

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 16 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25282246

研究課題名(和文) 行動決定における価値判断の脳内情報コーディング機構

研究課題名(英文) Brain information processing mechanism of reward-value coding during decision-making

研究代表者

設楽 宗孝 (Shidara, Munetaka)

筑波大学・医学医療系・教授

研究者番号：10357189

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,900,000円

研究成果の概要(和文)：報酬獲得のための行動決定における報酬価値の脳内表現を調べるために、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トレーニングしたサルを用いて眼窩前頭皮質のニューロン活動を解析したところ、2つの選択肢の報酬価値の差や和に相関した反応を示すニューロン群があった。ニューロン記録部位をムシモルにより不活化すると、行動決定課題遂行時の誤答率および選択の反応時間が増大した。

研究成果の概要(英文)：We investigated information processing mechanism of reward value coding during decision-making by using the task of choosing one of two alternatives that have different work load and reward amount. Neuronal responses in the orbitofrontal cortex had correlation with the difference or summation of values of the two alternatives. Bilateral injection of muscimol into the recording areas induced increase in error rates and choice reaction times during decision-making.

研究分野：システム脳科学

キーワード：報酬価値 行動決定 労働負荷 労働割引モデル 眼窩前頭皮質 単一ニューロン記録 アカゲザル  
ムシモル

### 1. 研究開始当初の背景

我々は通常、最終的な報酬を得ることを目的に、報酬を最大化するように報酬獲得までの道筋を計画し行動する。この過程では、報酬を得るのに必要な労働負荷および時間と、予測される報酬量との兼ね合いを考えてどのような行動選択を行うかを決定する。近年、脳ではどのような情報処理によってこのような行動決定を実現しているのかを調べるために、行動決定要因となりうる、報酬確率、報酬遅延、報酬量の効果を調べる研究が盛んである。報酬遅延と報酬量の関係については、これまでに、すぐに獲得できる小さな報酬と、長く待つが大きな報酬を獲得できると予想される場合、どちらを選ぶのかという研究がさまざまな課題条件で行われている。一方、これまでの研究の問題点として、1) 現実の世界では、報酬を単に待っているという報酬遅延のケースは稀であり、報酬獲得のために努力をするのが常である。従って、報酬獲得の行動決定のためには、報酬獲得までの労働負荷を考慮することが重要と思われる、2) 報酬量についても大・小の2通りしか用いない研究が大部分であるが、強化学習理論を応用した数理モデルにより正確に報酬割引率を解析するためにはより多くの選択肢が必要であろう。これらの点を克服するための行動決定課題として、行動選択型報酬スケジュール課題を開発した。行動選択型報酬スケジュール課題を開発した。これは、報酬量と報酬獲得までの労働負荷(視覚弁別試行数)の双方を可変(それぞれ4段階)にし、これらの組み合わせ16通りの内、2つ提示して、動物(サル)に2つのうち1つを選択させる課題で、このときの行動選択のデータおよびニューロン活動を解析することとした。

### 2. 研究の目的

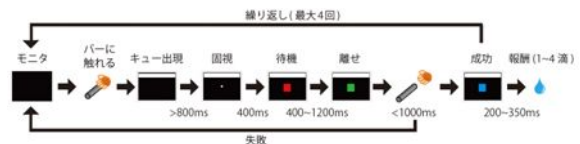
行動決定課題を用いて、報酬量と労働負荷の組み合わせによる報酬価値の計算を脳内ではどのように行っているのか、この計算に影響を与える因子は何か、を行動実験、ニューロン活動記録、そして数理モデル解析により明らかにしていく。具体的には、(1) サルが報酬量と労働負荷の組み合わせを選択するときの行動を、報酬割引モデルや強化学習理論を応用した数理モデル解析によって明らかにする。(2) 行動決定課題を用いて、行動選択の際の報酬価値の計算と価値に基づく選択に重要な脳の領野と考えられる眼窩前頭皮質のニューロン活動記録によって、報酬価値の計算や行動選択がニューロンレベルでどのように表現されているのかを明らかにする。(3) ニューロン記録部位を不活化したときの効果を調べる。

