

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 10 日現在

機関番号： 13201
 研究種目： 新学術領域研究
 研究期間： 2008～2012
 課題番号： 20119006
 研究課題名（和文） 動物、特にサルにおける顔認知機能の解明

研究課題名（英文） Mechanism of Face Perception and Recognition in Monkeys

研究代表者

永福 智志（EIFUKU SATOSHI）
 富山大学・大学院医学薬学研究部（医学）・准教授
 研究者番号：70262508

研究成果の概要（和文）：

本研究では以下の二つの研究を行った。

- (1) **顔の連合記憶のニューロン機構の解明**：顔を用いた非対称的対連合課題遂行中のサル前部下側頭皮質腹側部からのニューロン活動記録により、同部位の顔ニューロン集団が顔のアイデンティティおよびそれと連合された図形の両方を表現することを示した。
- (2) **顔の視覚的探索のニューロン機構の解明**：顔に対する視覚探索を行動学的に詳細に解析し、自種の顔は他種の顔よりも効率的に探索されることを明確にした。また同課題遂行中の視床枕ニューロン活動を記録した。

研究成果の概要（英文）：

The following two studies were conducted during this project.

- (1) **Neural basis of associative face memory**: Neural activities in the anterior ventral inferior temporal cortex of monkeys were recorded during the performance of an asymmetrical paired-association task using faces. The results indicated the population of face neurons in this area represents both view-invariant identities of faces and non-facial pictures paired-associated with the identities.
- (2) **Neural basis of visual search for face**: Visual search to detect a face among non-faces were behaviorally analyzed. The results showed that efficient parallel search was observed only for faces of conspecifics. We also recorded neuronal activities in the thalamic pulvinar.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	11,000,000	3,300,000	14,300,000
2009年度	6,500,000	1,950,000	8,450,000
2010年度	7,900,000	2,370,000	10,270,000
2011年度	8,400,000	2,520,000	10,920,000
2012年度	6,500,000	1,950,000	8,450,000
総計	40,300,000	12,090,000	52,390,000

研究分野： 神経生理学・認知科学

科研費の分科・細目：脳神経科学・神経・筋肉生理学

キーワード：霊長類，ニューロン活動，顔認知，連合記憶，視覚探索

1. 研究開始当初の背景

霊長類の脳には顔の情報処理に特化した神経回路が存在する(Haxby ら 2000)。とくにサルでは顔の視覚的呈示に対して特異的

に反応する顔ニューロンが発見されており(Bruce ら 1981, Perrett ら 1982)，認知行動下のサル脳におけるニューロン活動計測は、霊長類の顔情報処理系の解明に極めて重要であ

る。本研究代表者らはこれまでに前部下側頭皮質腹側部の顔ニューロン集団により、顔のアイデンティティや既知性が表現されている一方、前部上側頭溝の顔ニューロン集団により、顔や視線の方向が表現されているという二重乖離がある事をことを明らかにしている(Eifuku et al., 2004, 2011, in press; De Souza et al., 2004)が、本研究ではこれらの先行研究に基づき、前部下側頭皮質と前部上側頭溝およびこれらの部位と密接な神経結合を有する辺縁系・視床非特殊中継核等のニューロン活動に焦点をあて、以下の二つの研究を行った。

2. 研究の目的

(1) 顔の連合記憶のニューロン機構の解明:

顔のアイデンティティの認知障害は人間では相貌失認と総称され、統覚型と連合型の二型に細分される。前者は顔自体の認知障害であり、後者は顔とそれに関する意味・名前等の連合記憶の障害である。現時点で、連合型相貌失認の成立を説明し得るニューロンレベルでの知見はほとんどない。本研究では交付期間内に、連合型相貌失認で障害される顔に関する連合記憶を擬似的に再現する、顔を用いた非対称的対連合記憶課題を導入し、同課題遂行時のサル前部下側頭皮質腹側部(AITv 野)から顔関連ニューロン活動を記録・解析して、顔に関する連合記憶のニューロン相関を明らかにすることを目的とする。

(2) 顔の視覚探索のニューロン機構の解明:

顔の認知処理には明確に意識に上る顕在的過程だけでなく、意識に上らない潜在的過程が介在することを示唆する多くの知見がある。たとえば、複数の視覚アイテムの集まりの中から顔を検出する視覚探索課題を使用した、ヒトにおける認知心理学的研究では、顔はトップダウン的な注意を介さずに、効率よくボトムアップ的に検出されることが既に示されている。本研究では交付期間内に、サルにおいて顔の視覚探索課題の詳細な行動学的解析を行うと同時に、前部下側頭皮質や視床非特殊中継核(主に視床枕)など皮質下構造から顔関連ニューロン活動を記録・解析し、顔の視覚探索のニューロン相関を明確にすることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 顔の連合記憶のニューロン機構の解明:

以下の課題を複数のサルに十分に訓練後、AITv 野の単一ニューロン活動記録を行った。顔を用いた非対称的対連合課題(APA 課題): APA 課題で使用する視覚刺激は主に、複数の無意味な図形と、サルにとって既知の人物の顔を5方向から撮影したデジタル画像である。サルはあらかじめ4つの連合対を学習する

(図1)。各連合対は一人の人物(一つのアイデンティティ)の5方向(右左横向き, 右左斜前向き, 正面向き)の「顔」と種類の「図形」からなる。

サルが固視点に固視後、手掛り刺激(「顔」または「図形」)が呈示され、遅延期間の後、テスト刺激(手掛り刺激が「顔」の場合は「図形」, 「図形」の場合は「顔」)が継時的に呈示される。サルには手掛り刺激と連合対をなすテスト刺激を同定することが要求される。正解テスト刺激が呈示された場合、レバー押しを行うとジュースが報酬として与えられるが、正解テスト刺激でない場合(妨害刺激)は、次のテスト刺激の呈示を待たなくてはならない。各試行では正解テスト刺激の呈示まで妨害刺激が複数回呈示される。APA 課題には、(1)図形が手掛り刺激として呈示され、顔がテスト刺激として呈示される図形→顔試行と、逆に、(2)顔が手掛り刺激として呈示され、図形がテスト刺激として呈示される顔→図形試行の2種類の試行がある。

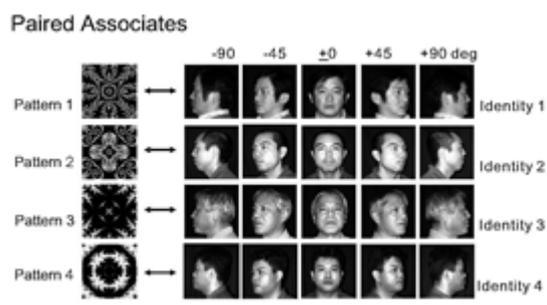


図1 APA 課題で使用した4つの連合対。各連合対は、特定の「図形」と特定のアイデンティティの「顔」からなる。

(2) 顔の視覚探索のニューロン機構の解明:

複数のサルで以下の課題の詳細な行動学的解析を行うとともに前部下側頭皮質および視床枕から単一ニューロン活動記録を行った。(前部下側頭皮質および視床枕から単一ニューロン活動記録に関しては現在なお実験を継続している。)

顔の視覚的探索課題(FVS 課題): FVS 課題では、サルに1つの顔刺激(ターゲット刺激)と複数の非顔刺激(妨害刺激)を同時呈示し(視覚刺激アレイ)、顔刺激を検出させる。ターゲット刺激は①自種(ニホンザル)の顔、②他種(マーモセット、ヒト)の顔、③顔の配置情報を有するオブジェクト(顔様刺激)の3種類ある。また、妨害刺激数は4, 9, 19個の3通り設定する。

視覚探索中、サルは自由に眼球運動を行うことができ、検出したターゲットに一定時間固視を行うとジュースが報酬として与えられる(overt search)。眼球運動は眼球コイル法によりモニターし、主にターゲット検出時間を計測する。視覚探索において効率的なボトムアップ的処理が行われる場合には、妨害刺

