

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2009

課題番号：20700240

研究課題名（和文） 身体運動の模倣を支える認知の脳神経学的基盤

研究課題名（英文） The neural basis of imitation of an action

研究代表者

井藤 寛志（ITO HIROSHI）

愛知大学・文学部・助教

研究者番号：20464141

研究成果の概要（和文）：他者によって遂行される行為を観察し模倣することが、新奇な行為の学習において重要である。本研究では、継時的に視覚呈示される無意味な姿勢の観察中の脳活動が、光を用いて脳の活動を捉える近赤外分光法によって計測された。実験の結果、課題の遂行中に中心前回の下部（ヒトのミラーニューロン・システムを構成する脳部位）における酸素化ヘモグロビン濃度の増加を確認した。このことは、ヒトが無意味な姿勢の連続に身体運動としての可能性を認識するだけで、ヒトの運動計画に関与する脳部位、すなわち、ミラーニューロン・システムが駆動することを示唆する。

研究成果の概要（英文）：In order to learn novel actions, it is essential to observe and imitate similar actions performed by other individuals. We used 24-channel near-infrared spectroscopy to investigate brain activity during the observation of sequentially presented meaningless postures. The results revealed that the oxy-haemoglobin concentrations in the lower part of the precentral gyrus increased to a greater extent during the observation. This suggests that the area related to action plans, that is the human mirror-neuron system, is activated when observers recognize the possibility of body movement even during the observation of static meaningless postures.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・認知科学

キーワード：認知心理学

## 1. 研究開始当初の背景

行為（action）の観察（入力）と、模倣（出力）とは、新しい行為の学習に重要な意味を

持つ。近年、脳神経科学や比較認知科学、あるいは発達心理学などの複数の研究分野において、模倣は発話や他者理解などのヒトを

特徴づける認知機能と密接に結び付いた能力であると指摘され、注目されている。

ヒトは、コップなどを手でつかむような目的指向性が明らかな有意な身体運動と同様に、無意味な身体運動をも模倣し得る。

しかし、模倣に関する先行研究では、有意な身体運動が模倣対象として主に用いられており、無意味な身体運動の模倣メカニズムには未解明の部分が多く残されている。

研究代表者は、ヒトが観察した新しい行為をどのように認知し模倣することが、行為の効果的な習得を促進するのかを解明する端緒として、まず、無意味な身体運動（四肢の時空間的变化）の複雑性を生じさせる物理的および心理的要因を特定し、それらの複雑性を操作することで、ヒトが無意味な身体運動を観察し模倣するための処理特性を明らかにする。

本研究は、行為の認知と模倣を支える認知処理過程を検討した心理学的研究と生理学的研究との接点に位置づけられる。

無意味な身体運動の認知と模倣は、既有知識の利用を許さず、有意な身体運動と比較してより根源的な認知処理過程を経ると代表研究者は考え、その脳神経基盤の実験的検証に着手するに至った。また、無意味な身体運動の模倣を支える認知の脳神経基盤が、いつどのように発達し、機能するのかを解明することは、ヒトの社会的認知能力を体系的に理解するために必要である、と研究代表者は考え、その実験的検証に着手するに至った。

## 2. 研究の目的

- ① 無意味な身体運動の複雑性を生じさせる物理的および心理的要因を特定する。
- ② ヒトのミラーニューロン・システムが観察対象を身体として認知し、四肢の無意味な時空間的变化を身体運動として統合することに関与するか否かを検討する。
- ③ その認知の脳神経学的基盤が、無意味な姿勢を模倣する際にも活性化するか否かを検討する。

## 3. 研究の方法

- ① 無意味な身体運動の複雑性を数量化  
無意味な身体運動の物理的、および心理的複雑性に関する数量データを収集し、複雑性に関するデータベースを作成した。データベースは、複雑性の数量を操作することによって新たに実験で使用する姿勢系列を作成可能な構造にした。

- ② 課題

本研究の課題は、無意味な上肢の上げ下げを組み合わせた姿勢を用いた再認および模倣課題から構成された。

本再認課題は、刺激系列の記銘段階と、再

認刺激によるテスト段階から構成された。実験参加者は、記銘段階で先行呈示される5種類のターゲット刺激の中に、テスト段階で後続呈示される1種類のテスト刺激が含まれているか否かを、Yes/No キーを押して判断した。

