

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：32203

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K07804

研究課題名(和文)急速眼球運動前後での顔画像情報の統合と認知の神経機構

研究課題名(英文) Neural mechanisms of integration and recognition of facial image information before and after saccades.

研究代表者

河野 憲二 (Kawano, Kenji)

獨協医科大学・医学部・特任教授

研究者番号：40134530

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：周辺視野で見えた顔に視線を向け、解像度の高い中心窩で捉えなおすことで、顔の持つ情報の詳細な認識を可能とする神経機構を調べるため、固視及びサッケード課題を訓練したサルの下側頭葉(TE、TE0野)のニューロン活動を調べた。TE0ニューロンとTEニューロンの顔刺激に対する反応の潜時は固視課題ではほぼ等しいが、サッケード課題ではTE0ニューロンの反応の潜時はTEニューロンより短いことが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で調べられたサルの下側頭葉-TE野とTE0野-で顔反応性ニューロンの反応性の違いや、周辺視と中心視での反応特性は、時間を越えて局所情報を統合し大域情報にまとめあげるといった神経系に普遍的な情報処理プロセスの解明に貢献できると考えられる。また、解像度の低い周辺視の情報を顔の認識に用いることを可能にする情報工学的手法の開発にも寄与できる可能性があると考えられる。

研究成果の概要(英文)：We perceive the outside world by constantly moving our eyes with saccadic eye movements and capturing objects located at various positions in space on the fovea. By shifting our gaze and recapturing the face on the fovea, we recognize its details. To investigate the neural mechanisms, we studied effects of saccadic eye movements on face-responsive neurons in the inferior temporal cortex (areas TE and TE0) of macaque monkeys. We recorded neuronal activity using micro-electrode arrays implanted in the inferior temporal cortex while they performed fixation or saccadic tasks. Both in areas TE and TE0, face-responsive neurons, characterized by the fixation task, responded to facial stimuli when the eyes arrived at the peripheral facial stimulus. In the fixation task, the latencies of TE0 neurons and TE neurons were similar, but in the saccade task, the latencies of the TE0 neurons were shorter than those of the TE neurons.

研究分野：神経科学

キーワード：下側頭葉 サッケード運動

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

私たちは様々な物体に取り囲まれた環境の中で生活していて、興味を惹かれた物体に絶えず視線を移し観察している。この視線の急速な移動はサックード運動と呼ばれ、網膜周辺部に比較して高い感受性を持つ中心窩で対象物を見るために起こる。特に環境内に人がいると、人の顔に視線が向かうことはよく知られている。顔の認知はヒトが社会生活を送る上で重要な視覚機能の一つで、周辺視野で認めた顔に視線を向け、解像度の高い中心窩で捉えなおすことで他者の表情や個体の特定など顔の持つ情報の詳細な認識が可能となる。しかしながら、眼が動く前に周辺視野で見ていた顔と、眼を動かして中心窩に捉えた顔がどのように照合され、統合されて認知されているのかについては明らかになっていない。本研究はこの問題の解明に取り組む。

2. 研究の目的

眼球運動に関わらず安定した視覚世界を連続して獲得し、そこに見られる顔からその個体、表情などを知覚認知することは視覚システムにとって重大な課題で、本研究の目的はその神経機構を明らかにすることにある。

3. 研究の方法

本研究では、2頭のオスのニホンザルを使用した。サルは暗室内のモンキーチェアに座り、サルの前に配置した CRT モニターに視覚刺激が提示された。視覚刺激として、図1に示す6枚のサル・ヒトの顔写真、または2枚のランダムピクセル画像のいずれかが提示された。

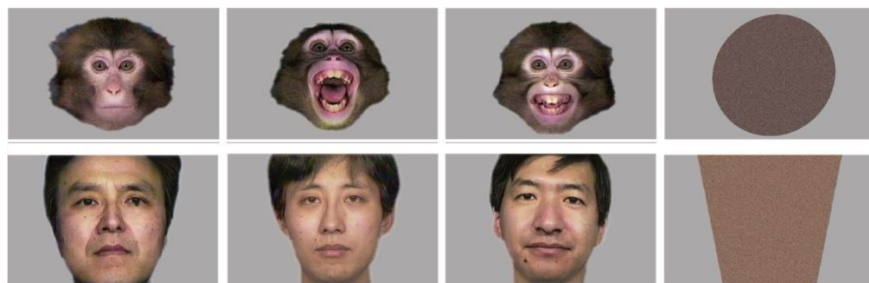


図1

(1) 行動パラダイム

固定/サックード課題からなる4つの課題を用いた。

各試行は、画面中央に固視点 (FP1) が出現した時点で開始された。

課題 I: 固視課題 (中心視刺激)

