

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：82636

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16017

研究課題名(和文)自然視覚条件下の短期記憶におけるヒト大脳皮質の物体カテゴリ表現の解明

研究課題名(英文) Human cortical representation of object categories in short-term memory of natural visual images

研究代表者

西田 知史(NISHIDA, SATOSHI)

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・研究員

研究者番号：90751933

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：消失した視覚情報を一時的に保持するための視覚性短期記憶を実現する神経基盤を明らかにするため、脳内情報表現の数理モデル化手法を開発し、短期記憶における知覚カテゴリ情報(例：女性、話す、可愛い)の脳内表現を定量化することを試みた。そのモデル化手法を用いることによって、脳内カテゴリ表現を可視化するだけでなく、脳活動から知覚内容を単語で可視化する脳解読技術の応用に成功した。また、短期記憶のカテゴリ表現において、脳内の情報局在を明らかにするとともに、実際に視覚情報を見ている知覚時のカテゴリ表現との共通性についても明らかにした。

研究成果の概要(英文)：To elucidate neural substrates for visual working memory, which is a neural function for maintaining visual information temporarily after its disappearance, I tried to develop a new mathematical method to model neural representations and to quantify neural representations of categories (e.g. "woman", "talk", and "cute") during visual working memory. The developed method not only visualized neural category representations successfully but also was applied to a neural decoding technique to recover perceptual contents from brain activity in the form of words. Using this method, I found the cortical localization of category representations during working memory and the commonality of category representations between when visual information is directly perceived and when visual information is stored in working memory.

研究分野：神経科学

キーワード：短期記憶 意味知覚 視覚 脳内表現 脳情報デコーディング ニューロマーケティング fMRI 自然言語処理

1. 研究開始当初の背景

(1) 視覚性短期記憶は、消失した視覚情報の一時的な保持のために脳が有する認知機能である。視覚情報が変化しやすい日常環境では、この短期記憶が重要な役割を担う。しかし、「短期記憶の情報が脳内でどのように表現されているか」という問題が長年議論されている (Sreenivansan et al. 2014)。また同時に、「知覚と短期記憶の情報表現に共通性があるのか」という問題も議論の対象となっている (Harrison & Tong 2009)。

(2) 近年、機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) により計測した脳活動を数理モデル化して、脳内における視覚カテゴリ (例: 男性、車、家) の情報表現を定量化する研究成果が報告された (Huth et al. 2012)。この知見は、記憶を要さない知覚時の分析であったが、短期記憶においても同様の手法で視覚カテゴリ表現が定量化できる。これにより、短期記憶の情報表現を明らかにするとともに、知覚の情報表現との比較ができると考えた。

2. 研究の目的

本研究は、脳活動の数理モデル化手法を用い、短期記憶における脳内カテゴリ情報を定量化して理解することを目的とした。また、知覚の脳内情報も定量化して、短期記憶の脳内情報と比較することで、知覚と短期記憶のカテゴリ情報表現の共通性を理解することも試みた。

3. 研究の方法

(1) 脳内カテゴリ情報を定量化する新しいモデルの開発

① 脳活動の数理モデル化を行うために、より性能の高いモデルが必要となったため、新しいモデルを開発した。このモデルは、word2vec (Mikolov et al. 2013) と呼ばれる自然言語処理アルゴリズムにより学習した言語特徴を介して、映像と脳活動の対応付けを獲得する。この対応付けを分析することにより、脳内カテゴリ情報が可視化できる。モデルの検証は、カリフォルニア大学バークレー校の共同研究者から提供を受けた fMRI データを用いて行った。

② このモデルの応用により、脳活動から言語特徴を推定することができる。これにより、脳活動からその人が知覚したカテゴリを単語の形で解読する脳情報解読技術を開発した。この解読モデルの検証には、研究代表者が新たに取得した脳計測データを用いた。実験では、映像刺激を視聴中の被験者 6 名を対象に fMRI を用いて脳活動を計測した。実験内容は事前に所属機関の倫理審査委員会の承認を得ており、実験前に実験内容とデータの取扱いに対する被験者の同意を得た上で実験を実施した。

