

# 行為の生成とその言語化は機能的にどこまで等価なのか？

## 行為の先行遂行と後続観察課題を用いた NIRS 研究

### Functional equivalence between action execution and its verbalization: A NIRS study using observation with and without action execution

齋藤洋典, 大井京, 王宏陽

Hirofumi Saito, Misato Oi, HongYang Wang

名古屋大学大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Science, Nagoya University

saito@is.nagoya-u.ac.jp

#### Abstract

To examine the functional equivalence between hand action and its verbalization, we measured brain activity after action execution and/or action verbalization using near-infrared spectroscopy. The participants conducted the observation of a visually presented manipulable object in the observation task, and the production of hand gesture and/or overt verbalization of the action to a presented object in the performance task. The study consisted of three experimental groups and one control group. The experimental and control groups differed in the order of two tasks, i.e. the first performance task in the experimental groups vs. the first observation task in the control group. And the three experimental groups differed in the demand of performance task: production of hand gesture in the “action”(A) group, overt verbalization of the action in the “speech” (S) group, and simultaneous production of “action and speech” in the A & S group. We analyzed concentration of oxy-hemoglobin in the observation task of the four groups. The action and the A & S groups, including action execution, showed higher activation than the control group in the left premotor cortex (PMC). Instead, the speech and the A & S groups, including overt verbalization, showed lower activity than the action group in the right inferior frontal gyrus (IFG) and superior temporal sulcus (STS). These results suggest that during the subsequent observation task without performance, the prior experience of action execution increases activity in the left PMC, whereas the prior experience of action verbalization decreases activity in the right IFG and STS.

**Keywords** — **action, verbalization, NIRS, observation, functional equivalence**

#### 1. 目的

行為に関連する4種類の活動（行為を生成すること、心的にシミュレーションすること、言語で言い表すこと、そして観察すること）の間には、機能的等価性（functional equivalence）の存在が指摘されている [1]。しかしそれらの活動がもたらす運動表象は、それぞれの活動に関与する脳の賦活領域と賦活量の観点に立つと、厳密には、どの程度まで、何が

同じであり、何が異なるのだろうか。つまり、例えば、ボールを見ること、つかむ動作をすること、つかむ動作をせずにつかむ動作について話すこと、そしてつかむ動作をシミュレーションすることは、脳のはたらきとして、何がどこまで同じで、どこが異なるのだろうか。

通常、行為と言語を巡るこの種の疑問は、行為が遂行された時や、その行為に関連する発話が行われた時に向けられている。このことは、実験科学が育んできた研究パラダイムが、観察対象とする現象の即時性を重視することと無縁ではない。しかし、行為や身体運動の遂行が、時間圧の中で即時性を求められるのに対して、言語はその制約から比較的自由である。なぜなら、言語は身体を巡るそうした制約を解消する為に、「今ここ」を超える機能として生み出されてきた経緯をもつからである。このゆえに、言語は「今ここ」を超える未来への預言性と過去への遡及性を備えている。

行為の即時性や身体への制約性に立脚すると、行為の遂行に対する言語の代理機能が注目される。しかし、言語の本質を勘案すると、言語の運用は認知システムへの利点だけではなく、功罪は相半ばするとも考えられる。そこで、本研究では、行為の遂行とその言語化が終了後の両処理に関わる脳活動に注目する。

よって、本研究の目的は、行為の生成とその言語化に関わる脳活動の差異を、広範囲にわたる観点に立脚し、解明することにある。この目的を達成するために、本研究では、身体活動を伴う脳活動の計測に相対的な利点を有する近赤外分光法（near infrared spectroscopy: NIRS）を用いて、手による操作可能な人工物に対する目標指向的な手の動作の遂行と、その動作の言語化が終了した後の脳の賦活を比較し、行為の遂行と言語化との機能的等価性を検討した。

#### 2. 方法

##### 2.1. 実験参加者

54名の大学生（男性34名、女性20名、平均年齢20.06歳）が個別に実験に参加した。すべての実験参加者が右利きであることを、Edinburgh Handedness

Inventory [2] を用いて確認した。本実験の実施にあたり、実験参加者に実験について説明した後に、文書による同意を得た。

## 2.2. 材料

左右いずれかの手で、物を「扱う」身振りとは、その物の「動き」を示す身振りとは、生成可能な10種類の対象物の写真を選定した。図1は、本実験において行為を誘発するために用いた10種類の人工物の写真を示す。10種類の写真の中の「1. グラス」は、実験参加者に課題の内容を説明する例として用いられた。

