

# ニホンザルの社会的適応機能の解明

## Revealing social adaptive neural mechanism of primate

藤井 直敬\*<sup>1</sup>  
Naotaka Fujii

\*<sup>1</sup> 理化学研究所 脳科学総合研究センター 適応知性研究チーム  
Laboratory for Adaptive Intelligence, BSI, RIKEN

Socially correct behavior requires constant observation of the social environment. The brain keeps the eyes focused on the current social space and constantly updates its internal representation of the environment and social context. Monitoring the behavior of others is essential for this updating. The neural systems involved in perceiving the actions of others have been explored extensively, but the detailed, quantitative character of the system at the single-cell level remains poorly understood. To address this question, we used the new technique of multidimensional recording to record neuronal activity in monkeys simultaneously from ventral premotor cortex (PM) and parietal cortex in the left hemisphere while they performed a food grab task. 35% (52/148) of PM neurons and 54% (94/174) of parietal neurons showed motion-related (MR) response, meaning their activity increased in response to various combinations of arm motions made by self and/or other. Both areas showed robust lateralized preference to Self-Right action. When it came to recognizing the actions of the other monkey, PM-MR neurons showed the same kind of right-arm preference as self-action while parietal-MR neurons, in contrast, did not show arm preference. And while both areas discriminated self-action from other, a significantly larger proportion of PM-MR neurons did so. These results suggest that PM neurons provide information about an action's agent and effector as primitives of action cognition within the mirror neuron network, while parietal neurons represent social space and participate in the recognition of another agent's actions in relation to one's own actions within the parieto-prefrontal network.

### 1. はじめに

社会的脳機能は社会的文脈をベースとして他者の行動を理解し、それに対して適応行動をとるために必要な脳機能であり、その瞬間の社会的なルールに沿った範囲内で、自己の獲得できる利益を最大化しつつ社会的リスクを最小化するような最適な行動を選択することを助ける。この社会的脳機能のうち、最も重要な機能の一つが社会的認知機能である。社会的に正しい行動を行うには、常に油断なく環境を観察して脳内の環境表現を更新し続けなければならない。なぜなら、社会状況は常に変化し続けるものであり、行動ルールは捉えにくいものであるからだ。

ミラーニューロンの視覚反応は社会的脳機能で重要な役割を果たしていると考えられている。ミラーニューロンは 1992 年に運動前野で報告され [di Pellegrino 1992]、のちに頭頂葉の PFG でも見つかった。ミラーニューロンは自分の行う行動だけでなく実験者の行う同じ行動にも反応する。ミラーニューロンは様々な文脈で議論されてきたが、模倣行動はその一つである。これは、ミラーニューロンが意図的行動の体性運動情報のコピーを表象しているだけではなく、おそらく模倣を通じた学習にも寄与しているという考えである。また、コミュニケーションではしぐさを通じて他者の意図を理解することも多く、それにもミラーニューロンが関わっていると考えられている。そのため、ミラーニューロンと言語的コミュニケーションの関連も議論されている。

従来行われてきた社会的脳機能に関する研究は、非常に制限の多い人工的な環境で、しかも殆ど社会的文脈から切り離された条件で行われてきた。そこでは、実験刺激は一方向でしばしば予測可能である。しかしながら、社会的相互作用を理解す

るのに重要な点は、それが双方向の情報伝達であり環境も不確かであるという事である。つまり、社会的脳機能を明らかにするには、ある程度の現実的空間要素を実験に取り込まなければならぬ。そのような実験空間では、社会行動を注意深く観察し、実験動物にある程度の行動の自由度を与える必要がある。しかし従来の神経生理学的手法はその点で不十分である。そこで、この技術的問題を解決するため、我々は多次元生体情報記録手法 (MDR: Figure 1A) を開発した。[Fujii 2007]これはモーションキャプチャシステムと慢性留置多電極を組み合わせた手法である。本実験では、この手法を用いて社会空間を共有する 2 頭のサル運動前野と前頭前野における神経細胞活動を記録し (Figure 1B)、これらの行動認知機能を神経細胞レベルで明らかにする。