(2) 短期記憶のカテゴリ表現の評価

短期記憶の脳内カテゴリ表現を定量化するにあたり、映像を短期記憶に保持することを被験者に要求する実験課題を実施し、被験者 4 名から fMRI を用いて脳活動計測を行った。この実験も同様に、倫理審査委員会の事前承認と、被験者の事前同意を取得した。この 4 名の被験者からは、あらかじめ実際に映像を見ているとき (知覚時) の脳活動も計測し、知覚の脳内カテゴリ表現を定量化するモデルを構築しておいた。そして同モデルを短期記憶時の脳活動に適用して、短期記憶の脳内カテゴリ表現を定量化したうえで、知覚との比較を行った。

4. 研究成果

(1)

① 脳内カテゴリ情報を定量化する提案モデルの性能評価のため、新しい映像が誘起する脳活動の予測精度を評価した。その結果、word2vec 以外の言語特徴を用いた先行研究のモデルに比べ、提案モデルが高い性能を示すことが分かった (Nishida et al. *The 45th Annual Meeting of the Society for Neuroscience* 2015)。このモデルが獲得した映像と脳活動の対応関係を分析して、脳内カテゴリ表現の可視化に成功した。さらに、同様のカテゴリ表現をテキストデータから作成し、脳内カテゴリ表現と言語カテゴリ表現の比較を行い、脳内表現には人間中心の特有な表現形式が存在することを明らかにした (Nishida et al. *第 39 回日本神経科学大会* 2016)。脳内カテゴリ表現は個人差があり、一部の精神疾患患者などでも変容が生じると知られている。そのため、提案モデルを用いて、そのような知覚表現の個人差の評価と、それがもたらす個性の神経基盤の理解を目指して、現在も研究を進めている。

② 提案モデルの応用として、映像から知覚したカテゴリ内容を、脳活動から単語の形で解読する技術の開発に成功した (図 1)。この技術が既存技術に比べて優位な点は、1 万語の単語を使って知覚内容の推定が可能な点と、名詞 (物体)・動詞 (動作) に加え形容詞 (印象) の知覚内容も推定できる点である。様々な映像に対する解読結果を、人手で同映像に付与したシーン記述と比較したところ、高い一貫性が認められ、高精度で知覚内容を解読できることが示された (Nishida & Nishimoto *NeuroImage* 2017)。この解読技術は、実社会における応用可能性が高いことから、関連技術も含めて知財化を行い、3 件の特許出願を行った。さらに、株式会社 NTT データにライセンス提供を行い、脳解読に基づく映像コンテンツ評価サービスとして 2016 年度に事業化を成功させた (参考: NeM sweets DONUTs、<http://www.nem-sweets.com>)。また、同じモデル化の枠組みで、単語ではなく文の形で知覚内容を解読す

る技術の研究にも関わり、開発を成功させた (Matsuo et al. *ACL Student Research Workshop* 2016)。解釈可能な単語や文で知覚内容が解読できるため、未来の非言語コミュニケーションなどの基盤技術として利用されることが期待される。



	名詞	動詞	形容詞
1	友人	話す	親しい
2	独身	悩む	優しい
3	女性	憧れる	可愛い
4	母親	嫌う	幼い
5	彼女	困る	欲しい
6	一人	喋る	怖い
7	子供	聞く	面白い

図1 知覚カテゴリ解読の例：左の映像を見たときの脳活動から解読した、知覚内容を反映するとみなせる最上位7単語を名詞・動詞・形容詞に分けて示している。

(2) 知覚時の脳活動から作成した解読モデルを、短期記憶時の脳活動に適用して解読可能かを検証したところ、十分な精度を示すことが分かった。また同様に、知覚時の脳活動から作成した脳内カテゴリ表現の定量化モデルを、短期記憶時の脳活動に適用し、短期記憶の脳内カテゴリ表現の局在について調べた。その結果、大脳皮質の視覚領野におけるカテゴリ選択領域のうち、特に高次の領野において表現が局在していることが分かった。以上の結果から、短期記憶において自然な視覚イメージは知覚時と似た表現を持って脳内に保持されているが、その表現はより抽象的で高次なものになっている可能性が示唆された。

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6件)

