

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 31 日現在

機関番号：32639
研究種目：若手研究（B）
研究期間：2011～2012
課題番号：23700504
研究課題名（和文） 内生的な好みに基づく意思決定における前頭前野と大脳基底核の働きの解明
研究課題名（英文） Roles of prefrontal cortex and basal ganglia in decision making based on preference
研究代表者 横山 修（YOKOYAMA OSAMU） 玉川大学・脳科学研究所・グローバル COE 研究員 研究者番号：60455409

研究成果の概要（和文）：好みに基づいて報酬を選択するとき、サルの外側前頭前野にある個々の神経細胞は運動制御に関わる情報を主に保持していたが、神経細胞集団全体としてみると、どの報酬を選択するかの情報も持っていた。また、その神経細胞集団は、指示されたものを選択する場合に選択する報酬の情報を持つ神経細胞集団とは異なっていた。外側前頭前野は選択の理由に応じて活動を変え適切な行動の選択に機能していると考えられた。

研究成果の概要（英文）：Activity of single neurons in the macaque lateral prefrontal cortex mainly represented signals related to movement that indicates the choice when the choice was determined by endogenous preference. Activities of ensemble of the neurons also represent the reward type the subject was about to choose and the neurons differed from those that signaled the target reward type when it was determined by the external cue. Therefore, neurons in the lateral prefrontal cortex changed their activity dependent on the way how the choice to be determined and may serve selection of the appropriate action.

### 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：脳神経科学・融合社会脳科学

キーワード：意思決定、報酬、好み、サル、外側前頭前野、単一神経細胞活動、局所場電位、多点電極

#### 1. 研究開始当初の背景

近年、意思決定（選択）の神経メカニズムに関する研究が非常に勢いで為されている。特に、知覚的意思決定、および外部環境の手掛かりに基づいて得られる報酬量を最大化するための意思決定に関わる神経メカニズムに関しては単一神経細胞活動のレベルでかなりの量の知見が蓄積されている。その一方で、より主観的に答えの変化し得る、被験体の内生的な好みに基づく意思決定に関す

る神経メカニズムについては知見が少なく理解があまり進んでいない。外部の手掛かりに基づいて得られる報酬量を最大化する意思決定においては、選択肢の価値評価、選択肢間での価値の比較および価値のより高いものの選択に内側前頭前野および大脳基底核が深く関わっていることが知られている。一方、外側前頭前野は、外部刺激と知識やルールおよび自分自身の欲求を勘案・統合して目標を決定し、その目標を得るために適した

行動の選択および実行の制御に不可欠の役割を果たしていると考えられている。

## 2. 研究の目的

内生的な好みに基づく意思決定における外側前頭前野および大脳基底核の働きを明らかにするため、内生的な好みに基づいて報酬価を最大化するときの外側前頭前野における選択関連情報（選択する標的（報酬の種類）、その物理的特徴（色）、選択するための実際の運動）、の神経表現を調べた。また、大脳基底核の神経活動は、刺激に対する行動の価値をより確率的に表現していると考えられているため、行動の理由が内生的な好みであるか、それとも外部からの指示かであるかにかかわらず選択する標的（報酬の種類）を表現しているのではないかと仮説をたてて検討した。

## 3. 研究の方法

報酬を内生的な好みに基づいて自由に選択する「自由選択課題」（図 1a）および指示された報酬を選択する「強制選択課題」（図 1b）を 2 頭のサルに訓練し、これらの課題を遂行中のサルの外側前頭前野および大脳基底核（尾状核前部）から神経活動を記録した。

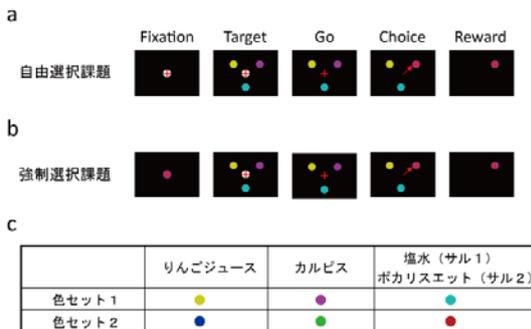


図 1. 課題。サルが見ている画面を表している。各試行は左から順に Fixation、Target、Go、Choice、Reward の各段階を含む。(a) 自由選択課題。サルの注視位置を赤色の十字、視線の動きを赤色の矢印で示した（これらは説明のために図示したもので、実際の画面には表示しなかった）。実験中のサルの視線の動きは赤外線を用いた眼球運動計測システムによってモニタした。(b) 強制選択課題。(c) ターゲット刺激の色と与えられた飲料報酬の種類の対応関係。

