

令和 6 年 5 月 30 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K18743

研究課題名（和文）ベイジアンSEMによる質的・量的情報の統合とその小規模コミュニティ調査への適用

研究課題名（英文）Integration of qualitative and quantitative information by Bayesian SEM for the survey of small scale communities

研究代表者

本田 利器（HONDA, RIKI）

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：60301248

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,100,000円

研究成果の概要（和文）：サンプル数の少ないコミュニティ調査の分析において、量的情報と質的情報を統合した分析を可能とする枠組みとして、インタビュー等による質的な情報を活用しつつ、定量的な分析とうまく融合させて説得力のある明確な結果を導出するために、ベイズ理論を適用して定式化されたベイジアンSEMを利用する手法を構築した。

事前情報の設定手順、事前分布の妥当性を評価する方法としてWBICの利用を提案し、また、その算出方法を提案した。実際のコミュニティ調査を行い、サンプル数の少ないコミュニティ調査への適用性を確認する一方、事前分布の妥当性評価で用いたWBICの算出ではサンプル数の少なさに起因する課題も示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、コミュニティ調査の分析においてベイズ理論を適用して定式化されたベイジアンSEM（構造方程式モデリング）を利用する手法を提案した。これは、量的情報に質的情報を統合した分析を可能とすることに加え、データ数が少ない場合の分析を安定化させる効果もあるため、サンプル数が限られる小規模コミュニティへの調査などへの利用可能性が高まることが期待される。

研究成果の概要（英文）：This study proposed a framework that integrates quantitative and qualitative information in the analysis of community surveys with small sample sizes. It uses Bayesian SEM to derive convincing by integrating quantitative analysis with qualitative information obtained from interviews and other sources.

We developed a procedure for setting prior information, the use of WBIC as a method for evaluating the validity of the prior distribution. We conducted an actual community survey and confirmed the applicability of the method to a community survey with a small sample size. Some issues were also found, arising from the small sample size in the calculation of WBIC used in the validity evaluation of the prior distribution.

研究分野：防災工学

キーワード：ベイジアンSEM 小規模コミュニティ スモールデータ WAIC WBIC

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

インフラ整備や防災などの土木の分野でコミュニティを対象とした質問票調査等を行うことは多い。近年は慣習や住民の意識等の直接質問(計測)できない因子の解明も重要性を増している。そのための有用な方法の一つとして構造方程式モデリング(Structural Equation Modeling; 以下 SEM と書く)が挙げられる。潜在変数として観測変数には含まれない因子を含む因果構造を構築して分析できるため、質問票調査から住民の意識などの概念的な因子の影響を分析できるという利点がある。しかし、小規模コミュニティのようにデータ数が多くできない事例の場合、有意な結果を得られないこともある。

そのような場合に、質問票調査等による量的情報の分析の際に、参与観察やインタビュー等による定性的な知見(質的情報)を統合することができれば、限られた情報を有効に活用することが可能となり、小規模コミュニティの調査のように量的データの少ない事例においても有用な分析が可能となると考えられる。これ以外にも、現地で得られた質的情報を定量的な分析結果に反映させることで分析がより有意義になることは少なくない。

なお、質的情報と量的情報の両方を活用する考え方としては両者の分析を統合することで多面的な検証を行う混合研究方法がある。ただし、混合研究方法では「量的情報の分析」と「質的情報の分析」の両者がそれぞれ成立することが前提となる。それぞれの情報が少なく分析が成立しない場合は結果を得られない可能性もあり、これを回避する手法も求められていると言える。

2. 研究の目的

本申請では「量的情報と質的情報を統合した分析」を可能とする枠組みを構築し、その利用方法を提案することを目的とする。具体的には、インタビュー等による質的な情報を活用しつつ、定量的な分析とうまく融合させて説得力のある明確な結果を導出するために、ベイズ理論を適用して定式化されたベイジアン SEM を利用する手法を提案する。

具体的には、実際のコミュニティ分析に向けた BSEM に事前分布を設定する際において、事前分布の妥当性を評価する方法を確立すること、またこの方法を実際のコミュニティ分析に適用し、その有効性を示すことである。

