3b)。これらの解析の結果、視覚機能と聴覚機能は同認知空間内で分離した位置に分布すること、また視聴覚機能の中間に言語機能や意思決定、また記憶や計算等の内省的な機能が分布することなどが判った。

更に上記の多課題脳活動データについて、大規模脳神経活動データベース(NeuroSynth; Yarkoni et al., 2011 Nature Methods.)を中間媒体とした認知特徴モデルを構築し、任意の新規課題下におけるモデル予測能力の定量を行った。その結果、大脳皮質の80%以上の領域について同モデルは有意な予測が行えること、また脳活動から平均95%の精度で新規課題の推定が出来ることが判った。これらの結果は、本研究で用いた課題セットが任意の認知課題に対する脳活動に汎化可能な包括性を持つこと、また多様な認知機能を対象とした汎用的な脳活動デコーディング技術の数理基盤として利用可能であることを示唆する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計12件)

1. Ikezoe K, Amano M, Nishimoto S, Fujita I. Mapping stimulus feature selectivity in macaque V1 by two-photon Ca²⁺ imaging: Encoding-model analysis of fluorescence responses to natural movies. *NeuroImage*. 2018 Oct 15;180(Pt A):312-323. doi: 10.1016/j.neuroimage.2018.01.009. 【査読あり】
2. Nishida S, Nishimoto S. Decoding naturalistic experiences from human brain activity via distributed representations of words. *NeuroImage*. 2018 Oct 15;180(Pt A):232-242. doi: 10.1016/j.neuroimage.2017.08.017. 【査読あり】
3. Nishimoto S, Huth AG, Bilenko NY, Gallant JL. Eye movement-invariant representations in the human visual system. *Journal of Vision*. 2017 Jan 1;17(1):11. doi: 10.1167/17.1.11. 【査読あり】
4. Huth AG, Lee T, Nishimoto S, Bilenko NY, Vu AT, Gallant JL. Decoding the semantic content of natural movies from human brain activity. *Frontiers in Systems*

Neuroscience. 2016, 10:81. doi: 10.3389/fnsys.2016.00081 【査読あり】

5. Nishimoto S, Nishida S. Lining Up Brains via a Common Representational Space. Trends in Cognitive Sciences. 2016 Aug;20(8):565-567. doi: 10.1016/j.tics.2016.06.001. 【招待論文】

他 7 件

〔学会発表〕 (計 79 件)

1. 西本伸志, 脳を読み解く：情報・イメージ・言葉 第 26 回脳の世紀シンポジウム 2018 年 【招待講演】
2. Nishimoto S, Modeling internal representations in the brain. 8th IMPRS NeuroCom Summer School. 2018 年 【招待講演・ドイツ】
3. Nishimoto S, Deciphering brain activity during natural vision. The 12th Biennial Conference of Chinese Neuroscience Society, 2017 年 【招待講演・中国】
4. Nishimoto S, Linking neuroscience and machine learning via latent features of natural stimuli, Gatsby-Kakenhi Joint Workshop on AI and Neuroscience, 2017 年 【招待講演・イギリス】
5. Nishimoto S, Modeling and decoding of natural visual experiences. Formal DCC lecture at Donders Institute, 2016 年 【招待講演・オランダ】

他 74 件

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 4 件)

名称：素材評価方法、及び素材評価装置

発明者：西本伸志、西田知史、柏岡秀紀

権利者：国立研究開発法人情報通信研究機構

種類：特許

番号：特願 2016-007314

出願年：2016 年

国内外の別：国内、および PCT 出願 (米国)

他 3 件

〔その他〕

【ホームページ等】

<http://www2.nict.go.jp/bnc/nishimoto/index.html>

【報道発表等】

プレスリリース 映像を見て感じた内容を脳から言葉で読み解く脳情報デコーディング技術を開発 2017 年 11 月 1 日 国立研究開発法人情報通信研究機構

<https://www.nict.go.jp/press/2017/11/01-1.html>

得られた研究成果は NHK、日本経済新聞、朝日新聞、毎日新聞、日刊工業新聞、PC Watch、マイナビニュース、ヤフー！ジャパン、米国 Digital Trends、韓国 EBS 等の国内外のマスメディアで取り上げられた。

【データ・ソフトウェア公開】

Nishimoto S, Lescroart M. Motion energy model/運動エネルギーモデル (MATLAB, GitHub) 2017 年公開 https://github.com/gallantlab/motion_energy_matlab

【アウトリーチ活動】

国際カンファレンス The 5th CiNet Conference “Computation and representation in brains and machines” (2019/2/20-22) を開催委員長 (Meeting Chair) として主導した。本課題とも密接に関連した国内外トップクラスの研究者を招聘し、情報交換・情報発信に貢献した。

https://cinet.jp/english/event/5th_cinetconf/

6. 研究組織

(1) 研究分担者：なし

(2) 研究協力者：なし

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。