## 2.3. 手続

本実験は、視覚的に呈示された人工物の写真の観察のみが求められる観察課題 (observation task) と、視覚呈示された人工物に対する手のジェスチャー生成が求められる遂行課題 (performance task) とから構成された。実験参加者は、2種類の課題の実施順序によって、実験群と対照群とに無作為に振り分けられた。実験群は先に遂行課題を実施し、その後に観察課題を実施し、対照 (control: C) 群は観察課題を先に実施し、その後に遂行課題を実施した。実験群は、最初の遂行課題で、10種類の人工物の写真をそれぞれ10秒間ずつ視覚的に呈示されるが(図1参照)、人工物に対する課題要請に応じて3群に分類された。3種類の実験群は、人工物に対する手を用いた行為の遂行のみを求められる action (A) 群と、行為を遂行せずに行為の言語化 (verbalization) のみを求められる speech (S) 群と、そして行為の遂行と発話の同時遂行を求められる action & speech (A & S) 群から構成された。

A 群には、15名の実験参加者が割り当てられ、彼らは対象物の写真 (例えばボール) を呈示され、ボールに対する手を用いた動作のレパトリーの中か

ら各実験参加者が思いついた動作 (例えば、投げる動作) の遂行を求められた。具体的には、左手か右手で行うジェスチャーの生成を求められた (action gesture: AG)。この AG とは別に、同一の写真を再度呈示され、その対象物が示す運動を手で表現するジェスチャーの生成 (例えば、投げられたボールが示す運動を手で表現すること) を求められた (motion gesture: MG)。

S 群 (12名) の遂行課題は、対象に対する action と motion の手による生成ではなく、手が行う動作 (AG と MG) の視覚イメージを浮かべて言語で表現することであった。そして、A & S 群 (13名) の遂行課題は、A 群と S 群の遂行課題を同時に実行すること、つまり、手で運動表現を実行しながら、その手の動作を言語的に表現することであった。遂行課題の終了後に、3種類の実験群は遂行課題で呈示された人工物の写真を再度呈示され、単に観察のみを実施する観察課題を受けた。

これに対して、対照群 (14名) は、最初に観察課題を受け、その後に A 群と同様に行動の遂行課題を受けた。図2は、本研究で用いた3種類の実験群と1種類の対照群の群構成を示す。

遂行課題と観察課題において、各刺激の呈示手続は共通であった。刺激は、32インチのモニター (LDT32IV, 三菱電気) に呈示され、実験参加者の観察距離は、モニターからおおよそ120cmであった。各試行では、最初に、白色の背景に、黒色で注視点 (+) が1秒呈示され、続いて、人工物の写真が10秒呈示された後に、白色の背景のみが14秒呈示された。

実験参加者には、対象物と身振りあるいは発話との関係に「正解」は存在しないので、実験参加者が思いついた身振りあるいは発話を、自由に生成するように教示を与えた。実験における教示はすべて口頭

