

## 研究論文

## 3人称イメージを用いた「一定リズム」と「一定でないリズム」の足趾の模倣運動を行った場合の脳活動部位の相違に関して

— fMRI を用いた研究 —

牧野 均・生駒 一憲\*

(2013年12月25日受稿)

**抄録：** 運動イメージには、一人称イメージと三人称イメージがある。今回我々は、対座する治療者を三人称イメージとして想定し、「一定リズム」と「一定でないリズム」での足趾模倣運動を行い、fMRIにて脳画像を比較した。対象は健常者21名で、スクリーン上の映像に合わせて、「一定リズム」と「一定でないリズム」で右足趾を実際に動かす動作と動かすようイメージする課題を行い集団解析後比較した。イメージする場合、「一定リズム」で両側運動前野、頭頂後頭溝領域と左側背外側運動前野に賦活傾向があった。実際に動かす場合、「一定でないリズム」で左側前頭眼野に賦活傾向があった。イメージする場合は「一定リズム」の方が身体イメージ生成の活動が増加、実際に動かす場合は「一定でないリズム」の方が認知や予測に関する活動が増加することが示唆された。

## はじめに

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<sup>1)</sup>。

運動イメージは大別して2種類あり、一人称イメージは自分から突き出たあたかも自分が行っているようなイメージ(図1A)、三人称イメージは他者の行為を見るようなイメージである(図1B)。

実際の治療場面では、麻痺した自己の四肢の動作に対し、対座する治療者の動作を模倣することで、治療者の三人称イメージを用い自己の運動イメージを生成し治療を行うことが多い。

Ruby<sup>2)</sup>は、三人称イメージの映像を用いた場合、右頭頂葉が他者認識をする事を示した。

しかし、三人称イメージを用いた運動方法の違いによる脳賦活変化の報告は少ない。

一方、リズム認知と運動は密接な関係にある。提示リズムの時間間隔や明瞭な拍の有無はヒトのリズム生成に関与する<sup>3)</sup>。Lewisは、リズム知覚

および生成に大脳皮質や小脳、大脳基底核等様々な脳機能の関与を示した<sup>4)</sup>。

歩行におけるリズム生成は、中枢性パターン発生器 central pattern generator と呼ばれ中枢は脊髄である<sup>5)</sup>。除脳ネコの実験では、中脳以下の電気刺激で歩行誘発が可能となり<sup>6)</sup>、体重免荷でのトレッドミル歩行が可能となる。しかし、ヒトの脊髄損傷完全麻痺では、自立歩行は不可能である。このことから、他の四足歩行動物と比べヒトでは上位中枢の関与が歩行に強くかかわっていると考える<sup>7) 8)</sup>。したがって、上位中枢でのリズム生成の関わり方に関して検討することが必要と考える。

今回我々は、足趾の模倣運動に着目し運動方法の違いとして「一定リズム」と「一定でないリズム」での三人称イメージを用いて脳賦活の相違を検討した。

## 1. 対象

対象は、健康成人男女21名(男性7、女性14名、

年齢20-30歳)である。

本研究は、北海道大学医の倫理委員会の承認のもと、対象者に十分なインフォームドコンセントを行い、同意を得て施行した。

## 2. 方法

課題は、MRI装置内で背臥位にてスクリーン上に投影する足趾動作を模倣する事とした。

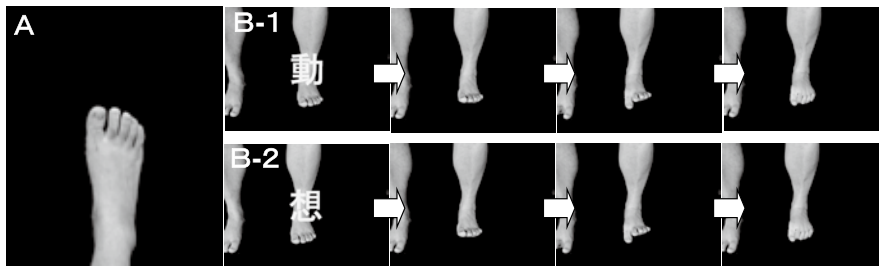
映像は三人称イメージとして対座するセラピストを想定し、映像の左側足趾の握る動作に合わせて被験者の右側足趾を握る動作とした。

