

審査の結果の要旨

氏名 奥戸 道子

蓄積される大量のデータの有効な利用が近年重要になっている。このような状況において、統計学的な予測手法の研究の必要性が高まっている。本論文は、曲指数型分布族をなす統計モデルを用いた予測手法に関する新たな枠組みを提案し、情報幾何学的な考察に基づいて予測の新しい手法を開発することを目的としている。

本論文は「Information-Geometric Construction of Bayesian Methods for Curved Exponential Families」（曲指数型分布族に対するベイズ統計手法の情報幾何を用いた構成）と題し、6章からなる。

第1章「Introduction」（序論）では、曲指数型分布族とベイズ予測・推定の概観と本論文で提案する手法の情報幾何学的な意味について簡潔な説明を与え、本論文の構成について述べている。

第2章「Preliminaries」（準備）では、3章以降で必要となる、Kullback-Leibler 損失に基づく統計的決定理論、縮小事前分布に基づく推定と予測、主成分分析と因子分析に関する準備を与えている。

第3章「Extended plugin densities for curved exponential families」（曲指数型分布族の拡張プラグイン分布）では、曲指数型分布モデルに対し、拡張プラグイン予測分布と呼ぶ予測分布のクラスを提案している。広く利用されている予測分布には、プラグイン予測分布とベイズ予測分布がある。Kullback-Leibler 損失のもとでは、ベイズ予測分布の方がプラグイン予測分布よりも性能が良いことが多いことが知られている。しかし、ベイズ予測分布には数値的な計算が困難であることが多いことなどの欠点がある。本章で提案されている拡張プラグイン予測分布は、曲指数型分布族が埋め込まれている指数型分布族の期待値パラメータの事後平均を用いて構成される予測分布である。予測分布を曲指数型分布族が埋め込まれている指数型分布族の中から選ぶという制限を加えると、拡張プラグイン分布がベイズリスクの意味で最良であることを示している。さらに、通常のベイズ予測分布の理論は、本章の結果の指数型分布族の次元が無限次元の場合に対する結果としてとらえられること、拡張プラグイン分布がベイズ予測分布を指数型分布族に情報幾何学の意味で射影して得られること、縮小事前分布に関

するベイズ予測分布に関する結果が拡張プラグイン分布に対しても成立することを示している。

第4章「Shrinkage priors for spiked covariance models」（スパイク共分散モデルの縮小型事前分布）では、多変量正規分布の分散共分散の固有値のうち1つが大きな値をとり他は小さな一定値をとるモデルについて考察している。このモデルはスパイク共分散モデルと呼ばれ応用上も有用である。スパイク共分散モデルについての情報幾何学的な考察を与え、それに基づいて縮小型事前分布を提案している。リスクの漸近理論による評価と数値的な評価の両方で縮小型事前分布に基づく拡張ベイズ推定量が良い性能をもつことを示すとともに、2つ以上の固有値が大きな値をとる場合についても考察を与えている。

第5章「Scale-invariant estimation for factor analysis」（因子分析のスケール不変な推定）では因子分析のモデルが各成分のスケールに対して不変な構造を持つことに着目した推定方法を提案している。スケール不変性が明示的にわかるパラメトリゼーションを導入し、それに基づいて尤度を最大化するアルゴリズムを提案している。EMアルゴリズムと比較して提案手法の方が良い推定値が得られることを数値的に確認している。さらに導入したパラメトリゼーションを用いて自然に表現できる縮小型事前分布を提案して、それに基づく拡張プラグイン分布が最尤推定量に基づくプラグイン分布をKullback-Leibler損失のもとで優越することを数値的に確認している。

第6章「Conclusions」（結論）では、本論文の成果を簡潔にまとめると共に、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、曲指数型分布族をなす統計モデルに関する新たな予測分布のクラスを提案して、その情報幾何学的な性質を明らかにするとともに、スパイク共分散モデルと因子分析モデルについて新しい予測手法を与えたものである。これらの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。