これらの課題では、3 つの異なる色刺激（ターゲット刺激）を呈示し、サルが目をいずれかのターゲット刺激に向ける（選択する）とそれぞれの色に対応した飲料報酬（りんごジュース、乳酸菌飲料、塩水またはスポーツドリンク）が与えられた。色と飲料報酬の対応関係は、神経活動記録実験前に繰り返し訓練

することであらかじめ学習させておいた。自由選択課題ではターゲット刺激のいずれを選択した場合にも対応した種類の液体報酬が与えられたが、強制選択課題では各試行のはじめに注視点の色で指定した色のターゲット刺激を選択した場合にのみ報酬が与えられた。報酬の種類と色の効果を区別するために、各報酬につき異なる 2 つの色を対応させた（図 1c）。また 3 つのターゲット刺激の配置は試行ごとに換え、色と位置の効果を区別できるようにした。自由選択課題（一日あたり約 800 試行）と強制選択課題（一日あたり約 300 試行）は試行ごとに擬似ランダムに呈示された。

神経活動の記録には 1 本に 16 チャンネルの電位記録部位を持つ多点電極を用い、各チャンネルから単一神経細胞活動および局所場電位を同時に記録した。

## 4. 研究成果

### (1) 選択行動

2 頭の被験体で飲料報酬の好み（自由選択課題における選択率）の順序には違いがあったが、2 頭に共通した傾向として以下の 2 点がみられた。①一日のうちでは、選択する報酬は頻繁に切り替わり（図 2a）、特定の種類の報酬を選択し続けた試行の長さの分布は、偏りのある確率のもとで選択が試行ごとにランダムに決まったと仮定した場合の分布と差がなかった。②一日毎の選択率の高い順序は実験期間の数ヶ月の間、ほぼ一貫していた（図 2b）。

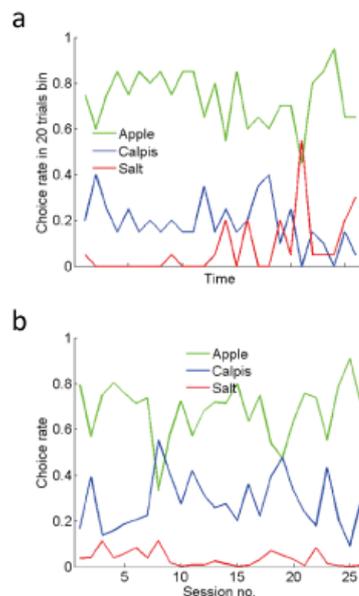


図 2. 自由選択課題における選択行動。(a) 1 頭のサルの、報酬の種類毎の選択率に関する日内変動の例。ある日の実験の開始時点（横軸の左端）から自由選択課題 20 試行ごとに各報酬の種類毎の選択率を縦軸にプロット

した。緑色がりんごジュース、青色が乳酸菌飲料、赤色が塩水の選択率を示す。(b) 1頭のサル、報酬の種類毎の選択率に関する日間（長期的）変動。横軸の左端が一番古い実験日を表す。各実験日毎のそれぞれの飲料報酬の選択率を縦軸にプロットした。

## (2) 神経活動

まず、単一神経細胞活動が表現している選択関連の情報およびそれらが表現されている様式を調べた。外側前頭前野では、多くの単一神経細胞活動が、自由選択課題および強制選択課題において、ターゲット刺激が呈示されてから実際に眼球運動で選択するまでの期間に、その試行で今まさに選択しようとしているターゲット刺激の位置を表していた（図 3a）。また、選択しようとしているターゲット刺激の色を表現しているものもあった。しかし、ある報酬を意味する異なる2つの色の間で同じ選択性を示した単一神経細胞、つまり選択しようとしている報酬の種類を表現する単一神経細胞は非常に少なかった。また、選択しようとする報酬の種類を表現している時間は各単一神経細胞につき約数十ミリ秒と短く、異なる単一神経細胞が異なる時間で表現しており、実際の選択まで、多くの単一神経細胞が情報をあたかもリレーして保持しているようであった。一方、選択しようとする位置の表現は各単一神経細胞あたり約数百ミリ秒程度であり、個々の単一神経細胞が比較的長く情報を保持していた（図 3）。