- (1) 西田知史, 西本伸志. 意味認知と脳内情報表現. *人工知能* 32(6):857-862, 2017. (査読有)
- (2) Kawase C, Kobayashi I, Nishimoto S, Nishida S, Asoh H. Semantic representation in the cerebral cortex with sparse coding. *Proceedings of 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)* 606-611, 2017. (査読有)
- (3) Nishida S, Nishimoto S. Decoding naturalistic experiences from human brain activity via distributed representations of words. *NeuroImage (オンライン版)*, 2017. DOI:10.1016/j.neuroimage.2017.08.017. (査読有)
- (4) Nishimoto S, Nishida S. Lining up brains via a common representational space. *Trends in Cognitive Sciences*

20(8):565-567, 2016. (査読有)

他2件

〔学会発表〕(計41件)

- (1) 張嘉瑩, 小林一郎, 松尾映里, 西本伸志, 西田知史, 麻生英樹, 異被験者間の脳活動データにおける相互変換への取り組み, *言語処理学会第24回年次大会*, 2018.
- (2) 川瀬千晶, 小林一郎, 西本伸志, 西田知史, 麻生英樹, 脳活動データからのスパースコーディングによる意味表象推定と基底の分析, *言語処理学会第24回年次大会*, 2018.
- (3) Matsuo E, Kobayashi I, Nishimoto S, Nishida S, Asoh H. Describing Semantic Representations of Brain Activity Evoked by Visual Stimuli. *NIPS 2017 Workshop on Visually-Grounded Interaction and Language*, 2017.
- (4) 豊田峻輔, 西田知史, 本多智佳, 渡邊幹夫, 大阪ツインリサーチグループ, 西本伸志. ヒト脳内における自然視聴覚情報表現への遺伝的寄与, *第64回中部日本生理学会*, 2017.
- (5) 川瀬千晶, 小林一郎, 西本伸志, 西田知史, 麻生英樹. 脳活動のfMRIデータへの疎性コーディング適用による意味表象推定, *第33回ファジィシステムシンポジウム*, 2017.
- (6) 松尾映里, 小林一郎, 西本伸志, 西田知史, 麻生英樹. 深層学習を用いた画像刺激下の脳活動情報からの文生成, *第33回ファジィシステムシンポジウム*, 2017.
- (7) 西田知史, 西本伸志. Voxelwise modeling for human cortical representations of impression during natural visual experiences. *第1回ヒト脳イメージング研究会*, 2017. 【研究奨励賞受賞】
- (8) 松本有紀子, 孫樹洛, 村上晶郎, 西田知史, 西本伸志, 高橋英彦, 高次視覚野応答のエンコーディングによる統合失調症の脳内意味表象異常の評価, *第1回ヒト脳イメージング研究会*, 2017.
- (9) Nishida S, Toyoda S, Honda C, Watanabe M, Osaka Twin Research Group, Nishimoto S. Genetic contributions to the representation of natural audiovisual experiences in the human brain. *第40回日本神経科学大会*, 2017.
- (10) 松本有紀子, 孫樹洛, 村上晶郎, 西田知史, 西本伸志, 高橋英彦, 統合失調症における脳内意味表象異常の可視化と定量, *第19回日本ヒト脳機能マッピング学会*, 2017.

