

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 7 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26285151

研究課題名(和文)非実験研究での介入効果推定法の総合的研究と実用化

研究課題名(英文)General studies and applications for Treatment effect estimation under non-experimental studies

研究代表者

星野 崇宏 (Hoshino, Takahiro)

慶應義塾大学・経済学部(三田)・教授

研究者番号：20390586

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、この10年間に社会科学全般で爆発的に普及した介入効果・因果効果推定法について、特に心理・教育分野において重要な研究デザインである様々な準実験デザイン、学校・教室・個人などの階層性のあるデータ、メタ分析、発達データ等のパネル調査やテスト実施に必要とされる等化をルービン因果モデルによる統一的な枠組みで表現し、どのような研究デザインにどのような仮定が必要かを明確化するとともに、これらに対して精度の高く頑健な因果効果推定法を開発する方法を開発し、いくつかの応用研究を実施しその有用性を確認した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we re-defined and integrate several concepts and research designs used in psychological and/or educational sciences, such as quasi-experimental designs, hierarchical data (e.g., schools-classes-individuals), meta-analysis, panel studies in developmental sciences, or various designs in test equating, in terms of Rubin's causal model. Under the proposed unified framework, we specified the assumptions for the above models to be identifiable, and developed the estimation methods which are efficient and robust. We also applied the proposed methods to various real data analysis and found interesting implications, which confirmed the validity of the proposed methods.

研究分野：統計科学

キーワード：因果効果推定 傾向スコア 選択バイアス 統計的因果推論 階層モデル 一般化可能性

## 1. 研究開始当初の背景

教育心理学研究はもとより、社会心理学、社会学、経済学、経営学など様々な分野では無作為割り当てを用いた実験研究ができない場合が多い。無作為割り当てによる実験研究が可能な研究対象でも、標本が学生など特定集団に限定されることに伴って発生する選択バイアスの問題や、割り当て実施による研究の生態学的妥当性低下を回避するために、社会科学全般で調査研究や観察研究が行われることが多い。しかし、無作為割り当てを行わない調査研究(実践研究では準実験とも呼ばれ幅広く利用される)では(教授法や学習方略の効果など)観察された群間差が背景要因(以後共変量と呼ぶ)による見かけ上の効果か、本当に関心のある要因によって生じているのかを判別することは難しい。そこで介入の効果を“因果効果”すなわち介入を受けた場合の結果変数と介入を受けなかった場合の結果変数の全員での差(母集団上の差)として定義する因果モデルが定式化され、このモデルの下で共変量を調整する様々な因果効果推定法が開発されている。因果モデルと因果効果推定法はまず医学疫学研究で普及し、この10年間で社会科学での調査観察研究でも必須とされつつあり(APAのJournal Article Reporting Standards, 2008など)、国内でも近年認知されるようになった(星野,2009)。これらは欠測データモデルとして理解でき、近年心理学研究で欠測の適切な処理が重要視されるようになったことと通底する。

教育学・心理学での応用や方法開発は医学や経済学・社会学など他分野に触発されて最近やっと盛んになっており、研究代表者を含め心理・教育の様々な問題設定で因果効果推定を行う方法が開発されている。例えば因子や潜在変数上での因果効果についてはHoshinoら(2006, Psychometrika)、ピア効果が存在する場合についてはHong and Raudenbush(2009, JASA)、媒介変数モデルについてはImaiら(2009, Psychological methods)などで提案され、心理学研究ですでにJournal of Educational Psychology, Child Development, JPSP等多くの学術誌で利用されている。

しかしいまだ解決されていない重要な問題として、学校・学級・生徒、個人・時点などといったマルチレベルデータでの因果効果推定がある。学校や学級レベルでの変数の違いによって教授法などの因果効果の大きさは変わる可能性は高い(例えば協同学習や反転学習の効果がクラス内の学生の熟達度、クラスサイズや補助教員の有無によって異なる場合)が、Hongら既存方法は階層性を無視した多群のモデルを利用しており、階層性がある場合には解析結果は誤ったものになる。

