

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25870405

研究課題名(和文)自然画像を自由にみるときに特異的な視覚情報処理過程の抽出

研究課題名(英文)Visual information processing specific to free viewing of natural image

研究代表者

山根 ゆか子(YAMANE, Yukako)

大阪大学・生命機能研究科・特任講師(常勤)

研究者番号：70565043

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文):日々の生活で我々が物体を認識するとき、我々は高速眼球運動と注視を繰り返し、その中で物体の認識が成立する。ところが、これまでの多くの生理、心理学的研究では、被験者は一点を固視することを求められ、均一な背景の上に突然視覚刺激が提示されるというものがほとんどであった。本研究では、自由な眼球運動を許した状態で自然な画像を見るときに特異的な視覚情報処理を抽出することを目的とした。研究の結果、高次、低次の視野で眼球運動に関連した活動が見いだされた。これは眼に映った視覚刺激についての情報処理が行われると考えられる脳の部位でも、眼球運動に関連した情報が扱われている可能性を示唆する。

研究成果の概要(英文): In our daily life, we repeatedly move eyes (saccadic eye movement) and fixate our eyes. During this process, we recognize objects. However, psychophysical and physiological experiment conditions are often far from this. It requires the maintenance of fixation on the fixation spot and during this, stimuli are flashed on the simple gray background. Here we studied the visual information processing specific to the free viewing of natural images. We found eye movement related activity in lower and higher visual areas for object recognition. This suggests that brain area for visual information processing also has information related to eye movement.

研究分野：神経科学

キーワード：視覚情報処理 自由眼球運動 自然画像 神経活動 下側頭葉皮質 一次視覚野

1. 研究開始当初の背景

我々が物体を視覚によって認識するとき、認識対象の物体はその背後にあるたくさんの物体とともに存在する。また、最初からじつと認識対象を眺め続けることは稀で、対象を探索するために眼を素早く動かし(サッケード眼球運動)注視するという過程を繰り返し認識に至る。一方、これまでに行われてきた生理および心理実験のほとんどにおいて、均一な背景に視覚刺激が提示され、被験者はある一点を固視するように指示される。このように視覚刺激と眼球運動に制限が加えられた条件下で視覚情報処理を担う大脳視覚野の性質はよく調べられ、多くの知見が得られた。しかし実験の簡便性を高めるために様々な拘束条件を付加し、単純化したことにより、働いていない情報処理があるのでは、つまりこのような実験系では現実に働いている視覚情報処理に迫れないのではないか、という疑問を持った。自然視状態(自由な眼球運動を許す状態)で覚醒サルの第一次視覚野(V1)から神経細胞の活動記録をとった研究(M.S. Livingstone et al., Cold Spring Harb. Symp. Quant. Biol., 61:27-37 (1996), O. Ruiz and M.A. Paradiso, J. Neurophysiol., 108:324-33 (2012))によると、自然視状態と固視課題を課した場合とでは、同じ視覚刺激に対する反応パターンにずれが生じることがわかった。すなわち、眼球運動自体、もしくは眼球運動にともなって変化する視覚刺激の時空間パターンがV1の応答に影響を与えていると考えられる。また複雑な背景と物体が混在する自然画像を視覚刺激とした場合も、灰色の単純な背景に同じ物体をひとつだけ提示した場合に比べてV1の反応パターンが散在的(sparse)になることが示されている(W.E. Vinje and J.L. Gallant, Science, 287:1273 (2000))。これらの報告から、V1では視覚刺激、すなわち網膜像の変化、眼球運動、背景画像により神経細胞の反応パ

ーンがダイナミックに変化することがわかる。また自然視状態での神経細胞活動の研究として、物体認知を司る高次の視覚野である下側頭葉皮質(IT)では、Sheinbergらが視覚探索課題遂行中のサルから記録した研究を報告している(D.L. Sheinberg and N. K. Logothetis, J. Neurosci., 21:1340-50 (2001))。この課題では、風景画像に埋め込まれた物体を探す。この場合、一様な背景に物体を提示し記録を取った場合に比べ、IT細胞の反応は、課題の成否、つまり物体を見つけることができたか否かと相関があることが示されている。ただし、この報告では細胞の反応に対する眼球運動や背景画像の影響を詳しく調べておらず、これらの影響に関しては不明である。

