

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 4 月 29 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2012

課題番号：22652037

研究課題名（和文）

人間の言語理解における情報補完プロセスの解明

研究課題名（英文）

How we predict/complement linguistic information in brain?

研究代表者

高橋 慶 (KEI TAKAHASHI)

東北大学・加齢医学研究所・教育研究支援者

研究者番号：10547293

研究成果の概要（和文）：

人間が文を理解する際に必要な情報が欠けている場合、どのように予測、補完を行っているのかを明らかにする事を目的とした。先行研究では文理解中に予測、補完処理が行われることが指摘されていたが、その神経基盤は解明されていなかった。そこで本研究は脳機能計測手法を用いることにより、脳内の予測、補完処理に關与する神経基盤の解明を試みた。その結果、言語関連領域を中心に有意な脳活動を観察した。このことから、人間は文理解中に実際に現れていない情報についてもすでに先に統語・語彙意味処理していることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：

During comprehending sentence, even if required linguistic information is lacked in a sentence, we can understand the sentence. Previous studies have already pointed out that we have cognitive function to predict or supply the lacked information, however unfortunately, its neural mechanism was still unknown. Therefore, the current study aimed to reveal how our brain predict or supply linguistic information by measuring cortical activation. The result showed increased activation in language-related regions such as so-called Broca's area and so on. This suggests that our brain rapidly starts syntactic and lexico-semantic processes in terms of already constructed sentence construction.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	900,000	0	900,000
2011 年度	900,000	270,000	1,170,000
2012 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,400,000	450,000	2,850,000

研究分野：人文学

科研費の分科・細目：言語学

キーワード：心理言語学、神経言語学、作業記憶

1. 研究開始当初の背景

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 (Kamide 2009, レビュー)。

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。また、補完処理についてはこれまで音韻・音声処理についてのみ焦点が当てられていた (Hoen, Collet and Meunier, 2009 など)。神経科学的研究においては、先行研究において運動 (モーター) の予測モデルが提案されており、その神経基盤についても解明が進んでいる。特に Fiebach and Schubotz (2006) 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されていない。

2. 研究の目的

そこで本研究は、文理解中に人間がどのように欠けている、まだ現れていない情報をどのように予測、補完しているのか、その神経メカニズムを明らかにすることを目的とした。予測、補完が行われているならば、有意な脳活動の上昇が観察されるはずである。特に、文中に現れていない言語情報について、どのレベルまで処理されるのか、すなわち、音韻処理まで行うのか、語彙意味情報まで行うのか、それとも統語処理まで行い、実際にはまだ言語情報が出現していなくても文構造を構築してしまうのかについてモデル化することを目的とした。加えて、運動の予測、補完と言語情報の予測、補完との関連が先行研究に置いて指摘されていることから (Fiebach and Shubotz, 2006)、運動の予測と言語の予測は同じ神経基盤で行われている可能性、それぞれ異なった情報モダリティーごとに独立した予測システムが存在する可能性が挙げられる。よって、言語と運動との関連についても脳機能計測することによって明らかにすることについても目的とした設定した。

3. 研究の方法

まず文理解中の予測、補完に関与する神経基盤を観察し、次に、運動予測に関与する神経基盤を観察した。そして両者を比較することで文理解中の補完、予測処理に関与する脳内領域の同定に加え、運動の予測処理との共通性、独立性についても検証した。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であった。なお、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。

(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) 手続き

実験デザインは Mixed event-related デザインであった (Visscher et al., 2003)。課題については線形予測課題と統制課題として繰り返し課題の2種類を用意した (cf. Bubic et al., 2009)。

線形予測課題を選択した理由は、不完全な一連の文、もしくは動きを処理した際に、被験者は情報が欠けていることを教示により予め知っているため、情報を予測、補完すべきか判断しなくてはならないためである。

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 (予測可能条件、60試行)、それとも予測できないか (予測不可能条件、40試行) をランダムに判断した。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あるか (繰り返し条件、60試行)、それとも同じものがないか (繰り返しなし条件、40試行) をランダムにボタン押しにより判断した。

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1参照)



図1：実験手続き (線形予測課題)

(3) 解析

MRI 画像解析には Matlab ソフトウェア上で動作する SPM8 を用いた。比較条件は先行研究に基づき (Bubic et al., 2009) 言語情報の予測中の脳活動は、言語の線形予測課題の予測可能条件から、繰り返し課題の繰り返しなし条件を差分した。予測不可能条件との比較ではない理由は、課題自体が予測課題であるため、予測不可能条件でも予測処理を行っている可能性があるためである。

