

令和 2 年 6 月 1 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K01962

研究課題名(和文) 自由な眼球運動と物体認知に係る視覚野神経活動との関係

研究課題名(英文) Relation between free eye movement and visual neural activity in object recognition

研究代表者

山根 ゆか子 (Yamane, Yukako)

大阪大学・生命機能研究科・特別研究員 (RPD)

研究者番号：70565043

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：目前に広がる景観の中でその中にある物体を認識するとき、我々は適切に眼球を動かすという能動的な行為により、特に重要な情報を選択的に得る。ところが、物体認識の情報処理における眼球運動の影響を深く掘り下げて研究した例はほとんどない。「目で見てそれが何であるか分かる」ことの本質に迫るには、眼球運動を許容した条件で視覚性物体認識に関わる脳部位がどのような活動をしているのかを明らかにしなくてはならない。そのため、自由視中のサルの第一次および二次視覚野(V1・V2)と下側頭葉皮質(IT)の複数の神経活動を同時に記録し解析した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

得られた成果は、今まで主に論じられてきた視覚刺激と視覚性神経活動の対応という静的な関係から、運動-視覚情報処理のダイナミクスへと視覚情報処理についての理解を拡張する基礎となり、より高度な次元で脳の働きを理解することにつながる。さらに、覚醒サルの複数領域から同時に複数の細胞外活動およびLFPを皮質層ごとに記録した例はそれほど多くない。本研究で得られたデータは貴重であり、例えば、神経回路の理論的研究において新しいモデル構築に有用な基礎データとなる。

研究成果の概要(英文)：When we recognize objects in a scene in front of us, we actively move our eyes efficiently to acquire important information. Though, there are only a few studies of visual object recognition that take the effect of eye movement into account. We need to reveal the property of the neural activity responsible for visual object recognition under free viewing in order to understand the essence of object recognition. For this purpose, I simultaneously recorded the neuronal activity of lower visual area (primary and secondary visual area) and higher visual area (inferotemporal cortex) and analyzed.

研究分野：神経科学

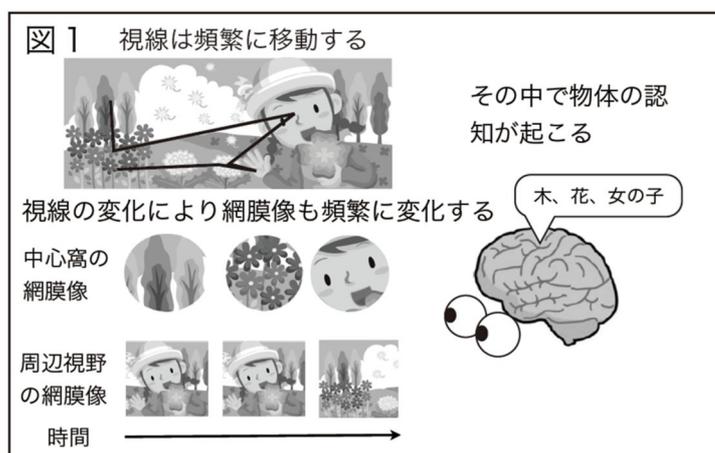
キーワード：視覚 物体認知 眼球運動 神経活動

1. 研究開始当初の背景

眼球運動の仕組みについては多くの研究がなされ、それに関わる脳領域とその神経活動が詳細に調べられている。一方、見ている物が何であるか認識する脳内機構についてもよく調べられている。特に視覚情報処理の最終段階に位置する下側頭葉皮質(IT)の神経細胞については、複雑な物体像に選択的に反応することが分かっている。ところが物体認知に係る脳内機構について得られている知見のほとんどが、ひとつの物体に対する神経細胞の活動を、注視課題中または眼球運動を抑制した麻醉下で記録した結果によるものであり、複数の物体像が混在するシーン(光景)から眼を動かしながら対象物を抽出し、その物体を認識するという現実とは合致しない条件で得られたものである。現実の物体認識過程では、ある物体の像の位置は素早い眼球運動であるサッケードにより、視野の中心になったり周辺になったりする(図1)。このことから次の疑問が生まれる。

- 1) 一般に、中心視では周辺視にくらべて物体の詳細までよく検知できることが知られている。視野の周辺にあった物体に目を向けるとき、その物体の脳内表象は目を向ける前に成立するのか、目を向けた後に成立するのか?
- 2) 毎回の注視の後、シーンに対する情報が蓄積されると考えると、一度目を向けた物体を再度注視するときには、その表象に以前取得していた情報は上乗せされるのか?
- 3) ある物体から別の物体へ視点を移動させるとき、2つの物体の表象のスイッチはいつおこるのか?

