

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 岩山 幸治

世界には様々な非線形現象が遍在している。観測された時系列から、このような現象の非線形力学的特徴を得るには、非線形時系列解析手法が有効となる。非線形時系列解析とは非線形力学系理論に基づいた時系列解析手法であり、近年多くの研究がなされている。その中で、リカレンスプロットは時系列の非線形力学的特徴を可視化するために有効な手法であり、様々な時系列に応用されている。本論文では、従来の手法を適用することが難しい時系列を解析するために、リカレンスプロットを用いた新しい解析手法を提案している。

脳は、多数の非線形素子により構成された、代表的な複雑系である。脳について多くの研究がなされてきているが、脳がどのように情報を処理しているのか、その多くは未だ明らかになっていない。本論文では、脳の情報処理のメカニズムを明らかにするため、脳の活動に伴って発生する磁場を計測する装置であるMagnetoencephalography (MEG) を用いて計測した信号に、提案する新しい解析手法を適用している。

本論文は、「Nonlinear Time Series Analysis with Recurrence Plots and Its Application to MEG Signals」（リカレンスプロットを用いた非線形時系列解析とそのMEG計測信号への応用）と題し、5章からなる。

第1章「Introduction」（序論）では、本研究の背景が述べられている。次に既存の非線形時系列解析手法、中でも本研究で主に用いられるリカレンスプロットについて詳しく解説をしている。最後に、神経系からの計測データへの非線形時系列解析手法の応用として多チャンネルデータからの同期の検出について述べている。

第2章「Change point detection」（変化点検出）では、時系列からダイナミクスの変化を検出する手法を提案している。非線形時系列解析手法には、観測対象のダイナミクスの定常性を仮定したものが多く。しかしながら、実際には定常な同一のダイナミクスから観測できるとは限らず、こうした手法を適用することはできない。そこで、本研究ではリカレンスプロットとクラスタリングの手法を用いて、観測した時系列からダイナミクスの変化を検出する手法を提案し、数値実験によりその有効性を示している。

第3章「Characterizing time-evolution of networks」（時間発展するネットワークの特徴付け）では、時間とともに変化していくネットワークの時系列を解析する手法を提案している。脳における神経回路網をはじめ、人間関係やインターネットなど様々なネットワークが存在し、これらの多くは時間とともにその構造が変化していく。本研究では、このような時間変化するネットワークの解析を行うためにネットワーク間の距離を用いて、リカレンスプロットをはじめとする様々な解析を可能にしている。数値実験や実際の為替取引のデータを解析し、提案する手法がこのようなネットワークの解析に有効であることを示している。

第4章「Application to MEG signals」（MEG計測信号への適用）では、本論文で提案してきた解析手法をMEGで計測したデータに適用している。同一の図形を見ていながら意識に上る見え方だけが切り替

わる知覚交替と言う現象が起こっているときに計測した信号を解析している。知覚交替は意識と密接に関連した現象であり、多くの研究がなされている。本論文では、計測信号からチャンネル間のネットワークを構成し提案手法を適用することで、計測信号から知覚の交替を検出することに成功している。

第 5 章「Conclusion」（結論）では、本論文のまとめとともに、今後の課題が述べられている。

以上を要するに、本論文は、新しい非線形時系列解析手法を提案するとともに、MEG計測信号をはじめとする実データへ適用することで、その有用性を示したものである。非線形時系列解析の適用対象を広げることにより、現実のより広範な現象の数理的な理解を可能にするという点において数理情報学に貢献するところが大きい。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。