

博士学位論文審査報告書

学位論文提出者	〔学籍番号〕201755001 〔名 前〕Gigih Fitrianto
学 位 論 文 名	A Data-driven Analysis to Attest Regional Interlinkages between Economics and Environment: Utilization of SDG Indicators for Spatio-temporal Analysis 〔経済と環境の相互作用を解明するデータ駆動型地域 分析：持続可能性指標を用いた時空間分析〕

論 文 審 査 委 員	
主査	教授 田中 章司郎
副査	教授 宜名真 勇
副査	教授 福居 信幸

博士學位論文審査報告書

1. 提出者氏名

Gigih Fitrianto

ギギ フィトリアント (博士課程後期課程)

2. 学位論文題目

A Data-driven Analysis to Attest Regional Interlinkages between Economics and Environment: Utilization of SDG Indicators for Spatio-temporal Analysis

[経済と環境の相互作用を解明するデータ駆動型地域分析：持続可能性指標を用いた時空間分析]

3. 論文構成

Chapter 1 Frameworking Data-driven Analysis with Usage of SDG Indicators

Chapter 2 Utilization of SDG Indicators to Analyze Economic Structural Change and Regional Resilience with Respect to Neighbor Municipal Bodies

Chapter 3 Generic Methodology for Variable Selection in Spatial Regression Analysis to Attest Regional Interlinkages among SDG Indicators: A Study Case of Sumatra Island, Indonesia

Chapter 4 Formulation of Huge Lattice Spatial Adjacency Matrices With Non-rectangular Shape of Socio-economic Grid-Cell Data for the Analysis of Sustainable Economy With High Computational Efficiency

4. 審査要旨

(論文内容要旨)

現在の環境変化の大きな原因の一つは、人間、特に経済活動に起因するものであることは間違いない。本論文では、持続可能な開発目標のための指標 (SDGs 指標) 間の時間的・空間的なつながりを解明し、包括的な地域分析を行うことを目的とした研究を行った。そのためには、時間的・空間的なデータ数に応じたデータの利用可能性が重要である。本論文では、インドネシアのデータを対象としたデータサイズの制限の下で、データ駆動型の分析アプローチを展開することを試みている。

第1章では、SDGs 指標の活用によるデータ駆動型分析のフレームワーク化を行った。SDGs 指標は、包括的な地域開発分析を構築するために、社会経済と環境の問題を統合的に対応するように設計されている。本章では、社会経済要因と環境要因の間の一般的な枠組みを時空間分析によって描き出す枠組みを構築した。インドネシアのデータ、特に産業部門別の地域総生産 (GRP) については、2000 年を基準年としたデータ分類から 2010 年を基準年としたデータ分類に変更がある。これは、GRP データにカウントされる産業分類

を 9 産業から 17 産業に変更したものである。この新しい分類では、2010 年からインドネシア統計局のデータが利用可能となる。このため、体系的に利用可能な期間は論文執筆時点で最大 9 年となる。第 2 章の時系列分析、第 3 章の回帰モデルでの基本的な先行研究をこの章で考慮した。

第 2 章では、SDGs 指標を活用した近隣自治体の経済構造変化と地域の回復力を分析した。空間依存性情報を用いて、ブロークンタイムトレンドモデルの時系列分析を行った。地域スペクトルの経済ショックに対する回復力を検出し、ショック前後の各地域の経済成長トレンドを比較することに焦点を当てた。リーマンショックをケーススタディとして選択した。リーマンショックを研究事例としているため、本研究ではデータの制約からインドネシアのデータを用いず、より大きなデータサイズがある米国と日本のデータを使用した比較研究を行った。2005:Q1～2018:Q2 の米国 51 州のデータ（期間数：54）と 2001～2014 年の 47 都道府県のデータ（期間数：14）を用いた。ブロークンタイムトレンドモデルを空間依存性を考慮したモデルに拡張し、F 検定や Wald 検定など、構造変化を検出するためのいくつかの統計的検定を検討している。米国では空間依存性を考慮しない場合には、空間クラスターの検出には F 検定の方が優れているが、空間依存性を考慮した場合 Wald 検定の方が優れていることが示された。また、日本ではデータ数の制限から Wald 検定が使えない弱点があることが明らかになった。

