

令和 3 年 5 月 25 日現在

機関番号：14401

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H05921

研究課題名(和文) 視覚系における質感情報表現の階層的情報変換

研究課題名(英文) Hierarchical Transformation of Shitsukan Information Representation in the Visual System

研究代表者

大澤 五住(OHZAWA, Izumi)

大阪大学・生命機能研究科・教授

研究者番号：20324824

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 52,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究計画では、主にデータ駆動型アプローチを用いて階層構造を持つ視覚系における質感情報処理を単一細胞の神経活動と対応づけて理解することを目的として研究を行った。自主開発した視覚刺激と多点電極からのデータの解析システムを活用し、V1での神経細胞の単眼および両眼刺激選択性を、多数の細胞の神経統合の観点から調べた。さらにV1、V4領野において、神経細胞間の結合の種類と程度を相互相関解析における同期発火の強さにより決定した。同時記録された神経細胞の刺激選択性が、神経細胞間の結合の度合いとどのような関係にあるのかを定量的に解析した。また、ディープニューラルネットを実際の動物の脳と並行して研究した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

神経系は多数の処理段階からなる階層構造を持ち、神経細胞の結合による複雑なネットワークにより視覚などの高度で複雑な機能が実現されている。この情報処理は初期段階では比較的理解が進んだが、多段階を経た高次の領野では不明な点が多い。こうした神経結合の役割と多数の細胞の結合がもたらす機能を、理論と実験により統一的に理解することは学術的に重要である。また、近年爆発的に応用がすすむAI(人工知能)の基本原則の理解は重要である。その基盤であるニューラルネットは視覚系の構造が元になっており、ディープニューラルネットの内部構造と実現される機能について、実際の脳との関係から理解することは意義深い。

研究成果の概要(英文)：We employed data-driven approaches in order to study hierarchical organization of the visual system with respect to visual information processing for material perception. Using visual stimuli and multi-neuron recording system we have developed, we studied V1 monocular and binocular selectivities to visual stimuli in relation to pooling activities of multiple neurons. In V1 and V4, we determined the types and strengths of synchronous firing among many neurons recorded simultaneously. From these data, we were able to determine how stimulus selectivity is related to the functional neural connectivity. We also studied visual processing using artificial deep neural networks.

研究分野：視覚神経科学

キーワード：視覚 大脳 受容野 ステレオ立体視 一次視覚野 ニューラルネット 刺激選択性 同期発火

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

神経系は多数の処理段階からなる階層構造を持ち、神経細胞の結合による複雑なネットワークにより視覚などの高度で複雑な機能が実現されている。この情報処理は初期段階では比較的 understanding が進んでいたが、多段階を経た高次の領野では不明な点が多かった。こうした神経結合の役割と多数の細胞の結合がもたらす機能を、理論と実験により統一的に理解することは学術的に重要である。また、近年爆発的に応用がすすむ AI (人工知能) の基本原理の理解は重要である。その基盤であるニューラルネットは視覚系の構造が元になっており、ディープニューラルネットの内部構造と実現される機能について、実際の脳との関係から理解することは重要である。研究代表者は、初期視覚野の神経細胞について、受容野計測を長年行ってきたが、これは網膜から大脳の細胞への神経結合の様態を精密に計測することに相当する。また、受容野計測を立体視のメカニズムの解明に応用してきた。これらの知見を、中間段階からさらに高次の視覚神経系に適用し、高次視覚領野までの処理の解明を行うことが期待されていた。

2. 研究の目的

本研究計画では、主にデータ駆動型アプローチを用いて階層構造を持つ視覚系における質感情報処理を単一細胞の神経活動と対応づけて理解することを目的として研究を行った。階層的に構成された視覚系において、質感にかかわる情報処理過程を、主として神経細胞レベルでの電気生理学および心理物理学的手法により解析する。中間段階の視覚領野における質感情報の担われ方には未知な点が非常に多いため、少数の可能性に特化した仮説やモデルを検証する従来手法は限定的にしか使えない。このため、データ駆動のマイニング的なアプローチが必要である。

