

fMRI データによる文理解反応時間予測モデル

横山悟¹、高橋慶¹、イプトスシラ²、川島隆太¹

1. 東北大学加齢医学研究所, 2. National Atomic Energy Agency of Indonesia

1. 研究の背景及び目的

近年の脳機能画像法を用いた言語理解研究では、言語理解に関わる反応時間などのパフォーマンスが、脳活動に反映されることが分かってきている。例えば、単語認知の処理パフォーマンス(課題遂行時間及び正答率)は、母語で合っても外国語であっても、左半球の下前頭回や下頭頂小葉の活動の強さと相関すること(Chee et al. 2001; Fiebach et al. 2002; Yokoyama et al. 2009 など)、文理解の処理についても同様に左半球の下前頭回、下頭頂小葉、上・中側頭回後部などの活動の強さと相関すること(Just et al. 1996; Wartenburger et al. 2003 など)、などが明らかになってきている。

これらの結果は、脳活動を見ることによって、逆にある話者の言語理解に関するパフォーマンスの個人差を予測できるモデルを構築できることを示唆している。実際、被験者間における言語課題遂行時のパフォーマンスの個人差が、脳活動データに反映されていることからこの可能性が支持される(Chee et al. 2001; Wartenburger et al. 2003; Yokoyama et al. 2009)。

しかしながら、現時点までにおいて、言語理解に関する脳機能研究では、言語課題パフォーマンスとして主に課題遂行時間を用いて、この時間の違いと相関する脳部位を、単回帰分析によって検出する、という方法、もしくはは

課題遂行時間が長いグループと短いグループに分け、そのグループ間で脳活動に差が見られる部位を検出する、という方法を用いたものしか見られない。つまり、*multivariate analysis*によるモデルの構築、及びそのモデルの妥当性の検証、という方法による研究は、われわれが調べた限りでは存在していなかった。

そこで本研究では、日本人が日本語文理解課題を行っているときの fMRI データと、文理解課題に回答するまでの時間との関係を、一般化線形モデルによる *multivariate analysis* を用いてモデル化する。また、そのモデルの妥当性を、別データセットを用いて検証する。

2. 方法

本研究では、34 人の日本語ネイティブスピーカー(全員右利き、脳に関連した障害等なし)による、日本語文理解課題中の脳活動を、MRI によって撮像した fMRI データを用いた。

実際の課題は、例えば「少年が/魚に/料理された。」といった 3 文節の単文を文節ごとに視覚提示し、意味的にありえるかどうかについての判断をさせた。刺激は被験者一人に対して 24 文準備した。4 文を 1 セットとし、休憩を 28 秒はさみながら 6 セット行った(詳細は Yokoyama et al. 2006 と

同じ)。

MRI スキャナは、東北大学川内キャンパスに設置されていた 1.5 テスラの高磁場を持つ SIEMENS 社製 Symphony スキャナを使用した。fMRI データの撮像用パラメータは、標準的に使用されているものを使用した (TR=4000、TE=50、42 スライス、スライスの厚さ 3mm、FA=90°)。

データ解析は、はじめに SPM ソフトウェア (version SPM8) を用いて、標準的な fMRI データの前処理を行った。その上で、先行研究で言語理解のパフォーマンスが関与すると報告されている左半球の下前頭回・後部上・中側頭回・下頭頂小葉の領域 (図 1 参照) における、動詞句提示時点の脳活動データを各被験者から抽出した。

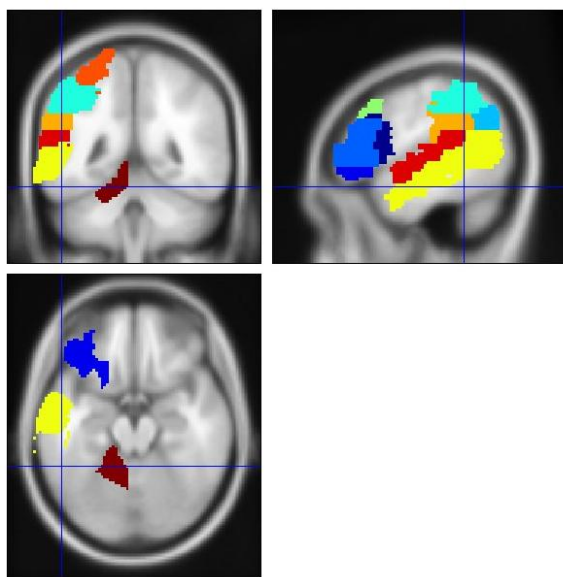


図 1：本研究で使用した脳領域

抽出した各被験者の脳活動データ 24 問分のうち、12 問分をモデル構築用、残りの 12 問分をテストデータ用に分けた。前者のモデル構築用データを用いて、一般化線形モデルを用いた

multivariate analysis によってモデルを構築した。赤池情報量基準を用いて最も説明力のあるモデルを特定した。モデルの妥当性確認のため、テストデータを用いてそのモデルの精度を評価した。

3. 結果

結果として、下前頭回の弁蓋部・下頭頂小葉の縁状回・下頭頂小葉の角回の領域の組み合わせによるモデルが、赤池情報量基準によって選ばれた。このモデルの詳細を下記表 1 に記載する。

