

令和 6 年 5 月 5 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K12727

研究課題名（和文）文理解の脳fMRI反応を予測する統合神経意味計算モデルの構築

研究課題名（英文）An Integrated Neuro-semantic Computational Model to Predict Brain fMRI Responses to Sentence Comprehension

研究代表者

赤間 啓之（Akama, Hiroyuki）

東京工業大学・リベラルアーツ研究教育院・准教授

研究者番号：60242301

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：脳のfMRI賦活情報から言語思考を予測する機械学習において、1)個人差の克服と個人間モデリング、2)より複雑な文・文章への適用という面で我々は挑戦的研究を続けて行ってきた。2)での課題は、モデリングを成功させる素性をどのように模索するかということであり、深層学習の利点を生かすことが求められていた。本研究では、脳の神経表現のみから直接刺激文を再構築する手法を構築することができた。また1)では特定の個人の脳内における認知反応の機微を計算可能なものにするため、脳疾患の症例理解にもいくつかの深層学習アルゴリズムを提案し、脳認知科学に新たな貢献をもたらすことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究が提案する計算神経言語学は、文レベルでの脳内意味処理モデルを構築し、意味の神経表象を生成することで、意味障害に苦しむ患者の言語世界を明らかにしたり、脳外科手術において影響を受ける言語機能も細かく推定できたりするなど、医療など多方面に応用可能である。さらに個人差の克服という視点で開発した深層学習アルゴリズムは、脳のfMRIデータを用い、個別の患者に合った治療法の確立を可能にする。

研究成果の概要（英文）：In machine learning for predicting verbal thoughts from fMRI activation information of the brain, our research has been challenging in terms of 1) overcoming individual differences and inter-individual modeling, and 2) application to more complex sentences and texts. The challenge was to take advantage of the benefits of deep learning. In this study, we were able to construct a method for reconstructing stimulus sentences directly from neural representations of the brain alone. In 1), we also proposed several deep learning algorithms for understanding brain disease cases in order to make the subtleties of cognitive responses in the brain of a specific individual computable, thus making a new contribution to brain cognitive science.

研究分野：計算神経認知科学

キーワード：fMRI 深層学習 機械学習 自然言語モデル 脳機能的連結性

## 1. 研究開始当初の背景

脳の賦活情報から言語思考を予測することは、脳に与えた刺激の違いによる賦活パターンの自動分類として、fMRI を用いた Multi voxel pattern analysis(MVPA)という機械学習の手法によって長らく行われてきた。さらにこの分野は、言語資料(コーパスデータ)において計算された単語間の関係性を、それぞれの単語の意味理解を行う脳の賦活パターン(fMRI データ)の類似性へとマッピングすることにより、反応が未知の単語の脳賦活パターンも、言語コーパスの意味関連情報から予想可能にする計算神経言語学という形で発展を続けている。しかし予測モデルは、実験参加者個人の反応に限定して精度が計算されることが多く、参加者「間」モデリングは十分な精度が得られていなかった。また、推定モデルの計算への入力、単語間の類似度情報に留まるため、単語レベルでの脳の反応に限定されることが多く、文・文章の脳内意味処理推定モデルは、複雑な含意や連想を伴う文の意味処理に関しては、どの文脈や観念連合を踏まえて反応しているか、理解にどの程度その人の性格や嗜好が影響を及ぼすか、個人の反応特性がこれまでは考慮されていなかった。

申請者もまた、これまでトレント大学・カーネギーメロン大学などとの海外共同研究や、二つの基盤研究を通じて、fMRI 脳研究に機械学習を適用し、単語刺激による脳の賦活反応を予想する計算神経言語学を進展させてきた。特に一人ひとりの脳がどのように個性的に働いているか、情報量の大きい領域やタスクへの応答性がどう異なるかを踏まえ、横断的な実験参加者「間」脳反応解読モデルを提案し、有意な推定精度を得ることができた。これはある人の脳反応パターン情報を踏まえ、別の他者の脳反応からも思考を読み取れるという点で大きな重要性をもつ。そうした研究成果のもと学術的な核心となる以下のような問いが浮上してきた。言語をめぐる機能的解剖学の内部に、個人の多種多様な個性化プロファイル情報を、外部知識データベース情報と合わせて導入することが求められていないか？その場合、あらかじめ素性となる特徴を脳と言語の間で限定するのではなく、様々に異質な変数を事前選択せずとも同時に投入することが可能な統合的深層学習モデリングが、予防医療等で有効であるように、そのミッシング・リンクを一種の中間隠れ層に置き換え、fMRI データ解析のため、AI を導入した新たな深層学習モデルを形成できないか？そうして、複数の脳のあいだで妥当する、文の生成と受容の神経情報モデルが生成できないだろうか？こうした一連の問いが研究開始当初の背景にあった。

