

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K06921

研究課題名（和文）意識と無意識下での意思決定の脳メカニズム

研究課題名（英文）The neuronal mechanisms of conscious and unconscious decision-making

研究代表者

國松 淳（Kunimatsu, Jun）

筑波大学・医学医療系・助教

研究者番号：50632395

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）：私たちは混雑した中でも無意識的に素早く親しい人の顔を見つけることが出来る。この神経メカニズムを調べるために、日常的に被験サルの世話をしている人物と、会ったことのない人物の顔画像を二ホンザルに提示し、その時の線条体尾部の単一神経の神経活動を記録した。その結果、同部において物体価値と同様のメカニズムで親しみのある顔が符号化されており、その信号が身近な顔の無意識的な認知に寄与していることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、線条体尾部を介する大脳基底核の尾側経路が社会的な文脈においても長期的な価値を表現していることが示唆された。代表的な基底核疾患であるパーキンソン病やハンチントン病において、親しい人の顔の同定が困難となる障害が報告されており、本研究で示された神経メカニズムによってこの病態が説明できる可能性がある。このように、本研究は顔認知の情報処理を明らかにし、疾患時の病態生理の理解を促進する。

研究成果の概要（英文）：Although we can quickly locate a familiar person even in a crowd, the underlying neuronal mechanism remains unclear. Recently, we found that the striatum tail (STRt), which is part of the basal ganglia, is sensitive to long-term reward history. Here, we show that long-term value-coding neurons are involved in the detection of socially familiar faces. Many STRt neurons respond to facial images, especially to those of socially familiar persons. Additionally, we found that these face-responsive neurons also encode the stable values of many objects based on long-term reward experiences. Interestingly, the strength of neuronal modulation of social familiarity bias (familiar or unfamiliar) and object value bias (high-valued or low-valued) were positively correlated. These results suggest that both social familiarity and stable object-value information are mediated by a common neuronal mechanism. This mechanism may contribute to the rapid detection of familiar faces in real-world contexts.

研究分野：システム神経生理学

キーワード：社会性 価値 線条体 大脳基底核 眼球運動 霊長類

1. 研究開始当初の背景

私たちは、人ごみの中から親しい人を無意識的に見つけることができる。このような認知機能はヒトを含む社会性動物にとって重要だと考えられるが、その神経メカニズムは未だ解明されていない。顔の情報はヒトを識別するための最も重要な手がかりの1つであり、顔認知情報処理の神経機構は近年徐々に明らかになってきている。一方で、顔情報が親近感といった社会的情報とどのように組み合わせられているかは未だに不明である。

近年私たちは、線条体尾部(尾状核尾部と被殻尾部、STRt)が長期記憶に基づいた物体の価値判断に関係していることを報告した(Kunimatsu et al., 2019)。この研究では、短期間に報酬価値が変化する場合には同部のニューロンは価値を反映しないが、ある一定以上の期間にわたって安定した価値の物体に対しては価値を反映した活動を示した。興味深いことに、マカクザルは500以上の物体の価値を学習することができ、その価値記憶を100日以上保持することができる(Yasuda et al., 2013)。また、サルは多くの物体の中から無意識的に高価値の物体を素早く見つけ出したり、低価値の物体を避けたりする傾向が、この行動はCDtの不活性化によって障害されることが分かっている(Kim and Hikosaka, 2013)。これらの結果は、STRtが長期記憶に基づく価値ある物体の迅速な検出に関与していることを示している。また、STRtは顔領域を含む側頭葉皮質(TEとTE0)から強い入力を受けるため、物体の認知だけでなく、顔の認知にも関与している可能性がある。

2. 研究の目的

本研究では、社会的に馴染みのある/馴染みのない人物の顔画像を用いて、顔の無意識的な特定に関わる線条体尾部のニューロン活動を明らかにする。これまで物体価値を符号化していると考えられている神経回路が社会的文脈でも機能していることを明らかにすることでこれまでの知見の解釈を広げ、臨床症状の理解を促進する。本研究では研究代表者らが考案した行動課題を指標とするため、研究を進めるうえで大きな優位性がある。

