

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 4 月 6 日現在

機関番号：62603

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23500346

研究課題名(和文) 総合効果の分解問題における新たな展開

研究課題名(英文) A new perspective for the effect decomposition problem

研究代表者

黒木 学 (Kuroki, Manabu)

統計数理研究所・データ科学・准教授

研究者番号：60334512

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、“Natural”という新たな因果的概念に基づいて、総合効果を直接効果と間接効果に分解し、それらをバイアスなく推定する問題に取り組んだ。具体的には(1)未観測交絡因子問題を解決するために、代替変数の選択基準およびパイロットスタディの導入法を提案する、(2)入れ子型の反事実モデルに基づいて直接効果を推定するための中間変数の選択基準を開発し、傾向スコア法などとの融合をはかる、といった研究を中心に実施し、それぞれに対して定式化を行った。

研究成果の概要(英文)：In this research, I considered evaluation problems for direct and indirect effects through a new causal concept, 'natural'. Especially, I developed the effect restoration methods to derive the consistent estimator of the total effects when unmeasured confounders exist. In addition, I proposed selection criteria for intermediate variables to estimate direct effects with the variation reduction, and provided a new look at the propensity score method from the proposed criteria.

研究分野：統計科学

キーワード：未観測交絡因子 直接効果 間接効果 代替エンドポイント 総合効果

1. 研究開始当初の背景

実質科学の諸分野では、観察された因果関係に対する因果メカニズムの解明を解決するために、総合効果を直接効果と間接効果に分解し、それぞれを評価することが行われている。しかし、このような総合効果の分解は線形構造方程式モデルでは可能であるもののノンパラメトリックモデルでは困難であると認識されてきた。そこで、本研究では、Judea Pearlによって提案された“Natural”という新たな因果的概念に基づいて、総合効果を直接効果と間接効果に分解し、それらをバイアスなく推定することを試みた。

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) 交絡因子が観測できない場合において総合効果を推定するための代替変数の選択基準およびパイロットスタディの導入法を提案すること。

(2) 新たな因果的概念である入れ子型の反事実モデルを推定するための中間変数の選択基準を開発するとともに、傾向スコア法との融合をはかること。

3. 研究の方法

国内では、日本品質管理学会の研究部会である統計的品質情報解析研究会およびテクノメトリクス研究会に積極的に参加・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てきた。また、産業界からのニーズに応えるべく、いくつかの共同研究を実施した。一方、海外では、UCLAのPearl教授との共同研究を積極的に推し進めた。

4. 研究成果

2011年度は、正規線形回帰モデル・ロジスティック回帰モデルにおける併合可能問題として、興味ある変数の回帰係数の符号が第三の変数の追加・削除によって変化しない条件を

弱併合可能条件として定式化した。

2012年度は、中間エンドポイントが完全な代替エンドポイントとみなされる状況を考え、そのもとで、2つの異なる母集団から採取された2値データを用いて治療から真のエンドポイントへの因果効果の存在範囲を定式化した。また、2つの異なる中間変数が観測される時、それぞれの中間変数に基づいて推定される直接効果と間接効果が一致するための十分条件を提案した。また、実験研究において、処理変数が2値であるとき、直接効果・間接効果が識別可能とする変数群が観測されていれば、傾向スコアを用いて直接効果・間接効果を推定できることを示した。

2013年度は、統計的医療診断法で使われているYouden IndexのアイデアとProbability of Necessity and Sufficiencyの解釈に類似性があることを指摘し、医療診断法の性能を適切に評価するためには、交絡因子の同定や単調性といった仮定が重要であることを指摘した。また、線形構造方程式モデルにおいて、補助変数を用いて因果効果の推定精度を向上させる問題を考え、処理変数から反応変数への直接効果がない状況においては中間変数を含む補助変数の集合を解析に取り込むことで、単一の回帰モデルを用いたよりも因果効果の推定精度を向上させることができることを示した。

2014年度は、交絡因子が観測できない場合において総合効果を推定するための代替変数の選択基準およびパイロットスタディの導入法であるEffect Restoration Methodを開発した。

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13件)

黒木学・林崇弘:中間特性を用いた場合の総合効果の推定精度について, 品質, 44,

429-440, 2014, 査読有.

Kobayashi, F. and Kuroki, M.: A New Proportion Measure of The Treatment Effect Captured by Candidate Surrogate Endpoints. *Statistics in Medicine*, 33, 3338-3353, 2014, 査読有.