刺激数に関わらずターゲット検出時間が短くなる一方、トップダウン的処理が必要となる場合（つまり視覚探索が効率的でない場合）には、妨害刺激数の増加とともにターゲット検出時間が長くなる。したがって、前述の3種類のターゲット刺激（顔刺激）を用いた視覚探索の効率性についてターゲット検出時間に基づき検討する。



図2 FVS課題で使用した視覚刺激アレイの1例。

4. 研究成果

(1) 顔の連合記憶のニューロン機構の解明:

APA課題遂行時、AITv野から80個の顔と図形の両方に応答するニューロンが記録された（連合対応ニューロン）。連合対応ニューロン集団による顔や図形の表現を、相関解析に基づき解析した結果、AITv野ニューロン集団により顔の向きに依存しない顔のアイデンティティが正確に表現されているという申請者の先行研究(Eifuku et al., 2004)と一致する知見が得られただけでなく、同ニューロン集団により、連合学習によって形成される顔-図形間の連合関係もまた正確に表現されていることが示された。しかしながら顔-図形の連合対に属す顔と図形間のニューロン表現の類似度は同一アイデンティティに属す様々な向きの顔間の類似度より有意に低かった。以上の結果は、霊長類側頭葉視覚連合野における顔の連合記憶ひいては意味認知のニューロン機構に重要な示唆を与えるものであり、*Journal of Neuroscience* に発表した。

また、さらにAITv野ニューロン集団による顔および連合図形の表現様式に関して、種成分分析や多次元尺度法等、多変量解析を用いた詳細な解析を行ったところ、刺激空間内の顔のアイデンティティの表現と連合図形の表現の間には、topologicalな対応関係が存在することを見出した。この知見は連合学習によって形成された意味関係の表現様式を明確に示すものであり、論文を現在準備中である。

(2) 顔の視覚探索のニューロン機構の解明：行動学的解析の結果、ニホンザルにおいては

自種の顔（ニホンザルの顔）に対する視覚探索だけが効率的であり、他種の顔（ヒトやマーモセットの顔）や様々な顔様刺激に対する視覚探索は効率的でないという、自種の顔に対して選択的な明確なバイアスが認められた。

さらにこのような自種バイアスの原因を検討するため、顔の布置情報や空間周波数等の実験的操作を行ったところ、①眼や口といった顔内部の部分情報やそれによって作り出される顔の布置情報よりも、外部の顔部分を含んだ画像に対して効率的な探索が行われること、また、②画像の全体的な情報の影響が強いとされる低空間周波数情報を含んだ顔画像で効率的な探索が行われること、等が示された。これらの知見は従来知られている顔のアイデンティティや表情などの認知過程に重要とされる視覚情報とは一致せず、視覚探索における顔の検出過程は顔のアイデンティティや表情の認知過程とは異なる脳内メカニズムに基づくことが強く示唆された。以上の結果に関して現在、論文を準備中である。

また、顔の視覚探索の脳内メカニズムの検討のために、FVS課題遂行中のサル前部下側頭皮質および視床枕からニューロン活動を記録・解析を行い、現在なお実験を継続中である。

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9件）

(1) Nakata R, Eifuku S*, Tamura R: Effects of tilted orientations and face-like configurations on visual search asymmetry in macaques. *Animal Cognition*. In press [査読有] DOI: 10.1007/s10071-013-0638-7

(2) Eifuku S*: Neural representations of perceptual and semantic identities of individuals in the anterior ventral inferior temporal cortex of monkeys. *Japanese Psychological Research*. In press [査読有]

(3) 永福智志*: サル前部下側頭皮質における顔のアイデンティティと意味の表現. *BRAIN and NERVE 神経研究の進歩*. 64: 841-852, 2012. [査読無]

(4) Iidaka T*, Harada T, Eifuku S, Nakata R, Sadato N: Distinct human face representations in the perirhinal cortex. *Brain Research*. 1452: 119-129, 2012. [査読有] DOI: 10.1016/j.brainres.2012.02.072

(5) **Eifuku S***, De Souza WC, Nakata R, Ono T, Tamura R: Neural representations of personally familiar and unfamiliar faces in the anterior inferior temporal cortex of monkeys. PLoS One 6: e18913, 2011. [査読有] DOI: 10.1371/journal.pone.0018913

