

論文の内容の要旨

論文題目 階層的線形モデルにおけるサンプルサイズ決定のための探索的方法

氏名 奥村太一

教育心理学をはじめとする人間科学の諸分野における研究で得られるデータは、しばしば階層的な構造をもっている。ここでデータが階層的な構造をもっているとは、学級などの集団単位で標本が抽出された場合や、複数の被験者に対して反復測定を行った場合などを意味する。階層的線形モデルは、こうしたデータを適切に、かつ効率的に分析するために開発された統計モデルである。一般に、これからデータを収集しようとする研究者にとって最初の懸案の一つとなるのがサンプルサイズの決定である。特に、階層的線形モデルによる分析を行うことを予定しているような状況では、何人からなる集団をいくつ集めればよいかといった複雑なサンプリング計画を立てる必要がある。しかしながら、これまでに実際の研究場面において有効に利用することのできるサンプルサイズ決定法は提案されてこなかった。本論文では、予備データの情報を用い、事後予測分布から将来得られるであろうデータを繰り返し発生させ分析するという数値的方法をとることでサンプルサイズの決定を行う方法を新たに提案する。

第 1 章では、階層的線形モデルについて異なった分野の研究者が様々な論文や著作において独立に発表してきた理論的問題について、一貫した立場からレビューを行った。また、母数の推定法のアルゴリズムなど先行研究において明らかにされていない箇所については新たに導出を行い、研究者が参照できるようにした。

第 2 章では、階層的線形モデルにおいてサンプルサイズを決定する方法について、先行研究ですでに提案されている検定力分析にもとづく方法に加えて信頼区間幅の期待値にもとづく方法について数学的に導出した。こうした解析的方法は、いずれも母数値が既知であるとして、あるいは母数の点推定値のみを用いてサンプルサイズを決定することを想定

している。また、同じ集団に属する個人の心理的属性がどの程度似ているかを示す指標である級内相関係数の値によって検定力や信頼区間幅がどのように変化するかについてその数理的構造について考察し、その変化を確認するための簡便なプログラムも提供した。

第3章では、第2章で紹介・提案した方法が(1)母数値を既知としており、母数値が未知の場合はその点推定値を母数値とみなして用いるのみでその情報の不確実性を考慮に入れていない、(2)サンプルサイズを決定する基準として固定効果に関する検定力もしくは信頼区間幅の期待値しか扱えない、(3)2群比較など極めて単純なモデルしか扱えない、(4)完全釣り合い型デザインしか扱えないため階層的線形モデルが柔軟なデータ構造をその分析対象としているという長所を生かすことができない、といった理論上・応用上深刻な問題点を多数持っていることを指摘した。さらに、この章では、こうした先行研究の欠点をすべて克服する方法として、事後予測分布を用いた数値的方法にもとづく新たなサンプルサイズ決定法を提案した。具体的には、予備実験や予備調査などを行って事前に得られたデータから事後予測分布をもちいて将来得られるデータを発生させて統計的検定を行ったり信頼区間幅を計算したりすることを繰り返し、予定しているサンプルサイズでデータ収集を行った場合の検定力や信頼区間幅の期待値などを推定するというものである。本方法は、従来の解析的方法に比べて、(1)予備データから得られた母数推定値の不確実性を考慮することができる、(2)固定効果以外の母数に関しても扱え、また信頼区間幅についても期待値以外の基準を扱うことができる、(3)2群比較のような単純なモデルにとどまらず、各レベルのモデルに説明変数を投入した複雑なモデルを扱うことができる、(4)収集するデータのデザインに関して理論上まったく制約がない、という特徴をもっている。これらの特徴は、統計学的に妥当な結果を導くだけでなく、現実のデータ解析の状況により適応した応用範囲の広いものであると考えることができる。また、実際に予備データをどの程度収集しておけば検定力および信頼区間幅を正確に推定することができるのかについて、シミュレーションを行って知見を提供した。

第4章では、第3章で提案した方法を実際の心理学の研究に適用してその有用性を確認した。第4章で扱ったモデルは階層的線形モデルの中でも最も発展的なモデルの一つであり、階層的線形モデルの持つ柔軟なモデリングを存分に発揮し、心理学的に豊かな知見を得ることが期待されるモデルである。しかし、こうした複雑なモデルにおいてサンプルサイズの決定を行うことは、従来の方法では不可能であった。第4章では、このモデルを用いて社会心理学における「控えめ仮説」に関してTIMSS 2003のデータを用いて必要最小限のサンプルサイズで定量的検討を行った。その結果、第3章で提案した方法が有効に働くことが確認されただけでなく、日本人がアメリカ人に比べて心理測定論的に無視できない程度控えめであるという定量的な知見を提供することができた。

第5章では、心理物理学や生理心理学の分野で行われている被験者内反復測定に注目し、測定誤差の影響を除くために通常行われる最小2乗推定(得られた測定値の単純平均の算出)に比べて、統計モデルを設定してベイズ推定を行った方が真値を高い精度で推定でき

ることを示した。さらに、平均的に真値の推定精度を一定以上に保つために必要となる測定デザインを予備データをもとに事後予測分布を用いて決定する方法について提案した。また、予測分布を用いて予備データの不確実性を考慮に入れる場合と無視した場合とでどのように結果が異なるのか比較を行った。その結果、母数の不確実性を考慮に入れた方がより予備データの規模の大小による変化が少なく、また安定してサンプルサイズの決定を行うことができることが明らかになった。

第 6 章では、第 3 章及び第 5 章で提案した方法を研究者がフリーの統計解析環境である R において実行できるようにプログラム “Samādhī” を開発し、その使用法について詳しく解説を行った。このプログラムは Web 上でソースコードが公開されていることから、従来のサンプルサイズ決定法を実行するために提供されてきたソフトウェアと異なり、アルゴリズムを研究者間で共有することができ、プログラムのバグの修正やさらに効率のよいアルゴリズムの開発などが円滑に行われることが期待できるものである。

第 7 章では、本論文のまとめと今後の展望を行った。本論文で検討できなかった点として、第 1 に事後予測分布からのデータ発生を行うために必要となる説明変数行列の用意の仕方が複数あることを指摘し、いずれの方法を用いるかによって若干結果が異なってくることやいずれの方法が統計学的に最も妥当であるかは未確認であることを指摘した。第 2 に、階層的線形モデルが母数推定法として経験ベイズ法を用いていることから、事後予測分布から発生させるデータセットの規模が小さい場合に、決定されるサンプルサイズがバイアスをこうむる可能性があることについて先行研究の知見を踏まえながら指摘した。第 3 に、今回提供したプログラムが必ずしも研究者にとって使い勝手の良いものではない可能性があること、適用できるモデルの範囲が限られていることを指摘し、こうした問題について解決すること必要があることを述べた。最後に展望として、本論文で提案した方法がそのアルゴリズムの中に検定力分析と信頼区間にもとづく方法が自然に統合されていることから、現在検定による定性的記述のみに偏りがちな心理学の研究法に対して定量的記述にもとづいた豊かな心理学的知見が見出されるよう、サンプルサイズ決定法からの改革を行える可能性について述べた。