

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 年度から平成 33 年度 (36 か月)

(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 (平成 30 年度 6 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. 計算モデルの構築 (ATR)
2. ML ニューロンのデータ解析 (ATR)

研究開発項目 3 : 顔特徴チューニング変換の神経機構

1. 顔認識系ネットワークの新理論開発 (ATR)

(6) 特許出願、論文発表等

		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	研究論文	0	0
	その他研究発表	6	6
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	0	0

	標準化提案	○	○
--	-------	---	---

(7) 具体的な実施内容と成果

A. 研究開発項目1：顔特徴チューニングの神経機構

Freiwald らの過去の実験研究によれば、顔認識系には、顔特徴の神経表現があるとされる。本項目では、その計算原理の特定するための実験的検証を行うことが本項目の目標である。検証実験は米国側で行われるが、日本側で計算モデルの構築とデータ解析を行うと分担となっている。

今年度はまず、計算原理の候補であるスパース符号化、主成分分析、深層学習（畳み込みニューラルネット）について計算モデルの構築を行うシステムを開発した。それぞれの計算原理について、様々なネットワークアーキテクチャのパラメタを変え、画像データベースを用いた訓練によって構築した。特に、深層学習については、ネットワークの深さや、画像データベースを顔画像、自然画像などで訓練したものを用意した。過去の研究では、深層学習と顔認識系との関係はあまり深く検討されていなかった。そこで、その性質をあらかじめ理解していくために、既存の4つのサル生理実験を深層学習モデル上で実行し、その結果と、過去の実験論文に掲載された結果と、定性的・定量的に比較することも行なった。その結果、顔認識系の高次の領域については、おおよそ理論と実験事実が類似したものの、低次の領域は、実験事実とはかけ離れるということが分かった。さらにこの結果は、深層学習モデルのアーキテクチャや学習の仕方あまり寄らなかつた。すなわち、顔認識系の性質を説明するには新しい理論が必要である、ということ強調する結果となった。

並行して、米国側で行うサルの fMRI・単一細胞の連携計測から得られる実験データから、神経細胞の計算過程を解析できるように、モデル指向データ解析プログラムの開発を進めた。この解析手法では、低次視覚野を模した前処理付きの線形モデルに対して、画像入力と反応データをフィッティングさせると言うことが基本となる。テストのため、混合スパース符号化モデルからの出力に、ノイズを加算したものをデータとして、シミュレーション解析し、必要な視覚刺激の数や、ノイズの量と結果の質との関係性について見積もった。またフィッティングは最適化問題であり、局所解がありうるため、並列探索などを使いながら大域解を探す必要性があることもわかった。

B. 研究開発項目3：顔特徴チューニング変換の神経機構

Freiwald らの過去の実験研究によると、顔認識系は、複数の小領域（ノード）が密に相互結合したネットワークで形成されている。その中で、各ノードが顔の部品と全体をどのような方式で神経表現し、ノード間でどのような相互作用と変換を行なっているか、サルの顔認識ネットワークの情報処理を包括的に説明できる新しい理論を開発することが目標である。

今年度は、その基礎として Group-based variational autoencoder という深層生成学習技術の開発を進めた。temporal coherence と呼ばれる学習原理からヒントを得て Variational Autoencoder という一般的な学習手法を拡張して開発した。顔認識系の AM 野には、顔の向きに普遍的な反応を示す細胞が多いことが知られており、これに基づいて顔認識系ネットワークのモデル構築が構築できることが期待される。そこで、画像をグループ化したデータセットを構築し、グループからの共通因子と変形因子に分離するように学習計算を行うような工夫を行なった。Multi-PIE という顔画像データセットなどを、開発した Group-based variational autoencoder へ入力し、期待通りに共通因子と変形因子に分離されたことを確認した。特に、顔画像入力に対しては、共通因子に顔の向きへの普遍性があることを確認した。

(8) 外国の実施機関

ロックフェラー大学 <代表研究者>