サルは固視点 (FP1) 上に視覚刺激が提示される間、視線を維持し固視点を見つめた。

課題 II: 固視課題 (周辺視刺激)

課題 I とは対照的に、左 10° または右 10° の周辺視野に視覚刺激を提示した。サルは画面中央の固視点 (FP1) を固視し続けなければならない。

課題 III: 視覚誘導型サックード課題 (長時間刺激)

サルが 400 ミリ秒間、画面中央の固視点 (FP1) の固視を維持すると、左 10° または右 10° の位置にサックードのターゲットと視覚刺激が同時に出現する。サルは FP1 が消失した直後にサックードを行い、ターゲットに視線を移動し、ターゲットを固視しなければならない。視覚刺激は 600 ミリ秒間表示された。

課題 IV: 視覚誘導サックード課題 (短時間刺激)

課題 III と同じ経過であるが、課題 III とは対照的に、視覚刺激を 170ms にわたって表示し、サックードの開始前に消失させた。

(2) ニューロン活動記録手技

各サルの左下側頭葉に留置した 96 チャンネルの微小電極 (UTAH) アレイを用いて神経活動を記録した。微小電極アレイは、一頭のサルには TE 野 (図2) の3ヶ所に、もう一頭のサルには (TE 野, TE0 野) の4ヶ所に留置した。電極長は、1.5mm、電極配置は、10×10、電極間距離は 400 μm であった。

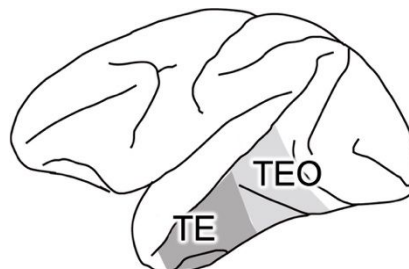


図2

4. 研究成果

TE0 野と TE 野から顔刺激に反応するニューロンが記録された。図3に、課題 I 固視課題 (中心視刺激) における TE0

ニューロン(図3A)とTEニューロン(図3B)の反応を示す。固視点上に視覚刺激(顔刺激)が提示されると(時間0ms),TE0ニューロン,TEニューロンともに発火頻度が増加し,顔刺激に反応していることがわかる。また,いずれのニューロンも,サルやヒトの顔の個体や表情が異なると反応の大きさが変わり,これまで報告されてきた下側頭葉の顔反応性ニューロンと同等の反応特性を持っていることを示すことができた。次に図4に,課題III 視覚誘導型サッケード課題(長時間刺激)におけるTE0ニューロン(図4A:右10°のサッケード終了時点が0ms,図4B:左10°のサッケード終了時点が0ms)とTEニューロン(図4C:右10°のサッケード終了時点が0ms,図4D:左10°のサッケード終了時点が0ms)の反応を示す。

