

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H02596

研究課題名（和文）霊長類大脳中期視覚野における並列情報処理の解明

研究課題名（英文）Parallel processing strategy in mid-tier visual areas in primates

研究代表者

藤田 一郎 (FUJITA, Ichiro)

立命館大学・総合科学技術研究機構・教授

研究者番号：60181351

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：感覚系は異なる性質の情報を内容別に複数の神経経路に分配し並列に処理する。どの情報をどの経路に振り分け、上位階層のどこで異なる経路由来の情報を統合して新たな情報を生み出すかを明らかにすることは、感覚・知覚の神経機構を理解する上で重要である。本研究では、サルの大脳皮質視覚野のサブ領野構造と個別神経細胞の活動を同時に可視化する手法を確立し、視覚経路の初期・中期において、視覚的手触り感知覚と両眼立体視に関わる情報が、どのように大脳皮質上に表現されているかを解明した。本成果は、サブ領野別の神経連絡の知見と合わせることで、異なる視覚情報が視覚経路の初期・中期段階で分配・並列処理される過程の理解を進めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

霊長類に属するサルの大脳皮質における情報処理機構を明らかにすることは、ヒトにおける情報処理機構の理解を進めるとともに、損傷や変性疾患により生じる症状の理解、ケアの実施、将来の治療法開発に向けての重要なステップである。本研究で開発した、「大脳皮質の広範囲にわたって領野・サブ領野を可視化した上で、それぞれの領野・サブ領野に含まれる個々の神経細胞の活動をモニターする手法」はその際の重要な武器となる。

研究成果の概要（英文）：The sensory system distributes information of different natures into multiple neural pathways, processing them in parallel based on their content. It is crucial to understand how the system allocates information to specific pathways and where in the higher hierarchy the information from different pathways is integrated, as this is fundamental to comprehending the neural mechanism of sensation and perception. In this study, we established a method to simultaneously visualize the subfield structure of the monkey's cerebral visual areas and the activity of individual neurons. We elucidated how information related to visual texture perception and binocular stereopsis is represented in the early and intermediate stages of the visual pathways. Combining these findings with knowledge of the neural connections specific to each subfield advanced our understanding of how different visual information is processed in parallel in the early and intermediate stages of the visual pathways.

研究分野：システム神経科学

キーワード：霊長類 大脳皮質 内因性信号光学記録 2光子カルシウムイメージング 両眼立体視 テクスチャー 知覚 並列的情報処理 階層的情報処理

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

視覚系は異なる性質の情報を複数の神経経路に分配し並列的に処理する。どの情報をどの経路に振り分け、どこで異なる経路由来の情報を統合して新たな情報を生み出すかの解明は、視知覚の神経機構を理解する上で重要である。

霊長類の視覚系は、初期段階では3経路、皮質連合野では腹側・背側の2経路と、別個の並列経路をもつ。初期3経路から連合野2経路へと変わる際に、中次視覚野であるV2野、V4野、MT野において、各種視覚情報の分離、統合、相互作用が行われるがその詳細は明らかではない。特に近年、これらの領域がテクスチャー（視覚的手触り感）知覚と両眼立体視に重要な役割を果たすことが判明したが、これらの情報がV2野、V4野、MT野を結ぶどの経路で処理伝達されているかは不明である。

当初、腹側経路は形、色、模様を処理し、背側経路は位置、動き、奥行き（両眼視差）を処理すると提唱された。しかし、この定説は多くの点で修正が必要となった。背側経路に限局するとされていた両眼視差感受性細胞が腹側経路で見つかったのはその最たる例である。また、2010年代における「質感」認知メカニズムの探求は、腹側経路がテクスチャー、光沢感などの質感情報の処理を行なっていることを明らかにした。両眼視差とテクスチャーの情報の処理は、V1野からV2、V4野に向けて進展する。しかし、V1、V2、V4野それぞれの中の異なるサブ領野機能構造（V1野のプロブ・プロブ間隙、V2野の細い縞・太い縞・淡い縞、V4野の色・方位ドメイン）のどこでテクスチャー情報や両眼視差情報が処理されているかの解明は遅れており、初期3経路から連合野2経路への変換過程の詳細は不明である。