以上のような疑問は物体認知に係る神経活動が眼球運動と無関係で、視覚刺激に対する応答で説明できるとするならば、解決済みである。しかし、下側頭葉皮質(IT)から自由探索課題中に記録をとった例では、注視が始まる前から将来注視する物体に対するニューロンの活動が観測されたことが報告されており(Sheinberg and Logothetis; J. Neurosci. 2001)、この活動は視覚刺激に対する反応だけでは説明できない。また、サッケード前にサッケード先の受容野にニューロンが反応する例は背側視覚経路ではよく知られており、本研究において調べる腹側視覚経路のニューロンがその影響を受ける可能性がある。



2. 研究の目的

人をはじめとして霊長類は外界の情報収集の多くを視覚に頼っている。物体を認識するときには眼球を動かし、特に重要な情報を能動的に選択する。ところが物体認知における眼球運動の影響を調べた研究はほとんどない。「目で見てそれが何であるかわかる」ことの本質に迫るに

は、眼球運動を許容した条件で視覚性物体認識に関わる複数の脳部位がどのような活動をしているのかを明らかにしなくてはならない。本研究では、自由な眼球運動下での物体認知の仕組みを、複数の脳部位の神経細胞活動のパターンや時系列変化に注目して理解する。

3．研究の方法

物体認知のための視覚情報処理における眼球運動の影響を明らかにするため、本研究では、サル
の低次視覚野(V1/V2) および高次視覚野(IT) から同時にアレイ電極による細胞外活動記録および局所電場電位(LFP) の記録を行った。アイコイルにより眼球運動、アイカメラにより瞬きも同時に記録した。眼球運動、網膜像、視覚野ニューロンの発火とLFP の関係を、自由視課題、固視課題、の条件下で比較した。特にサッケード前後の神経活動の変調に注目し、物体認知を担う脳領域の神経活動が眼球運動と、それにもなっておこる網膜像の変化をどのように反映しているのかを解析した。

4．研究成果

自由視課題中に記録した1000個以上のニューロンにおいて、まず単一ニューロンの眼球運動に関係した選択性を調べるため、一般化線形モデルを用いて個々のニューロンの基本性質を調べた。その結果、V1の細胞の発火は、サッケードの大きさと連動していた。それはサッケード課題において報告されている「サッケード抑制」と考えられる。また、サッケードの方向に対する選択性はほとんどなかった。ITにおいてサッケード抑制は、V1に比べ非常に弱いことが確認された。逆にいくつかのITニューロンではサッケードの大きさが大きいと発火頻度が高くなるものがあることがわかった。この結果は、物体認知の視覚情報処理に関わるニューロンにおいても、眼球運動がその反応に変化を与えていることを示す。

次に、複数のニューロンによる情報処理のダイナミクスを理解する目的で、同時に記録された複数のニューロンの発火パターンから、見ていた物体の種類を注視開始からの時間ごとにSVM(Support vector machine)により推定し、推定精度の時間変化を得た。識別率はV1ニューロン群の発火を入力とした場合は長く持続するが、ITニューロン群の発火を入力とした場合は一過性で下がることが分かった。このことはV1とITが受け持っている情報処理のダイナミクスの違いに関係していると解釈することができる。

さらに、V1/V2とITのニューロンの発火と自由視中の眼球運動、見た物体の種類の間を調べた。具体的には、自由視中の眼球運動を分類し(刺激提示後初めての物体への注視、刺激提示後すでに見た物体を再度見た場合)その発火頻度を比較した。刺激提示後初めての物体への注視の方が刺激提示後すでに見た物体を再度見た場合よりも発火頻度が高いことが多いという結果を得た。さらに、刺激提示後すでに見た物体を再度見た場合をさらに、注視の前に他の物体をみていたか、同じ物体を見ていたかどうかで分類すると、2条件でどのように発火頻度が異なるのかわかってきた。すなわち、注視の前に他の物体をみていた場合には、物体の種類によって発火頻度が大きく上がるものと下がるものがあるが、同じ物体を見ていた場合は発火頻度が大きく上がる例はほとんどないことが分かった。このことは、同じように今見ている状態でも、少なくとも直前の注視行動によって、神経活動が系統的に異なることを示している。

