

研究論文

f-MRI を用いた一人称イメージと三人称イメージによる
足趾運動の脳活動の相違に関する研究

牧野 均・生駒 一憲*

(2011年12月22日受稿)

抄録: 運動イメージは大別して、一人称イメージと三人称イメージがある。今回、我々は一人称イメージと三人称イメージを用いて足趾の運動を行い、fMRIにて脳画像を比較したので報告する。

【方法】 対象は、健常者20名(年齢20-22歳)。スクリーンに映し出された一人称イメージ(下から突き出した足)と三人称イメージ(今回は横から突き出した足を用いた)の映像に合わせて右足趾を握る動作を、実際に足趾を動かす運動、足趾を動かそうとイメージすること、その動作を見るだけの3課題を行った。運動は、一定でないリズムの運動とした。一連の動作をf-MRIにて撮影した後、SPM2を用いて画像を解析し比較した。

【結果】 映像を見ながら足趾の運動を行う場合、一人称イメージを見ながら運動を行うほうが左の頭頂間溝前部領域が賦活する傾向があった。また、イメージする場合は一人称イメージで左の腹側運動前野後部が、見る場合は三人称イメージで左の腹側運動前野後部が賦活する傾向にあった。

【考察】 模倣運動を行ったとき、下頭頂葉小葉が活性化されることが知られている。今回の研究では、一人称イメージで、左の頭頂間溝前部領域がより賦活する傾向にあることがわかった。頭頂間溝前部領域は、一般的に上肢での把持動作に関連することが報告されている。今回、足趾運動にも関与することが示唆された。また、腹側運動前野後部は足趾のミラーニューロンに関与することが示唆された。

運動イメージを利用しパフォーマンスを向上させる報告が多数なされている^{1) 2) 3)}。

運動イメージは大別して、一人称イメージと三人称イメージがある。一人称イメージとは、自分から突き出したあたかも自分が行っているかのような運動イメージであり、三人称イメージとは、他者が行っているのを見ているかのような運動イメージである。

Rubyら⁴⁾は、一人称イメージと三人称イメージでの行為を観察する際の脳活動を比較し、一人称より三人称視点での運動イメージの想起で右下頭頂小葉が活動したと報告している。これは、自己と他者の分離において他者認識の右頭頂葉の優位性を示している。

我々が環境との相互作用によって行為を行う場

合、運動制御において、他者の運動ではなく自己の運動からのフィードバックを認識する能力が重要である。

内藤⁵⁾は、一人称的な運動イメージの想起には、ある程度の経験と対象とする運動の認知的要素が不可欠としている。

今回我々は、一人称イメージと三人称イメージによる脳活動の違いについて、一定でないリズムにて足趾の模倣運動を行うことにより、脳活動の相違に関して知見を得たので報告する。

1. 対象と方法

【対象】

健常な成人男女20名(男性8名、女性12名、

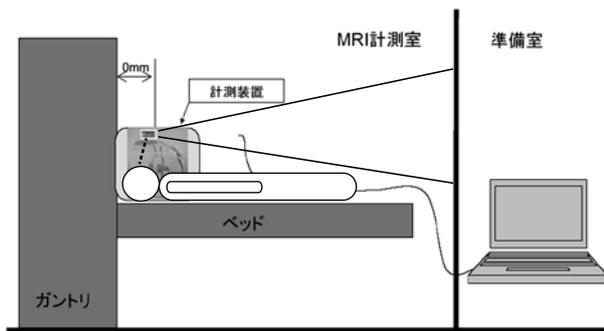


図1 f-MRI測定模式図

MRI装置の中からプリズムメガネにてスクリーン上に投影された足趾動作を模倣することとした。

年齢20-22歳)が参加した。すべての被験者は、北海道大学医学研究科・医学部医の倫理委員会の審査に基づくアンケート調査と十分な説明の後、同意書に署名の上、ボランティアとして今回の測定に参加した。

