

審査の結果の要旨

氏名 段放

自閉症 (Autism Spectrum Disorder: ASD) は、重要な神経発達障害の一つである。本論文は、脳磁図 (Magnetoencephalography: MEG) 計測データを用いて ASD 児の脳のネットワークを研究したものである。ASD 患者の多くは、コミュニケーション障害、言語障害や学習障害で苦しんでいるため、ASD 早期診断が推奨されている。この意味でも、未就学児の ASD の研究の重要性は高い。

本論文は、「MEG Study on Abnormal Development of Brain Network in Autism Children」(自閉症児における脳ネットワークの発達異常に関する MEG 研究) と題し、8 章より成る。

第 1 章「Introduction」(はじめに) では、ASD 患者の脳のネットワーク構造研究に関する背景を紹介し、本研究の全体構成を説明している。

第 2 章「Boosting MEG data and removing artifacts by ICA-based SVM」(MEG データのブースティングと ICA に基づく SVM を用いたアーティファクトの除去) では、高品質の MEG データを取得するためのデータ処理手法が示されている。特に、MEG データからアーティファクトを自動削除するために、不均衡な独立成分データを処理して分類器の特異性を高めるための重み付き SVM (Support Vector Machine) を提案している。

第 3 章「The influence of free viewing of video on the brain network」(ビデオ自由鑑賞の脳ネットワークへの影響) では、ネットワークレベルの分析を健常発達 (Typically Developing: TD) 児のデータで行ない、ビデオの自由鑑賞タスク下の脳ネットワークの基礎特性を明らかにしている。脳ネットワークの発達を解析するために、子供のための Kaufman Assessment Battery for Children (K-ABC) テストの素点を、認知能力の指標として用いた。TD 児の脳ネットワークのスマートワールドスカラーが、K-ABC テストの同時処理尺度の素点、すなわち、この視覚処理能力の指標と負の相関を持つことを明らかにした。さらに、ネットワーク構造の分析によって、高い同時処理尺度の素点を持つ子供が保有している脳ネットワークは、低素点の子供よりもローカルな情報処理をより効率的に行えることを示唆している。

第4章「Comparing network development between ASD and TD」(ASD児とTD児間のネットワーク発達の比較)では、ネットワーク、ノード、およびエッジレベルの指標で、ASD児とTD児の脳ネットワークを比較・分析している。K-ABCテストをリファレンスとして用いて、ASD児とTD児のネットワークの発達を比較した。ネットワーク構造解析により、ASD児はタスク中のローカル情報とグローバル情報の統合のバランスの能力が低下していることが示唆された。さらに、ASD児はTD児と比較して左前頭葉領域が十分に発達していないこと、またTD児における前頭葉領域での発達は高い情報統合能力の可能性を示していることなどを明らかにした。

第5章「Study the network development by indices of area」(領域指標によるネットワーク発達の研究)では、領域レベルでASD児とTD児のネットワークを分析している。本研究で提案された領域間指数(Cross area index)は、脳全体のネットワークに含まれる部分として目的領域の相互作用を研究することを可能にした。TD児における側頭葉・頭頂葉・後頭葉(Temporal-Parietal-Occipital: TPO)接合部領域のノード効率の低下は、脳の他の部位によるTPO接合部領域への情報干渉を減少させることが明らかとなった。また、ASD児の後頭葉のネットワークは、より局所的な結合構造を有していること、そして、TD児の前頭葉および頭頂葉領域は脳の他の部分とのよりよい情報伝送と情報交換特性を有するネットワークを構築していることなどを示した。

第6章「Network development of neural rhythms」(神経リズムのネットワーク発達)では、ネットワーク、領域、ノードおよびエッジレベルの指標を適用して、デルタ波、ガンマ波等の各周波数領域の脳ネットワークを研究した。ASD児は、ガンマ1とガンマ2周波数領域で強いローカルクラスタリング特性を示した。デルタ、アルファ2、ベータ1、ベータ2、およびガンマ2周波数領域のネットワークの発達は、ASD児では異常なパターンを示した。さらに、各周波数領域の解析結果について、神経科学的に詳しく考察した。

第7章「Network development neuromarkers for diagnosis of ASD」(ASD診断のためのネットワーク発達ニューロマーカー)では、ニューロマーカー、すなわち、既存研究で発見されたASD患者の脳ネットワークの特徴量を利用して、ASD児とTD児を分類している。

第8章「Conclusion」(結論)は、本論文の結論をまとめたものである。

以上を要するに、本論文はASD児の脳ネットワークの発達に関して、ネットワーク構造の観点からMEGデータを用いて詳しく分析している。この成果は、神経科学および電気系工学上貢献するところが大きい。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。