

論文審査の要旨および学識確認結果

報告番号	①／乙第 号	氏 名	力丸 佑紀
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	Ph. D. 南 美穂子
	副査	慶應義塾大学准教授	博士（理学）白石 博
		慶應義塾大学准教授	博士（情報理工学）小林 景
		慶應義塾大学専任講師	博士（工学）林 賢一
		慶應義塾大学名誉教授	理学博士 柴田 里程
(論文審査の要旨) 学士（理学）、修士（理学）力丸佑紀君提出の学位請求論文は，“Parameter Estimation of Simultaneous Spatial Autoregressive Model”（同時空間自己回帰モデルのパラメータ推定）と題し、全4章から構成されている。本論文は、空間の格子点上のデータに対する代表的なモデルの一つである同時空間自己回帰モデル(simultaneous spatial autoregressive model)のパラメータ推定に関する研究成果をまとめたものであり、弱定常性と正規性の仮定のもとでの、計算が容易で漸近有効なパラメータ推定法の確立を中心課題としている。同時空間自己回帰モデルは、各地点での値がその近傍のいくつかの値の線形結合と誤差で表されるとするモデルである。よく知られた時系列データに対する自己回帰モデルが過去の時点のみを近傍とするのに対し、同時空間自己回帰モデルは、前後左右の全方向の地点を近傍に含みうるものであり、そのため尤度関数の直接の評価が難しい。本論文では、計算が容易な近似対数尤度を提案し、導かれる推定量が一致性、漸近有効性、漸近正規性を持つことを証明している。また、パラメータの同定可能性について明らかにし、同時空間自己回帰モデルの本質的な難しさを示している。 第一章は序論であり、空間データと同時空間自己回帰モデルを紹介したのち、同時空間自己回帰モデルのパラメータ推定に関連する既存の研究を概説している。また、同時空間自己回帰モデルにおける弱定常性の必要十分条件について議論し、証明を与えている。第二章では、弱定常性と正規性の仮定のもとでの同時空間自己回帰モデルに対する近似対数尤度とそれに基づく推定量を提案している。この近似対数尤度の特徴の1つは、観測値から誤差への変換行列に巡回性を導入することにより、近似自己共分散行列が容易に計算できることである。そのため、近似対数尤度の計算はスペクトル密度を利用せず行列演算のみで行うことができ、パラメータ数が多くても計算の複雑さが増すことはない。提案する近似対数尤度のもう1つの特徴は、観測値の二次形式に縮小因子を導入したことである。これによりこの近似対数尤度の最大化によって得られる推定量が一致性、漸近有効性、漸近正規性をもつことが証明されている。数値実験では、独自に開発した乱数生成法により生成したデータに対して、従来の推定法と提案法による推定値を求めて比較し、提案手法は比較的少数のデータでもより精度のよい推定が得られることを示している。第三章は、同時空間自己回帰モデルの同定可能性について議論している。時系列データに対する自己回帰モデルの場合とは異なり、同時空間自己回帰モデルにおいては、異なる複数のパラメータ値が同じスペクトル密度関数を持つこと、つまりは、最尤解が複数存在することを示している。さらに、最尤解が重複度を持つときには、フィッシャー情報量行列が非正則になり、パラメータが推定不可能となることを証明している。また、フィッシャー情報量行列が正則となるための必要十分条件も導出している。第四章は総括であり、本論文の結果をまとめるとともに、その結果に関連した残されたいくつかの課題について述べている。 以上のように、本論文において力丸君は、厳密な尤度評価が難しい同時空間自己回帰モデルに対して、計算が容易な近似対数尤度と一致性、漸近有効性、漸近正規性を満たす推定量を提案し、また、同定可能性という同時空間自己回帰モデルの本質的な問題点を明らかにしている。これらの成果は、現象の記述としては自然だが厳密な解析は難しいとされてきた同時空間自己回帰モデルの応用の可能性を広げるものとして高く評価される。以上の理由により、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。			
学識確認結果	学位請求論文を中心にして関連学術について上記審査会委員で試問を行い、当該学術に関し広く深い学識を有することを確認した。また、語学（英語）についても十分な学力を有することを確認した。		