

平成22年4月15日現在

研究種目：基盤研究 (C)
研究期間：2007～2010
課題番号：19530165
研究課題名 (和文) 少子化に伴う労働人口減少に関する経済分析のための複雑系数理経済モデルの構築
研究課題名 (英文) The Construction of a Mathematical Economic Model using the Complex System for an Economic Analysis Concerning the Decreasing Number of Labors with the Declining Birthrates
研究代表者 高木 一郎 (TAKAGI ICHIRO)
東海大学・総合経営学部・教授
研究者番号：90226746

研究成果の概要 (和文) :

本研究は次の2つの学術的意義を持っている:(i) 今までに十分な研究がされていない経済地理モデルの中心的な問題の複雑系数理経済モデルを構築した。(ii) 数理経済学の有力な数学的道具と看做されながら、その数学的な困難さから十分に使われてこなかった最先端の数値解析技法であるエージェント・ベースド・モデルを、使いやすい数値計算プログラムパッケージの形で経済学者に提供し、数理経済地理モデルを構築した。さらに、本研究はこのような学術的意義だけでなく、大きな社会的意義を有している。元来、Weidlich-Haagの人口移動モデルは、EU域内の人口移動予測を目的とした社会貢献指向の実証性重視の数理モデルである。日本では少子高齢化に伴って、地域間の人口移動は緩やかになると、かつては信じられていた。しかし長期に渡る過疎化によって人口減少が続いている地方では、集落が短期間に消滅するような人口流出が起き、それと同時に東京のような大都市では、急激な人口の流入が起きることが確実視されている。このように都市の人口集中と地方の人口流出は、人口爆発する都市を多く抱える中国や東南アジアは勿論、日本にとっても重要政策課題の一つである。本研究は、このようなアジアの重要政策課題に対して数理経済学的アプローチを試みるものであった。本研究はこの政策に対して重要な示唆を与えるものであり、大きな社会的意義を有していると言える。

研究成果の概要 (英文) :

This study has the following academic significances:

- (1) We have constructed a mathematical economic model of the complex system that was the most important problem in building an economic-geographic model, and which had not significantly studied.
- (2) We have constructed an economic-geographic model by modifying agent-based model, a cutting edge technique in numerical analysis that had not used because of its mathematical difficulties regardless of its known usefulness in mathematical economics. We could also offer economists a useful computer program package for employing agent-based models.

This study has not only above-mentioned academic significances but also great significance in terms of demographical analysis. The demographical model developed by Weidlich-Haag was

originally a mathematical model that emphasizes empirical significance that could contribute to forecasting demographic movement in the European Union. In Japan, it was once believed that the demographic movement would slow down due to its declining birthrate and because of its aging society. However, there are the regions where population has been declining, and all the people move out of some villages in those regions. On the other hand, it is forecasted that there will be a large increase in population in the big cities like Tokyo. Such demographic movements as population increase in big cities and population decrease in some remote regions become one of the most urgent political agenda in Japan as well as in China and the Southeast Asian countries. Therefore, this study is planned to solve these problems by applying a mathematical economic approach. It is needless to say that this study presents helpful and critical suggestions to the policy makers, and thus we hoped that this study would contribute to demographical analysis and policy making.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野： 経済学

科研費の分科・細目： 理論経済学・数理経済学

キーワード： 複雑系数理経済学・少子化・内生的経済成長・人口動態・Agent-Based Model

1. 研究開始当初の背景

空間経済学は、人口増加や経済成長という規模と集積の経済と輸送費用との相互作用により、内生的に自己組織化される空間的構造を明らかにすることを目的としている。この集積効果によって資本と人口は互いに影響しあって多階層的な都市構造を形成する。同時にこの都市形成システムは硬直的なものではなく、長期的には変成して都市構造は変化していく。このようなシステムの変成は、経済の集積が持つロックイン効果のために、経路依存的になるが、同時に初期状態が将来の都市の空間構造を決定する。このような自己組織化過程では、中心都市が中核に位置して周辺に複数の衛

星都市が生まれる現象が観察される。このような Edge City の形成過程は P. Krugman により指摘されているが、このような空間経済学的な自己組織化現象を表現する包括的な複雑系数理経済地理学モデルは未だ構築されていなかったため、本研究に着手することにした。

