

身体の心的回転におけるミラーシステムの活動

Mirror Neuron System Activity during Mental Rotation of Hand and Object

田中 菜摘[†], 嶋田 総太郎[‡]
Natsumi Tanaka, Sotaro Shimada

[†] 明治大学大学院電気工学専攻 [‡] 明治大学理工学部
School of science and technology, Meiji University, Japan
ce11057@meiji.ac.jp

Abstract

Several studies have shown that mental rotation of hand activates the primary motor area. Our previous study suggests that the mirror neuron system (MNS, including the primary motor area) is involved in mental rotation of hand. Although behavioral studies have shown that mental rotation ability is different between male and female, little is known whether similar tendency is evident in MNS activity. In the present study, we measured, using near-infrared spectroscopy (NIRS), the activity of MNS when volunteers performed mental rotation of a hand and an object.

Keywords – mental rotation, mirror system, NIRS

1. 背景

人間の脳の運動野は、自分が行動するときだけでなく、他者の行動を観察しているときにも活動することが知られている。このように、自分の動作と他人の動作で鏡のように同じ反応を示す神経細胞をミラーニューロンと呼び、他者運動の視覚入力を自己運動へ変換する役割を持つものと考えられる。ミラーニューロンは最初、サルの前頭葉の F5 と呼ばれている領域（腹側の運動前野の一部）で発見され、ヒトでは運動前野や頭頂葉、一次運動野 (M1) などが同様の性質を持つことがわかっており、これらの領域を総称して、ミラーシステムと呼んでいる。

一方、いくつかの研究において、手の映像の心的回転を行っているときに運動野の活動が報告されている (Vingerhoets et al, 2002)。しかしながら、この活動は手の心的回転に特異的であるのか物の

観察においても見られるのかは議論が続いている (Eisengger et al, 2007)。我々のグループによる先行研究では、1 人称視点よりも 3 人称視点で手の映像が与えられたときの方が、ミラーニューロンシステムの活動は大きいという結果が得られた

(Shimada&Abe,2010)。このことは、ミラーシステムが 3 人称視点から 1 人称視点への手の心的回転に関与していることを示唆する。この仮説を検証するために本研究では、被験者が手と物の心的回転をするときのミラーシステムの活動を、近赤外分光法(NIRS) を用いて計測した。

2. 実験

被験者は 24 名（男性 12 名、女性 12 名、20-26 歳）の健康成人であった。

実験中は左半球運動野（10/20 システムの C3 を中心とする $9 \times 9 \text{ cm}^2$ の領域, 24 チャンネル）の活動を NIRS (OMM-3000、島津製作所) を用いて計測した。NIRS は脳血液中のヘモグロビン変化量を非侵襲に測定し、酸化ヘモグロビン(oxy-Hb)、脱酸化ヘモグロビン(deoxy-Hb)、および総ヘモグロビン(total-Hb)の変化量を計測することができる。この中で oxy-Hb が脳活動を最も反映していると考えられており、本研究でも oxy-Hb を主な観測データとして扱う。まずミラーシステムの位置を同定するために他者運動観察（実験 1）と自己運動（実験 2）の実験を行う。その上で心的回転の実験を行った。すべての被験者に、3 つの実験に参加してもらった。

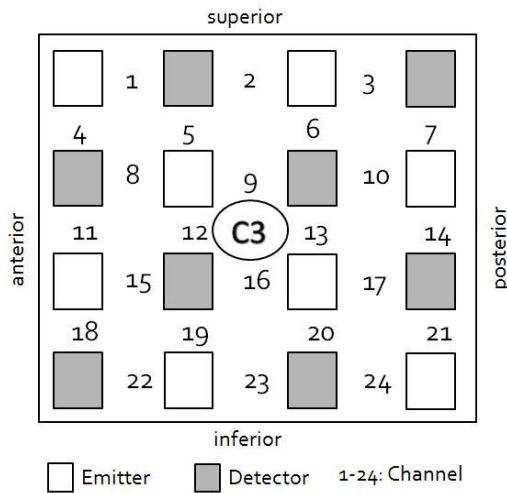


図 1 測定部位

2-1. 実験 1：他者運動観察

被験者に手（3 種類）の動画を観察してもらった。動画は、1 人称視点での手の回転運動であり、各種類 2 回ずつ計 6 回ランダムに行った。タスクは 5 秒、タスク間のレストは 10 秒とした。