同様に、運動の予測中の脳活動は、運動の線形課題の予測可能条件から、繰り返し課題の繰り返しなし条件を差分することで同定した。また、言語予測と運動予測に共通した神経基盤は、conjunction 分析により同定した (図2参照)。

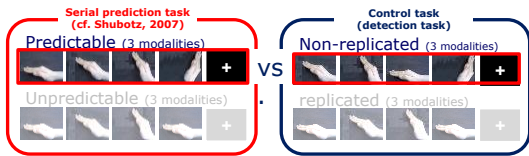


図 2：解析上での比較（運動）

4. 研究成果

(1) 行動データ

① 正答率

正答率についての解析結果を図 3 に示す。

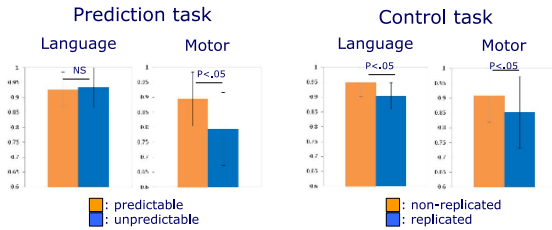


図 3：正答率

線形予測課題では言語では予測可能条件-予測不可能条件間で正答率に有意な差は観察されなかったのに対し、運動では予測可能条件の方が予測不可能条件に比べ有意に正答率が高かった ($p < 0.05$)。一方、統制課題である繰り返し課題では、言語、運動共に繰り返しなし条件の方が、繰り返しあり条件に比べ、有意に正答率が高かった。また、課題間においては言語、運動共に正答率に有意な差は観察されなかった。

② 反応時間

反応時間についての解析結果を図 4 に示す。

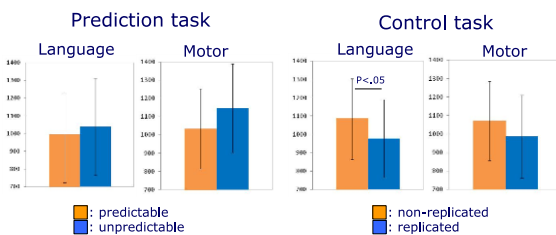


図 4：反応時間

線形予測課題については言語、運動共に有意な差はみられなかった。一方、統制課題である繰り返し課題では、言語において繰り返しなし条件の方が、繰り返しあり条件に比べ有意に反応時間が長かった ($p < 0.05$)。

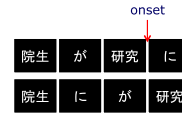
(2) 機能画像データ

① 言語情報予測、補完に関する神経基盤

言語情報を予測、補完している際の脳活動を図 5 に示す。

• Imaging data

- Language prediction



Target (predictable) > control (replicated)

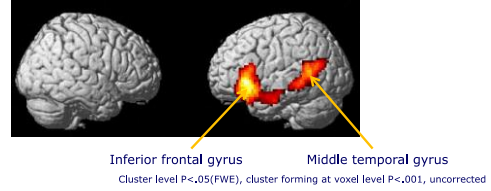


図 5：言語情報予測中の脳活動

言語情報予測中では、左下前頭回、及び、中側頭回に有意な賦活を観察した。また、同領域について、運動の予測処理と独立であるかどうかを調べるために ROI (Region of Interest) 解析、及び one-sample T test を行った結果、左下前頭回において運動の補完、予測に比べ有意な賦活であったことが確認された一方、左中側頭回においては言語-運動間で差がみられなかったが、運動の予測中においても同領域において有意な賦活があることが分かった (図 6)。

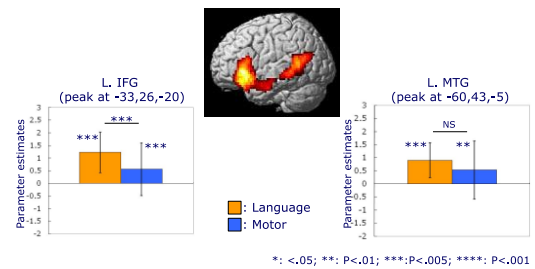


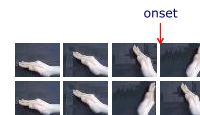
図 6：言語情報補完、予測関連領域における ROI 解析結果

② 運動の予測、補完に関する神経基盤

運動の予測、補完をしている際の脳活動を図 7 に示す。

• Imaging data

- Motor prediction



Target (predictable) > control (replicated)