ところで、経済発展が著しい東南アジアや中国沿海部の多くの地域では、都市への大規模な人口集中が起きている。都市の人口集中はスラムの発生や都市環境の悪化等の深刻な問題をもたらす人口論的事象 (demographic event) である。社会力学では、このような人口集中現象を表す様々な数理モデルが構築されている。その中で特に重要で実証データとの高い整合性を有し

ているのが、Weidlich-Haag の人口移動モデルである (W. Weidlich : *Sociodynamics*, Harwood Academic, 2000, 邦訳: ソシオダイナミクス, 森北出版). この数理モデルではマルコフ過程の方程式であるマスター方程式で人口移動が表現されている. この方程式は統計力学を起源とし, その名の通り様々な物理理論が演繹される自然科学の基礎方程式である. この人口移動モデルについては, 私たちの研究グループは多くの数値計算結果を得ていた. 例えば, 全人口が多いと定数状態は不安定であり, 少しでも人口分布に偏りがあれば人口移動が始まり, 領域内部のいくつかの点に人口が集中して都市が形成され始め, 領域の境界の近傍では人口密度が減少して過疎地になるという数値計算結果を得ていた. また, 都市が形成され, その都市の規模がある水準を超えて大きくなると, その都市をコアとして周辺に中規模の衛星都市が形成されるという数値計算結果も得られていた. このように経済地理学的モデルの構築の端緒となる結果が得られているにも関わらず, このモデルでは, 空間経済学本来の目的は達成することができなかった. 何故ならば, このモデルでは社会力学的分析は行われているが, 人口と資本の集積による規模の効果が引き起こす空間経済学的な自己組織化効果が組み込まれていなかったからである. 実際, 私たちの研究チームは基盤研究(C)理論経済学「国際経済における複雑系数理経済モデルの構築」(代表者: 高木一郎, 分担者: 田畑稔)において, 詳細な数値実験を繰り返した結果, この人口移動のみのモデルでは, 単階層構造の自己組織化をある程度説明できても, 都市システムの経路依存的な多階層構造の変成を十分に説明できないことが判明していたので, 新たに本研究に着手することにした.

2. 研究の目的

上述のように, 人口移動現象について有力な数値計算結果が得られているにも関わらず, 人口移動モデルと内生的経済成長理論との融合を試みる研究は, Max-Planck 研

究所の進化経済学グループによって限定的なモデルが構築されただけであり, その研究も十分には成功しなかった. これは人口移動モデルの構築には非常に高度な数値解析ツールが必要であり, 経済学者だけでは数値計算の実行が困難であったからである. そこで, 私たちは経済学者 (高木), 社会経済学者 (顧), 山崎 (コンピュータに・シミュレーション) 並びに数学者 (田畑) によって研究組織を構成した. 今日の急速な数値解析学の進歩により, 離散力学系数理モデルの一種であるエージェント・ベースド・モデルが開発され, 数理経済学の有力な道具と看做されるようになってきた (M. Aoki and H. Yoshikawa: *Reconstructing Macroeconomics: A Perspective from Statistical Physics and Combinatorial Stochastic Processes*, Cambridge University Press, (2006)). 本研究では, このような最新のシミュレーション手法であるエージェント・ベースド・モデルを用いることにより, 数理経済地理モデルの挙動を数値解析して, 都市の誕生と消滅のプロセス, および都市のクラスター型の多階層構造に関する内生的変成を解析することにした. 既に行っている数値計算結果から社会力学的モデルは単階層構造を形成することが分かっていたが, このモデルを発展させることにより, 今まで数理モデル化が困難であった都市の多階層形成過程を正確に表現することにした. 実際, いくつかの数値実験では, 中心部分に大都市が形成されその周辺に衛星都市が形成されるという P. Krugman の Edge City の形成発展過程を, von Thünen model 型の球対称モデルの場合に描写することに既に成功しており, この試みは大変有望であると言えた. 私たちは, このような最先端の数値計算技法を援用する強力な方法により, 人口移動モデルと内生的経済成長モデルを融合させ, 都市の多階層自己組織化現象を記述する複雑系数理経済地理モデルを構築することを研究目的とした.

