

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：34419

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700423

研究課題名(和文) 大脳辺縁系および大脳基底核における社会的報酬・嫌悪の価値表現

研究課題名(英文) Representation of social reward and social punishment in monkey limbic system and basal ganglia

研究代表者

倉岡 康治 (KURAOKA, Koji)

近畿大学・医学部・助教

研究者番号：10581647

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：社会性動物である霊長類は、他個体に関する社会的情報の価値を予測して行動する必要がある。そこで本研究では、このような認知機能を実現する神経基盤を明らかにするため、社会的報酬・嫌悪を予測させる刺激に対する、側坐核と扁桃体という、報酬や社会的認知との関連が知られる脳領域のニューロン応答を記録した。側坐核ではニューロン群の平均応答が、水の価値と同様に社会的情報の価値をも伝達していたが、扁桃体のニューロンではそのような応答はあまりみられなかった。本研究では、側坐核がどこから社会的情報の入力を受けるのかを明らかにできなかったが、側坐核は社会的情報価値の予測に関与することが示唆された。

研究成果の概要(英文)：It is essential for primates which are social animals to predict upcoming value of social information regarding others. To elucidate neural mechanisms underlying above-mentioned cognitive function, we recorded activity of neurons in the monkey nucleus accumbens and amygdala in response to stimulus predicting social reward or punishment. These brain areas have been known to be involved in reward prediction or social cognition. Average activity of neurons in the nucleus accumbens conveyed value of social information in addition to value of water. By contrast, only a few neurons in the amygdala conveyed value of social information. These results indicate that the monkey ventral striatal neurons are involved in prediction of value of social information although we did not get evidence of source of social information in the nucleus accumbens.

研究分野：認知神経科学

キーワード：社会的報酬 大脳辺縁系 大脳基底核 サル ユニット記録

## 1. 研究開始当初の背景

動物が生存していく上では食べ物や飲み水などの報酬をできるだけ多く獲得し、痛みなどの嫌悪刺激をできるだけ回避するための学習が重要である。このような行動を実現する神経基盤として、扁桃体などの大脳辺縁系や側坐核などの大脳基底核が候補に挙げられ、これまでヒト・マカクザル・ラットなどを対象に盛んに研究がなされてきた。このうち扁桃体は古くから恐怖との関連が知られてきたが、近年になって、サル扁桃体ニューロンは嫌悪刺激だけでなく報酬刺激の情報もコードしていることが明らかになった。一方、扁桃体と密な神経結合がある側坐核はもともと快楽や嗜好などの報酬関連領域であるとされてきた。

これまで報酬・嫌悪処理神経機序の研究の多くは、報酬刺激として食べ物や飲み水、嫌悪刺激として電気ショックや顔に空気を吹きかけるair-puffという、生理的に報酬や嫌悪の対象となる刺激を用いるものであった。しかし霊長類は、集団を形成して生活する社会性動物であることが大きな特徴のひとつなので、視覚を通して他個体から得る社会的情報が報酬や嫌悪の対象となることがある。社会の中で生活する上では、社会的報酬獲得・社会的嫌悪回避の能力が重要となってくるため、これらの能力を実現する脳神経機序の存在が予想される。

実際にこれまで大脳基底核や大脳辺縁系と社会的報酬・社会的嫌悪の処理の関係を示唆する研究がいくつもなされてきた。例えば、社会的な遊びは側坐核における快楽物質であるオピオイドの受容体結合に変化をきたすことが知られている。また、扁桃体は社会的恐怖との関連を示唆する研究が多い。さらに筆者らはこれまでにマカクザル扁桃体ニューロンの顔刺激処理機構を調べてきたが、恐怖表情や威嚇表情など、見る側には嫌悪を感じさせる表情に最も強く応答する扁桃体ニューロンが多いことを明らかにしてきた(Kuraoka & Nakamura, 2007)。興味深いことにサル扁桃体には、他個体の恐怖や威嚇が表情で表出されている場合に応答するだけでなく、音声により恐怖や威嚇が伝達されるときにも強く応答するニューロンが存在した。以上の結果は、サル扁桃体ニューロンが社会的嫌悪の情報を複数の感覚を通して処理していることを示唆している。

