

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K12588

研究課題名（和文）多点同時記録による側頭葉における階層的な顔画像情報のコーディング機構の解明

研究課題名（英文）Neuronal representation of facial images in the temporal cortex by simultaneous recordings using electrode arrays

研究代表者

菅生 康子（Sugase, Yasuko）

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

研究者番号：40357257

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）：顔識別の神経基盤と考えられる、側頭皮質における顔画像情報の時間的コーディングの神経機構を明らかにすることを目的とし、階層的に分類できる刺激画像を、モニター画面中央を注視中の実験動物に提示して、側頭皮質TE野およびTE0野で神経活動の多点同時記録を行った。顔画像特異的に応答を示すと考えられる部位が観察された。神経活動が表現する顔の分類に関する相互情報量を解析し、大まかな分類（サルかヒトか）および詳細な分類（個体や表情）の大きさが部位により異なることが示唆された。また、深層ネットワークに連想記憶モデルを組み合わせると階層的な情報の出力が可能であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我々の社会生活に重要な顔の識別は、髪や眼、口などの要素の組み合わせとして顔を知覚するプロセスに基づいており、側頭皮質における複数の顔領域の情報処理に支えられている。本研究の学術的意義は、多点同時記録により顔領域ネットワークとしての情報処理を明らかにし、理論的研究によりその神経機構を理解することにある。

研究成果の概要（英文）：Face responsive neurons in area TE of the monkey temporal cortex represented information about a global category of stimuli, namely human vs. monkey vs. shapes, earlier than information about more detailed categories, i.e., facial expression and identity. To investigate representation of face images in the temporal cortex, neuronal activities were recorded using microelectrode arrays implanted in the inferior temporal cortex (areas TE and TE0) of two macaque monkeys while they performed a fixation task. Face-responsive neurons were found both in areas TE and TE0. Amount of information about the global/fine categories varied across regions. In addition, we constructed a combined model that consisted of a deep neural network and a recurrent neural network and reported that the model showed a hierarchical categorization.

研究分野：神経科学

キーワード：情報処理 側頭葉 視覚 顔画像

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

顔の識別は、入力された視覚情報から、髪、眉、眼、鼻、口などの要素を取り出し、その組み合わせとしての顔を知覚するプロセスに基づいている。このプロセスは側頭皮質における密接に結合した複数の顔領域の情報処理に支えられている。そこで、時間的なコーディングが生じるメカニズムを明らかにするために、顔領域ネットワーク全体のふるまいを調べる必要があると考えた。本研究では、近年急速に普及が進んだ脳表埋め込み型多電極アレイを複数用いて、覚醒実験動物から長期的に多点同時記録を行い、この問いにアプローチする。ヒトやサルは顔の要素あるいは要素の配置のほんのわずかの差異から特定の個体や表情を識別することができる。このようなわずかな差異、特に要素間の関係の処理には時間を要することが推測される。

2. 研究の目的

本研究の目的は、顔識別の神経基盤と考えられる、側頭皮質ニューロンによる顔画像情報の時間的コーディングの神経機構を明らかにすることにある。時間的コーディングは、側頭皮質TE野の神経発火に、顔の大まかな分類（サルかヒトか）が詳細な分類（個体や表情）より時間的に早くコーディングされる現象として観察できる。その神経機構を明らかにするため、TE0野とTE野に分布する顔領域で、顔画像に対するニューロン活動を多点同時記録により観察し、個々の顔領域における顔画像に関する情報量およびその時間的コーディングを明らかにする。また、神経機構を理解するため、時間的コーディングを支える神経回路モデルを構築する。