## 2. 研究の目的

本研究の目的はこのような計算神経言語学にかかる核心的問いに答え、単語レベルにとどまらず、人によって受け取り方の異なる文レベルでの脳内意味処理モデルを生成し、高度に有意な予測精度を得て、個人の脳内における意味理解の機微を計算可能にし、医療など多方面に応用可能な、意味の神経表象の究極形を提案することにある。そのため、計算神経言語学の目的に沿い、さらにその他の関連する諸分野、特に個人特有の嗜好、健康状態、認知能力など、個人の多種多様な個性化プロファイル情報も変数として入れたモデリングが必要となる。そうした趣旨のもと、深層学習モデルにおいて異質なモジュールを連結させ、それを方法論的仮説として、統合神経意味計算モデルと名づけた。本研究では、実際に意味障害に苦しむ患者の言語世界を明らかにしたり、脳外科手術において影響を受ける言語機能も細かく推定したりするなど、医療面での貢献も目的としている。個人差の克服という視点で開発した深層学習アルゴリズムは、脳の fMRI データを用い、個別の患者に合った治療法の確立を可能にすると考えられる。

これは AI のアルゴリズムの汎用性を考えると、個人の意味処理能力に止まらず、認知症などの神経疾患の診断モデルとしても活用できると考えられる。個人差の克服という視点で開発した深層学習アルゴリズムは、脳の fMRI データを用い、個別の患者に合った治療法の確立を可能にするであろう。脳の fMRI データとしては、安静時機能的連結性や fMRI メタ分析が、量質の双方において、極めて有意義な情報を含んでおり、それらを入力として、fMRI を踏まえた脳の個人分析と集団分析を懸橋するハイブリッドな解析を指向し、それを可能にする AI の開発を目的とした。

## 3. 研究の方法

研究代表者の赤間は、2010 年に、東京工業大学大学院社会理工学研究科に設置された fMRI 装置(GE Signa HdxT 3.0T)の管理者として、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てきた。さらに研究分担者である粟津俊二氏とともに、健診会・東京メディカルクリニックの fMRI 装置(Siemens Magnetom Skyra 3.0T)を利用し、海外共同研究者 Onnis(NTU)らと構想した、人工言語の逐次学習における統語機能の確率学習を用い、脳機能画像撮像(fMRI)実験を遂行した。本研究では、刺激語からの連想データなどを収集

の後、第一段階で、予定された刺激文・文章中の単語の意味理解時における fMRI 反応データを取得し、第二段階では同一の実験参加者を対象に、たとえば「お坊さんは手を合わせた」という文を理解する脳の fMRI 反応を取得、同時に安静時機能的連結性の測定も行う予定であった。しかし新型コロナ禍により、当初予定したヒトを対象とする fMRI 実験が行えなくなり、研究手法を変更することを申請、承認された。fMRI 実験は信号取得の際に生理的ノイズを最小限にしないとけないが、本研究でも利用していた医療機関の MRI 装置では、規約上、新型コロナ禍ではマスク着用の必要がある。しかし、マスク着用による呼吸からのノイズは、特に本研究の核心部である安静時機能的連結性データの場合、脳の信号取得上、けっして望ましくはない。以上を鑑み、本研究では、直接行う予定の実験を断念し、同種類のデータで既に公開されているもの、共同研究等の枠組で使用許可が下りているものを利用し、本研究計画段階で構想していた方法論、アルゴリズムを適用して、データシェアリングによる新手法分析やメタ分析に切り替えた。