【方法】

課題は、MRI装置の中から背臥位にてプリズムメガネにてスクリーン上に投影された足趾動作を模倣することとした(図1)。

スクリーンに投影される映像は、一人称イメージ(下から突き出た足)と三人称イメージ(今回の三人称イメージは、横から突き出た足とした)の映像である(図2)。

被験者は、映像の足趾を握る動作に合わせて自分の右側足趾を握ることとした。

足趾動作の基本動作パターンは、足趾を開いた状態から一趾握り、そして残りの四趾を実際に握る動作とした(図3)。

「動」課題は、基本パターンで実際に動かすこととした。「想」課題は、実際には握らずに握ろうとイメージすることとした。「見」課題として、「動」課題と「想」課題と同じ動作を、動作・想像をともにせずしっかり映像を凝視するという課題を行った。また、固視課題は、「動」「想」「見」課題の文字の部分に黒地で白抜きの小さい「・」(点印)を入れ、課題時間中は中央の点を固視するものとした。以上の課題は21秒間に9回行い、

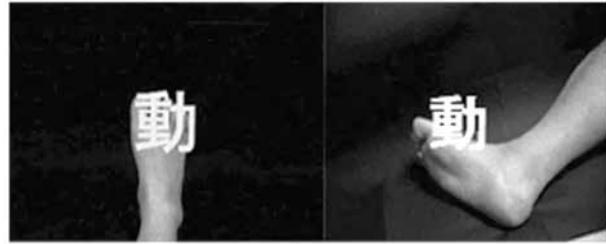


図2 今回用いた一人称イメージと三人称イメージの図
左図が一人称イメージで右図が三人称イメージの図

2秒毎に一定リズムで動く映像と一定でないリズムで動く映像を組み合わせた。

課題は4分間のブロックデザインとし、「動」課題と「想」課題と「見」課題と固視課題を挿入した。「動」課題と「想」課題は、互いに干渉しないよう「見」課題もしくは固視課題を用いて工夫し2セッション行い、総計測時間は8分間とした。

スクリーン上で足趾の動作と動作指示の映像は、視野角2度以内に収まるよう投影画像を調節して全測定を行った。

【fMRIデータの測定と解析】

fMRIの撮影は、北海道大学医歯学総合棟MRI室GE製MRIスキャナSigna Lightning (1.5T)を用いた。撮像パラメータは、TE 40、TR 3000、Flip Angle 90、Slice Thickness 4.0、Spacing 1.0、スライス枚数22である。

解析は、MathWorks社製数値計算ソフトMatlabとSPM2を組み合わせで行った。統計処理は、false discovery rateで統計的推論を行い、5%を有意水準として、20%とした時に賦活した領域を傾向がある値とした。

この設定の上で、「足趾を実際に動かす」、「足趾を動かそうと想う(イメージする)」、「足趾が動いている映像を凝視する」と「固視課題」の課題間での比較を、一人称イメージと三人称イメージにて行った。