### 3. 研究の方法

報酬獲得のための行動決定を調べるために、まず、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サルにトレ

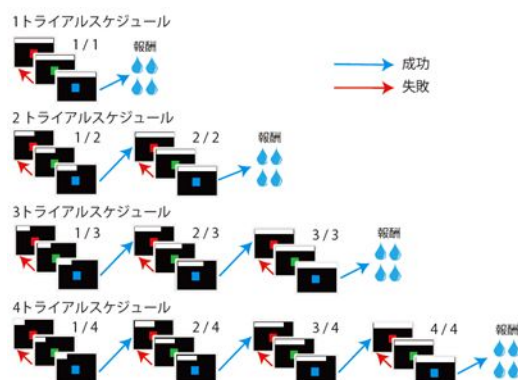
ーニングする。この課題では、4段階の報酬量と4段階の仕事量を組み合わせた16通りから、その内の2つを選択肢として提示し、1つを選択させる。選択はモンキーチェア内に装備した左右のバーのいずれかを握ることで行う。仕事としては報酬スケジュールを使う、すなわち、3試行スケジュールならば、画面に表示される視覚刺激の色が赤から緑に変わったならモンキーチェア内の中央バーから1秒以内に手を離す、という視覚弁別試行を3回行う。さて、労働負荷と報酬量の組み合わせは全部で16通りあり、これから2つを選ぶ組み合わせは全部で120通りある。それぞれのパターン刺激と選択肢との連合は事前に十分学習させる。様々な選択肢の組み合わせを用いたときの行動決定の結果を報酬価値の割引モデルによって数理モデル化する。また、行動決定課題における選択時のニューロン活動記録の際には、記録時間をなるべく短くするために、報酬スケジュールは1,2,4試行の3段階、報酬量も1,2,4単位の3段階で行った。更に、ニューロン記録部位の不活化実験では、ムシモルを両側に注入して、行動決定課題の行動成績への影響を調べた。

#### 「視覚弁別試行」



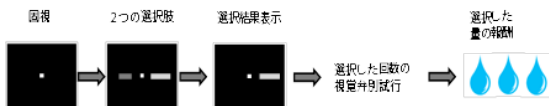
画面中央の視覚刺激の色が赤から緑に変わったなら1秒以内にバーから手を離す。正解ならば視覚刺激の色が青に変わり、報酬として水が得られる。

#### 「報酬スケジュール課題」



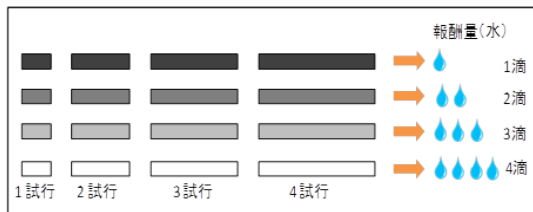
視覚弁別試行を複数回行う。報酬獲得までの進行度は画面上部のキューの長さで表す。

#### 「行動選択型報酬スケジュール課題の進行」



画面中央の固視点の左右に選択肢が提示され、左の選択肢を選ぶときは左のバー、右の選択肢を選ぶときは右のバーを手で握る、その後、選んだ選択肢で示される報酬スケジュール課題が行われる。

「行動選択型報酬スケジュール課題に用いる選択肢のセット(労働負荷4段階と報酬量4段階の組み合わせの場合)」



必要な試行数(労働負荷)はキューの長さで、報酬の量はキューの明るさで表す。

#### 4. 研究成果

(1) 行動決定の選択結果を報酬割引モデルによる数理モデルによってフィッティングすると、指数関数を使った割引モデルによってよくフィットできた。これにより算出される割引率を眼窩前頭皮質ニューロン活動の解析に用いた。また、行動決定を行った場合のスケジュール課題とコンピューターにより条件を与えられた場合のスケジュール課題の行動成績を報酬価値の割引モデルを応用したモデル解析により比較検討した結果、自ら行動決定を行った場合の方がスケジュールの価値が高まっており、これが自己選択効果の原因である可能性が示唆された。