3. 研究の方法

(1) ベイジアン SEM の定式化とその妥当性の検討

ベイジアン SEM の基本的な定式化は既往研究で示されているが、「真値」が存在することを想定したものが多く。しかし、コミュニティ調査の場合、そもそも要素間の関係性を正確に表現する方程式は存在しないため、標準化処理などに起因する数理的な制約を考慮する必要がある。本研究では、このような数理的な課題を考慮して、社会科学的な分析に適用可能なベイジアン SEM の定式化とその利用方法を提案する。

(2) 質的情報にもとづく事前情報の設定手法

提案手法が、事前情報として与えた条件による恣意的な結果を誘導するのではなく、客観的な知見を導出できることを示すことも重要である。そのため、まず、構造をベイズ推定する際、事前情報の確率特性(関数形等)の影響について分析し、質的情報に基づき設定する事前情報の定式化手法を提案する。

(3) スモールデータの事例への適用性の検証

(1)(2)の成果に基づき、調査データを用いて適用性の検討を行う。これらの事例では、ベイジアン SEM の具体的な利用方法を整理したうえで適用し、インタビューなどで得られた定性的情報を統合して分析を行えることを示す。

4. 研究成果

(1) ベイジアン SEM の定式化とその妥当性の検討

ベイジアン SEM の事前分布に定性情報を与えて分析を行う際の手法を提案する。具体的には、事前情報に基づいて事前分布を設定する。事前情報は多様であるが、SEM の推定結果の確認において考慮すべき点をふまえて、影響度の大小やパラメータの正負の事前情報を反映させることが

考えられる。

(2) 質的情報にもとづく事前情報の設定手法

各事前分布の妥当性を WBIC で評価 事前分布の妥当性を評価する指標として、WBIC が存在する。WBIC はモデル $p(x|)$ と事前分布 $()$ の組が真の分布とどれだけ異なるかを定量化する。

確率モデル $p(x|)$ および事前分布 $()$ の組を設定したとき、この分布が真の分布とどれだけ違うかを考える。そのために、真の分布と、確率モデル $p(x|)$ および事前分布 $()$ の組による分布という 2 つの分布の交差エントロピーを導出し、これを用いてベイズの自由エネルギーが定義される。ベイズ自由エネルギーは、定義式を見れば事前分布 $()$ 、確率モデル $p(x_i|)$ およびサンプル x_i (ただし $i=1, \dots, n$) のみを用いていることから、理論上は計算が可能である。しかし、確率モデルが指数分布族に属し、かつその事前分布が共役事前分布で与えられるなどの特殊なケースを除いて周辺尤度の計算が困難であるため、その正確な値を計算することは難しい。この自由エネルギーを近似するために導出された値として、古典的な BIC があるが、事前分布の評価において BIC で不十分である。そのため、渡辺により提案された WBIC を利用する。

3) WBIC の評価

WBIC の評価値 はデータセット依存する。そのため、試験的な数値シミュレーションで、同一のデータ生成機構から生成されたデータセットを用いて、サンプリングが変わることで WBIC の評価値がどの程度変化するかを分析した。評価値はデータの違いに対する感度は小さくなく、特にサンプル数が少ない場合に大きく変動しやすいことを確認した。

なお、真の分布と事前分布やモデルとの違いの評価で用いたいのは、サンプリングデータに依存する WBIC の値ではなく WBIC の期待値である。しかし、コミュニティ調査等で得られるデータセットが複数得られることはない。これをふまえて WBIC の評価方法の安定性を高めるために、WBIC の期待値を近似的に求める手法としてブートストラップ法を用いることを検討し、数値シミュレーションにより、その有効性を確認した。ただし、あくまで、与えられたサンプリングデータにもとづく数値解析を安定化させるものであり、サンプリング自体の偏りなどの影響を取り除けるものではない。

(3) スモールデータの事例への適用性の検証

海外における地震により被災したコミュニティの復旧に関して、質問票調査と現地調査により収集した情報を分析した。この分析では非常に明確な傾向が得られ、事前情報の影響は非常に限定的となった。