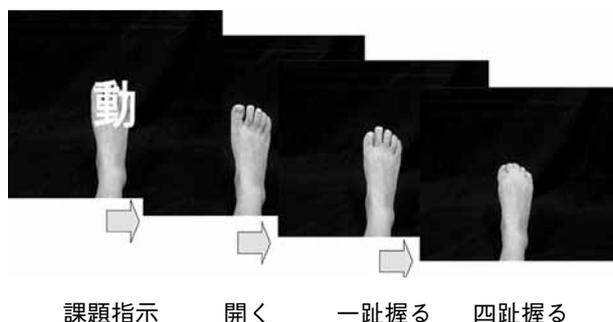


図3 足趾動作の基本パターン
足趾動作の基本パターンは、足趾を開いた状態から一趾握り、そして残りの四趾を実際に握る動作とした

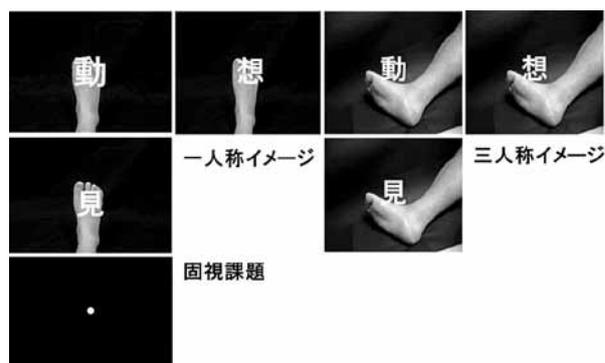


図4 足趾：動く・想う・見る・固視課題
「動」「想」「見」と固視の4つの課題を組み合わせ課題を行った

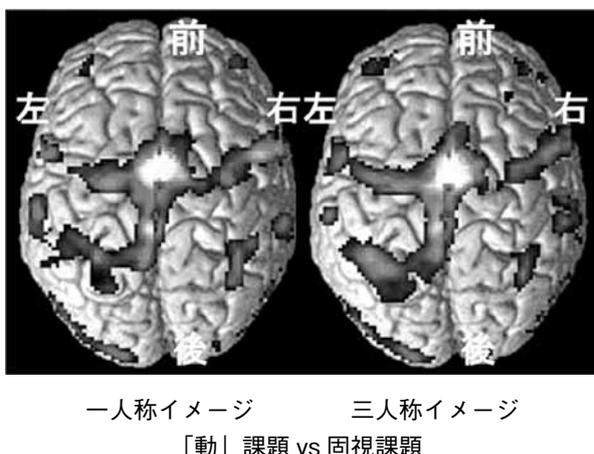


図5 「動」課題の脳賦活画像
両イメージとも補足運動野・足趾運動野・足趾感覚野、両側の広い範囲での運動野・下頭頂小葉・頭頂間溝領域・頭頂側頭接合部の賦活が著名

各々の個人データの解析後22名分の集団解析を行い、集団間にて対応のある検定を行った。

2. 結果

「動」課題での一人称イメージと固視課題、三人称イメージと固視課題の比較を示す(図6)。

一人称イメージ、三人称イメージともに補足運動野、足趾運動野、足趾感覚野、左右両側での運動関連領域、左右両側の上下頭頂小葉(以下SPL、IPL)から頭頂間溝前部領域(以下AIP)、頭頂側頭結合部(以下TPJ)の賦活が著名であった。

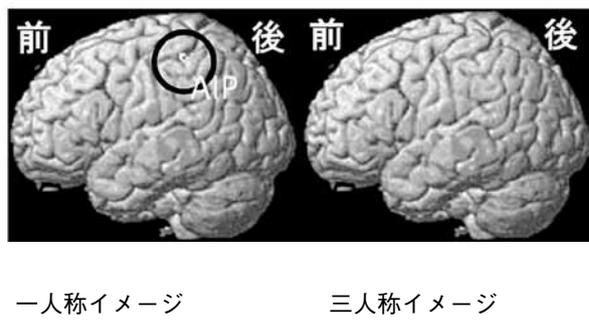


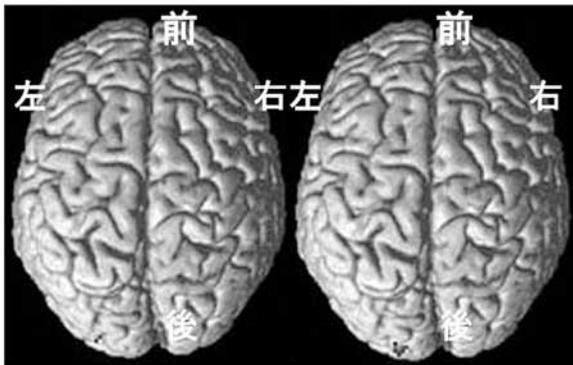
図6 「動」課題での一人称イメージと三人称イメージの比較
一人称イメージ vs 三人称イメージの比較において頭頂間溝前部領域の活動が増加傾向にあった

