

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 小林 景

工学・自然科学のさまざまな分野において、伝統的な方法より複雑なモデルを用いて大規模なデータを取り扱うことが多くなっている。ネットワークモデルやカーネルマシンなどはその例である。また従来広く利用されてきた統計モデルにおいても、モデルの未知パラメータを推定値で置き換える方法より、事後分布を用いてモデルを重み付き平均化して得られる分布を利用する方法の方が、より複雑な計算が必要になるものの性能が良いことが知られている。計算機の発達にともなって最近注目されるようになったこれらの新しいモデルや手法に関しては、さまざまな発展の可能性があると同時に、理論的な取り扱いが十分になされていない面が多くある。

本論文は、“Bayesian Theory for Kernel Machines and Network Models”（「カーネルマシン及びネットワークモデルのベイズ理論」）と題し、これらの最近注目を集めているモデルや手法のなかで、とくにネットワークモデルに基づく意思決定問題、カーネルマシンを用いた判別分析・回帰分析、線形回帰問題の予測問題に関して、ベイズ理論の枠組みに基づいた研究を行っており、全6章からなる。

第1章“Introduction”では、本論文で扱われる問題について概観するとともに、ベイズ理論およびロバスト性の観点からみたそれぞれの問題の位置づけについて述べている。

第2章“Risk-sensitive Decision Networks”では、ネットワークモデルに基づく意思決定問題について扱っている。意思決定に対する評価規準に意思決定者の楽観性・悲観性の程度をあらわすパラメータを導入することを提案し、最適な意思決定がパラメータの値にどのように依存するかを調べている。また、離散的な確率変数とガウス型の確率変数が混在するネットワークモデルに基づいた最適決定を効率的に求めるアルゴリズムを提案している。さらに、意思決定者が悲観的になった極限の状態を与えるパラメータのもとでの最適決定が  $H_\infty$  制御の一般化とみなせることを示し、これを一般化  $H_\infty$  最適決定と名づけ、ネットワークモデルを用いたロバストな意思決定法として提案している。

第3章“Information Criteria for Kernel Machines”では、カーネルロジスティック回帰、サポートベクトルマシンなどのカーネルマシンと総称される学習機械をベイズ統計モデルとしてとらえ、正則化パラメータの決定方法を与える情報量規準 Kernel Regularization Information Criterion (KRIC) を導出するとともに、KRIC の値の具体的な評価方法を提案している。カーネルマシンにおいては、性能が正則化パラ

メータの値に大きく依存することが知られており、その決定方法が重要な問題とされてきた。本章の結果はこの問題に対して汎用性のある解決方法を与えている。

第4章 “Bayesian Shrinkage Prediction for Regression Problem” では、説明変数の分布が回転不変であるという仮定のもとで、正規線形回帰モデルを用いた予測問題を取り扱っている。予測の良さを Kullback-Leibler ダイバージェンスで評価するとき、回帰パラメータに対する一様分布に基づくベイズ予測分布を優越するベイズ予測分布を構成することに成功している。回帰パラメータに対する一様分布は、無情報事前分布として一般的に利用されているものである。さらに提案したベイズ予測分布が、広く用いられているリッジ回帰を用いた予測分布に比べて、真の回帰パラメータの値に関するロバスト性をもつことを示している。

第5章 “Parallel Matching for Ranking All Teams in a Tournament” では、試合によって複数のチームの順位付けを効率的におこなう新しい手法を提案している。本章の結果はベイズ理論の枠組みをはなれたものになっている。通常のトーナメントでは、第1位のチームを決めることを目的に試合が組まれる。ここでは、参加チームをすべて順位付けするための効率的な試合計画を構成するための手法を提案し、並列マッチング法と名づけ、その性質を理論的・数値的に調べている。ラウンド数の期待値を求める問題を、確率論の破産問題および投票問題の結果を巧妙に利用することにより解決している。

第6章 “Concluding Remarks” では、2章から5章までの結果をまとめるとともに、いくつかの考察と注意を与えている。

以上を総合すると、本論文は、統計科学の分野において最近注目を集めているいくつかのモデルと手法に関する重要な問題に対し、ベイズ理論の枠組みから問題をとらえることにより自然な解決を与えるものであり、数理情報学の分野の発展に大きく寄与するものである。

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。