

令和 2 年 6 月 29 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H05710

研究課題名（和文）心的イメージの神経基盤の解明

研究課題名（英文）Neural basis of mental images

研究代表者

神谷 之康 (Kamitani, Yukiyasu)

京都大学・情報学研究科・教授

研究者番号：50418513

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 153,700,000円

研究成果の概要（和文）：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。本課題では、脳情報デコーディングを活用して知覚、想起、および、夢に共通する神経情報処理とその相違を明らかにすることを目標とした。イメージの種類による脳情報表現の類似性・相違を、画像特徴の階層性と脳部位の両面から解析する方法を確立し、世界で初めて想起イメージを脳から画像として可視化することに成功するなど、分野を超えたインパクトをもたらす成果が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の心理学や認知神経科学では、心的イメージは間接的な行動指標によって計測され、具体的なイメージ内容を解析することは困難であった。本課題の成果により、主観的イメージを具現化し、内容や特徴のレベルの詳細な解析が可能となった。これにより、主観的意識研究の新たな方法論が確立した。また、解読した心的イメージを用いた情報通信やブレイン・マシン・インターフェースの開発、精神疾患患者の心理状態の診断、新たな芸術表現の創出等に寄与することが期待される。

研究成果の概要（英文）：Imagery is one of the most important components of our state of mind. The purpose of this project was to clarify the neural information processing common to perception, recall, and dreams and their differences by utilizing brain decoding. We have established a methodology to analyze the similarity/difference of neural representations for different types of imagery from the perspectives of hierarchical image representations and brain regions. We also succeeded, for the first time, in visualizing internal imagery from brain activity. Our results are expected to have a pervasive influence on how we perceive internal states of others and how to materialize creative thoughts.

研究分野：計算神経科学、認知神経科学

キーワード：視覚 心的イメージ 睡眠 夢 脳イメージング 機械学習 層ニューラルネットワーク

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

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。イメージは外界からの刺激によって誘発されるだけでなく、自発的な想起や睡眠中の夢でも生じる。これらのイメージの類似性は共通の神経基盤の存在を示唆するが、その実体はいまだ明らかでない。本課題は、機械学習を用いた脳活動のパターン解析により、知覚、想起、および、夢に共通する神経情報表現を明らかにすることを目指して、2015年度に開始したものである。

研究代表者のグループは世界に先駆けて非侵襲脳計測を利用した「脳情報デコーディング」アプローチを提唱し、脳内情報表現を解読する新しい手法を開発してきた。脳情報デコーディングとは、課題や刺激を与えたときの脳活動をマッピングする従来のニューロイメージングの手法と異なり、脳活動パターンから刺激や心理状態を解読(デコード)するアプローチを指す。われわれは、機能的磁気共鳴画像(fMRI)信号を機械学習アルゴリズムを用いて解析することにより、脳画像の画素より微細な脳構造(コラム構造)に表現されていると考えられる視覚的方位や運動方向の情報を単一試行の脳画像信号から解読することに成功した(Kamitani & Tong, *Nature Neuroscience* 2005)。また、このアプローチを発展させる新たなアルゴリズムを開発し、任意の視覚像を単一の脳画像から再構成できることを示した(Miyawaki et al., *Neuron* 2008)。これらの研究は、「ブレイン・デコーディング」と呼ばれる新たな研究分野を生み出し、われわれの手法は現在世界中の研究者によって利用されている。

脳情報デコーディング技術の適用範囲は、感覚刺激として提示される画像の情報を解読するのみにとどまらない。Kamitani & Tong (2005)では、この方法を応用した「マインド・リーディング」の方法も提案した。これは、刺激を物理的に提示したときの脳活動をもとにデコーダを作成し、それを用いて主観的な条件下における脳活動を解読するものである。このようなデコーダの汎化を脳部位ごとに調べることで、刺激の内容とトップダウン的な認知の内容が類似の脳活動パターンで表現されている脳部位を同定することが可能となる。この方法を睡眠中のヒトの脳活動データに適用することで、見ている夢の内容を解読することにも成功している(Horikawa et al., *Science* 2013)。

