

平成 22 年 5 月 31 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19500348

研究課題名（和文）サル前部下側頭皮質における「顔」の記憶表現とそのダイナミクス

研究課題名（英文）Neural representation of face memory and its dynamics

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）：

顔認知の連合的側面の神経基盤を調べることを目的に、非対称的対連合(APA)課題遂行中のニホンザルの前部下側頭皮質腹側部(AITv 野)からニューロン活動を記録した。APA 課題では連合対の片方（抽象図形または顔）が手掛かり刺激として呈示され、サルは報酬を得るために、複数回呈示されるテスト刺激（顔または抽象図形）の中から、連合対のもう片方を同定することが要求される。実験の結果、多数のニューロンが顔と抽象図形の両方に応答し、その大半は特定の連合対に選択的であることが示された。また、AITv のニューロン集団により、顔のアイデンティティだけでなく、学習された顔と抽象図形の対連合が表現されていることが示された。

研究成果の概要（英文）：

To investigate the neural basis for the associative aspects of facial identification, we recorded neuronal activity from the ventral, anterior inferior temporal cortex (AITv) of macaque monkeys during the performance of an asymmetrical paired-association (APA) task which required associative pairing between an abstract pattern and five different facial views of a single person. In the APA task, after one element of a pair (either an abstract pattern or a face) was presented as a sample cue, the reward-seeking monkey correctly identified the other element of the pair among various repeatedly-presented test stimuli (faces or patterns), which were temporally separated by inter-stimulus delays. The results revealed that a substantial number of AITv neurons responded both to faces and abstract patterns, and the majority of these neurons responded selectively to a particular associative pair. It was demonstrated that in addition to the view-invariant identity of faces used in the APA task, the population of AITv neurons was also able to represent the associative pairing between faces and abstract patterns, which was acquired by training in the APA task.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：脳神経科学

科研費の分科・細目：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 長期記憶 対連合

1. 研究開始当初の背景

「顔」の情報処理に特化した神経回路の障害により、相貌失認というたいへん特徴的な病態が現われる。相貌失認 prosopagnosia とは狭義には、既知「顔」のアイデンティティ認知障害であり、統覚型（「顔」のアイデンティティ自体の知覚障害）と連合型（「顔」のアイデンティティと様々な意味情報との連合障害）の2型に細分される (Damasio ら 1982, De Renzi ら 1991)。連合型の存在が示すように、「顔」のアイデンティティと様々な意味情報との連合は、「顔」のアイデンティティ認知の本質的な側面のひとつと考えられる。統覚型はヒトでは主に紡錘状回等の障害により起こるが、連合型は主に前部側頭皮質の障害により起こる。サルではこれらの部位はともに前部下側頭皮質が相当すると考えられている。われわれは先行研究で、前部下側頭皮質腹側部 (TEav 野) のニューロン集団によって、「顔」のアイデンティティが表現されていることを既に報告している (Eifuku ら, 2004; De Souza, Eifuku ら, 2005)。

2. 研究の目的

本研究では、「顔」のアイデンティティと意味情報の連合記憶のニューロン相関を解明することを目的に、認知課題として新たに、「顔」を用いた対連合記憶課題 (APA 課題) を導入し、課題遂行時のサル TEav 野の「顔」関連ニューロン活動を記録・解析した。

3. 研究の方法

以下の課題を複数のサルに十分に訓練後、TEav 野の単一ニューロン活動記録を行った。
認知課題：「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」と一種類の「図形」からなる。

Paired Associates

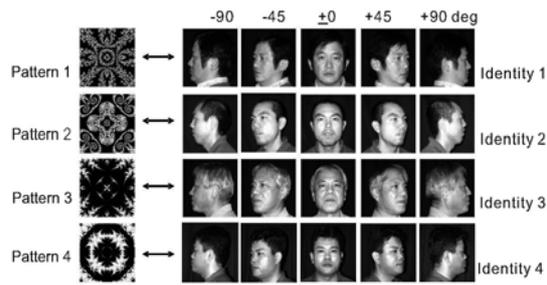


図1 APA課題で使用した4つの連合対. 各連合対は、特定の「図形」と特定のアイデンティティの「顔」からなる。

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」試行の二種類の試行がある。

データ解析：上記24種類の視覚刺激（「顔」20種類と「図形」4種類）の任意の2種類間の類似度を各視覚刺激（手掛り刺激）に対する総数80個の連合対応ニューロン（「顔」と「図形」に反応性があったニューロン）のニューロン応答間の相関係数に基づいて求め、連合対応ニューロン集団による「顔」や「図形」の表現様式を解析する。

4. 研究成果

APA課題遂行時、TEav野から合計120個の「顔」応答ニューロンが記録され、そのうち80個が「図形」に対しても反応性を示した（連合対応ニューロン）。このような連合対応ニューロンの大半(63個 (78.8%))は、学習された特定の「顔」のアイデンティティと「図形」の連合対に対して選択性を示した（連合対選択的ニューロン）。図2はそのような連合対選択的ニューロン典型例の応答サマリーである。このニューロンは連合対3、すなわち「図形」3の手掛り刺激と「顔」のアイデンティティ3の手掛り刺激に対して選択的な反応を示している。

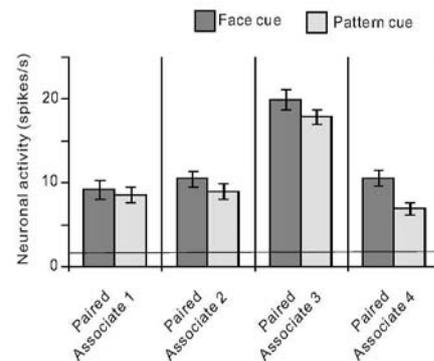


図2 連合対選択的ニューロンの1例.. 各「図形」の「顔」手掛り刺激または、各アイデンティティの「顔」手掛り刺激に対するニューロン反応強度の比較。

さらに少数ながら(18個)、「図形」→「顔」試行において、「図形」手掛り呈示後の遅延期間に、その手掛り「図形」の連合するアイデンティティの「顔」正解テスト刺激呈示に先行して遅延期間中に活動を増加させるものが存在した。図3はそのような「顔」のアイデンティティに選択的な予測的遅延活動の典型例である。このニューロンは「顔」のアイデンティティ1の手掛り刺激に反応するだけでなく、「図形」1手掛り呈示後の遅延期間に、アイデンティティ1の「顔」正解テスト刺激呈示に先行して遅延期間中に活動を

増加させている (矢印).

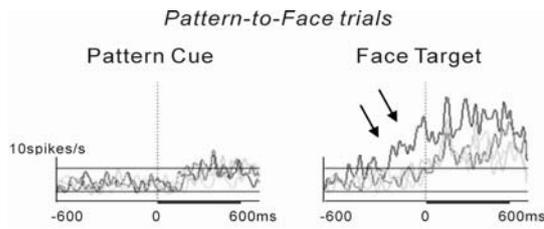


図3 「顔」のアイデンティティに選択的な予測的遅延活動の1例。「図形」→「顔」試行における、4つの「図形」手掛り刺激および、4つのアイデンティティの「顔」正解テスト刺激に対するニューロン応答の時間経過をスパイク密度関数で表示. 時間軸の0は刺激呈示.

図4Aは同一アイデンティティの「顔」間と異なるアイデンティティの「顔」間の類似度 (相関係数の z' 値)の分布であり, 両者に有意な差があることから, 連合対応ニューロン集団により「顔」のアイデンティティが表現されていることが明確になった. また, 図2Bは同一向きの「顔」間と異なる向きの「顔」間の類似度 (相関係数の z' 値)の分布であり, 両者に有意な差を認めないことから, 連合対応ニューロン集団により同一向きの「顔」と異なる向きの「顔」が分離されないことが明確になった.

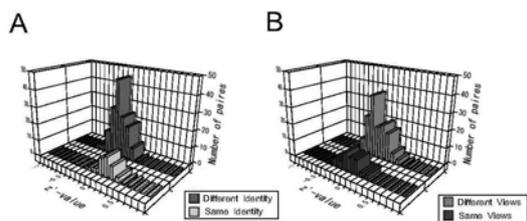


図4A 同一アイデンティティの「顔」間と異なるアイデンティティの「顔」間の類似度 (相関係数の z' 値)の分布. B 同一向きの「顔」間と異なる向きの「顔」間の類似度 (相関係数の z' 値)の分布.

図5は同一連合対の「顔」・「図形」間と異なる連合対の「顔」・「図形」間の類似度 (相関係数の z' 値)の分布であり, 両者に有意な差があることから, 連合対応ニューロン集団に

より, 対連合学習により獲得された「顔」・「図形」の連合対が表現されていることが明確になった.

本研究の結果から, TEav野「顔」応答ニューロンは, ① ニューロン集団として, 「顔」の向きに依存しない「顔」のアイデンティティを表現していること, また同時に ② ニューロン集団として, 学習された「顔」と「図形」の連合対を表現していることが明らかになった. 以上の知見は, 対連合学習が, TEav野「顔」応答ニューロンのニューロン集団としての活動に明確な影響を与えることを示している. このような「顔」のアイデンティティを表現するTEav野「顔」応答ニューロン集団の対連合学習への応答性は, 「顔」のアイデンティティと意味情報の連合記憶の基礎をなしている可能性がある.

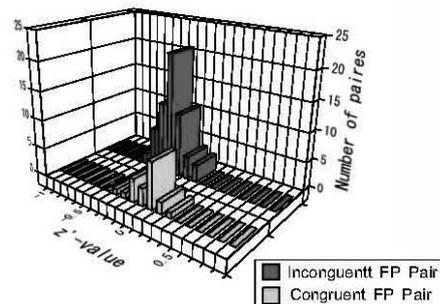


図5 同一連合対の「顔」・「図形」間と異なる連合対の「顔」・「図形」間の類似度 (相関係数の z' 値)の分布.

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6件)

- ① 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 (in press)
- ② 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)

③ Kawagoe T, Tamura R, Uwano T, Asahi T, Nishijo H, Eifuku S, Ono T, Neural correlates of stimulus-reward association in the rat mediodorsal thalamus. Neuroreport 18, 683-8 (2007)

④ Asahi T, Uwano T, Eifuku S, Tamura R, Endo S, Ono T, Nishijo H, Neuronal responses to a delayed-response delayed-reward go/nogo task in the monkey posterior insular cortex. Neuroscience 143, 627-39 (2006)

⑤ Takamura Y, Tamura R, Zhou TL, Kobayashi T, Tran AH, Eifuku S, Ono T, Spatial firing properties of lateral septal neurons. Hippocampus 16, 635-44 (2006)

⑥ De Souza WC, Eifuku S, Tamura R, Nishijo H, Ono T, Differential characteristics of face neuron responses within the anterior superior temporal sulcus of macaques. Journal of Neurophysiology 94, 1252-66 (2005)

〔学会発表〕（計 8 件）

① 永福智志, 大門良男, 中田龍三郎, 小野武年, 田村了以 サル前部下側頭皮質における「顔」の連合記憶の神経基盤 第87回日本生理学会大会 2010, 5, 18-21 盛岡

② Eifuku S., Daimon Y., Nakata R., Sugimori M., Ono T., and Tamura R. Neural organization for associative memory of faces in the monkey anterior inferior temporal cortex. The 39th Annual Meeting of Society for Neuroscience 2009, 10, 17-21 Chicago

③ Eifuku S., Daimon Y., De Souza W.C., Sugimori M., Ono T., and 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, 7, 29-8, 1 Kyoto

④ 永福智志, 大門良男, 中田龍三郎, 杉森道也, 小野武年, 田村了以 サル前部下側頭皮質における「顔」の連合記憶の神経基盤 第32回日本神経科学大会 2009, 9, 16-18 名古屋

⑤ 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, 11, 18-20 北九州

⑥ Eifuku S., Nagao K., Sugimori M., Ono T., and Tamura R. Pop-out of gaze. The 2nd WFSBP Asia-Pacific Congress and 30th Annual Meeting of JSBP 2008,9,11-13 富山

⑦ 永福智志, 大門良男, 杉森道也, 小野武年, 田村了以 サル前部下側頭皮質における「顔」の連合記憶のニューロン相関 第31回日本神経科学大会2008, 7, 9-11 東京

⑧ 永福智志, 大湊絢, 小野武年, 田村了以 視線のポップアウト 第30回日本神経科学大会 2007.9.10-12 横浜

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

○取得状況（計0件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.med.u-toyama.ac.jp/ins/index-j.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

田村了以(TAMURA RYOI)

富山大学・大学院医学薬学研究部（医学）・

教授

研究者番号：60227296

(3)連携研究者

なし