この問題を解明するには、各領野におけるサブ領野機能構造を同定した上で、2光子励起カルシウムイメージング（以下、2光子イメージング）を用いて多数の単一神経細胞の反応特性と分布を明らかにする必要がある。このために、毛細血管血液中のヘモグロビンの酸素化程度を可視化する内因性信号光学イメージング（ISOI）を用いて広い大脳皮質表面の機能構造を可視化し、同時にカルシウム感受性緑色蛍光物質 GCaMP による高効率、高感度の2光子イメージングを適用する必要がある。長期にわたる ISOI を実現する技術とともに、霊長類の脳で高発現する GCaMP 遺伝子を開発し、同時に適用する技術が要求される。

2. 研究の目的

本研究は、V1、V2、V4野におけるテクスチャーと両眼視差の処理経路とその処理内容を明らかにし、大脳皮質における視覚情報の処理についての理解を進めることを当初目的とした。従来の研究の多くは領野レベルの解析が主体であり、ある特定の視覚情報が、サブ領野構造に特異的な解剖学的結合のどのルートを使って処理されているかの理解は不十分である。本研究では、ISOI によるサブ領野機能構造の同定と2光子イメージングによる個々の細胞が伝える情報および皮質内分布の解明によりこの問題を解決する。そのために、マカカ属サル（ニホンザルやアカゲザルなど）において、長期間にわたり大脳皮質の神経活動をモニタリングする技術と、高効率、高感度で働く GCaMP ベクターシステムの適用技術の確立を行う。

3. 研究の方法

- (1) ISOI は毛細血管血液中のヘモグロビンの酸素化程度を可視化する手法であり、皮質の広い範囲にわたって機能構造を可視化する。この手法を用いて、V1、V2、V4野のイメージングを行うには広範囲の大脳皮質を露出する必要がある。露出表面の平坦化、呼吸・心拍による振動防止、感染の防御のためのガラス窓記録チャンバーを設計、作成し、長期間（6ヶ月以上）にわたる記録を可能にする手法を確立する。
- (2) ISOI により同定した V1 のプロブ、プロブ間隙、V2 の3種類の縞構造（細い縞、太い縞、淡い縞）に、共同研究者である高田昌彦、井上謙一（京大）が開発した新規 GCaMP ウィルスベクターを微量注入する。ウィルス量、注入濃度、注入間相互距離を操作し、最適な実験状況を決定する。サルに視覚刺激（グレーティング）を提示し、V1野のカルシウム反応の蛍光を2光子イメージングにより計測し、方位選択性、方向選択性、眼優位性を調べることで、この検証を行う。どのくらいの期間、カルシウム反応が記録できるか、細胞内毒性による影響がいつ頃出てくるかについても検討する。
- (3) 技術確定ののち、ISOI により同定した V2 野の細い縞、淡い縞、太い縞、さらには V4 野

に、新規 GCaMP ウイルスベクターを注入し、テクスチャー刺激と対照刺激をサルに提示し、V2 野のどの縞がテクスチャー情報を処理しているのかを決定する。

研究プロジェクト遂行時期に、新型コロナウイルスの感染爆発が重なり、実験（3）の遂行が困難となったため、代替策として、関連する以下の二つの研究を遂行した。

- (4) 新規 GCaMP ウイルスベクターを開発する以前に、カルシウム感受性色素 Ca1520-AM を用いて行なった 2 光子イメージングの既得データの解析を行い、V1 野および V4 野におけるテクスチャー情報処理過程を調べた。この実験では、視覚刺激として、自然動画（映画からのクリップ）を提示し、符号化解析法を用いてその反応を解析することで、V4 野内にテクスチャー情報を処理するサブ領野機能構造が存在するかを検討する。
- (5) 両眼立体視の情報処理については、実験遂行が可能なヒトを対象にした fMRI による脳機能イメージング実験を行い、両眼対応問題（両眼立体視において、右目の像と左目の像の対応関係を正しく推定するという問題）の解決がどの領野で行われているかを検討した。

4. 研究成果

- (1) ISO1 による V1, V2 におけるサブ領野機能構造の同定と長期可視化

浙江大学の Anna Roe 教授、北京師範大学の Haidong Lu 教授の研究室で原型が開発されたガラス窓記録チャンバーの構造、ガラス厚、透明人工硬膜の設置法に工夫を加え、ISO1 の長期安定記録を実現した。V1, V2, V4 を露出し、適切な視覚刺激の提示により、眼優位性コラム、方位コラム、色反応プロブを同定した（図 1 上）。これら構造は手術後、長期間、観測が可能であった（図 1 下の例では 210 日までのデータを示す）。これにより、研究項目（2）へと進む基盤を達成した。