並行して、国内において別の事例についても調査を行い情報を収集した。地震や台風といった自然災害が顕著である日本では、災害への備えがとりわけ重要であり、既往研究で在留外国人のような弱者は知識や備蓄といった災害対策に乏しいことから自然災害での被害を受けやすいことが示されている。こうした背景から、どのような要因が在留外国人の災害対策に影響しているかを精査し、在留外国人の災害対策の程度が低くなっている理由に新たな知見を供することを目的に調査を行った。既往研究で明らかになっている要因として日本語能力などが挙げられる。しかし、これらの要因だけでは説明しきれず、年齢や性別といった人口統計学的要因や、コミュニティ意識や自己効力感といった心理社会的要因から、外国人にとって包容力や地域社会とのつながりの欠如が災害対策の障壁になっている可能性があるという仮説を立て、定量的調査と定性的調査の双方から、先述の要因が在留外国人の災害対策に与える影響についての研究を行った。定量的調査では 400 人程度のデータを集めた。定性的調査としては、58 人に対する半構造化インタビューを行った。

この調査で収集データに、提案手法を適用した。その結果と既往の SEM の研究等の成果を参考に、事前分布の妥当な値域等について整理し、また、それをふまえて結果を解釈する方法を提案した。この分析では、インタビューなどの情報も考慮した分析結果として、在留外国人においては外国人コミュニティや地域コミュニティといった集合体のつながりが弱く、災害対策を個人で行わなければならないという状況であることを示唆する結果を得ている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hitomu Kotani, Kazuyoshi Nakano	4. 巻 90
2. 論文標題 Household resilience realized by photovoltaic and battery energy system in natural hazard-triggered blackouts: Evidence from Japan	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Journal of Disaster Risk Reduction	6. 最初と最後の頁 103656
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijdrr.2023.103656	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 小谷仁務、中野一慶	4. 巻 66
2. 論文標題 自然災害に起因する停電時の家庭のレジリエンス：太陽光パネルと蓄電池の利用と効果に着目した定量的分析	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木計画学研究・講演集	6. 最初と最後の頁 1-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kotani Hitomu, Nakano Kazuyoshi	4. 巻 21
2. 論文標題 Purchase decision process and information acquisition of zero-energy houses in Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Asian Architecture and Building Engineering	6. 最初と最後の頁 1~20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/13467581.2022.2047057	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 茂田 陵, 田中 尚人, 王 光耀	4. 巻 78
2. 論文標題 西原村の道路景観保全に関する研究	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集D3 (土木計画学)	6. 最初と最後の頁 11_182 ~ 11_189
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejipm.78.6_11_182	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 小谷仁務、中野一慶
2. 発表標題 自然災害に起因する停電時の家庭のレジリエンス：太陽光パネルと蓄電池の利用と効果に着目した定量的分析
3. 学会等名 第66回土木計画学研究発表会・秋大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hitomu Kotani、Kazuyoshi Nakano
2. 発表標題 Household resilience realized by photovoltaic and battery energy system in natural hazard-triggering blackouts: Case studies from Japan
3. 学会等名 Kyoto University and Tongji University Joint Seminar 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢ヶ井那津・田中尚人
2. 発表標題 農村における空き家利活用の実践に関する考察
3. 学会等名 第66回土木計画学研究発表会・秋大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中尚人・坂井華海
2. 発表標題 クロスロードゲームにおける語り継ぎに関する研究
3. 学会等名 第66回土木計画学研究発表会・秋大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 太田隈美歩・田中尚人
2. 発表標題 菊池市かわまちづくりにおける協働の実態に関する研究
3. 学会等名 令和4年度土木学会西部支部研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Guribosutan Kinugawa and Riki Honda
2. 発表標題 Statistical comparison of extreme natural disaster events in various countries
3. 学会等名 12th International Conference of the International Society for the INTEGRATED DISASTER RISK MANAGEMENT
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中澤悠悟, 本田利器, 小谷仁務
2. 発表標題 定性情報を活用したベイジアン構造方程式モデリングによる小規模被災コミュニティの復興要因分析
3. 学会等名 土木計画学会
4. 発表年 2021年

〔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
研究 分担 者	小谷 仁務 (Kotani Hitomu) (30814404)	京都大学・工学研究科・助教 (14301)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究分担者	田中 尚人 (Tanaka Naoto) (60311742)	熊本大学・熊本創生推進機構・准教授 (17401)	

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