(6) Tamura R *, **Eifuku S**, Uwano T, Sugimori M, Uchiyama K, Ono T: A method for recording evoked local field potentials in the primate dentate gyrus in vivo. Hippocampus 21: 565-574, 2011. [査読有] DOI: 10.1002/hipo.20773

(7) Tamura R*, Nishida H, **Eifuku S**, Nagao K, Fushiki H, Watanabe Y, Ono T: Short-term synaptic plasticity in the dentate gyrus of monkeys. PLoS One 6: e20006, 2011. [査読有] DOI: 10.1371/journal.pone.0020006

(8) **Eifuku S***, Nakata R, Sugimori M, Ono T, Tamura R*: Neural correlates of associative face memory in the anterior inferior temporal cortex of monkeys. The Journal of Neuroscience 30: 15085-15096, 2010. [査読有] DOI: 10.1523/JNEUROSCI.0471-10.2010

(9) De Souza WC *, Feitosa, MAG, **Eifuku S**, Tamura R, Ono T: Face perception in its neurobiological and social context. Psychology and Neuroscience 1: 15-20, 2008. [査読有]

〔学会発表〕(計 51 件) 以下は代表的なもの

(1) 中田龍三郎, 田村了以, **永福智志**: ニホンザルにおける顔の視覚探索課題—サルは顔を瞬時に検出するか? 第 90 回日本生理学会大会. 2013 年 03 月 27 日~2013 年 03 月 29 日, 東京

(2) **Eifuku S**: Neural representations of perceptual and semantic identities of individuals in the ventral anterior inferior temporal cortex of monkeys. 43rd NIPS International Symposium, "Face Perception and Recognition". 2012 年 10 月 30 日~2012 年 11 月 03 日, Okazaki, Japan (招待講演)

(3) **Eifuku S**, Nakata R, Tamura R: Neural representations of perceptual and semantic identities of individuals in the ventral anterior inferior temporal cortex of monkeys. 42nd Annual Meeting of Society for Neuroscience. 2012 年 10 月 13 日~2012 年 10 月 17 日, New Orleans, LA, USA

(4) 中田龍三郎, 田村了以, **永福智志**: ニ

ホンザルは顔を効率的に探索するのか—顔検出の手がかりとなる情報. 第 35 回日本神経科学大会. 2012 年 09 月 18 日~2012 年 09 月 21 日, 名古屋

(5) Nakata R, Tamura R, **Eifuku S**: What facial information is important for rapid detection of the face?: Comparative cognitive studies between humans and monkeys. 35th European Conference on Visual Perception. 2012 年 09 月 02 日~2012 年 09 月 06 日, Alghero, Italy

(6) **Eifuku S**: Neural correlates of face recognition and memory in monkeys. The 29th International Congress of Clinical Neurophysiology (ICCN2010). 2010 年 10 月 28 日~2010 年 11 月 1 日, Kobe, Japan (招待講演)

(7) **永福智志**, 中田龍三郎, 杉森道也, 小野武年, 田村了以: サル脳における顔表象の探求 第 39 回日本臨床神経生理学会学術大会. 2009 年 11 月 18 日~2009 年 11 月 20 日, 北九州 (招待講演)

(8) **Eifuku S**, Daimon Y, De Souza WC, Sugimori M, Ono T, Tamura R: Neural basis of associative memory of faces in the monkey anterior inferior temporal cortex. The 36th Congress of the International Union of Physiological Sciences (IUPS2009). 2009 年 07 月 29 日~2009 年 08 月 01 日, 2009, 7, 29-8, 1, Kyoto

〔図書〕(計 1 件)

(1) **永福智志**. 顔ニューロンが紡ぐもの -- サルを用いた脳科学研究--. 柿木隆介・山口真美 編 「顔を科学する」東京大学出版会, 東京 pp. 133-153, 2013

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.nips.ac.jp/kaoninchi/result.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

永福 智志 (EIFUKU SATOSHI)
富山大学・大学院医学薬学研究部 (医学)・
准教授
研究者番号: 70262508

(2)研究分担者: 該当なし

(3)連携研究者: 該当なし