3. 研究の方法

データ駆動のマイニング的なアプローチとして、従来のサイン波、点、直線など、幾何学的形状を持つ解析的な視覚刺激や自然画像刺激だけでなく、特定の仮説やモデルに強く特化しない視覚刺激として、画像統計量を体系的に操作した刺激や、視覚情報の起点である一次視覚野(V1)の細胞が担う情報の集合として生成したランダム人工刺激(大澤研究室で開発した Dynamic Random Gabor Wavelet [DRGW]刺激等を含む)を使用した。V1 から高次の視覚野までのデータを、主として V1, V4 領野から取得し解析した。膨大な数の刺激を含む空間を扱うため、記録時間の制限により、実験データはスパース性が高い(ギャップが多い)が、高効率・高精度な細胞特性の解析法と刺激の構成法を開発した岡田の理論的支援を受けながら、佐々木・大澤が刺激と具体的な解析ソフトウェアを開発し、田村と研究協力者の大学院生と記録実験を行った。また、心理物理学の実験とディープニューラルネットと霊長類の視覚系との比較を田村が中心となって行った。

4. 研究成果

(1) 現在の AI の中核をなす技術の一つが深層畳み込みニューラルネットワーク(DCNN)である。DCNN はもともと、大脳 1 次視覚野にある神経細胞の機能的性質や、そこから始まる階層的な視覚情報処理にヒントを得て考案された。我々は、視覚刺激を呈示して、それに対する大脳 1 次視覚野の応答を記録し、その応答を再現するような機能モデルを構築することで、将来、AI の性能をより高めることに資するべく、視覚情報処理の基礎的な理解を深める研究を行ってきた。

大脳皮質 1 次視覚野のひとつひとつの神経細胞は、視野のごく一部しか「見て」いない。そして、その細胞の視野の中に見える特定の傾きの縞模様の濃さに応じて、応答の大きさを変化させる。これが、大脳皮質 1 次視覚野神経細胞のもっとも基本的な性質で、DCNN の第 1 畳み込み層のユニットにフィルタとして実装されている。ただし、実際の大脳皮質 1 次視覚野神経細胞の応答はもっと複雑であることが知られている。例えば、縞模様がある限界を超えて広い範囲に広がっていたりすると応答は小さくなる。これは周辺抑制と呼ばれ、縞模様があるところとないところの境界、つまりテクスチャーなどの境界を見つけるために役に立つと考えられている。

我々は、スパース STC というデータ解析手法を開発し、実際の神経細胞の応答からその応答を再現するモデルを構築した。ある神経細胞の機能モデルを図 1 に示す。現在の DCNN の第 1 畳み込み層のユニットとほぼ等価なのは、1 段目の構成要素である(空間フィルタ、その周波数応答、および活性化関数を示す)。我々が記録し、応答を解析したこの実際の神経細胞は、このほかに、興奮性に働く構成要素 (2 段目) と抑制性に働く構成要素 (3-6 段目) を持つ。抑制性に働く構成要素が応答する傾きは 1 段目のフィルタの傾きとほぼ同じで、アナログ時計でいうと 4 時くらいの方角だが、場所は 1 段目のフィルタとは違うことがわかる。このことから、抑制性に働く構成要素は周辺抑制を引き起こすと考えられる。

