

令和 5 年 5 月 26 日現在

機関番号：82502

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K16465

研究課題名（和文）量子インスパイア計算を用いた高次元脳データの解読技術開発

研究課題名（英文）Development of quantum-inspired algorithms for decoding high-dimensional neural data

研究代表者

間島 慶 (Majima, Kei)

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・量子生命科学研究所・研究員

研究者番号：80735770

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：機械学習アルゴリズムを適用することによって、計測された脳信号から被験者の知覚・記憶内容・運動意図などの情報を読み出すことが可能になっている。この技術は脳情報解読技術と呼ばれ、脳を介した情報通信の基盤にもなっている。本計画では、脳情報解読のための機械学習アルゴリズムを量子計算分野で発展し用いられてきた計算テクニック（量子インスパイアド・アルゴリズム）を用いて、高速化した。この高速化により、次元数・サンプル数が従来よりも10倍、100倍となる大規模脳データであっても、計算時間の肥大化を避け、脳情報の解読を行うことが可能になった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本計画で開発された機械学習アルゴリズムにより、高速に脳情報の解読を行うことができる。このため、リアルタイム性の要求される脳信号を利用した機器の操作など、いわゆるブレインマシンインターフェースを実装する際に役立つと期待される。

また、大幅な高速化が達成されるため、従来では計算時間の増加により実質的に不可能であった大規模な脳データからの脳情報解読が可能となる。近年、計測技術の発展により、カルシウムイメージングやfMRIにおいて、従来よりも高解像度に神経活動を記録することが可能になっている。巨大化するデータを活かした高精度な脳データ解析が本計画で開発したアルゴリズムによって可能となる。

研究成果の概要（英文）：Machine learning algorithms, specifically designed for neural decoding, have enabled the extraction of information encoded in the brain. However, their application to high-dimensional data is constrained by large computational complexity. In this research project, we addressed this issue by accelerating machine learning algorithms for neural decoding using computational techniques derived from the field of quantum computation (so called “quantum-inspired algorithms”). Through this acceleration, we achieved the capability to decode brain information even from large-scale datasets, with dimensionality and sample size increased by 10 or 100 times compared to conventional methods, while avoiding a substantial increase in computation time.

研究分野：脳情報デコーディング

キーワード：脳情報デコーディング 機械学習 量子アルゴリズム 量子インスパイアドアルゴリズム 量子計算

### 1. 研究開始当初の背景

機械学習アルゴリズムを適用することによって、脳活動から被験者の知覚・認知内容・運動意図などを読み出すことが可能になっている。この技術は脳情報デコーディングと呼ばれ、脳を介した情報通信技術の基盤にもなっている。高精度な脳情報デコーディングを行うためには、多次元脳データのパターンを利用することが鍵となる。しかし、既存の多くの機械学習アルゴリズムは、入力されるデータの次元数が数万以上になると、膨大な計算時間を要するため、実質適用することができない。そのため、リアルタイム性の要求されるブレインマシンインターフェースの実装や、計算時間が増大する大規模脳データの解析において、既存の脳情報解読に有用な機械学習アルゴリズムの使用が制限される事態が起きていた。

### 2. 研究の目的

本計画では、脳情報解読のための機械学習アルゴリズムを量子計算分野で発展し用いられてきた計算テクニック(量子インスパイア・アルゴリズム)を用いて、高速化する。量子インスパイア・アルゴリズムを使うことで、既存の有用な機械学習アルゴリズムの計算時間を次元数に対し線形または対数オーダーに抑えることができる。この高速化によって、脳データの高次元化・大規模化に対し、スケーラブルな脳情報デコーディングが可能となる。

### 3. 研究の方法

計画1年目に量子インスパイア・アルゴリズムを提案した先行研究(Tang, STOC, 2019)をもとに、修正を加えることで、主成分分析・正準相関分析を高速に近似するアルゴリズムを開発した。開発したアルゴリズムの計算時間と近似精度の検証を機械学習分野におけるベンチマークデータセットを用いて行い、その結果を報告した(図1; Koide-Majima & Majima, Neural Networks, 2021)。その後、計画2,3年目、公開fMRIデータ、共同研究者より提供を受けたカルシウムイメージングデータ、皮質脳波データを対象に、近似精度の検証を行った。また、本計画において派生的に開発した計算技法により、動的モード分解を用いた機械学習アルゴリズム(Shiraishi et al., Journal of neural engineering, 2020)の高速化、量子回路学習と類似の古典機械学習アルゴリズムの発案(Koide-Majima & Majima, Physical Review A, 2021)、心の中に思い描く映像(メンタルイメージ)を脳信号から可視化する技術の開発(Koide-Majima, Nishimoto, Majima, bioRxiv preprint, 2023)も行った。