### 2. 研究の目的

これまでのわれわれ研究は、刺激によって誘発される脳活動パターンを用いて、主観的イメージの内容を解読できることを示すとともに、異なるイメージの種類に共通する脳情報表現を検出・定量化できることを示唆している。しかし、これまでの研究で調べられたのは、イメージの脳情報表現の一端にすぎない。本課題では、知覚、想起、夢などイメージを伴う心的状態における脳活動を、fMRI および皮質脳波(EEG)を用いて計測し、これらイメージタイプ間の脳活動パターンの類似性と相違を解析した。また、Horikawa et al. (2013)で注目した物体カテゴリーだけではなく、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)に関する内容にも注目し、これらに対する脳活動を計測するための実験・解析を行った。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。これらを通して、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した。

### 3. 研究の方法

イメージを伴う心的状態における脳活動を、主として機能的磁気共鳴画像(fMRI)と皮質脳波(EEG)を用いて計測し、機械学習やコンピュータビジョン、自然言語処理等、情報科学の手法を用いて解析した。

**fMRI 計測:** ATR 脳活動イメージングセンタ、および、京都大学こころの未来研究センターMRI施設の装置を利用し、知覚・想起時や睡眠中のfMRI計測を行った。知覚課題中の計測では、想起(夢)内容と対応する画像・動画を提示しながら脳活動計測を実施した。想起課題中のfMRI計測では、キューで指示された内容について約10秒間イメージを想起させながら脳活動計測を行った。睡眠中の計測では、EEGを装着した状態で眠ってもらい、脳波で睡眠状態をリアルタイムにモニタしながらfMRI計測を行った。夢見と強い関連があると知られている脳波パターンが生じたタイミングで被験者を起こし、見ている夢の内容について報告させたのち、再び被験者を眠りにつかせる、という手続きを繰り返すことで、夢報告とそれに対応する脳活動データを取得した。

**EEG 計測:** 大阪大学病院脳神経外科で、脳外科治療の目的で皮質脳波(EEG)電極を頭蓋内に留置した患者の協力のもと、腹側視覚野をカバーする領域から脳活動を取得した。EEGはfMRIに比べて身体的拘束が少ないため、課題遂行中の脳活動に加え、日常活動時の脳活動も計測した。同時に、ビデオカメラやアイトラッカーを用いて、患者の行動や見ている映像を記録した(ライフログ)。コンピュータビジョンやクラウドソーシングの方法を用いて行動アノ

ーションを生成し脳活動と対応付けた。

**解析：**計測されたデータを時間窓や課題ブロックごとに平均し、関心領域（ROI）内の信号からなる特徴ベクトルを作成した。各特徴ベクトルを、対応するイメージの内容を表すラベルと対応付けた。データの一部を用いて、脳活動パターンからラベルを予測する機械学習モデル（デコーダ）を構築し、学習には用いていないデータのラベルを正しく予測できるかを評価した。このとき、同一のデータセットの中でデコーダを学習・テストする場合と、一つのデータセットでデコーダの学習を行い、他のデータセットでテストする場合（汎化）がある。汎化のデコード精度を、その脳部位における脳情報表現の類似性の指標として用いた。刺激の中間的特徴抽出には、訓練済み深層ニューラルネットワークモデル等の計算モデルを使用した。

**研究体制：**研究代表者・神谷の総括のもと、塚本と共同で fMRI による脳活動計測実験と計測データ解析に従事し、柳澤と西本が、ECoG・行動データ解析に関する研究を担当した。睡眠実験に関しては、当初は、研究分担者・三島の指導のもと、国立精神・神経医療研究センター内の施設で行う予定であったが、深夜実験を実施する上で施設の制約が判明したため、三島のアドバイスを受けながら京都大学こころの未来研究センターMRI 施設での睡眠実験を立ち上げた。三島は平成 28 年度から分担者を離れたが、睡眠時脳活動計測のための助言を続けている。吉川は京都大学こころの未来研究センターMRI 施設の責任者として、実験立ち上げのサポートと実験補助者のコーディネートをを行った。