また、米ではNo Child Left Behind法の制定以降、無作為割り当てによる教授法の実験

研究が盛んに奨励され、実験研究による実証結果のある教授法を行った学校や州に補助金を与えるインセンティブ設計にまで結びついており(豊,2011)、日本も今後学術上・政策上いずれにおいても大きな影響を受けると考えられる。但し、例えばどのような学校や背景要因(いわゆるレベル2の調整変数)を持つ生徒集団に対してどの教授法が有効であるかを議論する場合、生徒の各研究(学校やクラス)への割り当てがランダムでないことを無視して解析を行うと、その要因と教授法の効果が交絡してしまうため、たとえ複数の無作為実験研究を用いても単純な解析にはバイアスが生じる。例えば特定の集団にのみ非常に効果がある手法が全体に対して効果があると誤って判断されかねない。一見これと関連がないメタ分析手法も共通のデータ構造を有しており、分析対象とする各研究がたとえ無作為化実験であった場合でも「どのような調整変数によって効果の大きさが異なるのか」について単純な解析を行うとバイアスが生じうる。

また複数のテスト間の得点変換を可能にするテスト理論における等化の問題も、日本でも複数回のテストが利用されるようになり、更には発達検査やスキル測定など異なるフォーム間の垂直等化が研究で利用されるようになり注目を集めている。等化は因果効果推定と一見関係が無いように見えるが、研究代表者のグループはこれが因果モデルと欠測データモデルの枠組みで表現でき、様々な因果効果推定法が利用できることを示した(星野,2009; Miyazakiら2009, Psychometrika)。

また、調査・観察研究でよく利用される準実験(Shadishら2002)の様々な研究デザインのうち、不等価二群(事前事後)デザイン等のいくつかのデザインは因果モデルとして定式化されなおしている(Athey & Imbens,2006, Econometrica)が、それ以外の種々の方法については因果モデルによる理解がなされていないため、既存の様々な統計的因果効果法が利用できない。

## 2. 研究の目的

本研究では、この10年間に社会科学全般で爆発的に普及した介入効果・因果効果推定法について、特に心理・教育分野において重要な研究デザインである様々な準実験デザイン、学校・教室・個人などの階層性のあるデータ、メタ分析、発達データ等のパネル調査やテスト実施に必要とされる等化を因果モデルの統一的な枠組みで表現し、どのような研究デザインにどのような仮定が必要かを明確化するとともに、これらに対して精度の高く頑健な因果効果推定法を開発する。上記には複数の無作為化実験研究から「どのような調整変数によって効果の大きさが異なるのか」について単純な比較や解析を行ってもバイアスが生じる問題も含まれる。手法開

発だけではなく応用研究者にプログラムを提供し、無作為化が難しい分野での介入効果の正確な評価に寄与する。

### 3. 研究の方法

本研究では(A)準実験デザインのうち、処置の除去や交換のあるデザイン、事前測定のあるコホート対照デザインなど、これまで統計的因果効果モデルとの関連が不明だった様々なデザインを因果モデルの枠組みで統一的に記述することで、既存解析手法の応用を容易にし、どのようなデザインにどのような仮定・制限が存在するかを明確化する。(B)因果モデルに調整変数効果を明示的にモデルに取り入れることで上記に述べた「準実験デザイン」「マルチレベルデータ」「複数の無作為化実験の比較解析」「メタ分析」「等化モデル」などを因果モデルの枠組みのもとに整理する。(C)特に「マルチレベルデータ」「複数の無作為化実験の比較解析」「メタ分析」は階層性のあるデータであり、個人間に相関が生じ、更に学級や研究ごとへの割り当てをモデリングする必要もあるため既存手法が利用できない。そこで学級や研究の違いを説明する変数への割り当てに着目したロバストな共変量調整法を新たに開発する。(D)研究代表者がすでに開発した仮定の少なく精度の高い統計的因果効果推定法(セミパラメトリックベイズ法, Hoshino, JASA, in press)の考え方を(B)の統一的なモデルに対して適用ができるように拡張する。(E)大規模なシミュレーション研究により提案手法の妥当性検証を行うとともに、無作為化の行われている公開データなど「答え合わせ」が可能なデータについて、提案手法と既存手法の性能比較を行う。(F)準実験デザインのうち処置の除去や交換が行われている場合など、応用研究上よく利用されているデザインであってもこれまでデータの公開が行われていないものがあるため、これらについて本研究で実際に実験調査を実施し「答え合わせ」を行う。

### 4. 研究成果

下記の研究成果リストに記載されているように、3の研究内容(A)から(F)それぞれについて国内外の学会発表を行い、その一部については査読付き雑誌として掲載させている。

特に準ベイズ法を用いた新しいベイズ推定法については特定のモデルに関する応用研究を統計学の有力海外雑誌の一つの Computational Statistics & Data Analysis に掲載させており、その理論的な研究内容については数理統計学の著名誌に今後掲載させるべく現在改稿中である。

