

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 松田 孟留

近年、大規模な高次元データや時系列データが多くの分野で得られるようになってきている。このような状況において、高次元データ・時系列データの統計学に基づいた解析手法の必要性は高まっていると言える。本論文は、行列正規分布モデルを用いた推定・予測、時系列データの振動子成分への分解、脳科学における知覚交替の点過程モデルを主な対象として、ベイズ統計学に基づく新しい解析手法を提案することを目的としている。

本論文は「Bayesian Methods for Multivariate and Time Series Data」（多変量および時系列データに対するベイズ統計手法）と題し、13章からなる。

第1章「Introduction」（序論）では、論文の内容と構成についての説明が与えられている。本論文が、第2章～第6章からなる第1部「Bayesian Shrinkage Prediction」（ベイズ縮小予測）、第7章～第9章からなる第2部「Bayesian Modeling of Time Series with Oscillation Components」（振動要素からなる時系列のベイズモデリング）、および第10章～第12章からなる第3部「Point Process Modeling of Perceptual Switching」（知覚交替の点過程モデリング）の3つの部分から構成されることが述べられている。

第2章「Preliminaries」（準備）では、第1部で必要となる統計的決定理論、縮小推定、縮小予測、行列正規分布、特異値縮小型推定に関する基本事項が準備されている。

第3章「Singular Value Shrinkage Priors」（特異値縮小事前分布）では、行列正規分布モデルのパラメータ行列の特異値を縮小する事前分布が提案され、それに基づくベイズ推定・ベイズ予測が一樣事前分布に基づくベイズ推定・ベイズ予測を Kullback-Leibler 損失の意味で優越することの証明と数値例が与えられている。

第4章「Improvement of Singular Value Shrinkage Priors」（特異値縮小事前分布の改良）では、特異値縮小型事前分布にさらにパラメータ行列全体を縮小する効果あるいはパラメータ行列を列ごとに縮小する効果を加えた事前分布を用いて推定と予測を改良できることを漸近理論により示し数値的な検証を与えている。

第5章「Numerical Methods for Bayesian Prediction in Regression Problems」（回帰問題におけるベイズ予測の数値的方法）では、被説明変数が多次元の線形回帰問題において、特異値縮小事前分布とこれにさらに改良を加えた事前分布に基づく予測が有効であることを実データの解析例を用いて示している。

第6章「Pitman Closeness Properties of Predictive Densities」（予測密度の Pitman 近接性）では、縮小事前分布に基づく推定と予測について、Pitman 近接性と呼ばれる Kullback-Leibler リスクとは異なる評価基準を用いた考察を与えている。

第7章「Preliminaries」（準備）では、第2部で必要となる状態空間モデル、ARモデルの振動子解釈、ヒルベルト変換に関する事項が準備されている。

第8章「Decomposition and Phase Estimation of Univariate Time Series」（1変量時系列の分解と位相推定）では、振動子成分の重ねあわせにより構成される1変量時系列モデルを提案している。このモデルに基づいて時系列データに含まれる振動子の個数と周波数を推定し時系列データを振動子に対応する成分に分解する手法を導出している。

第9章「Extension to Multivariate Time Series」（多変量時系列への拡張）では、第8章で提案したモデルを拡張し、多変量時系列の成分が複数の共通した振動子の重ね合わせで構成されるモデルとそれに基づく多変量時系列データ解析手法を提案している。

第10章「Material and Methods」（対象と方法）では、第3部での研究の対象となる知覚交替に関する実験データについて説明するとともに、脳波と知覚交替との関係を解析するための点過程モデルを提案し、尤度に基づく検定法と多重性を考慮した検定の水準の補正法を与えている。

第11章「Results」（結果）では、脳波と知覚交替との関係を仮定しないモデルを帰無仮説、両者の関係を取り入れた点過程モデルを対立仮説とする検定を用いて実験データを解析し、脳波と知覚交替との間に関係があることを示している。

第12章「Discussion」（考察）では、前章での解析結果に基づき、図形の可能な解釈に対する注意の向け方と知覚交替との関係について脳科学の観点から考察するとともに、点過程モデルに基づく解析手法の特長について述べている。

最後に第13章「Conclusion」（結論）では、本論文の成果を簡潔に纏めると共に、今後の研究課題を提示している。

以上を要するに、本論文は、まず、多変量データ、特に行列正規分布モデルを用いた推定・予測に関するベイズ統計学的手法を提案しその優位性の証明を与えている。次に、時系列データを振動子成分の重ね合わせに分解する新しい手法を提案している。さらに、点過程モデルを用いて知覚交替と脳波との関連を分析する手法を提案し、実データを用いて手法の有効性を示している。これらの統計手法の理論・応用両面にわたる成果は数理情報学分野の発展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。