

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H04054

研究課題名(和文)空間的自己相関を考慮した地域間フローの計量分析と空間詳細化

研究課題名(英文) Spatial analysis and downscaling of inter-regional flow data with a consideration for spatial auto-correlation

研究代表者

堤 盛人 (TSUTSUMI, MORITO)

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号：70292886

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：交通量や交易量に代表される地域間のOrigin -Destination (OD) Flow Data を対象として、地理的な空間データの特質である空間的自己相関を明示的に考慮した計量分析と空間詳細化の方法を検討した。工場移転や人口移動などに関わる様々な実際のデータを用いた計量分析や空間集積の検出手法の開発を行った。また、統計学的アプローチに基づき、OD Flow Data の新たな空間詳細化の手法を提示した。

研究成果の概要(英文)：This study focuses on the analysis and spatial downscaling of inter-regional Origin -Destination (OD) Flow Data represented by regional traffic volume and trade volume data with a consideration for spatial autocorrelation which is one of the characteristics of geographical spatial data. The study analyses various OD flow data, such as industrial location and inter-municipality migration data and proposes a spatial clustering technique for OD flow. The study also proposes a statistical methodology and technique to predict OD flows in spatial downscaling.

研究分野：空間計量経済学

キーワード：空間データ ODフロー 空間的自己相関 空間計量経済学

1. 研究開始当初の背景

土木計画学分野では、交通計画において重要な基礎情報となるパーソン・トリップ(PT)調査など地域間の社会経済活動を示す様々な地域・地区間フローデータ(以下 OD (Origin-Destination) Flow Data) を利用する場面が多い。OD Flow Data に関しては、計量地理学から発展した重力モデルを始め様々な空間相互作用モデルが適用されており、政策・計画に係わる実務の中で広く利用されている。

土木計画学とも密接な関わりを持ち、地理的な空間データの特性を踏まえながら計量地理学から派生した『空間計量経済学(Spatial Econometrics)』では、時系列解析を中心とした従来の計量経済学的手法を空間へ発展させることで、1980年代頃から目覚ましい進歩を遂げてきている。近年、空間計量経済学の分野では、社会ネットワーク分析に用いるデータも含め、空間相互作用データ(Spatial Interaction Data)を対象とした研究に注目が集まっているが、地理的な空間データの最も重要な特性である空間的自己相関(Spatial Autocorrelation)や空間的異質性(不均一 Spatial Heterogeneity)を考慮した研究事例は未だ数えるほどしかない(堤盛人・瀬谷創(2012))。

一方、土木計画学において、社会基盤整備の影響を評価するための土地利用モデルの一種である応用都市経済(CUE)モデルの適用のような場面に際しては、モデルで用いる交通や社会経済データに関し、空間集計単位の変換やより小さな集権単位への詳細化が必要となる場合が多い。データ環境の変化や分析の目的・方法に応じて、異なる集計単位へのデータ変換を行う技法は『Areal Interpolation(面補間)』と呼ばれ、計量地理学等の分野で研究が行われてきた。しかしながら、OD Flow Data に関しては、そのような研究はほとんど見られない。唯一の例外は、大きな空間集計単位からそこに内包される小さな空間集計単位へのデータの面補間である「空間詳細化」(Downscaling)に関する方法であるが、そのような場面では二重制約型重力モデルが使われることが多く、パラメータを a priori に設定しなければならず、統計学的な理論的基盤を具備しない。

2. 研究の目的

地域間の交通量や交易量に代表される、地域間の(OD) Flow Data を対象として、地理的な空間データの特質である空間従属性(空間(的)自己相関)や空間的異質性を明示的に考慮した、空間計量経済学等のアプローチに基づく統計学的な研究は未だ発展途上にあり、研究事例も数えるほどしかない。

そこで本研究では、地域間の社会経済活動を示す様々な地域間 Flow Data を対象として、現象としての空間相関の発見や空間相関を明示的に考慮した空間相互作用モデルを用いた計量分析、空間相関の存在を利用した新

