

## 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25年 5月31日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2012

課題番号：22240048

研究課題名（和文） ミラーニューロン仮説の定量的検証とその拡張

研究課題名（英文） Quantitative analysis of mirror neuron system

研究代表者

藤井 直敬 (FUJII NAOTAKA)

独立行政法人理化学研究所・適応知性研究チーム・チームリーダー

研究者番号：20392095

研究成果の概要（和文）：

他者の行動意図を認知すると言われるミラーニューロンの定量的検証作業はあまり行われていない。そこで、多次元生体情報記録手法を用いてこの問題に挑んだ。サルに上肢の到達運動課題と、他者サルがエサを取るビデオ映像を見せるという課題を行わせ、その時の脳活動を ECoG 電極で記録、解析した。その結果、既知の報告と同様に前頭前野、頭頂葉の一部、運動前野の一部、補足前野に従来通りのミラーニューロン反応を確認した。

研究成果の概要（英文）：

Mirror neuron was found as a part of neural mechanism discriminating behavioral intention regardless of who perform the action. However, there were few studies tested the mirror neuron systematically. We applied a novel recording technique, multi-dimensional recording technique in monkeys when they performed food reaching task and reaching observation task. We recorded neural activity from entire lateral cortex and analyzed the activity. There were regions showed mirror neuron properties in prefrontal, parietal, premotor and supplementary motor area that were consistent with previous reports.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	30,900,000	9,270,000	40,170,000
2011年度	6,500,000	1,950,000	8,450,000
2011年度	2,000,000	600,000	2,600,000
総計	39,400,000	11,820,000	51,220,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：脳神経科学・融合脳計測科学

キーワード：ミラーニューロン、運動前野、前頭前野、頭頂葉、補足運動野

## 1. 研究開始当初の背景

わたしたちが、社会環境の中で他者の行動に大きな影響を受ける事は自明の事である。一人で部屋にいる場合と、複数のヒトと一緒に同じ部屋にいる場合を比べると、それぞれのヒトが行う行動のレパトリーは後者の方が明らかに少ない。つまり、他者の存在そのものが我々の行動選択に影響を与える。さらに、他者の行動の意図によって、瞬間的に私たちは行動を切り替える。例えば、立食パーティでサンドイッチに手を伸ばそうとした瞬間、別のゲストが同じ事をしようとしているのに気がつき、二人の動きが瞬間的に止まる事があるだろう。そのような他者の意図の推察と理解に、ミラーニューロン (MN) という神経細胞が関わっているという仮説がある。この MN 仮説は、1990 年代中頃にリゾラッティらのグループから提案された仮説である。MN は当初サル（サル）の運動前野と呼ばれる部位でみつき、後に頭頂葉でも見ついている。これらの神経細胞は、自己と他者の行動に同一の意図が含まれている時にそれを同じように理解する反応とされる。つまり、逆に同じ運動を他者が行っても、意図が異なるとそれは別の運動であると理解することになる。

この MN の発見の影響は、その特性から様々な分野へ波及した。特に、言語の進化的発達や、自閉症などの社会的機能障害などとの関連性は盛んに議論され、現在の神経科学分野で、最もホットな話題である。しかしながら、MN に関する研究はその殆どが発見者であるリゾラッティのグループからのみ出され、その他のグループによる追試は殆どなされていない。実際に追試を行った複数のグループで、MN を発見出来なかったというネガティブな報告も聞かれるが、あまり大きな問題と

されていない。また、ヒトの MN も fMRI で見つかったとされるが、サルの場合、元々 MN の数はあまり多くなく、それが fMRI のような時空間解像度の低い方法で明らかに出来るとは思えないと疑問の声もあがっている。しかも課題設定と機能計測の解釈は極めて主観的であると言われている。

MN 研究の問題は、他者の行動認知という内的な情報処理を外部から定量的に扱う事が出来ないという点にある。また、他者行動の意図推察も、全く主観的な情報に過ぎず定量性に欠ける。すなわち、これまでの MN 研究はその殆どが定性的なもので、定量的評価を行う事が無かった。これは、多分に記録と解析に関わる技術的な問題を理由とする。

そこで申請者は、独自に開発した多次元生体情報記録手法を用いて、この問題を定量的に解決する事を目指す。自他の行動の定量解析にはモーションキャプチャシステムを用い、脳の多領域からの記録には ECoG 電極アレイによる汎脳活動記録を用い、これまでの MN 研究にはない、定量的データをもって問題にあたる。また、最先端のブレインマシンインタフェイス技術を用い、自己と他者の動きを神経活動に基づいてモデル化する事で、他者認知とミラーニューロンシステムの詳細を定量的に再検討する。