- (11) 松尾映里, 小林一郎, 西本伸志, 西田知史, 麻生英樹. 深層学習による画像刺激時の fMRI 脳活動データからの文生成, **第 31 回人工知能学会全国大会**, 2017. **【大会優秀賞受賞】**
- (12) 川瀬千晶, 小林一郎, 西本伸志, 西田知史, 麻生英樹. スパースコーディングを用いた脳活動の意味表象推定に関する精度向上への取り組み, **第 31 回人工知能学会全国大会**, 2017. **【大会優秀賞受賞】**
- (13) 松尾映里, 小林一郎, 西本伸志, 西田知史, 麻生英樹. 深層学習を用いた画像刺激による脳活動データの説明文生成, **情報処理学会第 79 回全国大会**, 2017. **【学生奨励賞受賞】**
- (14) 川瀬千晶, 小林一郎, 西本伸志, 西田知史, 麻生英樹. スパースコーディングを用いた脳活動の意味表象推定への取り組み, **情報処理学会第 79 回全国大会**, 2017.
- (15) 松尾映里, 小林一郎, 西本伸志, 西田知史, 麻生英樹. 画像説明文生成手法を援用した画像刺激時の脳活動の説明文生成, **言語処理学会第 23 回年次大会**, 2017.
- (16) 川瀬千晶, 小林一郎, 西本伸志, 西田知史, 麻生英樹. 脳活動におけるスパースコーディングによる意味表象推定, **言語処理学会第 23 回年次大会**, 2017.
- (17) 松本有紀子, 孫樹洛, 村上晶郎, 西田知史, 西本伸志, 高橋英彦, 統合失調症における脳内意味表象異常の可視化と定量, **第 19 回日本ヒト脳機能マッピング学会**, 2017.
- (18) 松本有紀子, 孫樹洛, 村上晶郎, 西田知史, 西本伸志, 高橋英彦, 統合失調症における脳内意味表象異常の可視化と定量, **脳と心のメカニズム第 17 回冬のワークショップ**, 2017.
- (19) Matsuo E, Kobayashi I, Nishimoto S, Nishida S, Asoh H. Generating Natural Language Descriptions for Semantic Representations of Human Brain Activity. **The 54th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL) - Student Research Workshop 22-29**, 2016.
- (20) Nishida S, Huth AG, Gallant JL, Nishimoto S. Voxelwise modeling with distributed word representations reveals the similarity and dissimilarity of semantic structures between a large-scale text corpus and the human brain. **第 39 回日本神経科学大会**, 2016.
- (21) Miyake Y, Nishida S, Nishimoto S. Decoding words from human brain activity during mental imagery of natural movies. **第 39 回日本神経科学大会**, 2016.
- (22) 松尾映里, 小林一郎, 西本伸志, 西田知史, 麻生英樹. 深層学習を用いた画像刺激による脳活動データからの説明文生成, **第 30 回人工知能学会全国大会**, 2016.
- (23) 川瀬千晶, 小林一郎, 西本伸志, 麻生英樹, 西田知史. 行列因子分解を用いた動画刺激による脳活動データからの言語表象推定への取り組み, **第 30 回人工知能学会全国大会**, 2016.
- (24) 松尾映里, 小林一郎, 西本伸志, 西田知史, 麻生英樹. 深層学習を用いた画像を説明する文生成手法の一考察, **情報処理学会第 78 回全国大会**, 2016. **【学生奨励賞、大会優秀賞受賞】**
- (25) 川瀬千晶, 小林一郎, 西本伸志, 麻生英樹, 西田知史. 行列因子分解を用いた脳活動の言語表象推定への取り組み, **情報処理学会第 78 回全国大会**, 2016.
- (26) 松尾映里, 小林一郎, 西本伸志, 西田知史, 麻生英樹. 深層学習による画像説明文生成手法の脳活動データへの適用. **言語処理学会第 22 回年次大会**, 2016.
- (27) 川瀬千晶, 小林一郎, 西本伸志, 麻生英樹, 西田知史. スパースコーディングを用いた脳活動の分散意味表現による言語表象推定への取り組み. **言語処理学会第 22 回年次大会**, 2016.
- (28) Nishida S, Huth AG, Gallant JL, Nishimoto S. Word statistics in large-scale texts explain the human cortical semantic representation of objects, actions, and impressions. **The 45th Annual Meeting of the Society for Neuroscience**, 2015.
- (29) Nishida S, Huth AG, Gallant JL, Nishimoto S. Word-order statistics explain human brain activity evoked by natural movies. **The Second CiNet Conference: International Symposium on Neural Mechanisms of Vision and Cognition**, 2015.

他 12 件

[産業財産権]

○出願状況 (計 3 件)

- (1)
 名称: 脳活動予測装置、知覚認知内容推定システム、及び脳活動予測方法
 発明者: 西田知史, 西本伸志, 前田直哉
 権利者: 国立研究開発法人情報通信研究機構, 株式会社エヌ・ティ・ティ・データ
 種類: 特許
 番号: 特願 2017-154590
 出願年月日: 2017 年 8 月 9 日

国内外の別： 国内

(2)

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 2016-7314
出願年月日：2016年1月18日
国内外の別： 国内

(3)

名称：視聴素材評価方法、視聴素材評価システム、及びプログラム
発明者：西本伸志，西田知史，柏岡秀紀，矢野亮，前田直哉，角将高，萩原一平，茨木拓也
権利者：国立研究開発法人情報通信研究機構，株式会社エヌ・ティ・ティ・データ
種類：特許
番号：特願 2017-154590
出願年月日：2016年1月18日
国内外の別： 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西田 知史 (NISHIDA, Satoshi)
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・研究員
研究者番号：90751933