2-2. 実験 2：自己運動

被験者自身に実験 1 の刺激と同様の手の回転運動をしてもらった。手を広げた状態で 5 秒間、手首を左右に動かしてもらった。タスク間のレストは 10 秒とした。

2-3. 実験 3：心的回転の実験

サンプル画像の呈示 1 秒後にターゲット画像を見せ、サンプル画像とターゲット画像が心的回転により一致するかどうか、被験者に判断してもらった。サンプル画像は手(3 種類)または物体(コップ、ハサミ、セロハンテープ)の画像とした (図 1)。ターゲット画像はサンプル画像と同じかあるいは反転したもので、それぞれを 4 つの角度(反時計回りに 0°, 90°, 180°, 270°)に回転させたものを用いた。各条件 (刺激×角度) 6 回ずつ計 48 回ランダムに行った。タスクは 5 秒、タスク間のレストは 10 秒とした。

3. 実験結果

実験 1、2 において、NIRS の測定結果から effect size を求め、t 検定を行った。その結果 ch-1 と ch-5 において、どちらの実験も有意な活動が見られた

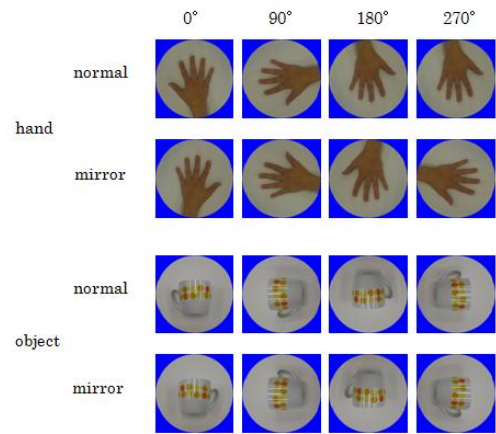


図 2 実験刺激

(実験 1 (ch-1: $t(11)=2.43$, ch-5: $t(11)=3.95$, $P<0.01$), 実験 2 (ch-1: $t(11)=1.84$, ch-5: $t(11)=1.89$, $P<0.04$)). このことから、本実験では ch-1 と ch-5 に対応する部位を、ミラーシステムとして考えることとする。

実験 3 において、反応時間の結果から、性別 (男女) と刺激 (手 vs. 物体) と角度の 3 要因による $2 \times 2 \times 4$ の分散分析を行った。その結果、刺激と角度の間で交互作用が見られた ($F(3,66)=2.85, P<0.04$)。また角度の主効果が確認できた ($F(3,66)=20.2, P<0.01$) (図 3)。

実験 3 において、NIRS の測定結果から effect size を求め、3 要因 ($2 \times 2 \times 4$) 分散分析を行った。その結果、ch-5 において性別と刺激の間で交互作用が見られた ($F(1,22)=6.53, P<0.02$)。下位検定の結果、男性ではものの方が手の心的回転よりも有意に大きな活動が見られたが ($t(11)=3.30$, $P<0.01$)、女性では有意差がなかった ($t(11)=1.33$, $P>0.1$)。なお、ch-5 では男女共にものと手の両条件において有意な活動が見られた (図 4)。