#### 4. 研究成果

主要な研究成果は以下の通りである。

(1) **知覚、想起、夢の脳内表現の比較** デコーダの汎化精度により、知覚と夢、および、想起と夢の脳情報表現の類似度を比較した結果（図 1）、夢見中の脳活動パターンは、感覚野寄りの低次の脳部位では、知覚中の脳活動パターンにより類似しているのに対し、高次の脳部位では、想起中の脳活動パターンにより類似しているという結果が得られた。この結果は、夢の脳内表現が、知覚と想起の両者の特徴を併せ持つユニークな特徴を有していることを示している。

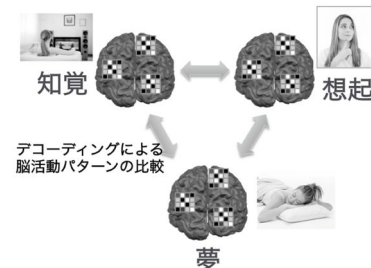


図 1. 知覚、想起、夢の脳内表現の比較

(2) **イメージの階層的特徴表現** 上記の結果をもとに、深層ニューラルネットワーク（deep neural networks, DNNs）とデコーディング解析を組み合わせ、多様な階層的画像特徴が想起や夢見時の脳活動に表現されているかどうかを検証した（Horikawa & Kamitani, *Nature Communications* 2017, *Frontiers in Computational Neuroscience* 2017; Abdelhack & Kamitani, *eNeuro* 2018）まず、画像から計算した低次—中次—高次の DNN 視覚特徴を、その画像を見ているときの脳活動パターンから予測するデコーダを構築した。そして、同じデコーダを利用して、想起課題中や睡眠（夢見）中の脳活動から、その内容に対応する視覚特徴を予測できるかを検証した（図 2）。その結果、想起課題中の脳活動および夢見中の脳活動のいずれにおいても、視覚内容の多様な視覚特徴を予測することができることが分かった。想起中のさまざまなタイミングの脳活動を用いて解析すると、高次の DNN 特徴が早いタイミングで予測できるようになり、徐々に低次の特徴が予測できるようになることが示された。これらの結果は、物体カテゴリー以外の多様な視覚特徴の情報が、脳の視覚野において、知覚と共通の脳内表現によって表現されており、階層的情報表現がトップダウン的に活用されていることを示唆している。この成果によりテレコムシステム技術賞を受賞した。

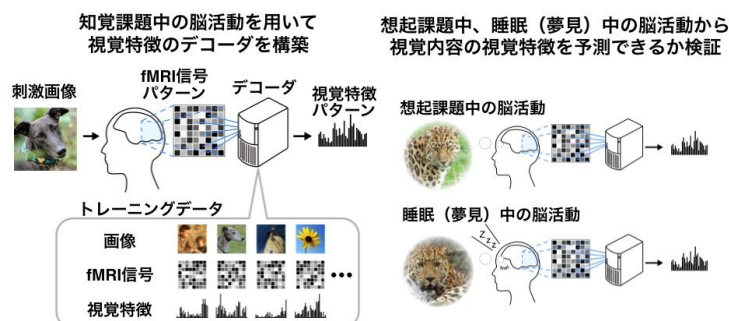


図 2. イメージの階層的特徴表現

(3) **イメージの再構成** 上記アプローチと DNN 信号から入力画像を再構成するコンピュータビジョンの技術を組み合わせることで、想起内容の画像再構成が可能かどうかを検証した (Shen, Horikawa, Majima, Kamitani, *Plos Computational Biology* 2019; Shen, Dwivedi, Majima, Horikawa, Kamitani, *Frontiers in Computational Neuroscience* 2019)。

