

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

2020 年度 年次報告書

小村 豊

京都大学 こころの未来研究センター

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

§ 1. 研究成果の概要

我々の意識は、日常生活のなかで、たえず変化しているが、それを可視化することはできていない。そこで本研究では、高次元計測と情報理論を融合させた、新たな手法を用いて、これまで捉え難かった意識を可視化する道筋をつけることをめざしている。昨年度は、計測系における成果が主だったが、今年度は、情報系において、大きな進展を得た。

まず本研究では、意識レベルは、情報統合の程度を反映しているという仮説を置いているが、その指標として、ネットワークを部分系に分割した際に失われる情報の量を算出する。部分系の間情報のやりとりが大きい時は、意識レベルが高くなり、部分系の中に情報のやりとりが無い時は、意識レベルは低くなる。この算出の際に、ネットワークの因果的な情報構造の抽出とネットワークの中で最も情報の統合が強い情報のコアを同定できる。因果構造を抽出するためには、ネットワークをどこで分割すると、情報が最も失われないか、すなわち統合情報量が最小となる分割(最小情報量分割)を求めれば良い。すると、ネットワークの切れ目が分かり、大規模なネットワークを階層的にクラスタリングできる。さらに、ネットワーク構造を階層的に抽出後、どのサブネットワークで統合情報量が最大となっているかを調べることで、情報のコアを抽出することができる。

こうしたネットワークの構造と情報のコアの抽出は、組合せ最適化問題を解く必要があるが、ネットワークの要素数 N に対し指数関数で計算時間がかかるため、従来は計算不可能であった。この問題に対し、集合関数の劣モジュラ性を利用し、この最適化問題をオーダー(N の 3 乗)で解くアルゴリズムを用いて、計算可能とした。実際に、計測した脳データに適用して、計算アルゴリズムが機能していることを確認できた。

§ 2. 研究実施体制

(1) 小村グループ

- ① 研究代表者: 小村 豊 (京都大学・こころの未来研究センター・教授)
- ② 研究項目
 - ・意識を支える脳ダイナミクスの可視化

(2) 鈴木グループ

- ① 主たる共同研究者: 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)
- ② 研究項目
 - ・高次元脳計測系の構築

(3) 大泉グループ

- ① 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)
- ② 研究項目
 - ・統合情報量の数理解析の整備

【代表的な原著論文情報】

- 1) “Efficient search for informational cores in complex systems: Application to brain networks”,
Neural Networks, vol. 132, pp. 232–244, 2020
- 2) “Unified framework for the entropy production and the stochastic interaction based on
information geometry”, Physical Review Research, vol. 2, 033048, 2020
- 3) “High-density mapping of primate digit representations with a 1152-channel μ ECoG array”,
Journal of Neural Engineering, vol. 18, No. 3, 030625, 2021