米国では、危機の悪影響が西海岸、南東部、五大湖地域に集中していることが示された。これらの地域の州では、製造業、建設業、保険業、金融業が主に GRP に貢献している。一方、農林水産業、漁業、狩猟、鉱業に依存している州では、ショックに対する抵抗力があった。日本では、マイナスの影響はすべての地域に広がっていた。危機後、長崎県などを除いて、ほとんどの県が回復した。

第 3 章では、SDGs 指標間の相互リンクを実証するための空間回帰分析における変数選択のための一般的方法論を、インドネシア・スマトラ島を対象として検証した。本章では、SDGs 指標間の相互リンクを解明するために、地域分析における空間依存性に焦点を当てた。すべての情報がデータを説明するために信頼できるわけではないため、変数選択プロセスを用いて、相互リンクを証明するために最適な変数を選択した。

SDGs 指標間の相互リンクを証明する最良の変数を得るために、空間パネル分析で用いられる最も大きなモデルである Spatial Durbin Error Model を線形に変換して変数選択を行う手法 Variable Selection in Spatial Regression (VSSR) を新たに開発して使用している。この実証分析では、VSSR の適用によりインドネシア・スマトラ島のパーム油を中心とした産業と地域所得の関係を観察した。スマトラ島の 10 州の 2011 年から 2017 年の年次データを用いて、従属変数を地域所得とし、独立変数は、1)一人当たりの GRP 成長率、2)中等教育就学率、3)人口増加率、4)労働力当たりの粗パーム油生産量、5)労働力当たりの鉱山生産量、6)労働力当たりの卸売生産量、7)人口に対する 15 歳未満の子供の比率（児童労働率）の 7 つ

を用いている。その結果、就学率、パーム油生産、卸売業が選択され、地域所得にプラスの影響を与えた。一方、鉱業と児童労働率は、VSSR 選択後は負の関係にある。スマトラ島の各州には、近隣の学校、パーム油生産、卸売業が正の影響を与えた。近隣州の近隣所得と児童労働率は負の効果を持つ。本章ではさらに、社会経済変数（所得格差、児童労働参加など）と環境データ（森林被覆の変化、CO₂ 排出量、森林火災排出量など）との間にデータを組み込む方法の説明後、実際にスマトラ島の各州の約 1km 四方の標高を集約した標準偏差（地形の凹凸の度合い）を変数に追加して検証している。その結果、平地の多い州が有意に地域所得が高いことが判明した。これはパーム油プランテーションの適地が平地であることとの関係が示唆された。

第4章では、計算効率の高い持続可能な経済分析のための社会経済グリッドセルデータの巨大格子空間隣接行列作成の定式化を行った。グリッドセルデータを社会経済分析に利用するメリットは、地域分析に衛星データを比較的容易に取り入れることが可能であり、社会経済と環境との関係を観察する上で重要な役割を持つ。これは、社会経済と環境のバランスを調和させた持続可能な開発目標に対応するものである。このような分析を行うためには、地域内の空間的な関係を投影するための空間的な隣接関係マトリクスの作成が重要な役割を果たしている。しかし、社会経済分析を考慮したグリッドセルデータ構造における空間隣接行列の実用的な定式化を提供した先行研究はなかった。この問題は、水域などの非居住地域を表す NA セルが存在することに起因しているが、空間解析で一般的に用いられるシェイプファイルにはこのような情報が自治体の内部には含まれていない。この NA セルは非矩形の格子を作成するため、実際の情報を正しく投影するためには、解析の際に NA セルを除外することが重要となる。この章では、クロネッカー積を用いて隣接行列を構築し、NA セルを除去するために射影行列を適用することで、実情報を正確に射影する方法を提供している。クロネッカー積を用いた方法は、広く使用されている *spdep* と呼ばれる R パッケージと比較して非常に高い効率を示した。実験の結果、1 兆個もの要素を持つ巨大データに対して、*spdep* パッケージに比べて 2000 倍以上の高速な計算経過時間が得られることが確認された。

（審査の要旨）

本学位論文の構成と内容については上記の論文要旨に示された通りである。経済と環境の相互作用の解明には、二酸化炭素排出量と経済成長を中心とした動的なモデル、例えば Dynamic Integrated model of Climate and the Economy (DICE)モデル (Nordhaus, 1994) などが代表的である。しかし、経済と環境の詳細な関係の解明を何らの仮定を設けずに、なかんずく二酸化炭素排出量以外の多様な変数を取捨選択する実データを用いた統計的解析は皆無であると言って良い。

