

平成22年5月18日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19530183

研究課題名（和文）時空間データのための計量モデルの開発ならびにその応用

研究課題名（英文）Econometric Modeling of Spatio-Temporal Data and Its Applications

研究代表者

古澄 英男（KOZUMI HIDEO）

神戸大学・経営学研究科・教授

研究者番号：10261273

研究成果の概要（和文）：最近の地理情報システムなどの進展に伴い、地理上の地点ごとに観測されるデータ（空間データ）の蓄積が進んできた。こうした背景の下、本研究では空間データを分析するための新たな計量モデルの開発を行うと共に、提案するモデルを効率的に推定するために、シミュレーションにもとづく推定方法の開発を行った。また、経済活動における非効率性や経済成長の収束などに関する実証分析を行い、地点間の空間的相互関係について検討した。

研究成果の概要（英文）：Recent advances in GIS (Geographic Information System) have increased the availability of spatial data, which are observed at geographic locations. In this study, we have developed econometric models and simulation-based methods for analyzing such spatial data. We have also discussed spatial relationships between locations by empirically investigating the problems such as economic inefficiency and convergence in economic growth.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	900,000	270,000	1,170,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：経済学・経済統計学

キーワード：計量経済学，ベイズ統計，空間計量モデル，マルコフ連鎖モンテカルロ法

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年の地理情報システムなどの進展に伴い、地理上の地点ごとに観測されるデータ（以下、空間データとよぶ）の蓄積が進んできている。空間データは、規則的あるいは不規則に配置された領域（例えば市町村や県）

ごとに観測される領域型空間データと、地価などのように空間上の地点ごとに観測される点参照型空間データとに分類することができ、主に工学や医学などの分野において盛んに研究が進められていた。しかし最近では、経済学の分野においても多くの空間データ

が利用可能となってきた。

(2) これまでにも、領域型空間データを用いた計量分析が行われていたが、その多くは SAR (simultaneous autoregressive) モデルとよばれる計量モデルを用いた分析であった。しかし、SAR モデルを推定するには、次元がデータ数×データ数である行列の逆行列を求めなければならない、大規模なデータを分析するには推定上の問題があった。また近年では、空間データとして計数データや質的データなども利用可能となってきたが、SAR モデルではこうした種類のデータを適切に扱うことができないという問題もあった。そのため、SAR モデルに代わる新たな計量モデルが必要とされていた。

(3) 研究開始当初、経済学における点参照型空間データの分析については、まだ始まったばかりであった。そのため、理論的にも実証的にも十分な研究成果の蓄積には至っていない状況であった。また、これまでに提案された点参照型空間データに対する計量モデルは、その構造が複雑であるため、最尤法などの既存の方法では推定することが困難であり、別の推定方法の開発が望まれていた。さらに、SAR モデルと同様に、パラメータを推定するためには高次元の行列の逆行列を求める必要があり、推定上の問題が未解決のままであった。こうした計量経済学上の問題を解決するため、空間データに対する新たな計量分析の枠組みを開発が求められていた。

2. 研究の目的

本研究の主たる目的は、以下の三点にまとめることができる。

(1) 計量モデルの開発

領域型空間データと点参照型空間データの両方を取り上げ、これらに対する新たな計量モデルの開発を行う。

① 領域型空間データについては、従来利用されてきた SAR モデルではなく、CAR (conditional autoregressive) モデルを基礎とした計量モデルを作成する。この CAR モデルは、SAR モデルを特殊な場合として含んでいることから、本研究の接近方法は従来の研究を拡張するものである。また、点参照型空間データに対しては、process convolution の考えを取り入れた計量モデルの構築を試みる。

② 近年では複数時点に渡る空間データの収集も行われるようになってきていることから、時空間データに対する計量モデルの開発も併せて行う。

③ 経済学の分野では、メッシュデータ、市

町村データ、県データなど様々なレベルで集計された空間データも利用される。そこで、集計度の異なる空間データを同時に分析するために必要とされる計量モデルの開発を行う。

(2) 計量モデルに対する統計的分析方法の開発

本研究で提案する計量モデルは、解析的に解けないことが予想される。そこで、シミュレーションによる推定方法の開発を目指す。研究代表者は、これまでシミュレーションによる推定方法について研究を行ってきており、いくつかの研究成果を得ている。これらの研究成果を一層発展させることによって、既存の方法よりも効率的でかつ簡便な推定方法を提案する。

(3) 時空間データを用いた現実の経済問題への応用

本研究で提案する時空間計量モデルならびにその統計的分析方法の有用性を示すために、実際のデータを用いた計量分析を行う。

3. 研究の方法

(1) 計量モデルの開発

① 空間データを分析するための新たな計量モデルを開発するために、CAR モデルにしたがうランダム効果をモデルに導入する。また、混合モデルを基礎とし、そのウェイトを領域や地点ごとに変化させることによって空間的相関を計量モデルに取り入れる。

