

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2013～2014

課題番号：25885020

研究課題名(和文)空間経済モデルのゲーム理論的基礎付けに関する研究

研究課題名(英文)On the game-theoretic foundations of spatial economic models

## 研究代表者

藤嶋 翔太(Fujishima, Shota)

東京大学・空間情報科学研究センター・講師

研究者番号：50706835

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：人々が自由に立地を選ぶことができる多地域経済成長モデルを考え、地域間人口分布の定常均衡の安定性を、ポテンシャル関数と呼ばれる関数の最適化問題により特徴付けた。特に、人々の時間選好率が、人口集積の生産性向上と混雑に与える影響のトレード・オフを介して、安定な定常均衡の性質に大きな影響を与えることを示した。

また、モデルの応用として地域間格差とネットワークの問題を扱った。1点目に関しては、所得が均斉成長していく地域と所得の成長が止まってしまう地域が、安定な定常均衡で共存し得ることを示した。2点目に関しては、生産技術の地域間スピルオーバーに関するネットワーク構造が安定な定常均衡に与える影響を分析した。

研究成果の概要(英文)：We study a multi-regional economic growth model in which people can freely choose their locations. We characterize the stability of regional population distributions at stationary equilibria with the optimization problem of a function called a potential function. We show that people's time preference crucially affects the stable stationary equilibrium through the trade-offs between spatial agglomeration's positive productivity-enhancing effects and negative congestion effects.

We also apply our model to issues of the regional inequality and network. Regarding the first issue, we show that regions where the income perpetually grows and regions where the income stops growing can coexist at a stable stationary equilibrium. Regarding the second issue, we study how the network structure of inter-regional spillovers in production affects the stable stationary equilibrium.

研究分野：都市・地域経済学

キーワード：理論経済学 都市・地域経済学 進化ゲーム理論 経済成長 人口集積 地域間所得格差 スピルオーバー ネットワーク

## 1. 研究開始当初の背景

空間経済学では通常、2地域と自由に立地を選択できる労働者(mobile worker)からなる経済モデルを考え、輸送費などが労働者の地域間人口分布に与える影響を分析する。ここで、労働者はどちらの地域に立地するかを決めるとき、それぞれの地域の都市混雑の水準などを考慮に入れるが、それらは他の労働者の立地に依存する。したがって、労働者の立地選択は戦略的な意思決定であり、モデルの均衡を特徴付ける際はゲーム理論の概念や分析手法を応用するのが自然である。

しかし、これまで空間経済学の分野で行われてきた理論研究は戦略的意思決定に関する均衡条件を捨象もしくは簡略化したものが多く、必ずしもゲーム理論的基礎付けがきちんとなされているとは言えない。

例えば、本研究課題が対象とする都市成長モデルは通常の経済成長モデルに複数地域間の立地選択が加わったモデルであるが、均衡は消費のオイラー方程式とストックの遷移式に加え、労働者の地域間人口分布の動学を記述する移住動学(migration dynamics)からなる動的システムで表現される。立地選択に関しては時間軸のあるモデルを考えるため、労働者は各期どちらの地域に立地するかという戦略的意思決定を行う。したがって、移住動学はナッシュ均衡を構成する立地戦略を集計して導くべきものである。しかし、多くの先行研究(Baldwin and Forslid, 2000など)は移住動学を均衡から導かず外生的に与え、労働者の立地に関する意思決定はその動学に集約されると仮定している。したがって、移住動学の背後にあるべき立地選択に関する均衡条件が捨象されているという問題点がある。

## 2. 研究の目的

上記の背景を踏まえ、本研究課題では特に最近の空間経済学において重要な研究テーマとなっている都市成長モデルに着目し、厳密なゲーム理論的基礎付けのもとでこれまでの研究の再検討を行い、空間経済学のさらなる発展に向けた理論的土台の構築を目指す。

また、本研究課題はゲーム理論を応用して空間経済学のモデルを分析するが、ゲーム理論を単純にツールとして用いるのではなく、ゲーム理論の通常モデルよりも複雑なものを考える。例えば、通常の繰り返しゲームは同じ段階ゲームを繰り返しプレーする状況を考えるが、都市成長モデルにはストック変数があるため、段階ゲームは時間を通じて内生的に変化する。したがって、空間経済モデルへの応用にあたりゲーム理論で通常課