### 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19件)  
すべて査読付き

Tetsuro Kobayashi, Takahiro Hoshino and Takahisa Suzuki (in press)

“Inadvertent Learning on a Portal Site: A Longitudinal Field Experiment”. **Communication Research**

Ryosuke Igari and Takahiro Hoshino (2018)

“Bayesian Data Combination Approach for Repeated Durations under Unobserved Missing Indicators: Application to Interpurchase-Timing in Marketing”

**Computational Statistics & Data Analysis, 126**, 150-166.

DOI: 10.1177/0093650217732208

竹内真登・星野崇宏(2018)

“大規模調査データによる消費者の保険加入行動の理解(1): 属性やリスク資産保有との関係” **損害保険研究** 79(4) 1-38.

Ryosuke Igari and Takahiro Hoshino (2017) “A Survival Analysis Incorporating Auxiliary Information by Bayesian Generalized Method of Moment: Application to Interpurchase-timing Modeling”

**Journal of the Japanese Society of Computational Statistics, 30(1)**, 27-44.

Shinya Masuda, Takayuki Sakagami, Hideaki Kawabata, Nobuhiko Kijima and Takahiro Hoshino. (2017)

“Respondents with low motivation tend to choose middle category:

Survey questions on happiness in Japan” *Behaviormetrika*, **44(2)**, 593–605.

Kensuke Okada and Takahiro Hoshino (2017)

“Researchers’ Choice of the Number and Range of Levels in Experiments Affects the Resultant Variance-Accounted-For Effect Size” *Psychonomic Bulletin & Review*, **24(2)**, 607-616.

新美潤一郎・星野崇宏 (2017)

“顧客行動の多様性変数を利用した購買行動の予測” *人工知能学会論文誌*, **32(2)** B-G63\_1-B-G63\_9.

竹内真登・星野崇宏 (2017)

“プロセスシミュレーションを伴うコンジョイント測定による購買予測” *行動計量学*, **44(1)**, 45-56.

高橋哲・只野智弘・星野崇宏 (2016)

“効果的な効果検証？：非無作為化デザインによる刑事政策の因果効果の推定” *更生保護学研究*, **9**, 52-74.

猪狩良介・星野崇宏 (2016)

“Online-Offline チャネルにおける消費者の購買間隔と購買金額の同時モデリング” *オペレーションズ・リサーチ*, **61**, 589-599.

宮崎慧・星野崇宏 (2016)

“商品カテゴリー別購買と複数ブランド購買の段階型同時分析モデル” *行動計量学*, **43**, 167-180.

Takashi Kusumi, Hiroshi Yama, Kensuke Okada, Satoru Kikuchi, and Takahiro Hoshino (2016)

“A national survey of psychology education programs and their content in Japan”

*Japanese Psychological Research*, **58(S1)**, 4-18.

DOI: 10.1111/jpr.12111

Takahiro Tabuchi, Kosuke Kiyohara, Takahiro Hoshino, Kanae Bekki, Yohei Inaba and Naoki Kunugita (2016).

“Awareness and use of electronic cigarettes and heat-not-burn tobacco products in Japan” *Addiction*, **111(4)**, 706-713.

DOI: 10.1111/add.13231

Masakazu Hasegawa, Yasunori Hotta, Takahiro Hoshino, Koji Ito, Shinichi Komatsu, and Takashi Saito (2016)

“Long-term Radiographic Evaluation of Risk Factors Related to Implant Treatment: Suggestion for Alternative Statistical Analysis of Marginal Bone Loss”

*Clinical Oral Implants Research*, **27(10)**, 1283-1289.

DOI: 10.1111/clr.12734

Takahiro Tabuchi, Takahiro Hoshino and Tomio Nakayama (2016)

“Are partial workplace smoking bans as effective as complete smoking bans? A national population-based study of smoke-free policy among Japanese employees”

*Nicotine & Tobacco Research*, **18(5)** 1265-1273.

DOI: 10.1093/ntr/ntv115

新美潤一郎・星野崇宏 (2015)

“ユーザ別アクセス・パターン情報の多様性を用いた顧客行動の予測とモデリング” *応用統計学*, **44(3)**, 121-143.