### 2. 方法

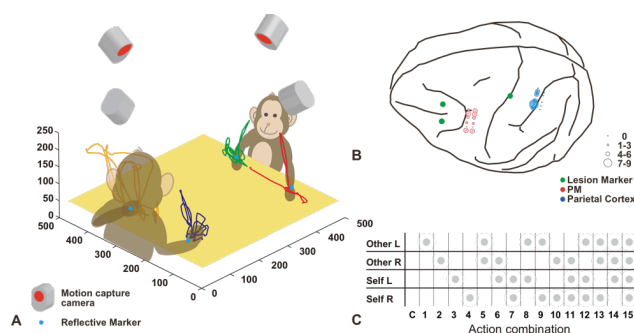


Figure 1

実験には 2 頭のニホンザル (M1: 6Kg, M2: 5.5kg) を使い、それらから記録を行った。すべての実験は事前に動物実験委員会の承認を得て、理化学研究所の動物実験取り扱い規約にも

連絡先: 藤井 直敬, 理化学研究所 脳科学総合研究センター  
適応知性研究チーム, 〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1,  
Tel: 048-467-9623, Fax: 048-462-46464, e-mail: na@brain.riken.jp

とづき行われた。記録用チェンバーは左半球の頭蓋骨に固定された。神経細胞活動は複数のタングステン電極を慢性的に脳内へ留置し、その後数ヶ月に渡って記録を行った。

サルを行う行動はモーションキャプチャシステム(Vicon: Vicon-Peak, Oxford, UK)を用いて記録された。モーションキャプチャカメラ12台がサルを取り囲みサルの体につけたマーカーの位置を読み取る

神経細胞活動とモーションキャプチャの同時記録を行っている間、2頭のサルは50センチ角のテーブルの両端にお互いに向き合って座っていた。2頭のサルは相手を見る事はできたが、相手に触れる事は出来ない。サルが行った課題は、単純なえさ取り課題である。これは、実験者が試行毎に一つの餌をテーブルの上に置き、もし、これに手が届くなら手の届くサルがその餌をとるという単純な課題である。

### 3. 結果

MDR 手法を用いて、148 個の神経細胞が運動前野から、174 個の神経細胞が頭頂葉から、単一神経細胞活動として記録、同定された。解析は、15 種類の Action Combination(AC: Figure 1C)を用いて行動イベントの組み合わせとコントロール期間を記述し、神経細胞を15種類の異なる運動イベント(自分の右手、左手、相手の右手、左手)の組み合わせへの反応性という視点で解析を行った。その結果、94 個の運動前野の細胞と52 個の頭頂葉細胞が運動関連細胞(MR 細胞)と定義された。ここでいう MR 細胞は、15種類の AC のうちどれか一つでも有意に神経細胞活動がコントロール期間より高かったものを指す。頭頂葉の MR 細胞は頭頂葉溝の後壁には見つからず、前壁にのみ観察された。一方、運動前野では、記録した領域のなかから満遍なく MR 細胞が記録された。しかし、頭頂葉の細胞は運動前野の細胞と比べて、より多くの種類の運動組み合わせに反応を見せた。これはおそらく頭頂葉の神経細胞がより強い自分の右手への反応性を持ち、そのため他の運動イベントが混ざったときも、その強い反応性の影響を受けているのだと考えられる。一方、運動前野の神経細胞は、そのような事は無く、より選択的な運動の組み合わせに反応する傾向があることを示している。