脳活動から DNN 信号パターンに変換するデコーダを構築し、被験者があらかじめ記憶した画像を想起している時の脳活動パターンを DNN 信号パターンに変換した。

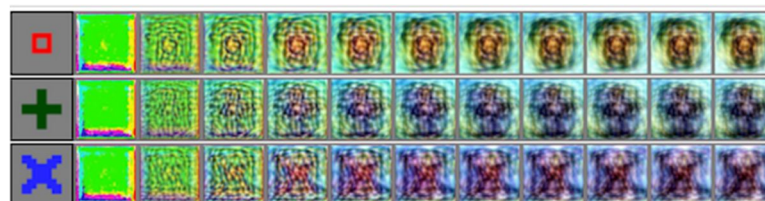


図 3. 想起画像再構成の例 (最適化の過程)

この DNN 信号を再構成アルゴリズムに入力として与えることで、想起内容の再構成に成功した (図 3)。この結果は、想起した視覚内容の多様な視覚特徴が、知覚と共通の脳活動パターンによって表現されていることをさらに強力に支持するものであり、世界で初めて想起内容を画像化することに成功した成果である。イメージ再構成の動画は、現代美術家ピエール・ユイグ氏の展示 ("Umwelt", Serpentine Gallery, London, 2018–2019) で用いられ (ユイグ氏のリクエストを受け神谷研究室で作成)、「新たな芸術形式の発見」として美術批評家から高く評価された (*New York Times*, *Financial Times*, *The Guardian* 等にレビューが掲載)。YouTube で公表した再構成動画は公表後 1 ヶ月弱で計 10 万回以上再生され、海外のメディアでも大きな話題となった。

(4) **皮質脳波 (ECoG)–ライフログ計測** 大阪大学脳神経外科にて、てんかん手術の術前検査の目的で ECoG 電極を頭蓋内に留置した患者の協力のもと、腹側視覚野をカバーする領域から ECoG を取得した。各被験者について ECoG を約 10 日間連続で計測し、同時にビデオカメラやアイトラッカーを用いて、患者の行動や見ている映像を記録した。また、独自開発した iPad アプリにより、被験者の気分や思考内容を数時間毎に調査した。33 名の患者につき 330 日以上 of 行動データと ECoG の同時計測を行った。14 名については 450 時間以上の視聴覚内容を同時計測し、5 名については気分・思考内容調査を行い全 80 回答のライフログデータを得た。動画から骨格座標を推定する OpenPose を用いて、自動で行動アノテーションデータを作成するハイスループットな計測系を開発した。以上より、視覚内容や思考内容、行動などのデータをラベル化し、睡眠状態を含めた大規模データを作成する基盤が整った。

(5) **その他の成果** 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 (BCI Award 3rd Place を受賞)。また、本課題で開発した解析手法を、サル of 視覚脳表現 (Miyakawa et al., *Cerebral Cortex* 2018)、マウスの運動脳表現 (Hasegawa et al., *Cell Reports* 2017) の同定等に応用した。幻肢イメージ解読の論文は、BCI Award (3rd Place) を受賞した。

これらの成果により、脳情報デコーディングを活用して知覚、想起、および、夢に共通する神経情報表現と処理過程を明らかにする当初の目的を概ね達成したものと考える。研究進捗評価において「成果は国際的に著名な学術雑誌で報告されているほか、社会への発信も多数あり、研究の進捗と成果還元は極めて順調である」として A 評価を得ている。とくに、イメージの種類による脳情報表現の類似性・相違を、画像特徴の階層性と脳部位の両面から解析する方法を確立した論文 (Kamitani & Horikawa, 2017) は、脳-DNN 融合アプローチの先駆けとして、認知計算神経科学分野において高く評価されている (出版から 3 年弱で 130 回以上引用; Google Scholar)。ECoG ライフログ解析は、データ取得基盤が整った段階で、これを利用した神経情報表現と処理過程の解明は今後の課題として残るが、ECoG の高い時間解像度を生かしたダイナミクスの解明に寄与することが期待される。2015 年度採択時に想定していた以上に DNN を用いた解析が有用であることが判明し、史上初の想起イメージの再構成が実現可能となった。再構成動画を Youtube にアップしたところ大きな反響があり、現代を代表するコンセプチュアルアートの美術家ピエール・ユイグとのコラボによる初の「脳」芸術表現も実現するなど、分野を超えた大きなインパクトをもたらした。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計45件（うち査読付論文 32件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 32件）