たなデータの補間や空間詳細化手法の開発、さらにはそれらの成果を生かした実務上直面する様々な問題の解決を行い、得られた知見を実務に還元すべく成果を公開することを目的とする。具体的には、以下の[1]～[3]に示す課題に取り組む。

[1] OD Flow Data の空間計量分析

[2] OD Flow Data の空間詳細化手法の開発

[3] 成果の公開と利用促進

なお、本研究では、OD Flow Data の空間的自己相関だけでなく、実際には不均一分散のような空間的な異質性も同時に考慮することとなる。しかしながら、瀬谷・堤(2014)でも述べているように、後者は、空間を対象とした従来の計量経済学等の方法の援用で対応できる場合が多く、より本質的に重要なのは前者であるため、本研究でも空間的自己相関に主眼を置いている。

3. 研究の方法

始めに、OD Flow Data に関する予備的調査として、国内外で、現実的に利用可能なデータ等に関する情報を整理した。その上で、実用性・有用性という観点から、本研究の応用可能性について見通しを得た。

次に、実証分析に用いるために、申請時点で未整備であったデータに関し、分析において説明変数/補助変数として必要な社会経済データを整備した。

その上で、工場移転や首都圏の一部の PT 調査データを用いて、空間計量経済学モデルに基づく分析を行った。

さらに、OD Flow Data 空間詳細化手法の開発に着手した。具体的には、統計学的アプローチに基づき、グラビティモデルによる OD Flow Data の空間詳細化手法の開発を行った。そして、実際の産業連関表を用いて、地域内取引を考慮したグラビティモデルによる地域間取引の域間取引の推計を行い、推計精度の観点から、開発した手法の特性を詳細に考察した。

4. 研究成果

(1) OD Flow Data の空間計量分析

空間計量経済モデルには、空間ラグモデル、空間エラーモデル等複数のモデル族が存在するが、それらはすべて線形回帰モデルをベースとし、それに空間ラグ項加わる形をとっている。統計モデルで分析を行う際には、観測されたデータのデータ生成過程を仮定し、仮定された確率分布に則したモデルを構築する必要がある。線形回帰モデルの場合は、データが正規分布に従うと暗に仮定していることがほとんどであるが、実際には、分析の対象とするデータが必ずしも正規分布に従うとは限らない。例えば、非負の整数の値のみをとるカウントデータの場合は、連続分布ではなく離散分布をデータ生成過程として仮定することが自然であろう。特に OD Flow Data においては、トリップ数のような離散変

数と、重量のような連続変数という統計学上性質の異なるデータが混在しているため、それぞれ仮定したデータ生成過程に整合する統計モデルを導出する必要がある。

本研究では、まず、OD Flow Data の空間計量分析の既存研究をレビューした。その結果、特に、LeSage and Pace (2008)が重力モデルの空間ラグモデルを提案して以降、人流や物流といった OD Flow Data に対する空間計量経済モデルによる分析が注目を浴びていることを確認した（例えば、Fishcer and Wang, 2011）。また、現実的に利用可能なデータ等に関する情報を整理した結果、OD Flow はカウントデータである場合が多く、LeSage and Pace (2008)を契機に空間計量経済学の分野でカウントデータを分析対象とする機会が増えていることを確認した。

その一方で、例えば、重力モデルにおいては、データの対数をとって線形回帰モデルで分析することが今でもよく行われているが、古くは Flowerdew and Aitkin (1982) で指摘されているように、人口移動や交通トリップのように非負の整数の値をとる OD データに対しては、データ生成過程として正規分布ではなくポアソン分布を仮定した重力モデルが望ましいことが知られている。それにも関わらず、空間計量経済学では、離散選択モデルを対象とし空間的自己相関を導入した研究は一定数存在するものの（例えば、McMillen, 1992; Chakir and Parent, 2009; Smirnov, 2010）カウントデータを対象とした研究は非常に少なく、その方法論が確立されているとは言い難いことを確認した。