② 時空間データを分析するためのモデルを作成するために、①で開発した計量モデルに時系列構造を導入する。具体的には、状態空間モデルを利用する方法および混合モデルをマルコフ・スイッチングモデルへ拡張する方法の二つを考える。このような接近方法によって、より柔軟で実用的な時空間計量モデルの開発が可能であると考えられる。

③ 集計度の異なる空間データを分析するモデルの開発では、ベイズ階層モデルを基礎とする。本研究では、階層モデルの各階層を集計レベルに対応させることによって、集計レベル間の相互作用をモデルに取り入れる。

(2) 本研究で提案する計量モデルの推定に関しては、ベイズ統計の枠組み中で考察を行う。また、シミュレーションによる推定方法としては、マルコフ連鎖モンテカルロ法の適用を考える。

4. 研究成果

本研究の主な研究成果は、以下の通りである。

(1) 経済活動の非効率性を分析するとき、確率フロンティアモデルとよばれる計量モデルが用いられる。確率フロンティアモデルの特徴は、通常の誤差項以外に経済活動の非効率性を表す非負の確率変数がモデルに組み込まれている点にある。

本研究では、この効非効率性を表す確率変数をランダム効果としてとらえることによって、空間データを分析するための新たな確率フロンティアモデルの開発を行った。具体的には、ある経済主体の非効率性を自分自身による非効率性と近隣の経済主体による非効率性とに分解し、近隣の経済主体による非効率性については、移動平均モデルを利用した定式化を行った。こうして得られた計量モデルの特徴として、①既存モデルよりもその解釈容易である、②他の経済主体による非効率性の大きさを直接推定できる、③モデルの推定が容易であることなどが挙げられる。

提案する計量モデルをマルコフ連鎖モンテカルロ法によって推定するには、切断された多変量正規分布から乱数を発生させる必要がある。しかし、既存の方法では乱数発生効率性が悪いため、GHK シミュレーターとよばれる方法を援用した新たな方法の開発も行った。本研究で示した方法は、一度に切断された多変量正規分布から乱数を発生させるのではなく、再帰的に次元の切断された正規分布から乱数を発生させる方法であり、その実行は容易である。さらに、数値実験などを行い、本研究で提案する推定方法が既存の推定方法よりも効率であることを確認することができた。

本研究で提案した確率フロンティアモデルの有用性を調べるために、都道府県の支出関数の推定を行った。その結果、都道府県の支出には有意な空間的相関があることが分かった。これは、近隣の県の支出行動が非効率であれば、自分自身も非効率となるということを示しており、興味深い知見である。また、東北地方、山陰地方、九州・四国地方などに、非効率な財政支出をしている県が多く見られた。支出の細目についても実証分析を行い、その結果、総務費や教育費には空間的相関は見られなかったが、民生費や土木費などでは空間的相関があることが分かった。また、土木費の支出に関しては、非効率性が他の支出項目に比べて非常に高いことも明らかとなった。

(2) マルコフ・スイッチングモデルとよばれる計量モデルの拡張を行い、新たな時空間計量モデルの作成を行った。マルコフ・スイッチングモデルは、マルコフ連鎖とよばれる確率過程にしたがう潜在変数を利用することによって時系列構造を取り入れたモデルであり、経済学においてよく用いられている。

本研究では、マルコフ連鎖にしたがう潜在変数を順序プロビットモデルによって定式化し直し、さらに順序プロビットモデルにおける誤差項が CAR モデルにしたがうとして、空間的相関構造をマルコフ・スイッチングモデルに組み込んだ。また、順序プロビットモデルの平均を過去の潜在変数の値に依存させることによって、マルコフ・スイッチングモデルの持つ時系列構造を失うことなく空間的相関を取り入れている。本研究で開発した計量モデルでは、既存のマルコフ・スイッチングモデルよりも複雑な時系列構造を取り入れることが容易であるという特徴もある。また、CAR モデルを利用してことから、高次元の逆行列を求める必要がなく、従来の推定上の問題を解決したモデルとなっている。そのため、既存モデルよりも柔軟で実用的な時空間計量モデルであると考えられる。モデリングの観点から本研究の接近方法を考えると、混合モデルのウェイトが領域・地点ごとに变化するモデルを提案しており、空間計量モデル開発において新たな方法を提供している。

ここで開発を行った計量モデルは潜在変数を多く含み、最尤法などでは推定することが不可能である。そこで、マルコフ連鎖モンテカルロ法による推定を考え、そのためのアルゴリズムを開発した。モデルが複雑であるにも関わらず、本研究で提案するアルゴリズムは比較的簡単であり実行が容易である。

