

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 1 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26330266

研究課題名(和文) 自己選択による意思決定情報の可視化と解読

研究課題名(英文) Visualization and decoding of decision-making information from neuronal activities

研究代表者

松本 有央 (MATSUMOTO, Narihisa)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員

研究者番号：00392663

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：報酬獲得のための行動決定を調べるために、報酬までの労働負荷と報酬量の組み合わせを選択する行動決定課題を2匹のサルにトレーニングした。行動決定課題実施中に、眼窩前頭皮質から記録されたニューロンは始めに提示された選択肢と次に提示された選択肢に対する応答の組み合わせによって3種類に分類された。サルが実際に選択する期間では、最初の選択肢と次の選択肢の和の情報をコードした。またニューロン活動を記録した脳部位をムシモルにより一時的に不活性にした結果、サルの誤答率および選択の反応時間が増大した。さらに、GLMを用いてそれぞれのニューロン活動から選択を予測できるか調べ、30%のニューロンが正しく予測できた。

研究成果の概要(英文)：We studied the role of orbitofrontal cortex (OFC) in this type of decision making during a choice task varying reward amount and work or time to reward. We recorded neurons and found them coding for aspects of choice-related values. Neuronal activity in OFC represented reward value in various combinations of difference in or sum of value of offered alternatives. We then reversibly inactivated a small regions of OFC rich in neurons coding for choice-related values. During the period of pharmacological OFC inactivation by muscimol the monkeys were both slower to choose and more likely to choose the less valuable option, especially when the difference in value between the two options was small. Thus, OFC neurons code for information that could be used to guide choices, and inactivating this tissue suggests that these signals have a direct influence on the choice behavior.

研究分野：計算論的神経科学

キーワード：意思決定 前頭葉 ニューロン

1. 研究開始当初の背景

我々は、複数のものから一つを選択する際に、選択することで得る報酬と得るために必要な労力(コスト)の兼ね合いで、意思決定を行う。たとえ労力が高くて、自分で意思決定したものなら、決めたことを実行することが多い。例えば、車を購入するとき、車の性能や所持したときの優越感などの報酬と、購入するために必要な手続きなどの労力や支払う額の兼ね合いで、購入する車を決める。その際に、自分が購入すると決めた車なら、たとえコストパフォーマンスが悪かったり、手続きが煩雑であったりしても、支払いや手続きは苦ではない。しかし、家族などが決めた車なら、支払いや手続きが嫌になることがある。このような自己選択による意思決定の過程を明らかにすることは、脳科学だけではなく、マーケティングにおいて重要であると考えられる。

2. 研究の目的

日常生活において、複数のものから一つのものを選択する意思決定を行う機会が多くある。そのとき、選択肢の価値とそれを得る労力の兼ね合いで、意思決定を行う。自己選択による意思決定は、たとえ労力が多い価値判断であっても、決めたことを実行するが、他者選択によって決められたものは、嫌がることが多い。本研究では、そのような**自己選択**による意思決定にいたるまでの脳活動を**可視化**し、その情報を**解読**することを目的とする。そのために、労働負荷と報酬量の組み合わせをサルに選ばせる行動決定課題を実行中に記録したニューロン活動を解析し、それらから意思決定の情報を解読できるか調べる。これにより、自己選択における不合理な価値判断による意思決定の神経機構の解明につながる。

3. 研究の方法

研究期間に次の3個の課題を実施した。

[課題 1] 眼窩前頭皮質における単一ニューロンの解析

[課題 2] 眼窩前頭皮質ニューロン集団活動の意思決定情報の可視化

[課題 3] 眼窩前頭皮質ニューロン集団活動から意思決定情報の解読

平成 26 年度は、課題 1 を遂行し、平成 27 年度は 26 年度に引き続き、課題 1 に加え、課題 2 を遂行し、平成 28 年度は課題 3 を遂行した。各課題の内容について記述する。

