

令和元年6月12日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2015～2018

課題番号：15K00060

研究課題名（和文）構造的因果モデルに基づく原因を究明するための統計解析法の開発

研究課題名（英文）Development of statistical analysis for clarifying cause-effect relationships based on statistical causal models

研究代表者

黒木 学（KUROKI, Manabu）

横浜国立大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：60334512

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、因果メカニズムを解明するための因果効果の推測問題に取り組み、共変量情報を用いるよりも中間変数情報を用いたほうが因果効果の推定精度を改善するケースがあることを明らかにした。また、交通コンフリクトなどの実質科学的概念を構造的因果モデルの観点から定式化し、原因の確率との関連性について明らかにするとともに、それらの推定可能条件を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

因果メカニズムの解明において、中間変数が重要な役割を果たすことは認識されていたが、本研究により、中間変数の情報を用いることで因果効果の推測精度も改善できる可能性があることが明らかとなった。また、これまでの研究においては、交通コンフリクトなどの実質科学的概念がどのような形式で因果推論と結びつくのかが明らかにされることはなかった。本研究では、これらの概念を因果推論の立場から定式化することで、因果的に解釈できるための要件が明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：In this research, I considered the evaluation problem of causal effects to clarify causal mechanism, and I showed that intermediate variables improve the estimation accuracy of causal effects compared the covariate adjustment in some situations. In addition, based on structural causal models, I provided the mathematical formulations of some concepts used in practical science such as the traffic conflict. Based on the formulations, I clarified the relationships between these concepts and "the probabilities of causations", and provided some identification conditions.

研究分野：統計科学

キーワード：統計的因果推論

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

原因の究明は、因果メカニズムの解明を行うための第一ステップである。しかし、原因の究明を行うためには、現実世界にいる“自分自身”と現実世界には存在しない“自分自身”と比較しなくてはならない。また、因果メカニズムを解明するうえで中間変数が重要な役割を果たすことは認識されていたものの、その具体的な性質については明らかではなかった。本研究では、構造的因果モデルを利用して、これらの問題を解決することを目指した。

2. 研究の目的

本研究では、以下のことを中心に研究を行った。

- (1) 中間変数が測定誤差を伴って観測されるとき、直接効果や間接効果をバイアスなく推定する方法論を開発すること。
- (2) 総合効果の推定精度の観点から中間変数の新たな統計的役割を明らかにすること。
- (3) 実質科学分野で使われてきた統計的尺度と原因の確率との関係を明らかにしたうえで、新たな因果的尺度として改良を行い、その統計的性質を調べること。

3. 研究の方法

日本品質管理学会の研究部会であるテクノメトリクス研究会に参加・議論することで幅広い学術的視野を取り入れるよう心がけるとともに、いくつかの共同研究を実施した。

4. 研究成果

平成 27 年度は、Effect Restoration 法に基づいて、中間変数が測定誤差を伴って観測されるとき、直接効果や間接効果をバイアスなく推定する方法論を開発するだけでなく、総合効果の推定精度の観点から中間変数の新たな統計的役割を明らかにした。平成 28 年度は、医学分野で使われている予防割合や予防可能割合を統計的因果推論の立場から再定式化するとともに、交通工学分野で議論されてきた交通コンフリクトの概念との関係を明らかにした。加えて、Pearl (1999) によって提案された原因の確率と予防割合・予防可能割合が密接な関係にあることを指摘した。平成 29 年度は、線形回帰分析における多重共線性問題を回避するために、予測型主変数選択法を開発し、因果効果を推定する際の変数選択問題への適用可能性について検討した。また、構造的因果モデルの解説書として「構造的因果モデルの基礎」を執筆した。平成 30 年度は、構造的因果モデルに基づく交通コンフリクト指標として The Counterfactual Based Conflict (CBC) を提案し、その推定可能条件を与えた。これらの一連の研究をとおして、応用統計学会優秀論文賞、日本経営工学会論文賞、日本品質管理学会最優秀論文賞、日経品質管理文献賞、横浜国立大学優秀研究賞を受賞するとともに、共同研究者も日本計量生物学会奨励賞、日本統計学会春季集会優秀発表賞、応用統計学会優秀論文賞受賞を受賞した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 13 件)

[1] K.Yamada and M.Kuroki. New traffic conflict measure based on a potential outcome model,