「動」課題の一人称イメージと三人称イメージの比較では、一人称イメージにて足趾の運動を行った時に、左側AIPの賦活が増加する傾向にあった(図6)。

「想」課題での一人称イメージと固視課題、三人称イメージと固視課題の比較を示す(図7)。

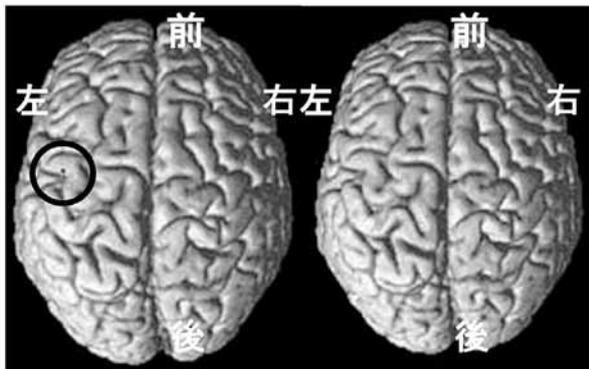
一人称イメージ、三人称イメージともに固視課題との比較にて有意に賦活する部位はなかった。

「想」課題の一人称イメージと三人称イメージの比較では、一人称イメージにて足趾の運動を



一人称イメージ 三人称イメージ
「想」課題 vs 固視課題

図7 「想」課題の脳賦活画像
両イメージとも有意に賦活する部分はなかった



一人称イメージ 三人称イメージ
vs 三人称イメージ vs 一人称イメージ

図8 「想」課題での一人称イメージと三人称イメージの比較

一人称イメージ vs 三人称イメージの比較にて左脳腹側運動前野の活動が増加傾向にあった

行った時に、左脳腹側運動前野（以下PMV）の賦活が増加する傾向にあった（図8）。

「見」課題での一人称イメージと固視課題、三人称イメージと固視課題の比較を示す（図9）。

「見」課題の一人称イメージと三人称イメージの比較においては、三人称イメージにて足趾の運動を行った時に、左脳PMVの賦活が増加する傾向にあった（図10）。

3. 考察

今回、一人称イメージと三人称イメージで「動」課題、「想」課題、「見」課題を行った場合の脳活動を比較した。

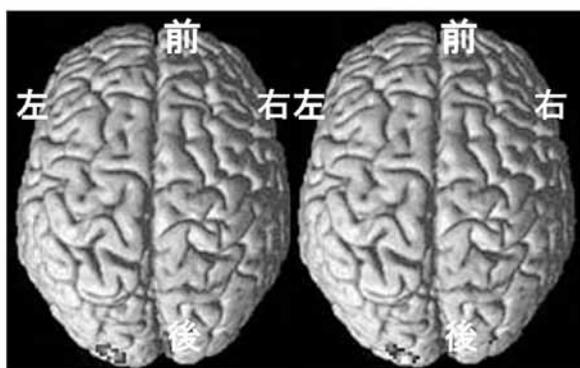
Rubyら⁴⁾は、三人称イメージの動作観察で右IPLが活動したと報告している。これは、自己と他者の分離において他者認識の右頭頂葉の優位性を示している

今回の研究では、「動」課題の場合、両側の広い範囲での運動関連領野、両側SPL・IPLからAIP、TPJの活動が増加した。特に、一人称イメージにおいて左側AIPの活動が増加する傾向にあった。

他者が自己を模倣していることを認識するのにIPLが関与している⁶⁾。今回の研究でも、両側のIPLが活性化した。Rizzolattiは、行動するときと行動を観察するときと同様な応答を示すニューロンをミラーニューロンと名付け⁷⁾、IPLは他者の行動の意図の理解をもコードしている、と報告した⁸⁾。IPLとTPJは、自己身体の認識や、自己と他者の身体識別に重要な領域と考えられている⁹⁾。今回も、両側のIPLとTPJが活性化し、投影された足趾の映像の意図を理解し模倣したと考える。

