

自己からの「ずれ」に対するミラーシステムの活動

Mirror neuron system responses to the deviation from self-body movement

嶋田 総太郎^{*1}

Sotaro Shimada

^{*1} 明治大学理工学部

School of Science and Technology, Meiji University

Mirror neuron system is the brain regions that process shared motor representation between self and others and is considered to provide a basis for human communication capabilities. This study reports mirror neuron system responses to visual stimuli of self and other's body movement. In Experiment 1, the subject observed a body movement that was slightly different from that in their motor repertoire. In Experiment 2, the subject observed self-body movement that was delayed by hundreds of millisecond. We discuss how the mirror neuron system responds to the deviation from self-body movement.

1. はじめに

ヒトの脳において、他者の運動を観察しているときにミラーシステムと呼ばれる大脳皮質運動野を中心とした領域が活動することが知られている。ミラーシステムは、自分が運動するときに活動するとともに、他者が同じ運動をするのを見ているときにも活動するという特徴を持つ。模倣、共感、心の理論、間主観性などヒトの持つ社会的インタラクションの能力はこのミラーシステムを基盤として成立していると考えられている。

先行研究より、ミラーシステムは自己の運動レパートリーに含まれる運動を観察しているときのほうが、より活発に活動することが報告されている[Calvo-Merino 05]。しかしながら、他者の運動よりも自己の運動を観察するときの方がミラーシステムがより活性化するかどうかについてはまだ詳細な検討がなされていない。そこで本研究では、自己運動レパートリーからの運動学的ずれ(実験 1)および自己運動からの時間的ずれ(実験 2)を挿入した運動を観察するときのミラーシステムの活動の様子を近赤外分光装置(NIRS)を用いて計測する。これによってミラーシステムが自己と他者の運動に対して異なる活性化を示すかどうかを検討する。

2. 実験1: 自己運動レパートリーからのずれに対するミラーシステムの活動

2.1 被験者

14人の健常な成人被験者が実験に参加した(22-24歳)。

2.2 実験手順

被験者は、コップを右手で掴んで持ち上げ、また置いて元の位置に腕を戻すという一連のバントマイム動作のCG映像を観察する。このとき、把持運動の途中で短時間(約70ms)のポーズ(動きが止まる時間帯)が挿入される。コップを持ち上げるまでに1度(1-pause条件)または3度(3-pause条件)、コップを置いて腕を元の位置に戻すまでに同じ位置で1度または3度のポーズが挿入される。ポーズの入っていない把持動作は、健常成人であれば難なく遂行可能な動作であり、運動レパートリーに含まれていると考えられるが、ポーズの数が増えるにつれて

運動レパートリーからの「ずれ」が増えていくと想定される。

実験中の脳活動を近赤外分光法(NIRS)を用いて計測した。左半球の運動野付近(10/20法のC3を中心とする $9 \times 9 \text{cm}^2$ の領野)の活動を計測した。各プローブ位置は3次元デジタイザを用いて計測し、確率的レジストレーション法を用いて解剖学的脳部位を推定した[Singh 05]。各刺激映像の長さは6秒であり、刺激提示間隔は12秒とした。各条件における活動はエフェクトサイズとして算出され、分散分析を用いて条件間の差を調べた。なお実験の詳細については[Shimada 12]を参照されたい。

2.3 結果

解析の結果、左半球の下前頭回(BA44)付近で条件間の脳活動(図1)に有意な主効果が見られた($F(2, 41)=8.48, P<0.05$)。下位検定の結果、no-pause > 3-pause、1-pause > 3-pauseで有意差が見られた(Tukey-HSD, $p<0.05$)。この結果より、自己運動レパートリーから少しずれた運動を見ているときの方がミラーシステムが活発に活動し、さらにずれが大きくなると逆に非活性化することが示された。