Yusuke Takahashi, Kensuke Okada, Takahiro Hoshino, and Tokie Anme (2015)

“Developmental Trajectories of Social

Skills during Early Childhood and Links to Parenting Practices in a Japanese Sample”. ***Plos One***, **10(8)**: e0135357.

DOI:10.1371/journal.pone.0135357

加藤諒・星野崇宏・堀江尚之(2015)

“反復横断データから消費者セグメントの構成比の変化・生成・消滅を理解するための潜在クラスモデルと段階推定法”

**マーケティング・サイエンス**, **23**, 35-59.

竹内真登・星野崇宏 (2015)

“解釈レベルの操作を伴うコンジョイント測定法の開発”

**マーケティング・サイエンス**, **23**, 15-34.

[学会発表](計 18 件)

猪狩 良介・星野 崇宏 (2017)

「マクロデータとマイクロデータの統計的データ融合手法の開発：自社データとマクロ情報を利用した中間欠測のある購買間隔からのマーケティング施策の効果の理解」

第 101 回日本マーケティング・サイエンス学会

新美潤一郎・星野 崇宏(2017)

「Deep Boltzmann Machine を用いたデータ融合手法の提案」

2017 年度人工知能学会全国大会

Takahata, K. ・ Hoshino, T. (2017)

“ Bayesian dynamic topic modeling with stable topics over time periods ” . International Federation of Classification Societies (IFCS-2017)

猪狩 良介・星野 崇宏 (2017)

「準ベイズ法による補助情報を利用した欠測のある生存時間解析モデルの提案：購買間隔モデルへの応用」第 45 回日本行動計量学会

猪狩 良介・星野 崇宏 (2017)

「準ベイズ法のセミパラメトリックモデルへの拡張と欠測データ解析への応用」

2017 年度統計関連学会連合大会

戸田 敬之・星野 崇宏 (2017)

「複数の閾値がある場合の RD デザインと最適な閾値の推定」

2017 年度統計関連学会連合大会

加藤 諒・星野 崇宏 (2017)

「多次元の弱操作変数がある場合のセミパラメトリックベイズ操作変数法の提案」

2017 年度統計関連学会連合大会

高畑 圭佑・星野 崇宏 (2017)

「未介入時の potential outcome を変数とす

る因果効果の異質性の推定について」

2017 年度統計関連学会連合大会

齊藤 勇樹・星野 崇宏 (2017)

「未介入群に対する Synthetic Control Method の開発と施策評価への応用」

2017 年度統計関連学会連合大会

光廣正基・星野 崇宏 (2017)

「カーネル正準相関分析を用いたデータ融合法の提案」

第 20 回情報論的学習理論ワークショップ

岡田謙介・星野崇宏 (2016)

「実験条件を増やすと効果量は小さくなる：「効果量ハッキング」の危険性とその対処法について」

第 58 回日本教育心理学会総会

加藤 諒・星野 崇宏 (2016)

「広告接触の因果効果・調整効果のブランド属性と個人属性の影響を探る：マルチレベルデータの因果効果推定」

第 44 回日本行動計量学会大会

猪狩 良介・星野 崇宏 (2016)

「中間欠測のある繰り返し生存時間解析モデルの提案：ダイレクトマーケティングへの応用」2016 年度統計関連学会連合大会

加藤 諒・星野 崇宏 (2016)

「ディリクレ過程混合モデルを用いたセミパラメトリック多重代入法の提案」

2016 年度統計関連学会連合大会

猪狩 良介・星野 崇宏 (2016)

「消費者異質性の動的変化を考慮したマルチチャネル購買間隔モデル」

第 100 回日本マーケティング・サイエンス学会

宮崎 慧・猪狩 良介・星野 崇宏 (2016)

「直接効用関数による購買選択モデルの新しい推定法の提案」

第 100 回日本マーケティング・サイエンス学会

加藤諒・星野崇宏・堀江尚之(2015)

「段階推定法を利用した潜在クラスの時系列的把握」

日本オペレーションズ・リサーチ学会「数理的発想とその実践」第 1 回研究集会

星野崇宏(2014)

「多次元項目反応理論における関心下の次元のみの特性値推定とテスト情報関数の構成について」第 12 回日本テスト学会大会

[図書](計 1 件)

高井啓二・星野崇宏・野間久史 (2016)「欠測データの統計科学」岩波書店, 240 頁

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

星野 崇宏 (HOSHINO, Takahiro)  
慶應義塾大学・経済学部・教授  
研究者番号：20390586

##### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：

##### (4) 研究協力者

( )