3. 研究の方法

本研究は内生的経済成長理論を中心とした数理経済学，人口移動理論を中心とした数理社会学，さらに数値解析学が関係する学際的なものである。高木（代表者：数理経済学）が中心的な役割を担い顧（分担者：社会経済学）が補助し，田畑（分担者：数値解析学）と山崎（分担者：コンピュータ・シミュレーション）がその数学的な部分を助ける形で学際的な研究チームを作り，以下の研究プロセスを実行した。

(1)人口移動理論の検証と数値実験

- ①内生的経済成長理論の立場から人口移動モデルを検証する（高木・顧・田畑が担当）。
- ②モデル構築のためのアルゴリズムの実装と数値実験を行う（田畑・山崎が担当）。

(2)プロトタイプモデルの構築とその検討

- ①プロトタイプモデルを構築する（高木・顧が担当）。
 - ②数値解析結果をプロトタイプモデルにフィードバックする（高木・山崎・田畑が担当）。
- #### (3)モデルの完成
- ①最終的な数理経済地理モデルを構築する（高木・顧が担当）。
 - ②学会講演と論文発表によって研究成果を公表する（高木・顧・田畑が担当）。

(4)内生的経済成長理論の立場から人口移動モデルの検証

社会力学の人口移動モデルを基礎として，数理経済地理モデルを構築した。人口移動理論の数理社会学的研究は，私たちが目的とする数理経済地理モデルの構築にヒントを与えた。また目的とするモデルの構築が思わぬ困難に直面したので，数理社会学的に容認できる仮定をモデルに科して，モデルがより現実の経済現象と整合性を持つようにした。そこで，本研究のプロセスでは数理経済学を専門とする高木と数値解析を専門とする田畑が，社会力学の人口移動モデルを内生的経済成長理論と数値解析の立場から十分に検討した。

(5)モデル構築のためのアルゴリズムの実装と数値実験

Krugman がその著書「空間経済学」で指摘しているように，数理生物学モデルは経済地理学において重要な役割を果たしている。そこで，私たちは数理生物学モデルの代わりに数理医学エージェント・ベースド・モデルを応用することを考えた。私たちはこの数理医学モデルが人口移動モデルと幾何学的相似であることを既に証明している。この幾何学的相似性を用いることにより，数値計算プロセスを大幅に簡略化することができた。これにより，数多くの数値実験結果を得ることができた。しかしこの数値実験は，労働人口が減少する場合への応用を目的としており，人口が集中する場合を除外している。そこで，この制限を緩めて人口集中の場合の数値実験を行った。社会力学の人口移動モデルの数値実験は非常に長い計算時間を要するが，この幾何学的相似性を用いることと，私たちが数理医学モデル研究で開発した数値計算プログラムパッケージを援用することにより，数値実験時間を大幅に短縮することができた。しかし，これでもまだ計算時間が相当長いものになると予想されたので，von Thünen型の球対称モデルへの簡略化を用いて計算を行った。これらの数値計算は，数値解析を専門とする田畑が行った。高木・顧がこれらの数値実験結果を数理経済学の立場から検討し，プロトタイプモデルを構築した。これらの数値実験は，数理モデルの正しさを検証し，実験結果からプロトタイプモデルを推定するのが目的であって，シミュレーションそれ自体が目的ではなかった。

(6)プロトタイプモデルの検討

①プロトタイプモデルの構築と数値解析

人口移動の数理モデルは，距離特異性と時間遅れの効果を含むため，人口密度関数を直接計算するのは困難である。そのため人口移動の数理モデルには，旧来の数値解析的手法が全く使えず，長らくその研究は停滞していた。これに対して数理統計学的計算理論が進展し，人口密度関数の数理統

計学的汎関数（人口密度関数の capacity と entropy）を用いて数理医学エージェント・ベースド・モデルを評価するアルゴリズムが開発された。本研究ではこの最先端の計算技法を組み込んだ数値計算プログラムパッケージを数理経済地理モデルの人口密度と地域別実質賃金の計算に利用した。これによって、簡便かつ正確に人口密度と実質賃金の時間的空間的变化を追跡することができ、人口移動モデルに内生的経済成長モデルを様々な形で連立させても、迅速にそのモデルの挙動を追跡することができた。このことにより、試行錯誤によって様々なモデルを検証することができ、求めるべきモデルのプロトタイプを絞り込むことが可能になった。