模倣する課題は、15秒間に2秒毎7回の「一定リズム」と15秒間に7回の「一定でないリズム」を組み合わせ、足趾を開いた状態から一趾握り、

して残りの四趾を握る動作とした(図1B)。足趾動作は、課題を予め図示し、「動」課題として実際に握る動作(図1B-1)と「想」課題として実際には握らず握ろうとイメージする2課題を行った(図1B-2)。

課題は4分間のブロックデザインとし、「動」課題と「想」課題の間に、固視課題を挿入した(図2)。固視課題を脳の安静状態とし、「一定リズム」と「一定でないリズム」の「動」課題と「想」課題の比較を行った。

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項目を行った(図3)。



A: 一人称イメージ B: 三人称イメージによる課題指示  
「動」「想」課題指示 開く 1趾握る 残り4趾握る

図1 一人称イメージと三人称イメージの足趾運動の基本動作パターン

A: 一人称イメージ～自分から突き出た自分が行っているイメージ

B: 三人称イメージ～他者の行為を見るイメージ

模倣動作は、三人称イメージを用いてスクリーンに映し出された映像の「一定リズム」と「一定でないリズム」の左足趾の動作とした。被験者は映像に合わせて動作を行い、実際に握る「動」課題(B-1)、握ろうとイメージする「想」課題(B-2)を課題とした。基本動作パターンは、課題指示「足趾を開く」→1趾握る→残り4趾握るの順とした。

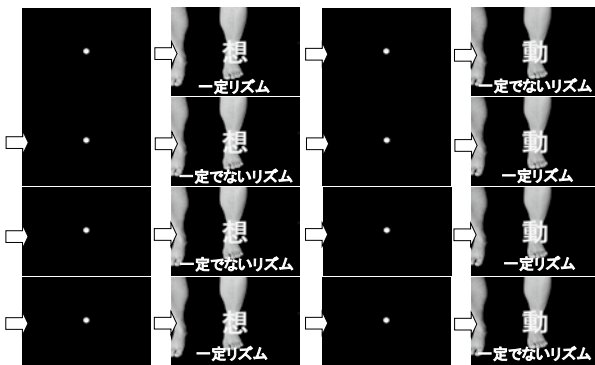


図2 ブロックデザインの基本動作パターン

「想」課題「動」課題間に「固視課題」を加え、1ブロック15秒間で16ブロック合計4分間の課題を行い課題間のコントラストを比較した。

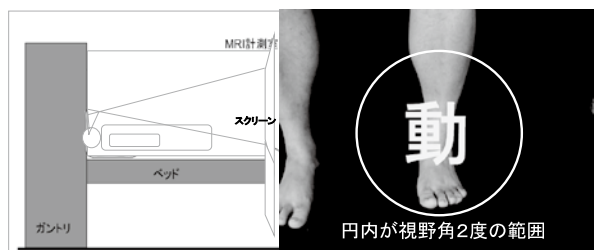


図3 MRI室内での背臥位姿勢とスクリーン上での映像  
被験者はMRI装置内で臥位となり装置内に設置したプリズムメガネにてスクリーン上に投影された課題にしたがい動作を行った。「動」課題、「想」課題の動作指示映像は、視野角2度以内に収まるよう投影画像を調節して全測定を行った。題間のコントラストを比較した。

### 【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, スライス枚数は22枚であった。

解析は、MathWorks社製ソフトMatlabとSPM2を用いた。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10%以下を「傾向のある値」とした。

この設定の上、個人解析後に集団解析を行った。解析方法は、「一定リズム」と「一定でないリズム」の「動」課題、「想」課題と「固視課題」の個人脳各賦活部位のコントラストを評価し、全被験者の総平均を算出した後、集団での各脳部位の1標本のT検定を行った。