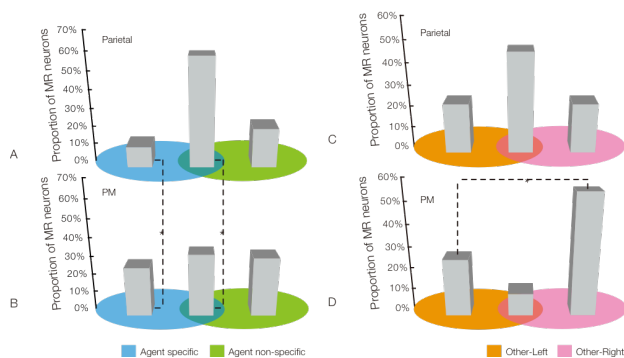


Figure 2

しかしながら、頭頂葉の神経細胞も、運動前野の細胞も異なる運動イベントの組み合わせを区別しているとはいえ、MR 細胞がどのように自他の区別をしているかは明らかでない。そこで、この疑問に答える為、我々は AC を二つのカテゴリに分けた。一つは Agent-specific ACs (ACs 1-5, 7) で、これらは自他の区別を付けている AC である。もう一方は Agent Non-specific ACs (ACs 6, 8-15)で、この反応グループは自他の区別を付けていないグループと定義することが出来る。この二つのグループへの反応性は相互に排他的ではなく、同一の神経細胞が両者に反応する事は可能である。Figures 2A と B は MR 細胞がこれらの

カテゴリへの反応性をどのように持つかを示している。77% の頭頂葉 MR 細胞と、66%の運動前野 MR 細胞が Agent-specific ACs (青い領域)で MR 反応を見せた。一方、頭頂葉の 87% の MR 細胞と 72% の運動前野 MR 細胞が Agent Non-specific AC な MR 反応を見せた (緑の領域)。最も驚くべき事は、二つの領域での二つのカテゴリでの反応性の重複割合である。頭頂葉の神経細胞は、運動前野の神経細胞と比較して、有意に多くの細胞がこの二つのカテゴリへの重複反応を示すことが分かった(Chi square test,  $p < 0.05$ )。また、運動前野の MR 細胞は Agent-specific response にのみ反応を示す傾向があり、この割合は頭頂葉のそれより有意に多かった。Agent Non-specific のみに反応する MR 細胞の割合は二つの領域で差は見られなかった。(Chi square test,  $p < 0.05$ ) この結果は、運動前野が頭頂葉より自他の区別をより強くつけていることを示している。

このように2領域に違いが見つかったが、他者の運動のどちらの手への反応性が強い点はまだ明らかではない。そこで二つの AC カテゴリを選んだ。一つは“Other-Left”(ACs 1, 8, 9 and 12) もう一つは“Other-Right”(ACs 2, 6, 10 and 11)である。Figures 2C と D が、これらのカテゴリに反応性を示す MR 細胞の割合を示している。これによると、頭頂葉では、相手の運動の左右を殆ど区別していないのに対して、運動前野では相手の右手への反応性が有意に高く、左右をあきらかに区別している事が分かった。

### 4. 考察

MR 細胞は複数の AC に関して複雑な反応パターンを持っていた。ある神経細胞は自己の右手の動きに反応を示しつつ、他の手の動きがそれに伴うと反応をやめた。これは二つの運動の相互作用を反映していると言えるだろう。このような反応様式は両方の領域で観察されたが、その反応の仕方は異なり、情報の統合が両者の間で異なっている事を示していた。この結果は、頭頂葉の MR 細胞がより広い反応特性を持ち環境条件や様々な文脈情報をも統合している可能性を示している。もし、これが正しいとしたら、頭頂葉では社会的に重要な情報を統合して、脳内部に社会空間を表象しているという機能があるのではないかと考えられる。一方、運動前野では運動の行為者と動いている手の左右差をきちんと区別していた。このような情報は他者の行為を理解するのに重要な情報である。つまり、運動前野の神経細胞はミラーニューロンネットワークの中で他者の行動意図の認知に必要な基礎的情報を提供する事が出来るということが考えられる。

運動前野と頭頂葉の MR 細胞は他者認知という点で似通った反応形式を示した。しかしながら解剖学的には両者は異なる社会認知ネットワークに属している。つまり運動前野はミラーニューロンネットワーク、頭頂葉は前頭前野-頭頂葉ネットワークに属している。これらの異なるネットワークが異なる機能を果たしながら相補的に働く事で、社会認知機能が実現されていると考えられた。

### 5. 参考文献

- di Pellegrino G, Fadiga L, Fogassi L, Gallese V, Rizzolatti G.: Understanding motor events: a neurophysiological study., *Exp Brain Res.* 1992;91(1):176-80.
- Fujii N, Hihara S, Iriki A.: Dynamic social adaptation of motion-related neurons in primate parietal cortex., *PLoS ONE.* 2007 Apr 25;2(4):e3397..