

氏名	平野 敏弘			
学位の種類	博士 (社会工学)			
学位記番号	博 甲 第 8 5 1 1 号			
学位授与年月日	平成 3 0 年 3 月 2 3 日			
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当			
審査研究科	システム情報工学研究科			
学位論文題目	Fast Computation of Statistical Analysis for Large Spatial Data Sets (大規模空間データに対する統計解析の高速計算)			
主査	筑波大学 教授	博士 (工学)	堤 盛人	
副査	東京大学 教授	Ph.D. in Statistics	大森 裕浩	
副査	筑波大学 教授	博士 (工学)	イリチュ 美佳	
副査	筑波大学 准教授	博士 (経済学)	大久保 正勝	
副査	筑波大学 助教	博士 (経済学)	五十嵐 岳	

論文の要旨

地理的な位置情報を含む空間データに対する統計解析の分野において、近年、サンプルサイズの大きな大規模なデータ取得が可能となる中で計算時間の大幅な増大が深刻な問題となっている。審査対象論文は、大規模空間データに対する新しい高速統計解析手法を提案している。

第一章では、本論文が対象とする空間統計学における基本的な概念や方法論を概観している。

第二章では、空間データが大規模化するに従い計算負荷が大きくなるメカニズムについて説明し、これに対処することの重要性を述べた後、大規模空間データに対する既存の高速統計解析手法をスパース・アプローチ、低ランク・アプローチ、スペクトル・アプローチの3つに大別し、各手法の長所短所とともにそれらの関係を丁寧に整理している。

第三章では、スパース・アプローチのうち、誤差項の共分散行列の逆行列にスパース性を導入する手法の1つである乗法型近似を取り上げている。一般化最小二乗推定量は、サンプルサイズが大きくなるに伴い誤差項の共分散行列の逆行列の計算に膨大な時間を要するという問題に直面する。これに対して、本論文では、真の共分散関数を自己回帰過程の共分散関数の積で置換した疑似最良推定量を提案している。次に、提案した推定量の漸近共分散行列を導出し、シミュレーションを行って提案手法の最小二乗推定量・一般化最小二乗推定量に対する推定精度と計算時間の優位性を確認している。さらに、土壌水分量の予測に関する実際のデータを用いた推定を通じて、提案手法の有用性を確認している。

第四章では、低ランク・アプローチをスパース・アプローチで補正した新たな手法を提案している。空間統計モデルをベイズ推定により同定する場合において、マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いてサンプリングを行う際には、誤差項の共分散行列に起因する行列の逆行列を計算する必要があり、サン

ブルサイズが大きくなるに伴いその逆行列の計算に膨大な時間を要するという問題に直面する。この問題に対し、共分散行列を低ランク行列で近似して展開することで逆行列の計算負荷を軽減する Linear Projection という手法が提案されているが、共分散関数の small-scale における近似精度が良くないという短所を有している。そこで本論文では、Linear Projection を Covariance Tapering で補正した Modified Linear Projection という手法を提案し、その理論的な性質を証明した。そして、シミュレーションや空間線量率に関する実際のデータを用いた分析を通じて、提案手法による計算時間の短縮と推定及び予測の精度の改善を確認し、その有用性を示した。

第五章では、本論文の成果を総括するとともに、Modified Linear Projection のさらなる改良の方向性並びに多変量確率場における高速統計解析手法の開発の方向性及び多変量時空間データに対する統計解析手法の高速化の研究の必要性に関して論じている。

審 査 の 要 旨

【批評】

空間並びに時空間統計解析の分野において、近年のセンシング技術の発展に伴い、サンプルサイズの大規模化に対応した高速統計解析手法の必要性が高まっており、精力的に研究が行われている。そのような中において、最新の研究事例も含めて既存の研究の関係性を整理した上で、二つの新たな手法を提案してその理論的特性を議論し、さらにシミュレーションあるいは実際のデータを用いた分析によって提案手法の優位性及び有用性を示している点は高く評価できる。

【最終試験の結果】

平成30年2月6日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（社会工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。