脳賦活部位の同定は、SPM2で出力される標準脳のMNI座標系をMATLAB上でmni2talにて変換し、その後Talairach Daemon ClientにてTalairach座標に変換して決定した。

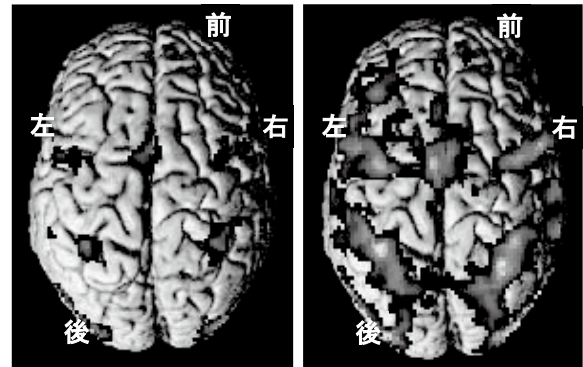
### 3. 結果

個人解析後21人での集団解析を行った。

各課題でのコントラストの集団解析後の検定の結果、有意差のある部分と増加する傾向にある部分を各々図にて示す。各図は、集団解析後の前者から後者を差分した結果を図中に示し、前者の課題に特異的に賦活する脳部位を表す。図のマイナス表記は差分を表す。

「一定リズム」と「一定でないリズム」での「想」課題と「固視課題」を比較した脳活動を図4に示す。「一定リズム」、「一定でないリズム」ともに補足運動野と両側頭頂間溝領域・頭頂側頭接合部が有意に賦活した。「想」課題で「一定リズム」と「一定でないリズム」を比較した場合、「一定リズム マイナス 一定でないリズム」において、「一定リズム」で両側運動前野と頭頂後頭溝領域の賦活が増加する傾向にあった(図5B)。

「一定リズム」と「一定でないリズム」での「動」

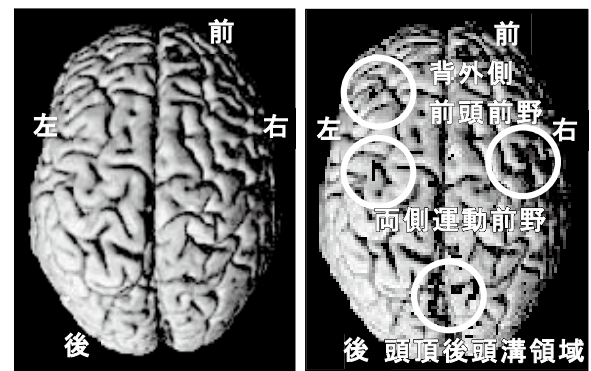


A: 一定でないリズム  
マイナス 固視

B: 一定リズム  
マイナス 固視

図4 「想」課題 動きをイメージした場合

「想」課題を「一定リズム」と「一定でないリズム」で行った場合の固視課題とのコントラストの差分を示す。固視課題は、脳の安静状態とする。Aは「一定でないリズム」の映像に合わせて課題を行った場合、Bは「一定のリズム」の映像に合わせて課題を行った場合の賦活部位を示す。両図とも補足運動野と両側の頭頂間溝領域・頭頂側頭接合部の賦活を示すが、「一定リズム」で課題を行ったほうが賦活する範囲が広い。