さらに、ポアソン重力モデルは、件数フローデータの期待値と分散が等しいという仮定に基づくモデリングであるため、分散が期待値よりも大きい過分散なデータに対して用いた際には、説明変数の有意性を過大評価する問題が生じる（Hilbe, 2011）。そうした理由から、近年の件数フローデータ分析では、過分散の問題を考慮することができる負の二項重力モデルを用いることも多い（Burger, Van Oort and Linders, 2009）。

負の二項重力モデルでは、通常、個々の Flow 観測値は空間的に相互独立であるという仮定の下でモデルが定式化されている。しかし、実際には、空間的なパターンを持つ観察不可能な地域要因が存在することにより、近隣地域との Flow 観測値の相関をコントロールできない場合に、空間従属性の問題が生じることが古くから指摘されている（Chun, 2013）。Curry (1972) によれば、空間従属性の問題が存在する場合、パラメータ推定値にバイアスが生じ、推定結果の信頼性は低下する。

そこで本研究では、Fischer and Griffith (2008) によって提案された空間統計学の手法のひとつである ESF (Eigenvector Spatial Filtering) アプローチを用いてフローの空間従属性の問題に対処した。このアプローチは、空間重み行列の固有ベクトルの一部を説明

変数として導入し、空間従属性を考慮することで、特別な推定法を要しないという大きな利点を有する。本研究では、経済産業省により毎年行われている「工場立地動向調査」の個別表の一つである、移転立地企業の移転元・移転先地域別移転件数（都道府県別）の 2006 年から 2014 年に関する Flow Data (件数) を用い、過分散の傾向の確認と、負の二項重力モデルによる推定を行った。

重力モデルを用いることによって、従前は変数として考慮されることが少なかった転出元の情報を明示的に推定の際に取り込み、企業の拠点が地域へ移転する際の経路を明示化した上での分析を行うことが可能となった。また、Flow Data を扱う際の問題となる Flow の空間従属性について ESF アプローチを用いることにより、空間的なパターンを持つ除外変数のコントロールを行うという形で対処を試みることも可能となった。さらに、空間相関を明示的に考慮した集積の検出方法の適用上の課題について考察した。

なお、次の(2)においても、空間詳細化とは別に、実際のデータを用いた実証分析を行っている。

さらに、平成 22 年東京都市圏パーソントリップ (PT) 調査の東京 23 区 (中ゾーン) 間業務トリップ・データを用いて、空間的な集積の検出を行うための OD Flow のクラスター抽出手法の開発を行った。この方法は、焼きなまし法により柔軟に制約を考慮することが可能であり、空間重み行列の内生的な構造決定にも適用可能である一方、計算負荷が大きいという問題を確認した。

(2) OD Flow Data の空間詳細化手法の開発

空間詳細化手法のための理論モデルの開発を行った。

既述のとおり、OD Flow Data の空間詳細化に関しては、二重制約型重力モデルが使われることが多いが、パラメータを a priori に設定しなければならず、統計学的な理論的基盤を具備しない。そこで本研究では、まず、空間計量経済学の考え方を援用したモデルの開発に着手した。

OD Flow Data の空間詳細化は、ある程度集計された空間単位間での流動量が既知の時と、発生量や集中量が既知の時とに場合分けが可能であり、各データの問題に則した空間詳細化のフレームワークを、統計学的アプローチに基づいて構築した。特に OD Flow Data においては、トリップ数のような離散変数と、重量のような連続変数という統計学上性質の異なるデータが混在しているため、それぞれ仮定したデータ生成過程に整合する統計モデルを導出した。

さらに、モンテカルロ実験により、開発した手法の有用性を確認した。その上で、開発したモデルを実際のデータに適用した。

実証分析に用いるため、平成 22 年度の国勢調査人口移動集計 (2005 年から 2010 年の

移動)データのうち、茨城県内市町村間人口移動(44市町村間)に関するデータを抽出した。市町村間人口が未知であると仮定し、交通工学等において用いられることの多い現在パターン法(産業連関分析において、既知の投入係数表に基づいて、他の時点における投入係数表を推定するための手法であるRAS法に類似)と本研究の手法の両方を用いて、その推計(空間詳細化)の精度を比較した。開発した手法は、集計された被説明変数を基に内生的にパラメータ推定が可能である点に大きな特徴を有し、しかも空間的相関を明示的に考慮することにより、推計の精度が大きく向上することを確認した。