単一ニューロンの解析では、はじめて物体に目を向けた時に比べ、その後同じ物体に目を向けた時では発火頻度の低下と、刺激選択性の向上が見られた。しかしながら、物体は複数の二

ニューロンの発火パターンの違いによって表現されていると考えられることから、はじめて物体に目を向けた時とその後同じ物体に目を向けた時とで複数のニューロンの発火パターンがどのように異なるのかを検証した。第一に、物体を見ている時の複数のニューロンの発火パターンを多次元ベクトルとし、異なる物体を表すベクトルがどの程度類似しているのかを cosine similarity を用いて定量した。その結果、はじめて物体に目を向けた時よりも、その後同じ物体に目を向けた時の方が、異なる物体間でのベクトルの差が大きい（つまり、異なる物体はより区別されている）ことがわかった。第二に、同時に記録したニューロンの発火パターンを定量的に比較するため、特異値分解や、非負値行列因子分解などの、数学的手法を用いて、注視した物体ごとの複数ニューロンの発火パターンを解析した。その結果、視覚刺激提示後、はじめて物体に目を向けた時に比べ、その後同じ物体に目を向けた時では、複数ニューロンの発火パターンが、より複雑になっていることがわかった。このことは、注視を繰り返して行く過程で、注視する物体の脳内表現がより疎で効率的なものに変化していくことを示している可能性がある。このような現象は、これまでの感覚情報処理のスキーム（刺激に対する反応としての物体の脳内表現）とは異なり、能動的な運動と感覚の協調的な働きによる予測的符号化に沿うものである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Junji Ito, Yukako Yamane, Mika Suzuki, Pedro Maldonado, Ichiro Fujita, Hiroshi Tamura, and 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
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

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Y. Yamane J. Ito, Joana Cristian, P.E. Maldonado, H. Tamura, I. Fujita, K. Doya, S. Gruen
2. 発表標題 The neuronal activity of macaque visual cortices during free viewing.
3. 学会等名 Mechanism of brain and mind the winter workshop 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Yamane J. Ito, Joana Cristian, P.E. Maldonado, H. Tamura, I. Fujita, K. Doya, S. Gruen
2. 発表標題 The neuronal activity of macaque visual cortices during free viewing.
3. 学会等名 OIST x CiNet workshop
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Yamane J. Ito, Joana Cristian, P.E. Maldonado, H. Tamura, I. Fujita, K. Doya, S. 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回日本神経科学学会
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Yamane J. Ito, Joana Cristian, P.E. Maldonado, H. Tamura, I. Fujita, K. Doya, S. 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 Federation of European Neuroscience Societies (FENS) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 J. Ito, Y. Yamane, M. Suzuki, P. E. Maldonado, T. Anjum, F. Biers J. Dammers, I. Fujita, H. Tamura, S. Gruen
2 . 発表標題 Shift from ambient to focal processing mode of free viewing performed by monkeys and humans.
3 . 学会等名 IMN Retreat 2017
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 C. Joana, J. Ito, Y. Yamane, H. Tamura, S. Gruen
2 . 発表標題 Neural characterization of anatomical, dynamical and functional features in macaque primary visual cortex during active vision
3 . 学会等名 INM Retreat 2017
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 C. Joana, J. Ito, Y. Yamane, H. Tamura, S. Gruen,
2 . 発表標題 Neural characterization of anatomical, dynamical and functional features in macaque primary visual cortex (V1) during active vision.
3 . 学会等名 Internal Workshop at Juelich Research Center
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 J. Ito, Y. Yamane, M. Suzuki, P.E. Maldonado, I.Fujita, H,Tamura, S. Gruen
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 European Conference on Visual Perception (ECPV) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
連携研究者	田村 弘 (Tamura Hiroshi) (80304038)	大阪大学・生命機能研究科・准教授 (14401)	