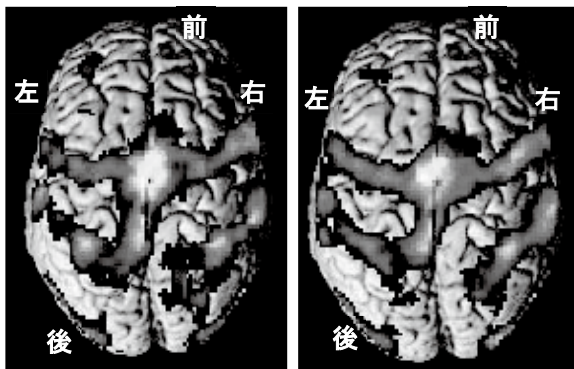


A: 一定でないリズム  
マイナス 一定リズム

B: 一定リズム  
マイナス 一定でないリズム

図5 「想」課題での「一定リズム」と「一定でないリズム」の比較

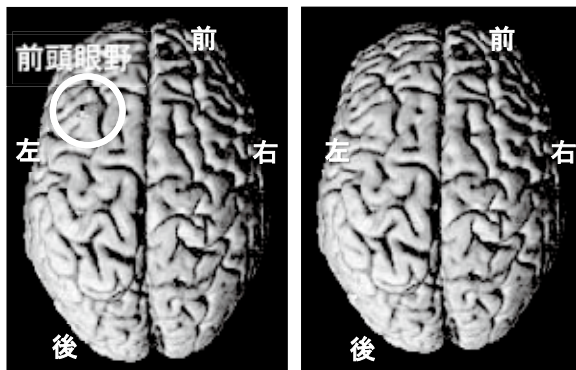
「想」課題を「一定リズム」と「一定でないリズム」で行った場合の両課題間のコントラストの差分を示す。Aは「一定でないリズム」の映像に合わせて課題を行った場合、Bは「一定のリズム」の映像に合わせて課題を行った場合に特異的な賦活部位を示す。「一定リズム」で「想」課題を行った場合、両側運動前野と頭頂後頭溝領域、左側背外側前頭前野が賦活する傾向にあった。



A：一定でないリズム  
マイナス 固視  
B：一定リズム  
マイナス 固視

図6 「動」課題 実際に動かした場合

「動」課題を「一定リズム」と「一定でないリズム」で行った場合の固視課題とのコントラストの差分を示す。固視課題は、脳の安静状態とする。Aは「一定でないリズム」の映像に合わせて課題を行った場合、Bは「一定のリズム」の映像に合わせて課題を行った場合の賦活部位を示す。両図とも「想」課題と同様に補足運動野と両側の頭頂間溝領野・頭頂側頭接合部の賦活を示すが、「想」課題に加え左側足趾運動野が賦活した。

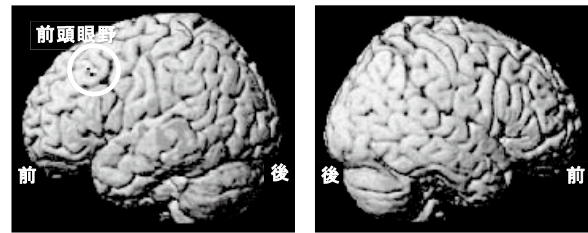


A：一定でないリズム  
マイナス 一定リズム  
B：一定リズム  
マイナス 一定でないリズム

図7 「動」課題での「一定リズム」と  
「一定でないリズム」の比較

「動」課題を「一定リズム」と「一定でないリズム」で行った場合の両課題間のコントラストの差分を示す。Aは「一定でないリズム」の映像に合わせて課題を行った場合、Bは「一定のリズム」の映像に合わせて課題を行った場合に特異的な賦活部位を示す。「一定でないリズム」で「動」課題を行った場合、左側前頭眼野が賦活する傾向にあった。

課題と「固視課題」比較した場合、「一定リズム」、  
「一定でないリズム」とともに「想」課題と同部位  
に追加して左足趾運動野が有意に賦活した（図  
6）。「動」課題で「一定リズム」と「一定でない



左から見た図

右から見た図

図8 「動」課題での「一定リズム」と「一定でないリズム」の比較

「動」課題を「一定リズム」と「一定でないリズム」で行った場合の両課題間のコントラストの差分を示す。「一定でないリズム」の映像に合わせて課題を行った場合の特異的な賦活部位を示す。「一定でないリズム」で「動」課題を行った場合、左側前頭眼野が賦活する傾向にあった。