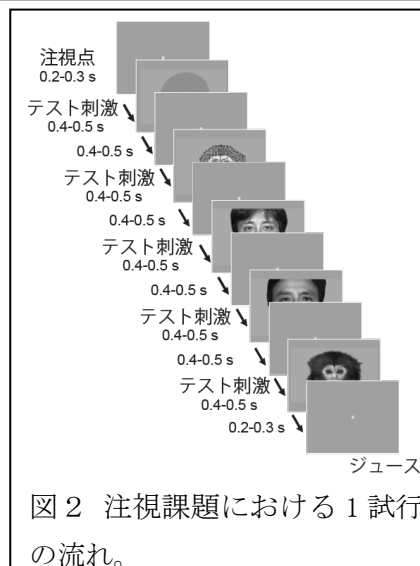
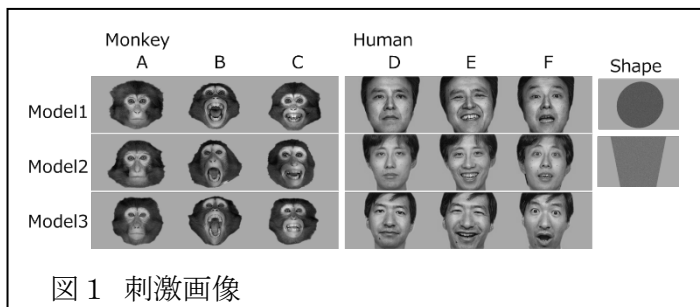
3. 研究の方法

側頭皮質における顔画像の時間的情報コーディングの神経機構を明らかにするため、階層的に分類できる刺激画像（図1、ヒトとサル、図形、に分類でき、また顔画像は個体と表情で分類できる）を用いて、サルの側頭皮質TE野およびTE0野から、脳表埋め込み型多電極アレイを用いて多点同時記録を行った。

実験では、二ホンザル2頭を用いた。側頭皮質に多電極アレイを外科的手術によって埋め込んだ（研究協力：Drs. Saunders RC, Eldridge MA, Richmond BJ (アメリカNIMH)、永井裕司、

宮川尚久、南本敬史（量子医科学研究所）、河野憲二（獨協医科大学））。サルは目の前に置かれたモニター画面の中央に呈示される注視点を注視し、その間に刺激画像が1枚あるいは5枚連続で呈示された（注視課題、図2）。刺激画像の呈示期間は約400ミリ秒であった。サルが注視課題を遂行中に、神経活動の多点同時記録を行った。注視課題においては、サルが前方に設置されたモニタースクリーンを中心を注視記録した神経活動データを基に、顔ニューロンが高頻度で観察される顔領域を特定し、刺激画像表現を比較した。

また、神経機構を理解するため、連想記憶モデルを基

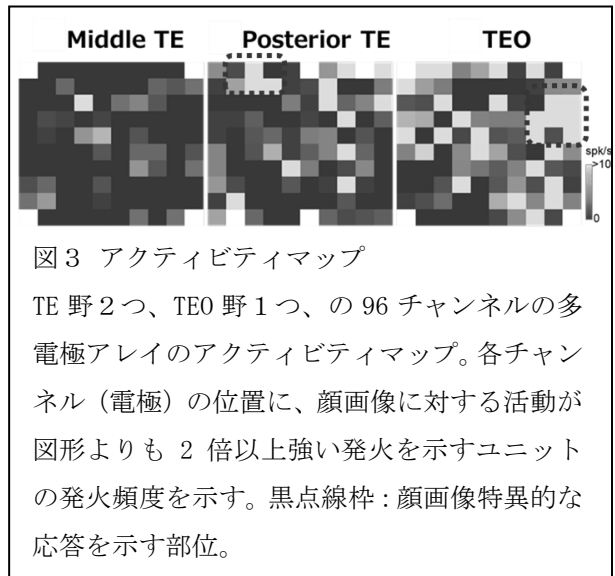


に時間的コーディングを支える神経回路モデルを構築した。

4. 研究成果

顔識別の神経基盤と考えられる、側頭皮質における顔画像情報の時間的コーディングの神経機構を明らかにすることを目的とし、階層的に分類できる刺激画像を、注視課題を遂行中の実験動物に提示して、側頭皮質TE野およびそれより前段階の処理を行うTE0野で神経活動の多点同時記録を行った。TE野およびTE0野に、顔画像特異的に応答を示すと考えられる部位が観察された（図3）。神経活動が表現する顔の分類に関する相互情報量解析により、大まかな分類（サルかヒトか）および詳細な分類（個体や表情）の大きさが部位により異なることが示唆された。

