

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 李 子強

非線形時系列予測は、複雑な変動をもつ時系列データの将来を予測するという挑戦的な課題であり、気象から金融までさまざまな応用分野に関係している。近年では、対象をブラックボックスモデルで近似する機械学習的アプローチがこうした課題に広く用いられてきているが、学習計算の複雑さと計算量の大きさが現実的な問題となることも少なくない。本論文では、リザーバー計算の枠組みに着目して、リザーバーを複数連結して構成されるマルチリザーバー計算モデルに基づく複数の拡張モデルを提案し、時系列予測タスクにおける有効性を検証している。

本論文は、「Extended Models based on Multi-Reservoir Echo State Networks for Nonlinear Time Series Prediction (非線形時系列予測のためのマルチリザーバーエコーステートネットワークに基づく拡張モデルに関する研究)」と題し、6章から構成される。

第1章「Introduction (序論)」では、本論文の背景、動機、目的について述べるとともに、非線形時系列予測、人工ニューラルネットワーク、リザーバー計算などの基礎事項を整理している。また、本論文の全体構成を述べている。

第2章「Multiple Reservoir Echo State Networks (複数リザーバーエコーステートネットワーク)」では、複数のリザーバーを用いて構成されるマルチリザーバーエコーステートネットワーク (MRESN) モデルについて説明している。モジュール構造を用いたモデル記述法を導入して、深層 ESN、マルチステップ学習 ESN、グループ化 ESN などの既存モデルを統一的に表現し、各モデルを概観している。

第3章「Multi-Reservoir Echo State Network with Sequence Resampling for Nonlinear Time-series Prediction Tasks (非線形時系列予測タスクのための系列リサンプリングを用いたマルチリザーバーエコーステートネットワーク)」では、入力時系列データをリサンプリングして時間方向の多様な特徴を抽出する手法を提案し、MRESN モデルに組み込んでいる。リサンプリングユニットを深層 ESN やグループ化 ESN の異なる層に導入することにより、複数の拡張モデルを構築している。これらを時系列予測タスクに適用し、一部の拡張モデルは予測性

能と学習計算時間において従来の多くの MRESN モデルよりも優れた結果を示すことを数値実験により示している。また、提案モデルの特徴を理解するため、記憶容量やリザーバー状態の情報豊富さなどの解析を行っている。

第4章「Multi-Reservoir Echo State Networks with Input Time Slices for Nonlinear Time-series Prediction Tasks（非線形時系列予測タスクのための入力時間スライスを用いたマルチリザーバーエコーステートネットワーク）」では、入力時系列データを入力時間スライスに変換する入力多次元化の手法を提案して、MRESN モデルに組み込んだ拡張モデルを提案している。この時間的特徴量の抽出方法が、時系列予測タスクや時系列分類タスクにおける計算性能向上に寄与することを、数値実験により示している。

第5章「Multi-Reservoir Echo State Networks with Hodrick-Prescott Filter for Nonlinear Time-series Prediction Tasks（非線形時系列予測タスクのためのHodrick-Prescottフィルタを用いたマルチリザーバーエコーステートネットワーク）」では、入力時系列データをHodrick-Prescottフィルタを繰り返し適用することで周期性の異なる複数のデータに分解する前処理を提案し、MRESNモデルと組み合わせている。分解された時系列データはそれぞれ別のリザーバーで並列に処理され、出力側で再び統合される。また、進化的アルゴリズムを用いて分解数とモデル構造を最適化する方法も提案している。数値実験により、提案手法は複数の時系列予測タスクにおいて予測性能および計算量の面で深層学習モデルを含む多くの既存モデルよりも優れていることを示している。

以上これを要するに、本論文はマルチリザーバーエコーステートネットワークの拡張モデルを複数提案し、高速に学習可能でありながら、高い時系列予測能力を備える機械学習モデルを実現するものである。この成果は、機械学習アルゴリズムの発展と複雑時系列データを扱う工学応用において意義深いものであり、知能情報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。