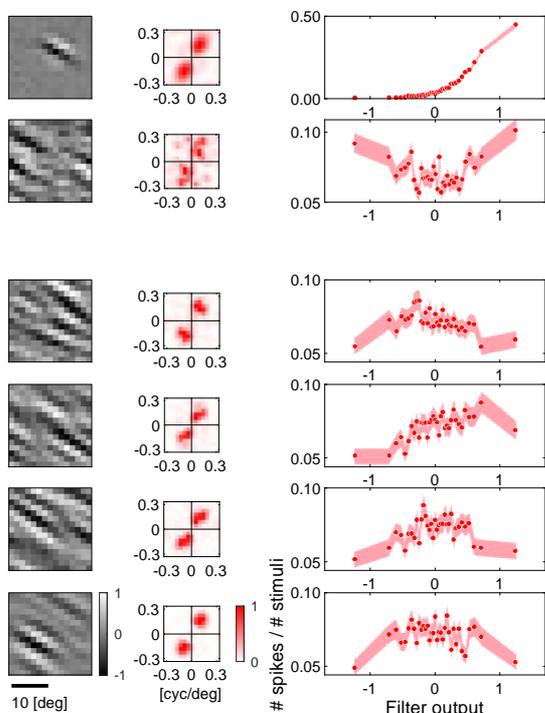


図 1：スパース STC 解析により見つかった実際の神経細胞の反応に寄与する複数の機能フィルタ

(2) 霊長類腹側視覚経路の高次視覚皮質には、特定の物体画像の輪郭や色、テクスチャーなどの表面画像特徴に選択的に反応する神経細胞が存在する。このような神経細胞が生後発達の過程で、どのような時間経過で出現するのかについては不明な点が多くある。例えば、個々の神経細胞の反応選択性がどのような時間経過で成熟するのか、画像認識能力の発達とどのように関連するのかなどは不明である。しかし、このような問題を動物を用いて神経生理学的および行動学的に調べることも技術的に困難である。生理学的実験では、どのような方法を用いたとしても、視覚領野全体の細胞数からすれば、ごく少数の細胞からごく短時間だけ記録できるにすぎない。そこで我々は、霊長類腹側視覚経路と構造および反応特性が類似する深層畳み込みニューラル

ネットワーク (DCNN) をモデルとして用いて、DCNN フィルタの物体認識における役割を検討してきた(Kanda et al., 2020)。この研究では、DCNN をモデルとして用いて、フィルタの選択的反応の発達過程と認識能力の発達過程との関連を理解することを目指した。DCNN として、AlexNet (Krizhevsky et al, 2012) を用いた。Alexnet は学習初期で認識精度が急激に上昇することが知られている。我々の実験でも、1 エポック (トレーニングの 1 回分) から認識精度が上昇し、30 エポックで 80% の認識精度に到達することを確認した。ネットワークを構成する各フィルタの成熟過程を定量化するために、各フィルタの応答を最大化する入力画像 (最適画像) を、activation maximization を用いて求めた。トレーニング回数が異なるモデル間における最適画像を、十分訓練した (90 エポック) 時点での最適画像と比較した。AlexNet の低次層では最適画像が 20 エポックで 90 エポックの最適画像にかなりの程度、類似度が向上した。一方、高次層では 70 エポック前後で類似性は飽和した。この結果は、高次層の発達は低次層の発達に比べて遅れることを示唆している。また、認識精度の向上が、高次層フィルタの発達をともなっていないことも示唆する。

そこで、フィルタ集団としての画像情報表現の発達過程を検討するために、DCNN 各レイヤーにおけるフィルタ集団応答による画像間非類似度行列 (RDM, Representational Dissimilarity Matrix) を各エポックごとに作成し、RDM 間の類似度を検討した。モデル間で画像セットの表現が似ていれば、RDM は互いに似るので、その類似度を評価できる。初期層、高次層ともに、訓練初期の段階 (5 エポック) から情報表現が 90 エポックでの情報表現と類似していた。以上の結果より、最適画像で表される個々のフィルタが保持する内部パラメータの発達とフィルタ集団の示す情報表現の発達過程には解離が生じるが、フィルタ集団の示す情報表現の発達過程とは類似することが明らかになった。(Kanda Y, Sasaki KS, Ohzawa I, Tamura H. arXiv 2020)

(3) ヒトを含む多くの高等動物では、両眼立体視によって得た視覚世界の 3 次元構造に関する情報をその生存のために有効に利用している。この研究では、理論と電気生理学的な手法により、一次視覚野細胞における多次元プーリングモデルを構築しそれを実験的に検証した。電気生理学的な手法により、上記の多次元プーリングモデルの理論予測を、一次視覚野細胞において実験的に検証した。理論予測との整合性が確認され、多次元でプーリングを解析することにより、プーリングの度合いを空間位置、空間周波数、方位のそれぞれについて分離して捉えることに成功した。また、過去の研究では一次視覚野には存在しないとされてきた、左右の相対方位視差に対する反応を示す細胞が実際に存在することを確認することができた。

