

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：14201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K03224

研究課題名（和文）ハイブリッド型ベイズアプローチによる単一事例実験のための標本サイズ決定法

研究課題名（英文）Sample size determination for single-case experiments based on a hybrid Bayesian approach

研究代表者

奥村 太一（Okumura, Taichi）

滋賀大学・データサイエンス学系・准教授

研究者番号：90547035

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,300,000円

研究成果の概要（和文）：多重ベースラインデザインによって得られたデータに基づいて事後予測分布からデータセットを発生させ、当該デザインでデータ収集を行った場合の信頼区間幅と検定力を推定する方法を提案した。対象者によって介入開始ポイントや時点数が異なるデザインであっても柔軟に正確度分析・検定力分析を実行することができた。一方で、想定するモデルの誤指定には頑健でない可能性があり、誤差の系列相関を考慮せずに行った場合は必要な標本サイズを小さめに見積もってしまう傾向があった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

単一事例実験は心理的介入の個人レベルの効果とその個人差を検証する上で広く用いられている方法である。一方、対象者数、時点数、介入開始ポイント、変化の非直線性、系列相関構造、結果変数の取りうる範囲など選択肢の多様さや複雑さが統計的アプローチを導入する上で大きな障壁となってきた。本研究で示したアプローチは標本サイズ決定に注目し、ハイブリッド型ベイズアプローチの採用により多様なデザインやモデルの扱いについて一定の解決策を示したものと考えている。

研究成果の概要（英文）：We proposed a method to generate a data set from the posterior predictive distribution based on data obtained by a multiple baseline design and to estimate the confidence interval width and power of the test when data were collected in that design. We were able to flexibly perform accuracy and power analyses even for designs with different intervention starting points and number of time points depending on the subject. On the other hand, it may not be robust to mis-specification of the assumed model, and tended to estimate a smaller sample size than required when performed without considering serial correlation of errors.

研究分野：教育心理学

キーワード：単一事例実験

1. 研究開始当初の背景

本研究は、教育心理学の研究で行われる単一事例実験に関して、標本サイズをハイブリッド型ベイズアプローチによって決定する方法論を提案することが目的である。従来の検定力分析や正確度分析では、未知の母数値をどのように設定するかが大きな問題となってきた。ハイブリッドベイズ型アプローチとは、効果量など未知の母数値に関する知識を事前分布として表し、予測分布を用いて想定している標本サイズの下での検定力の推測や信頼区間幅の予測を行うものである。

単一事例実験ではカテゴリカルな変数が目的変数として用いられる事が多く、しかも誤差も互いに独立ではないため、従来の最尤推定にもとづくアプローチでは検定力分析や正確度分析を行うことが難しかった。ハイブリッド型ベイズアプローチでは、母数値の不確実性を事前分布として処理できるだけでなく、マルコフ連鎖モンテカルロ法の応用により従来は扱えなかったようなモデルでも予測分布を通じて標本サイズの決定を行うことが可能である。

ハイブリッド型ベイズアプローチの応用は、現在のところ平均の 2 群比較や相関係数の推測といった基本的な分析に留まっているが、単一事例実験をターゲットとすることで、一般化線形混合モデルのようなより汎用的な統計モデルへの応用可能性が広がると期待される。

2. 研究の目的

本研究は、代表的な単一事例実験デザインに一般化線形混合モデル (GLMM) を当てはめることを想定し、ハイブリッド型ベイズアプローチによる検定力分析と正確度分析の方法を提案する。標本サイズの決定に関しては、検定力分析の必要性が古くから主張されているほか、近年では区間推定を行うことを視野に入れた正確度分析の重要性も指摘されている。一方、こうした一連の提言は教育心理学研究において一般的になっているとは言いがたい現状にある。この背後には標本サイズの決定に必要となる母数の値自体が未知であるという事情が大きな障壁になっている。本研究が採用するハイブリッド型ベイズアプローチは、未知の母数を確率分布として処理することで従来の標本サイズ決定法に共通していた課題を乗り越えようとするものであり、今後さらに普及が進んでいくことが期待されるものである。