さらに、グラビティモデルによるOD Flow Dataの空間詳細化手法の改良を行った上で、実際の産業連関表を用いて、地域内取引を考慮したグラビティモデル(以下、「調整済みモデル」と称する)による地域間取引の域間取引の推計を行い、推計精度の観点から、開発した手法の特性を詳細に考察した。

「北海道開発局平成17年北海道内地域間産業連関表」を用い、北海道を対象として調整済みモデル(以下、調整済みモデル)による地域間取引の推計手法に関する実証分析を行い、従来のグラビティモデルと調整済みモデルによる地域間取引の推計値と地域間取引の実績値を比較することで、調整済みモデルによる地域間取引の推計精度を分析した。

分析の結果、北海道内地域間表から推計したパラメータを用いる場合では、調整済みモデルの方が全体的な傾向として推計精度はよくなることが確認された。また、顕著に大きな地域間取引が存在する産業ではグラビティモデルの当てはまりが悪く、両モデルとも、推計の上で問題が生じることも明らかとなった。

また、経済産業省地域間産業連関表から推計したパラメータを用いる場合においても、調整済みモデルの方が全体的な傾向として推計精度はよくなることが確認された。ただし、異なる地域区分のデータを用いているため、推計精度は北海道のデータを用いるより悪くなることも確認された。

ここでも、空間相関の考慮による推計精度の向上を確認している。

(3) 成果の公開と利用促進

空間計量経済学に関する国際学会であるSpatial Econometrics AssociationのWorld Conferenceにおいて、毎年、本研究の成果を発表した。その他、国内外の学会において成果を公表している。

また、利用促進に向けて、まずは国内において空間計量経済学の普及が進んでいない実情を考慮して、2016年9月8日(木)・9日(金)の二日間に渡り、東京大学本郷キャンパスにおいて『空間計量経済学のセミナー』を開催した。初日には、Spatial

Econometrics Association会長のGiuseppe Arbia教授を招聘し、「空間計量経済学への招待：Spatial Econometrics: A Broad View」と題する講演の他、研究代表者・研究分担者全員で、空間計量経済学の入門的内容について情報提供を行った。二日目のセミナーでは、「Spatial Econometricsの可能性」と題し、より発展的な内容についてArbia教授による講演があった。二日間のセミナーの中で、本研究におけるOD Flow Dataの計量分析や空間詳細化の成果や、今後の見通しについて紹介を行った。

さらに、2017年6月24日(土)に日本経済学会春季大会において開催されたチュートリアル・セッション『時空間計量経済学その現況と今後の展望』(座長 東北大学矢島美寛教授)では、本研究におけるOD Flow Dataの計量分析や空間詳細化の成果等について紹介を行い、利用促進のための情報提供を行った。

(4) 今後の課題

(1)で用いたOD Flow Dataは、9割超というかなり大きな割合でゼロを含むデータである。こうした過剰なゼロを含むデータを扱えるカウントデータモデルとしてしばしば用いられるモデルに、ゼロ過剰モデルや障壁モデルがある(Hilbe, 2011)。しかし、それらはいずれも2段階モデルであるため、重力モデルとの組み合わせで推定を行うことに理論的な妥当性があるか否かについては大きな疑問があり、本研究では分析モデルとして用いることはしていない。ゼロ過剰モデルや障壁モデルといった2段階モデル以外にも、過剰なゼロへ対処を行うことが可能なモデルについての追加的なサーベイを行い、データの生成過程の特徴にあったモデルの選択を行うことが、今後望まれる展開のひとつである。

また、ODペアとしてのflowの空間的な集積に関する統計学的な検出手法については、本研究でも検討を行ったものの、未だ確立されておらず、依然として課題が残っている。本研究で開発した、空間的な集積の検出を行うためのOD Flowのクラスター抽出手法については、その有用性を実証的に確認した一方で、計算負荷が大きいという問題が残っており、実用に向けて、何らかの対処法が必要である。