3. 研究の方法

侵襲的な実験が可能なサルを対象とし、電気生理学の手法を用いてミリ秒単位の解像度で単一神経細胞の活動を記録する。本研究には3頭のアカゲザル(Macaca mulatta, 8-11 kg, 6-8歳)を用いた。サルは自発的にチェアに座るように訓練したのち、全身麻酔下で頭部固定用の器具と記録用チャンバー、眼球運動記録用のサーチコイルを取り付けた。行動課題の訓練後、MRIを撮像して線条体尾部の位置を確認した。実験はBLIPというC++ベースのソフトウェアを用いて制御し、得られたデータはMatlabを用いて解析した。

【行動課題】サルが中心をモニターの固視しているときに、周辺視に価値の異なるフラクタル画像や、親しみの異なる人の画像を連続的に提示した。フラクタル画像は、長期間の訓練によって報酬と関連付ける学習が行われている。三か月以上日常的に被験サルの世話をしている人物を「馴染みのある人」、会ったことのない人物を「馴染みのない人」としてそれらの人物の顔画像を二ホンザルに提示し、その時の線条体尾部の単一神経の神経活動を記録した。サルは試行の終了まで固視を続けていると報酬としてリンゴジュースが与えられる(図1)。

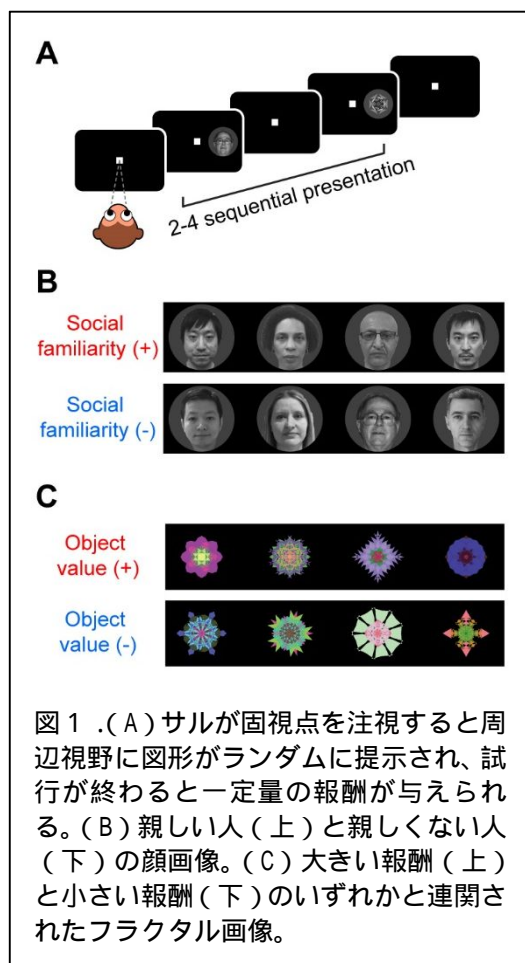


図1.(A)サルが固視点を注視すると周辺視野に図形がランダムに提示され、試行が終わると一定量の報酬が与えられる。(B)親しい人(上)と親しくない人(下)の顔画像。(C)大きい報酬(上)と小さい報酬(下)のいずれかと関連されたフラクタル画像。

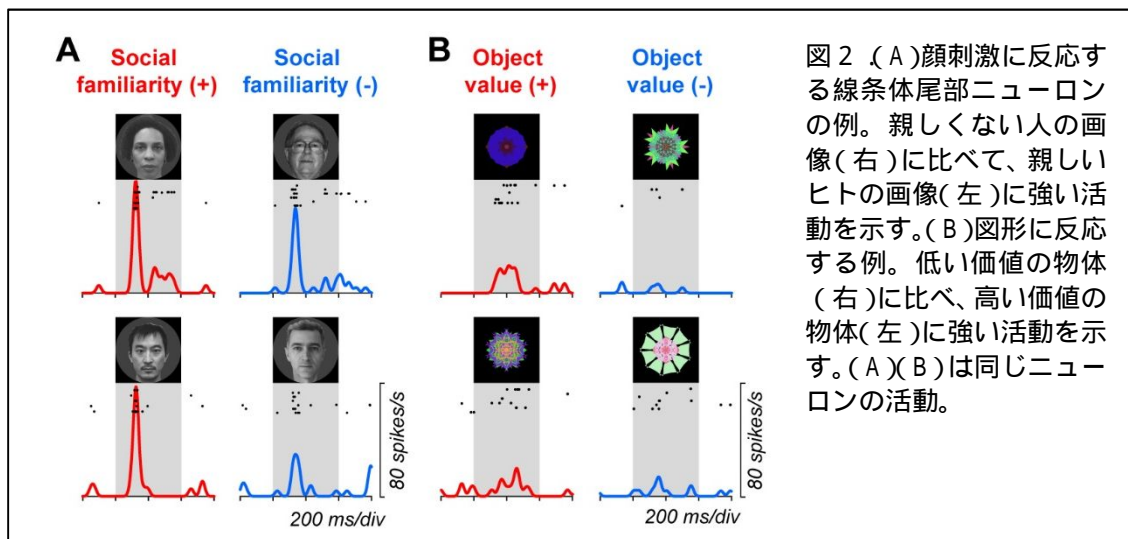
【神経活動記録】記録にはタングステン電極を用いた。マイクロマニピュレーター (MO-97S; Narishige) を用いてガイドチューブを通して線条体尾部まで挿入した。記録部位は 1.0 mm 幅のグリッドシステムを用いて決定した。電極から得られた信号を増幅・フィルタリング (0.3-10 kHz; Model 1800, A-M Systems; Model MDA-4I, BAK) し、1 kHz で収集した。