この手法でも、実験刺激に単独の単語でなく文、文章を与える意味、そして AI、特に深層学習を導入することがいかに有効性が、中間隠れ層をどう解釈するか、そしてどの変数がどのように情報の特徴弁別に寄与するか精査可能な、統合神経意味計算モデル(Synthesized Neuro Semantic Computational Modelling, 略して SNSCM)を構築し、評価することが可能であった。この条件下では既に大規模データが取得されているので、体系的な深層学習ネットワーク上で、多数の変数との関連性の中で捉えるため、AI の中核をなす自然言語モデルと、脳画像を含む医療データの深層学習のプログラミングとモデル計算に集中することができる。

また研究分担者の粟津は、本科研の実実施計画にあった、文の意味処理モデルにおける知覚運動シミュレーションに、引き続きフォーカスすることができた。多くの脳にとって適用可能な、文の生成と受容の神経情報モデルを指向する上で、この観点はきわめて重要である。当初の申請書に書かれているように、「お坊さんは手を合わせた」という文の意味処理モデルでは、それが直接表現する四肢の運動性、主語の参照対象がもつ視覚イメージ、文が内意として伴示する内省性、社会的・文化的文脈と、それらに対して文理解者がもつ観念連合(連想)や感受性など様々に異質な要素を取り込む必要がある。文理解時に fMRI で測定される脳活動には、知覚運動表象の活性化が含まれること、舌の動きや音韻など言葉の意味以外の知覚運動表象も活性化すること、これらの結果に個人差があることを、粟津は反応時間を指標とした行動実験をもって実証した。

#### 4. 研究成果

データシェアリングによる新手法分析やメタ分析などの手法は多種多様かつ大規模なデータ処理を行うため、研究構想の段階ですでに用意されていたスーパーコンピュータの活用を本格化させることになった。さらに深層学習の分野で、研究室独自のアルゴリズムを開発することができ、当初の構想通りの成果が上がり、予定より多くの数の論文が完成、出版された。本研究の核心となる言語活動と関係するのみならず、様々な認知活動に影響を及ぼす神経疾患などについて、機能的連結性データの機械学習・深層学習を試みた結果は多様多岐に及んだ。本科研の直接的成果および、本科研に多少とも関連する研究の成果は、国際学術雑誌の出版社からの、査読付き原著論文が6本、査読付き国内学術論文が3本、プレプリントを含む査読無し国際学術論文が5本、日本認知科学会大会発表4回、海外出版著作1冊(共著分担)などという形として、この期間に世に問うことができた。また2024年3月現在で査読中の国際学術原著論文が2本残っており、そのうち1本は単語の意味処理の脳内神経基盤に関わるという意味において、本研究に直接関係するものである。

まず、そのうち四辻&赤間, 2023では、文章生成深層モデルによる刺激文の再構成を行った。機械学習では、ディープラーニングによる自然言語モデルの急速な発展により、文生成モデルが高精度の文を生成できるようになっている。本論文では、これらの文章生成モデルを用いて、言語情報を理解する脳の神経計算モデルを評価するために、脳の神経表現のみから直接刺激文を再構築する手法を構築することを目的とした。その結果、事前に学習させたディープニューラルネットワークモデルと組み合わせた変分オートエンコーダーモデルが最も高いデコード精度を示し、このモデルを用いて脳の神経表現のみから直接、その脳が読んでいる刺激文を再構成することができた。ただしトピックレベルの文生成を実現したにとどまるが、それでもこのモデルをニューロコンピューティングモデルと見做し、言語理解における神経表現の特徴を探索的に解析することが可能となった。

また Akama et al., 2021は、ランメルハートのスキーマ理論に則り、言語習得における教師なし/あり学習がもたらす脳機能変化とその個人差に焦点を当てた fMRI 実験研究である。教師なし学習では、オニスらの考案した暗黙の逐次的確率学習に従って、実験参加者に人工的文法に基づく音声ストリーミング刺激から単語と思われるパターンを抜き出させる。続く教師あり学習では正解となる特定のパターンをもつ単語を、あらかじめ教授したうえで学習させる。この教師あり学習が、最後に初回と同一の教師無し学習をさせた場合、このようなハイブリッド学習が脳の反応にどのような変化をもたらすか、タスクベースの機能的連結性の観点から解析した。結果として、初回の教師無し学習では全般に自発的なデフォルトモードネットワークの活動が見られるが、最後の教師無し学習ではハイブリッド学習に良い成績を収めた参加者のみ

にそれが見られることを突き止めた。また、スキーマの tuning ができた教師あり学習の好成績者は、始めから自己教師学習、スーパー学習ができており、そこには小脳の機能的ネットワークが関与していることを明らかにした。しかし、言語の意味処理を行っている脳の fMRI 小規模データセットを扱う場合、予測のための深層学習 (deep learning) を適用すると、個人の多様性や機械学習特有の情報漏洩 (information leakage) など、様々な問題を抱えることになることがわかっている。Yotsutsuji et al., 2021 では、この問題に解決策を提案すべく、方法論的な適正化を検討した。そして 2D 畳み込みネットワーク (M2DCNN) による分類器が、3D 畳み込みネットワーク (3DCNN) を凌駕し、タスクを行う際の脳反応の集団レベル機械学習 (group-level MVPA) において高い精度をもたらすことを示した。

栗津, 2021 では、言語理解、特に文理解に関する身体化認知科学について、これまでの研究を整理した。身体化認知科学は、古典的な認知科学に対する批判として、ミラーニューロンの発見にも後押しされて始まった。未だ解明されていない問題も多いが、知覚運動シミュレーションが単語や文の理解に寄与していることが、多くの行動科学的、神経科学的研究から示唆されている。文章の理解によって知覚運動シミュレーションが発生するが、このシミュレーションは、構文、文脈、理解度、知識、読者の知覚運動経験など、さまざまな要因によって柔軟に変化する。読み手は、断片化されたモーダルな情報やマルチモーダルな情報を用いて、心的シミュレーションを構築する。また、今後の展望を整理した。

栗津 & 鈴木, 2020 では、第二言語初心者 (CEFR A1-A2 レベル) の第二言語理解時の感覚運動表象の活性化について、日本人学生を対象に 3 つの実験を行った。実験 1-1 および実験 1-2 では、日本人学習者は、日本語と英語の一人称動作文と二人称動作文、および心的動作文に対して、感性判断課題を行った。心的動作文の反応時間は、両言語とも他の 2 種類の文に比べ有意に長かった。一人用文と二人用文の間には有意な差は見られなかった。実験 2 では、手指動作文と心的動作文の完了形と進行形を比較した。手指動作文では、進行形に対する反応時間が完了形に対する反応時間よりも短くなった。しかし、心的動作文では、時制は有意な影響を与えなかった。第二言語の理解時に、その言語が流暢でない学習者であっても、知覚運動表象が活性化することが示された。意味概念における知覚運動表象活性化の普遍性を示すものである。

統合神経意味計算モデルの医療面での貢献という意義をもつ成果は、以下に詳述する通りである。個人差を扱った機械学習、深層学習アルゴリズムは、認知症などの神経疾患の診断モデルとしても活用できるが、安静時機能的連結性や fMRI メタ分析が有益な情報を含むものとして、統合神経意味計算モデルの入力データとなり得た。ここで必要なのは、十分に大きいデータ量であるが、大規模脳画像データを扱う場合、同一機関でのデータ収集に限界があるので、多くの大学・病院の異なる装置を利用することになる。しかし、同じアプローチで同じ測定法を採用しても、異なる場所の MRI データが混在させると、複数のサイトのデータソースの調和が困難になり、結果の精度が低下することは広く知られている。複数のサイトデータが混在する ABIDE (Autism Brain Imaging Data Exchange) コレクションでも、自閉症スペクトラム (ASD) 症例と TC 例の判別分析は、単一サイトデータほどは期待された精度が得られていないがその代表的な例である。Okamoto & Akama, 2021 では、深層ニューラルネットワークの一種である Invariant Information Clustering (IIC と略す) を拡張し、IIC をラベルを用いた「教師付き」学習に変換したうえで、画像生成技術の代わりにソースサイトの違いを学習すべき (ノイズの多い) 情報とみなすことで、現在のところ ASD の判別において最も良好なクロスサイトモデリング結果を得ることができた。

さらに、機械学習、深層学習アルゴリズムをもって個人差を扱う場合、よくターゲットとなるのは、年齢と認知能力である。超高齢化社会において、脳活動の個人差を解明し、認知能力の低下に有効な手立てを講ずるのは、まさしく喫緊の課題であるが、脳の安静時機能画像を複雑ネットワーク (グラフ) として捉えることで、有効かつ将来性のあるモデルをいくつか提案することができた。Akama & Ota, 2020 では、Enhanced Nathan Kline Institute - Rockland Sample が公開する脳機能画像データから、安静時機能的連結性のネットワークと、そのグラフ指標である全体効率を計算し、脳アトラスで、z 軸に沿って上下の領域に系統的な 1, -1 の重みを割り振るバイアス付き全体効率を求めると、それが実験参加者の年齢と有意な負の相関を示し、ひとつの機能的連結性-脳健康指標、すなわち Functional Connectivity-Brain Healthcare Quotient (FC-BHQ) となりうる可能性を示した。

Minowa et al., 2020 は、島根大医学部および関係機関との共同研究による論考であるが、年齢予測の難易度が高い、主に高齢者を対象とした日本の「脳ドック」サービスの rs-fMRI データを用いて、年齢予測モデリングを行った。データ抽出方法、深層学習アルゴリズム、脳アトラスを変更したあらゆるタイプの方法論から、頑健かつ高度に有意な相関が得られた。また、年齢予測は、モデル化の達成度に差はあるものの、固有機能結合ネットワークに基づくごく少数の領域のみでも成功した。

脳の老化および健康状態を評価する指標として、MRI によって撮像された脳の構造画像から得られる灰白質容積をもとに算出される GM-BHQ が知られている。しかし、脳の機能情報を含む安静時 fMRI データをもとにした健康指標は、まだ確立されていない。そこで Shimojo & Akama, 2023 では、BrainGNN という深層学習フレームワークを利用し、安静時 fMRI データと GM-BHQ の間の関係を学習した回帰モデルを構築したうえで、機能情報に基づくモデルの予測値を FC-BHQ として求め、その有用性を検証した。また機能と構造の加齢に伴う共変動を示す脳領域

やネットワークを、スパースモデリングにより隠れ層の分析を行い同定したところ、情動処理に関連する扁桃体-皮質/小脳間の機能的ネットワークなどの重要性が確認された。

Tokuhiro & Akama, 2023 では、脳ドックデータの中の安静時機能的連結情報から、年齢と負の相関を持つ二つの認知機能検査値のひとつ、Kohs 立方体組み合わせテストのスコア予測を行った。予測モデルとしては、Wang et al. (2021) の連結性ベースグラフ畳み込みネットワーク (cGCN) を、判別から回帰に変更する為、最終ステップで softmax 関数の代わりに LSTM を加えた、cGCN-LSTM を提案している。また、予測モデルに対して occlusion 法と呼ばれる入力情報における重要 ROI を特定する手法によって各種検査指標における予測に重要な ROI・ネットワークの特定を行っている。その結果、年齢予測に貢献する領域以外の ROI を同定できるとともに、また本質的ネットワーク間の連結が大きく予測に貢献しており、デフォルトモードネットワークと小脳ネットワークにのみネットワーク内連結が重要なものとして検出された。

その他、本科研課題に関連するものとして、以下のような著書(分担共著)がある。マサチューセッツ工科大出版局(MIT Press)から出版された、言語データ科学を網羅したハンドブックでは、研究代表者は、脳と言語の関係を対象とした神経言語学に関する 1 章を執筆している。

文献目録は以下の通りである。

四辻嵩直・赤間啓之 (2023) 文章生成深層モデルによる刺激文の再構成. 認知科学 30(4) 465-478.

Takaki Tokuhiro, Keiichi Onoda, Masahiro Takamura, Shuhei Yamaguchi, Hiroyuki Akama, 2023. Deep Learning Modeling for Prediction of Cognitive Task Related Features from Resting-state fMRI Data, QEIOS. doi: 10.32388/GDWCBK

Sakaki Shimojo, Hiroyuki Akama. 2023. Prediction and Analysis of Structural Brain Health Indicators Using Deep Learning Models with Functional Brain Images as Input, QEIOS. doi: 10.32388/RWZH4Y

Yutaka Minowa, Keiichi Onoda, Masahiro Takamura, Shuhei Yamaguchi, Naoki Okamoto, Hiroyuki Akama. 2022. Comparing Deep Learning Models for Age Prediction Based on the Resting State fMRI Dataset from the "Brain Dock" Service in Japan (preprint), bioRxiv. doi:10.1101/2022.08.14.503923

Andrea L. Berez-Kroeker (編集), Bradley McDonnell (編集), Eve Koller (編集), Lauren B. Collister (編集), Sarah G. Thomason (はしがき), The Open Handbook of Linguistic Data Management, 2022. pp.547-556. "Chapter 58: Managing, sharing and reusing fMRI data in computational neurolinguistics", The MIT Press (2022/1/18) (ハードカバー), ISBN-10 : 0262045265, ISBN-13 : 978-0262045261

Naoki Okamoto, Hiroyuki Akama. 2021. Extended Invariant Information Clustering is Effective for Leave-One-Site-Out Cross-Validation in Resting State Functional Connectivity Modelling, Frontiers in Neuroinformatics. doi: 10.3389/fninf.2021.709179

Hiroyuki Akama, Yixin Yuan, Shunji Awazu. 2021.Task-induced Brain Functional Connectivity as a Representation of Schema for Mediating Unsupervised and Supervised Learning Dynamics in Language Acquisition, Brain and Behavior, Wiley. doi: 10.1002/brb3.2157

Sunao Yotsutsuji, Miaomei Lei, Hiroyuki Akama,. 2021. Evaluation of Task fMRI Decoding with Deep Learning on a Small Sample Dataset, Frontiers in Neuroinformatics. doi: 10.3389/fninf.2021.577451

Hiroyuki Akama. Airi Ota. 2020. Area-specific Biased Global Efficiency in Functional Connectivity Provides Features Negatively Correlated with Age, BioExiv Neuroscience. doi: 10.1101/2020.04.22.054627

粟津俊二(2021) 文理解時の知覚運動シミュレーション. 認知科学,28(4) .612-628

粟津俊二・鈴木明夫 (2020) 第二言語低熟達者による第二言語文理解の身体性. 認知科学 27(4) 554-566.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Onoda Keiichi, Akama Hiroyuki	4. 巻 190
2. 論文標題 Complex of global functional network as the core of consciousness	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Neuroscience Research	6. 最初と最後の頁 67 ~ 77
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neures.2022.12.007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Minowa Yutaka, Onoda Keiichi, Takamura Masahiro, Yamaguchi Shuhei, Okamoto Naoki, Akama Hiroyuki	4. 巻 -
2. 論文標題 Comparing Deep Learning Models for Age Prediction Based on the Resting State fMRI Dataset from the "Brain Dock" Service in Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 bioRxiv	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1101/2022.08.14.503923	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Watanuki Shinya, Akama Hiroyuki	4. 巻 8
2. 論文標題 Neural substrates of brand equity: applying a quantitative meta-analytical method for neuroimage studies	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Heliyon	6. 最初と最後の頁 e09702 ~ e09702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.heliyon.2022.e09702	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Naoki Okamoto, Hiroyuki Akama	4. 巻 -
2. 論文標題 Extended Invariant Information Clustering is Effective for Leave-One-Site-Out Cross-Validation in Resting State Functional Connectivity Modelling	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Neuroinformatics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fninf.2021.709179	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hiroyuki Akama, Yixin Yuan, Shunji Awazu	4. 巻 -
2. 論文標題 Task-induced Brain Functional Connectivity as a Representation of Schema for Mediating Unsupervised and Supervised Learning Dynamics in Language Acquisition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Brain and Behavior	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/brb3.2157	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Sunao Yotsutsuji, Miaomei Lei, Hiroyuki Akama	4. 巻 -
2. 論文標題 Evaluation of Task fMRI Decoding with Deep Learning on a Small Sample Dataset	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Neuroinformatics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fninf.2021.577451	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sunao Yotsutsuji, Miaomei Lei, Hiroyuki Akama	4. 巻 なし
2. 論文標題 Evaluation of Task fMRI Decoding with Deep Learning on a Small Sample Dataset	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Neuroinformatics	6. 最初と最後の頁 なし
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fninf.2021.577451	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hiroyuki Akama and Airi Ota	4. 巻 なし
2. 論文標題 Area-specific Biased Global Efficiency in Functional Connectivity Provides Features Negatively Correlated with Age	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 BioExiv Neuroscience	6. 最初と最後の頁 なし
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1101/2020.04.22.054627	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shiny Watanuki and Hiroyuki Akama	4. 巻 なし
2. 論文標題 Neural Substrates of Brand Love: An Activation Likelihood Estimation Meta-Analysis of Functional Neuroimaging Studies	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Neuroscience	6. 最初と最後の頁 なし
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnins.2020.534671	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 四辻高直・赤間啓之	4. 巻 30(4)
2. 論文標題 文章生成深層モデルによる刺激文の再構成	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 認知科学	6. 最初と最後の頁 465-478
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.31234/osf.io/6h3qx	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takaki Tokuhiko, Keiichi Onoda, Masahiro Takamura, Shuhei Yamaguchi, Hiroyuki Akama	4. 巻 なし
2. 論文標題 Deep Learning Modeling for Prediction of Cognitive Task Related Features from Resting-state fMRI Data	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Qeios	6. 最初と最後の頁 なし
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.32388/GDWCBK	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sakaki Shimojo, Hiroyuki Akama	4. 巻 なし
2. 論文標題 Prediction and Analysis of Structural Brain Health Indicators Using Deep Learning Models with Functional Brain Images as Input	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 QEIOS	6. 最初と最後の頁 なし
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.32388/RWZH4Y	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -



〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 1件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 赤間啓之
2. 発表標題 認知症予防のための脳ドック--ブレインヘルスケアから見たバイリンガル脳の認知予備力について
3. 学会等名 日本脳ドック学会・キャノンスポンサードシンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 谷脇 孝博, 市川 元, 安藤 孝昌, 氏家 弘, 松井 孝嘉, 太田 藍李, 赤間啓之
2. 発表標題 国産3T-MRIにおける安静時脳機能画像(rs-fMRI)によるデフォルト・モード・ネットワーク(DMN)描出の検討
3. 学会等名 第22回日本臨床脳神経外科学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 赤間啓之, 岡本直己, 四辻嵩直, 松本将和
2. 発表標題 概念理解に関する脳fMRIデータおよび言語コーパスによる機械学習モデルと正準相関分析
3. 学会等名 第47回日本行動計量学会大会抄録集.
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 赤間啓之, ペ セオフィ, ライビョウビ
2. 発表標題 バイリンガル話者の言語切替における脳の機能的連結性について
3. 学会等名 日本認知科学会第36回大会発表論文集.
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小沢由衣, 赤間啓之
2. 発表標題 脳内に張り巡らされるネットワーク-機能的連結性から読み取れること
3. 学会等名 第47回文理シナジー学会令和元年度秋の発表会要旨集.
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 赤間啓之、永嶋大稔、大門優介、菅原孝成、中谷大河、四辻嵩直
2. 発表標題 fMRIメタ分析データを予測する機械学習モデル及びその出力理解に資するインタラクション可能な脳3Dビューワーの開発
3. 学会等名 日本認知科学会第40回大会発表論文集.
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 菅原孝成、四辻嵩直、赤間啓之
2. 発表標題 機能的連結性から探る物語聴取者の脳機能の特徴について
3. 学会等名 日本認知科学会第40回大会発表論文集.
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中谷大河、赤間啓之
2. 発表標題 アルツハイマー病の進行による安静時機能的連結性の個人的特徴の変化について
3. 学会等名 日本認知科学会第40回大会発表論文集.
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Hiroyuki Akama	4. 発行年 2022年
2. 出版社 The MIT Press	5. 総ページ数 10
3. 書名 Andrea L. Berez-Kroeker (編集), Bradley McDonnell (編集), Eve Koller (編集), Lauren B. Collister (編集), Sarah G. Thomason (はしがき), The Open Handbook of Linguistic Data Management, 2022. pp.547-556. "Chapter 58: Managing, sharing and reusing fMRI data in computational neurolinguistics"	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	粟津 俊二  (Shunji Awazu)  (00342684)	実践女子大学・人間社会学部・教授    (32618)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------