また、画像認識の精度が高い深層ネットワークに連想記憶モデルを組み合わせると階層的な情報の出力が可能であり、連想記憶モデルにおける回帰結合がその出力に重要であることが示唆された。この結果を論文誌で発表した（研究協力：松本有央（産総研）、岡田真人（東大））。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2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 805990
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 該当する

1. 著者名 Matsumoto Narihisa, Mototake Yoh-ichi, Kawano Kenji, Okada Masato, Sugase-Miyamoto Yasuko	4. 巻 -
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 -
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 -

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 1件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Yasuko Sugase-Miyamoto, Keisuke Shioya, Kazuko Hayashi, Keiji Matsuda, Shun Katakami, Narihisa Matsumoto, Shotaro Akaho, Masato Okada, Kenji Kawano
2. 発表標題 Correlations between receptive-fields of face-responsive neurons in monkey area TE and their coded facial information
3. 学会等名 Neuro2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Keisuke Shioya, Shun Katakami, Kazuko Hayashi, Keiji Matsuda, Narihisa Matsumoto, Shotaro Akaho, Kenji Kawano, Yasuko Sugase-Miyamoto
2. 発表標題 Are receptive field sizes of area TE neurons related to encoding information about categories of face images?
3. 学会等名 Neuroscience 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Wenliang Wang, Bing Li, Mark Eldridge, Narihisa Masumoto, Kazuko Hayashi, Martinez Gomez, Yasuko Sugase-Miyamoto, Barry Richmond
2. 発表標題 Neural activity in area TE, not TEO, correlates with monkeys' learning in a visual categorization task
3. 学会等名 Neuroscience 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kenji Kawano, Kazuko Hayashi, Narihisa Matsumoto, Keiji Matsuda, Kenichiro Miura, Mark Eldridge, Richard Saunders, Barry Richmond, Yasuko Sugase-Miyamoto
2. 発表標題 Effects of saccadic eye movements on face-responsive neurons in the inferior temporal cortex of macaque monkeys
3. 学会等名 日本生理学会 第100回記念大会
4. 発表年 2022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 Neural and behavioral correlates of discriminating facial expressions with different skin textures in macaque monkeys
3. 学会等名 日本生理学会 第100回記念大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 塩谷佳介、林和子、松本有央、松田圭司、三浦健一郎、山根 茂、Mark Eldridge、Richard Saunders、Barry Richmond、永井裕司、宮川尚久、南本敬史、片上舜、岡田真人、河野 憲二、菅生-宮本 康子
2. 発表標題 マカクザル側頭葉TE野ニューロンの顔表面特性の表現
3. 学会等名 日本物理学会 2023年春季大会
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 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-宮本康子
2. 発表標題 霊長類側頭皮質の顔反応ニューロンにおける画像分類情報と受容野面積の関係
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 階層の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 東京理科大学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 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-宮本康子
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 東京理科大学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 菅生康子
2. 発表標題 顔の知覚を支える霊長類脳の腹側視覚経路
3. 学会等名 第27回脳機能とリハビリテーション研究会学術集会（招待講演）
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

〔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
研究協力者	松本 有央 (Matsumoto Narihisa)		

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
研究協力者	河野 憲二 (Kawano Kenji)		
研究協力者	南本 敬史 (Minamimoto Takafumi)		
研究協力者	永井 裕司 (Nagai Yuji)		
研究協力者	宮川 尚久 (Miyakawa Naohisa)		
研究協力者	岡田 真人 (Okada Masato)		

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