リズム」を比較した場合、「一定でないリズム  
マイナス 一定リズム」において、「一定でない  
リズム」で左前頭眼野が賦活する傾向にあった（図  
7A、図8）。

#### 4. 考 察

今回、三人称イメージでの「一定のリズム」と「一定でないリズム」での模倣運動による脳活動を個人解析後集団解析し比較した。

「想」課題は、補足運動野と頭頂間溝領野、頭頂側頭接合部が賦活し、「一定リズム」は「一定でないリズム」と比較して、両側運動前野背側部と頭頂後頭溝領域、左側背外側前頭前野が賦活増加傾向にあった。

運動前野背側部は、動作のプランニング情報を統合する<sup>9)</sup>。頭頂後頭溝領域と頭頂間溝後部は、空間での身体位置の選択に関与し<sup>10)</sup>、頭頂間溝には視覚情報と体性感覚情報の両方に発火する bimodal neuronがある<sup>11)</sup>。さらに、頭頂側頭接合部は、自己の身体を表現する<sup>12)</sup>。「想」課題では、動きは伴わないが視覚情報から空間での身体の位置を認識し動作をプログラミングしていたと考える。

両側の運動前野と右下頭頂葉は、時間情報の符号化に関連する<sup>13)</sup>。Raoは、時間間隔の長短を判断する課題において、基準となる時間間隔での課

題で両側運動前野と右下頭頂葉が賦活することを示した。今回の我々の研究でも、「一定でないリズム」の「想」課題と比較して「一定のリズム」の「想」課題で両側運動前野が賦活傾向を示した。またRaoは、右側背外側前頭前野が時間情報の比較過程に従事することを示した<sup>13)</sup>。今回の研究では、左側背外側前頭前野が賦活傾向を示した。このことは、我々の課題がヒトの映像を課題としたことによる相違と考える。

「動」課題では、運動野も賦活した。また、「一定でないリズム」にて左前頭眼野が賦活する傾向にあった。前頭眼野は眼球運動に関与し、そのニューロンの視覚応答成分が予測に応答する<sup>14)</sup>。また、中心窩は、視野角で2度の領域になる<sup>15)</sup>。しかし、今回の我々の研究では、スクリーン上の動画部分を視野角2度以内に設定したため、動作時の眼球運動は最小限に抑制されたと考える。

脳は次に起こりうる運動を予測する。眼球運動の場合、上丘から前頭眼野への随伴発射により眼球の運動を予測し知覚が安定する<sup>16)</sup>。今回の我々の研究では、眼球運動を最小限に抑制した。したがって、「一定でないリズム」での足趾運動を模倣する課題において、次の運動を予測する活動により前頭眼野が賦活したと考える。

今回、「一定リズム」と「一定でないリズム」での「動」課題と「想」課題の比較を行った。

「想」課題は「一定のリズム」の運動で両側運動前野、頭頂後頭溝と左側背外側前頭前野に、「動」課題は「一定でないリズム」の運動で左前頭眼野の賦活増加が生じた。

今回の研究の結果を実際のリハビリテーションに応用する場合について考える。下肢に麻痺を生じた症例に対して治療者が対座して下肢の模倣運動を指導する場面では、症例が動きを伴うことが可能な軽度の麻痺の場合は、「一定でないリズム」の方が認知や予測に関する活動が増加し、麻痺が重度で動きを伴わない場合は、「一定リズム」の方が身体イメージ生成の活動が増加することが示唆され、リハビリテーションへの応用が可能と考

える。

一般的に、歩行は一定のリズムで行う動作である。麻痺が重度で歩行という行為を遂行できない症例であっても、「一定のリズム」で動作をイメージすることによって歩行動作の再獲得に向けた身体イメージ生成をすることが可能であると考えられる。