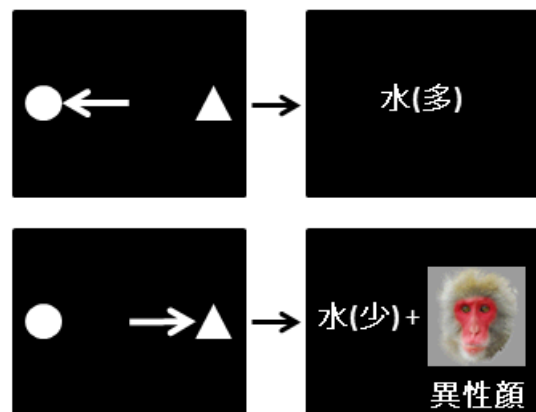
## 2. 研究の目的

以上の点を踏まえて、本研究では、扁桃体を中心とする大脳辺縁系と側坐核を中心とする大脳基底核において、それぞれの領域のニューロンが社会的報酬や社会的嫌悪の情報をどのように表現しているかを明らかにすることを目的とする。具体的には社会的嫌悪の情報は、大脳辺縁系で、社会的報酬の情報は

は大脳基底核で、というようにそれぞれの異なる価値は異なる脳領域で処理されているのか、あるいは飲み水や痛み刺激のような生理的報酬・生理的嫌悪の場合と同様に、大脳辺縁系と大脳基底核どちらでも社会的報酬と社会的嫌悪の情報が処理されているのかを明らかにする。

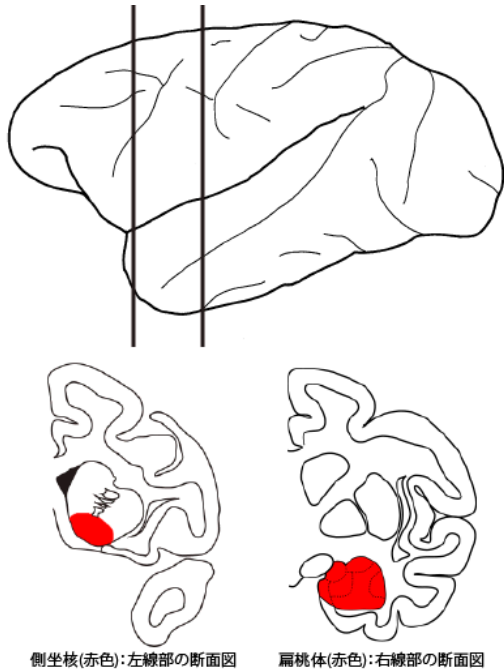
## 3. 研究の方法

社会的情報を有する画像を複数用意し、オスザルにとってその報酬・嫌悪の価値がどの程度になるかを水報酬と比較する行動課題で評価する。社会的報酬刺激として、交尾期で顔が真っ赤になった異性の顔写真や異性の性器の写真などを用意する。これらはオスマカクザルの興味をひく刺激である。一方で社会的嫌悪刺激として、他個体の同性の威嚇表情や恐怖表情などを用意する。これらは精神性発汗応答などの情動反応を引き起こす刺激である。報酬・嫌悪の価値を水報酬で評価する課題として Deaner ら(2005)が考案した有料視聴課題を用いる。この課題は2つの選択肢を用意して、一方を選べば水報酬のみ与えられ、もう一方を選べば社会的報酬・嫌悪刺激が水報酬とともに提示されるものである。社会的報酬・嫌悪刺激とともに与えられる水報酬の量を増減させた上で刺激の選択率を調べ、それぞれの刺激が水報酬の量に換算するとどの程度の価値になるかを明らかにできる。例えば、社会的報酬刺激は同時に与えられる水報酬が少なくても選び、社会的嫌悪刺激は同時に与えられる水報酬が多くないと選ばないと予想される(下図、参照)。