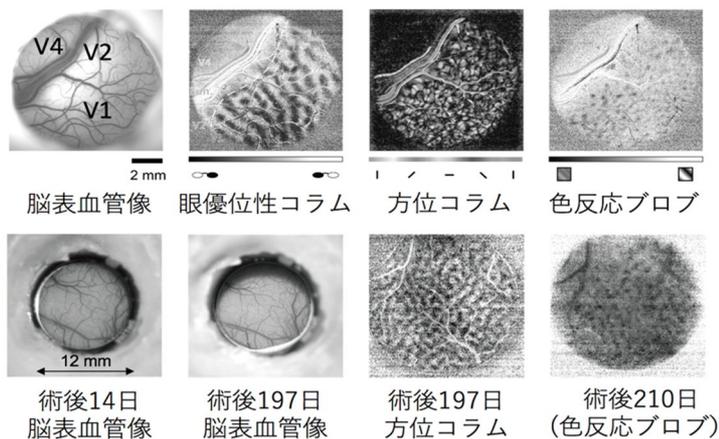


図 1 大脳皮質視覚野のサブ領野機能構造の長期可視化
上：眼優位性コラム、方位選択性コラム、色反応プロブ、色反応縞などサブ領野機能構造を同一皮質でマッピングを行う。
下：上記のマッピングを数ヶ月に渡って行うことができる。

- (2) 新規開発 GCaMP ウイルスベクターによる神経活動の記録と細胞の分布の特定
新規作成した GCaMP 遺伝子ウイルスベクターのニホンザルの V1 野に注入し、神経細胞の視覚反応にともなるカルシウム蛍光強度の観測を行い、最適注入濃度、体積、注入間隔を決定した。新規 GCaMP 遺伝子は V1 細胞により高能率で取り込まれ、GCaMP タンパク質を発現し、 dF/F （定常状態における蛍光強度 F に対して、神経活動に伴う反応 dF がどのくらいになるかの比）が 400% にもなる強い蛍光信号を 8 ヶ月にわたり発生した（図 2b）。個々の細胞が示す顕著な方位選択的応答が確認され（図 2c）、さらに、ISO1 により同定したサブ領野機能構造との対応も取ることができた（図 2a）。8 ヶ月半を過ぎる頃から、GCaMP を発現する細胞の樹状突起がビーズ状に断裂する変性が観察され、新規 GCaMP ウイルスベクターと改良型チャンバーの使用による観察期間は 8 ヶ月以内が適当であると結論した。本成果は、霊長類大脳皮質における GCaMP 2 光子イメージングの最も確実で安定した手法を確立した。（文献 1）
- (3) V2 野、V4 野のサブ領野機能構造別の視覚情報処理の解析
図 1 に示す実験個体の V2 野では、数カ所所で反応が薄く見えるものの、確信を持って 3 種類の縞構造を同定するには至らなかった。2 頭目の個体では、V2 野が月状溝の中に埋もれており、このサルにおいても V2 野のイメージングを行うことができなかった。研究期間中に、新型コロナウイルスの感染爆発が起きていたため、長期にわたり実験の停止が余儀なくされた。そのため、本研究項目の目標を達成することは叶わなかった。研究計画のこの穴を埋めるために、以下（4）（5）の研究を実施した。