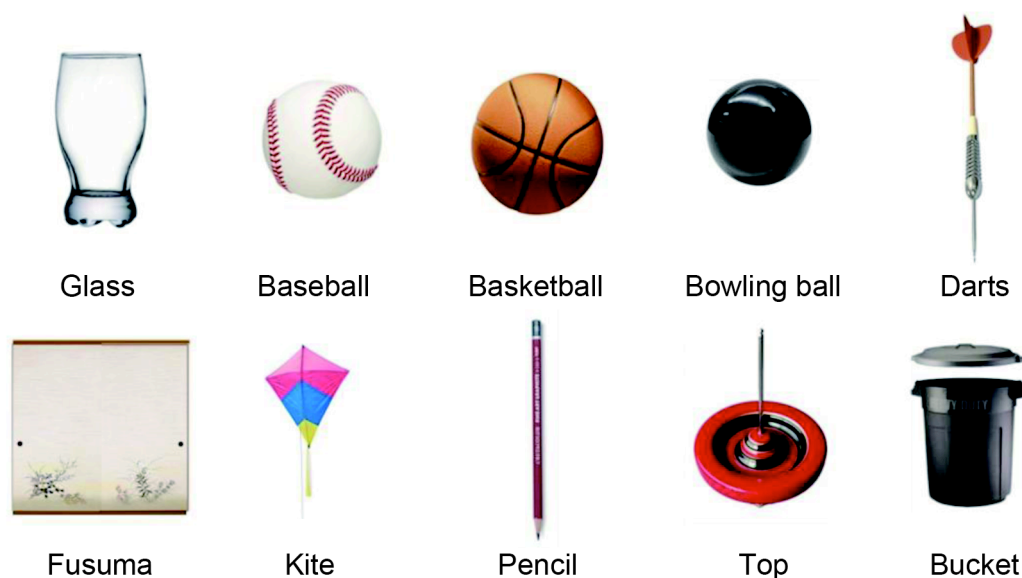


図1 本実験で用いた行為を誘発するための10種類の人工物の写真

で与えられた。

A群における身振りの生成は、actionとmotionが、左右いずれの手による実施を求められるかに応じて、4種類のブロックから構成された。各ブロックでは、9種類の刺激材料が、継時的に呈示された。各ブロックにおける9種類の刺激材料の呈示順序は、実験参加者ごとに無作為化された。

4種類のブロックの実施順序は、実験参加者が遂行すべき身振りタイプ（actionまたはmotion）を混乱しないように、いずれか一方の身振りの遂行を左右の手でそれぞれ実施した後に、残り2回のブロックをもう一方の身振りタイプで遂行した。この規則を守った上で、actionとmotionの実施順序は、被験者間で相殺された。

実験参加者は、各ブロックの開始前に、当該課題の身振りのタイプがactionとmotionと、左右いずれの手による実施であるのか、その組み合わせについて具体的な教示を受けた。

各刺激は、左手による身振りの生成が求められる際には、画面の左側に呈示され、右手の際には、画面の右側に呈示された。

S群における発話の生成及びA & S群における発話と身振りの同時生成は、A群と同様の手続きで行われた。

2.3. NIRS 測定

48チャンネルのNIRS装置（FOIRE-3000/16，島津製作所）を用いて、左右各半球の24箇所（チャンネル）の酸素化ヘモグロビンの濃度変化（ $C_{oxyHb}$ ）を計測した。図3は、左右半球におけるチャンネルの位置を示す。各チャンネルは、3cm間隔で配置された投光器（emitter）と受光器（detector）によって構成され、サンプリングレートは約7Hzであった。

NIRS測定区間は、各試行開始前の2秒間をベー

スラインとして、注視点（1秒）、刺激呈示（test）区間（2 × 5秒）と、ポスト（post）区間（2 × 5秒）によって構成され、ベースラインに基づいて、各測定区間における $C_{oxyHb}$ のz得点を算出した。

3. 結果と議論

3種類の異なる先行体験（A, S, A & S）が、後続の観察課題における脳の賦活に及ぼす影響もたらすかを検討するために、対照群で最初に実施された観察課題における脳の賦活を基礎として、3種類の実験群における観察課題での脳の賦活量（ $C_{oxyHb}$ ）を比較した。具体的には、刺激呈示区間の $C_{oxyHb}$ に対して、2要因の分散分析を、群（A, S, A & S, C）を実験参加者間要因として、刺激呈示区間（5区間）を実験参加者内要因とする混合要因計画で、チャンネルごとに実施した。本研究では、実験群が、対照群よりも有意に高い脳賦活量を示すことを予測しているために、群と刺激呈示区間の有意な交互作用を示したチャンネルに注目した。

分析の結果、有意な交互作用が、チャンネル2 [F(3, 50) = 2.64, p < .05]、チャンネル41 [F(3, 50) = 2.78, p < .05]、チャンネル43 [F(3, 50) = 3.48, p < .05]で確認された。各チャンネルの位置をOkamoto et al. [4]に基づいて推定すると、チャンネル2は左運動前野（premotor）、チャンネル41は右下前頭回（inferior frontal gyrus: IFG）、チャンネル43は右上側頭溝（superior temporal sulcus: STS）におよそ該当する。

図4は、左右両側の運動前野（チャンネル2, 26）、下前頭回（チャンネル15, 41）近傍、上側頭溝（チャンネル20, 43）近傍における脳の賦活量を示す。

手による運動の遂行を含むA群とA & S群とは、左の運動前野において、対照群よりも有意に高い賦活を示した [[A vs. C: F(1, 27) = 4.43, p < .05]; A & S