今後さらに検討を加え多様な側面から研究することが必要である。

## 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) Ruby P, et al.: Effect of subjective perceptive taking during simulation of action- a PET investigation of agency. *Nature Neuroscience* 4: 546-550; 2001.
- 3) Patelet AD, et al.: The influence of metricality and modality on synchronization with a beat. *Exp Brain Res* 163: 226-238; 2005.
- 4) Lewis PA, et al.: Brain activity correlates differentially with increasing temporal complexity of rhythms during initialisation, synchronisation, and continuation phases of paced finger tapping. *Neuropsychologia* 42:1301-1312; 2004.
- 5) Grillner S, et al.: Control of locomotion in bipeds, tetrapods, and fish. In *Handbook of Physiology*. vol. II , *The Nervous System, Motor Control* Bethesda, Am. Physiol. Soc.:1179-1236; 1981.
- 6) Armstrong DM, et al: The supraspinal control of mammalian locomotion. *J. Physiol.* 405: 1-37; 1988.
- 7) Nielsen JB, et al: How we walk: central control of muscle activity during human walking. *Neuroscientist.* 9(3): 195-204; 2003.
- 8) Yang JF, et al.: Spinal and brain control of human walking: implications for retraining of walking.

- Neuroscientist. 12(5):379-389; 2006.
- 9) Hoshi E, Tanji J: Integration of target and body-part information in the premotor cortex when planning action. *Nature* 408:466-470; 2000.
  - 10) de Jong BM, et al.: Brain activation related to the representations of external space and body scheme in visuomotor control. *Neuroimage* 14: 1128-1135; 2001.
  - 11) Iwamura Y.: Hierarchical somatosensory processing. *Curr Opin Neurobiol* 8:522-528; 1998.
  - 12) Ionta S, et al.: Multisensory mechanisms in temporo-parietal cortex support self-location and first-person perspective. *Neuron*, 70(2):363-374;2011.
  - 13) Rao SM, et al.: The evolution of brain activation during temporal processing. *Nature Neurosci* 4:317-323; 2001.
  - 14) Umeno MM, et al.: Spatial processing in the monkey frontal eye fields. I. Predictive visual responses. *J Neurophysiol* 79: 322-333;1998.
  - 15) Fairchild M: *Color Appearance Models*. Reading, Mass.: Addison, Wesley, & Longman, pp7;1998.
  - 16) Sommer MA, et al: What the Brain Stem Tells the Frontal Cortex. II. Role of the SC-MD-FEF Pathway in Corollary Discharge. *J. Neurophysiol* 91: 1403-1423; 2004.

## Comparison between “Rhythmic Movements” and “Not Rhythmic Movements” :

### An f-MRI Study

MAKINO Hitoshi and IKOMA Katsunori

**Abstract:** There are two main modes of motor imagery: a first-person perspective imagery (1PPI: Kinesthetic motor imagery) and a third-person perspective imagery (3PPI: Visual motor imagery). 3PPI involves imagining seeing yourself performing a certain movement. We are performing rehabilitation to the patient using 3PPI. But 3PPI involves two patterns; they are “rhythmic movements” and “not rhythmic movements” . The purpose of this study is to determine the cortical representations in “rhythmic movements” and “not rhythmic movements” during toes’ movements in healthy persons using f-MRI. We enrolled 21 healthy subjects with right-handed leg, and they signed consent forms. f-MRI of 1.5T was used to map cortical representations associated with motor tasks of the right toes. In these tasks, subjects watched video-clip depicting “rhythmic movements” and “not rhythmic movements” actions of toes. And they were required to image, to imitate the models. We compared “rhythmic movements” task with “not rhythmic movements” task at f-MRI maps. During imaging toes’ movements, subjects in “rhythmic movements” tasks showed an increased representation of activation in the both side Premotor area, the Parieto-occipital sulcus area and left side the Dorsolateral Prefrontal Cortex . During imitative toes’ movements, subjects in “not rhythmic movements” tasks showed an increased representation of activation in the left frontal eye field. Our results suggest that the brain activity which cognition and prediction may increase in “not rhythmic imitate movements” by 3PPI tasks, and the brain activity which body image generation may increase in “rhythmic image movements” by 3PPI tasks.