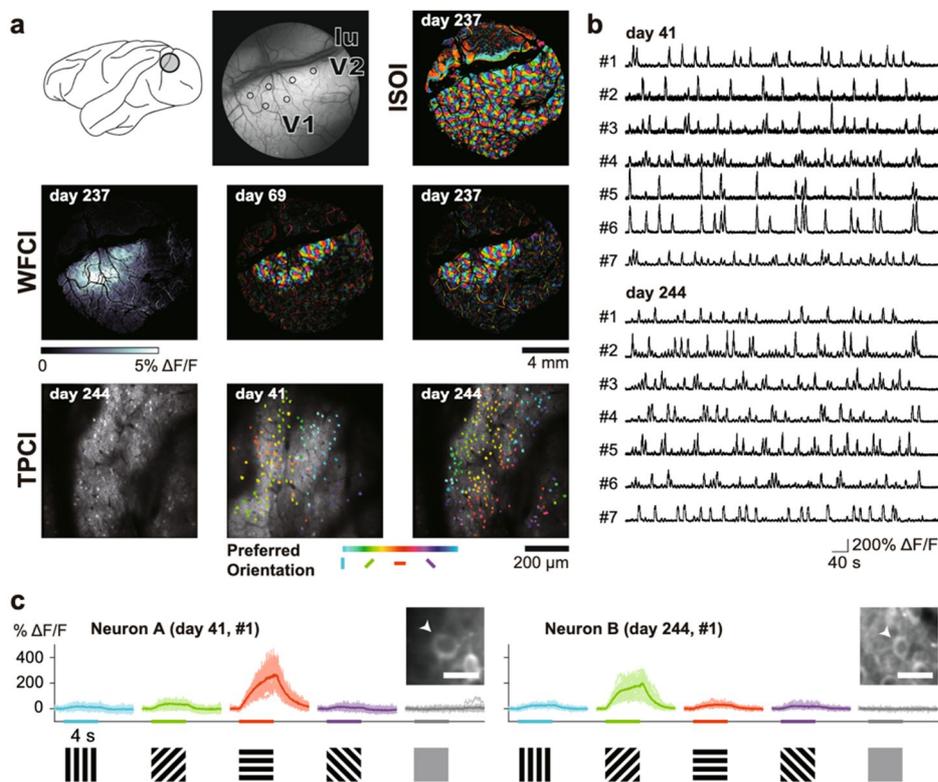


図2 新規開発 GCaMP ウイルスベクターを用いた V1 細胞の視覚反応の解析
 a : ISOI、広範囲 1 光子イメージング (WFCI) によるサブ領野機能構造の可視化と、2 光子イメージング (TPCI) による単一細胞レベルでの活動記録、b : 遺伝子導入後 41 日目と 244 日目それぞれの 7 つの神経細胞の蛍光反応、c : 単一神経細胞の具レーティング刺激に対する蛍光反応。dF/F が 200~400% にもなる大きな反応が観測できる。細胞 A は水平グレーティングに、細胞 B は右 45 度に傾いたグレーティングに反応した。

- (4) V1、V4 野におけるテクスチャー情報処理に特化したサブ領野機能構造の同定
 テクスチャー情報は V1 野から V4 野へ向かう経路で徐々に処理されるが、これらの領域それぞれの中で、テクスチャー処理に特化したサブ領野機能構造が存在するかは不明である。そこで、新規 GCaMP ウイルスベクターの開発以前にカルシウム感受性色素 Ca1520-AM を用いて行なった 2 光子イメージングの既得データに基づき、V1 野および V4 野におけるテクスチャー情報を処理する細胞の分布を調べた。本実験では、自然動画 (映画の短いシークリップをつなげたもの) を視覚刺激として用い、イメージングを行なった個々の神経細胞について、その反応を再現できる符号化モデルを作成した。このモデルが含有する画像フィルター群ならびにその間の相関計算の出力から、テクスチャーを定義する Portilla-Simoncelli 統計量を抽出し、それらの間の最適な重みづけ線形和により自然動画に対する神経細胞の反応を復元することができた。各フィルター、各相関出力の重みを評価することで、その細胞が伝えている情報を推測したところ、V1 細胞のほとんどは、神経細胞はガボルフILTERで記述できる低次画像統計量に反応していた。一方、V4 野では、そのような細胞とは別に、テクスチャーを特徴づける高次画像統計量に反応する細胞が多く存在し、しかも、皮質内で局所に集まっていた。この結果は、V4 野内にテクスチャー情報を伝える機能的構造が存在することを示唆している。本成果は、本来計画していたサブ領野機能構造を同定した上での検討を伴っていないものの、テクスチャー処理特異的機能構造があることの初の証拠を提出した。(文献 2)
- (5) fMRI を用いたヒト大脳皮質における両眼対応問題処理過程の解明
 両眼視差の正しい算出には、右目に映る像のどの部分が左目に映る像のどの部分に対応するのかを決める必要がある (両眼対応問題)。両眼対応問題の解決が大脳皮質のどの経路、どの領野で行われているかを、右目像と左目像の空間相関を段階的に変化させたランダムドットステレオグラム (RDS) をみている最中のヒトの脳活動を機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) で解析することにより、検討した。両眼視差の情報処理は、大脳皮質視覚野の数多くの領野で行われている (図 3)。その中で、初期視