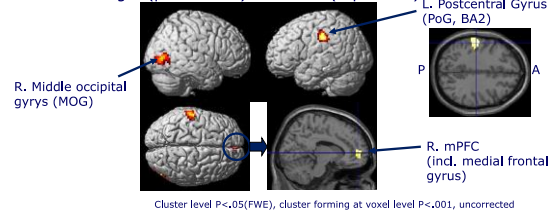


図 7：運動予測、補完中の脳活動

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。また、これらの領域が言語情報の予測、補完に特異的な神経基盤であるかどうかを調べるため ROI 解析、および one-sample T test を行った。その結果、観察された全ての領域において言語-運動間で有意な差があり、また、言語情報の予測、補完ではこれらの領域の賦活は統計的に観察されなかった。(図8参照)

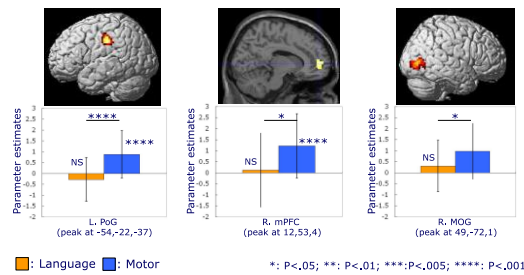


図8：言語情報補完、予測関連領域における ROI 解析結果

③言語・運動の予測、補完に共通した神経基盤

言語情報の予測、補完と運動の予測に共通した脳内メカニズムが存在するかどうかを調べるため、conjunction 分析により共通領域を同定した。その結果、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、これらの領域で言語-運動間で脳活動強度に違いがあるかを調べるために ROI 解析を行ったところ、下前頭回では言語情報の予測、補完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9)。

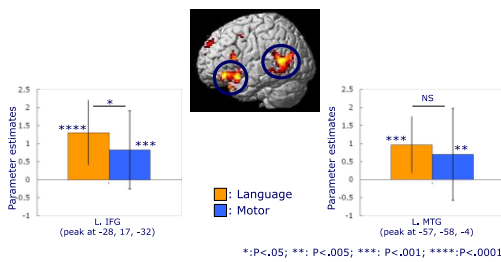


図9：言語情報・運動の予測、補完に共通した領域、および ROI 解析結果

(3) 考察

本研究の目的は、文理解中で欠けている言語情報が脳内でどのように予測、補完されているのかを明らかにすることであった。また、それに加え、言語とは異なる認知活動である運動情報の予測と比較することで、言語、運動といった個々のモダリティに特異的な神経基盤の同定と、モダリティに依らない予測、

補完システムが存在の同定することを目的とした。実験結果より、言語情報の予測には下前頭回、中側頭回が関与していることが分かったが、前者は先行研究より、情報が欠けていない、完成した文の意味理解に関与する領域として報告されている(Dapretto and Bookheimer, 1999; Friederici, 2002; 2012 レビュー)。一方、本実験では未完成な文において、非表層的な言語情報を予測、補完している際の脳活動を計測していることから、文理解中ではまだ実際現れていない意味情報についてもすでに意味処理を行っていると考えられる。加えて、中側頭回についても、先行研究より同領域は統語カテゴリーの処理、特に動詞を処理する際に賦活することが報告されている(Yokoyama et al., 2006)。本実験における課題では、欠けている統語的情報は全て動詞であったことから、未入力であっても統語処理を行っていると考えられ、総じて、文理解中では言語情報が欠けている、特に未入力である場合でも意味統語処理を先立って行い、実際に入力されていなくても文構造を構築し、理解されていると考えられる。

一方、運動の予測について、本実験では左後中心回、右後頭回、右内側前頭前野に言語情報と比べ特異的な賦活を認めた。

まず左後中心回について、Carlsson et al. (2000)では、あらかじめ入力、処理された情報に基づいて、次に現れる情報を待機する際に賦活することを示唆しており、本実験結果が、次にどのような運動情報が現れるかどうかの課題であったことによることから、同先行研究を支持していると考えられる。また、Bubic et al. (2009)では、言語、運動など、各情報モダリティに関与している領域について予測、補完中では賦活することを示唆しており、本実験では運動の予測処理であったことから同領域が賦活したと考えられる。次に、右後頭回は様々な認知機能が関与していることが報告されているが、パターンを同定する際に賦活することも報告されていることから、課題内で提示された一連の運動から動きのパターンを同定していたと考えられる。最後に内側前頭前野についても様々な認知機能に関与しているが、特に予測、補完については次に現れる運動、行動がどのような情報であるか形成する際、そして実際に運動情報が現れ、処理されると初期化し、次の予測の為に準備する領域であると示唆している(Brunia et al., Gomez et al., 2004)。よって、未入力の運動情報について予測、準備するために本課題においても賦活したものと考えられる。

