

博士學位論文審査要旨

| | |
|----------------|---|
| 学位申請者氏名 | 高橋将宜 |
| 論文題目 | Incomplete Data Analysis for Economic Statistics |
| 審査委員 (職名・氏名・印) | |
| 主査 | 教授 岩崎 学 |
| 審査委員 | 教授 小口喜美夫 |
| | 教授 中野有紀子 |
| | 教授 汪 金芳 |
| 論文審査結果 (合 否) | 合 格 |
| 論文審査の要旨 | <p>社会科学のデータは不完全であることが多く、その分析結果は非効率的で偏っていることも多い。本論文は、公的経済統計における欠測データの問題を研究したものである。特に、本論文は、単一代入法と多重代入法を扱っている。第2章と第3章は、主に、単一代入法に関するものであり、第4章、第5章、第6章は、多重代入法に関するものである。第1章は序章、第7章は結語である。</p> <p>公的統計の調査は、時間や予算の制約のため、標本に基づいていることが多い。標本は、何らかの無作為抽出法によって選び出されており、標本抽出が無作為である限り、標本誤差は数値的に評価することができる。大数の法則から分かるとおり、標本サイズを大きくすることにより標本誤差を小さくすることができる。また、公的統計では、母集団フレームワークを構築する目的で、数年一度の頻度で全数調査を実施することがある。こういった全数調査においては、標本誤差は存在しない。そのような全数調査の例として、経済センサスー活動調査を挙げることができる。</p> <p>しかしながら、欠測のような非標本誤差は、公的統計における測定のプロセスにおいて発生するものである。2014年3月に閣議決定された第II期「公的統計の整備に関する基本的な計画」において指摘されているとおり、事業所・企業を単位とする調査において、経理項目を把握することは一般的に困難であることが知られている。つまり、経理以外の項目には回答するが、経理項目には回答しない事業所・企業が存在すると想定される。よって、経済センサスのような全数調査は、母集団全体の情報を得ることを目的としているものの、実際には、欠測のためにデータは不完全である可能性が高い。</p> <p>このような状況を一部項目無回答という。欠測値がデータ行列の全体に散らばっている状態である。標本調査であれ、全数調査であれ、ほとんど常に一部の調査項目が回答されない可能性に変わりはなく、不完全データは、公的経済統計のいたるところで見ることができる。データに欠測が発生している場合、欠測値を明示的に処理しなければ、分析結果は非効率的であり、偏っているおそれがある。この偏りは、標本サイズを大きくしても消えることがない。本論文は、代入法 (imputation) を扱うものであり、代入法を用いることで、一定の条件下において、欠測データの問題を改善することができる。</p> |

論文審査の要旨（続）

序章である第1章では、欠測データに関する問題点と本論文の構成について説明している。最後の第7章では、本論文で得られた知見をまとめ、将来の展望を示している。これらの2つの章以外の第2章から第6章の5つの章は、本学位申請論文の中核をなし、申請者のこれまでの公刊論文5編（いずれも査読付きで、単著あるいは申請者が筆頭著者）のそれぞれに対応したものとなっている。以下、各章の内容を簡単に紹介する。

第2章は、“Imputation Methods in Official Statistics: Current and Future Perspectives”（「公的統計における代入法：現在と将来の視点」）と題し、諸外国における公的統計の現状を明らかにしている。その目的のために、本章は、国連欧州経済委員会（UNECE: United Nations Economic Commission for Europe）の加盟国に調査票を送付し、現状の把握に努めた。諸外国の公的統計における現在の慣行では、比率代入法によって経済データの欠測値が処理されており、ホットデック法によって世帯データの欠測値が処理されていることが明らかとなった。これらの2つの手法は、いずれも単一代入法である。さらに、第2章では、単一代入法と多重代入法を比較し、公開型マイクロデータに関して、多重代入法が適していることを示している。2014年3月に閣議決定された第II期「公的統計の整備に関する基本的な計画」において公的統計の二次的利用の促進が言及されており、公的経済統計における将来の方向性は、単一代入法から多重代入法へと変わっていくと予想される。