図 2C は両眼視差検出器の最小単位の (X, Y) 視野空間におけるプーリングを示すが、我々は V1 空間におけるプーリングにより、細胞のパラメータの両眼一致度に対する選択性が全パラメータについてよりシャープになることを発見した。両眼立体視の視力 (stereo acuity) は、角度ベースで数秒であり、視力検査で測る通常の解像度としての視力 1.0 が角度ベースでは 1 分 (1/60 度) であることを考えると、両眼立体視の視力は解像度としての視力より 10 倍はよいことが知られている。プーリングという簡単なメカニズムが両眼立体視の高精度化に寄与しているのかもしれない。以上のことから、両眼からの視覚情報は V1 パラメータ空間のプーリングによって視差検出にとって望ましい表現に変換されていると考えられる。(Kato, Baba, Sasaki, Ohzawa. 2016)

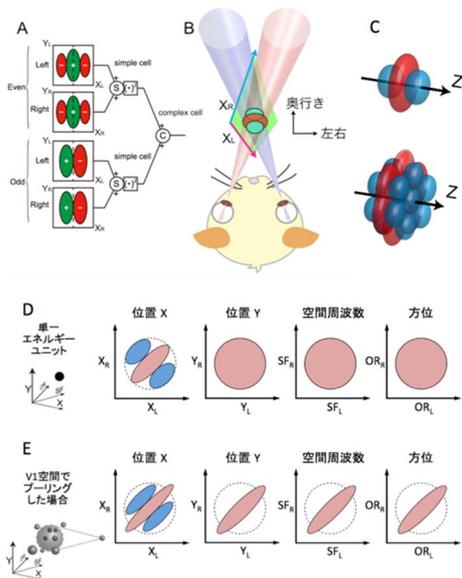


図2：両眼立体視の高精度化のメカニズム：V1 細胞のプリーングにより左右刺激パラメータの整合性がより強く要求される

(4) この研究では、階層的視覚情報処理を、V1 と処理階層の中間段階にあたる4次視覚野(V4)において調べた。これらの領野にある神経細胞の視覚刺激選択性と、神経細胞が形成するネットワーク内での細胞間の結合度との関係を、麻酔不動化した霊長類の視覚領野において多数の神経細胞から同時記録を行うことにより調べた。記録電極は32の記録点を持ち、異なる大脳皮質内の位置にある数十の神経細胞の発火活動を記録することができる。このような脳活動記録系が生成するデータは膨大なものであり、電極の各記録点からの信号を複数の神経細胞からの活動電位に分離するスパイクソーティング解析をおこなうシステムを構築した。そのシステムを使用して、V1 と V4 の各領野での神経細胞の結合の種類と程度を相互相関解析における同期発火の強さにより決定した。また、記録された各神経細胞について、方位と空間周波数に関する選択性を調べた。これらの視覚刺激パラメータに対する選択性が、V1 と V4 とで異なるのか、また、同時記録された神経細胞の刺激選択性の類似度は、神経細胞間の結合の度合いとどのような関係にあるのかを定量的に解析した。

空間周波数については、V4 の神経細胞は、V1 のそれよりも平均として最適空間周波数が低く、空間周波数バンド幅が広いという傾向があった。方位に関しては、領野間で特に差は見られなかった。このことから、V1 から V4 への情報伝達の過程で、空間周波数に関してはプリーングが行われている一方、方位に関してはプリーングはほとんど行われないことが示唆された。また、方位・空間周波数特性の両方について選択性のオーバーラップの度合いと細胞間の結合の程度の関係から、V4 においては、V1 とは異なり、方位が大きく異なる神経細胞間では、同期発火が最適空間周波数の違いにかかわらず見られた。これに対し、最適方位が近い神経細胞間においては、最適空間周波数についても近接している場合のみ、同期発火が見られた。これらの結果より、V1 と V4 の視覚情報処理の様態がどのように異なるのかを明らかにすることができた。また、V4 内では、幅広い空間周波数の範囲で、テクスチャ選択性などに関わりがある、方位の相関に関する情報の処理を担うメカニズムの形成が行われている可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 小谷梨奈、市川寛子、五十嵐康彦、本武陽一、岡田真人、田村弘	4. 巻 118
2. 論文標題 L1ロジスティック回帰を用いた視覚皮質神経細胞集団の物体表面画像に対する識別性能の評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 信学技報	6. 最初と最後の頁 145-150
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 -

