

脳内での言語と運動の予測処理の関係

The relationship between language prediction and motor prediction: An fMRI study

高橋 慶[†], 横山 悟[‡], 吉本 啓[†], 川島 隆太[†]
Kei Takahashi, Satoru Yokoyama, Kei Yoshimoto, Ryuta Kawashima

[†]東北大学, [‡]千葉科学大学
Tohoku University, Chiba Institute of Science
kei-ta@idac.tohoku.ac.jp

Abstract

Predicting upcoming information is one of the important cognitive functions in our daily life. Prediction occurs for many kinds information modalities such as language and motor. Previous study has suggested the existence of common predictor among language and motor, however, have not clarified yet. The current study aimed to reveal the common neural mechanism that works for prediction process of language and motor by using functional magnetic resonance imaging (fMRI). As result, we detected two common regions that work for both language prediction and motor prediction. This suggests these areas have common roles for language and motor prediction, that is, extracting rules from sequential word string or motion and processing predicted information before the actual input appears.

Keywords — Prediction, Language, Motor, fMRI

1. はじめに

人間が文を理解する際に、理解に必要な情報が欠けている、もしくは現れていない場合でもそれを予測、または補完することで理解に至ることができる。これは円滑なコミュニケーションにとって非常に重要な認知機能であると考えられる。先行研究において、文理解中に言語情報が予測されるといったことは心理言語学的に検証されてきた [1]。特に実時間上の文理解では即時的にまだ現れていない言語情報が予測されていることが指摘されている。一方、神経科学的研究における予測処理研究では主に運動（モーター）の予測処理が注目されており、どのような過程で運動が予測されるのかについてのモデルも提案され、その神経基盤の解明が進んでいる [2], [3], [4], [5]。このように言語理解においても運動においても予測処理が行われていると考えられるが、それぞれの

予測処理の関連性について、特に [6] は言語情報の予測と運動の予測との関連について触れ、いわゆるブローカ野が共通した予測システムであることを示唆しているが、検証はまだなされていない。しじそこで本研究では、言語と運動という異なる情報もダリティーについて、それぞれの情報予測に共通した神経基盤が存在するか、機能的磁気共鳴法 (fMRI) によって明らかにすることを目的とした。

2. fMRI 実験

文理解中の予測処理をしている際の脳活動と運動予測に関与する神経基盤を観察し、両者に共通して賦活する脳内領域の同定を行った。脳機能計測には Phillips 社製 Intera Achieca 3.0T を用いた。撮像パラメーターは TR=1.5, スライス数=24 枚, thickness=1mm ボクセルサイズ=3×3×3 (ミリ) であった。また、本実験は東北大学医学系研究科倫理委員会において承認を受け、被験者には課題内容を説明し、書面上で同意を得た上で遂行された。

2.1 被験者

30 人の健常な右利きの日本語母語話者が本実験に参加した (男性 19 人, 女性 11 人, SD=1.4 歳)。

2.2 刺激, 課題

実験デザインは Mixed event-related デザインであった [7]。課題については先行研究 [3] に倣い線形予測課題と統制課題として繰り返し課題の 2 種類を用意し、文理解、運動それぞれについて

計4課題おこなった。なお、運動予測には手首、腕、脚、足首の画像を用いた [8]。

線形予測課題では、図1に示すように、文または動きの画像を提示し、被験者は5つ目に現れる単語、もしくは動きがどのようなものか予測できるか (predictable 条件, 60 試行)、それとも予測できないか (unpredictable 条件, 40 試行) を判断した。

一方、繰り返し課題では、単語、もしくは動きの画像を提示し、被験者はその提示された刺激中に同じものがないか (non-replication 条件, 60 試行)、それとも同じものがあるか (replication 条件, 40 試行) ボタン押しにより判断した。使用した刺激は線形予測課題と統制するため同一であった。

全ての課題において、提示される刺激数は1試行につき4つ、それぞれ600ミリ秒提示した。被験者は最後の刺激が提示された時点から3秒以内にできるだけ早くボタンを押すこととした。トライアル間には固視点が3600ミリ秒提示された。



図1 実験手続き (線形予測課題)

2.3 分析

行動データの解析として、正答率、反応時間について、各課題における各条件間で分散分析により比較を行った。一方、MRI 画像解析にはMatlabソフトウェア上で動作するSPM8を用い、得られた画像の標準的な前処理を行った上で比較を行った。比較方法は先行研究 [3] に基づいた。言語情報の予測中の脳活動については、言語の線形予測課題の predictable 条件から、繰り返し課題の non-replicated 条件を差分した。unpredictable 条件との比較ではない理由は、課題自体が予測させるものであるため、予測不可能な場合でも被験