されている単純化の仮定を緩めることにより、ゲーム理論への貢献も目指す。

## 3. 研究の方法

既存の経済成長モデルを参考にしながら、多地域経済成長モデルを組む。その際、空間経済モデルの特徴的な要素である、人口集積の正の外部性(集積の経済)と負の外部性(混雑性)をモデルに組み込む。

時間軸に関しては、都市成長という文脈での現実性から重複世代モデルを考え、解析可能性の観点から連続時間とし、移住動学を進化ゲーム理論における完全予見動学(Matsui and Matsuyama, 1995)の枠組みに落とし込む。実際、完全予見動学では每期各プレイヤーに戦略変更の機会が確率的におとずれる状況を考えるが、これは各世代の寿命が確率的に決まる重複世代モデルに読み替えることもできる。この場合、均衡はオイラー方程式とストックの遷移式に完全予見動学としての移住動学を加えた動的システムで与えられるため、これまでの完全予見動学の研究で得られてきた結果を参考にしながら均衡の特徴付けを行う。その際、まずは定常状態に着目し先行研究との比較を行う。

定常状態の分析後は、非定常な均衡(地域間人口分布が時間を通じて変化していく均衡)を特徴付ける。また、均衡の一意性が保証されない場合は均衡の安定性についても議論していく。その際は、完全予見動学の研究で用いられている安定性概念(absorptionやaccessibility)を応用する。解析的な分析を終えることができれば、地域間所得格差やネットワークなど現実問題との関連を踏まえながら、数値シミュレーションにより安定な均衡の性質をより詳しく見ていく。

## 4. 研究成果

### (1) 多地域経済成長モデル

多地域経済成長モデルを定式化し、複数均衡の存在下でも分析が可能なポテンシャル・ゲームの枠組みのもとで定常均衡の特徴付けを行った。多地域経済成長モデルでは、人々の将来期待や、立地選択における戦略的依存関係を通じて一般に複数の均衡が生じるため、全ての均衡を特徴付けることができるモデルを考えることが重要となる。

経済成長のエンジンに関しては、標準的なAKモデルに類似したものを考えた。各地域の生産活動は集計された生産関数で表され、生産性はその地域の人口の増加関数となる。人々が立地選択をする際、生産性に与える影響は考慮しないため、ここで集積の正の外部性(集積の経済)が生じることになる。また、

地域間の財の取引を考えない代わりに、地域間の生産技術のスピルオーバーを考えた。具体的には、各地域の生産性は自地域の人口だけでなく、他地域の人口にも依存する状況を考えて。

一方、人々が財を消費するためには、域内輸送費などのコストを払わなければならない。このコストはその地域の人口の増加関数であると仮定した。人々が立地選択をする際、消費コストに与える影響は考慮しないため、ここで集積の負の外部性（混雑外部性）が生じることになる。定常均衡で人口集積が生じるか否かは、集積の正の外部性と負の外部性のトレード・オフが重要となる。

モデルの時間軸に関しては、「3. 研究の方法」で述べた通り、連続時間の重複世代モデルを考えた。

以上の定式化のもと、まずは地域間人口分布が時間を通じて一定になる定常均衡に着目した。求める均衡はナッシュ均衡であるため、原則的には最適反応対応の不動点を求める必要があるが、ある条件のもとで、ポテンシャル関数と呼ばれる関数を作ることができ、定常均衡はポテンシャル関数最大化の一階条件に対応することを示した。すなわち、ポテンシャル関数を作ることができれば、その関数の性質を見ることで、全ての定常均衡を特徴付けることができる。また、ポテンシャル関数が存在するための条件に関しては、地域間の生産技術のスピルオーバーにある種の対称性があることが必要十分条件であることを示した。

## (2) 均衡の安定性

定常均衡はポテンシャル最大化の一階条件を満たす点と対応するが、ポテンシャル関数最大化の一階条件を満たす点は一般に複数存在するため、定常均衡も複数存在することになる。したがって、定常均衡の安定性を見るのが重要となる。

本研究課題では、人々の寿命が不確実な、連続時間の重複世代モデルを考える。特に、寿命が指数分布に従うと仮定すれば、地域間人口分布の均衡経路は完全予見動学（perfect foresight dynamics）に従う。これは、人々が将来期待を形成する場合の最適反応動学（best response dynamics）に対応するものである。完全予見動学は Matsui and Matsuyama (1995) によって分析されており、本研究課題では彼らが用いた安定性概念（absorption と accessibility）のもとで、定常均衡の安定性を分析した。

