

平成21年3月31日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18700277

研究課題名（和文） 因果推論のためのモデル開発および調査データへの応用

研究課題名（英文） Model development for causal inference and its application for survey data

研究代表者

酒折 文武（SAKAORI FUMITAKE）

中央大学・理工学部・専任講師

研究者番号：90386475

研究成果の概要：

非無作為化実験や観察研究など無作為割付がなされない場合における因果効果の推定法として、潜在クラスモデルを用いた方法およびその改良法を提案し、既存の傾向スコア法による因果効果の推定および周辺平均の推定よりも分布の仮定のずれに頑健な推定を行えることがわかった。また、実際の調査データへの応用として、無作為調査とインターネット調査の間の共変量のずれを補正する方法を提案し、そのよさを検証した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,600,000	0	1,600,000
2007年度	900,000	0	900,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	240,000	3,540,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・統計科学

キーワード：因果分析 潜在クラスモデル 反事実モデル 傾向スコア 局所独立性 調査データの補正

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初、非無作為化実験や観察研究など無作為割付がなされない場合における因果効果の推定法として、傾向スコア法に関する研究やその適用が盛んに行われていた。

従来の傾向スコア法では共変量と割付変数間の関係をロジスティック回帰モデルやノンパラメトリック回帰モデルといった比較的単純なモデルで説明し、因果効果や周辺平均の推定に関して所属確率の逆数重みによる加重平均法を一般的に用いていた。後者の点に関して、研究代表者を含む研究グループにおいては、一部の観測値に過剰に重みを与えてしまう可能性があるため頑健ではな

く、その解決には逆数重み法よりも層別解析あるいはマッチングのほうが適切であると考えていた。そして、層別解析を行うのであれば、ロジスティック回帰モデル等で傾向スコアを推定後にその値で層別するよりも、はじめから層内での独立性を目指したモデルを考慮したほうが自然であることから、潜在クラスモデルの適用を検討した。

また、周辺平均の推定は複数の調査モード間における調査結果の補正に用いることが可能であり、当時の背景として従来型の調査形式からインターネット調査移行の可能性を探っていたことから、本研究の適用例として調査データの補正を念頭においた。

2. 研究の目的

本研究開始当初の目的は、因果効果の推定問題において、潜在クラスモデルを用いた新しい方法を提案し、そのよさの評価を与え、とくに調査モード間の共変量の偏りの補正に使えるかどうかを検証することにあつた。具体的には以下の通りである。

(1) 因果推論のモデル構築：

因果効果の推定問題において、各潜在変数の値ごとに共変量と割付変数が局所独立の関係をもつ潜在クラスモデル（あるいは混合分布モデル）による方法を提案する。そして、理論的な考察により、そのモデルから得られる推定量のよさについて保証をあたえる。

(2) モデルの検証と選択：

計算機シミュレーションを通して、提案したモデルが既存モデルに対して優れているかどうか、詳細な検討を行う。また、クラス数の選択や共変量間の相関構造の導入など、因果効果の推定の立場からどのように行えばよいかの方策を検討する。

それらの結果をフィードバックし、より適切な新しいモデルの提案を行う。

(3) 調査データへの応用：

調査モード間のデータ補正について適用を行う。これにより、既存の無作為標本による調査法（訪問留置調査など）の結果を、インターネット調査の結果だけから補正できるかどうかを検証する。

3. 研究の方法

以上の目的を果たすため、以下のような手順、方法で研究を遂行していった。

(1) 理論的な考察：

潜在クラスモデルおよび混合正規分布モデルを用いた共変量調整法に関して、その理論的な考察を行った。具体的には、因果効果の推定量および周辺平均の推定量の性質について理論的に検証した。

(2) 計算機シミュレーションによる検討：

上記モデルに関して、潜在クラスモデルという観点ではなく、因果効果の推定という観点からの適切なクラス数の選択について、計算機シミュレーションを中心に詳細に検証した。