第3章は、“A Unified Approach to Ratio Imputation for Heteroskedastic Missing Variables”（「不均一分散の欠測変数に関する比率代入法の統一的アプローチ」）と題し、比率代入法に焦点を当てている。第2章で明らかとなったとおり、公的経済統計における欠測値は、比率代入法によって処理されることが多い。しかしながら、推定方法として、最小二乗法、平均値の比率、比率の平均値の3種類の方法が提案されている。これら3つの手法がどのような状況において使い分けられるべきなのかについて、先行研究では明らかとなっていない。そこで、本章では、重み付き最小二乗法の枠組みにおいて、比率代入法を統一化した。また、不均一分散の度合いに応じて、比率代入法モデルを選択する新たな方法を提案した。本章は、学術的に重要であるだけでなく、経済調査における特定のデータセットにおいて最適な代入法を選ぶ際、実務的にも有用である。

第4章は、“Comparison of MCMC and Non-MCMC Multiple Imputation Algorithms”（「MCMC系および非MCMC系の多重代入法アルゴリズムの比較」）と題し、3種類の多重代入法アルゴリズムの性能比較をしている（ここで、MCMCはマルコフ連鎖モンテカルロ法を意味している）。第2章で明らかとなったとおり、公開型マイクロデータに関して、将来的に公的統計では多重代入法が重要になると予想されるが、多重代入法は、データ拡大法（Data Augmentation）、完全条件付指定（Fully Conditional Specification）、EMB（Expectation-Maximization with Bootstrapping）の3種類のアルゴリズムによって実行することができる。これら3つのアルゴリズムに関して、ジョイントモデル（データ拡大法、EMB）と条件付モデル（完全条件付指定）という視点から比較した先行研究はありふれており、ジョイントモデルは計算効率がよく、条件付モデルはフレキシブルであることが知られている。しかしながら、MCMC系アルゴリズム（データ拡大法、完全条件付指定）と非MCMC系アルゴリズム（EMB）という視点では比較されてこなかった。本章では、データ拡大法と完全条件付指定による多重代入法は、代入間の繰り返しを実行しなければ適切な多重代入法とならない一方、EMBによる多重代入法は、代入間の繰り返しがなくても関わらず適切な多重代入法であることを示した。すなわち、EMBは、データ拡大法と完全条件付指定よりもユーザーフレンドリーであるとい

える。

第5章は、“Multiple Ratio Imputation by the EMB Algorithm: Theory and Simulation”（「EMB アルゴリズムによる多重比率代入法：理論とシミュレーション」）と題し、多重比率代入法の理論を提案し、検証を行った。第2章と第3章において明らかとなったとおり、公的経済統計の実務では、比率代入法を用いて欠測値を処理している。第4章で明らかとなったとおり、EMB は有用な多重代入法のアルゴリズムである。しかしながら、先行研究において、多重比率代入法は提案されていない。そこで、本章では、EMB アルゴリズムを比率代入法に適用することで、新たな多重比率代入法を構築した。モンテカルロ実験によって、伝統的な手法と比較して、その優位性と有用性が示されている。

第6章は、“Implementing Multiple Ratio Imputation by the EMB Algorithm in R”（「R における EMB アルゴリズムによる多重比率代入法の実装」）と題し、EMB アルゴリズムによる多重比率代入法を統計環境 R において実行する具体的なコードを示し、新たなソフトウェア *MrImputation* を提供している。本章において示されているコードをコピーし、R に貼り付けることによって、多重比率代入法を実際に使用することができ、この章は実務的に有用である。

そして最後の第7章で全体のまとめを行うと共に、この分野の理論研究並びに実際問題への適用に関する今後の見通しを述べている。

本論文は、公的統計をはじめとする各種統計調査において不可避となる欠測の問題に対し、近年の理論的及び計算的な進展を踏まえ、それらの性能評価を行うと共に、新しい手法を提案して実際の問題に適用するなど、理論的側面からの考察ならびに実際の統計調査に関する事象の解明を扱っていて、今後の公的統計並びに各種調査の統計分析に寄与するものと高く評価される。また、自ら開発した手法を統計プログラムとしてユーザーに提供し、さらなる応用の可能性を提供している点もこの分野における重要な寄与である。論文内容は、統計理論と実用の2つの視点をバランスよく意識したもので、博士（理工学）の学位にふさわしいものであると認める。

(以 上)