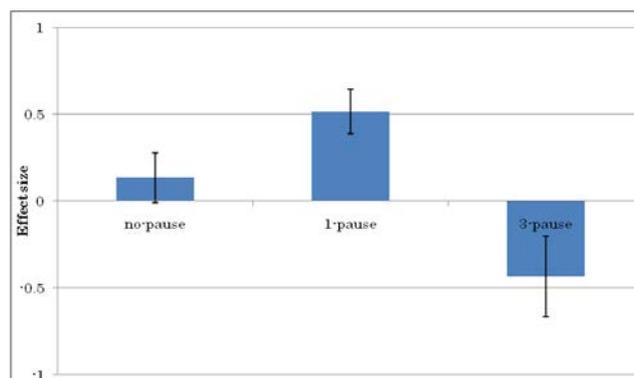


図1 実験1の各条件におけるミラーシステムの活動

3. 実験2: 自己運動の時間遅れ映像に対するミラーシステムの活動

3.1 被験者

健常な男性被験者(年齢 20 ± 2 歳)12人が実験に参加した。

連絡先: 嶋田総太郎、明治大学理工学部、川崎市多摩区東三田 1-1-1、044-934-7291, sshimada@isc.meiji.ac.jp

3.2 実験手順

実験は両面鏡とカメラを用いて、自分の手と他者の手を同じような視点で提示できる装置を用いて行った。被験者には自分の右手を直接見えないように両面鏡の下側に置いてもらい、この反射像を CCD カメラを用いて撮影した。このモニター出力を両面鏡の上面に投影させることにより、被験者は自分の右手の位置で、右手を観察することができる。モニター出力を切り替えることで他者の右手の映像および自己の右手の遅延映像を観察できるようになっている。

実験条件として、他者運動(ビデオ)観察条件、自己運動観察条件、遅延自己運動観察条件、他者運動模倣条件、運動実行条件の5つを用意した。運動はすべて右手の指タッピングとした。他者運動観察条件と運動条件とともに活動するチャンネルをミラーシステムとして同定し、これらのチャンネルが各条件においてどのように活動するかを検討する。他者運動観察条件以外はすべて同じ指タッピング運動を行っていること、および運動条件以外は同じような指タッピング映像が呈示されていることに注意されたい。なお自己運動の遅延映像は映像遅延装置(EDS-3310, ELETEX)を用いて 500ms の遅延を挿入した。

実験は各条件につき 1 セッションずつ、計 5 セッション行った。各試行は前レスト 5 秒、タスク 8 秒、後レスト 12 秒とし、計 6 試行を課した。なお各条件の順序は他者運動観察条件、運動実行条件の順に行った後、他の 3 条件を被験者ごとにカウンターバランスをとって遂行した。実験中の被験者の脳活動は近赤外分光法(OMM-3000, 島津製作所)(NIRS)を用いて計測した。実験中は左右半球の運動野(10/20 システムの C3 および C4 を中心とする $9 \times 9 \text{cm}^2$ の領域)の活動を計測した。

3.3 結果

NIRS データに対して、GLM 解析[Friston 95]を用いて各条件における活性化を t 値として算出し、グループ解析を行った。運動実行条件と他者運動観察条件の両方で活動の見られるチャンネルが左右半球ともに半数程度見られた。これらのチャンネルにおいて 1 要因分散分析を行った結果、左半球運動前野付近(ch-12)で実験条件による主効果が見られた($F(4, 44)=4.90$, $P<0.05$, Bonferroni 補正; 図 2)。下位検定の結果、運動実行条件と自己運動観察条件の間および運動実行条件と他者運動観察条件の間に有意差が見られた($P<0.05$, Tukey HSD)。それ以外の条件間には有意差は見られなかったが、遅延自己運動観察条件と自己運動観察条件の間でアプリアリな t 検定を行ったところ有意差が見られた($t(11)=2.75$, $P<0.02$)。