また、提案法と既存の傾向スコア法のパフォーマンスを汎化誤差の観点から詳細に比較した。

(3) 新しいモデルへのフィードバック：

計算機シミュレーションを通して明らかとなった上記モデルの課題である、クラス内での共変量全体に対する局所独立性という過剰な制約をもつモデルを緩和し、共変量間に連関を許したモデルを提案し、そのよさをシミュレーションを用いて検証した。

さらに、モデルの頑健性を高めるべく、共変量と割付変数の間のみならず共変量と目的変数の間にも潜在変数を用いた新たなモデルを提案し、理論的に検証した。

(4) 新しいモデルの検証：

新しいモデルについて、計算機シミュレーションを通してそのよさを比較した。

(5) 調査データへの応用：

実際の調査データへの応用を行った。周辺平均の推定を応用し、訪問留置調査あるいは電話調査とインターネット調査の間の共変量のずれを補正できるかどうかを、実際の調査データを用いて検証した。

4. 研究成果

本研究を通じた主な成果は以下の通りである。

(1) 因果推論のモデル構築：

非無作為化実験や観察研究において因果効果を推定するモデルとして、共変量と割付変数を用いて、すべての変数が局所独立となるような潜在クラスモデル（連続変数なら混合モデル）を用いることを提案した。

各潜在クラス内では割付変数が共変量の影響を受けず独立であると考えることが可能となるため、各潜在クラスにおける目的変数の比較を行い、最終的に各潜在クラスのサイズで重み付けして集計を行うことにより、全体として共変量の影響を取り除いて目的変数の値を群間比較できるのである。また、周辺平均の推定に関しても、各クラスへの帰属確率を用いて計算することができる。

これらの推定量は MAR（欠測がランダム）でありモデルが適切であるという条件のもとで一致推定量となることがわかった。

割付変

図 1: 非無作為化実験と因果効果

図 2: 潜在クラスモデル

(2) モデルの検証と評価:

R 言語を用いた計算機シミュレーションを用いて、共変量と割り付けとの間のモデル化が適切でない場合の傾向スコア法は不適切な補正を行ってしまうのに対し、提案モデルはモデルのズレに強いことを確認した。

また、クラス数に関して真のモデルを想定した場合には精度の高い推定を行うことができるが、真のモデルよりもクラス数がある程度多い場合にも推定の精度はほとんどかわらないことがわかった。ただしクラス数を増やしすぎると各クラスがスパースとなり推定量の分散が大きくなるため精度が悪い。逆に、真のクラス数より少ない数を選んだ場合には十分に補正を行えない。

これらのことから、真のモデルを探す BIC、BIC よりも多いクラス数を選択する傾向にある AIC といった情報量規準を用いてクラス数を選択するのは適切であるとの結論を得た。

一方で、提案モデルは、クラス内での局所独立性の仮定に基づいており、共変量の数が多い場合に必要なクラス数が過剰に多くなってしまい、その結果各クラスがスパースとなって推定が不安定となってしまうことがわかった。しかし、一般に MAR の仮定を満たすためには共変量を多く取る必要があり、そのトレードオフの関係にあることがわかった。

(3) 新しいモデルの提案とその検証:

実際には共変量間の局所独立性は不必要であり、さらにこの制約が必要なクラス数を増やしてしまうことに影響している。

そこで、共変量間に相関構造を導入したモデルについて検討した。共変量間に連関を許すモデルとして、共変量が連続な場合に対しては相関を持つ多変量混合正規分布と 2 値変数の同時分布、共変量が 2 値の場合に対しては多変量ベルヌーイ分布を用いることを検討した。前者のモデルにおいてはクラス間で相関行列を共通にする、混合主成分モデル等を用いるなど、パラメータに制約をおいた様々な部分モデルが考えられ、真のモデルと一致する適切なモデルを仮定した場合には

因果効果の推定を適切に行うことができるが、誤ったモデルを用いると推定がうまくいかないことがわかった。どのモデルを選択するか新たに規準が必要である。また後者のモデルでは一般に必要なパラメータ数が多すぎることが明らかとなった。

