

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K15108

研究課題名（和文）確率的手法に基づく空間経済分析手法の新展開

研究課題名（英文）Spatial economic modeling with endogenous agglomeration: A stochastic learning dynamics approach

研究代表者

大澤 実 (Osawa, Minoru)

京都大学・経済研究所・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）：集積現象を表現する空間経済モデルの挙動の理論的把握は、地域政策の評価の基盤である。本研究では、種々の空間経済モデルの均衡状態の特性を統一的に解析しうる分析手法を確立し、空間経済学分野で蓄積されてきた知見を体系化することを目的として研究を推進した。このために、確率的進化ダイナミクス理論に基づく空間経済モデル分析手法（確率安定性解析）を都市・地域モデルに適用し、モデル群の挙動を明らかにした。具体的には、都市内スケール・都市間スケールの結合分析を念頭に、複数種類の輸送費用を考慮したモデル・知識波及を考慮したモデルを分析し、局所安定解と大域安定解の性質の違いを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

交通基盤整備・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ため、経済的影響の評価には事後的な空間配置の変化を考慮する必要がある。複数空間スケールにわたる人口・経済集積の空間的秩序が自律的に形成される経済集積現象に関する基本メカニズムの理解およびその表現は、そうした政策評価の前提条件である。本研究では、空間経済モデルの分析に進化ゲーム理論の先端的结果を導入し、体系的に分析することを通じて空間経済分析の信頼性を担保に資するものである。また、確率的進化ダイナミクスと確率安定性概念の実応用を目指した分析は従来研究が少なく、学術的意義が大きい。

研究成果の概要（英文）：Theoretical understanding of the behavior of spatial economic models with agglomeration economies is the foundation for the evaluation of regional policies by computable general equilibrium models. The purpose of this research is to establish an analytical method to study the characteristics of equilibrium states of various spatial economic models in a unified manner, and to systematize the knowledge that has been accumulated in the field of spatial economics. For this purpose, we applied a stochastic stability approach developed in the theory of stochastic evolutionary dynamics to urban and regional models and clarified the behavior of several representative models. Specifically, we analyzed models with multiple types of transportation costs and models with knowledge spillovers, with an eye on coupling analysis at intra- and inter-city scales, and clarified the differences in the properties of locally and globally stable solutions.

研究分野：都市・地域経済学

キーワード：都市・地域経済学 ポテンシャルゲーム 確率安定性 均衡選択

1. 研究開始当初の背景

世界各国を通じて、人口・経済活動の空間的配置に関する頑健な規則性がみられる。様々な空間スケールで集積が生じ、それらは階層構造を成している。都市内スケールでは、都心や副都心が存在するという事実自体が集積現象である。地域内スケールでは、地方中核都市への集積・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、東京への一極的集積がみられる。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・都市政策案などの「計画案の評価は土木計画学分野の永遠の命題である」[第9回土木計画学シンポジウム(1975年)]。この目的の達成のためには、上述のような複数空間スケールにわたる人口・経済集積の空間的秩序が自律的に形成されるメカニズムの理解および表現が重要である。社会基盤整備、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、政策がもたらす経済的影響の評価には事後的な空間配置の変化を考慮する必要がある。集積現象に関する基本メカニズムの理解およびその表現は、評価の前提条件である。

以上の基本的動機を敢えて「研究課題の核心をなす学術的『問い』」として標語的に述べれば以下の通りである：様々な空間スケールにまたがる人口および経済活動の集積は、「なぜ・どこに・どのように」形成されるのであろうか？ この問いのうち、特に「なぜ？」に関しては、都市経済学・地域経済学・国際貿易論など、空間スケール毎に集積メカニズムに関する研究蓄積があり、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（人・企業）の行動およびその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) による新経済地理学を嚆矢として、集積現象を一般均衡理論と整合的に表現する枠組みが展開され、政策評価の応用可能性が議論されてきた (Baldwin et al., 2003)。

しかし、工学的応用を前提とすると空間経済学分野における理論的知見の体系化および頑健性の検証は十分とは言い難い。具体的には、まず、第1の課題として、空間スケール毎に理論が分断されている。空間経済学諸分野で構築されてきたモデルは、各々が注目する単一の空間スケールにおける集積現象を表現するものである。一方、様々な空間スケールにわたる経済集積は、全て企業・消費者など共通の立地主体の行動により生ずるものであり、本来は相互依存であると考えられる。例えば、地域内の産業集積構造は地域間の産業集積挙動に影響を及ぼす。空間経済学諸分野で蓄積されてきた理論的知見を融合し、複数空間スケール間の相互依存性を明らかにする体系化は未だなされていなかった。次に、第2の課題として、複数種類の異質な立地主体を考慮していない。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、実質的にいずれか一方の主体のみを考慮する単一立地主体モデリングに依拠している。現実には、互いに大きく特性の異なるこれら2種類の主体が相互干渉しながら存在する。その相互干渉構造をモデルから除外する影響は未知である。この状況を打開するためには、可能な限り多数のモデルを統一的観点から整理しうる視点を与える汎用的な解析手法を構築することが求められていた。

引用文献

- Baldwin et al. (2003). *Economic Geography and Public Policy*, Princeton University Press.
Fujita and Thisse (2013). *Economics of Agglomeration*, Cambridge University Press.
Fujita et al. (1999). *The Spatial Economy*, MIT Press.
Krugman. Increasing returns and economic geography. *Journal of Political Economy* 99, 483-499, 1991.