者が予測処理を行っている可能性があるため、差分比較した場合に両条件間でキャンセルされる可能性があるためである。分析には被験者が4つ目の刺激を処理、予測するタイミングの画像を用いた。

同様に、運動の予測中の脳活動は、運動の線形課題の predictable 条件から、繰り返し課題の non-replicated 条件を差分することで同定した。分析には線形予測課題同様、4つ目の刺激を処理する際の画像を用いた。その結果を用いて、conjunction 分析を行うことで言語、運動の予測に共通した領域を同定した。次に、有意な脳活動の強度であることを確認するために1サンプルのt検定を行った。また、観察された領域において脳活動の強さが言語予測、運動予測間で違いがあるか、Region of Interest (ROI)解析を行うことで検証した。

3 結果

3.1 行動データ

表1に正答率についての結果を示す。線形予測課題では、predictable - unpredictable 間で言語予測では有意な差が見られなかったのに対し、運動においては有意な差が見られた ($P < .05$)。一方、統制課題である繰り返し課題では、言語、運動両モダリティーについて non-replication - replication 間で正答率に有意差が見られた ($P < .05$)。

反応時間についての結果を表2に示す。言語モダリティーでは線形予測課題の predictable - unpredictable 間、繰り返し課題の non-replication - replication 間で有意な差は見られなかったが、運動モダリティーについては両条件間で有意な反応時間の差が見られた。

tasks	modalities	conditions			
		predictable	unpredictable	non-replication	replication
prediction	language	.92(.05)	.93(.06)		
	motor	.89(.09) $P < .05$.79(.12)		
control	language			.94(.05) $P < .05$.90(.10)
	motor			.90(.08) $P < .05$.85(.12)

表1 正答率の結果

tasks	modalities	conditions			
		predictable	unpredictable	non-replication	replication
prediction	language	994.2(233.1)	1037.8(272.3)		
	motor	1033.1(219.1)	1146.5(243.5)		
control	language			1089.3(204.5)	978.2(212.2)
	motor			1072.3(214.2)	986.1(225.1)

表 2 反応時間の結果

3.1 fMRI データ

言語予測中では、左下前頭回、及び、中側頭回に有意な賦活を観察した(図2)。運動の予測中では、左後中心回、右中後頭回、右内側前頭前野において有意な賦活が見られた(図3)。

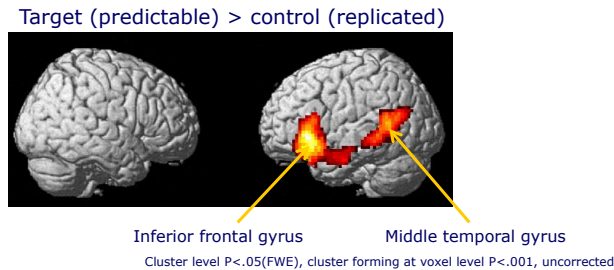


図 2 言語予測中の賦活領域

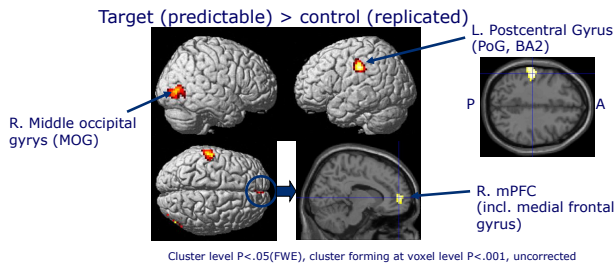


図 3 運動予測中の賦活領域

本研究の目的である両モダリティーの予測に共通した領域として、下前頭回、および中側頭回に共通した脳活動の上昇が観察された。加えて、ROI解析の結果、下前頭回では言語情報の予測に有意に高い賦活が認められたのに対し、中側頭回では言語—運動間で有意な差はみられなかった(図4)。

