

2024 年度年次報告書

生体マルチセンシングシステムの究明と活用技術の創出

2022 年度採択研究代表者

大木 研一

東京大学 大学院医学系研究科
教授

多感覚の統一的知覚を担う座標変換回路の解明

主たる共同研究者:

磯村 拓哉 (理化学研究所 脳神経科学研究センター ユニットリーダー)

研究成果の概要

マウス頭頂葉の RL 野において、視覚についての網膜座標系と体性感覚のバレル座標系がおおよそ対応していることを示した。この対応がいつ形成されるか調べたところ、対応は視覚入力の開眼する開眼前にすでに存在し、座標系の一致に外界からの感覚入力が必要でないことがわかった。さらに、出生時に両眼を摘出したマウスの高次視覚野において、ヒゲ刺激に対する応答が増強されることが分かった。このことは早期失明により高次領野に対する体性感覚野からの入力が強くなり、失われた視覚機能を補っている可能性が示唆された。

マウス側頭葉の TE/36a 野について、視覚サイズに対する応答と投射パターンから、この領野の前後軸は正-負の価値の座標系を構成すると考えられたが、同領野が聴覚刺激にも応答すること、さらに仔マウスが親を呼び寄せる鳴声と、他のマウスが電気ショックを与えられた時に発する鳴声に対し、正-負の価値の座標系に一致した応答を示すことがわかった。

理論面では、自由エネルギー原理の拡張を行なった。座標系を統合する回路モデル構築する際、先行研究では有限オートマトンにより構成可能な生成モデルのクラスに限定しており、任意の知能情報処理が可能かは不明であった。そこで、正準神経回路、POMDP に基づく変分ベイズ推論、微分可能チューリングマシンの中に「三重等価性」があることを理論的に示し、正準神経回路を用いて任意の座標系統合とアルゴリズム計算が可能であることを明らかにした。

さらに、実際の実験データから生成モデルを作成するため、リバースエンジニアリング手法に基づく予測の精度向上を試みた。数百個の神経活動から数個の神経集団への分類や初期パラメータの決定など、先行研究ではヒューリスティックに行なっていた部分を自由エネルギー最小化により自動的に最適化する手法を開発し、定量予測の精度を向上させた。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Kondo S, Kikuta K, Ohki K. Synaptic input architecture of visual cortical neurons revealed by large-scale synapse imaging without backpropagating action potentials. *Elife* doi: 10.7554/eLife.104334.1.
- 2) Matsui T, Hashimoto T, Murakami T, Uemura M, Kikuta K, Kato T, Ohki K. Orthogonalization of spontaneous and stimulus-driven activity by hierarchical neocortical areal network in primates. *Nat Commun*. 2024 Dec 4;15(1):10055. doi: 10.1038/s41467-024-54322-x.
- 3) Nomura S, Terada SI, Ebina T, Uemura M, Masamizu Y, Ohki K, Matsuzaki M. ARViS: a bleed-free multi-site automated injection robot for accurate, fast, and dense delivery of virus to mouse and marmoset cerebral cortex. *Nat Commun*. 2024 Sep 10;15(1):7633. doi: 10.1038/s41467-024-51986-3.
- 4) Ebina T, Sasagawa A, Hong D, Setsuie R, Obara K, Masamizu Y, Kondo M, Terada SI, Ozawa K, Uemura M, Takaji M, Watakabe A, Kobayashi K, Ohki K, Yamamori T, Murayama M, Matsuzaki M. Dynamics of directional motor tuning in the primate premotor and primary motor cortices during sensorimotor learning. *Nat Commun*. 2024 Aug 20;15(1):7127. doi: 10.1038/s41467-024-51425-3.
- 5) Paul A, Isomura T, Razi A. On Predictive planning and counterfactual learning in active inference. *Entropy*. 2024, 26(6), 484. doi: 10.3390/e26060484.