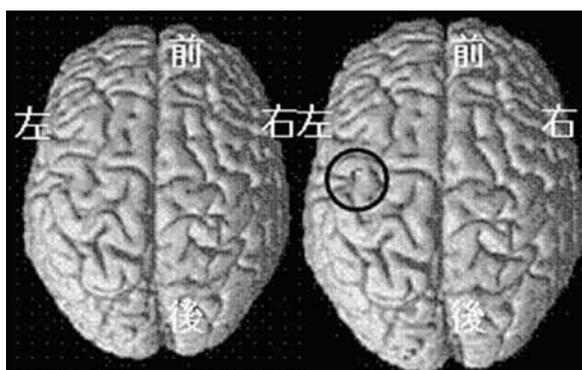
また、一人称イメージにおいて左側IPLの前方部にあるAIPが賦活増加傾向にあった。AIPは、動く手の視覚像に反応する¹⁰⁾。サルの研究においてAIPはサルのPMV前方部にあるF5と結合し、手や口の運動と関係している¹¹⁾。

サルのF5は、ヒトのブロードマン44野に相当する¹²⁾。ブロードマン44野は、PMVにあるBroca野である。Rizzolattiは、F5-PF-STSa（PFはヒトの40野もしくは39野、STSaは上側頭溝前方部）をサルにおけるミラーニューロンシステムと呼んだ¹²⁾。また、Arbibは、把持動作の研究においてAIPをアフォーダンスが抽出される場所であるとモデルを立てている¹³⁾。これは、把持動作において視覚からの影響で手の形を物体に合わせて変化させることからpre-shapingと呼ばれている。



一人称イメージ 三人称イメージ
「見」課題 vs 固視課題

図9 「見」課題の脳賦活画像
両イメージとも有意に賦活する部分はなかった



一人称イメージ 三人称イメージ
vs 三人称イメージ vs 一人称イメージ

図10 「見」課題での一人称イメージと三人称イメージの比較

三人称イメージ vs 一人称イメージの比較にて左脳腹側運動前野の活動が増加傾向にあった

このアフォーダンスとは、ギブソンによる造語で「有機体が生息する環境を探索することによって獲得することができる意味／価値である。」と定義される¹⁴⁾。村田は、上肢の運動においてAIPは3次元画像に反応すると報告している¹⁵⁾。上肢は、把持動作で物体のアフォーダンスを受け取りpre-shapingする。

今回の我々の研究では、足趾の運動において

AIPの活動が増加傾向にあった。AIPと足趾の関連に関しては報告がなく、手での把持動作や口の動作とともに足趾の動作とも関連がある可能性がある。また、一人称イメージの方が、被験者は、把持する物体は無いものの足趾を握る動作の映像から何らかのアフォーダンスを得ていた可能性がある。

「想」課題の場合、三人称イメージと比較して一人称イメージでの左脳PMVの賦活が増加する傾向にあった。「見」課題の場合、一人称イメージと比較して三人称イメージでの左脳PMVの賦活が増加する傾向にあった。

異なる体の部位（口、手、足）の動作を被験者に見せた時には、Broca野を含む下頭頂小葉が、体部位局在性を持って活動する¹⁶⁾。今回の我々の研究で賦活傾向にあったPMV部分は、足の運動部分に相当した¹⁷⁾。この部分は、Broca野の背側部にあり、Rizzolattiのミラーニューロンシステムに含まれてはいない。しかしながら、足趾の「想」課題、「見」課題において賦活傾向を示した。今回の活動部分は、ミラーニューロンに関する可能性がある。

今回、一人称イメージと三人称イメージの映像を用いて、足趾の「動」課題、「想」課題、「見」課題の比較を行った。

AIPは、手の動作のみならず足の動作にも関与する可能性があることが示唆された。また、PMV後部にも足趾に関するミラーニューロンに関する部分がある可能性が示唆された。

今後、測定の方法を多様化し検討を重ねたい。

文 献

- 1) Yue G et al.: Strength increase from the motor program : comparison of training with maximal voluntary and imagined muscle contractions. J Neurophysiol 67: 1114-1123, 1992.
- 2) Fansler CL et al.: Effects of mental practice on balance in elderly women. Phys Ther 65: 1332-1338, 1985.