[課題 1] 眼窩前頭皮質における単一ニューロンの解析

本研究課題で解析するニューロン活動は、以下の課題を実行中のサルの眼窩前頭皮質

から記録したものである。最初に、報酬までの労働負荷と報酬量の組み合わせを選択する行動決定課題を行う。この課題では、3 段階の報酬量(水 1, 2, 4 滴)と 3 段階の仕事量(視覚弁別課題を n 試行成功すれば報酬がもらえる。n = 1, 2, 4)を示唆する 9 種類の選択肢から 2 つをサルに提示する。選択肢の明るさがもらえる報酬量を表し、長さが報酬をもらえるまでに必要な試行数を表す(図 1)。

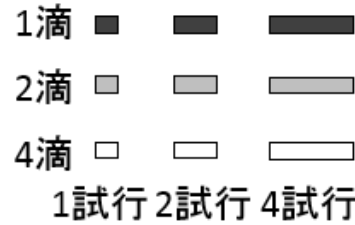


図 1

な試行数を表す(図 1)。モンキーチェアには、3 本のバーが中央と左右に付着されている。サルが、中央のバーを握れば課題が始まり、始めに一つの選択肢が画面の中央に表示される(図 2)。その後、もう一つの選択肢が



注視点 選択肢1 注視点 選択肢2 選択肢1,2 選択したものの
図 2

画面の中央に表示される。その後、表示された 2 つの選択肢が画面の左右どちらかの場所にランダムに同時に表示される。サルが、左右のバーのいずれかを握れば、対応する選択肢が選ばれ、選ばれた選択肢のみが表示される。画面の中央には注視点が表示されている。図 2 の場合は、画面の左側に 1 滴 2 試行の選択肢と右側に 2 滴 4 試行の選択肢が表示され、サルは 1 滴 2 試行の選択肢を選択した。これらの二つの選択肢は、報酬量と労働負荷の比が同じにも関わらず、サルは 1 滴 2 試行の方を優先的に選んだ。さらに、8 滴の報酬と 8 試行の仕事量を追加して、行動実験を行ったところ、行動決定課題が無ければ、サルは 8 試行の課題を成功することは不可能であった。それに対して行動決定課題があれば、サルは 8 試行でも課題を成功することができた。これは、自分で選択したのであれば、仕事量が多くても課題を遂行できたことを意味する。

行動決定課題終了後に、実際にサルが選んだ選択肢が示す視覚弁別課題を行う。図 2 の例では、2 試行視覚弁別課題を行い、全て成功すれば 1 滴の報酬が与えられる。視覚弁別課題では、サルが中央のバーを握れば、画面



注視点 赤点 緑点 青点
図 3

の中央に注視点が表示され、その後、赤点が表示される(図 3)。それが、緑点に変われば、サルは1秒以内にバーを離すように訓練されている。成功すれば、青点が表示され、次の試行に進むか報酬が与えられる。もし、サルが、緑点が表示されている期間以外でバーを離せば、エラーとして記録され、同じ試行を繰り返す。画面の上部のバーは、長さで現在何回目の試行か表す。図 3 では4試行中の3試行目である。この課題で記録した個々のニューロンがどのような情報をコードしているかを解析した。

[課題 2] 眼窩前頭皮質ニューロン集団活動の意思決定情報の可視化

眼窩前頭皮質のニューロン集団の活動から、意思決定に至るまでのニューロン活動を可視化するために、課題1の解析により分類したニューロンにおける情報処理を解析した。

さらに、ニューロン活動を記録した脳部位をムシモルにより一時的に不活性にし、記録したニューロンが意思決定に関わるかどうか調べた。

[課題 3] 眼窩前頭皮質ニューロン集団活動から意思決定情報の解読

記録した眼窩前頭皮質ニューロンから、一般化線形モデル(GLM)を用いて、サルが実際に選択したものを予測できるか検証した。

4. 研究成果

本研究課題の3個の課題により以下のことが分かった。

[課題 1]