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、これらの領域は特に言

語情報の予測、補完の際に統語意味の処理を行っていることを示唆していると考えしたが、加えて先行研究より、前者は処理済みの情報から規則を同定、抽出するともいわれており (Fiebach and Shubotz, 2006)、また後者は、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 (Wesberg et al. 2007)。このことから、これらの領域は予測、補完処理をするための規則を抽出し、それをもとに補完、予測を行う領域であり、言語情報の予測、補完処理とオーバーラップしているのは、これらの領域が、文理解についても関与している領域であったからだと推測できる。

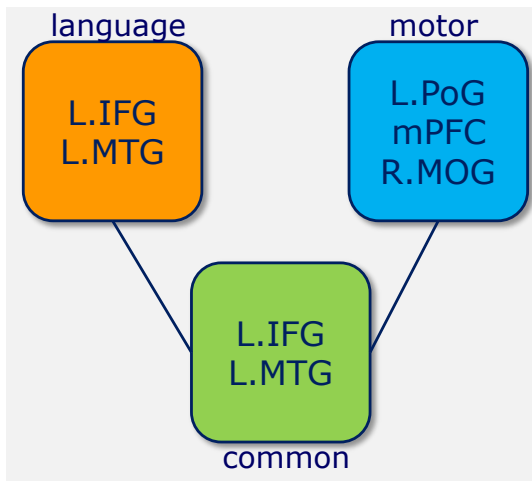


図 10：補完、予測処理の情報モダリティごとの特異性と共通性

(4) 結語

本研究では、言語情報における補完、予測処理に関与する神経基盤、運動の予測処理に関与する神経基盤、そして、両処理に共通した神経基盤を同定することに成功した (図 10)。特に、言語であれば意味統語処理、運動であれば未入力の運動、行動がどのようなものであるかの構築が、未入力であっても先に処理し終わっていることで、実際に入力があった際に処理負荷を軽減している可能性がある。しかし、実際に処理負荷が軽減されているかどうかについては追実験が必要である。

また、本研究では脳機能計測として、脳機能イメージングの他に脳波計測を行う予定であったが、脳磁計の導入により、脳波より更に分解能の高いデータを得ることが可能となった。よって脳波・脳磁図の同時計測を行うことが可能であるが、現在実験の準備中であり、そのための機材について同研究費の援助により導入済みである。今後、これらの機材を用いた、より詳細なデータによる補完、予測処理メカニズムの解明が期待される。

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 Satoru Yokoyama, Kei Takahashi, Ryuta Kawashima, Use of semantic information to interpret thematic information for real-time sentence comprehension in an SOV language, *PloS One*, 2013, doi:10.1371/journal.pone.0056106. (査読有)

[学会発表] (計 2 件)

- ① Kei Takahashi, Satoru Yokoyama, Kei Yoshimoto, Ryuta Kawashima, Neural substrates unique to grammatical information retrieval during sentence comprehension, Annual Meeting of the Cognitive Science Society (CogSci 2012), 2012, 2nd August, Sapporo.

- ② Kei Takahashi, Norbert Maionchi-Pino, Annie Magnan, Ryuta Kawashima, The Distance effect in sentence comprehension in French, European Society for Cognitive Psychology (ESCoP 2011), 2011, 2nd October, San Sebastian, Spain.

[図書] (計 1 件)

- ① Kei Takahashi, Satoru Yokoyama, Future perspective on cognitive neuroscience concerning language: developing a model and its application, “*New Frontiers in Social Cognitive Neuroscience*” eds. Ryuta Kawashima, Motoaki Sugiura, Takahshi, Tsukiura, 2011, 191-203, Sendai, Tohoku University Press.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 慶 (KEI TAKAHASHI)
 東北大学・加齢医学研究所・教育研究
 支援者
 研究者番号：10547293

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

横山 悟 (SATORU YOKOYAMA)
 東北大学・加齢医学研究所・助教
 研究者番号：20451627

吉本 啓 (KEI YOSHIMOTO)
 東北大学・高等教育開発推進センター・
 教授
 研究者番号：50282017

川島 隆太 (RYUTA KAWASHIMA)
 東北大学・加齢医学研究所・教授
 研究者番号：90250828