

令和元年5月31日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K14735

研究課題名(和文) 確率安定性アプローチによる空間経済モデルの新たな統一的解析手法

研究課題名(英文) A unified approach to economic geography models based on stochastic evolutionary dynamics

研究代表者

大澤 実(Osawa, Minoru)

東北大学・工学研究科・助教

研究者番号：50793709

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：人口・経済活動の不均質な空間的集積現象は、様々な空間スケールで観測される事実である。空間経済学分野では、それぞれの空間的スケールに対応した小分野ごとに、集積現象を説明する様々な空間経済モデルが提案されてきた。膨大な研究蓄積から、地域・都市政策の評価など工学的課題に資する洞察を引き出し、計量的応用を進展させる上では、類型化・整理した上で頑健な特性を抽出する必要がある。本研究では、進化ゲーム理論分野の確率的進化ダイナミクスの理論にもとづき、空間経済モデルの構造および特性を統一的に理解しうる新しい汎用的分析フレームワークを構築し、いくつかの代表的モデルに対する適用により有用性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地域・都市政策案等の計画案の評価の上で複数空間スケールにわたる経済集積の空間的秩序が自発的に形成されるメカニズムの理解は重要である。なぜならば、交通インフラなどの整備、用途地域見直し、交易制度改訂など地域・都市政策の実施は、人口・経済活動の空間配置に多大な影響を及ぼすと考えられる。従って、特定の案がもたらすであろう経済的影響の評価においては、そうした事後的な空間的配置の変化を考慮することが重要となる。空間経済学理論の目指す経済活動の集積に関する基本メカニズムの理解はその前提条件であり、したがって空間経済学モデルの体系化が工学的応用において求められる。本研究課題はこの点に貢献するものである。

研究成果の概要(英文)：The uneven spatial distribution of economic activities at various spatial resolutions calls for theoretical explanation. To describe peaks and troughs in geographical allocation of economic activities, numerous theoretical models have been proposed in various division of economics including urban, regional, and international economics. The scattered nature of accumulated knowledge in spatial economics in general is inconvenient when we are to apply them to engineering problem including urban planning, as they may sometimes provide inconclusive implications depending model details. We develop a stochastic evolutionary dynamics-based approach to analyze the robust properties of spatial economic models. We demonstrate the effectiveness of the method by applying it to the study of a canonical urban model which is known for its tractability; the results suggest that the properties of the model can be related to other regional models, thereby indicating a possible unification of theory.

研究分野：土木計画学

キーワード：確率動学 進化ゲーム ポテンシャルゲーム 経済地理学 集積の経済

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 一般的背景

人口・経済活動の空間的配置パターンについて、世界各国を通じて頑健な規則性がみられる。即ち、様々な空間スケールで集積現象が生じるとともに、それらは階層構造を成している。都市内スケールに目を向ければ、都心や副都心の存在が集積現象である。地域内スケールでは、中核都市への集積・小都市の衰退という都市間の集積現象がみられる。国内スケールでは、首都への一極集積がみられる。国家間スケールでも、グローバル化を背景とした企業集積がみられる。

地域・都市政策案等の計画案の評価は土木計画学分野の永遠の命題である。その上で複数空間スケールにわたる経済集積の空間的秩序が自発的に形成されるメカニズムの理解が重要となる。交通インフラの整備、用途地域見直し、交易制度改訂など地域・都市政策の実施は、人口・経済活動の空間配置に多大な影響を及ぼす。従って、地域・都市政策案がもたらす経済的影響の評価においては、事後的な空間的配置の変化を考慮することが重要となる。経済活動の集積に関する基本メカニズムの理解は、その前提条件である。

### (2) 従来研究

経済学分野では、都市経済学、地域経済学・新経済地理学、国際貿易理論として、扱う空間スケール毎に集積メカニズム理論の研究蓄積が個別に存在し、空間経済学と総称される (Fujita *et al.*, 1999)。基本的アプローチは、交通費用を考慮した立地主体の経済行動と市場相互作用によって空間的秩序形成を説明づけるものである (Fujita and Thisse, 2013)。特に、Krugman (1991) 以降の新経済地理学では、地域間・都市間の集積現象を一般均衡理論の枠組みで表現しうる理論が展開され、計画案評価への応用が期待できる (Baldwin *et al.*, 2003)。

しかし、空間経済モデルを計画案評価に応用する上では、課題が残されている。第1に、空間スケール毎に理論が分断されている。各分野で構築されてきた空間経済モデルは、各々の対象とする空間スケールにおける集積現象のみを表現するものであり、その相対的關係は明らかでない。第2に、複数種類の異質な立地主体の理論は未完成である。多くのモデルは、企業あるいは消費者という代表的な立地主体のうち、実質的にいずれか単一種類の主体のみを考慮するモデリングに依拠している。以上要するに、空間経済学理論を工学的に応用していくためには、モデルの統一的分析と体系化が必要である。