本模倣課題では、刺激系列に含まれる姿勢を観察し、かつ同時に模倣することを被験者に求めた。

- ③ 教示の操作

観察対象（疑似姿勢）を身体として認識することが、観察対象を一連の身体運動として捉えることを促すか否かを検討するために、実験参加者に対して、疑似姿勢がヒトの身体と同じ関節の制限を持つ対象であるという教示の有無を操作した。

- ④ 模倣の有無の操作

観察者自身の身体を用いた対象の模倣が、観察対象を一連の身体運動として捉えることを促すか否かを検討するために、記銘段階での模倣の有無を操作した。

- ⑤ 生理データの取得

本課題遂行中における実験参加者の脳活動は、多チャンネルの近赤外分光法（near-infrared spectroscopy, NIRS）装置を用いて計測された。NIRSは、血中に含まれるヘモグロビンの光吸収特性を利用し、脳の神経活動による組織内の酸素化ヘモグロビンの濃度変化量(Coxy-Hb)を測定する手法である。

## 4. 研究成果

### 概要

他者が行う行為の意図を理解することは、社会的な動物であるヒトが生きて行くうえで必要不可欠な能力である。近年、自閉症等の発達障害と、行為の意図を理解するプロセスが深く関わっていることが指摘され、その脳神経学的基盤の解明が注目されている。特に、その候補として、他者の行為を観察する際と模倣する際の両方で活性化するミラーニューロン・システムの機能に注目が集まっている。

研究代表者の研究成果の意義は、これまでの多くの研究が意味のある行為（例えば、物を掴むなど）を実験の観察対象としているのに対して、無意味な身体動作を観察対象として、観察者が無意味な身体動作を認知するプロセスから、模倣の脳神経基盤を明らかにした点に認められる。

具体的には、NIRSを用いて、ヒトが継時呈示される無意味な姿勢を一連の有意な動作として結合的に処理する現象を検討してきた。その結果、ヒトのミラーニューロン・システムが連続する無意味な姿勢を有意な動作として認知することに関与することを確認した（Ito et al., 2008）。

さらに、身体運動（行為）が関わる実践的な研究として、NIRS を用いた無意味な姿勢系列の模倣学習の研究を行い、ヒトのミラーニューロン・システムは観察者がより能動的に観察対象を身体運動として捉えようとする際に活性化することを確認した（井藤他, 2010）。

#### 具体的な成果

##### ① 無意味な姿勢のデータベース

無意味な身体運動の物理的、および心理的複雑性に関する数量データを収集し、複雑性に関するデータベースを作成した。

このデータベース作成により、下記の生理心理学的実験に使用する刺激系列を容易に作成することが可能となった。

##### ② 無意味な姿勢を結合する脳内メカニズム

本研究の目的は、ヒトが必ずしも身体運動として捉える必然性を持たない複数の姿勢を、観察のみによって、一連の身体運動として「つないで」捉え得るか否かを検討することにある。井藤他(2007)は、無意味な姿勢系列の観察が隣接する姿勢間の結合処理を喚起し、その処理によって個々の姿勢から一連の身体運動表象が形成されることを、姿勢の呈示順序を再構成する課題(行動指標)を用いて確認している。

本研究では、隣接姿勢間の結合処理が脳のどこで行われるのかを、NIRS を用いて特定することを目指した。

#### 方法

実験参加者: 大学生 16 名が個別に実験に参加した。

実験計画: 本実験では、3 種類の要因を操作した。第 1 要因は呈示画像の材料タイプ(数字、無意味図形、擬似姿勢、正面姿勢、背面姿勢)であった。第 2 要因は、擬似姿勢、正面姿勢、背面姿勢において、ある姿勢を後続の姿勢へと変化させるために必要な関節の数(ステップ数)の多さ(1, 4)であった。第 3 要因は無意味図形の命名容易性(容易、困難)であった。正面姿勢と背面姿勢のみが被験者間要因であり、それ以外の全要因は被験者内要因であった。

材料: 本実験は 5 種類の材料(数字、無意味図形、擬似姿勢、正面姿勢、背面姿勢)を用いた再認課題から構成された。

数字課題: 実験参加者が記銘段階で呈示される 1 刺激系列は、5 種類の異なる数字から構成された。12 種類の刺激系列は、テスト段階で系列に含まれる数字が呈示されるか否かに応じて、正(yes)反応と負(no)反応系列とに二分された。同様に、全ての課題において正負反応数は等しく設定された。