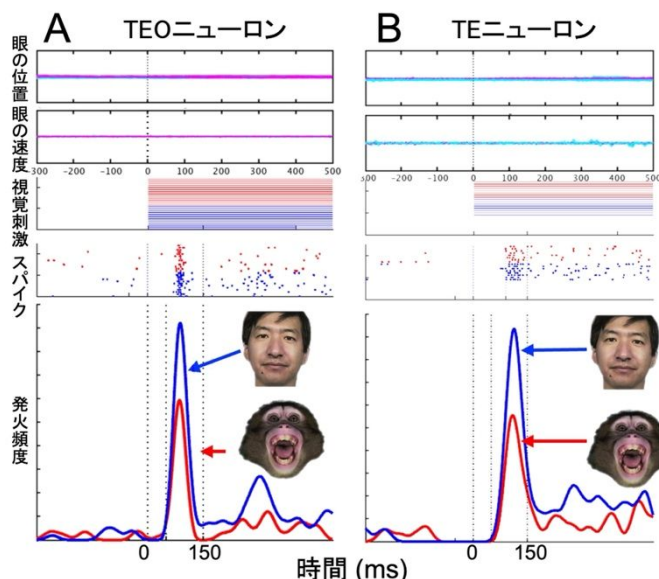


図3

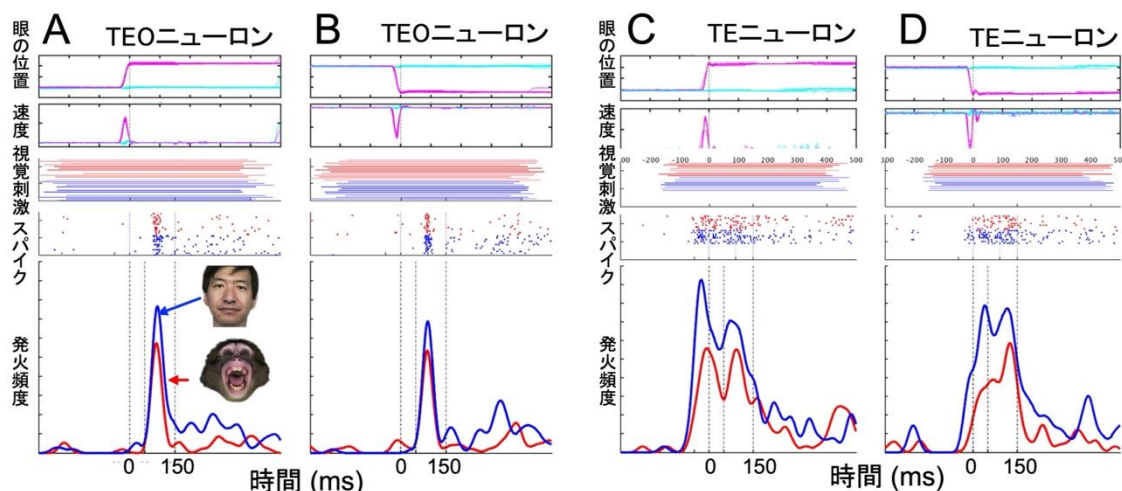


図4

この課題では,サッケードが終了すると,視覚刺激は中心窩に捉えられるので,固視課題での刺激に対する反応と同様の反応がサッケード終了後のタイミングに観察された。ただし,TEニューロンの受容野は左右10°より広いため,視覚刺激が提示された時点でも視覚刺激に対する反応が引き起こされているため,反応は一見かなり複雑になっている。両領域のニューロンが顔刺激に反応する潜時を,顔反応性ニューロンの反応をポピュレーションとして加算して計測したところ,固視課題では,TE0ニューロンとTEニューロンの潜時はほぼ同じであったが,サッケード課題では,TE0ニューロンの潜時がTEニューロンの潜時より短かった。

[まとめ]

この研究では,顔反応性ニューロンに対するサッケード運動の影響を調べるため,サルの下側頭葉(TEおよびTE0野)に留置した微小電極アレイを用いて,固定またはサッケード課題を行いながら神経細胞活動を記録した。サルおよびヒトの顔刺激は,中心視野または左右10°の周辺視野に提示した。TE野とTE0野の両方で,固視課題中の顔刺激に対する反応で顔反応性ニューロンを同定し,サッケード課題を行った。サッケード課題で顔反応性ニューロンは,サッケードにより視線が左右10°の周辺視野に提示した顔刺激に到達したときに反応を示した。両領域のニューロンが顔刺激に反応する潜時を調べたところ,固視課題では,TE0ニューロンとTEニューロンの潜時はほぼ同じであったが,サッケード課題では,TE0ニューロンの潜時がTEニューロンの潜時より短かった。TE0ニューロンとTEニューロンの反応性の違いや,周辺視と中心視,固視課題とサッケード課題での反応特性の違いの更なる詳細な解析は,時間を越えて局所情報を統合し大域情報にまとめあげるといふ神経系に普遍的な情報処理プロセスの解明に貢献すると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Matsumoto Narihisa, Taguchi Yusuke, Shimizu Masaumi, Katakami Shun, Okada Masato, Sugase-Miyamoto Yasuko	4. 巻 16
2. 論文標題 Recurrent Connections Might Be Important for Hierarchical Categorization	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Systems Neuroscience	6. 最初と最後の頁 805880
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fnsys.2022.805990	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 Endo Daisuke, Kobayashi Ryota, Bartolo Ramon, Averbeck Bruno B., Sugase-Miyamoto Yasuko, Hayashi Kazuko, Kawano Kenji, Richmond Barry J., Shinomoto Shigeru	4. 巻 11
2. 論文標題 A convolutional neural network for estimating synaptic connectivity from spike trains	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 12087
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-021-91244-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 -
1. 著者名 Takemura Aya, Matsumoto Junya, Hashimoto Ryota, Kawano Kenji, Miura Kenichiro	4. 巻 49
2. 論文標題 Macaque monkeys show reversed ocular following responses to two-frame-motion stimulus presented with inter-stimulus intervals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Computational Neuroscience	6. 最初と最後の頁 273 ~ 282
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10827-020-00756-3	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 Matsumoto Narihisa, Mototake Yoh-ichi, Kawano Kenji, Okada Masato, Sugase-Miyamoto Yasuko	4. 巻 49
2. 論文標題 Comparison of neuronal responses in primate inferior-temporal cortex and feed-forward deep neural network model with regard to information processing of faces	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Computational Neuroscience	6. 最初と最後の頁 251 ~ 257
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10827-021-00778-5	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 Kuboki Ryosuke, Matsumoto Narihisa, Sugase-Miyamoto Yasuko, Setogawa Tsuyoshi, Richmond Barry. J., Shidara Munetaka	4. 巻 158
2. 論文標題 Recency memory effects in Macaques during sequential delayed match-to-sample task with visual noise	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Neuroscience Research	6. 最初と最後の頁 64 ~ 68
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neures.2019.08.002	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 Miura K, Takemura A, Taki M, Kawano K.	4. 巻 248
2. 論文標題 Model of optokinetic responses involving two different visual motion processing pathways	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Progress in Brain Research	6. 最初と最後の頁 329 ~ 340
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/bs.pbr.2019.02.005.	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 竹村文、河野健二	4. 巻 37
2. 論文標題 追従眼球運動と小脳	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Clinical Neuroscience	6. 最初と最後の頁 946 ~ 949
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 -