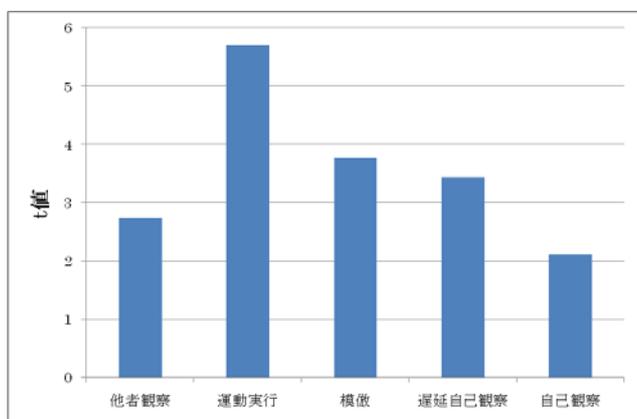


図 2 実験 2 の各条件におけるミラーシステムの活動

運動実行条件と自己運動観察条件はともに運動を伴う条件であり、違いは自己運動の視覚フィードバックが与えられるか否かである。したがって運動の視覚フィードバックはミラーシステムの活動を有意に弱めることが示された。さらに、遅延自己運動観察条件では 500ms 遅れの視覚フィードバックが与えられていたが、運動実行条件と比べてミラーシステムの活動が弱まらなかったこと、自己運動観察条件との直接比較(t 検定)ではミラーシステムの活動に有意差が見られたことから、自己運動の視覚フィードバックにおける遅れがミラーシステムの活動を変化させる重要な要因であることが示唆された。

4. 考察

本研究では、自己運動からの「ずれ」に対してミラーシステムがどのような反応を示すかについて調べるため、実験 1 では身体運動映像の運動学的なずれを、実験 2 では自己運動に対する視覚フィードバックの時間的ずれを導入した。その結果、両方の実験において、自己運動からの軽微なずれに対してミラーシステムの活動が促進されることが示された。さらに実験 1 の結果から自己運動からのずれがさらに大きくなるとミラーシステムの活動はむしろ抑制されることが示された。

自己運動からの「ずれ」に対してミラーシステムの活動が亢進される理由として、そのずれを自己の運動表現に取り込もうという作用が考えられる。模倣学習に関する研究では、すでに練習して運動レパートリーに取り込まれた動作よりも、まだ練習していない新しい動作を観察しているときのほうがミラーシステムの活動が強くなることが報告されている[Vogt 07]。[Calvo-Merino 05]らの研究においても、被験者に呈示されたのは自己の運動ではなく、自己運動レパートリーに含まれる運動を他者が遂行している映像であった。そこには自己と他者の運動の微小なずれが存在しているはずであり、それに対してミラーシステムが活動したと考えれば、ここでの仮説とも整合する結果といえる。

本研究の結果は、自己運動の視覚入力に対してはミラーシステムはあまり活動せず、そこからの時空間的な「ずれ」が存在する場合に活動が促進されることを表している。自己からの「ずれ」が自己にとって何らかの情報・意味を含むと考えれば、その意味を自己に取り込もうとする脳の働きを今回の結果は反映していると考えられるかもしれない。

参考文献

- [Calvo-Merino 05] Calvo-Merino, B., Glaser, D. E., Grezes, J., Passingham, R. E., & Haggard, P.: Action observation and acquired motor skills: An fMRI study with expert dancers. *Cerebral Cortex*, 15, 1243–1249, 2005.
- [Friston 95] Friston, K.J., Holmes, A.P., Worsley, K.J., Poline, J.P., Frith, C.D., Frackowiak, R.S.J.: Statistical parametric maps in functional imaging: a general linear approach. *Hum. Brain Mapp.* 2, 189–210, 1995.
- [Singh 05] Singh, A. K., Okamoto, M., Dan, H., Jurack, V. and Dan, I.: Spatial registration of multichannel multi-subject fNIRS data to MNI space without MRI, *NeuroImage*, 27, 842–851, 2005.
- [Shimada 12] Shimada, S., and Oki, K.: Modulation of motor area activity during observation of unnatural body movements, *Brain and Cognition*, 80, 1–6, 2012.
- [Vogt 07] Vogt, S., Buccino, G., Wohlschlagler, A. M., Canessa, N., Shah, N. J., Zilles, K., et al.: Prefrontal involvement in imitation learning of hand actions: Effects of practice and expertise. *NeuroImage*, 37, 1371–1383, 2007.