1. 著者名 木村耕治、山根ゆか子、田村弘、酒井宏	4. 巻 118
2. 論文標題 サルV4図地選好性細胞の受容野構造	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 信学技報	6. 最初と最後の頁 181-185
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 -

1. 著者名 佐々木耕太、田村 弘	4. 巻 73
2. 論文標題 視覚的質感認識を実現する階層的神経機構	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 映像情報メディア学会誌	6. 最初と最後の頁 602-610
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 -

1. 著者名 Kaneko Hidekazu, Sano Hiroto, Hasegawa Yasuhisa, Tamura Hiroshi, Suzuki Shinya S.	4. 巻 45
2. 論文標題 Effects of forced movements on learning: Findings from a choice reaction time task in rats	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Learning & Behavior	6. 最初と最後の頁 191 ~ 204
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3758/s13420-016-0255-9	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, Yamane Yukako, Suzuki Mika, Maldonado Pedro, Fujita Ichiro, Tamura Hiroshi, Grun Sonja	4. 巻 7
2. 論文標題 Switch from ambient to focal processing mode explains the dynamics of free viewing eye movements	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1082-1082
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-017-01076-w	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 Tamura Hiroshi	4. 巻 1
2. 論文標題 Pairwise correlations of spiking activity changes along the ventral visual cortical pathway of macaque monkeys	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 bioRxiv	6. 最初と最後の頁 220301-220301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1101/220301	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 本武 陽一、庄野 逸、田村 弘、岡田 真人	4. 巻 59
2. 論文標題 脳情報科学と人工知能 - ネオコグニトロンから Deep Learning へ -	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 情報処理 (情報処理学会誌)	6. 最初と最後の頁 42-47
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 -

1. 著者名 Inagaki M, Sasaki KS, Hasimoto H, Ohzawa I	4. 巻 112
2. 論文標題 Subspace mapping of the three-dimensional spectral receptive field of macaque MT neurons.	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 J Neurophysiol.	6. 最初と最後の頁 784-795
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1152/jn.00934.2015	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 大澤五住	4. 巻 34
2. 論文標題 ディープニューラルネットと視覚野	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Clinical Neuroscience	6. 最初と最後の頁 896-899
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 無
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 Mochizuki Y, Onaga T, Shimazaki H, Shimokawa T, Tsubo Y, Kimura R, Saiki A, Sakai Y, Isomura Y, Fujisawa S, Shibata K, Hirai D, Furuta T, Kaneko T, .. Yamane Y, Tamura H, Fujita I, Inaba N, Kawano K, Kurkin S, Fukushima K, Kurata K, Taira M, Tsuitsui K, Ogawa T, Komatsu H, Koida K, Toyama K, Richmond B, Shinomoto S 他	4. 巻 36
2. 論文標題 Similarity in neuronal firing regimes across mammalian species	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 J Neurosci.	6. 最初と最後の頁 5736-5747
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1523/JNEUROSCI.0230-16.2016	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 該当する