Kuroki, M. and Pearl, J.: Effect restoration and measurement bias in causal inference, *Biometrika*, 101, 423-437, 2014, 査読有.

黒木学: 統計的因果推論における原因の確率とその評価, *統計数理*, 62, 45-58, 査読有.

Kuroki, M.: Sharp Bounds on The Causal Effect using a Surrogate Endpoint, *Statistics in Medicine*, 32, 4338-4347, 2013, 査読有.

佐野夏樹・黒木学: カーネル主変数選択法とその応用, *品質*, 43, 387-400, 2013, 査読有.

Kada, A., Cai, Z. and Kuroki, M.: Medical Diagnostic Test based on the Potential Test Result Approach, *Journal of Applied Statistics*, 40, 1659-1672, 2013, 査読有.

Kuroki, M.: Discussion on "Experimental designs for identifying causal mechanisms", *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, 173, 37-38, 2012, 査読有.

水関裕人・黒木学: 誤差相関のない確認的直交二因子モデルの探索可能性について, 「*応用統計学*」, 41, 129-152, 2012, 査読有.

Kuroki, M.: Optimizing a control plan using causal diagram with an application to statistical process analysis, *Journal of Applied Statistics*, 39, 673-694, 2012, 査読有.

黒木学・小林史明: 構造的因果モデルについて, *計量生物学*, 32, 119-144, 2012, 査読有.

水関裕人・黒木学: ロジスティック回帰モデルにおける弱併合可能性について, *品質*, 42, 139-147, 2012, 査読有.

佐野夏樹・黒木学: カーネルMTシステムとその応用, *品質*, 42, 127-138, 2012, 査読有.

[学会発表](計10件)

黒木学・今井徹: 因果関係は確率的グラフィカルモデルで描けるか? 数学協働プログラムワークショップ「確率的グラフィカルモデル」, 2015.3.19-29, 電気通信大学.

Kuroki, M.: Discussion on "Design, Identification, and Sensitivity Analysis for Patient Preference Trials", 2015 Asian Political Methodology Meeting in Taiwan, 2015.1.9-10, Academia Sinica, Taipei, Taiwan.

Isozaki, T. and Kuroki, M.: An Algorithm for Discovering Causal Models with Latent Confounders in Violations of the Faithfulness, *Kyoto International Conference on Modern Statistics*, 2014.11.17-18, Kyoto International Conference Center, Kyoto, Japan.

Chan, H. and Kuroki, M.: Unifying Algebraic and Graphical Methods for the Identification of Causal Effects in Linear SEMs. *Kyoto International Conference on Modern Statistics*, 2014.11.17-18, Kyoto International Conference Center, Kyoto, Japan.

Hayashi, T. and Kuroki, M.: On Estimating Causal Effects based on

Supplemental Variables. UK-Causal Inference Meeting, 2014.4.28-29, Cambridge University, Cambridge, UK.
Kuroki, M. and Hayashi, T. : Estimation Accuracies of Total Effects using Supplementary Variables . The 12th ANQ Quality Congress (ANQ 2014), 2014.8.5-8, Nanyang Technological University, Singapore.
Hayashi, T. and Kuroki, M.: Probabilities of causation with two variables: bounds and sensitivity analysis. 2014 Joint Statistical Meeting, 2014.8.2-7, Boston Convention and Exhibition Center, Boston, MA, USA.
Hayashi, T. and Kuroki, M.: On Estimating Causal Effects based on Supplemental Variables. The 15th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics, 2014.4.22-25, Grand Hotel , Reykjavik, Iceland.
磯崎隆司・黒木学：潜在変数情報を持つ因果ダイアグラムの推定．数学協働プログラムワークショップ「確率的グラフィカルモデル」, 2015.3.19-29, 電気通信大学.
林崇弘・黒木学：「原因の確率」の品質管理への応用可能性について．日本品質管理学会第 106 回研究発表会, 大阪大学 , 大阪.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

黒木 学 (KUROKI MANABU)

統計数理研究所・データ科学研究系・准教授

研究者番号 : 60334512

(2)研究分担者

野間久史 (NOMA HISASHI)

統計数理研究所・データ科学研究系・助教

研究者番号 : 70633486

(3)連携研究者

()

研究者番号 :

研究協力者

Judea Pearl

UCLA・Cognitive System Lab・Professor

2014 年

Zhihong Cai (蔡 志紅)

日本イーライリリー株式会社・臨床開発部・

アソシエイト

2013 年

佐野 夏樹 (SANO NATSUKI)

東京理科大学・理工学部・助教

研究者番号 : 60568971

2012-13 年