覚野である V1, V2, V3 野では両眼対応問題が解決されておらず、中次～高次視覚野である V3A/V3B, hV4, hMT+, V7 野では、両眼対応問題の解決が進んでいた。段階的相関 RDS を見ている時のヒトの奥行き判断を再現するように訓練した深層ニューラルネットワークは、神経細胞の反応を模擬するように訓練したわけではないにもかかわらず、fMRI の結果と一致して、初期層のユニットは両眼対応問題を解決しておらず、高次層のユニットになると両眼対応問題を解決していた。このことは、ニューラルネットを両眼視差の検出に対して最適化することが、両眼対応解決を促す要因になっていることを示唆する。本成果は、サル脳における既存の知見をヒト脳へと拡張理解する上で重要な情報を提供する。

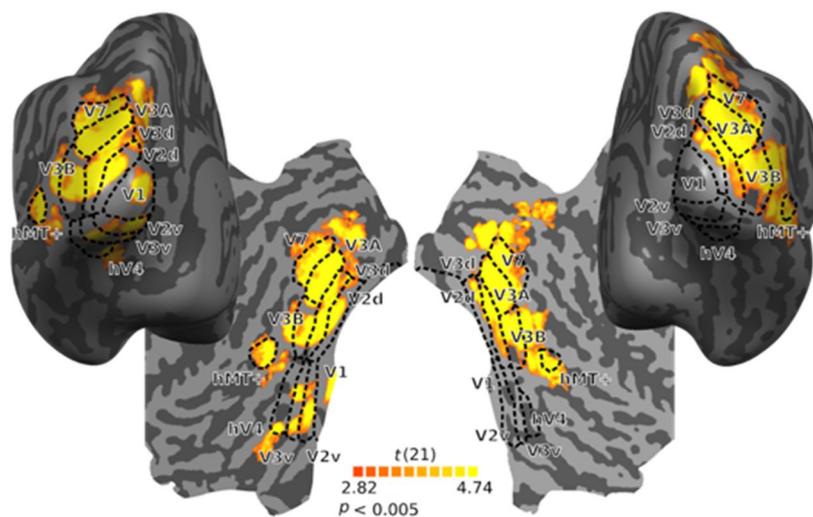


図3 ヒト脳のフラット表示に示す両眼視差処理領野
 黒点線は視覚領野の境界を示し、カラーコードされている場所は両眼視差情報処理に関わる領野を示す。多くの視覚領野が両眼視差の処理に関わっている。各領野が両眼対応問題をどの程度、解決しているかを、本研究では検討した。

