

# 論文審査の結果の要旨

氏名 村田 伸

本論文は 6 章からなり、時系列データから潜在的な構造を抽出するための方法論について論じている。第 1 章では論文の背景・目的及び目的達成のための方策が示されている。第 2・3 章では、神経回路モデルの動力学の機械学習的解析を、第 4 章ではモード分解法に基づく信号解析手法の提案、第 5 章では時系列スペクトルデータに対する新規解析手法の提案を行っている。最後に第 6 章では結論として論文の総括が述べられている。

第 1 章では、観測技術の進歩などに伴い複雑化するデータの取り扱いについて、主に時系列解析の手法をもとに概観している。特に、状態空間モデルに基づくデータ解析の枠組みについて、大きくベイズ推論に基づく方法と、データ駆動的枠組みによる方法とに大別し、今後の章ではそれぞれの方法について典型的となりうる対象を取り扱っている。

第 2 章では、神経回路モデルの一種である連想記憶モデルに、生理学的な機構であるシナプス可塑性を導入したモデルを対象とし、主成分分析 (PCA) に基づく系統的な解析が行なわれている。連想記憶モデルのダイナミクスは、様々な示唆をもたらすが、それを解析的に明らかにすることは困難である。本論文では計算機による数値実験データに機械学習手法を適用し、低次元構造を抽出することで系統的な解析を行っている。本章ではシナプス抑圧を導入することで、記憶パターンを安定に保ったまま、記憶想起の失敗に対応する偽記憶状態でリミットサイクルが出現することを明らかにした。さらに、そのようなリミットサイクルはモデルに埋め込んだ記憶パターンの張る部分空間上に存在することをモデル選択により明らかにした。

第 3 章では動的モード分解 (DMD) と呼ばれる手法を用いた連想記憶モデルの解析が行なわれている。DMD は高次元データを時空間パターンの組み合わせさせたモードとして分解する手法である。時間構造を仮定した次元削減手法であるため、PCA では困難な時間構造の抽出が行なわれている。本章では時間発展を表す固有値の分布と、連想記憶モデルのダイナミクスが対応づくことを示している。また、空間基底に対応するモードからモデルの素子から位相を抽出可能なことが示されており、第 2 章で明らかとなったりリミットサイクルが、位相の近いニューロンへの発火の伝搬により生じることを明らかにした。

第 4 章では、DMD ならびにそのスパース推定である Sparsity-promoting DMD (SpDMD) によるコヒーレントフォノン (CP) 信号の新規解析手法を提案し、人工データならびに実データでの検証を行っている。CP 信号は、物質を超短レーザーパルスによって励起された協調的な振動を観測する信号である。これは緩和過程を観測するような信号であり、減衰振動の重ね合わせとして自然に表現される。従来の用いられるフーリエ変換では CP 信号の減衰振動から不確定性幅が出現し、励起プロセスを反映している初期位相の推定が困難となる問題があった。これに対し、SpDMD を用いることで信号から減衰振動の形の基底関数を抽出し、スパース性に基づき必要な基底関数のみを特

定可能なことが示された．また，実データでは実験観測系に依るバックグラウンドノイズが重畳し，従来はこれを人の手で除去していたが，SpDMD を用いてバックグラウンドノイズも自動的に特定可能なことを明らかにした．

第 5 章では，分光計測で広く得られるスペクトルデータに対して，時系列構造を考慮したベイズ的スペクトル分解手法を提案している．ベイズ推論ではデータの生成・観測プロセスを確率モデルとして定式化し，ベイズの定理に基づいて観測データからパラメータの事後確率分布を計算する．従来，ベイズ的スペクトル分解では時間構造を導入されていなかったが，本章ではデータ間の時間構造を導入した形式に拡張した．連続的なパラメータだけでなく，自己回帰モデルにおける次数と，スペクトルの構造を決めるピーク数の離散的なパラメータもモデル選択可能なことを，人工データを用いて示した．

第 6 章では時系列データに対する潜在構造抽出について総括を与えている．すなわち，対象に対する先見知識に応じて確率的推論に基づく方法と，スパース性に基づく最適化手法を適切に使い分けることが，データ駆動的に時系列データを取り扱う上で重要であることを示している．

なお，本論文の第 2 章は大坪洋介，永田賢二，岡田真人との共同研究であり，第 3 章は岡田真人との共同研究であり，第 4 章は相原慎吾，徳田悟，岩満一功，溝口幸司，赤井一郎，岡田真人との共同研究であり，第 5 章は永田賢二，植村誠，岡田真人との共同研究であるが，いずれも論文提出者が主体となって解析及び検証を行ったものであり，論文提出者の寄与が十分であると判断する．

したがって，博士（科学）の学位を授与できると認める．

以上 1,991 字