

機関番号：21601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500465

研究課題名(和文)サル辺縁皮質における「顔」のニューロン表現

研究課題名(英文)Neural representations of faces in the monkey limbic cortices

研究代表者

永福 智志(Eifuku, Satoshi)

福島県立医科大学・医学部・教授

研究者番号：70262508

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：母子関係等の個体関係をもつ特定の個体に対する親近性(個人的親近性)は、顔の認知情報処理において非常に重要であることが既に示されてきたが、その神経基盤はなお不明な点が多く残されている。本研究では、後部帯状回皮質、脳梁膨大後部皮質および傍嗅皮質のニューロン集団における、顔の個人的親近性の表現様式を明確にすることを目的に、固視課題遂行中のサルの各領域から慢性的単一ニューロン活動記録を行った。その結果、これらいずれの領域からも個人的親近性のある顔の呈示に対して選択的な活動を示すニューロンが記録された。以上の結果は、これらの辺縁皮質が顔の個人的親近性の情報処理に重要であることを示唆する。

研究成果の概要(英文)：Personal familiarity is defined as the familiarity to a specific individual with whom the subject has some strong personal relationship. A typical example of the personal familiarity is that to mother or father of the subject's own. It has been shown in many previous studies that personal familiarity was critically important in face recognition. However, neural basis for the processing of personal familiarity is not well known. In this study, to investigate neuronal basis of the processing of personal familiarity, single neuronal activity was recorded from the perirhinal, posterior cingulate and retrosplenial cortices of monkeys during a passive viewing of various faces which were different in terms of personal familiarity. As the result, neural activities which showed some selectivity to personal familiarity were recorded from these limbic cortices, implying crucial roles of them in the processing of personal familiarity.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：神経・筋肉生理学

キーワード：ニューロン活動 霊長類 顔認知 アイデンティティ 個人的親近性

### 1. 研究開始当初の背景

顔には個体のアイデンティティ・既知性に関する情報や、表情や視線方向など、多様な情報が含まれている。これらの情報は、ヒトをはじめとする霊長類の社会的コミュニケーションの基礎であり、霊長類の脳に顔の情報処理に特化した神経回路が存在することは周知である (Haxby ら 2000)。とくにサルの前頭皮質からは顔や顔写真の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いる (Bruce ら 1981, Perrett ら 1982)。最近では、このような顔ニューロンは6つ程度の異なる顔パッチに存在し、機能的に結合するネットワークを形成することも明らかになっている (Tsao ら 2006, Moeller ら 2008)。研究代表者らはこれまでサルを用い、顔認知と密接に関係する前部側頭皮質の種々の領域のニューロン活動の系統的な研究を行ってきた。その結果、前部下側頭皮質腹側領域の顔ニューロン集団によって、顔のアイデンティティが正確に表現されていること等を明らかにした (Eifuku ら 2004; De Souza, Eifuku ら 2005)。さらに同領域の顔ニューロン集団によって、顔のアイデンティティと連合する意味情報もまた正確に表現されていることを明らかにし発表している (Eifuku ら 2010)。同領域は前内側パッチに相当する部位であり、同パッチが顔のアイデンティティの認知・記憶に重要な機能的役割を担う可能性が示唆され興味深い。その一方で最近、研究代表者らは、前部下側頭皮質腹側部の顔ニューロン集団によって、個人的親近性もまた表現されていることを見出し発表している (Eifuku ら 2011)。個人的親近性とは、前述のように、近親者など個体間関係をもつ個体に対する既知性のことであり、単に顔写真などの視覚刺激の反復呈示により学習された視覚的既知性とは明らかに異なる (Gobbini ら 2007 など)。従来、顔の認知心理学的研究においては、既知の顔 (既知顔) と未知の顔 (未知顔) には反応時間や課題正答率などの行動指標に明確な違いがあり、既知顔と未知顔では脳内での情報処理経路が異なる可能性も示唆されている。このような既知顔の意味する「既知性」とは、初期の顔研究では視覚的既知性ではなく、個人的親近性を指していたのであり (Bruce, 1986)、実際、個人的親近性は視覚的既知性より行動指標に対する影響が大きいことも報告されている (Balas ら 2007 など)。

顔の個人的親近性とアイデンティティの認知に関連して、Ellis と Young (1990) は、症例研究に基づき、たいへん魅力ある仮説を提唱している。この仮説は、顔の情報処理は、意識に上る顕在的処理過程を司る腹側経路と意識に上らない潜在的処理過程を司る背側経路が並立しており、前者の障害により相貌失認が、後者の障害によりカブグラ症候群が生じるというものである。相貌失認 (狭義) とは顔のアイデンティティ (“その顔が誰の

顔であるか”) の認知障害である。一方、カブグラ症候群とは、近親者を同一の顔をもつニセモノと感じるという非常に特徴的な症候群であり、現在、個人的親近性の認知障害と考えられている。これまでに Ellis と Young の仮説を裏付けるいくつかの報告がなされている (Ellis ら 1997 など)。しかしながら、この仮説における腹側経路と背側経路が具体的にどの脳部位に相当するか? (とくにこの図式での背側経路に何が相当するのか?) は議論の余地があり、今なお結論には至っていない。本研究は、辺縁皮質に属する後部帯状皮質、脳梁膨大後部皮質と傍嗅皮質に着目し、これらの領域における個人的親近性の情報処理の神経基盤を探ることを主眼とした。後部帯状皮質および脳梁膨大後部皮質に関してはすでに個人的親近性の認知との関係を示すいくつかのヒトでの機能画像研究がある (Shah ら 2001 など)。一方、傍嗅皮質は申請者らがこれまでの先行研究で顔のアイデンティティ認知との密接な関連を示した前部下側頭皮質腹側領域と密な相互結合がある領域であり、本研究は、この点で申請者の先行研究の知見をさらに発展させたものと位置づけられる。

### 2. 研究の目的

本研究では、アイデンティティおよび個人的親近性が異なる様々な顔刺激やそのほかの生態学的意味を有する視覚刺激 (研究計画・方法を参照) をあらかじめ多数準備し、固視課題遂行中のサルの記録ニューロンの各視覚受容野内に呈示する。そして、このような視覚的呈示に対する後部帯状皮質、脳梁膨大後部皮質と傍嗅皮質のニューロン応答の記録・解析を行い、これらの領域のニューロン集団による顔の個人的親近性の表現様式を明確にすることが目的である。

### 3. 研究の方法

最初に記録部位の特定のために MRI 撮像 (術前 MRI 撮像) し、次いで手術を施行した。手術からの回復後、固視課題をサルに訓練し、十分な訓練後に MRI を再度撮像 (術後 MRI 撮像) して、記録部位を確認した。その後、固視課題遂行中のサルの後部帯状皮質、脳梁膨大後部皮質と傍嗅皮質から慢性的単一ニューロン活動記録およびデータ解析を行った。(1) 術前および術後 MRI 撮像: ペントバルビタールによる麻酔管理下、外耳道にマーカーを注入した状態でサル脳の MRI を撮像した。得られた MRI 画像に基づき各サル個体毎に後部帯状皮質、脳梁膨大後部皮質と傍嗅皮質の位置を特定した。(MRI は富山大学生命科学先端研究センター・中型実験動物用 MRI (0.2T) を使用。)

(2) 手術: 慢性的に無麻酔下で無痛的にサル脳内からニューロン活動を記録するため、滅菌条件下かつペントバルビタールによる麻酔管理下で、記録用チャンパーと頭部固定用ホルダーを設置。これらの設置にあたり術前 MRI を使用した。また、無麻酔下で無痛の

にサルの眼球運動を連続記録するため、眼球強膜に眼球コイルを埋め込んだ。

(3) 固視課題と訓練：固視課題では CRT ディスプレイ中央に固視点が呈示され、サルが固視点の周囲の 0.5 度(視角)四方(制御窓)の中に約 2.5 秒間固視を持続すると報酬としてジュースが与えられる。眼球位置は眼球コイル法によりモニターした。サルが固視した後 800-1200ms の任意の遅延期間をおき、視覚刺激が 1000ms 呈示される。視覚刺激の off から 400-800ms の任意の遅延期間をおき報酬が与えられる。ニューロン活動記録に先立ち、固視課題の課題正答率が 95%を超えるように十分に訓練した。

(4) 視覚刺激：視覚刺激としては以下の視覚刺激セットを用意し、各刺激セットから適宜、複数抽出して使用した。(ただし訓練時は を除く。)各セットは、複数個体分の(つまり複数のアイデンティティの)サルまたは人物の写真からなり、各個体(アイデンティティ)ごとに見え方の異なる複数の写真を用意した。個人的親近性のあるサル(または人物)顔写真：飼育室で飼育する他のサルの、またはサルの飼育に携わっている人物の複数の異なる写真。個人的親近性はないが視覚的既知性のあるサル(または人物)顔写真：サルが実際に見たことのない他のサルの、または人物の複数の異なる写真。したがって、個人的親近性はないが、訓練を通じて同じ写真を繰り返し用いるため、課題訓練後は十分に視覚的既知性を有することになる。

視覚的に未知なサル(または人物)顔写真：と同様に、サルが実際に見たことのない他のサルの、または人物の複数の異なる写真だが訓練には使用されず、ニューロン活動記録時にだけニューロン毎に異なるものを使用。

種々の物体の写真：サルにとって既知または未知の物体の写真。(例：注射器など)

種々の風景や建造物の写真：サルにとって既知または未知の物体や建造物の写真。(例：サルが実験室へ移動する際に通過する通路など)

(5) ニューロン活動記録とデータ解析：術後 MRI 撮像後、固視課題遂行中、後部帯状皮質、脳梁膨大後部皮質または傍嗅皮質から微小電極法と脳定位固定法を用いた単一ニューロン活動記録を行った。視覚刺激セット ~ からそれぞれ任意に 5-10 種類抽出された視覚刺激に対して、各固視課題遂行中のニューロン活動と眼位を課題の時間情報と共に記録し、記憶媒体に保存した。記録されたニューロンに対し、ニューロン毎に各視覚刺激に対する応答の刺激選択性を、主に信号検出理論(ROC 解析：AUC 値を指標とする)や情報理論(相互情報量を指標とする)に基づき解析した

#### 4. 研究成果

実験の結果、後部帯状回皮質、脳梁膨大後部皮質、および傍嗅皮質のいずれの領域からも顔、物体、または風景画像に対して選択的に

応答を示すニューロンが存在した。またとくに顔画像に関しては個人的親近性の違い(すなわち ~ の条件の違い)に対して識別的な応答を示すニューロンが記録された。

以上の結果は、後部帯状回皮質、脳梁膨大後部皮質、および傍嗅皮質の各領域が顔の個人的親近性の情報処理に重要であることを示唆するものである。

#### 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) 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*, 査読有, 21, 2011, 565-574.

(2) 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*, 査読有, 6, 2011, e18913(1-10)

(3) 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*, 査読有, 6, 2011, e20006(1-8)

(4) Iidaka T, Harada T, Eifuku S, Nakata R, Sadato N. Distinct human face representations in the perirhinal cortex and fusiform gyrus. *Brain Research*, 査読有, 1452, 2012, 119-129.

(5) 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*, 査読無, 64, 2012, 841-852.

(6) Tamura R, Nishida H, Eifuku S, Fushiki H, Watanabe Y, Uchiyama K. Sleep-stage correlates of hippocampal electroencephalogram in primates. *PLoS One*, 査読有, 8, 2013, e82994.

(7) Nakata R, Eifuku S, Tamura R. Effects of tilted orientations and face-like configurations on visual search asymmetry in macaques. *Animal Cognition*, 査読有, 17, 2014, 67-76.

(8) Eifuku S. Neural representations of perceptual and semantic identities of individuals in the anterior ventral inferior temporal cortex of monkeys. *Japanese Psychological Research*, 査読有, 56, 2014, 58-75.