次に社会的報酬・嫌悪刺激を丸や三角の単純図形と連合させる痕跡条件付課題を用いて、条件刺激となる単純図形や無条件刺激となる社会的報酬・嫌悪刺激に対する扁桃体および側坐核(下項図、参照)のニューロン応答を記録する。この課題は、サルが目の前の画面中心点を注視していると、単純図形が短時間提示され、遅延をおいた後に単純図形に対応した社会的刺激が提示されるものである。つまり、単純図形は後の社会的刺激の予測刺激となっている。この課題を用いる理由は扁桃

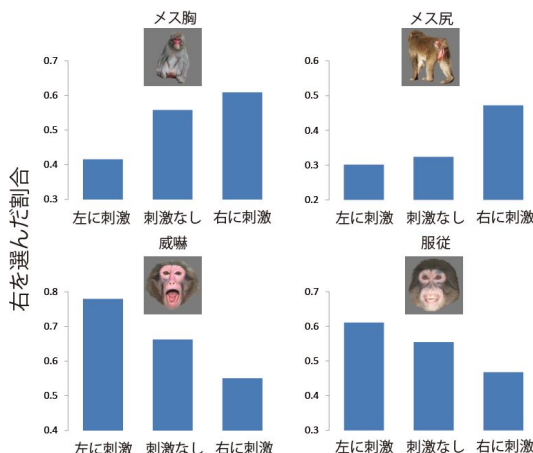
体や側坐核のニューロンは水報酬そのものだけでなく水報酬を予測する条件刺激にも応答することが分かっていることから、同様の応答が社会的報酬・嫌悪刺激でもみられるかを調べるためである。



#### 4. 研究成果

##### <行動実験の結果>

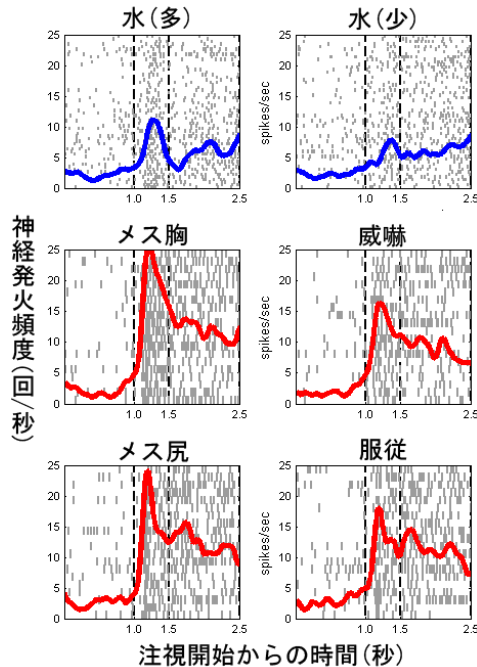
2つの選択肢のどちらを選んでも水報酬のみで社会的刺激が提示されない条件と、どちらか一方を選ぶと水報酬とともに、後に社会的刺激が提示される条件とを比較したところ、メスの胸とメスの尻の写真の場合、それらの刺激が提示されるほうの選択肢を選ぶ割合が高くなった。一方で、威嚇や服従の表情写真の場合、それらの刺激が提示されないほうの選択肢を選ぶ割合が高くなった。この結果より、オスの被験体にとって、メスの胸やメスの尻といった視覚情報は、たとえ2次元の写真であったとしても好ましい価値を有し、反対に、威嚇や服従の表情といった視覚情報は、好ましくない価値を有していることが確かめられた(下図、参照)。



##### <ニューロン応答記録の結果>

##### 側坐核ニューロン

側坐核のニューロンに関して、記録した116個のうち、53個(46%)が社会的刺激の提示を予測させる単純図形に応答した。これらのニューロンの中には下図に示すような好ましい社会的刺激や多い水報酬の予測図形に対する応答と、好ましくない社会的刺激や少ない水報酬の予測図形に対する応答に有意な差があるニューロンが12個あった(下図、参照)。この中には社会的報酬に強く応答するニューロンも、社会的嫌悪に強く応答するニューロンもあった。