1. 著者名 Tamura H, Otsuka H, Yamane Y	4. 巻 86157
2. 論文標題 Neurons in the inferior temporal cortex of macaque monkeys are sensitive to multiple surface features from natural objects.	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 bioRxiv	6. 最初と最後の頁 1-47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1101/086157	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 Kaneko H, Sano H, Hasegawa Y, Tamura H, Suzuki SS	4. 巻 16
2. 論文標題 Effects of forced movements on learning: findings from a choice reaction-time task in rats	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Learning & Behavior	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3758/s13420-016-0255-9	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 Ito J, Yamane Y, Suzuki M, Maldonado P, Fujita I, Tamura H, Sonja Gruen	4. 巻 7
2. 論文標題 Switch from ambient to focal processing mode explains the dynamics of free viewing eye movements	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1082 (14 pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-017-01076-w	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 Baba M, Sasaki KS, Ohzawa I	4. 巻 5
2. 論文標題 Integration of multiple spatial frequency channels in disparity-sensitive neurons in the primary visual cortex.	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 J Neurosci.	6. 最初と最後の頁 10025-10038
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1523/JNEUROSCI.0790-15.2015	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 Sasaki KS, Kimura R, Ninomiya T, Tabuchi Y, Tanaka H, Fukui M, Asada YC, Arai T, Inagaki M, Nakzono T, Baba M, Kato D, Nishimoto S, Sanada TM, Tani T, Imamura K, Tanaka S, Ohzawa I	4. 巻 5
2. 論文標題 Supranormal orientation selectivity of visual neurons in orientation-restricted animals.	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Sci. Rep.	6. 最初と最後の頁 16712
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/srep16712	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 Kato D, Baba M, Sasaki KS, Ohzawa I.	4. 巻 371
2. 論文標題 Effects of generalized pooling on binocular disparity selectivity of neurons in the early visual cortex.	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Phil. Trans. R. Soc. B	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rstb.2015.0266	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 Hasuike M, Ueno S, Minowa D, Yamane Y, Tamura H and Sakai K	4. 巻 9490
2. 論文標題 Figure-Ground Segregation by a Population of V4 cells --- A Computational Analysis on Distributed Representation.	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 22nd International Conference on Neural Information Processing (ICONIP) 2015. Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 617-622
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-26535-3_70	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42件(うち招待講演 7件/うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Yukako Yamane, Junji Ito, Cristian Joana, Pedro E. Maldonado, Hiroshi Tamura, Ichiro Fujita, Kenji Doya, Sonja Gruen
2. 発表標題 Inferring fixated objects in free viewing from parallel neuronal spiking activities in macaque monkeys.
3. 学会等名 第41回日本神経科学大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yukako Yamane, Junji Ito, Cristian Joana, Pedro E. Maldonado, Hiroshi Tamura, Ichiro Fujita, Kenji Doya, Sonja Gruen
2. 発表標題 Representation of fixated objects by multiple single unit activity in visual cortices of freely viewing macaque monkeys.
3. 学会等名 FENS2018, 11th FENS (Federations of European Neurosciences) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 塚田 堯、佐々木 耕太、坂本 浩隆、長野 洋大、楽 詠こう、岡田 真人、大澤 五住
2. 発表標題 スパースSTCによるV1複雑型細胞の受容野推定
3. 学会等名 第41回日本神経科学大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐々木 耕太、脇谷 海平、大澤 五住
2. 発表標題 CNNにおける手がかり不変的な応答
3. 学会等名 第41回日本神経科学大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 東 侑之介、佐々木 耕太、坂本 浩隆、長野 祥大、楽 詠こう、岡田 真人、大澤 五住
2. 発表標題 Lassoを用いた時空間受容野のスパース推定
3. 学会等名 第41回日本神経科学大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 神田悠汰, 佐々木耕太, 大澤五住, 田村 弘
2. 発表標題 物体像選択的ユニット削除はCNN分類性能を向上させ, 非選択的ユニット削除は低下させる
3. 学会等名 日本視覚学会 2019年 冬季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤本紗也加、田村 弘
2. 発表標題 視空間的注意コントロール条件での網膜偏心度と知覚潜時の関係
3. 学会等名 日本視覚学会 2019年 冬季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中野騰久, 田村 弘
2. 発表標題 奥行きと方向の異なる対象間での眼球運動において観察される三相の運動軌跡
3. 学会等名 日本視覚学会 2019年 冬季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 我妻伸彦, 日高章理, 田村 弘
2. 発表標題 サル視覚皮質と深層畳み込みニューラルネットワークが獲得する saliency mapモデルの画像情報表現
3. 学会等名 日本視覚学会 2019年 冬季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小谷梨奈、市川寛子、五十嵐康彦、本武陽一、岡田真人、田村弘
2. 発表標題 L1ロジスティック回帰を用いた視覚皮質神経細胞集団の物体表面画像に対する識別性能の評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 ニューロコンピューティング研究会 (NC) ・MEとバイオサイバネティクス研究会(MBE) 合同研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村耕治、山根ゆか子、田村弘、酒井宏
2. 発表標題 サルV4図地選好性細胞の受容野構造
3. 学会等名 電子情報通信学会 ニューロコンピューティング研究会 (NC) ・MEとバイオサイバネティクス研究会(MBE) 合同研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Izumi Ohzawa
2. 発表標題 Pooling in V1 parameter space enhances accuracy of binocular matching
3. 学会等名 The 13th Asia Pacific Conference on Vision (APCV) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田村弘
2. 発表標題 眼球運動と物体認識
3. 学会等名 ニューロコンピュータビジョン研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 脇谷 海平、佐々木 耕太、大澤 五住
2. 発表標題 Curvature-selective units emerged in intermediate layer of a convolutional network
