

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 5月31日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22700161

研究課題名（和文）側頭葉におけるカテゴリー化の神経機構の解明

研究課題名（英文）Neural mechanism of categorization in temporal cortex

研究代表者

松本 有央（MATSUMOTO NARIHISA）

独立行政法人産業技術総合研究所・ヒューマンライフテクノロジー研究部門・研究員

研究者番号：00392663

研究成果の概要（和文）：

本研究では、カテゴリー分類の神経機構を解明するために、以下の2つの実験を行った。まず、サルが顔の画像を注視する課題を実行中に、側頭葉からニューロン活動を記録した。その結果、倒立した顔画像を呈示すると、ヒトの個体などの詳細な分類情報が減少することを発見した。次に、2枚の画像の組み合わせによって報酬と無報酬のカテゴリーが決まる課題をサルに行わせ、側頭葉と傍嗅皮質のニューロン活動を記録した。その結果、同じ視覚刺激が呈示されても報酬か無報酬かのカテゴリーによって、応答が柔軟に変化した。

研究成果の概要（英文）：

In this study, we conducted two experiments to elucidate neuronal mechanisms of categorization. At first, we recorded neuronal activities in temporal cortex while monkeys performed a fixation task. We used facial images in the task. Thus, we found that information about fine categories, e.g. facial identity, decreased for a face inversion. Next, we recorded neuronal activities in temporal cortex and perirhinal cortex while monkey performed a bar-release task. In the task, color and black-and-white pattern stimuli appeared in series, reward-unreward category was determined by the combination of the color and pattern stimuli. Thus, we found that some neurons changed their activities following the reward-unreward category even when the same pattern stimuli appeared.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：カテゴリー分類、物体認知、下側頭葉、神経回路モデル

1. 研究開始当初の背景

最近の医工学技術の発展により、脳から情報を読み出して、ロボットアームなどの外部

デバイス进行操作するいわゆるブレイン・マシン・インターフェイス（BMI）を構成することが可能になっている。脳内のニューロン活動が学習によって変化することは昔から

知られているが、最近 Jackson らによって BMI のデバイスを用いて電気刺激による条件付けを学習することで、第一次運動野のニューロン活動が変化することが報告された (Jackson et al., 2006)。性能の良い BMI を構成するためには、脳の可塑性を考慮する必要がある。それゆえ、学習の過程でニューロン活動がどのように変化するかを調べることは重要である。第一次運動野以外の領野 (例えば前頭葉や側頭葉) のニューロン活動が学習によって変化することが知られている (Freedman et al., 2005)。

申請者の先行研究により、サル側頭葉 TE 野のニューロン集団は始めにヒトやサルなどの大まかな分類に関する情報をコードし、それからヒトの個体やサルの表情といった詳細な分類に関する情報をコードすることが分かった (Matsumoto et al., 2005a)。具体的には、サルにモニターを注視するよう訓練し、サルの顔画像、ヒトの顔画像、単純図形の画像を 1 枚ずつ提示した。これらの画像には大分類 (ヒト対それ以外など) と詳細な分類 (ヒトの個体など) を定義できる階層関係があると考えられる。このようにして記録された 4 5 個のニューロン活動を主成分分析により解析した。その結果、画像が提示されて 90 ms 後に、サル画像を提示したときのベクトル、ヒトのベクトル、図形のベクトルが最も分離されることが分かった。これは、4 5 個のニューロン集団がサル対ヒト対図形という大まかな分類を行っていることを意味している。さらに時間が経過して画像が提示されて 140 ms 後にはニューロン集団がサルの表情、ヒトの個体を区別して応答していることが分かった。これは、詳細な分類を行っていることを意味している。ニューロン活動はサルが注視タスクを行っている間に記録したものであるが、サルは何度も同じ画像を見ることで、学習によりこのような情報処理を獲得した可能性がある。

本研究では、このようなカテゴリー分類がどのような神経機構により実現されているかを調べる。人間は、初めて見たイヌでもイヌというカテゴリーは認知でき、どのような性質であるかを認知できる。個々のイヌを覚える必要が無いので、記憶容量の節約にもなる。また、カテゴリー分類機能の喪失によって、顔であることは分かってもどのような表情か分からない相貌失認の患者は社会生活を送る上で支障をきたしている。このようにカテゴリー分類機能は、人間にとって重要なものである。カテゴリー分類機能に重要と考えられる脳の領野は側頭葉と考えられる。サルにおけるニューロン記録実験により側頭葉のニューロン集団による始めに大まかな分類が起こり、続いて詳細な分類が起こることが分かった。このような階層的カテゴリー

分類の情報処理がアトラクターネットワークの一種である連想記憶モデルに基づいているものだと仮説を提唱し、それを実証するためにニューロン活動記録とデータ解析を行った。

2. 研究の目的

申請者は側頭葉でのカテゴリー化の神経機構がアトラクターネットワークの一種である連想記憶モデルに基づいているものだと仮説を提唱し、それを実証するためにニューロン活動記録とデータ解析を行った。

