

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 2 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23500171

研究課題名(和文) 脳 fMRI 研究・機械学習・複雑ネットワークを融合した計算神経グラフ言語学の試み

研究課題名(英文) Research attempt of computational graph-based neurolinguistics integrating brain fMRI, machine learning and complex networks

研究代表者

赤間 啓之 (Akama, Hiroyuki)

東京工業大学・社会理工学研究科・准教授

研究者番号：60242301

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000 円

研究成果の概要(和文)：本研究ではfMRI実験を行い、言語の連想タスクを行っている脳画像データを統計解析し、特に機械学習の方法(MVPA)を用いて、実験参加者の各時点での思考を分類し、予測するモデルを立てた。特に実験参加者間での予測モデルの精度劣化という問題を解決するため、データの時空間双方に亘る事後分析を行い、意味認知をめぐる、独自の素性選択法を提唱することにより、集団レベルでのMVPAの精度を向上させた。そのほか、バイリンガル話者のfMRI実験を行い、意味処理を行いながら言語を切り替える際の脳反応についても、一般的なGLMばかりでなく、MVPAを応用していくつかの重要な脳領域を抽出した。

研究成果の概要(英文)：We carried out a brain informatics study by performing fMRI experiments, conducting a statistical analysis of the datasets gathered during a covert word property generation task, especially using our original machine learning to classify and predict various cognitive states. Addressing the problem of vulnerability in Multi-Voxel Pattern Analysis (MVPA) eliciting a considerable performance penalty (decrease in accuracy) when executed across sessions or participants, we executed a depthful fitting analysis focusing on cross-modal and individual variation that most previous research has not involved so far. As a result, a key to success in cross-learning on semantic cognition was revealed by underscoring the significance of feature selection strategy founded upon integrated spatio-temporal patterns of neural activity. Furthermore, we conducted experiments involving language switching, with early bilingual speakers and extracted some informative regions using both GLM methods and MVPA.

研究分野：知能情報学

キーワード：脳科学 fMRI 機械学習 複雑ネットワーク 自然言語処理

1. 研究開始当初の背景

近年、脳の賦活データを基にした機械学習、すなわち、脳に与えた刺激の違いによる神経発火パターンの自動分類として、fMRI(機能的磁気共鳴画像法)を用いた複数ヴォクセルパターン分析 Multi voxel pattern analysis(以下 MVPA と略する)が注目を集めている(ヴォクセルとは脳画像をグリッド状に等分割する際の厚み付ピクセルのことを言い、脳機能の局在化においての単位となる)。これはヴォクセル(voxels)のもつ賦活値(輝度)を統計的に1個ずつ評価するのではなく、それらをまとめて賦活パターンとして分類し、脳反応の予測モデルを計算するものである。MVPAは言語活動の神経基盤を明らかにする上で特に有効であるが、機械学習のアルゴリズムを脳データに応用するにあたっては、実験参加者の個人差を吸収するモデルの精度向上が難しいこと、またヴォクセルをひとつの単位として扱う際にヴォクセル間のネットワークまで考慮したモデルを立てるのが難しいといった問題が、研究開始当初の背景としてあった。

2. 研究の目的

ニューロイメージングの研究でもたらされた、言語機能のマッピング、特に意味プロセスに関連する脳領域を計算の対象として、様々な機械学習モデルの可能性を試み、いかに人の心を読めるかを探ることが本研究の目的であり、その究極の目標は、リハビリテーション医療関係などで意思を表明する力を奪われた患者と複雑なコミュニケーションを取ることを可能にする技術の開発になる。まず、本研究では、単語連想タスクや言語切替タスクを実行中の脳をfMRIを用いて撮像し、意味カテゴリーや特定の言語活動の神経基盤について根拠づけを与え、言語刺激によるfMRI賦活データの認知数理モデルの構築実験を行う。これは、計算神経言語学の最初の重要な試みを為すものとして特筆される。

3. 研究の方法

東京工業大学で研究代表者が管理者・オペレーターをしている脳磁気共鳴画像法(fMRI)装置を用いて脳画像データを取得する。まず意味処理や言語切替の神経基盤を明らかにすることを目指し、fMRI実験を行い、データの解析を行う。特に伝統的な「動物」と「道具」という意味カテゴリーを前提として、連想・属性想起タスクに言語切替という要素を導入して、単変量分析であるGLMに加え、多変量パターン分析MVPAを試みて、本研究のデータ解析における基本的な方法を確立する。さらにバイリンガル話者にとって現実の言語切替場面に近い複雑なタスクをデザインし、ランダムで瞬間的な言語切替に伴う脳の制御反応という観点から、GLMとMVPA、さら