- Journal of Causal Inference, 7, 2019, 査読有.
- [2] M.Kuroki and S.Matsuura. Predictive Principal Variable Selection for Linear Regression Analysis. Journal of the Japanese Society for Quality Control, 48.90-104,2017,査読有.
- [3] K.Yamada and M.Kuroki. Counterfactual-based prevented and preventable proportions, Journal of Causal Inference, 5, 1-15, 2017, 査読有.
- [4] 山田健太郎・黒木学. 潜在反応モデルを利用した交通コンフリクト指標の定式化, 応用統計学,45,1-24, 2017,査読有.
- [5] 黒木学・山下遥. データの線形構造を考慮したクラスター分析法と解析結果のビジュアル化について,日本経営工学会誌,68,1-12,2017,査読有.
- [6] M.Kuroki. The identification of direct and indirect effects in studies with an unmeasured intermediate variable, Scandinavian Journal of Statistics, 43, 228-245, 2016, 査読有.
- [7] M. Kuroki and T. Hayashi. Estimation accuracies of causal effects using supplementary variables, Scandinavian Journal of Statistics, 43, 505-519, 2016, 査読有.
- [8] M. Kuroki. On the equivalence between direct/indirect effects with different intermediate endpoints/covariates, Bernoulli, 22,421-443, 2016, 査読有.
- [9] T. Isozaki and M. Kuroki. Learning causal graphs with latent confounders in weak faithfulness violations, New Generation Computing, 35, 29-45, 2016, 査読有.
- [10] F.Kobayashi and M.Kuroki. Causal measures of the treatment effect captured by candidate surrogate endpoints, Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics, 20, 409-430, 2015, 査読有.
- [11] H.Fukuda and M. Kuroki. The development of statistical models for predicting surgical site infections in Japan: Toward a statistical model-based standardized infection ratio, Infection Control and Hospital Epidemiology, 37, 260-271, 2016,査読有.
- [12] 林岳彦・黒木学. 相関と因果と丸と矢印のはなし: はじめてのバックドア基準, 岩波データサイエンス,3,28-48, 2016,査読無.
- [13]黒木学. 回帰分析を因果分析に適用する際のいくつかの注意点, 「品質」,46, 393-399, 2016, 査読無.

〔学会発表〕(計15件)

- [1] 黒木学. 直接効果・間接効果・総合効果そして擬似相関. 第13回日本統計学会春季集会, 2019.3.10, 日本大学.
- [2]黒木学. 線形構造方程式モデルにおける線形最適制御方式に関する諸注意. 日本品質管理学会第118回年研究発表会,2018.9.14, 大阪大学. [2]山下遥・黒木学・松浦峻(2017). 変数選択を考慮した多変量クラスター回帰分析. 日本品質管理学会第47回年次大会研究発表会,2017.11.15, 統計数理研究所.
- [3] 黒木学・新垣隆生. 統計的因果推論からみた公平性配慮問題. 日本行動計量学会第46回大会,2018.9.5, 慶応義塾大学.
- [4] 山田健太郎・黒木学. 潜在反応モデルを利用した交通コンフリクト指標の定式化, 2017年度統計関連学会連合大会, 2017.9.4, 南山大学.
- [5] 星野崇宏・黒木学. 統計的因果推論の新展開: 異質性と研究デザイン. 日本行動計量学会第

45 回大会ラウンドテーブルディスカッション「統計的因果推論・徹底討論ラウンド3」,2017,8.30,静岡県立大学.

[6] 黒木学. グラフィカルモデルのアイデアを援用したデータ解析. 日本経営工学会 2016 年秋季大会, 2016.10.29, 日本教育会館.

[7] 小林史明・黒木学. Causal measures of the treatment effect captured by candidate surrogate endpoints, 2016 年度統計関連学会連合大会, 2016.9.6, 金沢大学.

[8] 山田健太郎・黒木学(2016). 反事実モデルに基づく確率的品質改善尺度の定式化とその有用性, 日本品質管理学会第112回研究発表会, 2016.9.2, 大阪大学.

[9] 黒木学. 構造的因果モデルから潜在反応モデルへ, 日本行動計量学会第 44 回大会, 2016.8.31, 札幌学院大学.

[10] 山下 遙・黒木 学. データの線形構造を考慮したクラスタリング法とそのビジュアル化について. 日本経営工学会 2016 年春季大会, 2016.5.29, 早稲田大学.

[11] 山田健太郎・黒木学. 統計的因果推論のフレームワークに基づく潜在的交通事故リスク評価指標の提案, 公益社団法人 自動車技術会2016年春季大会, 2016.5.26, パシフィコ横浜.

[12] 山田健太郎・黒木学. 潜在反応モデルを利用した交通事故リスク指標の定式化. 日本品質管理学会第110回研究発表会, 2016.5.28, 日本科学技術連盟.

[13] 黒木学. 因果推論をとおしてみる計量生物学と工学の接点, 第7回 生物統計ネットワークシンポジウム, 2016.3.28, 一橋大学一橋講堂.

[14] 山田健太郎・黒木学. 潜在反応モデルを利用した交通コンフリクト指標の定式化, 第 52 回木計画学研究発表会, 2015.11.21, 秋田大学.

[15] 星野隆宏・黒木学・清水昌平. 徹底討論: 統計的因果推論~データだけから因果を言えるのか? 3つのアプローチから~, 日本行動計量学会第 43 回大会, 2015.9.2, 首都大学東京.

〔図書〕(計2件)

[1] 鈴木讓・植野真臣編著・黒木学・清水昌平・湊真一・石畠正和・樺島祥介・田中和之・本村陽一・玉田嘉紀著. 確率的グラフィカルモデル, 共立出版, 2016.

[2] 黒木学. 構造的因果モデルの基礎, 共立出版, 2017.

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究分担者

なし

(2)研究協力者

なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。