安定な（absorbing かつ accessible）定常均衡は、次の2つの条件を満たす。まず、定

常均衡の近傍に初期状態をとる任意の均衡経路は、その定常均衡に収束する（absorbing）。そして、どこに初期状態をとっても、その定常均衡に収束する均衡経路が存在する（accessible）。ここでの安定性概念が通常のダイナミクスの場合と異なるのは、初期状態を固定しても均衡経路が一意とは限らないためである。実際、accessibility では安定な定常均衡に収束しない均衡経路が存在する可能性を排除していない。

定常均衡の安定性に関して、得られた主な結果は以下の通りである。すなわち、ポテンシャル関数がいくつかの技術的条件を満たせば、ポテンシャル関数を大域的に最大にする点が、人々の時間選好率が十分に小さければ、唯一安定な定常均衡になる。さらに、この結果から、動学モデル特有のパラメーターである人々の時間選好率が、人口集積の生産性向上と混雑に与える影響のトレード・オフを介して、安定な定常均衡の性質に大きな影響を与えることが分かった。

時間選好率が安定な定常均衡に与える影響について、直感的に説明すると次のようになる。人口集積は、正の外部性と負の外部性の両方をもたらす。正の外部性は、生産性を高めることで成長率を押し上げ、将来の効用に大きく影響する。一方、負の外部性は消費への混雑効果を通して現在の効用に大きく影響する。もし時間選好率が十分に小さければ、人々は人口集積が経済成長に与える正の効果を重視するため、1地域への集積が安定な定常均衡になる。一方、もし時間選好率が十分に大きければ、人々は経済成長よりも現在の混雑効果を重視するため、全地域に分散した人口分布が安定な定常均衡になる。

人々が将来期待を形成する環境下ではポテンシャル関数を大域的に最大にする点が唯一安定な均衡になるという結果は、Matsui and Matsuyama (1995) によって既に得られている。また、Oyama (2009) によって、空間経済学の文脈でも既に議論がなされている。しかし、彼らはストック変数のないモデルを考えている一方、ここで考えている経済成長モデルにはストック変数があるという点が大きな違いである。ストック変数がある場合、ポテンシャル関数が時間選好率に依存し、均衡の時間選好率に関する分岐に注意を払わなければならないという技術的困難が生じる。しかし、時間選好率がゼロのときに均衡の分岐が起こらなければ、Matsui and Matsuyama (1995) の結果はストック変数が存在する場合でも成立することを示した。この点が、本研究課題の理論的貢献と言える。

一方、都市成長に関するリテラチャーではこれまで、定常均衡の安定性をミクロ経済学

的基礎のある形で分析している研究はほとんど見られない。また、動学モデル特有のパラメーターである時間選好率に焦点が当てられることも少ない。実際、都市成長に関する最近の研究では、分析を単純化するために人々の将来期待が効かないモデルを考えることが1つの大きな流れになっている (Desmet and Rossi-Hansberg, 2014 など)。しかし、本研究課題では時間選好率が安定な定常均衡の性質に大きな影響を与えるという結果が得られており、都市成長モデルを分析する上で、将来期待を考えることの重要性を示唆していると言える。

### (3) アプリケーション

モデルのアプリケーションとして、地域間所得格差とネットワークの問題を扱った。地域間格差に関しては、地域所得が均斉成長経路に乗る条件と、成長しない定常状態に収束する条件をそれぞれ求めた。さらに、均斉成長経路に乗る地域と、定常状態に収束する地域が共存する状態が安定な均衡になり得ることを、数値例により示した。

地域間格差は現実にも観察されている経済現象であり、都市成長のリテラチャーにおいても主要な関心事項である。しかし、これまでのモデルで得られる結果は、全ての地域(の所得)が成長するか、全ての地域が成長しないかのいずれかであり (Black and Henderson, 1999 など)、成長する地域と成長しない地域が混在する状態を安定な均衡として得ることができる本研究課題のモデルは、地域間格差の問題を考える上で有用であると言える。

ネットワークに関しては、生産技術の地域間スピルオーバーに関するネットワーク構造が、安定な定常均衡に与える影響を分析した。具体的には、スピルオーバーの強さが、局所的には密だが拡散性の低いネットワークと、局所的には粗だが拡散性の高いネットワークの2種類のネットワークを比較した。特に、どちらのネットワークが安定な均衡において高い平均生産性を実現するかは人々の時間選好率に依存することを数値例により示した。