にはSearchlight法を併用して、言語切替の神経基盤を探究する。

4. 研究成果

MVPA、すなわち脳神経の反応データを機械学習にかけて、脳が何を考えているか予測分類モデルを構築するにあたり、本研究グループは独自の方法で、脳fMRIデータの機械学習のアルゴリズムを発展させることができた。そして、その成果はFrontiers, Springer, Elsevierという国際学術雑誌の出版社から、査読付き原著論文3本という形で公表するに至った。

(1)

Frontiers誌の研究では、東工大fMRI装置を利用し、言語刺激によるfMRI賦活データの認知数理モデルの構築実験を行った。これは、計算神経言語学の分野における国際共同研究(カーネギーメロン大学・トレント大学と共同)であり、その成果は、まず、申請者を第一著者として、Frontiers in Neuroinformatics誌にDecoding semantics across fMRI sessions with different stimulus modalities: a practical MVPA studyとして発表された。その社会的発信に関しては、ポータル形式で、<http://www.dst.titech.ac.jp/topic/topic20120925/topic20120925.html>にまとめられ、Science Newsの一面にも掲載された。
<http://www.sciencedaily.com/releases/2012/10/121005134328.htm> 2012年9月24日付日刊工業新聞、9月28日付科学新聞にも掲載されている。この実験では、言語刺激として、日本語の名詞40個(哺乳類20種、道具類20種、Murphy et al, 2009の日本語版である)を表す「写真」と「名前読み上げ音声」を同期させたものを利用している。そして、実験参加者にそれぞれの対象の典型的な属性・印象を想起させて得られた脳画像データを機械学習にかけ、実験参加者が考えている内容を予測するという解読モデルを構築して、80~90%の分類精度を得た。このMVPA研究では、実験参加者の認知的状態を脳の賦活パターンから推定する、いわば心を読むことを目的としている。特にこのFrontiers論文ではfMRI装置を利用した神経科学における多変量パターン分析の事後解析法を提案している。すなわち、言語の意味処理においては、機械学習の事後分析として時空間で探索的にモデリングする方法を提案した。特に機械学習の精度を計算すると、精度関数は、規範的な血流動態反応関数と全く相同なガンマ関数で表されることを発見した。(図1)

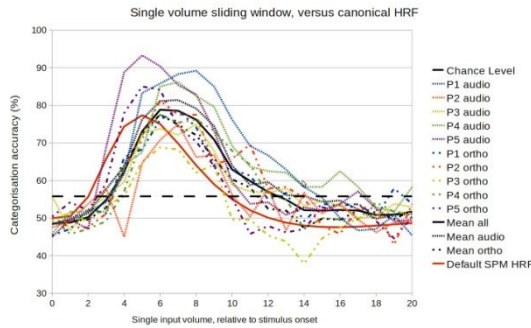


図 1 精度関数と血流動態反応函数

(2)

MVPA では、脳の個体差もあり、異なる個人間で精度の高いモデルを計算することが困難である。Springer 論文では、その問題を克服するため、個人のデータを素性選択用と交差検証用に分割し、素性選択用のデータからのみヴォクセルを選択し、他の個人を訓練例にして機械学習を行った結果、横断的な被験者「間」脳反応解読モデルの精度向上に成功した。すなわち交差検証用のデータセットを 2 分割し、素性選択用と交差検証用を分ける手法は、純粋な参加者間のモデリングより有意に精度を向上させることがわかった(図 2)。これは実験参加者「間」で、double dipping(二重取り)なしに共選択し、横断的(cross-sectional)な実験参加者「間」脳反応解読モデルである。

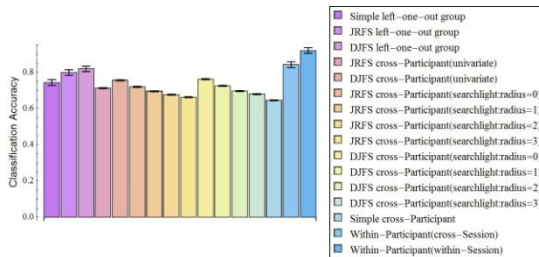


図 2 参加者間のモデリングの分類精度

(3)