また、モデルの頑健性を高めるため、共変量と目的変数間にも潜在因子を仮定した新しい 2 因子モデルについてその理論的な考察とシミュレーションを行ったが、傾向スコアモデルにおける Doubly Robust 推定量のような、共変量と目的変数の間あるいは共変量と割付変数の間のモデルのどちらかが正しい場合に割付効果の一致推定量が得られるという性質については今のところ明らかとなっていない。

(4) 調査データへの応用:

これらの提案手法を応用し、実際の調査データに対する補正の精度を確認した。

従来型の調査である訪問留置調査は、現代の社会情勢にあつて調査の回収率、手間やコストの関係から難しく、近年急速に普及してきたインターネット調査へのシフトが検討されている。しかしながら、インターネット調査のパネルは無作為標本から年齢・性別・職業等や社会参画意識等の変数において大きく偏りをもっていることが指摘されている。そこで、傾向スコア法や潜在クラス法を用いて、これらの偏りを調整して周辺平均を推定する方法が構築できれば、その意義は大変に大きいものといえる。

実際の社会調査データに対して提案手法を用いて、周辺平均の推定を行いその精度を比較した。その結果、実際の調査においては MAR の仮定が必ずしも成り立っているとはいえないことから、推定の精度は必ずしも十分とはいえないことがわかった。これは、提案した潜在クラス法であっても傾向スコア法であっても同様であった。どちらのモデルのほうが優れているかは目的変数によって異なり、一概には言えないことがわかった。また、共変量数が非常に多いため、潜在クラス法を行うにはかなりの時間と負荷がかかることがデメリットであるといえる。

(5) 意義と今後の展開:

これらのことから、MAR が成り立つ場合には、提案した潜在クラス法は因果効果の推定および周辺平均の推定において、現在標準的に用いられている傾向スコア法と比べても十分に有効であるといえる。しかしながら、MAR ではない場合の精度や、また共変量数が多い場合の実行速度等、その実装にはまだ問題点が多い。したがって、今後はこれらを解決すべく、より優れたモデルを提案していく必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計2件)

①Sakaori, F., and Yamaguchi, K. Casual Inference with Latent Class Model and Its Validity under Nonrandomized Assignment, *New Trends in Psychometrics*, 393-400. (2008). 査読有.

②酒折文武, 山口和範. 潜在クラスモデルの局所独立性を利用した共変量調整法. *日本統計学会誌*. 36, No.1. 25-36. (2006). 査読有.

〔学会発表〕(計7件)

①Sakaori, F., and Yamaguchi, K. Causal Inferences with Latent Class Modeling, *The 9th Japan-China Symposium on Statistics*. 2007年9月26日. 北海道大学.

②福田昌史, 酒折文武. 2つの調査間の傾向スコア補正とそのモデル評価. 2007年度統計関連学会連合大会. 2007年9月8日. 神戸大学.

③Sakaori, F., and Yamaguchi, K. Latent class modeling for causal analysis in observational study, *International Meeting of the Psychometric Society*. 2007年7月10日. 船堀タワーホール.

④酒折文武. 非無作為化データにおける因果推論—傾向スコア法の最近の話題と潜在クラス法—. 岡山地域部会第21回研究会・第121回岡山統計研究会. 2007年3月10日. 加計学園 国際学術交流センター.

⑤徐順, 酒折文武, 山口和範. 潜在クラスモデルによる共変量調整のインターネット調査への適用. *日本分類学会第23回研究報告会*. 2006年11月26日. 多摩大学ルネッサンスセンター.

⑥酒折文武. 潜在クラスモデルを用いた因果分析. *統計数理研究所・共同研究集会 統計サマーセミナー2006*. 2006年8月7日. せせらぎの宿ごかばし.

⑦酒折文武, 山口和範. 潜在クラスモデルを用いた共変量調整におけるクラス数の選択. *日本計算機統計学会第20回記念大会*. 2006年5月21日. 同志社大学.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

酒折 文武 (SAKAORI FUMITAKE)

中央大学・理工学部・専任講師

研究者番号：90386475