3. 研究の方法

Schutte, Malouf, & Brown (2008) のデータ "Schutte" (R の `scdhlmm` パッケージで提供) を使用し、これを予備データとして事後予測分布から新たに得られるデータを予測し (発生させ)、信頼区間幅の予測値と検定力の推定値を得ることにした。このデータは、13 人の慢性疲労症候群の患者へ情動焦点型セラピーを実施した効果を多重ベースラインデザインで検証したもので、1-63 点の自己報告式質問紙の得点が結果変数となっている。計算の手続きは以下の通りである。ここでは、ある特定のデザインを指定した場合の結果のみを紹介する。

1. データ Schutte から R の `brms` パッケージにより MB3 モデル¹を当てはめ、MCMC からのサンプルを 5,000 回発生させ、そのうちの 1,000 回はバーンインとする連鎖を 4 つ発生させた。
2. 事後予測分布から新たなデザインのデータセットを発生させる。
ここでは 10 人 × 10 時点の合計 100 データポイントを想定し、各対象者に設定されるベースライン時点数と処置時点数はそれぞれ (2, 8), (5, 5), (8, 2) の 3 パターンのいずれかとした。これを計画行列として、2,000 セットの予測データを発生させた。
3. 計画行列と結果変数を合わせて 2,000 セットの事後予測データからそれぞれ MB3 モデルを REML 推定し、効果量 g_{AB} とその分散 V_g 、自由度 ν から 95% 対称 CI を算出した。
4. CI の下限上限、CI 幅、検定結果についてそれぞれ平均を算出した。
CI 幅の平均は当該デザインでデータ収集を行ったときの期待 CI の予測値であり、有意になったデータセットの割合が検定力の推定値に相当する。

以上が提案するハイブリッド型ベイズアプローチによる正確度分析および検定力分析である。以下では、この条件で当手法を Schutte データに適用した場合の結果を簡潔に示す。

4. 研究成果

Table 1 は、上記の条件で正確度分析と検定力分析を行った結果を示したものである。想定し

¹ Pustejovsky et al. (2014) によるモデルの分類で、切片、切片の差、トレンド、トレンドの差を考慮したマルチレベルモデルを指す。

ているデザインでは、CI 幅が広すぎ、かつ検定力も低すぎることがわかる。すなわち、人数を増やす、時点数を増やすなどによってより規模の大きいデータ収集を行うべきである。以降、新たなデザインを設定して同様の手続きを繰り返し、求めている CI 幅や検定力が得られるまで探索を行うことになる。

Table 1: 予備データにもとづく正確度分析と検定力分析の結果

g_{AB}	V_g	ν	CI lower	CI upper	CI width	Power
-0.91	0.16	92.03	-1.70	-0.12	1.58	0.59

以上の結果は、誤差の系列相関を仮定しない MB3 モデルを想定したものである。実際には結果変数の繰り返し測定により誤差に系列相関が存在する可能性がある。なお、Schutte データにおいて自己相関を仮定した MB3 モデルを当てはめた場合、自己相関係数は $\Phi = .86$ とかなり大きい値となる。そこで、事後予測分布の算出において自己相関構造 AR(1) を仮定した場合に上記の結果がどのように変化するか追加で検討を行った。

Table 2: 予備データにもとづく正確度分析と検定力分析の結果（自己相関を仮定した場合）

g_{AB}	V_g	ν	CI lower	CI upper	CI width	Power
-0.81	0.23	40.92	-1.79	0.17	1.96	0.39

結果は Table 2 に示したとおりである。Table 1 の結果と比較して、修正済み効果量の予測平均が -0.91 から -0.81 へとゼロ方向に近づいているほか、CI 幅が広くなり検定力の推定値も 0.59 から 0.39 へと大幅に小さくなっている。この結果は、少なくとも本ケースのように誤差の自己相関が大きい場合は、それを考慮しないモデルを想定して行われる正確度分析と検定力分析は頑健性を大いに欠くことを示している。ハイブリッド型ベイズアプローチにおいて、モデルの誤指定はかなりシビアな問題になると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------