無意味図形課題: 無意味図形として、遠藤他(2003)の無意味輪郭図形の中から、連想価が上下それぞれ 30 位の図形を選択した。1 刺激系列は同一セット内の 5 種類の無意味図形から構成され、各命名容易性条件に対して 6 種類ずつ、合計 12 種類の系列が作成された。

姿勢課題: 左右非対称な 72 種類の正面姿勢セットを CG として作成した。同様に、正面姿勢の顔から目を削除し、背面姿勢セットを作成した。1 刺激系列は同一セット内の 5 種類の姿勢から構成された。各刺激系列は、ステップ数の多さ(1, 4)によって 2 条件に分けられた。正面と背面の姿勢課題はそれぞれ 12 種類の刺激系列から構成された。

擬似姿勢課題: 疑似姿勢は、正面姿勢材料の腕部のみを残し、頭部と胴体部分とを一体成形し、脚部を 1 本の支柱で表現された。1 刺激系列は姿勢課題と同様の手続で構成され、各ステップ数条件に 6 種類ずつ、合計 12 種類が用意された。

手続: 本再認課題は、刺激系列の記銘段階と再認刺激によるテスト段階から構成された。実験参加者の課題は、記銘段階で先行呈示される 5 種類のターゲット刺激の中に、テスト段階で後続呈示される 1 種類のテスト刺激が含まれているか否かを判断することであった。刺激系列は CRT 上に呈示され、各刺激の呈示時間と刺激呈示時間間隔はいずれも 1 秒であった。16 名の実験参加者は、数字、無意味図形、擬似姿勢の 3 種類を共通課題として順次受け、最後に、半数の実験参加者は正面姿勢課題を受け、残りの半数は背面姿勢課題を受けた。

課題遂行中における実験参加者の脳活動が NIRS 装置(日立メディコ社製、ETG-100)を用いて計測された。近赤外線(780nm; 830nm)の照射部と検出部の光ファイバーは 3cm 間隔で正方格子状に配置された。脳活動を計測する際には、12 チャンネル測定用のヘッドシェルが 2 つ用いられた。それぞれのヘッドシェルは実験参加者の左側頭部と後頭部とに固定された。時間解像度は 0.1 秒とした。

NIRS による計測区間として、試行ごとに以下の 12 種類を設けた。各計測区間は、1) pre: 最初の注視点が呈示される直前の 2 秒、2) fixation 1: 最初の注視点の呈示からターゲット画像が呈示されるまでの 2 秒、3) target 1 から 7) target 5: 最初のターゲット画像の呈示から 2 回目の注視点が呈示されるまでの間(2 秒×5 区間)、8) fixation 2: 2 回目の注視点の呈示からテスト画像が呈示されるまでの 2 秒、9) test: テスト画像が呈示されてから再認のキー押し判断が生じるまでの約 1 秒、10) confidence: キー押し判断の再確認から、判断の確信度評定とその再確認までの約 3 秒、11) post 1 から 12) post 2: confidence 区間の終了か

ら pre 区間の開始までの間(4 秒×2 区間)であった。確信度評定の再確認に後続する試行間隔は 10 秒(post1, 2: 8 秒; pre: 2 秒)であった。

### 結果と考察

実験参加者ごとに、pre 区間における Coxy-Hb の平均値と標準偏差を用いて、他の計測区間の z 得点を求め、条件ごとに z 得点を加算平均した。実験の結果は、Coxy-Hb が数字および無意味図形課題と比較して疑似姿勢と姿勢課題において局所的に増加することを示す。ここでは、疑似姿勢が姿勢と同様の結合処理を受けるか否かに注目する。疑似姿勢課題において、左側頭部では、1 ステップ条件における Coxy-Hb が主に、測定された領域の上部に位置するチャンネル 1、3、6(補足運動野に対応すると考えられる部位)と隣接するチャンネル 2、4、5、7(体性感覚野に対応すると考えられる部位)において 4 ステップ条件のそれよりも高いことが確認された。図 1 は、チャンネル 1 における z 得点の平均値を計測区間別に示す。本実験の結果は、疑似姿勢の観察において、実験参加者が疑似姿勢を連続する身体運動として処理することを示す。

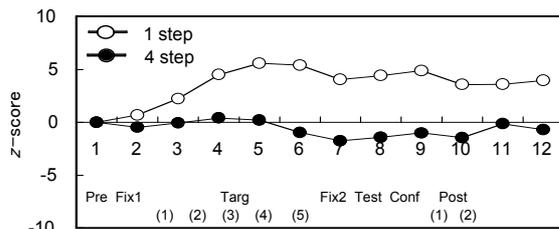


図 1 チャンネル 1 における  $C_{\text{Coxy-Hb}}$  (z 得点)