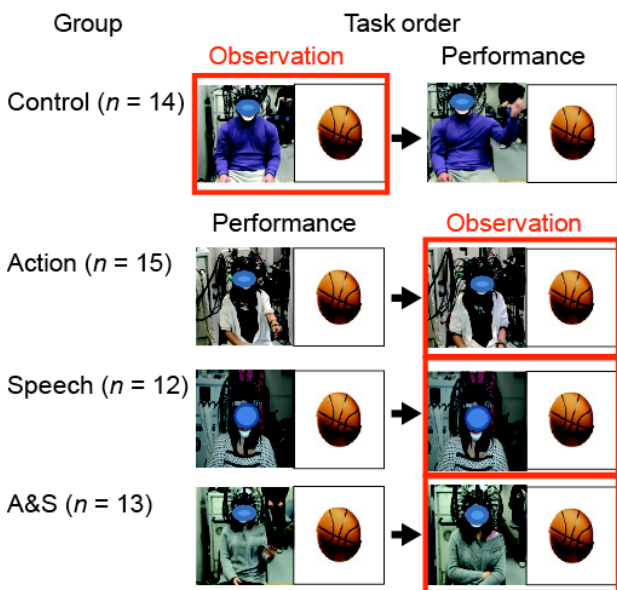


図2 1種類の対照群と3種類の実験群で用いられた遂行課題と観察課題の実施順序

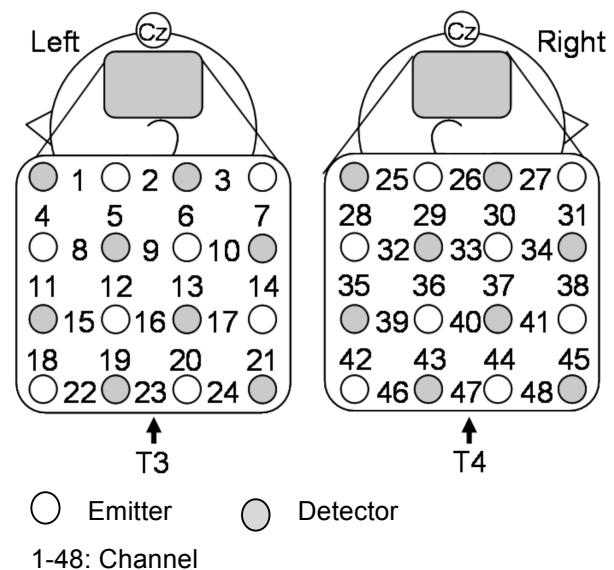


図3 投光器（emitter）と受光器（detector）によって構成されるNIRSチャンネルの位置

vs. C:  $F(1, 24) = 3.81, p < .05$ ]]. しかし、右の IFG 近傍と STS 近傍では、両群と対照群の間で有意な差は確認されなかった。これに対して、言語化を含む S 群と A & S 群とは、A 群よりも有意に低い賦活を、右の IFG 近傍 [[S vs. A:  $F(1, 26) = 5.04, p < .05$ ]; A & S vs. A:  $F(1, 25) = 6.01, p < .05$ ]] で示した。右の STS 近傍においても、A & S 群と S 群は A 群よりも低い賦活を示したが、有意な差は A & S 群と A 群間においてのみ認められた [[A & S vs. A:  $F(1, 25) = 6.24, p < .05$ ]] (図 4 参照)。

これらの結果は、2 種類に要約される。第 1 に、先行遂行課題で、人工物に対する手による行為を先行して遂行することが、後続観察課題で、同一人工

物のみを観察すると左運動前野に賦活をもたらす。第 2 に、先行遂行課題で、対象物に対する行為を言語化すると、右の IFG 近傍と STS 近傍の賦活が低減する。

#### 4. 結論

本研究の実験操作上の独自性は、参加者が遂行した行為自体に客観的な正解が与えられていない「あいまいな遂行課題」を「完了」した後に、遂行行為の想起を明示的に求めている観察課題を実施している点にある。