Elsevier 論文は、同じく機能的磁気共鳴画像法(fMRI)装置を利用し、脳神経の反応を非侵襲的に撮像し、そのデータを一般線形モデルと機械学習を併用して解析することで、言語切替の神経基盤を明らかにしたものである。特に、朝鮮族のバイリンガル話者が第一母語と第二母語を切り替える際の脳反応として、実行調節や言語活動に固有の重要な脳部位が幅広く分布することを明らかにし、バイリンガルにおける紡錘状回の役割などをクローズアップした。特にこの言語切替タスク実験では、各試行の内部で同時翻訳タスクを絡めるものと、状況の変化で言語が切り替わるだけの翻訳なしの 2 種類が採用された。その結果、MVPA による切替言語の予測モデルが有意となり、言語分類モデルの構築に成功した。また、従来からの GLM と MVPA を統合することで、

言語切替に有意な賦活と分類の精度の双方から重要なヴォクセルが広く抽出され、多数の先行研究の結果と照合することが可能になった。特に、翻訳関与の有無を伴う言語切替の fMRI 実験の結果により、最近の言語切替に関する脳内ネットワークモデルが明確に成立することが示された。

(4) 単語のネットワークから神経ネットワークを予測するという形での、MVPA への複雑ネットワーク導入に関しては、計算神経グラフ言語学ともいべき基礎研究を行い、その成果が PLoS One 誌に 4 月掲載が決定されたが、本研究期間外の刊行になる。計算神経言語学の統一ソフトパッケージの開発するという目標は、そのベータ版を作成することができ、成果をパッケージを補助資料とする国際論文にすべく、現在執筆中である。

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 3 件)

Miaomei Lei, Hiroyuki Akama, Brian Murphy, 2014. Neural basis of language switching in the brain: fMRI evidence from Korean-Chinese early bilinguals. Brain and language, Elsevier, 2014, 138. doi:10.1016/j.bandl.2014.08.009. 査読あり

Hiroyuki Akama, Brian Murphy, Lei Miao Mei, Massimo Poesio, 2014. Cross-participant Modelling Based on Joint or Disjoint Feature Selection: An fMRI Conceptual Decoding Study, Applied Informatics, Springer, doi:10.1186/2196-0089-1-1 査読あり

Hiroyuki Akama, Brian Murphy, Li Na, Yumiko Shimizu, Massimo Poesio, 2012. Decoding Semantics across fMRI sessions with Different Stimulus Modalities: A practical MVPA Study, Frontiers in Neuroinformatics, doi: 10.3389/fninf.2012.00024. 査読あり

〔学会発表〕(計 4 件)

ITO Kanetoshi, TAKAHASHI Kaori, TAKAYANAGI-KOMA Miyuki AWAZU Shunji, AKAMA Hiroyuki, Odor Hedonics Related Brain Activation: An fMRI Study. XXIVth International Conference of European Chemoreception Research Organization (ECRO 2014), Dijon, France, poster 査読あり

Miaomei Lei, Hiroyuki Akama, Brian Murphy, Predicting the semantic neural representations in Korean-Chinese early bilinguals An fMRI study. 36th Annual Conference of the Cognitive Science Society (COGSCI 2014), Quebec City, Canada Member's poster session 査読あり

Miaomei Lei, Hiroyuki Akama, Brian Murphy Neural representations of language switching in early bilinguals: An fMRI study. 35th Annual Conference of the Cognitive Science Society (COGSCI 2013), Berlin, Germany, Member's poster session 査読あり

Hiroyuki Akama, Miaomei Lei, Na Li, Brian Murphy Multi-Voxel Pattern Analysis Applied to the Language Switch in the Bilingual Brain-An fMRI Study. 34th Annual Conference of the Cognitive Science Society (COGSCI 2012), Sapporo, Japan Member's poster session 査読あり

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者 赤間 啓之

(Hiroyuki Akama)

東京工業大学・大学院社会理工学研究科・
准教授

研究者番号：60242301

(2)研究分担者 往住 彰文

(Akifumi Tokosumi)

東京工業大学・大学院社会理工学研究科・
教授

研究者番号：50125332

(3)連携研究者

()

研究者番号：