3. 学会等名 Neuro2017、第40回日本神経科学大会、幕張メッセ、千葉市
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 塚田 堯、佐々木 耕太、大澤 五住
2. 発表標題 Comparisons of orientation and spatial frequency tuning characteristics across V1, V2 and MT neurons in macaque monkeys
3. 学会等名 Neuro2017、第40回日本神経科学大会、幕張メッセ、千葉
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 H. Tamura
2. 発表標題 Pairwise correlation of spiking activities differed among hierarchically organized visual cortical areas of macaque monkeys
3. 学会等名 Neuro2017、第40回日本神経科学大会、幕張メッセ、千葉市
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ito J, Yamane Y, Suzuki M, Maldonado P, Fujita I, Tamura H, Grun S
2. 発表標題 Switch from ambient to focal processing mode explains the dynamics of free viewing eye movements
3. 学会等名 ECPV 2017 European Conference on Visual Perception 27-31 August Berlin, Germany (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中谷光宏、神田悠汰、田村弘
2. 発表標題 Relationships between natural surface images representations of monkey visual cortical areas and those of convolutional neural networks
3. 学会等名 第27回 日本神経回路学会 全国大会、北九州国際会議場
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shinjiro Mita, Taiga Fujimoto, Ryosuke Takeuchi, Hiroshi Tamura, Ichiro Fujita
2. 発表標題 Semi-online determination of preferred stimuli for visual cortex neurons by deep generative networks
3. 学会等名 第9回光操作研究会、東北大学、仙台
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐々木耕太, 栗原康平, 大澤五住
2. 発表標題 一次視覚野細胞の速いコントラスト順応
3. 学会等名 視覚科学フォーラム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大澤五住
2. 発表標題 神経科学者からみたDeep Neural Network (DNN)
3. 学会等名 第39回日本神経科学大会 (IPSシンポジウム招待講演)(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 田中宏喜, 大澤五住
2. 発表標題 ネコ第一次視覚野の局所領域における空間周波数チューニングダイナミクスの多様性
3. 学会等名 第39回日本神経科学大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 脇谷 海平, 佐々木耕太, 大澤五住
2. 発表標題 畳込みニューラルネットワーク初期層における色情報表現の解析
3. 学会等名 第39回日本神経科学大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 藤井健人, 佐々木耕太, 大澤五住
2. 発表標題 サルV1、MT野単一細胞の抑制性サブユニット
3. 学会等名 第39回日本神経科学大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 西 功一朗, 佐々木耕太, 大澤五住
2. 発表標題 V1単純型細胞がになう視覚情報と発火頻度のばらつきとの関係
3. 学会等名 第39回日本神経科学大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大澤五住
2. 発表標題 初期視覚野における情報処理
3. 学会等名 第57回日本視能矯正学会 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hasuike M, Yamane Y, Tamura H, Sakai K
2. 発表標題 Representation of local figure-ground by a group of V4 cells
3. 学会等名 ICONIP 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Sakai K, Hasuike M, Minowa D, Yamane Y, Tamura H
2. 発表標題 Figure-ground discrimination by a population of V4 cells.
3. 学会等名 Society for Neuroscience, Annual Meeting 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Sasaki KS, Kurihara K, Ohzawa I
2. 発表標題 Fast contrast adaptation in V1 neurons: neural correlates of fading illusion
3. 学会等名 Society for Neuroscience, Annual Meeting 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Ohzawa I, Kato D, Baba M, Sasaki KS
2. 発表標題 What features are matched binocularly for stereopsis?
3. 学会等名 Society for Neuroscience, Annual Meeting 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Zhang B, Wang Y, Tao X, Shen G, Smith III, EL, Ohzawa I, Chino Y
2. 発表標題 Sensitivity of V2 neurons to curvatures in infant monkeys
3. 学会等名 Society for Neuroscience, Annual Meeting 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 谷田健、坂本浩隆、五十嵐康彦、出利葉健、徳田悟、佐々木耕太、大澤五住、岡田真人
2. 発表標題 LASSOを用いたスパースなフーリエ表現を持つ受容野の高速推定
3. 学会等名 電子通信学会ニューロコンピューティング研究会 (NC NLP)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大澤五住
2. 発表標題 初期視覚メカニズムとそのモデル~階層型ニューラルネットの視点から~
3. 学会等名 システム視覚科学研究センターシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大澤五住
2. 発表標題 視覚系ニューロンの受容野と視覚情報処理
3. 学会等名 日本視野学会 第1回視覚生理学基礎セミナー (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大澤五住
2. 発表標題 視覚経路におけるFiltering とPooling
3. 学会等名 第25回日本神経回路学会 (JNNS) (招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Tanaka H, Tamura H, Ohzawa I.
2. 発表標題 Vertical and horizontal structures of neuronal correlations in the cat primary visual cortex
3. 学会等名 Society for Neuroscience Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Fujii K, Sasaki KS, Inagaki M, Hashimoto H, Ohzawa I.
2. 発表標題 Identification of functional elements for macaque MT neurons.
3. 学会等名 第28回日本神経科学大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Inagaki M, Sasaki KS, Hashimoto H, Ohzawa I.
2. 発表標題 A subspace reverse correlation in 3-D frequency domain for MT neurons
3. 学会等名 第28回日本神経科学大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Kato D, Sasaki KS, Ohzawa I.
2. 発表標題 Integration of multiple orientation channels in V1 disparity detectors
3. 学会等名 第28回日本神経科学大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Sasaki KS, Inagaki M, Hashimoto H, Ohzawa I
2. 発表標題 Suppressive responses in macaque V2 and MT neurons
3. 学会等名 第28回日本神経科学大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Motoya K, Nakazono T, Ohzawa I
2. 発表標題 Spatial Frequency Dependence of Perception of Gloss
3. 学会等名 第28回日本神経科学大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Tanaka H, Tamura H, Ohzawa I
2. 発表標題 Laminar structures of loose and precise neuronal correlations in the cat primary visual cortex
3. 学会等名 第28回日本神経科学大会
4. 発表年 2015年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 大澤五住	4. 発行年 2018年
2. 出版社 医学書院	5. 総ページ数 440
3. 書名 視能訓練学 第3章視覚生理学 H. 両眼視細胞と受容野	