2. 研究の目的

自由に眼を動かしながら、様々な物体を観察する際に、自然な眼球運動や、自然な背景のある視覚刺激が、高次(IT)と低次(V1)の視覚野の神経活動にどのように影響しているのか調べることで、自然な状態での物体認知のための視覚情報処理の特性を理解することが本研究の目標である。

3. 研究の方法

まず自由観察課題(均一な背景または複雑な背景画像上に、複数の物体像が配置されている視覚刺激画像を5秒間観察すると報酬が得られる課題。このとき眼は自由に動かすことが許されているが刺激画像以外を見る事は許されていない。)および固視課題(均一な背景の上に次々とひとつずつ物体像が提示される間、眼を動かさずに固視点を見続けると報酬が得られる課題。)ができるようにサルを訓練した。眼の動きは、あらかじめ動物の結膜下へ埋め込んだコイルを使い、電磁誘導式眼球位置測定装置を用いて計測した。課題遂行中のサルの眼球運動パターンを解析し、

高速ビデオカメラで測定したヒトの眼球運動パターンと比較した。課題遂行中のサルのV1およびIT から神経活動を計測するため、24個の計測点が直列にならんだアレイ電極をそれぞれの記録部位に1本ずつ挿入した。

4. 研究成果

(1) 注視行動について

自由観察課題において、サルは眼を動かし画像を観察した。その際、画像上の特定の物体像を繰り返し注視する“local scan”と、画像上の注視位置を大きく変え、ある物体像から異なる物体像へ眼を向ける“global scan”が観察された。これらの異なる探索モードは、同一の視覚刺激を用いたヒトでの自由観察課題実験においても観察された。サルとヒト両方において、1試行中、刺激画像が提示されてからの時間にもなると“global scan”の割合が減っていくことがわかった。しかし、サルの場合はヒトよりも“global scan”から“local scan”、“local scan”から“global scan”といった、探索モードの変更の頻度が低いという違いがあることも分かった。自然画像観察中のヒトおよびサルの眼球運動については、国際学会、国内学会において発表した(1,4)。

(2) 神経活動(活動電位)について

自由観察課題中のIT野神経細胞の発火パターンを調べたところ、これまでに視覚応答性の発火と報告されてきた応答潜時100ミリ秒程度の興奮性の発火に加え、40ミリ秒ほどの非常に短い潜時の興奮性の発火が観察された。このように短い潜時の発火を示す細胞群は、目を動かすことを許されない固視課題中よりも自由観察課題中の方が、潜時が短くなる傾向にあった。そのため、自由観察課題中でその発火のタイミングを調べたところ、固視開始よりサッケード眼球運動の開始のタイミングによくあっていることがわかった。これらのことは、この細胞群が眼球運動

に連動して発火していることを示す。また、これらの細胞は、応答潜時100ミリ秒前後の細胞に比べ刺激選択性が低く、むしろ眼球の運動方向に選択性があることが分かった。しかし、このような短い潜時をもつ神経細胞は、視覚刺激のない暗闇で自由に目を動かしている状態では観察されなかった。したがって、本研究で同定された短い潜時の細胞群は単純に眼球運動についての情報を伝達しているのではないが、サッケード眼球運動に強く関係した情報(例えば注意の方向、次に眼を向ける方向やタイミング)を伝えていると予想できる。今後はさらにこれらの細胞の性質を明らかにするための補足的な実験を予定している。これらの結果については国際、国内学会において発表した(8,11,12)。

(3) 神経活動(局所電場電位)について

本研究では、直列型のアレイ電極を用いたため、皮質層ごとの局所電場電位を解析することができた。その結果V1においては、皮質内の層特異的に起こる局所電場電位の変調が観察された。これらの結果については国際学会で発表した(3,7,9,10,14)。IT野においては、今まで取得したデータに加え今後さらにデータの取得と解析を行い、眼球運動やそれにもなるとおこる網膜像の変化と局所電場電位の変調の関係を明らかにして皮質層での情報処理を明らかにしていきたい。

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 1件)

Y. Yamane, H. Tamura, Vision-Recognition of material properties “Shitsukan” of objects. Brain & Nerve 67 2015 掲載予定 査読なし

〔学会発表〕(計 14件)