計量経済学の空間パネルデータ分析では、地域の収入・住宅の価格と犯罪の関連性など、主に社会経済的な諸変数の関連性について、多数の論文が存在する。しかし、その母数推定には、誤差構造の複雑さから困難さが伴い、学位論文第3章で指摘しているとおり、いくつかの推定方法が提案されている。このことは取りも直さず、パネルデータを扱った空間モデル構造自体の複雑さを示している。

本学位論文は、パネルデータの空間モデルを変換して、通常の線形回帰に持ち込むことで安定的な母数推定を実現し、さらに変数選択を可能にした。これは他に類を見ない手法といえる。使用したデータ数に限りがあり、確定的な結論が出せていないものの、地域の経済と環境の相互依存性を解明する上で、画期的な手法を提示している。

また、人工衛星データと社会経済データとの連携は、オークリッジ国立研究所やコロンビア大学 CIESIN 研究所で作成されたグリッドセル格子状のデータを中心としてきた。しかしこの学位論文では、行政自治体境界座標内に含まれる数十万個を超える小区画グリッドセルデータを集約 (aggregate) させる手法を開発し、セル状データのみならず、自治体ベースの膨大な社会経済データとセル (画素) ベースの人工衛星データとの空間的なマッチングを可能にした。人工衛星データ自体の解析は行われていないが、この手法の今後の実際の応用は大いに期待できる。

一方、第2章で展開したブロークンタイムトレンドモデルの空間自己回帰モデルへの拡張は、数年後に現在の新型コロナウイルスの地域影響を解析する明らかに有効な手法となる。

第3章においてスマトラ島各州の地域特性のランダム効果の検証が課題として残されているなど、多少荒削りな面があるものの、本論文は経済と環境の相互作用を実証的に解明する独自の手法を確立した出色の論文であると言える。

(試験結果の要旨)

本学の学位規定および学位論文ロードマップに従い、本審査委員会は設置された。最終試験では、約75分に渡って Fitrianto 氏から論文内容の説明があった。これは内容の説明中に自由に質問を許す形式で行われ、多岐にわたる活発な質疑応答が説明中に行われた。

流通業・児童労働率の定義、世界金融危機 (global financial crisis) と本論文で使用されたリーマンショックの用語の使い方、空間隣接関係マトリクスの形態、米国のアラスカ州とハワイ州、日本の北海道と沖縄の隣接関係の定義、赤池情報量規準の定義、児童労働率の推定母数が所得に対して有意に負となった理由、スマトラ島各州の地形の凹凸の度合の計算に用いられた約1km 四方の標高が人工衛星データから求められたものかどうか等、審査

委員から多数の質問が寄せられた。これに対し Fitrianto 氏は、ひとつひとつ丁寧で的確な応答を行った。

最終試験において、 Fitrianto 氏が実データを用いた経済と環境の相互作用を解明する知見と分析技術を十分に備えていることが確認された。

よって審査委員一同は、本論文が博士（経済学）の学位を授与するにふさわしいものと判断する。

Gigih Fitrianto 氏の研究活動に関する参考資料

1 Refereed Paper

- 2018 Formulation of Huge Lattice Spatial Adjacency Matrices With Non-rectangular Shape of Socio-economic Grid-Cell Data for the Analysis of Sustainable Economy With High Computational Efficiency, *Research in World Economy*, Vol 9 (2), 1-11.
Authors: Gigih Fitrianto, Shojiro Tanaka, Ryuei Nishii

2 Non-refereed Paper

- 2020 A Data-driven Framework to Attest Interlinkages between Economics and Environment: A Case Study of Income Inequality in Sumatra Island, *HUE Aki Ronsou*, Vol. 18, 29-63.
Authors: Gigih Fitrianto
- 2017 Fundamental Review on the Formulation of Large Lattice Spatial Neighbor Matrices, *HUE Journal of Humanities, Social and Natural Science*, Vol. 40 (3), 41-88.
Authors: Gigih Fitrianto, Shojiro Tanaka

3 Refereed Conference Paper

- 2019 Analysis of Regional Economic Growth Against Crisis: US-Japan Statistical Comparative Study Before-after Lehman's Shock. *Special Topic Session: Spatial and Spatio-temporal Analysis in Social Science*. 62nd ISI World Statistics Congress, Kuala Lumpur, Malaysia, 137-145.
Authors: Gigih Fitrianto, Shojiro Tanaka, Ryuei Nishii