(9) 永福智志 相貌認知の生理学. *Clinical Neuroscience*, 査読無, 32, 2014, 149-152. [学会発表](計 15 件)

(1) Eifuku S, Nakata R, Ono T, Tamura R: Neural basis for associative face memory in the monkey anterior inferior temporal

cortex. 15th Annual Meeting of Association for Scientific Study of Consciousness, 2011. 6, Kyoto.

(2) Nakata R, Tamura R, Eifuku S: Inner features of the face are important for pop-out? Face pop-out effect in humans and monkeys. 34th European Conference on Visual Perception, 2011. 8, Toulouse, France.

(3) Eifuku S, De Souza WC, Nakata R, Ono T, Tamura R: Neural representations of personally familiar and unfamiliar faces in the anterior inferior cortex of monkeys. 41st Annual Meeting of Society for Neuroscience, 2011. 11, Washington, DC, USA.

(4) Takai M, Eifuku S, Kamachi MG: Is a detection of gaze direction of a person in front affected by the presence of persons in the peripheral view? 35th European Conference on Visual Perception, 2012. 9, Alghero, Italy.

(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. 9, Alghero, Italy.

(6) 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. 10, New Orleans, LA, USA.

(7) Tamura R, Eifuku S: Representation of target identity in the monkey hippocampus. 43rd NIPS International Symposium "Face Perception and Recognition", 2012. 10, Okazaki, Japan.

(8) Nakata R, Tamura R, Eifuku S: What facial information is important for rapid detection of the face Comparative cognitive studies between humans and monkeys. 43rd NIPS International Symposium "Face Perception and Recognition", 2012. 10, Okazaki, Japan.

(9) Kitazono J, Nagata K, Eifuku S, Tamura R, Okada M: Sparse modeling for face identification in monkey anterior temporal cortical areas. 43rd NIPS International Symposium "Face Perception and Recognition", 2012. 10, Okazaki, Japan.

(10) 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. 10, Okazaki, Japan.

(11) Eifuku S, Nakata R, Tamura R: Neural representations of perceptual and semantic identities in the monkey anterior ventral inferior temporal cortex. 37th International Union of Physiological Sciences, 2013. 7, Birmingham, UK.

(12) 永福 智志, Wania C. De Souza, 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個人的親近性のニューロン表現. 第 34 回日本神経科学大会, 2011. 9, 横浜.

(13) 中田龍三郎, 田村了以, 永福智志: 「ポップアウト」する顔しない顔 ヒトとニホンザルによる顔の視覚探索課題. 第 89 回日本生理学会大会, 2012. 3, 長野.

(14) 中田 龍三郎, 田村 了以, 永福 智志: 自種顔のどのような情報が速やかな顔検出に重要なのか? : ヒトとニホンザルの比較認知研究. 第 35 回日本神経科学大会, 2012. 9, 名古屋.

(15) 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. 平成 24 年度生理学研究所研究会「視知覚の理解へ向けて生理、心理物理、計算論による探求」, 2012. 10, 岡崎.

(16) 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. 3, 東京.

(17) Eifuku S, Nakata R, Tamura R: Neural representations of perceptual and semantic identities of individuals in the ventral anterior inferior temporal cortex of monkeys. 第 36 回 日本神経科学大会, 2013. 6, 京都市.

(18) 中田 龍三郎, 永福 智志, 田村 了以: Effect of tilted orientations and face-like configurations on visual search asymmetry in Japanese macaques. 第 73 回日本動物心理学会, 2013.9, つくば市 [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」, 2013, pp 133-153, 東京大学出版会, 東京.

## 6 . 研究組織

### (1) 研究代表者

永福 智志 (EIFUKU, Satoshi)  
福島県立医科大学・医学部・教授  
研究者番号: 70262508

### (2) 研究分担者

田村 了以 (TAMURA, Ryoï)  
富山大学・大学院医学薬学研究部・教授  
研究者番号: 60227296