

令和 7 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 22301
研究開発課題名 国際共同研究プログラムに基づく日米連携による脳情報通信研究（第 5 回）
副 題 霊長類視覚システムにおける動的なトポロジー表現のモデル化

（１）研究開発の目的

近年、脳情報を利用してコンピュータや各種デバイス进行操作する brain-machine interfaces (BMI) の開発が進んでいる。視覚情報を脳情報から精度高く解読できれば、コミュニケーションを含めた多様な社会参加を促進する技術として BMI が利用可能になる。本研究では、より脳の視覚情報処理に近いニューラルネットワーク＝脳型ニューラルネットワークの開発と、基礎的神経科学研究を推進することにより、生体の脳と親和性が高いモデルを用いたシームレスで精度の高い BMI 技術の実現に貢献する。

（２）研究開発期間

令和 4 年度から令和 7 年度（36 か月間）

（３）受託者

- ・ 国立研究開発法人産業技術総合研究所 〈代表研究者〉
- ・ 国立大学法人九州大学
- ・ 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

（４）研究開発予算（契約額）

令和 4 年度から令和 7 年度までの総額 69 百万円（令和 7 年度 11 百万円）
※百万円未満切り上げ

（５）研究開発項目と担当

研究開発項目 1 脳機能計測に基づく脳型ニューラルネットワークの開発

1-1. fNIRS/fMRI による機能マッピング（産業技術総合研究所（以下、産総研）・量子科学技術研究開発機構（以下、量研））

1-2. 微小電極アレイによる脳情報記録（産総研）

研究開発項目 2 薬理学的手法に基づく脳型ニューラルネットワークの開発

2-1. 薬理学的手法によるフィードバック効果の検証（量研）

2-2. 薬理学的手法によるフィードフォワード効果の検証（量研・産総研）

研究開発項目 3 脳情報研究のための位相データ解析手法の開発

3-1. 位相幾何学に基づく位相データ解析手法ならびにニューラルネットワーク学習手法の開発（九州大）

3-2. 脳情報データに対する位相データ解析の適用（九州大・産総研・量研）

(6) 特許出願、外部発表等

| | | 累計（件） | 当該年度（件） |
|-------|------------|-------|---------|
| 特許出願 | 国内出願 | 0 | 0 |
| | 外国出願 | 0 | 0 |
| 外部発表等 | 研究論文 | 8 | 0 |
| | その他研究発表 | 37 | 1 |
| | 標準化提案・採択 | 0 | 0 |
| | プレスリリース・報道 | 2 | 0 |
| | 展示会 | 0 | 0 |
| | 受賞・表彰 | 1 | 1 |

(7) 具体的な実施内容と最終成果

研究開発項目1：脳機能計測に基づく脳型ニューラルネットワークの開発

1-1. fNIRS/fMRIによる機能マッピング（産総研・量研）

fNIRSによる機能イメージングを行ったほか、複数の非ヒト霊長類の麻酔下安静時の脳領野間の構造的結合を解析した研究成果を論文発表した（Ouchi et al., Neuroimage, 2024）。複数の非ヒト霊長類のfMRIによる大域的な神経活動実験を実施し、高次視覚領野と複数のトップダウン関連候補領野との結合解析を行い、トップダウン情報に関連する領域として前頭眼窩皮質を同定し、論文発表した（Hirabayashi et al., Nature Communication 2024）。

1-2. 微小電極アレイによる脳情報記録（産総研）

複数の非ヒト霊長類を対象に微小電極アレイを用いた高次視覚野の神経応答記録を世界最大規模（512ch）で実施した。UCSDが開発した「脳型ニューラルネットワークと画像復号化アルゴリズム」を産総研が計測した神経データに適用することで、従来にない高忠実度な画像再構成に成功した。その他、記録データに基づく脳型ニューラルネットワークとの比較検討を行い、学会発表を行った。

研究開発項目2：薬理学的手法に基づく脳型ニューラルネットワークの開発

2-1. 薬理学的手法によるフィードバック効果の検証（量研）

薬理遺伝学チャネル PSAM/PSEM システムの非ヒト霊長類脳への導入・作動性の実証に成功し、論文発表した（Hori et al., J Neurosci 2022）。さらに、確立した薬理遺伝学的手法（DREADDsとPSAM/PSEM法）を同時に用いた多重操作の実用性についてfMRIを用いて検証し、成果を学会で報告した。抑制性DREADDsを導入することで、高次視覚野へのフィードバック効果を検証し論文発表した（Hirabayashi et al., Nature Communication 2024）。

2-2. 薬理学的手法によるフィードフォワード効果の検証（量研・産総研）

fMRIに基づき、高次視覚野へのトップダウン情報に関連する領域に、抑制性DREADDsとPSAMの2種の薬理学的ツールを同時に導入し、高次視覚野内のフィードフォワード処理への影響を検証するプラットフォームを構築した。

研究開発項目3：脳情報研究のための位相データ解析手法の開発

3-1. 位相幾何学に基づく位相データ解析手法ならびにニューラルネットワーク学習手法の開発（九州大）

3次元ボクセルデータに対する、パーシステントホモロジー(PH)計算を高速化し、オープンソースのソフトウェアパッケージとして公開した。また、PHをデータ解析だけでなく、あらたに脳画像データ処理に適用する新手法を提案し、アーカイブ発表した（de Jong van Lier et al., 2024）。

3-2. 脳情報データに対する位相データ解析の適用（九州大・産総研・量研）

位相データ解析手法を活用した脳情報データ解析など、項目1と項目3が連携すること

で、多様な脳データとモデルとの比較手法を確立し論文発表した (Kiyokawa and Hayashi, 2024; Hayashi et al., 2024; Nakamura et al., 2024)。

(8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

引き続き UCSD とは、定期的にミーティングを行いながら、脳神経データを活用したさらなる脳型ニューラルネットワークの開発と神経情報の解読技術開発を進める。データ解析には産総研と九州大学が連携し、脳・神経データに対して、位相データ解析法や、トポロジー関係を利用した機械学習技術を活用した解析をすすめる。さらに、量研と産総研とで連携して確立した実験系により視覚野の情報処理解明とモデル化を進めていく。研究成果は、学会発表ならびに国際論文誌における論文発表の形で積極的に公開し、計算論的神経科学分野の学問の発展に貢献する。基礎科学的知見の公開を通じて、豊かな社会の実現に貢献する。

UCSD が中心となって開発する脳型ニューラルネットワークは、ヒトの視覚情報処理に近い性質を実現するものと期待される。コンピュータ・ビジョン研究として、人間の行動予測技術等にも活用される可能性がある。また、BMI などの各種ブレイン・テック技術として、産業界に技術シーズを提供できる可能性がある。

(9) 外国の実施機関

カリフォルニア大学サンディエゴ校 (アメリカ)