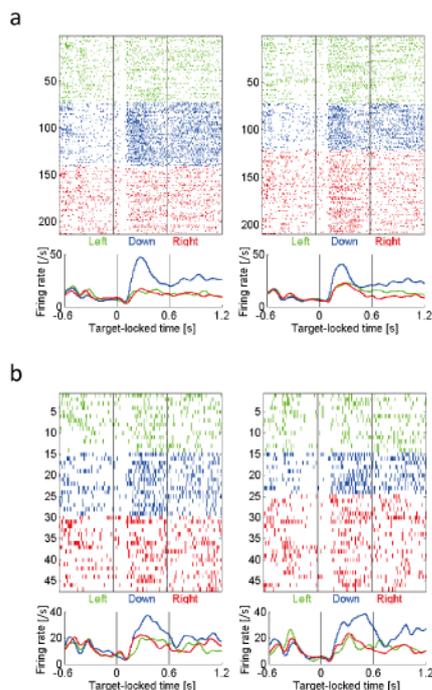


図 3. その試行で選択しようとしている位置を表現している単一神経細胞活動の例。この単一神経細胞は (a) 自由選択課題および (b) 強制選択課題の両方において、ターゲット刺激の呈示（横軸の 0）後、下に呈示されたターゲット刺激を選択する場合（青色）に、左（緑色）または右（赤色）に呈示されたターゲット刺激を選択する場合よりも多くの発火を示した。眼球運動による実際の選択は横軸の 1.2 以降。

次に、細胞集団の活動として含んでいる報酬の種類に関する情報を調べるために、同時に記録した複数チャンネルの局所場電位からその試行で選択しようとしている報酬を読み取れることを試みた。その結果、局所場電位を記録した電極の前頭前野内の位置によっては、約 70% の確率（偶然より有意に高い確率）でその試行でサルがどの報酬を選択するかを正しく読み取ることができた（図 4a）。また、自由選択課題において高確率で選択を正しく読み取ることができた部位が必ずしも強制選択課題においても高確率で選択を読み取ることができたわけではなく（図 4b）、その逆も正しかった。

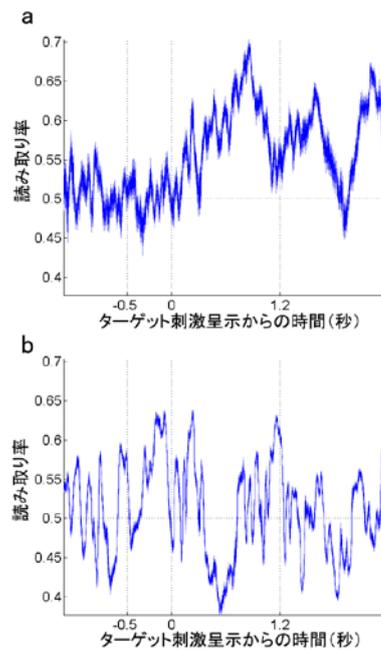


図 4. 前頭前野内のある部位から記録した局所場電位から選択する報酬を正しく読み取れた割合。この部位では (a) 自由選択課題で約 70% の確率で選択しようとしている報酬の種類を読み取ることができたが、(b) 強制選択課題ではそれほど高い値で安定した読み取りができなかった。

一方、大脳基底核（尾状核）の単一神経細胞活動には、自由選択課題と強制選択課題の両方の課題において、選択しようとする報酬

の種類を表現しているものがあった。

以上の結果から、大脳基底核は意思決定が内生的な好みに基づいているか外部から指示されたものであるかにかかわらず報酬の種類（長期的な好み）を表現し、外側前頭前野は内生的な好みに基づいて意思決定する場合と外部からの指示に従って意思決定する場合で異なる神経細胞集団が行動の結果得られると予測される報酬の種類を表現していると考えられた。また、外側前頭前野の単一神経細胞活動による報酬表現は弱く選択運動関連（目標の位置）表現のほうが強かったこと、局所場電位はその脳部位に入力される情報が反映されていると考えられることを考え併せると、外側前頭前野に入ってくる行動の目的（報酬）情報の入力源は意思決定の理由に応じて異なり、外側前頭前野の神経細胞集団の活動が全体として変わることによって適切な行動の制御に役立っているのかもしれない。

以上の知見は内生的な好みに基づいた意思決定における前頭前野および大脳基底核の神経活動について初めて明らかにされたものであり、個体としての意思決定の「自由性」を理解するための研究を今後進めていくうえで基礎的な知見となると考えられる。現在、本研究成果をまとめた論文を作成中である。

#### 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2件）

- ① Osamu Yokoyama, Naotsugu Tsuchiya, Kensaku Nomoto, Atsushi Noritake, Masamichi Sakagami, Differential representation of goal in monkey lateral prefrontal cortex in free- and instructed-choice. 第34回日本神経科学大会, 2011.9.17, パシフィコ横浜.
- ② Osamu Yokoyama, Naotsugu Tsuchiya, Kensaku Nomoto, Atsushi Noritake, Masamichi Sakagami, Goal representation by macaque lateral prefrontal cortex are different between internally-determined and instructed choice. Socail Neuroscience Satellite at the 15th annual meeting of the Association for the Scientific Study of Consciousness (A joint Tamagawa-Caltech Lecture Course). 2011.6.7, Kyoto University.

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者

横山 修 (YOKOYAMA OSAMU)