

計測技術と高度情報処理の融合によるインテ  
リジェント計測・解析手法の開発と応用  
2018年度採択研究代表者

2022年度  
年次報告書

小村 豊

京都大学 大学院人間・環境学研究科  
教授

情報網に潜む因果構造解析と高次元脳計測による意識メータの創出

主たる共同研究者:

大泉 匡史 (東京大学 大学院総合文化研究科 准教授)

鈴木 隆文 (情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター 室長)

## 研究成果の概要

私たちの意識は、どこから生まれるのか。これまで意識経験には、脳のフィードフォワード処理とフィードバック処理を要するということが知られていることから、脳の中で、双方向結合が、どの領域に、どの程度含まれているかを評価することは、意識の座を明らかにする上で重要である。そこで本研究では、コネクトームデータから割り出した脳の結合強度と方向をもとに、脳のサブネットワークを階層的に分割し、双方向結合が密なコア領域を可視化した。その結果、コア領域には、大脳皮質、視床、前障領域などが含まれ、最もニューロン数が多いとされる小脳は、コア領域に含まれていないことが分かった(論文 1)。

また意識レベルは、覚醒下でも、変動が認められるが、それを行動学的にアッセイする系を確立した。意識レベルが高い時、多種多様な行動をとりうる。これは、脳が目的に応じて内部状態を望ましい状態に遷移させる制御システムを有していることを意味する。この点に着目して、脳がある状態から別の状態へ遷移する時、どのくらいのコストを要するのかを評価する新たな手法を開発した。従来の制御理論の研究では、脳活動はノイズを含み確率的に振る舞うという重要な特性が無視されていたが、本研究では、まず確率的な神経システムにおける制御コストを制御のない過程と、目的の状態に制御される過程とが、確率分布としてどのくらい異なっているかを、KL ダイバージェンスによって定量化した。KL ダイバージェンスが最小となる過程を最適な制御過程として考え、その際の最小の制御コストを、線形モデルを用いることで、解析的に求めた。その結果、最適なコストが「平均的な脳活動の変化を制御する項」と「脳部位間の相関の変化を制御する項」に分解できることが分かった(論文 2)。

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) “Bidirectionally connected cores in a mouse connectome: Towards extracting the brain subnetworks essential for consciousness”, *Cerebral Cortex* 33(4), 1383-1402, 2023.
- 2) “Optimal Control Costs of Brain State Transitions in Linear Stochastic Systems”, *Journal of Neuroscience* 43(2), 270-281, 2023.