< 引用文献 >

1. Kimura K, Nagai Y, Hatanaka G, Fang Y, Tanabe S, Zheng A, Fujiwara M, Nakano M, Hori Y, Takeuchi RF, Inagaki M, Fujita I, Inoue, K, Takada, M. (2023) A mosaic adeno-associated virus vector as a versatile tool that exhibits high levels of transgene expression and neuron specificity in primate brain. Nature Communications 14 (4762): 1-17.
2. Hatanaka G, Inagaki M, Takeuchi RF, Nishimoto S, Ikezoe K, Fujita I (2022) Processing of visual statistics of naturalistic videos in macaque visual areas V1 and V4. Brain Structure and Function 227: 1385-1403.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Kei Kimura, Yuji Nagai, Gaku Hatanaka, Yang Fang, Soshi Tanabe, Andi Zheng, Maki Fujiwara, Mayuko Nakano, Yukiko Hori, Ryosuke F. Takeuchi, Mikio Inagaki, Takafumi Minamimoto, Ichiro Fujita, Ken-ichi Inoue, Masahiko Takada	4. 巻 14:4762
2. 論文標題 A mosaic adeno-associated virus vector as a versatile tool that exhibits high levels of transgene expression and neuron specificity in primate brain	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-023-40436-1	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 Yukako Yamane, Junji Ito, Cristian Joana, Ichiro Fujita, Hiroshi Tamura, Pedro E. Maldonado, Kenji Doya, Sonja Gruen	4. 巻 10
2. 論文標題 Neuronal population activity in macaque visual cortices dynamically changes through repeated fixations in active free viewing	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 eNeuro	6. 最初と最後の頁 1-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1523/eneuro.0086-23.2023	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 Chanseok Lim, Mikio Inagaki, Takashi Shinozaki, Ichiro Fujita	4. 巻 13
2. 論文標題 Analysis of convolutional neural networks reveals the computational properties essential for subcortical processing of facial expression	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-023-37995-0	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 Ito Junji, Joana Cristian, Yamane Yukako, Fujita Ichiro, Tamura Hiroshi, Maldonado Pedro E., Gr?n Sonja	4. 巻 12:6021
2. 論文標題 Latency shortening with enhanced sparseness and responsiveness in V1 during active visual sensing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-09405-4	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 Hatanaka Gaku, Inagaki Mikio, Takeuchi Ryosuke F., Nishimoto Shinji, Ikezoe Koji, Fujita Ichiro	4. 巻 227
2. 論文標題 Processing of visual statistics of naturalistic videos in macaque visual areas V1 and V4	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Brain Structure and Function	6. 最初と最後の頁 1385 ~ 1403
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00429-022-02468-z	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 Inagaki Mikio, Inoue Ken-ichi, Tanabe Soshi, Kimura Kei, Takada Masahiko, Fujita Ichiro	4. 巻 33
2. 論文標題 Rapid processing of threatening faces in the amygdala of nonhuman primates: subcortical inputs and dual roles	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Cerebral Cortex	6. 最初と最後の頁 895 ~ 915
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/cercor/bhac109	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 Inagaki Mikio, Ito Tatsuro, Shinozaki Takashi, Fujita Ichiro	4. 巻 13
2. 論文標題 Convolutional neural networks reveal differences in action units of facial expressions between face image databases developed in different countries	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Psychology	6. 最初と最後の頁 1-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fpsyg.2022.988302	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 Lim Chanseok, Inagaki Mikio, Shinozaki Takashi, Fujita Ichiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Analysis of convolutional neural networks reveals the computational properties essential for subcortical processing of facial expression	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 BioRxiv	6. 最初と最後の頁 1-36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1101/2023.01.18.524656	査読の有無 無
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 Ichiro Fujita	4. 巻 41
2. 論文標題 Cortical mechanism of binocular stereopsis: how our brain constructs the 3D world	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Japanese Journal of Psychonomic Science	6. 最初と最後の頁 19-27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14947/psychono.41.4	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 Kei Kimura, Yuji Nagai, Gaku Hatanaka, Yang Fang, Andi Zheng, Maki Fujiwara, Mayuko Nakano, Yukiko Hori, Ryosuke Takeuchi, Mikio Inagaki, Takafumi Minamimoto, Ichiro Fujita, Ken-ichi Inoue, Masahiko Takada	4. 巻 -
2. 論文標題 A mosaic adeno-associated virus vector as a versatile tool that exhibits high levels of transgene expression and neuron specificity in primate brain	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 BioRxiv	6. 最初と最後の頁 1-40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1101/2021.07.18.452859	査読の有無 無
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 Chanseok Lim, Mikio Inagaki, Takashi Shinozaki, Ichiro Fujita	4. 巻 121
2. 論文標題 Explaining coarse visual processing in the subcortical pathway with convolutional neural networks	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Technical Report	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 稲垣未来男、伊藤竜朗、篠崎隆志、藤田一郎
2. 発表標題 異なる表情データベースを用いて学習させた畳み込みニューラルネットワークにおけるaction unit選択性の違い
3. 学会等名 第46回日本神経科学大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 林燦碩、稲垣未来男、篠崎隆志、藤田一郎
2. 発表標題 畳み込みニューラルネットワークを用いた皮質下経路の粗い情報処理の説明
3. 学会等名 ニューロコンピューティング研究会 (2021-11-NC-MBE)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 赤星宏知, 稲垣未来男, 林 燦碩, 小松優介, 篠崎隆志, 藤田一郎
2. 発表標題 大脳皮質経路と皮質下経路の表情表現：畳み込みニューラルネットワークを用いた比較
3. 学会等名 日本視覚学会2021年夏季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲垣未来男、佐藤優、渡辺直樹、Lim Chanseok、小松優介、篠崎隆志、藤田一郎
2. 発表標題 大脳皮質経路と皮質下経路が表情認識に与える影響：畳み込みニューラルネットワークと心理実験による検討
3. 学会等名 日本視覚学会2022年夏季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Toshihide W. Yoshioka, Yasutaka Okazaki, Ichiro Fujita
2. 発表標題 Relationship between the disparity tuning symmetry and responses to anti-correlated random stereograms in macaque areas V2, V3 and V3A
3. 学会等名 Vision Sciences Society Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤田一郎
2. 発表標題 3D世界を見る脳のカラクリと謎：両眼立体視の大腦生理学的基盤
3. 学会等名 日本基礎心理学会第40回大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤田一郎
2. 発表標題 3D世界を見る脳のなぞとしくみ：両眼立体視の大腦生理学的基盤
3. 学会等名 日本生理学会第99回大会（招待講演）
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 藤田一郎	4. 発行年 2023年
2. 出版社 医学書院	5. 総ページ数 452
3. 書名 視能訓練学 第2版	