J. Ito, Y. Yamane, I. Fujita, H. Tamura, S. Grün, Distinct scan modes in

monkey's free viewing of natural images and related neuronal activities, the European Conference on Visual Perception, 2015. 8.23-27, Liverpool (United Kingdom)

Y. Yamane, J. Ito, M. Suzuki, I. Fujita, S. Grün, H. Tamura, Active exploration of visual scenes by monkeys: behavior and neuronal activity in primary visual cortex and inferior temporal cortex, 第 38 回日本神経科学学会, 2015. 7.28-31, 神戸国際会議場(神戸)

M. Hasuike, Y. Nakata, Y. Yamane, H. Tamura, K. Sakai, the 11th Asia-Pacific Conference on Vision Symposium 2015 7.10-12, Singapore(Singapore)

H. Tamura, 自然画像自由観察課題中のサル眼球運動の特徴と視覚関連領野神経活動, 生理学研究所研究会, 2015. 6.11-12 生理学研究所 (岡崎)

R. Meyes, J. Ito, Y. Yamane, I. Fujita, H. Tamura, S. Grün, Saccade related layer specific local field potential activity in macaque V1 during free viewing, Meeting of the German Neuroscience Society, 2015. 3.18-21, Goettingen (Germany)

J. Ito Neural dynamics in macaque visual cortices during active vision. International Symposium Active Vision in Natural Environment, 2014, 12.12, Osaka Univ.(Osaka)

Y. Yamane Spiking activity during active and passive vision in inferior temporal cortex. International Symposium Active Vision in Natural Environment, 2014, 12.12, Osaka Univ. (Osaka)

J. Ito, Y. Yamane, I. Fujita, H. Tamura, S.Grün, Laminar profile of ongoing and evoked neuronal activities in the inferior temporal cortex of macaque monkeys, European Conference on Visual Perception, 2014. 8.24-28, Belgrade (Serbia)

J. Ito, M. Mukai, Y. Yamane, H. Tamura, S. Grün, Effects of complex background scene on object selectivity of current source density activities in the macaque inferior temporal cortex, The European Conference of Visual Perception 2013, 2013. 8.25-29, Bremen (Germany)

M. Mukai, Y. Yamane, J. Ito, S. Grün, H. Tamura, Effects of complex background scene on object selectivity of single-unit activities in the macaque inferior temporal cortex, The European Conference of Visual Perception 2013, 2013. 8.25-29, Bremen (Germany)

M. Suzuki, Y. Yamane, J. Ito, M. Mukai, S. Strokov, I. Fujita, P. E. Maldonado, S. Grün, H. Tamura, Factors affecting human gaze behavior: an analysis with complex natural scenes with superimposed object images, The European Conference of Visual Perception 2013, 2013. 8.25-29, Bremen (Germany)

S. Ishida, H. Otsuka, H. Takada, Y. Inoue, Y.yamane, H. Tamura Visual responses of neurons to colored texture images of natural objects. 第 36 回日本神経科学学会, 2013. 6.20-23, 国立京都国際会館 (京都)

M. Mukai, Y. Yamane, J. Ito, S. Strokov, S. Grün, I. Fujita, H. Tamura, Natural scene backgrounds affect object-image selectivity of neurons in the macaque inferior temporal cortex 第 36 回日本神経科学学会, 2013. 6.20-23, 国立京都国際会館 (京都)

M. Suzuki, Y. Yamane, J. Ito, M. Mukai, S. Strokov, I. Fujita, P. E. Maldonado, S. Grün, H. Tamura, Factors affecting human gaze behavior during free viewing: an analysis with complex natural scenes with superimposed object images, 第 36 回日本神経科学学会, 2013. 6.20-23, 国立京都国際会館(京都)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

山根 ゆか子 (YAMANE, Yukako)
大阪大学・大学院生命機能研究科・
特任講師
研究者番号 : 70565043

(2)連携研究者

田村 弘 (TAMURA, Hiroshi)
大阪大学・大学院生命機能研究科・准教授
研究者番号 : 80304038

伊藤 淳司 (ITO, Junji)

Institute of Neuroscience and Medicine,
Institute for Advanced Simulation,
Jülich Research Centre and JARA,
Jülich, Germany, Research assistant

研究者番号 : 90391862