

1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

- ◆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
- ◆受託者：国立研究開発法人産業技術総合研究所、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
- ◆研究開発期間：令和4年度～令和7年度（36か月間）
- ◆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）

2. 研究開発の目標

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、基礎的神経科学を推進することにより、生体の脳と親和性が高いモデルとしてシームレスで精度の高いBrain Machine Interface技術の実現に貢献する。

3. 研究開発の成果

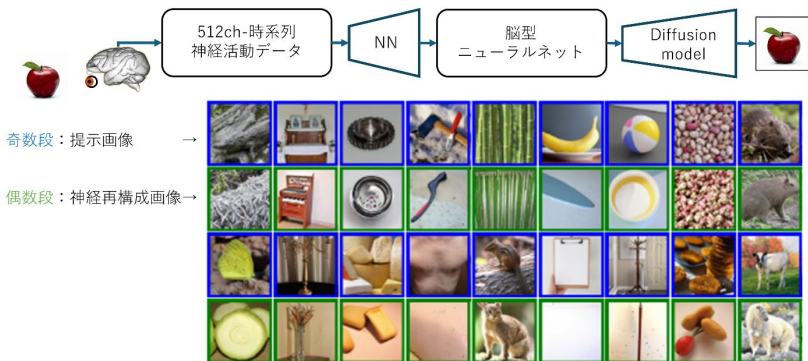
項目1 脳機能計測に基づく脳型ニューラルネットワークの開発

1-1 fNIRS/fMRIによる機能マッピング

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)。項目3と連携し多様な脳データ解析手法と、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)。

1-2 微小電極アレイによる脳情報記録

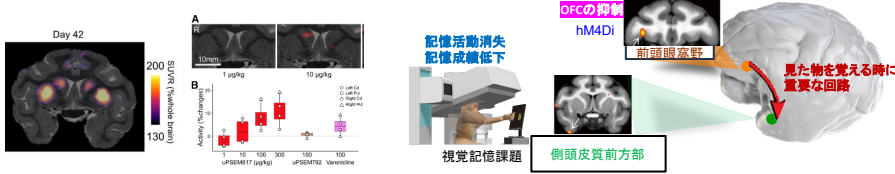
非ヒト霊長類を対象に、微小電極アレイを用いた高次視覚野の神経応答記録(512ch)を実施した。UCSDが開発した神経活動データに基づく画像復号化アルゴリズムを適用することで、従来にない高忠実度な画像再構成に成功した。その他、記録データに基づく脳型ニューラルネットワークとの比較検討を行い、学会発表を行った。



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

薬理遺伝学チャネルPSAM/PSEMシステムのサル脳への導入・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、fMRIの機能的結合に基づき、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., 2024)。



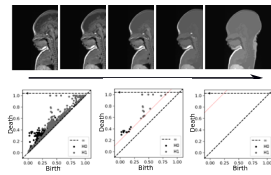
2-2 薬理学的手法によるフィードフォワード効果の検証

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、抑制操作可能な実験動物の作出を実施し、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。

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

パーシステントホモロジー(PH)計算を高速化し、オープンソースのパッケージとして公開した他、PHを使った脳画像データ処理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

項目1と連携し脳情報データに位相データ解析を適用し論文発表した (Hayashi et al., 2024)。

4. 特許出願、論文発表等、及びトピックス

国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	標準化提案・採択	プレスリリース 報道	展示会	受賞・表彰
0 (0)	0 (0)	8 (0)	37 (1)	0 (0)	2 (0)	0 (0)	1 (1)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

- (1) 日米連携による脳情報通信研究推進のため月例ミーティングをオンラインで実施
アメリカ側の研究プロジェクトメンバー(>4名)と日本側のメンバー(3名)が神経データの解析や脳型ニューラルネットワークモデルの開発について議論し、研究進捗を報告した。
- (2) 国内外の学会における研究成果発表
国内の視覚研究者が集う、日本視覚学会、神経科学者が集う神経科学学会などでの発表の他、国外の視覚研究者が集うVSS、神経科学者が集うSfNなどで成果発表を行った(23件)。開発した位相データ解析アルゴリズムを適用したデータ処理の成果に関する国際ワークショップでの発表など、招待講演を行った(11件)。
- (3) 国際学術雑誌論文発表
脳イメージングに関する研究論文の他(Ouchi et al., Neuroimage, 2024)、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)。マルチモーダル型ニューラルネットワークを用いた視覚認知研究の成果は、国際論文誌で発表(Igaue and Hayashi, 2022)した他、プレスリリースを行った。薬理学的手法に関する研究成果についてもNature Communicationなどハイインパクトな国際論文誌を含む2報発表した(Hori et al., J Neurosci 2022; Hirabayashi et al., Nature Communication 2024)。位相データ解析アルゴリズムに関する論文も発表した(Kaji et al., 2024)

5. 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

2025年11月にカリフォルニア大学サンディエゴ校(アメリカ)で開催されるCRCNSのPMミーティングに参加し、研究成果を発表するとともに、共同研究者と打ち合わせを行う予定である。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。データ解析には産業技術総合研究所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、量子科学技術研究開発機構と産業技術総合研究所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。

6. 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)