- 3) Crosbie JH et al.: The adjunctive role of mental practice in the rehabilitation of the upper limb after hemiplegic stroke: a pilot study. *Clin Rehabil* 18: 60-68, 2004.
- 4) Ruby P, et al.: Effect of subjective perceptive taking during simulation of action- a PET investigation of agency. *Nature Neuroscience* 4 : 546-550, 2001.
- 5) 内藤栄一:運動習熟のメカニズム. *臨床スポーツ医学* 21: 1057-1065, 2004.
- 6) Melltzoff, A.N. et al.: What imitation tells us about social cognition: a rapprochement between developmental psychology and cognitive neuroscience. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 358: 491-500, 2003.
- 7) Rizzolatti G, et al. : Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive Brain Research* 3: 131-141, 1996.
- 8) Rizzolatti G, et al.: Parietal Lobe: From Action Organization to Intention Understanding. *Science* 29: 662-667, 2005.
- 9) Berlucchi, G, et al.: The body in the brain: neural bases of corporeal awareness. *Trends Neurosci* 20: 13-20, 1997.
- 10) Murata, A. et al.: Selectivity for the shape, size, and orientation of objects for grasping in neurons of monkey parietal area AIP. *Journal of Neurophysiology* 83: 2580-2601, 2000.
- 11) Ferrari, P. F. et al.: Mirror neuron responding to the observation of ingestive and communicative mouth actions in the monkey ventral premotor cortex. *Eur J Neurosci* 17: 1703-1714, 2003.
- 12) Rizzolatti G, et al.: The organization of the cortical motor system: new concepts, *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 106: 283-296, 1998.
- 13) Arbib, M. A. et al.; Modeling parietal premotor interactions in primate control of grasping. *Neural Networks* 11: 1277-1303, 1998.
- 14) Gibson JJ.: *The ecological approach to visual perception*, Boston: Houghton Mifflin: pp18-19, 1979.
- 15) Murata A, et al.: Selectivity for the Shape, Size, and Orientation of Objects for Grasping in Neurons of Monkey Parietal Area AIP. *J Neurophysiol* 83: 2580-2601, 2000.
- 16) Buccino G.; The mirror neuron system and action recognition. *Brain Lanb* 89: 370-376, 2004.
- 17) Buccino, G. ET AL.; Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study. *European Journal of Neuroscience* 13: 400-404, 2001.

A comparison between a first-person perspective image and a third-person perspective image: an f-MRI study

MAKINO Hitoshi and IKOMA Katsunori

Abstract: There are two main modes of motor imagery: a first-person perspective image (1PPI or kinesthetic motor image) and a third-person perspective image (3PPI or visual motor image). Images from a first-person perspective depict events as seen through the actors' own eyes, whereas images from a third-person perspective depict events through the eyes of an observer who is watching an action take place. Little is known about how differently 1PPI and 3PPI may effect the cortex activation. The purpose of this study is to determine the cortical presentation of 1PPI and 3PPI while subjects move their toes by making use of f-MRI.

We selected 20 healthy persons with written consents and used f-MRI of 1.5T to map cortical representations associated with motor tasks of the subjects' right toes. In these tasks subjects watched video-clip depicting simple 1PPI and complex 3PPI actions of toes, and are required to imitate the model images.

During imitative toe movements, we found, the subjects of 1PPI tasks showed an increased representation of activation in the left anterior AIP. During image toe movements, we found, the subjects of 1PPI tasks showed an increased representation of activation in the left vPM. And while they were watching toe movements, we found, the subjects of 3PPI tasks showed an increased representation of activation in the left vPM.

Our research suggests that the left AIP is involved toes' movements and the left vPM in toes' mirror neuron.