②数値解析結果のプロトタイプモデルへのフィードバック

プロトタイプモデルを、旧来の数理モデルと矛盾する点が無いかどうかを比較検証した。まず構築されたプロトタイプモデルが von Thünen model, Dixit-Stiglitz model, 並びに Simon model 等と整合性があるかどうかを数値実験により検証した。続いて P. Krugman により指摘されている、自己組織化過程により大都市が中核に位置し、周辺に複数の衛星都市が生まれる Edge City の形成過程が、構築したプロトタイプモデルで正しく説明できるかどうかを検討した。その結果を必要に応じてフィードバックして、プロトタイプモデルを修正した。このような修正されたプロトタイプモデルに対して、開発した数値計算法を用いて、モデルの挙動を詳細に調べた。

(7)最終的な数理経済地理モデルの構築

プロトタイプモデルの修正を繰り返し、最終的な数理モデルを完成した。その複雑系数理経済モデルにより、都市の誕生と都市の多階層構造の自己組織化、さらに中心都市の周辺に衛星都市が誕生する Edge City の形成過程を説明することができた。

4. 研究成果

本研究は次の2つの学術的意義を持っている:(i) 今までに十分な研究がされていない経済地理モデルの中心的な問題の複雑系数理経済モデルを構築した。(ii) 数理経済学の有力な数学的道具と看做されながら、その数学的な困難さから十分に使われてこなかった最先端の数値解析技法であるエージェント・ベースド・モデルを、使いやすい数値計算プログラムパッケージの形で経済学者に提供し、数理経済地理モデルを構築した。さらに、本研究はこのような学術的意義だけでなく、大きな社会的意義を有している。元来、Weidlich-Haag の人口移動モデルは、EU 域内の人口移動予測を目的とした社会貢献指向の実証性重視の数理モデルである。日本では少子高齢化に伴って、地域間の人口移動は緩やかになると、かつては信じられていた。しかし長期に渡る過疎化によって人口減少が続いている地方では、集落が短期間に消滅するような人口流出が起き、それと同時に東京のような大都市では、急激な人口の流入が起きることが確実視されている(石川義孝【著】:人口移動転換の研究, 京都大学出版会, 2001)。このように都市の人口集中と地方の人口流出は、人口爆発する都市を多く抱える中国や東南アジアは勿論、日本にとっても重要政策課題の一つである。本研究は、このようなアジアの重要政策課題に対して数理経済学的アプローチを試みるものであった。本研究はこの政策に対して重要な示唆を与えるものであり、大きな社会的意義を有していると言える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計4件）

- ① I.Takagi, Wen Gu, & S.Takagi,
Economic and Social Impact of
Family Planning Policy in the
People's Republic of China, Bulletin
of Business Studies Tokai University,
査読有, Vol.1, 2008, pp.15-25.
- ② M. Tabata, N.Eshima, & I.Takagi,
The Kramers-Moyal expansion of
the master equation that describes
human migration in a bounded domain,
Nonlinear Analysis series B: Real World
Applications (Elsevier Science), 査読有,
Vol.10, 2009, pp.639-664.
- ③ M. Tabata, N.Eshima, & I.Takagi,
A mathematical-model approach to
human population explosions caused by
migration, Nonlinear Analysis series B:
Real World Applications (Elsevier
Science), 査読有, (in print).
- ④ M. Tabata, N.Eshima, & I.Takagi,
A nonlinear integro-partial
differential equation describing the
formation of an urban area and a
rural area, Nonlinear Analysis series B:
Real World Applications, (Elsevier
Science), 査読有, (accepted).

〔学会発表〕（計0件）

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

○取得状況（計0件）

〔その他〕

ホームページには掲載していません。

6. 研究組織

(1)研究代表者

高木 一郎 (TAKAGI ICHIRO)
東海大学・総合経営学部・教授
研究者番号：90226746

(2)研究分担者

田畑 稔 (TABATA MINORU)
大阪府立大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：70207215

(3)研究分担者

山崎 松男 (YAMASAKI MATSUO)
東海大学・総合経営学部・教授
研究者番号：90331074

(4)研究分担者

顧 ウェン (GU WEN)
東海大学・総合経営学部・准教授
研究者番号：90352400