3. 研究の方法

本研究では、サルに次の 2 つの行動課題を課す。

(1) 課題の流れは図 1 の通りである。サルはモニターの前に座り、モニターの中心部に注視点が表示される。サルがその注視点を見たら、注視点が消え、視覚刺激が 400 ms 間表れる。その後注視点が再度表示される。課題中は、サルは注視点を注視している。視覚刺激は、ヒトの顔画像とサルの顔画像と図形の画像を用いた。ヒトの顔は 3 人の 4 種類の表情、サルは 4 匹の 4 種類の表情、図形は円と長方形の 4 種類の色を用いた。さらに、顔画像は正立画像と倒立画像、さらにサッチャー錯視を起こすために、目のみを上下にフリップさせたサッチャー正立画像とサッチャー倒立画像を用いた。サッチャー錯視とは、倒立顔で目を上下にフリップしても違和感あまり感じないが、正立画像だと違いがすぐに分かるというものである。この課題を実行中のサルの下側頭葉からニューロン活動を記録した。

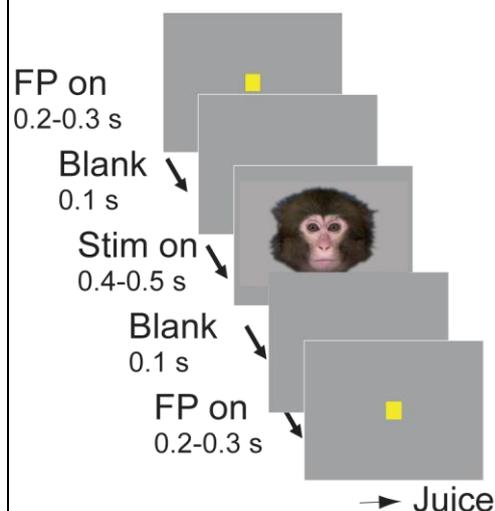


図 1 : 課題の流れ

(2) 課題の流れは図2の通りである。サルはモニターの前に座り、レバーを握るとモニターを中心に注視点が表れる。その後、カラー刺激が600ms間表れる。カラー刺激が消え、再度注視点が表れ、次に白黒のパターン刺激が600ms間表れる。刺激が消えた後に赤色の注視点が現れ、色が緑に変わったらサルは1秒以内にレバーを放す。その後注視点が青色に変わり、1試行が終了する。つまり、この課題では、先に表示される刺激に関わらず、注視点の色が赤から緑に変わったら1秒以内にレバーを放すというものである。レバーを放さなかったり、緑色の注視点表示期間以外の期間に放したときは、その時点で刺激が消え、試行が終了する。この試行はエラーとして記録され、次の試行は同じ刺激が表れる。カラー刺激は2枚で、パターン刺激も2枚用いる。図3で示すように、カラー刺激とパターン刺激の組み合わせによって、課題が成功した後に、報酬をもらえる場合ともらえない場合がある。つまり4種類の刺激の組み合わせから報酬・無報酬のカテゴリー分けができる。サルがこの行動課題を実行中に下側頭葉と傍嗅皮質からニューロン活動を記録した。



図2：課題の流れ

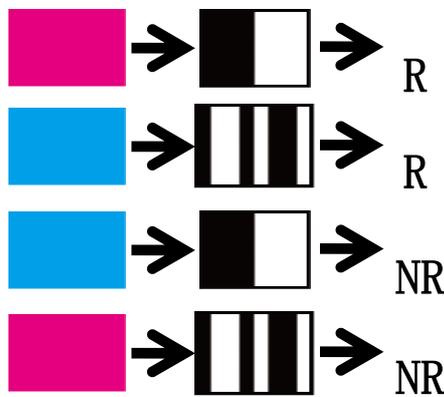


図3：刺激と報酬(R)無報酬(NR)の関係

4. 研究成果

それぞれの課題に対する研究成果は以下の通りである。

(1) 個々に記録したニューロン活動を集団として扱い、主成分分析で解析した結果、先行研究と同様始めにヒトの顔対サルの顔対図形といった大まかな分類が起こり、次に顔の正立、倒立の分類、さらに遅れてヒトの個体やサルの表情と行った詳細な分類に関する情報が処理されることが分かった。顔の倒

立操作により、大まかな分類に関する情報は変化しないが、詳細な情報に関する情報は減少した。また、サッチャー錯視を起こす顔画像を呈示したとき、応答の差が画像呈示後から280ms遅れて現れることが分かった。この結果より、サッチャー錯視の情報処理は下側頭葉以外の領野で行われている可能性を示唆している。