1. 著者名 Hideo Hagihara, Tomoyasu Horikawa, Yasuhiro Irino, Hironori K. Nakamura, Juzoh Umemori, Hirota Shoji, Masaru Yoshida, Yukiyasu Kamitani, Tsuyoshi Miyakawa	4. 巻 12
2. 論文標題 Peripheral blood metabolome predicts mood change-related activity in mouse model of bipolar disorder	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Molecular Brain	6. 最初と最後の頁 107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s13041-019-0527-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Guohua Shen, Dwivedi Kshitij, Kei Majima, Tomoyasu Horikawa, Yukiyasu Kamitani	4. 巻 13
2. 論文標題 End-to-end deep image reconstruction from human brain activity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Computational Neuroscience	6. 最初と最後の頁 21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1101/272518	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Tomoyasu Horikawa, Shuntaro C.Aok, Mitsuaki Tsukamoto, Yukiyasu Kamitani	4. 巻 6
2. 論文標題 Characterization of deep neural network features by decodability from human brain activity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Data	6. 最初と最後の頁 190012
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/sdata.2019.12	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Guohua Shen, Tomoyasu Horikawa, Kei Majima, Yukiyasu Kamitani	4. 巻 15
2. 論文標題 Deep image reconstruction from human brain activity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 PLOS Computational Biology	6. 最初と最後の頁 1006633
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) Guohua Shen, Tomoyasu Horikawa, Kei Majima, Yukiyasu Kamitani	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Koji Ikezoe, Mahya Amano, Shinji Nishimoto, Ichiro Fujita	4. 巻 180
2. 論文標題 Mapping stimulus feature selectivity in macaque V1 by two-photon Ca <sup>2+</sup> imaging: Encoding-model analysis of fluorescence responses to natural movies	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 NeuroImage	6. 最初と最後の頁 312-323
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neuroimage.2018.01.009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ryohei Fukuma, Takufumi Yanagisawa, Hiroshi Yokoi, Masayuki Hirata, Yoshimine Toshiki, Saitoh Youichi, Kamitani Yukiyasu, Haruhiko Kishima	4. 巻 12
2. 論文標題 Training in Use of Brain-Machine Interface-Controlled Robotic Hand Improves Accuracy Decoding Two Types of Hand Movements	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Frontiers in Neuroscience	6. 最初と最後の頁 478
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnins.2018.00478	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takufumi Yanagisawa, Ryohei Fukuma, Ben Seymour, Koichi Hosomi, Haruhiko Kishima, Shimizu Takeshi, Yokoi Hiroshi, Hirata Masayuki, Yoshimine Toshiki, Kamitani Yukiyasu, Youichi Saitoh	4. 巻 58
2. 論文標題 MEG-BMI to Control Phantom Limb Pain	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Neurologia medico-chirurgica	6. 最初と最後の頁 327-333
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.2176/nmc.st.2018-0099">https://doi.org/10.2176/nmc.st.2018-0099</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takufumi Yanagisawa, Ryohei Fukuma, Ben Seymour, Koichi Hosomi, Takeshi, Shimizu, Haruhiko Kishima, Masayuki Hirata, Hiroshi Yokoi, Toshiki Yoshimine, Yasukuki Kamitani, Yoichi Saitoh	4. 巻 33
2. 論文標題 Induction of cortical plasticity reveals the mechanism of the phantom limb pain and develops novel treatment	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 PAIN RESEARCH	6. 最初と最後の頁 26-31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11154/pain.33.26	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Mohamed Abdelhack, Yukiyasu Kamitani	4. 巻 5
2. 論文標題 Sharpening of Hierarchical Visual Feature Representations of Blurred Images	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 eNeuro	6. 最初と最後の頁 0443-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1523/ENEURO.0443-17.2018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Emi Satake, Kei Majima, Shuntaro C. Aoki, Yukiyasu Kamitani	4. 巻 12
2. 論文標題 Sparse Ordinal Logistic Regression and Its Application to Brain Decoding	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Frontiers in Neuroinformatics	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fninf.2018.00051	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shinji Nishimoto, Ryohei Fukuma, Takufumi Yanagisawa, Haruhiko Kishima	4. 巻 27
2. 論文標題 Quantitative Understanding of How the Brain sees the World : Present Status and Future Outlook	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Neurosurgery	6. 最初と最後の頁 896-903
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.7887/jcns.27.896	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 柳澤琢史、福間良平、Ben Seymour、細見晃一、清水豪士、貴島晴彦、平田雅之、横井浩史、吉峰俊樹、神谷之康、齋藤洋一	4. 巻 33
2. 論文標題 皮質可塑性の制御による幻肢痛の病態解明と治療	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Pain Research	6. 最初と最後の頁 26-31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11154/pain.33.26	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Miyakawa Naohisa, Majima Kei, Sawahata Hirohito, Kawasaki Keisuke, Matsuo Takeshi, Kotake Naoki, Suzuki Takafumi, Kamitani Yukiyasu, Hasegawa Isao	4. 巻 28
2. 論文標題 Heterogeneous Redistribution of Facial Subcategory Information Within and Outside the Face-Selective Domain in Primate Inferior Temporal Cortex	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Cerebral Cortex	6. 最初と最後の頁 1416-1431
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/cercor/bhx342	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nishida Satoshi, Nishimoto Shinji	4. 巻 180
2. 論文標題 Decoding naturalistic experiences from human brain activity via distributed representations of words	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 NeuroImage	6. 最初と最後の頁 232-242
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neuroimage.2017.08.017	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Horikawa Tomoyasu, Kamitani Yukiyasu	4. 巻 8
2. 論文標題 Generic decoding of seen and imagined objects using hierarchical visual features	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 15037
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/ncomms15037	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nakanishi Yasuhiko, Yanagisawa Takufumi, Shin Duk, Kambara Hiroyuki, Yoshimura Natsue, Tanaka Masataka, Fukuma Ryohei, Kishima Haruhiko, Hirata Masayuki, Koike Yasuharu	4. 巻 7
2. 論文標題 Mapping ECoG channel contributions to trajectory and muscle activity prediction in human sensorimotor cortex	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 45486
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/srep45486	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -



1. 著者名 Majima K, Sukhanov P, Horikawa T, Kamitani Y	4. 巻 0268-16
2. 論文標題 Position information encoded by population activity in hierarchical visual areas	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 eNeuro	6. 最初と最後の頁 0268-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1523/ENEURO.0268-16.2017	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Horikawa T, Kamitani Y	4. 巻 11
2. 論文標題 Hierarchical neural representations of dreamed objects revealed by brain decoding with deep neural network features	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Frontiers in Computational Neuroscience	6. 最初と最後の頁 4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fncom.2017.00004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hasegawa M, Majima K, Itokazu T, Maki T, Albrecht UR, Castner N, Izumo M, Sohya K, Sato TK, Kamitani Y, Sato TR	4. 巻 18
2. 論文標題 Selective Suppression of Local Circuits during Movement Preparation in the Mouse Motor Cortex	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Cell Report	6. 最初と最後の頁 2676-2686
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.celrep.2017.02.043	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nishimoto S, Huth AG, Bilenko NY, Gallant JL	4. 巻 17
2. 論文標題 Eye movement-invariant representations in the human visual system	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Vision	6. 最初と最後の頁 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1167/17.1.11	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Yanagisawa T, Fukuma R, Seymour B, Hosomi K, Kishima H, Shimizu T, Yokoi H, Hirata M, Yoshimine T, Kamitani Y, Saitoh Y	4. 巻 7
2. 論文標題 Induced sensorimotor brain plasticity controls pain in phantom limb patients	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 13209
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/ncomms13209	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Edakawa K, Yanagisawa T, Kishima H, Fukuma R, Oshino S, Khoo F M, Kobayashi M, Tanaka M, Yoshimine T	4. 巻 6
2. 論文標題 Detection of Epileptic Seizures Using Phase-Amplitude Coupling in Intracranial Electroencephalography	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 25422
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/srep25422	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 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	4. 巻 7
2. 論文標題 Associative-memory representations emerge as shared spatial patterns of theta activity spanning the primate temporal cortex	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 11827
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/ncomms11827	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nishimoto S, Nishida S	4. 巻 20
2. 論文標題 Lining up brains via a common representational space	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Trends in Cognitive Sciences	6. 最初と最後の頁 565-567
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tics.2016.06.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Huth G A, Lee T, Nishimoto S, Bilenko Y N, Vu T A, Gallant L J	4. 巻 10
2. 論文標題 Decoding the semantic content of natural movies from human brain activity	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Frontiers in Systems Neuroscience	6. 最初と最後の頁 81
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnsys.2016.00081	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Cukur T, Huth G A, Nishimoto S, Gallant L J	4. 巻 36
2. 論文標題 Functional Subdomains within Scene-Selective Cortex: Parahippocampal Place Area, Retrosplenial Complex, and Occipital Place Area	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 The Journal of Neuroscience	6. 最初と最後の頁 10257-10273
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1523/JNEUROSCI.4033-14.2016	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Nakamura M, Yanagisawa T, Okamura Y, Fukuma R, Hirata M, Araki T, Kamitani Y, Yorifuji S	4. 巻 9
2. 論文標題 Categorical discrimination of human body parts by magnetoencephalography	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Frontiers in Human Neuroscience	6. 最初と最後の頁 609
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnhum.2015.00609	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takemiya M, Majima K, Tsukamoto M, Kamitani Y	4. 巻 10
2. 論文標題 BrainLiner: A neuroinformatics platform for sharing time-aligned brain-behavior data	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Frontiers in Neuroinformatics	6. 最初と最後の頁 3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fninf.2016.00003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Fukuma R, Yanagisawa T, Saitoh Y, Hosomi K, Kishima H, Shimizu T, Sugata H, Yokoi H, Hirata M, Kamitani Y, Yoshimine T	4. 巻 6
2. 論文標題 Real-Time Control of a Neuroprosthetic Hand by Magnetoencephalographic Signals from Paralysed Patients	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 21781
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/srep21781	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計114件 (うち招待講演 54件 / うち国際学会 48件)