行動決定課題実施中に、眼窩前頭皮質から記録されたニューロンは始めに提示された選択肢と次に提示された選択肢に対する応答の組み合わせによって次の3種類に分類された。始めに呈示された選択肢の報酬価値と次の選択肢の報酬価値の差分をコードするニューロン(差分ニューロン)、始めの選択肢の報酬価値と次の選択肢の報酬価値の和をコードするニューロン(和ニューロン)、現在提示している選択肢の報酬価値をコードするニューロン(現在選択肢ニューロン)である。2匹のサルから256個のニューロンを記録し、差分ニューロンは14.5%、和ニューロンは12.1%、現在選択肢ニューロンは14.8%である。

[課題 2]

図4のように、和ニューロンは行動決定課題のサルが実際に選択する期間(CP)まで、最初に提示された選択肢の報酬価値と次に提示された選択肢の報酬価値の和をコードすることが分かった(黄色)。

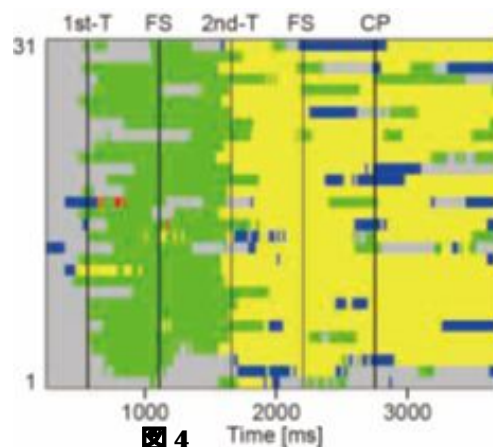


図 4

さらに、ニューロン活動を記録した脳部位をムシモルにより一時的に不活性にした結果、行動決定課題遂行時のサルの誤答率および選択の反応時間が有意に増大した。

[課題 3]

GLMを用いてそれぞれのニューロン活動から選択を予測できるか調べ、30%のニューロンが正しく予測できた。

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 6件)

T. Setogawa, T. Mizuhiki, F. Akizawa, R. Kuboki, B. J. Richmond, N. Matsumoto, & M. Shidara, The role of the monkey orbitofrontal cortex during value-based decision-making, Society for Neuroscience, 46th annual meeting (国際学会) 2016年11月

瀬戸川 剛, 秋澤 文香, 水挽 貴至, 久保木 亮介, Barry J. Richmond, 松本 有央, 設楽 宗孝, 報酬価値に基づく意思決定におけるサル眼窩前頭皮質の役割, 第39回日本神経科学大会, 2016年7月

瀬戸川 剛, 水挽 貴至, 秋澤 文香, 久保木 亮介, Barry J. Richmond, 松本 有央, 設楽 宗孝, 行動決定課題遂行中のアカゲザル眼窩前頭皮質における報酬価値の情報処理に関連したニューロン活動, 第93回日本生理学会大会, 2016年3月

T. Setogawa, T. Mizuhiki, F. Akizawa, R. Kuboki, B. J. Richmond, N. Matsumoto, & M. Shidara, Representation of reward value by single unit in the monkey orbitofrontal cortex during decisionmaking, Society for Neuroscience, 45th Annual Meeting (国際学会) 2015年10月

瀬戸川 剛, 水挽 貴至, 秋澤 文香, 久保木 亮介, 松本 有央, 設楽 宗孝, 行動決定課題遂行中のサル眼窩前頭皮質単一ニューロンにおける報酬価値表現, 第38

回日本神経科学大会、2015年7月
瀬戸川 剛，水挽 貴至，秋澤 文香，久
保木 亮介，松本 有央，設樂 宗孝、行動
決定中のアカゲザル眼窩前頭皮質におけ
る報酬価値の情報処理に関連したニュー
ロン活動、第 92 回日本生理学会大会、
2015年3月

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松本 有央 (MATSUMOTO, Narihisa)
産業技術総合研究所・情報・人間工学領
域・主任研究員
研究者番号：00392663

(2) 連携研究者

設樂 宗孝 (SHIDARA, Munetaka)
筑波大学・医学医療系・教授
研究者番号：10357189