## 2. 研究の目的

本研究計画では、社会環境の中で最も重要な他者の行動を、脳が如何に認知し、それに応じた社会的適応行動を実現しているかを、ニホンザルを用いて明らかにする。これまでの、他者認知は、ミラーニューロンと呼ばれる自己と他者の特定の意図的行動に反応する神経細胞活動を中心として、言語の進化や心の理論などと関連付けて議論されてきた。しかし、ミラーニューロン仮説には様々な疑問が

投げかけられており、それに対する追試や検証作業は行われていない。特に、脳内のどの部位がどのように他者の意図認知に貢献しているのかの定量的検証は様々な技術的困難により不可能であった。そこで、この研究計画では、全く新しい多次元生体情報記録手法を用いて、この問題を明らかにすることとした。

### 3. 研究の方法

本研究では、多次元生体情報記録手法で記録される、神経活動データ、筋電図、眼球運動、身体位置情報をもとに、大脳皮質内におけるミラーニューロン特性の有無を中心とした解析を行った。

まず、サルには128～256チャンネルの ECoG 電極と呼ばれる電極をインプラントし、大脳表面のほぼ全ての領域から神経活動を同時に記録した。

サルは2種類の課題を行う。一つ目は、サルの目の前に置かれたエサに手を延ばして食べるというリーチング運動課題。もう一つは、サルの目の前に置かれたスクリーンに、あらかじめ撮影しておいた別のサルがエサに手を伸ばしている様子を映しだしたのを見る課題。この場合は、サルは運動を行わない。その後、運動開始時間を筋電図と運動情報をもとに決定し、その前後の神経活動の変化を系統的に調べた。

もし、これら二つの課題遂行時、上肢の到達運動であれば自他の区別なく反応する電極が見られれば、その電極が置かれていた脳領域にはミラーニューロン反応が見られたということになる。

### 4. 研究成果

まず、予備実験では、ミラーニューロン課題に関しては、2頭のサルを向かい合わせに座らせ、それぞれのサルが順番にエサを食べるという上肢の到達運動課題を行い、その時のサルの脳活動を ECoG 電極を用いて記録し

た。その際の神経活動を解析すると、自己の運動に反応する運動関連領域が明らかにされた。その運動関連領域のうち、運動前野に他者サルの運動が行われた時にも反応する電極が見られた。これは、ミラーニューロンの条件を満たすのだが、他者サルがエサを貰う時に、記録サルは実は自分にエサが来るのではないかと期待して多少腕を動かしていた。

そのため、一見ミラーニューロン反応に見える視覚誘導性の神経活動か、単なる自分自身の運動関連反応なのかを区別することが難しかった。

そこで、あらかじめ他者サルがエサを取る様子をビデオで撮影し、その様子を、神経活動を記録しているサルの目の前に置いたモニター越しに見せるという課題を行い、解析を行った。その際、筋電図を記録して、実際の運動が発生していないことを確かめた。

その課題を用い、各電極がミラーニューロン反応を持つかどうかを、自分の運動に応じて活動を変化させ、さらに他者の同じ運動に関しても活動を変化させるものという定義で、その反応の有無を検証した。

その結果、従来ミラーニューロンが存在すると言われていた、前頭前野、頭頂葉の一部、運動前野の一部、補足前野において、古典的な意味でのミラーニューロン反応がみられた。

これらの実験結果は、一部で懐疑的であったミラーニューロンが、ポピュレーションレベルで存在することを示しており、ミラーニューロン仮説を支持するものであると言える。しかしながら、個別の脳領域がそれぞれどのような機能を果たしているのかは、依然不明である。今後はこれらの領域間の情報の流れを解析し、ミラーニューロンシステムのダイナミックなメカニズムを明らかにする必要

があるだろう。

## 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 1 件)

① Nagasaka Y, Shimoda K and Fujii N  
Multidimensional recording (MDR) and data sharing: an ecological open research and educational platform for neuroscience  
PLoS ONE 2011; 6(7): e22561 査読あり

[学会発表] (計 1 件)

① Ishida H, Yanagawa T, Rizzolatti G and Fujii N Action recognition cortical network in the macaque monkey. April 2, 2012, CNS2012, IL, USA

[図書] (計 1 件)

① Chao Z and Fujii N, Mining spatio-spectro-temporal cortical dynamics: a guideline for offline and online electrocorticographic analysis, Book chapter: Methods in Neuroethology, Springer 2013

[その他]

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

藤井 直敬 (FUJII NAOTAKA)

独立行政法人理化学研究所・適応知性研究チーム・チームリーダー

研究者番号：20392095

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

長坂 泰勇 (NAGASAKA YASUO)

独立行政法人理化学研究所・適応知性研究チーム・研究員

研究者番号：30339593

チャオ ジーナス (CHAO ZENAS)

独立行政法人理化学研究所・適応知性研究チーム・研究員

研究者番号：30532113