本研究の時空間計量モデルの有用性を示すために、各国の GDP に関するパネルデータを用いて経済成長の収束仮説に関する実証研究を行った。その結果、①本研究で提案するモデルを用いれば、これまで別々に行われていた β 収束と σ 収束に関する分析が一つの枠組みで行えること、②既存のモデルよりも説明力が改善されること、③提案する推定方法によってシミュレーションの効率性が向上することなどが分かった。さらに、世界に経済成長に関して三つのグループが存在すること、経済成長の収束は起こっていないということが実証結果から明らかになった。

(3) 計量経済学において、内生性は重要な問題の一つである。そこで本研究では、ポアソン回帰モデルに内生性と空間的相関を取り入れた新たな計量モデルの開発を行った。具体的には、ポアソン回帰モデルの説明変数に二値変数を導入し、この二値変数に対してプロビットモデルを考えた。さらに、ポアソン回帰モデルにランダム効果を導入した。次に、空間的相関をモデルに導入するため、ポアソン回帰モデルにおけるランダム効果とプロビットモデルの誤差項が、異なる CAR モデルにしたがうと仮定した。ここで、CAR モデルを利用したのは、(2)で説明したのと同じ理

由からである。

内生性を考慮するには、多次元正規分布にしたがう二つの確率変数ベクトルの相関を考えなければならず、モデル作成上難しい問題である。この問題を解決するために、本研究ではランダム効果とプロビットモデルの誤差項の相関行列のコレスキー行列を利用した。この接近方法を用いれば、ポアソン回帰モデルのランダム効果をプロビットモデルに含めるか、あるいはプロビットモデルの誤差項をポアソン回帰モデルに含めるだけで内生性を考慮でき、モデリングが非常に簡単に行えるという利点がある。この接近方法は、他の空間モデルにも簡単に応用でき、モデリングの観点からも新しい方法である。

このようにして得られた計量モデルに対して、マルコフ連鎖モンテカルロ法による推定も開発した。提案するモデルは複雑であるにも関わらず、本研究で提案するアルゴリズムは比較的実行が容易であり実用的である。また、本研究で提案する推定方法の効率性を確かめるためにシミュレーション実験を行い、実用上問題ないことも明らかにした。

実証分析を通して、提案するモデルの有用性を示した。本研究では、計数データとして北海道における交通事故件数、二値変数として高速道路の出入り口の有無に関するデータを用いた。実証分析の結果から、ポアソン回帰モデルにおいては空間的相関がある（つまり交通事故件数には地域間の相関がある）が、プロビットモデルにおいては空間的相関がないことが分かった。さらに、内生性についても有意な結果がえられた。この結果は、高速道路へのアクセスの容易さの程度により、交通事故の発生が異なることを意味し、政策上も重要な含意を持っていると考えられる。

上述の研究成果以外に、空間データの整備を挙げておく。これは、空間データを分析するためには、観測値間の近さを表すデータ（以下ウェイトデータ）が必要である。本研究では、日本の都道府県データならびに北海道の市町村データに対するウェイトデータの作成・整備を行った。さらに、最近の研究成果を取り入れて、球面上の距離を利用したウェイトデータの作成・整備も行った（これについては、日本の都道府県データのみである）。これらのデータは、今後の研究や他の研究者にとっても有用である。

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4件）

- ① Mizutani, F., Kozumi, H., and Matsushima, N., "Does Yardstick Regulation Really Work? Empirical Evidence from Japan's Railway Industry," *Journal of Regulatory Economics* **36**, 308-323, 2009. (査読有)
- ② 古澄英男, "再帰的に切断された多変量正規分布による切断正規分布からのシミュレーションについて," 国民経済雑誌, 第198号, 21-30, 2008. (査読無)
- ③ 古澄英男, "マルコフ連鎖モンテカルロ法入門," 「21世紀の統計科学III — 数理・計算の統計科学」北川源四郎・竹村彰通(編), 東京大学出版会, 271-304, 2008. (査読有)
- ④ Kozumi, H., "Bayesian Analysis of Semiparametric Structural Equation models," Proceedings of IASC2008, 165, 2008. (査読無)

〔学会発表〕（計3件）

- ① Kozumi, H., "Bayesian Analysis of Spatial Stochastic Frontier Models," 2nd International Workshop on Computational and Financial Econometrics (CFE'08), 2008年6月20日, University of Neuchatel (Switzerland).
- ② Kozumi, H., "Bayesian Analysis of Semiparametric Structural Equation Models," IASC2008 (Joint Meeting of 4th World Conference of the IASC and 6th Conference of the Asian Regional Section of the IASC on Computational Statistics & Data Analysis), 2008年12月7日, Pacifico Yokohama.
- ③ 古澄英男, "ベイズ計量経済分析," 日本経済学会秋季大会, 2008年9月15日, 近畿大学.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

古澄 英男 (KOZUMI HIDEO)
神戸大学・経営学研究科・教授
研究者番号: 10261273

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし