

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月31日現在

機関番号：32639

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010～2011

課題番号：22830086

研究課題名（和文） 抽象レベルでの行動の順序制御における前頭前野の役割

研究課題名（英文） Involvement of the prefrontal cortex in sequential action at an abstract level

研究代表者

中山 義久 (NAKAYAMA YOSHIHISA)

玉川大学・脳科学研究所・グローバルCOE研究員

研究者番号：30585906

研究成果の概要（和文）：抽象レベルでの行動の制御過程に前頭前野がどのように関わるかを検討するため、到達運動課題を遂行中のマカクザルの細胞活動を記録した。その結果、外側前頭前野（lateral prefrontal cortex）の腹側部の細胞は抽象レベルの動作を指示する刺激の視覚情報を反映し、また運動を決定する際に選択刺激の空間的な位置を反映していた。一方、背側部は、抽象レベルでの行動の生成と把持、また具体的な運動の生成が主な役割であると結論づけられた。

研究成果の概要（英文）：In order to specify roles of the prefrontal cortex (PFC) in controlling action at an abstract level, we recorded neuronal activity from PFC of macaques while they performed a reaching task. We found two main findings about functions of the lateral prefrontal cortex (LPFC). Ventral part of the LPFC amply encoded not only object features of the instruction, which indicated abstract level of action, but also spatial locations of choice cue in specifying the movements. By contrast, we found dorsal LPFC was involved in retrieving and maintaining the abstract level of action under the smaller influence of encoded visual signals, whereas it specified the motor plan under the greater influence of the maintained the abstract level of action.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,050,000	315,000	1,365,000
2011年度	1,050,000	315,000	1,365,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,100,000	630,000	2,730,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：実験心理学

キーワード：前頭前野、動作、単一ニューロン

1. 研究開始当初の背景

目的志向的な行動を行う際に、我々はしばしば、はじめに抽象レベルでの動作を企図する。その後、その抽象レベルでの動作に基づいて、具体的な運動を企図し実行する。たとえば、隣の部屋に置いてある本を持ってくるといった場合には、最初に特定の本を持ってくるといった抽象レベルの行動を企図し、その後、部屋に入ってはじめてその本を取る、という運動レベルの動作を達成することができる。部屋に入るまでは目的の本がどこにあるのかが分からないので、具体的にどのような運動をするのか（方向、大きさ、力の強さなど）は決定することができない。この例のように、運動が決定されていない抽象レベルの動作の企画と、運動レベルの動作の企画は、異なるレベルのプロセスであると考えられる。しかしながら、その詳細はまだ詳しくわかっていない。

前頭葉の運動前野背側部（dorsal premotor cortex: PMd）は、一次運動野の前方部に位置し、運動の実行のみならず、運動の準備や動作の企画に関わることが知られている。さらに、PMd は、運動の大きさ、速度、方向などの身体的な情報の表現のみならず、より高次の動作の情報を表現することが知られてきている。

一方、PMd と同じく前頭葉内にある外側前頭前野（lateral prefrontal cortex: LPFC）は、PMd と同様に、動作を実行する過程で様々な役割を果たしていることが知られている。また、LPFC は、解剖学的に背側部（DLPFC）と腹側部（VLPFC）に分けることができ、機能的な側面からもその差異や同一性が検討されてきている。

しかしながら、PMd と VLPFC および DLPFC の機能を統一的に検討した研究は少なく、それゆえにそれぞれの領域がどのような機能的な特性を有するのかについて未知の部分もいまだに多い。

2. 研究の目的

本研究課題では、目的志向的な行動の構成要素である、抽象レベルと運動レベルの動作計画のプロセスを脳がどのように表現するかを調べることを目的とした。特に、目的志向的な行動に関わりが深いと考えられる外側前頭前野（lateral prefrontal cortex: LPFC）と運動前野背側部（dorsal premotor cortex: PMd）を対象とし、その機能を調べることを目的とした。また、LPFC はさらに背側部（DLPFC）と腹側部（VLPFC）に分かれており、これらの3つの領域を同じ実験パラダイムを用いて比較をすることにより、そ

れぞれの領域の特徴をより鮮明に明らかにすることが可能となる。

3. 研究の方法

まず、抽象レベルの動作と運動レベルの動作を時間的に分離可能な行動課題を作成した。具体的には次のような課題である。指示刺激として図形（緑色の丸や青の十字形など）を画面に呈示した。この指示刺激は、後の反応（右または左への到達）を指示するものであった。遅延期間の後、選択刺激として2つの四角形を呈示した。選択刺激が画面の水平方向のどこに呈示されるはランダムであり、この選択刺激が呈示されるまでは画面のどこに到達すれば良いのかを決定することはできなかった。選択刺激の色が灰色から白にかわることで運動の実行を指示し、画面上の2つの四角形のうち正しい方へタッチすると正解となり、報酬が与えられた。

この実験課題は、以下のような特徴を有する。

- (1) 指示刺激として4種類の図形を用いており、それぞれ2つずつが右あるいは左への到達を指示する。このことにより、動作の指示の情報と、指示刺激の図形的特性の情報の表現を切り分けることができる。
- (2) 選択刺激が画面上のどこに出るのが毎回異なるため、指示刺激の呈示時点では抽象レベルでの動作決定しかできない。
- (3) 選択刺激が呈示されてはじめて運動レベルの動作を決定することが可能となる。
- (4) 選択刺激が画面上の同じ位置に呈示されても、指示刺激によってどちらが運動のターゲットとなるのかは異なる。
- (5) 選択刺激の色が灰色から白に変わるまでには1.5~2.5秒と長い時間をとっているため、運動を実行するまでの準備期間の神経活動を観察することが可能となる。

この実験課題を3頭のサルに学習させた。学習が完了後、外科的な手術を行い、頭部固定装置と記録チャンバーを装着した。その後、行動課題を遂行中のサルのPMdおよびLPFCから、神経細胞活動を記録した。その後、得られた細胞活動のデータについて統計的な解析を行った。

4. 研究成果

解析の結果、以下に述べる4点の結果が得られた。

- (1) VLPFC の細胞は、抽象レベルの動作をあ

らわす指示刺激の、図形的特性を表現していた。また、選択刺激が呈示されると、選択刺激の空間的な位置情報（選択刺激がどこに呈示されたか）を表現していた。

- (2) DLPFC と PMd の細胞は、指示刺激の図形的特性はあまり表現していなかった。しかし、抽象レベルの動作情報をよく表現し、その情報は選択刺激が呈示されるまで保持されていた。
- (3) 選択刺激が呈示されると、PMd の細胞は運動レベルの動作の情報を反映し、運動実行時まで情報を保っていた。このことから、PMd は運動の選択と準備に関わると考えられる。
- (4) DLPFC および VLPFC の細胞は、選択刺激が呈示され運動が決定した後でも、抽象レベルの動作の情報を反映し続けた。また、運動の実行時にもその傾向が続いた。

これらの結果より、目的志向的な行動を行う際、感覚情報に基づいて抽象レベルの動作を企図し、運動レベルの動作を決定し、運動の準備・実行をおこなうという過程において、それぞれの領域が特異的な役割を果たしていることが明らかとなった。具体的には、VLPFC は抽象レベルの行動を指示する刺激の図形的特性の反映と、運動を決定する際に選択刺激の空間的な位置を反映する。一方、DLPFC は、抽象レベルでの行動の生成と把持、また具体的な運動の生成が主な役割であると考えられる。また、VLPFC も DLPFC も運動の準備や実行の際も、多くの細胞が抽象レベルの動作情報を表現し続けた。このことから、これらの領域は、行動のモニタリング、行動の長期的なプランニング、あるいは行動のコントロールなどの側面から、目的志向的な行動に関与するということが示唆される。一方、PMd は抽象レベルの動作の企画、また抽象レベルから運動レベルへの動作情報の変換が主な役割であると結論づけられる。

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)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 星英司、中山義久、山形朋子、佐賀洋介、橋本雅史、有村奈利子、丹治順、認知と運動の統合過程を支える神経基盤、Brain and Nerve—神経研究の進歩、査読有、63 号、2011、59-68、<http://www.igaku-shoin.co.jp/mag/bn>
- ② 丹治順、中山義久、山形朋子、佐賀洋介、橋本雅史、有村奈利子、星英司、補足運動野と前補足運動野、Clinical Neuroscience、査読有、28 号、2010、

1121-1124、
<https://www.chugaiigaku.jp/>

[学会発表] (計 8 件)

- ① Yoshihisa Nakayama, Tomoko Yamagata, Nariko Arimura, Jun Tanji, and Eiji Hoshi. Differential distribution of activities reflecting planning, preparation, and execution of action in six motor areas of the frontal lobe. 日本神経科学学会第 34 回大会, 2011 年 9 月 17 日 (横浜)
- ② Tomoko Yamagata, Yoshihisa Nakayama, Jun Tanji, and Eiji Hoshi. Comparing the involvement of the lateral prefrontal cortex (LPFC) and dorsal premotor cortex (PMd) in representing the virtual action plan and motor plan. 日本神経科学学会第 34 回大会, 2011 年 9 月 17 日 (横浜)
- ③ Nariko Arimura, Yoshihisa Nakayama, Tomoko Yamagata, Jun Tanji, and Eiji Hoshi. A comparison of neuronal activity of globus pallidus and premotor cortex in retrieving a virtual action plan instructed by a visual object and in developing a physical motor plan. 日本神経科学学会第 34 回大会, 2011 年 9 月 17 日 (横浜)
- ④ Nariko Arimura, Yoshihisa Nakayama, Tomoko Yamagata, Yosuke SAGA, Jun Tanji, and Eiji Hoshi. Role of the globus pallidus in action planning as mediated by the abstract representation of action. The 40th annual meeting of the Society for Neuroscience, San Diego, California. November 17, 2010.
- ⑤ Tomoko Yamagata, Yoshihisa Nakayama, Jun Tanji, and Eiji Hoshi. Motor specification processes in the dorsal and ventral premotor cortex (PMd and PMv) through distinct paths of information processing. The 40th annual meeting of the Society for Neuroscience, San Diego, California. November 15, 2010.
- ⑥ Yoshihisa Nakayama, Tomoko Yamagata, Nariko Arimura, Jun Tanji, and Eiji Hoshi. Comparison of movement-related

neuronal activity recorded from six different areas in the frontal cortex of macaques. 日本神経科学学会第 33 回大会, 2010 年 9 月 3 日 (神戸)

⑦ Tomoko Yamagata, Yoshihisa Nakayama, Jun Tanji, and Eiji Hoshi. Development and maintenance of neural representation of the motor plan in the dorsal and ventral premotor cortex (PMd and PMv) through distinct paths of information processing. 日本神経科学学会第 33 回大会, 2010 年 9 月 3 日 (神戸)

⑧ Nariko Arimura, Yoshihisa Nakayama, Tomoko Yamagata, Yosuke Saga, and Jun Tanji, Eiji Hoshi. Involvement of the basal ganglia and the frontal cortex in action planning as mediated by the abstract representation of action. 日本神経科学学会第 33 回大会, 2010 年 9 月 3 日 (神戸)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中山 義久 (NAKAYAMA YOSHIHISA)

玉川大学・脳科学研究所・グローバル C O

E 研究員

研究者番号 : 30585906