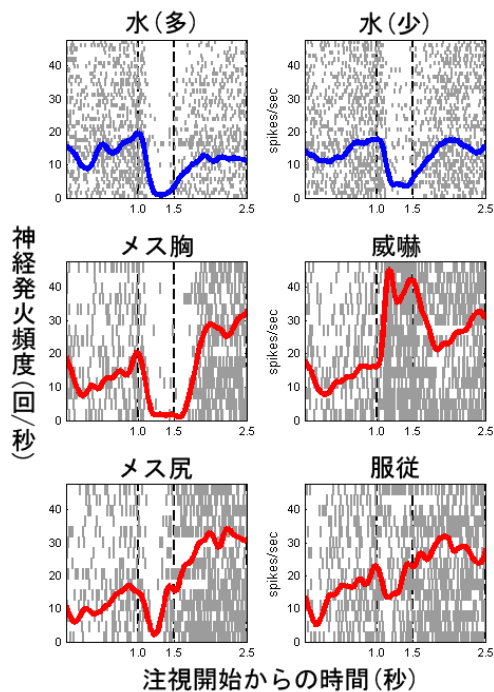


社会的刺激の予測図形に応答する側坐核の全ニューロン(n=53)の平均応答が、好ましい社会的刺激と好ましくない社会的刺激を弁別しているかを調べるため、ROC解析を用いて2種類の社会的刺激に対する応答を比較した。その結果、予測図形が提示される期間において、ROC値が上昇し、好ましい社会的刺激の予測図形に対する応答のほうが大きいということが分かった。水報酬の予測図形に関しても同様のROC解析で調べると、水が多いほうが応答が大きいという結果になった。

さらに個々のニューロンが、社会的刺激の価値と水報酬の価値をどのようにコードしているか調べるために、ニューロンごとの応答が示す社会的刺激の選好度合と水報酬の選好度合を比較したところ、優位な正の相関を示した。

##### 扁桃核ニューロン

扁桃核のニューロンに関して、記録した63個のうち、38個(60%)が社会的刺激の提示を予測させる単純図形に応答した。これらのニューロンの中には次項の図のような社会的刺激の違いでその予測刺激への応答が異なる



るものもあったが、多くのニューロンは刺激による応答差がはっきりしなかった。

以上の結果より、側坐核のニューロンは、これまで知られていたように生理的報酬の予測に関わるとともに、社会的報酬・嫌悪の予測にも関わっていることが示唆された。この社会的情報は、側坐核に神経投射している扁桃体から入力されるという仮説を立てたが、現段階では扁桃体ニューロンが社会的報酬の予測に関わるというしっかりとした証明は得られなかった。

では、側坐核はどこから社会的情報の入力を受けるのかという疑問に関しては、1つには、扁桃体の中でも今回記録していない領域が考えられる。今回の記録部位は扁桃体の中でも内側寄りの領域であったため、外側の辺りのニューロンが社会的報酬の予測に関わっている可能性がある。他には、扁桃体と同様に側坐核に神経投射する前部帯状回が考えられる。前部帯状回も社会的認知機能への関与が知られているので、側坐核が前部帯状回より社会的情報を得て、報酬情報と結びつけている可能性が考えられる。

## 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)

[学会発表](計 4件)

K Kuraoka & M Inase. “Neural response predicting visual stimuli in monkey striatum” 第 37 回日本神経科学大会, 2014/9/12, パシフィコ横浜 (神奈川県・横浜市)

K Kuraoka & M Inase. “Neuronal activity conveying social and fluid information in monkey striatum” 9<sup>th</sup>

FENS Forum of Neuroscience, 2014/7/7, ミラノ・(イタリア)

K Kuraoka & M Inase. “Neural response predicting social stimuli in monkey striatum” 第 91 回日本生理学会大会, 2014/3/18, 鹿児島大学 (鹿児島県・鹿児島市)

倉岡康治・稲瀬正彦 “サル線条体における、社会的情報の予測応答” 第 106 回近畿生理学談話会, 2013/11/2, 奈良県立医科大学 (奈良県・橿原市)

## 6 . 研究組織

### (1) 研究代表者

倉岡 康治 (KURAOKA Koji)

近畿大学・医学部・助教

研究者番号：10581647