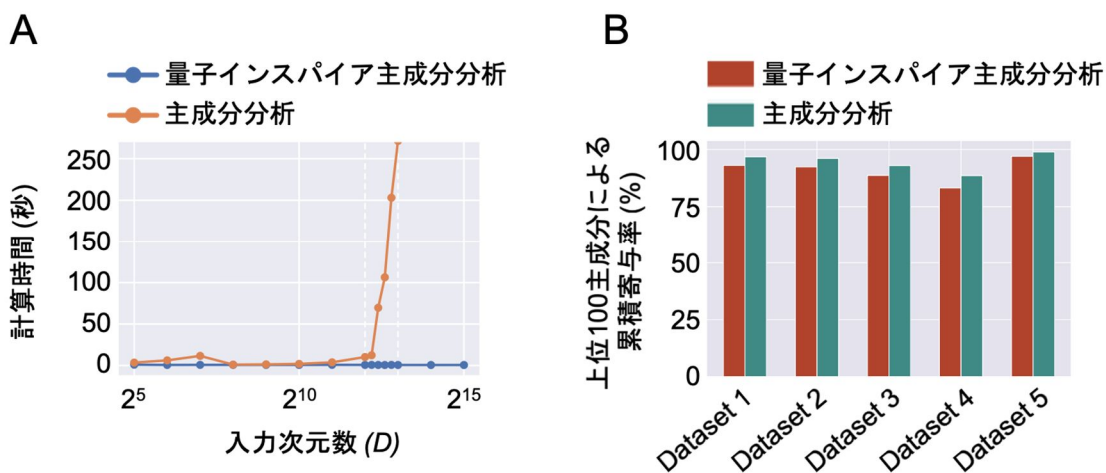


図 1. 量子インスパイア主成分分析と主成分分析の比較。(A) 計算時間の比較。(B) 寄与率の比較。(Koide-Majima & Majima, Neural Networks, 2021 より改変)

#### **4 . 研究成果**

上記の通り、主成分分析・正準相関分析を高速に近似するアルゴリズムを開発し、論文発表とコードの公開 (<https://github.com/nkmjm/>) を行った。動的モード分解を用いた機械学習アルゴリズムに関しては、特許の出願を行った。また、量子インスパイアドアルゴリズムの国内における普及・広報のための活動として、講演、パネルディスカッションへの参加、日本神経回路学会誌における特集の作成 (日本神経回路学会誌 2022 年 12 月号「今すぐ使える量子計算! ?」) を行った。本計画の研究の結果、合計 2 件の国際論文発表、1 件の招待講演、1 件の解説記事執筆、1 件の特許出願を行った。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Koide-Majima Naoko, Majima Kei	4. 巻 104
2. 論文標題 Fast and scalable classical machine-learning algorithm with similar performance to quantum circuit learning	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review A	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） 10.1103/PhysRevA.104.062411	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 Koide-Majima Naoko, Majima Kei	4. 巻 135
2. 論文標題 Quantum-inspired canonical correlation analysis for exponentially large dimensional data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Neural Networks	6. 最初と最後の頁 55 ~ 67
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.neunet.2020.11.019	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 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 間島慶、小出（間島）真子、八幡憲明
2. 発表標題 超高次元データ解析のための量子インスパイア主成分分析の開発
3. 学会等名 第44回量子情報技術研究会 (QIT44)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kei Majima
2. 発表標題 Quantum-inspired machine learning for exponentially big neural data analysis
3. 学会等名 QUANTUM INNOVATION 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 間島慶、小出（間島）真子、田桑弘之、樋口真人、須原哲也、八幡憲明
2. 発表標題 超高次元データ解析のための量子インスパイア主成分分析の開発
3. 学会等名 第31回 日本神経回路学会 全国大会 (JNNS 2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 間島慶、小出（間島）真子、八幡憲明
2. 発表標題 超高次元データ解析のための量子インスパイア主成分分析・正準相関分析の開発
3. 学会等名 量子生命科学会 第2回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 間島慶、小出（間島）真子、八幡憲明
2. 発表標題 超高次元データ解析のための量子インスパイア主成分分析・正準相関分析の開発
3. 学会等名 第2回量子ソフトウェア研究発表会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------