## 引用文献

1. Baldwin, R., Forslid, R., Martin, P., Ottaviano, G., & Robert-Nicoud, F. (2011). *Economic Geography and Public Policy*. Princeton University Press.
2. Fujita, M., Krugman, P., & Venables, A. (1999). *The Spatial Economy*, MIT Press.
3. Fujita, M. & Thisse, J.-F. (2013) *Economics of Agglomeration*, Cambridge University Press.
4. Krugman, P. (1991). Increasing returns and economic geography. *Journal of Political Economy*, 99(3), 483-499.

## 2. 研究の目的

本研究は、過去提案されてきた様々な複数空間スケール・複数立地主体の空間経済モデルの安定的均衡状態の特性を統一的に解析しうる新たな汎用的分析手法を構築することを目指す。この目的を達成するため、進化ゲーム理論分野 (Sandholm, 2010) で進展してきた確率安定性理論を、空間経済モデルの分析のための新たな基盤として導入する。そして、分岐理論に基づく応募者による先行研究との整合性を示すとともに、空間経済モデル群の更なる体系化を目指す。

本研究は大別して2つの目的からなる。第1の目的は、確率安定性理論に基づく分析手法を構築し、分岐理論に基づく分析手法との整合性を確認することである。このためのベンチマークとして、応募者がこれまでに分岐理論に基づいて体系化しつつある、単一空間スケール・単一立地主体のモデルを分析対象とする。なお、分析の透明性確保のため、モデルはポテンシャル・ゲームとなるよう定式化する (Monderer & Shapley, 1996)。上述の2つの典型的モデル・クラスに対応したポテンシャル・ゲームを定式化した上で、確率安定性解析を適用し、安定解の特性を明らかにする。そして、分岐理論による結果と比較することで、構築した方法論の妥当性を明らかにする。

第2の目的は、複数空間スケール・複数立地主体の空間経済モデルに対して確率安定性解析を適用し、その有効性を示すことである。そのためのベンチマークとして、複数立地主体モデルに対して提案手法を適用し、その有効性を示す。対象とするモデルとしては、Fujita and Ogawa (1982)のものを用いる。該当モデルは、都市経済学分野における代表的モデルのひとつであるが、安定性解析において通常用いられる確定論的ダイナミクスでは分析が困難であることから、過去その性質が明らかとなっていない。

## 引用文献

1. Fujita, M., & Ogawa, H. (1982). Multiple equilibria and structural transition of non-monocentric urban configurations. *Regional Science and Urban Economics*, 12(2), 161-196.
2. Monderer, D., & Shapley, L. S. (1996). Potential games. *Games and Economic Behavior*, 14(1), 124-143.
3. Sandholm, W. H. (2010). *Population Games and Evolutionary Dynamics*. MIT Press.

### 3. 研究の方法

平成 29 年度, 方法論の構築: 確率安定性解析手法の整理と適用. ここでは, 第 1 の目的に対応する研究を行う.

**Step 1.** まず, ベンチマーク・モデルを Social Interaction (SI) 型のモデル (Mossay and Picard, 2011) を一般化することにより定式化する. この際, 応募者による先行研究で明らかとなっている空間経済モデルの 2 つの典型的モデル・クラス (後述のクラス I, II) を代表可能なよう, それぞれに対応する 2 種類のポテンシャル・ゲームを定式化する. ポテンシャル・ゲームにおいて, 確率安定均衡状態はポテンシャル関数の大域的最大化点であること (Sandholm, 2010) から, 以降のステップの分析が実行可能となる.

**Step 2.** 確率安定均衡解の特性分析: 応募者による先行研究成果との比較可能性のため, Akamatsu *et al.* (2012) と同様の 1 次元離散円周空間における理論解析を通じて, 確率安定均衡状態の特性を調べる. 特に, 交通費用の変化が集積パターンに与える基本的影響を解析的・数値的に明らかにする. 円周における自明解は対称性によって分類可能であること (Ikeda and Murota, 2014) から, 確率安定均衡状態を特徴付け可能であることがこのステップにおける鍵である.

**Step 3.** 分岐理論 (局所安定性解析手法) による結果との比較により整合性を確認する. 既往の局所安定性解析手法に基づき, Step 1 で構築したベンチマーク・モデルの特性を解析的・数値的に分析する. Step 2 で明らかにした確率安定均衡解の性質と, 局所安定解の性質とを比較する. 局所安定解析により導かれたモデル・クラスの頑健性を示すことで, 確率安定性解析の妥当性を示す.

平成 30 年度, 方法論の有効性確認: 複数立地主体モデルの分析. ここでは, 第 2 の目的に対応する研究を行う.