一方、OD Flow Dataの空間詳細化手法については、方法論としての一応の完成に至っている。今後は、査読付き論文への投稿を通じて、第三者による理論的な検証を受けることが重要な課題として残っている。併せて、開発した手法の適用事例を増やし、本研究で開発した手法の有用性について、一層の知見を得ることも必要である。そのためには、実務等での利用に向けた、実装の体制についての検討も行う必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

Keisuke Takano, Morito Tsutsumi, and Yasuaki Kikukawa: Spatial Modeling of Industrial Location Determinants in Japan: Empirical Analysis Using Spatial Econometric Approach, Review of Urban and Regional Development Studies, Vol.30, Issue 1, 26–43, 2018, 査読あり, (<https://doi.org/10.1111/rurd.12073>)

Dasiuke Murakami and Daniel A. Griffith: Eigenvector spatial filtering for large datasets: fixed and random effects approaches, Journal of Transport Geography, 2018, 査読あり (in print).

高野佳佑・堤盛人・菊川康彬:「固有ベクトル空間フィルタリングを用いて空間従属性を考慮した日本の産業立地要因分析」, 『土木計画学研究・講演集』, Vol.53, (CD-ROM 講演番号: 13-01), 5月28日~29日, 北海道大学, 2016, 査読なし
爲季和樹・堤盛人:「カウントデータにおける空間計量経済モデル」, 『土木計画学研究・講演集』, Vol.51, (CD-ROM 講演番号: 297), 6月6日~7日, 2015, 査読なし

〔学会発表〕(計 21 件)

Keisuke Takano and Morito Tsutsumi: Spatial Analysis of Inter-prefectural Industrial Relocation Flow: Evidence from Japan, 11th World Conference of the Spatial Econometrics Association, Singapore (Singapore), June 13–15, 2017.

Yasuaki Kikukawa, Keisuke Takano, and Morito Tsutsumi: Detection of Economic Areas in Japan Using Inter-firm Transaction Data, 57th ERSA Congress, Groningen (Netherlands), 29 August–1 September 2017.

Takahiro Yoshida, Daisuke Murakami, Hajime Seya, and Morito Tsutsumi: Spatial multinomial logit models: a comparative Monte Carlo study, The 10th International Conference on Spatial Econometrics Association, (June 13–15, 2016; Università Cattolica del Sacro Cuore, Roma, Italy), ID: session 17, No. 2, 2016.

Keisuke Takano, Morito Tsutsumi, and Yasuhisa Kikukawa: Spatial Dependence in Industrial Location in Japan: An Application of Spatial Econometric Model, 6th Asia Regional Science Seminar, Sendai, Japan, 24–25 of September, 2016.

Kazuki Tamesue and Morito Tsutsumi: Model Specification and Estimation for Count Data in Spatial Econometrics, presented at the Ninth World Conference of the Spatial Econometrics Association, Miami, USA, 22–23 of May, 2015.

Hajime Seya, Yutaka Ito, Makoto Chikaraishi, and Makoto Tsukai: Spatial competition among retail gasoline stations in Japan, 第29回 ARSC 研究発表大会(応用地域学会) 2015年11月28日~2015年11月29日, 慶応義塾大学三田キャンパス(東京都港区).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

堤 盛人 (TSUTSUMI, Morito)
筑波大学・システム情報系・教授
研究者番号: 70292886

(2) 研究分担者

瀬谷 創 (SEYA, Hajime)
神戸大学・工学研究科・准教授
研究者番号: 20584296
村上 大輔 (MURAKAMI, Daisuke)
統計数理研究所・データ科学研究系・助教
研究者番号: 20738249

(3) 研究協力者

爲季和樹 (株式会社価値総合研究所)
吉田崇紘 (筑波大学大学院 国立研究開発法人国立環境研究所)
高野佳佑 (筑波大学大学院)
菊川康彬 (株式会社 帝国データバンク)