1. 著者名 小松英彦(編), 大澤五住 他	4. 発行年 2016年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 232 (73-88)
3. 書名 質感の科学	

1. 著者名 小松英彦、西田眞也、大澤五住、他	4. 発行年 2016年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 約400
3. 書名 質感の科学	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>大阪大学 大学院生命機能研究科 脳神経工学講座 視覚神経科学研究室(archive.org) https://web.archive.org/web/20190907162140/http://ohzawa-lab.bpe.es.osaka-u.ac.jp/ ステレオ立体視のために両眼の間で比較される脳内情報は何か? http://www.fbs.osaka-u.ac.jp/jpn/events/achievement/kato-ohzawa-20160607/ 方位限定環境で育った動物の視覚野細胞は正常よりシャープな選択性を持つ(大阪大学大学院生命機能研究科) http://www.fbs.osaka-u.ac.jp/jpn/events/achievement/sasaki-ohzawa-20151117/ Publications of Visual Neuroscience Laboratory(archive.org) https://web.archive.org/web/20190907162140/http://ohzawa-lab.bpe.es.osaka-u.ac.jp/ohzawa-lab/publications/</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	佐々木 耕太 (SASAKI Kota) (40467501)	大阪大学・生命機能研究科・助教 (14401)	

6. 研究組織（つづき）

	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	田村 弘 (TAMURA Hiroshi) (80304038)	大阪大学・生命機能研究科・准教授 (14401)	

	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
研究協力者	馬場 美香 (Baba Mika)		
研究協力者	加藤 大典 (Kato Daisuke)		
連携研究者	岡田 真人 (Okada Masato) (90233345)	東京大学・新領域創成科学研究科・教授 (12601)	

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2件

国際研究集会 CiNet Seminar by Dan Yamins (Stanford University) and Ko Nishino (Drexel University)	開催年 2017年～2017年
国際研究集会 NICT-NSF Collaborative Workshop on Computational Neuroscience	開催年 2017年～2017年

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