この結果によってどのような顔の画像を提示したら下側頭葉のニューロンがどのような活動をするかの知見をためることができ、神経回路モデルを構成するときに有益である。

(2) 課題は、注視点の色が赤から緑に変わったらレバーを放すというものにもかかわらず、課題成功後の報酬・無報酬のカテゴリーによって、サルの課題に対するエラー率が異なった。図4に2匹のサルのエラー率を表示した。両端が報酬をもらえる刺激の組み合わせ(R)でのエラー率であり、内側二つが報酬をもらえない刺激の組み合わせ(NR)でのエラー率である。2匹のサルとも報酬をもらえる試行の方が報酬をもらえない試行に比べて、有意にエラー率が高いことが分かった(2要因分散分析)。これは、サルが刺激の組み合わせと報酬・無報酬カテゴリーの関係を学習しており、無報酬の刺激の組み合わせが表れると、課題に対するやる気がおちたためだと考えられる。

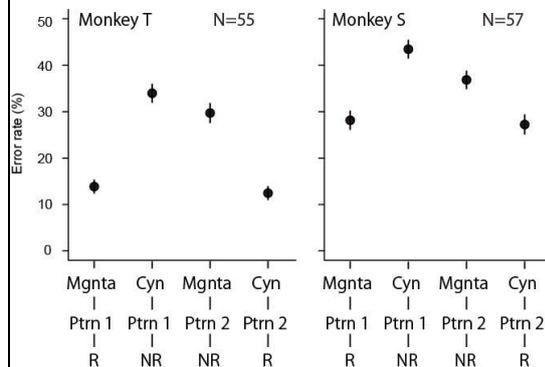


図4：2匹のサルのエラー率

この課題を実行中のサルの下側頭葉と傍嗅皮質からニューロン活動を記録した。その結果、両方の領野においてカラー刺激とパターン刺激に応答するニューロンを発見した。さらに、パターン刺激呈示期間に注目すると、たとえ同じパターン刺激を呈示されても、カラー刺激とパターン刺激の組み合わせで決まる報酬の有無によって、応答が異なるニューロンを発見した。これは、同じ視覚刺激が呈示されても報酬・無報酬のカテゴリーによって、ニューロン応答が柔軟に変化することを意味している。また、嗅周皮質のニューロンの方が、下側頭葉のニューロンより、報

酬・無報酬のカテゴリー情報を強く表現していることが分かった。

これらの結果より、下側頭葉は視覚刺激の情報処理を主におこなっており、その情報を上位である隣の傍嗅皮質（図5の黒色部）に送っている。傍嗅皮質は、視覚刺激の情報を受け取り、視覚刺激から学習した報酬・無報酬のカテゴリー情報に変換し、適応的にニューロンの出力を変える。さらに、報酬・無報酬のカテゴリー情報を他の領野に送っていると考えられる。この課題において新たな刺激の組み合わせを導入することで学習過程のニューロン活動を記録することが可能である。

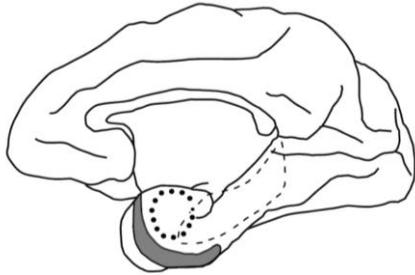


図5：サル脳の傍嗅皮質（黒色部）

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2件）

- ① K. Ohyama, Y. Sugase-Miyamoto, N. Matsumoto, M. Shidara, & C. Sato: Stimulus related activity during conditional associations in monkey perirhinal cortex neurons depends on upcoming reward outcome. *Journal of Neuroscience*, 32, 17407-17419, 2012. DOI:10.1523/JNEUROSCI.2878-12.2012 査読有
- ② Y. Sugase-Miyamoto, N. Matsumoto, & K. Kawano: Role of temporal processing stages by inferior temporal neurons in facial recognition. *Frontiers in Psychology*, 2, 141, 2011. DOI: 10.3389/fpsyg.2011.00141 査読有

〔学会発表〕（計4件）

- ① 松本 有央, 菅生（宮本）康子, 河野 憲二, サル下側側頭葉における倒立顔とサッチャー顔の集団コーディング, Neuro2013(第36回日本神経科学大会、第56回日本神経化学学会大会、第23回日本神経回路学会大会), 2013年6月21日, 国立京都国際会館（京都府）, 発表確定
- ② 松本 有央, 菅生（宮本）康子, 大山 薫, 河野 憲二, サル下側側頭葉における顔

の倒立呈示による階層カテゴリー分類の変化, 第90回日本生理学会大会, 2013年3月28日, タワーホール船堀（東京都）

- ③ N. Matsumoto, Y. Sugase-Miyamoto, K. Ohyama, K. Kawano. Information about facial identity and expression decreased after face inversion in face responsive neurons of monkey inferior temporal cortex. Society for Neuroscience, 42th Annual Meeting, New Orleans (U.S.A.) October 14, 2012
- ④ 菅生（宮本）康子, 松本 有央, 大山 薫, 河野 憲二, 顔の倒立呈示でサル下側側頭皮質ニューロンがコードする顔の個体や表情についての情報が減少する, 第35回日本神経科学大会, 2012年9月19日, 名古屋国際会議場（愛知県）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松本 有央 (MATSUMOTO NARIHISA)
独立行政法人産業技術総合研究所・ヒューマンライフテクノロジー研究部門・研究員
研究者番号：00392663