【解析】画像提示前 (400ms) と画像提示後 (300ms) の間に有意な活動差を示すニューロンを視覚応答ニューロンと定義した。さらに、顔およびフラクタル画像に対してそれぞれ有意な反応を示す神経細胞を「顔反応性ニューロン」、「物体反応性ニューロン」とした。解析には、正解試行のデータのみを使用した。

4. 研究成果

記録した 68 個の STRt ニューロンのうち、52 個 (75%) が有意な視覚反応を示し、そのうち 50% のニューロンが顔画像に反応した (顔反応性ニューロン)。図 2A は、顔画像に反応した STRt の代表的なニューロンの活動を示している。このニューロンは、馴染みのある顔 (+) に対して、馴染みのない顔 (-) よりも強い反応を示した。また、この神経細胞は、価値の高い物体 (+) に対して、価値の低い物体 (-) よりも強い反応を示した (図 2B)。定量解析のため、各ニューロンにおいて、馴染みのある顔/馴染みのない顔に対する活動の差を求めたところ、STRt ニューロンはそれぞれの顔で優位に活動を変化させていた。これらの結果は、STRt ニューロンが馴染みのある顔/馴染みのない顔を弁別していることを示している。また、これらの顔反応ニューロンが物体価値も符号化している可能性を検証するため、物体を見ているときの STRt の顔反応性ニューロンの活動を解析した。その結果、顔反応性ニューロンの多くが物体価値も同時に表現していた。さらに興味深いことに、社会的な親近感に関わる信号は、物体価値に関わる信号に先行していた。

以上のことから、STRt ニューロンにおいて、社会的親近感と物体価値の 2 種類の情報が表現されていることが示された。また、これらの社会的親近感バイアスと物体価値バイアスの強さの関係性を調べたところ、正に相関していることがわかった。これらの結果は、STRt において社会情報と価値情報が同じ神経細胞メカニズムによって符号化されていることを示している。



本研究の結果から、線条体尾部を介する大脳基底核の尾側経路が社会的な文脈においても長期的な価値を表現していることが示唆された。パーキンソン病やハンチントン病といった大脳基底核疾患において、親しい人の顔の同定が困難となる障害が報告されている (Jacob et al., 1995; Hernandez et al., 2019)。その病態として本研究で示されたような顔と社会的価値の情報の統合が障害されているのかもしれない。この成果はプレプリントして発表するとともに、国際雑誌への投稿に向けて準備中である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1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 Kunimatsu Jun, Yamamoto Shinya, Maeda Kazutaka, Hikosaka Okihide	4. 巻 118
2. 論文標題 Environment-based object values learned by local network in the striatum tail	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 e2013623118
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1073/pnas.2013623118	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 Kunimatsu Jun, Amita Hidetoshi, Hikosaka Okihide	4. 巻 540108
2. 論文標題 Neuronal mechanism of the encoding of socially familiar faces in the striatum tail	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 bioRxiv	6. 最初と最後の頁 540108
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1101/2023.05.10.540108	査読の有無 無
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 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 國松 淳
2. 発表標題 The neural mechanism of the encoding of the familiar face in the primate striatum tail
3. 学会等名 The 50th Annual Meeting of the Society for Neuroscience（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 國松 淳
2. 発表標題 親しい人物の顔を素早く見つける神経メカニズム
3. 学会等名 第15回Motor control研究会
4. 発表年 2021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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------