### ③ 無意味な姿勢を模倣する際の教示の効果

本研究の目的は、ヒトが必ずしも身体運動として捉える必然性を持たない複数の無意味な姿勢を一連の身体運動として「つないで」捉え得るか否かを検討することにあった。

そこで、本研究では、まず被験者に 8 種類の姿勢を継時呈示し、その後同一姿勢系列を観察しながら、自らの身体動作によってこれらの姿勢を模倣する課題を実施した。

また、本研究では、隣接姿勢間の結合処理が脳のどこで行われるのかを、NIRS を用いて特定する。

### 方法

実験参加者: 大学生 28 名が個別に実験に参加した。

実験計画: 本実験では、2 要因混合計画を用いた。第 1 要因は、姿勢を一連の身体運動

イメージとして「つなぐ」ことを教示するかどうか(教示あり、教示なし)であり、第 2 要因は姿勢呈示中の課題タイプ(観察、模倣)であった。第 1 要因は被験者間要因であり、第 2 要因は被験者内要因であった。

材料: 本実験で用いる姿勢の刺激セットとして、肩関節外転と肘関節屈曲とによる上肢の上げ下げ、膝関節屈曲による下肢の上げ下げを組み合わせ 44 種類の左右対称な正面姿勢を CG 画像として作成した。1 姿勢系列は 8 種類の姿勢から構成され、4 種類を作成した。

手続: 本観察模倣課題は、姿勢系列の観察段階と、観察段階で呈示された姿勢系列と同一の姿勢系列を観察しつつ模倣する模倣段階から構成された。実験参加者の課題は、観察段階では、継時呈示される 8 種類の姿勢を注意深く観察し、続く模倣段階では、自己の身体を用いて継時呈示される姿勢を連続的に模倣することであった。この観察と模倣を 1 セットとして、合計 4 セットを呈示した。

姿勢系列を構成する 8 種類の静止画像は、実験参加者から約 1m の距離に位置する 32 インチ液晶モニター上の中央に呈示された。各姿勢の呈示時間と刺激呈示時間間隔はいずれも 1 秒であった。12 名の実験参加者は、呈示される姿勢系列を連続する身体運動としてつないでイメージするように求められ(教示あり群)、残りの 16 名はその教示を与えられなかった(教示なし群)。

課題遂行中における実験参加者の脳活動が NIRS 装置(島津製作所社製、OMM-3000/16)を用いて計測された。近赤外線(780nm; 805nm; 830nm)の照射部と検出部の光ファイバーは 3cm 間隔で格子状に配置された。脳活動を計測する際には、48 チャンネル測定用の全頭型ヘッドシェルが用いられた。実験参加者の右側頭部と左側頭部のそれぞれに 24 箇所測定チャンネルが配置された。時間解像度は 0.13 秒とした。

NIRS による計測区間として、試行ごとに以下の 15 種類を設けた。各計測区間は、1) pre: 注視点が呈示される直前の 2 秒、2) fixation: 注視点の呈示からターゲット画像が呈示されるまでの 2 秒、3) target 1 から 10) target 8: 最初のターゲット画像の呈示から、休止の指示が画面に呈示されるまでの間(2 秒×8 区間)、11) post 1 から 15) post 5: target 区間の終了から pre 区間の開始までの間(2 秒×5 区間)であった。post 区間に後続する試行間隔は 2 秒(pre: 2 秒)であった。

### 結果と考察

実験参加者ごとに、pre 区間における Coxy-Hb の平均値と標準偏差を用いて、他の計測区間の z 得点を求め、条件ごとに z 得点を加算平均した。実験の結果は、観察条件で

は教示あり群と教示なし群の Coxy-Hb の間に有意差が認められないのに対して、模倣条件では、教示なし群の Coxy-Hb が教示あり群のそれと比較して有意に局所的な増加を示す。

