

令和元年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 : 19402
 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
 副 題 : 脳の顔認識系の計算原理

(1) 研究開発の目的

高度な知能を実現する霊長類の脳において、その仕組みを統一的に説明できる計算原理を探求するため、マカクザルの高次視覚野における顔認識系に焦点を当て、最新の実験・理論技法を駆使した計算神経科学研究によって、同系の計算原理の解明に挑む。特に、これまでの実験事実から発生した以下の疑問に焦点を当てる。

- a) 顔認識系ニューロンは、顔の部分や全体に関する様々な特徴を表現している。それを創発させる計算原理は何か？
- b) 顔認識系ニューロンには、顔刺激に特に強く反応する顔カテゴリ選択性という基本特性がある。その信号の発生の仕組みや、顔認識系における計算論的な役割は何か？
- c) 顔認識系では、顔の様々な特徴をネットワークで分散表現している。その相互作用と表現変換の計算原理は何か？

(2) 研究開発期間

平成 30 年度から令和 3 年度 (36 カ月)

(3) 実施機関

株式会社国際電気通信基礎技術研究所 (ATR) <代表研究者>

(4) 研究開発予算 (契約額)

総額 30 百万円 (令和元年度 10 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 : 顔特徴チューニングの神経機構
 - 1-2. ML ニューロンのデータ解析 (ATR)
- 研究開発項目 2 : 顔カテゴリ選択性の神経機構
 - 2-1. 非線形データ解析手法の開発 (ATR)
 - 2-2. ML ニューロンの非線形データ解析 (ATR)
- 研究開発項目 3 : 顔特徴チューニング変換の神経機構
 - 3-1. 顔認識系ネットワークの新理論開発 (ATR)

(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	0	0
	その他研究発表	11	6
	標準化提案	0	0
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	0	0
	受賞・表彰	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

研究開発項目1：顔特徴チューニングの神経機構

計算原理の候補の一つである畳み込みニューラルネットについて、過去の研究では顔認識系との関係があまり深く検討されていなかった。本年度は、この課題について前年度に引き続き検討した。Tsao ラボと Freiwald ラボで 2009 年、2010 年、2012 年、2017 年に行われた実験を、畳み込みニューラルネット上でシミュレートするためのシステムを完成させ、チューニング特性を実験事実と定量比較した。その結果、顔認識系の高次領野 (AM) については、モデルの高次層が複数のチューニング特性を同時に説明できたのに対し、顔認識系の中間領野 (ML) については、その複数のチューニング特性を同時に説明できたモデルの層は存在しなかった。この試行を、訓練条件を変えた 12 種類の畳み込みニューラルネットで行なったが、結果は概ね同様であった。したがって、顔認識系の全体的な計算を説明するには、畳み込みニューラルネットとは別の理論が必要ということが示唆された。

一方、顔領野 ML の神経活動からその計算過程を解析するためのモデル指向データ解析プログラムの開発を進め、米国側から提供を受けた暫定的な実験データを用いて、実際に解析プログラムを適用した。なお、本項目の顔特徴表現の解析は、次項目の顔カテゴリ選択性の解析と、作業を統合することにしたため、詳細は以下に記す。

研究開発項目2：顔カテゴリ選択性の神経機構

米国側で行なっているサルの fMRI・単一細胞の連携計測から得られた実験データを解析するためのデータ解析プログラムを完成させた。データ解析は、顔画像などに対する神経応答からモデルを推定することが主な目的であるが、そのモデルは以下のようになっている。

まず、低次視覚野を模した固定の前処理ステージ (エナジーモデル) から始まり、その出力を並行に設置された 2 つの線型フィルタを通し、それぞれ異なる非線形の活性化関数を通したのち、最後にそれらの積を取るという形をしている。2 つの線型フィルタが、それぞれ顔特徴および顔カテゴリ選択に対応している。解析は、この 2 つの線型フィルタの重みを神経データにフィッティングさせて求める。ただし、神経データは重みパラメータ数に対して量が足りないため、重みにスパース性をかけて正則化 (クロスバリデーション) する。このようなデータ解析プログラムを、前年度に引き続き開発し、改良を重ね、完成させた。

この解析プログラムを、米国側から提供された暫定的なデータに適用した。このデータは、顔画像と物体画像の全 144 刺激に対する ML 細胞の反応であり、当初想定していたより画像数は小規模であるが、多数の試行が行われて、応答ノイズは少ないと考えられる。このデータに解析プログラムを適用したところ、推定されたモデルは平均的に高い予測性能を示したが、2 つの線型フィルタを用いることがどれだけ有意義なのかは、より詳細を解析してその結果を検討するとともに実験者側にフィードバックしていく作業が必要と考える。

研究開発項目3：顔特徴チューニング変換の神経機構

顔認識系の複数の小領域の、顔特徴の分散表現と相互作用を包括的に説明できる理論の開発を進めた。前年度までに、その基礎として Group-based variational autoencoder の開発を進めた。すなわち、顔の形 (内容) と顔の向き (変形) という 2 つの独立変数と、ニューラルネットで生成過程を定義する深層生成学習モデルであり、順方向にもニューラルネットを併せ持つオートエンコーダ型のモデルである。画像をグループ化したデータセットから、グループ共通因子を内容と差分因子を変形として分離推定するように学習する方式により、顔画像やその他の 3 次元物体の画像データセットなどから、2 つの因子が分離して推定できる。さらに新規の内容を持つ画像からも 2 因子を推定できることを利用したワンショット学習も実現できる。さらにこの理論を用い、標準的な variational autoencoder の上に積層する形で階層的なモデルを構築することで、顔領野 AM と ML のモデルとした。このモデルの上で、過去のサルの実験をシミュレーションで実行し、チューニング特性を比較したところ、複数の顔ニューロンのチューニング特性を定性的・定量的に再現でき

た。特に生成型のモデルで顔の向きに関する恒常性を再現したのは、既存の理論研究にない新規性と言える。

(8) 外国の実施機関

ロックフェラー大学 <代表研究者>