**Step 1.** 複数立地主体 (企業, 家計) モデルをポテンシャル・ゲームとして定式化する. まず, Fujita and Ogawa (1982) モデルの空間的相互作用項が対称な SI 型であることにより, 同モデルがポテンシャル・ゲームとなることを示す. 更に, モデルの定式化を一般化し, 既存の複数立地主体モデルを包摂する一般化されたポテンシャル・ゲームを構築する.

**Step 2.** 各立地主体に対する交通費用パラメタの変化が確率安定均衡解に与える特徴を整理する. 特に, 従来研究では未知のままの, 交通費用パラメタ空間における安定集積パターン分類を解析的・数値的に明らかにする.

#### 引用文献

1. Akamatsu, T., Takayama, Y., & Ikeda, K. (2012). Spatial discounting, Fourier, and racetrack economy: A recipe for the analysis of spatial agglomeration models. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 36(11), 1729-1759.
2. Ikeda, K., & Murota, K. (2014). *Bifurcation Theory for Hexagonal Agglomeration in Economic Geography*. Springer Japan.
3. Mossay, P., & Picard, P. M. (2011). On spatial equilibria in a social interaction model. *Journal of Economic Theory*, 146(6), 2455-2477.

### 4. 研究成果

研究全体としては, 前項「研究の方法」に述べた内容を実行し, 対応する成果を得た.

平成 29 年度の研究では, 大澤ら(2015)らの示した典型的な 2 つのモデル・クラスに対応する 2 つの SI 型モデル [SI(I) および SI(II)モデル] を構築し, 確率安定均衡状態の性質を明らかにした. その結果のあらましを, 最も単純な 4 都市円周経済の例で図 1 および図 2 に示す. 図 1 は, 4 都市円周経済における SI(II)モデルのすべての均衡パスをその対称性によって分類してポテンシャル関数値を示したものである. 確率安定均衡状態は, これらの関数値を最大化するパターンである. このモデルでは, 基本的な分散力 (モデルによって表現されている経済的相互作用のうち, 集積形成を妨げようとする効果) が地代等の局所的な混雑効果に由来する. このため, 図に示されているように, 横軸の輸送費用パラメタが単調に増加すると, 極集中状態が徐々に分散するという単峰性のパターンを呈する. 一方, 図 2 は, SI(I) モデルに対して同様の図を示している. このモデルでは, 分散力は空間競争効果に由来する. 従って, 輸送費用が高い ( $\phi$  が小さい) 状況では, 集積が形成されず分散しているが, 徐々に多峰性を保ったまま 1 極化が進展する傾向を示す. これらの推移は研究代表者による既存研究と整合的である. また, 確率的ダイナミクスを考えた結果, 複数の局所安定均衡間での重要度の重み付けも可能となった. これらの結果は, 現在投稿中であり, その一部は雑誌論文 1 に示されている.