ここでは、模倣条件において教示群間に有意な交互作用が認められたチャンネルに注目する(図2)。図3は、代表的なチャンネル(22)における z 得点の平均値を計測区間別に示す。模倣条件において、教示なし群における Coxy-Hb が主に、測定された左右両側の上部に位置する複数のチャンネル(一次運動野と運動前野)と、下部に位置する複数のチャンネル(前頭前野と上側頭葉)において教示あり群のそれらよりも高いことが確認された。本実験の結果は、無意味な姿勢の模倣において、意識的な結合処理の指示が効果を持たず、むしろ観察者が自発的に隣接姿勢間をつなぐ際に運動関連の特定領野付近で賦活が生じることを示唆する。

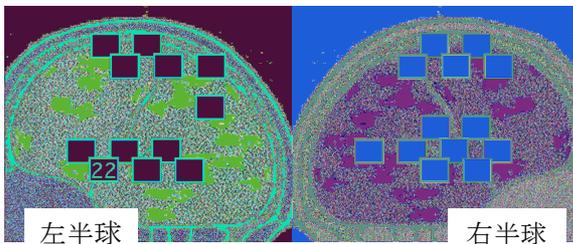


図2. 模倣条件において教示群間の Coxy-Hb に有意な交互作用が認められたチャンネル(□)

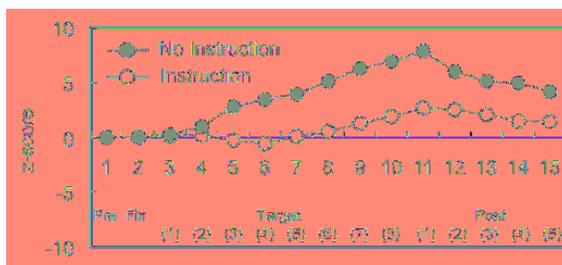


図3. チャンネル22における Coxy-Hb (z 得点)

## 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. Ito, H., Saito, H., Shiraishi, T., Shimizu, H., and Yamamoto, Y. (2008). Brain responses to meaningless postures as measured by near-infrared spectroscopy. *NeuroReport*, 19(14), 1411-1415. 査読有

[学会発表] (計8件)

- ① 井藤寛志、齋藤洋典、大井京、行為の理解に関する研究 (VI) 無意味な姿勢の

観察と模倣における近赤外分光法 (NIRS) を用いた特徴分析、日本心理学会第74回大会、(発表予定)、大阪大学(大阪府)

- ② 齋藤洋典、白石知子、大井京、井藤寛志、劉濤、認知と行為に関する研究 (8) マネキンを用いた看護動作の模倣学習における NIRS による特徴分析、日本心理学会第73回大会、2009年8月26日、立命館大学(京都府)
- ③ Saito, H., Ito, H., Oi, M., & Shiraishi, T. Integrative perception of partial humanlike body postures: A nearinfrared spectroscopy study. *Proceedings of the 1st International Conference on Asia Pacific Psychology*, 215-216. August 24, 2009. Yonsei University (Seoul)
- ④ Ito, H., Saito, H., Oi, M., & Li, Z. Activities in the prefrontal and parietal cortices are modulated by preparation of imitation. A near-infrared spectroscopy study. *Proceedings of the 8th Biennial Meeting of the Society for Applied Research in Memory & Cognition*, 57. July 29, 2009. Heian-kaikan (Kyoto)
- ⑤ Alberto, L. G., Saito, H., Oi, M., Ito, H., & Li, Z. Hands occlusion in the imitation of meaningless gestures. *Proceedings of the 8th Biennial Meeting of the Society for Applied Research in Memory & Cognition* 59-60. July 29, 2009. Heian-kaikan (Kyoto)
- ⑥ 井藤寛志、齋藤洋典、白石知子、清水英樹、山本裕二、行為の理解に関する研究 (V) 姿勢画像と物体画像の再認記憶における近赤外分光法 (NIRS) を用いた検討、日本心理学会第72回大会、2008年9月19日、北海道大学(北海道)
- ⑦ Ito, H., Saito, H., Shiraishi, T., Shimizu, H., & Yamamoto, Y. Brain response in the processing of sequentially presented meaningless postures as measured by NIRS. *Proceedings of the 6th International Conference of Cognitive Science*, 322-326. July 28, 2008. Yonsei University (Seoul)
- ⑧ Saito, H., Shiraishi, T., Ito, H., Oi, M., & Rumme, P. True imitation learning of nursing actions: A NIRS study with human and dummy patients. *Proceedings of the 6th International Conference of Cognitive Science*, 341-345. July 28, 2008. Yonsei University (Seoul)

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

井藤 寛志 (ITO HIROSHI)

愛知大学・文学部・助教

研究者番号：20464141