〔学会発表〕 計9件(うち招待講演 1件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 清水 将海、片上 舜、田口 優介、岡田 真人、菅生 康子、松本 有央
2. 発表標題 階層的カテゴリー化における再帰的ネットワークの重要性
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松田 圭司、菅生 康子、林 和子
2. 発表標題 PsychoPyとiRechs2を用いた心理実験システムの構築
3. 学会等名 第17回 空間認知と運動制御研究会 学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清水 将海、片上 舜、田口 優介、岡田 真人、菅生 康子、松本 有央
2. 発表標題 階層的カテゴリー分類におけるリカレント結合の重要性
3. 学会等名 Think Synch Brain Dynamics 理工が挑む脳科学 第1回公開シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 塩谷 佳介、片上舜、林 和子、松田 圭司、松本 有央、赤穂 昭太郎、河野 憲二、岡田真人、菅生 康子
2. 発表標題 顔反応ニューロンがコードする分類情報と受容野面積の関係
3. 学会等名 パラレル脳センシング技術研究部門 第1回公開シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuko Hayashi, Narihisa Matsumoto, Keiji Matsuda, Kenichiro Miura, Shigeru Yamane, Mark A. G. Eldridge, Richard C Saunders, Barry J. Richmond, Yuji Nagai, Naohisa Miyakawa, Takafumi Minamimoto, Masato Okada, Kenji Kawano, Yasuko Sugase-Miyamoto
2. 発表標題 Effects of different facial surface properties on neuronal activity in the temporal cortex and on discrimination learning in macaque monkeys
3. 学会等名 日本動物心理学会第81回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名	Kazuko Hayashi, Narihisa Matsumoto, Keiji Matsuda, Kenichiro Miura, Shigeru Yamane, Shin Matsuo, Keiji Yanai, Mark A. G. Eldridge, Richard C Saunders, Barry J. Richmond, Yuji Nagai, Naohisa Miyakawa, Takafumi Minamimoto, Masato Okada, Kenji Kawano, Yasuko Sugase-Miyamoto
2. 発表標題	Effects of differences in facial surface properties on temporal cortical neuronal activity and discrimination learning in macaque monkeys
3. 学会等名	第44回 日本神経科学大会
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	Kazuko Hayashi, Narihisa Matsumoto, Keiji Matsuda, Kenichiro Miura, Shigeru Yamane, Shin Matsuo, Keiji Yanai, Mark A. G. Eldridge, Richard C Saunders, Barry J. Richmond, Yuji Nagai, Naohisa Miyakawa, Takafumi Minamimoto, Masato Okada, Kenji Kawano, Yasuko Sugase-Miyamoto
2. 発表標題	Effects of differences in physical surface properties on facial expression discrimination in macaque monkeys
3. 学会等名	第43回 日本神経科学大会
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	Kazuko Hayashi, Narihisa Matsumoto, Keiji Matsuda, Kenichiro Miura, Shigeru Yamane, Shin Matsuo, Keiji Yanai, Mark A. G. Eldridge, Richard C Saunders, Barry J. Richmond, Yuji Nagai, Naohisa Miyakawa, Takafumi Minamimoto, Masato Okada, Kenji Kawano, Yasuko Sugase-Miyamoto
2. 発表標題	Effects of different physical surface properties on face discrimination learning in macaque monkeys
3. 学会等名	日本動物心理学会第80回大会
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	Kawano K
2. 発表標題	'Neuronal activity in the cortical area MST during modulations of ocular following responses
3. 学会等名	The Kyoto Symposium on the Eye and Head Movement Control Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年	2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 稲場直子、竹村文、河野憲二（共著，河村満編集）	4. 発行年 2021年
2. 出版社 医学書院	5. 総ページ数 15
3. 書名 連合野ハンドブック（外界を捉える脳メカニズム）	

〔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
研究 分担者	菅生 康子 (Sugase Yasuko) (40357257)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・研究グループ長 (82626)	
研究 分担者	松田 圭司 (Matsuda Keiji) (50358024)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員 (82626)	

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
---------	---------