

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 清 智也

空間統計学の分野においては、空間的なデータを  $d$  次元ユークリッド空間上の点を径数とする確率場のひとつの実現値ととらえてモデリングを行なう。とくに、確率過程モデルは1次元の径数をもつ確率場モデルとみなせる。確率場モデルの統計的推測に関しては、有限サンプルに基づく厳密な推測理論を扱うことは困難であり、漸近理論を考えることが必要である。従来広く研究されてきた漸近理論は、データが得られる空間的な領域が大きくなる極限を考えるものである。この設定においては、確率場のエルゴード性により近似的に独立同一分布のモデルに対する結果と類似した結果が得られることが多い。一方、もうひとつの漸近理論は、データの得られる空間的な領域を固定して、データの得られる点の密度が大きくなる極限を考えるものであり、固定領域漸近理論と呼ばれ最近注目を集めている。特に地球統計学においては、固定領域漸近理論の方が従来の漸近理論より現実的な設定であると考えられる例が多くあらわれることが知られている。この設定においては、確率場のエルゴード性が直接利用できないという点で、従来広く研究されてきた観測領域が大きくなる極限を扱う漸近理論とは本質的に異なる困難さがあり、未解決の問題が多く残されている。本論文は、確率場モデルを用いた統計的推測の固定領域漸近理論に関連する主に3つの問題に解決を与えるものであり、“Asymptotic Properties of Estimators and Information Criteria for Random Fields”（「確率場に対する推定量および情報量規準の漸近的性質」）と題し、全8章からなる。

第1章 “Introduction” では、論文で扱う問題について簡潔に説明し、各章の論理的な関係を述べるとともに、記号の定義を与えている。

第2章 “Statistical Inference of Spatial Data” では、空間統計学における今までの結果と問題点について概観している。特に確率場の統計的推測における固定領域漸近理論の設定と確率過程のフラクタル次元の推定問題について説明するとともに、本論文で用いられている確率過程のシミュレーションの手法について述べている。

第3章 “Asymptotic Decision Theory” では、決定理論的漸近理論における重要な概念である、接触性、局所漸近正規性、局所漸近混合正規性について説明するとともに、予測問題における局所漸近ミニマックス定理について証明を与えている。

第4章 “Information Criteria” では、いくつかの既存のモデル選択規準について説明するとともに、リスクおよびリグレットなどのモデル選択規準の性能を評価する基準について説明を与えている。

---

第5章 “Estimation of the Fractal Index” では、M. L. Stein により提案された確率過程のフラクタル指数の推定量について一貫性・漸近正規性が成立することを証明し、さらに多くの既存の推定量のなかでもとくに漸近分散が小さく優れていることを示している。この推定量が良い性質をもつことは数値的には確認されていたが、本章の結果はその漸近的性質を理論的に明らかにするものである。

第6章 “Transformed Gaussian Model” では、変換ガウスモデルと呼ばれる統計モデルが局所漸近混合正規性をもつことを証明している。径数空間が1次元の場合には、拡散過程に対して同様な結果が知られていたが、多次元径数の変換ガウスモデルの局所漸近混合正規性の証明は未解決の問題であった。

第7章 “Information Criteria for LAMN Models” では、統計モデルが局所漸近混合正規性を満たすときに適用できる情報量規準を理論的に導出するとともに、その性能が既存のモデル選択規準に比べ優れていることを数値実験により示している。従来のモデル選択規準に関する漸近理論の結果はほぼすべて局所漸近正規性を仮定したものであり、本章の結果はより広いクラスのモデルに適用できるものとなっている。

第8章 “Conclusion” では、以上の結果をまとめている。

以上を総合すると、本論文は、確率場の統計的推測における固定領域漸近理論に関連する重要な問題に理論的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。