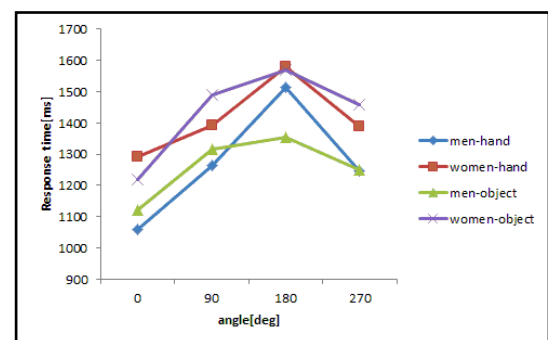


図 3 反応時間

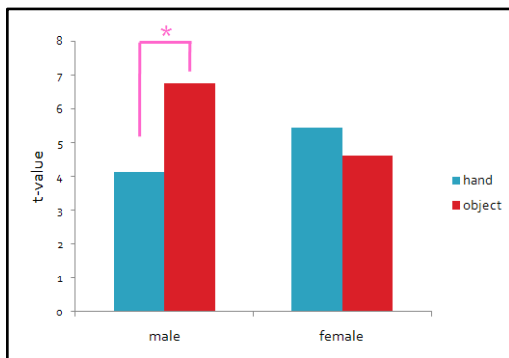


図4 脳活動計測の結果 (ch-5)

4. 考察

本研究では、手と物の心的回転を行っているときの MNS の活動を計測した。その結果、男性では手と物の心的回転条件において MNS の活動に有意差が見られたが、女性ではそのような差は見られなかった。これは MNS が心的回転に関わるプロセスが男女で異なっていることを示唆している。

心的回転は、男性の方が正答率も高く成績が良いことが繰り返し報告されてきた (Masters, 1998)。しかしながら、上述の通り本実験では反応時間に男女差は見られなかった。この理由として脳活動を計測しているために反応時間の指標としての精度が弱まってしまったことが考えられる。実際に fMRI を使った先行研究で反応時間に性差が見られなかった報告もある (Seurinck et al, 2004)。

脳活動計測実験の結果、男女ともに手および物の心的回転において MNS が有意に活動するという結果が得られた。MNS は身体の運動処理に関連していると考えられるので、手の心的回転に関わることは予想できる。一方、物の心的回転において一次運動野を含む運動野が活動するという報告も多数なされており、今回の結果とも整合性があると言える。また物の心的回転を行う際にも有意な活動が見られたもう一つの理由は、刺激として使用した道具が普段の生活で使うものであり、この使用に関する運動関連の領域が活性化された可能性も考えられる (Murata et al., 1997)。

男性では MNS の活動は手よりも物のときに大

きかった。これは手の心的回転においては MNS が効率的に身体の回転処理をしているためだと考えることができる。一方、物の処理の際には物体に対する把持や操作などの内的処理に関わるために運動関連領域の活動が増大した可能性が考えられる。女性では、MNS の身体に対する選択的関与があまり働かず、物と手の心的回転において同程度の活動を示したと考えられる。これらの MNS の活動の違いが、心的回転の成績の性差の要因となっていることが考えられる。

参考文献

- [1] Guy Vingerhoets, Floris P. de Lange, Pieter Vandemaele, Karel Deblaere, and Erik Achten (2002) "Motor Imagery in Mental Rotation: An fMRI Study", *NeuroImage* 17, pp 1623-1633.
- [2] C. Eisenegger, U. Herwig, L. Jaencke, (2007) "The involvement of primary motor cortex in mental rotation revealed by transcranial magnetic stimulation", *European Journal of Neuroscience*, Vol. 25, pp. 1240-1244
- [3] Sotaro Shimada, Ryosuke Abe (2010) "Outcome and view of the player modulate motor area activity during observation of a competitive game", *Neuropsychologia*, 48, p.p.1930-1934
- [4] Mary S. Masters (1998), "The gender difference on the Mental Rotations test is not due to performance factors" *Memory and Cognition* 26(3), pp.444-448.
- [5] S R. Seurinck, G. Vingerhoets, F.P. de Lange, E. Achten (2004) "Does egocentric mental rotation elicit sex differences?", *NeuroImage* 23, pp.1440-1449.
- [6] Murata A, Fadiga L, Fogassi L, Gallese V, Raos V, Rizzolatti G.(1997)"Object representation in the ventral premotor cortex (area F5) of the monkey." *Journal of Neurophysiology*, 78, 2226-30.