領域	寄与 (p 値)
下前頭回弁蓋部	0.007
縁状回	0.010
角回	0.085

表 1：各領域のモデルへの寄与度

領域	B 値
下前頭回弁蓋部	-1088.397
縁状回	998.794
角回	626.546

切片	1524.908
----	----------

表 2：モデルの詳細

テスト用データでの検証では、課題遂行時間の実測値と、モデルによる予測値との間に、 $r=0.3$ (危険率 p 値 =0.076) の相関関係が見られた (図 2 参照)。また、実測値と予測値との誤差平均は-46 (SD=471) であった。

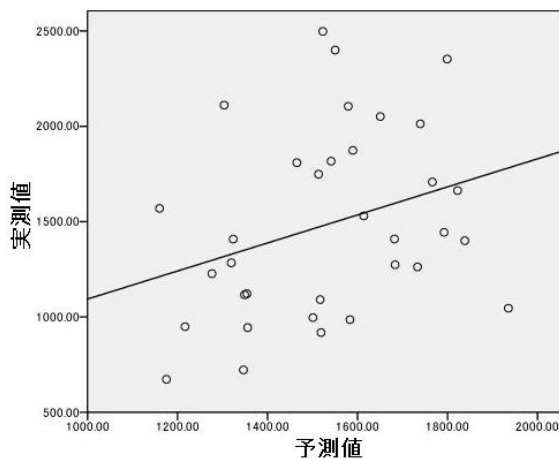


図 2：実測値と予測値

4. 考察

本研究での結果より、fMRI データによって構築したモデルからの予測値は、実測値と比較的近いものとなった。よって、脳機能データを用いて、言語使用者の言語課題パフォーマンスの予測を行えるということについて、可能性を示せたものとなったと言える。

ただし、精度の評価方法という点で問題がある。今回は予測値と実測値の相関関係と誤差平均によって評価した。しかしこれらの評価法は客観的な基準というものが無いため、今後は課題として、より客観的に評価できる方法を模索したい。

また、今回は 34 名の被験者によるデータで、各被験者データはモデル構築用に 12 問、モデルの検証用に 12 問のデータしか準備できなかった。データのサンプル数という点で、不十分な点があることも今後の課題として考えていきたい。

一方、本研究結果は、先行研究において言語課題パフォーマンスと関係があると報告されている左半球の下前頭回及び下頭頂小葉という結果と

一致していた。よって、関与していた脳部位の一致という点で、結果の妥当性も確認できたと言える。

今後は、より精度の高いモデルの構築を目指し、文理解の下位処理として想定される文字や単語の認知処理パフォーマンスや、ボタン押しといった運動関連の処理を別に立て、それに対応する脳部位の活動もモデルに組み込むことを考えている。これらにより、文理解課題遂行時間全体をカバーできる、脳機能データからのパフォーマンス予測モデルの精緻化を目指したい。

5. 結論

本研究では、脳機能データとしての fMRI データを用いて、文理解に関する課題遂行時間予測モデルの構築を試みた。結果として、比較的精度の高い予測モデルを構築できた。今後はそのモデルの評価法を検討し、より精度の高いモデルの構築を目指したい。

また、言語課題における反応時間は、言語処理能力の評価における重要な側面として考えられている (Hulstijn, et al. 2009 他)。このような言語処理の課題遂行時間や反応時間を推定するような予測モデルにより、将来的には脳機能データを用いた母語や外国語の習熟度評価システムの開発に繋がれると考えている。

謝辞

本研究の一部は、東北大学若手萌芽プログラムによる援助を受けて行われた。

引用文献

- Chee MW, Hon N, Ling HL, Soon CS. (2001). Relative language proficiency modulates BOLD signal change when bilinguals perform semantic judgments. *Neuroimage* 13, 1155–1163.
- Fiebach CJ, Friederici AD, Müller K, von Cramon DY. (2002). fMRI evidence for dual routes to the mental lexicon in visual word recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience* 14, 11-23.
- Hulstijn JH, Gelderen AV, SCHOONEN R. (2009). Automatization in second language acquisition: What does the coefficient of variation tell us? *Applied Psycholinguistics* 30, 555–582.
- Just MA, Carpenter PA, Keller TA, Eddy WF, Thulborn KR. (1996). Brain activation modulated by sentence comprehension. *Science* 274, 114-116.
- Wartenburger I, Heekeren H, Abutalebi J, Cappa S, Villringer A, Perani D. (2003): Early setting of grammatical processing in the bilingual brain. *Neuron* 37, 159–170.
- Yokoyama S, Kim J, Uchida S, Miyamoto T, Yoshimoto K, Yusa N, Kawashima R. (2009). Left middle temporal deactivation caused by insufficient second language word comprehension by Chinese-Japanese bilinguals. *Journal of Neurolinguistics* 22, 476-485.
- Yokoyama S, Okamoto H, Miyamoto T, Yoshimoto K, Kim J, Iwata K, Jeong H, Uchida S, Ikuta N, Sassa Y, Nakamura W, Horie K, Sato S, Kawashima R. (2006). Cortical activation in the processing of passive sentences in L1 and L2: An fMRI study. *Neuroimage* 30, 570–579.