1. 発表者名 Yukiyasu Kamitani
2. 発表標題 Reconstructing visual and subjective experience from the brain.
3. 学会等名 15th Asia-Pacific Conference on Vision (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yukiyasu Kamitani
2. 発表標題 Deep image reconstruction from the human brain
3. 学会等名 2018 Annual Meeting of Korean Society for Cognitive Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yukiyasu Kamitani
2. 発表標題 Deep image reconstruction from the human brain.
3. 学会等名 The 8th International Workshop on Pattern Recognition in Neuroimaging (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yukiyasu Kamitani
2. 発表標題 Methods for neural mind reading.
3. 学会等名 1st Tsinghua Social Neuroscience Symposium (TSNS): Culture and Multipersonal (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yukiyasu Kamitani
2. 発表標題 Brain decoding of perception, imagery and dreaming
3. 学会等名 Association for Scientific Study of Conscious (ASSC 2017) (招待講演)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 神谷之康	4. 発行年 2017年
2. 出版社 岩波書店	5. 総ページ数 139-149
3. 書名 夢と脳と機械学習, 『岩波データサイエンス6』	

1. 著者名 神谷之康	4. 発行年 2017年
2. 出版社 勉誠出版	5. 総ページ数 329-331
3. 書名 脳の信号から夢を可視化する, 『夢と表象: 眠りとところの比較文化史』	



## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	西本 伸志  (Nishimoto Shinji)  (00713455)	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   (82636)	
研究分担者	柳澤 琢史  (Yanagisawa Takufumi)  (90533802)	大阪大学・高等共創研究院・教授   (14401)	
研究分担者	三島 和夫  (Mishima Kazuo)  (40239223)	国立研究開発法人国立精神・神経医療研究センター・精神保健研究所 精神生理研究部・部長   (82611)	