1. 著者名 藤田一郎	4. 発行年 2021年
2. 出版社 医学書院	5. 総ページ数 309
3. 書名 連合野ハンドブック 完全版	

1. 著者名 藤田一郎	4. 発行年 2021年
2. 出版社 京都市立芸術大学	5. 総ページ数 243
3. 書名 「奥行き感覚」を求めて：美術をめぐる新たな鑑賞と実践	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>藤田一郎「顔じゃないのに顔に見えるパレイドリア現象のなぜ？」ダイヤモンド2021/05/01 86-87. 藤田一郎「基礎研究が最新医療へと結実 起こり得ないことが可能に」ダイヤモンド2021/06/26 82-83. 藤田一郎「ミツバチもゼロが分かる！ 始まった数の概念の脳活動研究」ダイヤモンド2021/08/21 72-73. 藤田一郎「数学ができる人は濃度が高い？ 脳の伝達物質GABAの謎」ダイヤモンド2021/10/09 76-77. 藤田一郎「脳のもう一つの主役グリア 新たに判明した驚くべき働き」ダイヤモンド2021/11/27 84-85. 藤田一郎「左右対称な方がもてる!? 虫もヒトも好んで選ぶ理由」ダイヤモンド2022/01/22 70-71. 藤田一郎「明るい場所で瞳が縮むのはなぜ 謎が尽きない脳のメカニズム」ダイヤモンド2022/03/12 86-87. 藤田一郎「自分がいる位置はなぜ分かる？ 脳内のナビゲーションシステム」ダイヤモンド2022/05/14 60-61. 藤田一郎「最新脳の発達チャートが示すシナプスの数と発達障害の関係」ダイヤモンド2022/07/02 82-83. 藤田一郎「光で音を聞くことができる 人工内耳技術の現在と未来」ダイヤモンド2022/09/03 90-91. 藤田一郎「大人の脳も神経細胞を生むか 1世紀にわたる大論争の現在」ダイヤモンド2022/11/12 80-81. 藤田一郎「嗅覚の特殊能力者が貢献するパーキンソン病の早期診断法」ダイヤモンド2023/1/28 82-83 藤田一郎「500年来の常識を覆す新発見 脳を包む第四の膜の構造と機能」ダイヤモンド2023/03/18 68-69. 藤田一郎「再発見 人によって劇的に違う心の中で物を思い浮かべる能力」ダイヤモンド2023/05/20 46-47 藤田一郎「脳と脊髄をデジタルで橋渡し 脊髄損傷治療にブレークスルー」ダイヤモンド2023/07/15 776-77. 藤田一郎「脳は体をどう動かしているか 書き換えられた脳の地図」ダイヤモンド2023/09/16 68-69. 藤田一郎「脳は爬虫類を含んだタマネギ？ 残る三位一体脳説の影響」ダイヤモンド2023/11/18 60-61. 藤田一郎「人工網膜の最先端企業が撤退 目と耳でさがった理由」ダイヤモンド2024/01/20 80-81.</p>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (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)	大阪大学・大学院生命機能研究科・教授 (14401)	
研究分担者	田村 弘 (Tamura Hiroshi) (80304038)	大阪大学・大学院生命機能研究科・准教授 (14401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------

ドイツ	Juelich Research Center	Aachen University,		
チリ	Universidad de Chile			
中国	Chinese Academy of Sciences			