(2) 行動決定課題遂行時のニューロン活動を調べるために、眼窩前頭皮質から単一ニューロン活動を記録し、行動決定の際に報酬価値と関連した反応を示すニューロンがあるかどうかを解析した。その結果、2つの選択肢の報酬価値の差或いは和に関連した反応を示すニューロン群や1つの選択肢の価値に関連のあるニューロン群が存在することがわかった。また、ニューロン記録部位をムシモルにより不活化すると、行動決定課題遂行の誤答率が増え、選択の反応時間も増大した。

(3) 報酬系の他の領域として、報酬スケジュール遂行時の腹側線条体のニューロン活動を強化学習機能の観点からモデル解析した結果、腹側線条体が過去の履歴から状態価値を推定するのに適した中間表現を保持し

ている可能性が示唆された。

#### 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)

[雑誌論文](計 5 件)

(1) Shinotsuka M., Morita M., Shidara M. Modeling the function of the ventral striatum in reinforcement learning based on the analysis of neuronal activity. (神経活動の解析に基づく腹側線条体の強化学習機能のモデル化) The IEICE Transactions on Information and Systems (Japanese Edition) 電子情報通信学会論文誌 Vol.J98-D No.9 (September) : 1277-1287, 2015. 査読有

(2) Shidara M. Reward expectancy signals in monkey anterior cingulate cortex and its relation to reinforcement learning. Alcohol Alcohol. 2014. 49 Suppl 1: i30. 査読無. doi: 10.1093/alcalc/agu052.148.

(3) Setogawa T, Mizuhiki T, Matsumoto N, Akizawa F, Shidara M. Self-choice enhances value in reward-seeking in primates. Neurosci Res 80:45-54, 2014. 査読有 doi: 10.1016/j.neures.2014.01.004.

[学会発表](計 14 件)

(1) Setogawa T, Mizuhiki T, Akizawa F, Kuboki R, Richmond BJ, Matsumoto N, Shidara M. Representation of reward value by single unit in the monkey orbitofrontal cortex during decision-making. 45<sup>th</sup> Annual meeting of the Society for Neuroscience, 2015年10月18日, Chicago Convention Center, (USA).

(2) Setogawa T, Mizuhiki T, Akizawa F, Kuboki R, Matsumoto N, Shidara M. Single neuronal activity in the monkey

orbitofrontal cortex related to reward value processing during decision-making. 44<sup>th</sup> Annual meeting of the Society for Neuroscience, 2014 年 11 月 17 日, Washington DC Convention Center, Washington DC, (USA).

(3) Setogawa T, Mizuhiki T, Akizawa F, Matsumoto N, Shidara M. Neuronal activity in the monkey orbitofrontal cortex related to reward value processing during a decision-making schedule task. 43<sup>rd</sup> Annual meeting of the Society for Neuroscience, 2013 年 11 月 11 日, San Diego Convention Center, San Diego, (USA).

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.md.tsukuba.ac.jp/basic-med/physiology/sys-neurosci/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

設楽 宗孝 (SHIDARA MUNETAKA)

筑波大学・医学医療系・教授

研究者番号：10357189

### (2) 研究分担者

松本 有央 (MATSUMOTO NARIHISA)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・人間情報研究部門・主任研究員

研究者番号：00392663

肥後 範行 (HIGO NORIYUKI)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・人間情報研究部門・主任研究員

研究者番号：80357839

松田圭二 (MATSUDA KEIJI)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・人間情報研究部門・主任研究員

研究者番号：50358024

### (3) 連携研究者

菅生 康子 (SUGASE YASUKO)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・人間情報研究部門・主任研究員

研究者番号：40357257

水挽 貴至 (MIZUHIKI TAKASHI)

筑波大学・医学医療系・助教