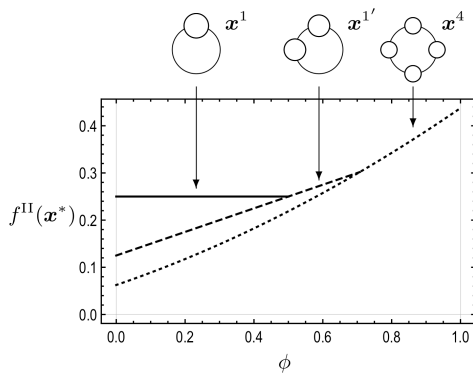


図 1 SI(II) モデルにおける確率安定均衡

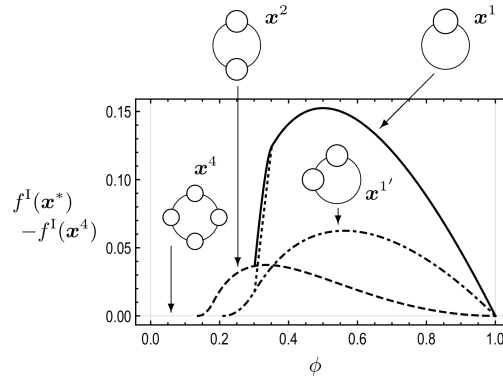


図 2 SI(I) モデルにおける確率安定均衡

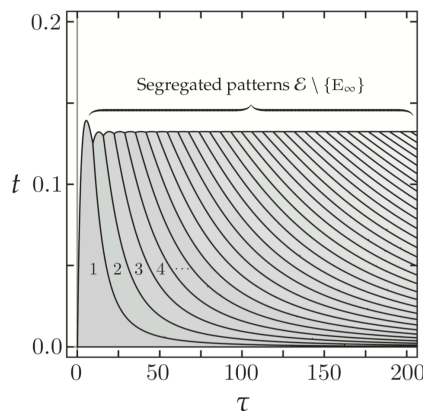


図 3 FO 型モデルにおける確率安定均衡

平成 30 年度の研究では、複数種類の行動主体が存在する FO 型モデルに対して方法論を適用し、その性質を明らかにすることで提案手法の有効性を示した。このうち、最も単純な FO モデルそのもののケースについて、結果のあらましを示す。図 3 は、FO モデルにおける集積形態の分類を示したものである。横軸  $\tau$  は企業間の相互作用のしやすさであり、縦軸  $t$  は都市内の通勤費用である。灰色の領域は企業集積の形成される領域を示し、白は集積が形成されない領域を示す。灰色の領域中に示した数字は、企業集積（都心）の数である。特に、 $t$  軸減少方向における推移は、SI(II) モデルにおける推移（図 1）と類似し、 $\tau$  軸減少方向における推移は SI(I) モデルにおける推移（図 2）と類似することが明らかとなった。これは、過去明らかにされていなかった事実であり、国際誌へ投稿後リバイズ中である（ディスカッション・ペーパー 1）。以上の結果は、過去分析が不可能であったモデルに対して提案手法が有効であることを明らかにし、またそれら未だ性質の未解明なモデル群の挙動を他のモデルを関連付けていく上でも本研究の成果が有用であることを示唆しており、更なる発展が望まれる。

#### 引用文献

1. 大澤実, 赤松隆, 高山雄貴. (2015). Harris & Wilson (1978) モデル再考: 集積の経済を考慮した商業立地モデルの分岐解析. 土木学会論文集 D3(土木計画学), 71(3), 141-155.

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

1. 大澤実 (2018). 集積経済モデルの数理解析とその周辺. 土木学会論文集 D3(土木計画学), 74(5), I19-I36. (査読無)
2. 大澤実, 高山雄貴, 恩田幹久, 浅川遼, 池田清宏 (2018). 線分上の実人口分布の空間周波数解析. 土木学会論文集 D3(土木計画学), 74(1), 50-63. (査読有)
3. Osawa, M., Fu, H., Akamatsu, T. (2018) First-best dynamic assignment of commuters with endogenous heterogeneities in a corridor network. *Transportation Research Part B: Methodological*, 117, 811-831. (査読有)
4. 恩田幹久, 木暮洋介, 池田清宏, 高山雄貴, 大澤実 (2017). 都市分布の群論的スペクトル解析法. 土木学会論文集 D3(土木計画学), 73(3), 148-164. (査読有)
5. Osawa, M., Akamatsu, T., & Takayama, Y. (2017). Harris and Wilson (1978) model revisited: The spatial period doubling bifurcation cascade in an urban retail model. *Journal of Regional Science*, 57(3), 442-466. (査読有)

〔学会発表〕(計 7 件)

1. 大澤実, 赤松隆 (2018). Emergence of urban landscape: Equilibrium selection in a location choice game between firms and households. 第 32 回応用地域学会. 南山大学. (名古屋)
2. Osawa, M. (2017). Spatial scale of agglomeration and dispersion: Theoretical foundations and empirical implications. 2017 SMU Conference on Urban and Regional Economics. (Singapore)
3. Osawa, M. (2017). Spatial scale of agglomeration and dispersion: Theoretical foundations and empirical implications. The 12th North American Meeting of Urban Economics Association, Vancouver. (Canada)
4. 大澤実 (2017). 集積経済モデルの数理解析とその周辺. 第 56 回土木計画学研究発表大会. (岩手)
5. Osawa, M. (2017). Spatial scale of agglomeration and dispersion: Theoretical foundations and empirical implications. The Urban Economics Workshop, Kyoto University. (京都)
6. 恩田幹久, 池田清宏, 高山雄貴, 大澤実 (2017). Bifurcation theory of a square lattice economy: Racetrack economy analogy in an economic geography model. 第 55 回土木計画学研究発表会. (愛媛)
7. 木暮洋介, 恩田幹久, 池田清宏, 大澤実 (2017). 正六角形格子と正方形格子の分岐メカニズム: 南ドイツの人口分布パターン探査における両格子の性能評価. 第 55 回土木計画学研究発表会. (愛媛)

〔その他〕(計 2 件)

1. Osawa, M. & Akamatsu, T. (2019). Emergence of urban landscapes: Equilibrium selection in a model of internal structure of the cities. *MPRA Discussion Paper*, 92395, 1-34.
2. Akamatsu, T., Mori, T., Osawa, M., & Takayama, Y. (2017). Spatial scale of agglomeration and dispersion: Theoretical foundations and empirical implications. *MPRA Discussion Paper*, 84145, 1-93.

## 6. 研究組織