4 考察

言語情報と運動の予測、補完に共通して関与する脳内領域として、左下前頭回、および左中側頭回を同定した。言語モダリティーについては、線形

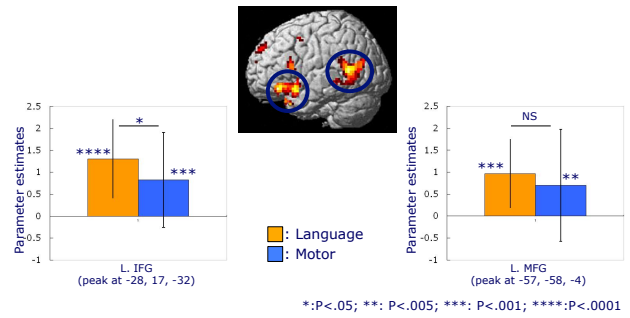


図 4 両モダリティーの予測に共通した領域。グラフは ROI 解析、及び1サンプルの t 検定の結果を表す

予測課題、繰り返し課題間で同一の刺激を用いているため、刺激の違いや記憶負荷についての脳活動、および語彙意味的处理による賦活は解析上相殺されている。同様に運動モダリティーについても課題間で同一の刺激を用いているために刺激量の違いによる脳活動は相殺されている。

[5] において、いわゆるブローカ野の予測処理への関与が示唆されていたが、本実験により、示唆通り同領域に賦活を認める結果となった。また [5] では同領域は入力される刺激から線形的な規則を抽出する役割があると示唆している。また、左下前頭回は文理解中に統語構造を構築する役割があることが以前より明らかになっており、ROI解析の結果、言語モダリティーの方が運動モダリティーよりも有意に脳活動が高かったのは、運動モダリティーでは呈示される画像列より動きの線形的規則を同定していたのに対し、言語モダリティーでは未入力である語を予測し、更にその情報を用いて統語処理を行っていたため脳活動がより上昇したことによると考えられる。

本実験では左下前頭回に加えて左中側頭回においても有意な賦活を認めている。本領域は、文の意味理解に加えて学習した規則の想起と操作、援用に関与すると報告されている[9]。このことから、これら2つの神経基盤は言語、運動の予測処理過程に共通して、どのような規則に従っているか分析、抽出を行い、それをもとに未入力の情報予測し、処理する役割を担っていると推測できる。

結語

本研究は言語予測と運動予測について着目し、これらに共通して機能する神経基盤の同定を試みた。その結果、左下前頭回、左中側頭回の2領域が共通領域として認められた。今後、各予測に特化したメカニズムが存在するかどうか同定すること、また、運動と言語以外の情報モダリティーの予測処理との関係性についても解明し、予測処理全体としてのモデル化が期待される。

謝辞

本研究は科学研究補助金（挑戦的萌芽，課題番号 22652037）の援助を受けて行われた。

参考文献

- [1] Kamide Y, (2008) Anticipatory Processes in Sentence Processing *Language and Linguistics Compass* **2/4**, pp.647-670.
- [2] Leaver AM, Van Lare J, Zielinski B, Halpern AR, Rauschecker JP, (2009) Brain Activation during Anticipation of Sound Sequences, *The Journal of Neuroscience*, **29(8)**, pp. 2477-2485.
- [3] Bubic A1, von Cramon DY, Jacobsen T, Schröger E, Schubotz RI, (2009), *Journal of Cognitive Neuroscience*, **21(1)**, pp. 155-168.
- [4] Schubotz RI, (2007), Prediction of external events with our motor system: towards a new framework, *Trends in Cognitive Science*, **11(5)**, pp. 211-218.
- [5] Fiebach CJ, Schubotz RI, (2006), Dynamic anticipatory processing of hierarchical sequential events: a common role for Broca's area and ventral premotor cortex across domains? *Cortex*, **42(4)**, pp. 499-502.
- [6] Simó LS, Krisky CM, Sweeney JA, Functional neuroanatomy of anticipatory behavior: dissociation between sensory-driven and memory-driven systems, *Cerebral Cortex*, **15(12)**, pp. 1982-1991
- [7] Visscher KM, Miezin FM, Kelly JE, Buckner RL, Donaldson DI, McAvoy MP, Bhalodia VM, Petersen SE, (2003), Mixed blocked/event-related designs separate transient and sustained activity in fMRI, *Neuroimage*, **19(4)**, pp. 1694-708.
- [8] Sakreida K1, Schubotz RI, Wolfensteller U, von Cramon DY, (2005) Motion class dependency in observers' motor areas revealed by functional magnetic resonance imaging, *Journal of Neuroscience*, **25(6)**, pp. 1335-1342.
- [9] Weisberg J, van Turennout M, Martin A, A neural system for learning about object function, *Cerebral Cortex*, **17(3)**, pp. 513-521