そして本研究の重要性は、先行遂行課題で言語化を実施した S 群だけではなく、遂行課題を実施した

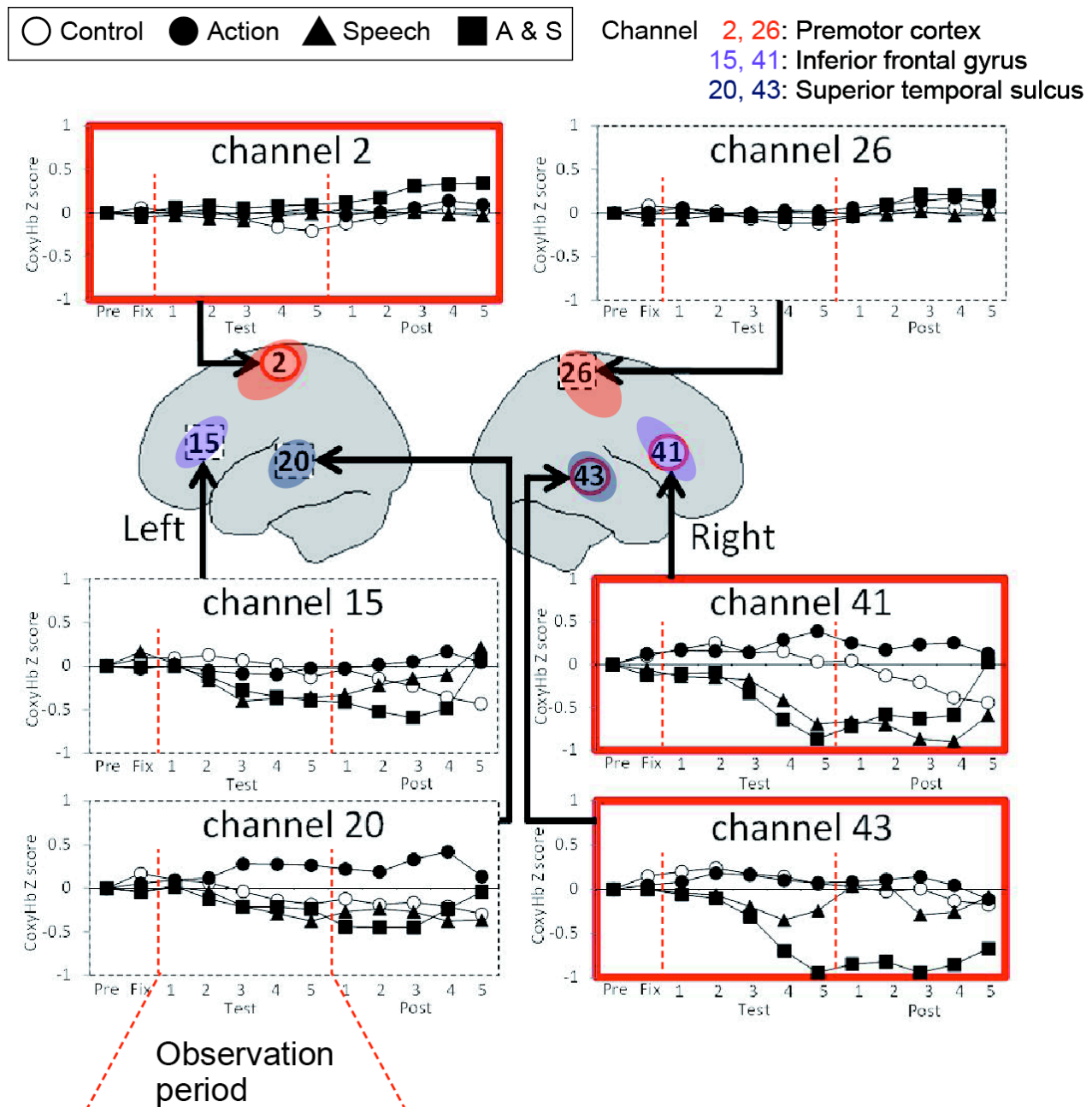


図4 観察課題における4群の酸素化ヘモグロビン濃度変化量。Channel 2, 41, 43は群と刺激呈示区間の有意な交互作用を示す

A&S 群の脳の賦活が、運動表象の処理に關与する IFG と STS 近傍において、A 群よりも低い賦活を確認した点にある。すなわち、本実験結果は、先行課題における行為の遂行が、後続課題における手の運動イメージの自発的な想起に關与するのに対して、先行課題における行為の言語化が、後続課題における手の運動イメージの自発的な想起あるいはその利用の制限に關与することを示唆する。

### 参考文献

- [1] Grézes, J. & Decety, J. (2001). Functional anatomy of execution, mental simulation, observation, and verb generation of actions: a meta-analysis. *Human Brain Mapping*, 12, 1–19.
- [2] Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 9, 97–113.
- [3] Okamoto M, Dan H, Sakamoto K, Takeo K, Shimizu K, Kohno S, et al. (2004). Three-dimensional probabilistic anatomical cranio-cerebral correlation via the international 10-20 system oriented for transcranial functional brain mapping. *Neuroimage*, 21, 99–111.