空間経済学の理論モデルは通常、2地域で考えることが多い。しかし、本研究課題で得られた定常均衡やそれらの安定性とポテンシャル関数との対応関係は、任意の地域数のもとで成立する。2地域に限定せずに分析できる枠組みを考えることは、応用範囲を拡大する上で極めて重要である。実際、上記のようなネットワークの問題は、3地域以上を考えて初めて分析できることである。また、(平均生産性の意味で)望ましいネットワーク構造が時間選好率によって異なるという論点

は、これまであまり考察されてこなかった点であると同時に、時間選好率の重要性を補強するものであるとも言えよう。

### (4) 今後の展望

今後の重要な課題として、モデルの均衡と、実際のデータとの関係の分析が挙げられる。例えば、現実の都市規模分布を安定な定常均衡として再現するようなスピルオーバー・ネットワークの性質を調べる、という点に興味をもっている。都市規模分布はべき乗則に従うことが古くから様々なデータで示されており、ネットワーク理論の観点からも有益な議論ができることが期待される。

また、今回のモデルでは地域間取引を考えなかったが、空間経済学は古くから地域間取引の輸送費が均衡人口分布に与える影響を分析してきた。したがって、地域間取引が行われるようなモデルを考えることは重要な拡張である。また、最近の国際貿易理論ではデータとのフィットや解析上の扱いやすさを重視したモデルがいくつか提案されており、それらと関連付けながら議論していくことが有益であると考えている。

以上の研究成果は、尾山大輔氏(東京大学経済学研究科)との共著で、“Equilibrium Dynamics in a Model of Growth and Spatial Agglomeration”というタイトルの論文にまとめられた。今後、ジャーナル掲載に向けて改訂を重ねていく予定である。また、研究期間中に、5つの国際学会(予定を含む)と2つの国内学会で口頭発表を行った。

### 参考文献

- Baldwin, R. E. and R. Forslid. (2000), “The core-periphery model and endogenous growth: stabilizing and destabilizing integration,” *Economica*, **67**, 307-324.
- Black, D. and V. Henderson. (1999), “A theory of urban growth,” *Journal of Political Economy*, **107**, 252-284.
- Desmet, K. and E. Rossi-Hansberg. (2014), “Spatial development,” *American Economic Review*, **104**, 1211-1243.
- Matsui, A. and K. Matsuyama. (1995), “An approach to equilibrium selection,” *Journal of Economic Theory*, **65**, 415-434.
- Oyama, D. (2009), “Agglomeration under forward-looking expectations: Potentials and global stability,” *Regional Science and Urban Economics*, **39**, 696-713.

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1件)

Shota Fujishima and Daisuke Oyama,  
“Equilibrium Dynamics in a Model of  
Growth and Spatial Agglomeration,”  
査読無, Mimeo, 2015年.

[学会発表](計7件)

Shota Fujishima, “Equilibrium  
Dynamics in a Model of Growth and  
Spatial Agglomeration,” The 11th  
World Congress of the Econometric  
Society, 2015年8月17日-21日(予定),  
モントリオール(カナダ).

Shota Fujishima, “Equilibrium  
Dynamics in a Model of Growth and  
Spatial Agglomeration,” The Fourth  
Asian Seminar in Regional Science,  
2014年8月5日-7日, ソウル(韓国).

Shota Fujishima, “Equilibrium  
Dynamics in a Model of Growth and  
Spatial Agglomeration,” The 15th  
Annual Conference of the Association  
for Public Economic Theory, 2014年7  
月11日-13日, シアトル(米国).

Shota Fujishima, “Equilibrium  
Dynamics in a Model of Growth and  
Spatial Agglomeration,” The 2014  
Asian Meeting of the Econometric  
Society, 2014年6月20日-22日, 台北  
(台湾).

Shota Fujishima, “Equilibrium  
Dynamics in a Model of Growth and  
Spatial Agglomeration,” 日本経済学  
会2014年度春季大会, 2014年6月14  
日-15日, 同志社大学(京都府).

Shota Fujishima, “Growth and spatial  
agglomeration in an overlapping  
generations economy,” 第27回応用地  
域学会研究発表大会, 2013年12月14  
日-15日, 京都大学(京都府).

Shota Fujishima, “Growth and spatial  
agglomeration in an overlapping  
generations economy,” The 60th Annual  
North American Meeting of the Regional  
Science Association International,  
2013年11月13日-16日, アトランタ(米  
国).

[その他]

ホームページ等

<http://sfujishima.main.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤嶋翔太 (Shota Fujishima)

東京大学・空間情報科学研究センター・講

師

研究者番号: 50706835