2. 研究の目的

以上の背景のもと、本研究は種々の空間経済モデルの均衡状態の特性を統一的に解析しうる解析手法を確立し、空間経済学分野で蓄積されてきた知見を体系化することを目的として研究を推進した。このために、申請者が提案してきた確率的進化ダイナミクスの理論に基づく空間経済モデル分析手法（確率安定性解析）の応用研究を下記の2つの小目的に従って進めた。

第1の小目的は、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拡張した上で適用し、有効性を示すことであった。このために、Tabuchi (1998) 及び Fujita and Ogawa (1982) 型のモデルたちを結合した複数空間スケール・複数立地主体モデルを構築し、解析することを目指した。これを通じて、提案手法の有効性を示すと同時に、これまで解明されていない複数空間スケールにわたる階層的な空間集積パターンの形成メカニズムを明らかにすることを目的とした。なお、分析の実行可能性のため、モデルはポテンシャル・ゲーム (Monderer and Shapley, 1996) となるよう定式化することを目指した。

第2の小目的は、確率安定性解析手法の一般化であった。ここでは、ポテンシャル・ゲームにとどまらない、一般の空間経済モデルの特性を確率安定性アプローチによって分析することを目指した。特に、応用の上で重要となる定量空間経済学 (Redding and Rossi-Hansberg, 2019) における研究蓄積においては、ポテンシャル・ゲームとして表現するのが困難であるため展開が求められた。

引用文献

Fujita and Ogawa. Multiple equilibria and structural transition of non-monocentric urban configurations. *Regional Science and Urban Economics* **12**, 161–196, 1982.

Monderer and Shapley. Potential games. *Games and Economic Behavior* **14**(1), 124–143, 1996.

Redding and Rossi-Hansberg. Quantitative spatial economics. *Annual Review of Economics*, **9**, 21–58, 2017.

3. 研究の方法

以下の方針に従って研究を推進した。なお、下記の Phase 1 及び Phase 2 はそれぞれ、大まかには上述の2つの小目的に対応する。

Phase 1 複数空間スケール・複数立地主体モデルの分析（確率安定性概念に基づく方法論の拡張と有効性の確認）

- Tabuchi (1998) を拡張した、複数空間スケール間の相互作用を表現しうるモデルの構築。都市内・都市間の階層的空間構造を持つモデルを構築する。これは、空間を外生的に入れ子状に設定することで実現する。即ち、空間自体が地域内・地域間の2種類の交通費用パラメータを持つように設定する。全体としては、Harris and Wilson (1978)型空間経済モデルを一般化することにより定式化する。これは、このモデルにおいては地点間の相互作用を対称とすることで、全体としてポテンシャル・ゲームにすることができるからである。
- 交通費用パラメータ空間上における安定集積パターン分類を解析的・数値的に解明する。先行研究で得られた複数行動主体モデルの安定集積パターンの分類の類似物（横軸を都市間交通費用・縦軸を都市内交通費用としたもの）を明らかにする。特に、局所安定性と確率安定性による均衡予測の差異に注目する。

Phase 2 一般の空間経済モデルの分析（方法論の一般化）

- 既存の確率安定性解析手法では分析できない、一般均衡型の立地均衡モデルを構築する。一般均衡型のモデルの多くでは、非対称な相互作用が生ずることにより、ポテンシャル・ゲームとして表現することは不可能であり、ポテンシャル関数の存在を前提とする確率安定性解析手法は適用できず、理論の拡張が必要である。
- ここでは、特に複数空間スケール・モデルを具体例とした分析を進める。複数空間スケール・モデルの例として、通常貿易を考慮した空間経済モデルで考慮される財の地域間輸送費用に加えて、知識波及の距離抵抗を導入した一般均衡モデルを構築し、その局所安定な集積パターンを明らかにする。更に、得られた大域的な集積挙動について、その確率安定性を検討する。

引用文献

Harris, B., & Wilson, A. G. (1978). Equilibrium values and dynamics of attractiveness terms in production-constrained spatial-interaction models. *Environment and Planning A*, **10**(4), 371–388.

Sandholm (2010). *Population Games and Evolutionary Dynamics*, MIT Press.

Tabuchi. Urban agglomeration and dispersion: A synthesis of Alonso and Krugman. *Journal of Urban Economics* **44**, 333–351, 1998.

4. 研究成果

上述の研究目的に対して、下記に示すような成果を得た。

(A) 局所安定性と確率安定性との対比

Phase 1 では、主に単一空間スケール・単一立地主体のモデルの2次元空間における集積挙動に関する研究を遂行した。

[A-1] Harris and Wilson の商業集積モデルをポテンシャル最大化問題として定式化し、ポテンシャルの大域最大化による均衡選択（確率安定性）と通常の決定論的な進化動学のもとでの均衡選択（局所安定性）とを比較した。まず局所安定性解析では多数の安定均衡が生じ、モデルの理論予測に曖昧さが残ることを明らかにした。次に、空間の対称性に基づいて代表的な均衡パターンを列挙する不変パターンの理論を応用することによって、2地点経済および2次元空間におい

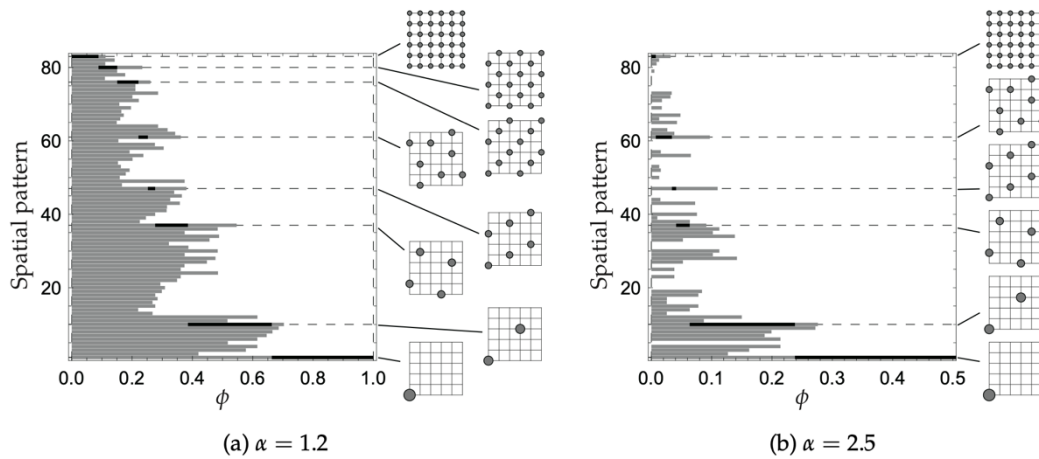


図 1 Harris & Wilson モデルにおける局所安定パターン（灰色）と大域安定パターン（黒）

て発現しうる空間分布を特定し、それらの不変パターン上でポテンシャル関数を大域的に最大化することで大域安定な均衡状態を明らかにした。その結果、局所安定性に基づく均衡予測と比較して少数のパターンのみによって安定均衡解の遷移を表現しうることを、また大域安定状態においてはより対称性の高いパターンが選択されやすいことを明らかにした（図 1）。

[A-2] また、単一空間スケール・複数立地主体のモデルの分析を行なった。具体的には、企業・消費者主体を考慮した代表的な都市経済学モデルである Fujita and Ogawa モデルについても、空間設定を拡張し、2次元空間における集積形態を明らかにした。この結果として、1次元空間で既に明らかになっている交通費用の基本的な影響が2次元空間においても頑健に成立することを確認した。

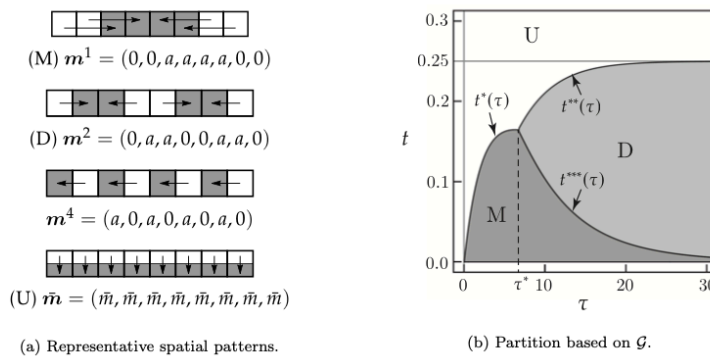


図 2 Fujita and Ogawa モデルにおける確率安定状態としての複数都心の創発

(B) 複数空間スケール・モデルの分析

Phase 2 では、主に単一種類の主体を考慮し、複数の輸送費用構造をもつ地域経済モデルに関する研究を行った。こうしたモデルは、本研究課題が分析対象とする複数主体・複数空間スケールモデルの単純化とみなせるため、その基礎挙動の把握は重要である。

[B-1] 経済活動の多極的な集積パターンは、単一の輸送費用構造を持つ単一主体モデルでは「大域的」分散力（空間的に分散した財需要等によって生ずる分散力）の存在下でのみ生ずることが研究代表者らの従来研究によってわかっている。ここでは、複数の輸送費用構造を考慮した場合には、必ずしも分散力の特性に支配されるわけではなく、輸送費用構造同士の相互作用によっても多極的集積が生ずることを明らかにした（図 3）。

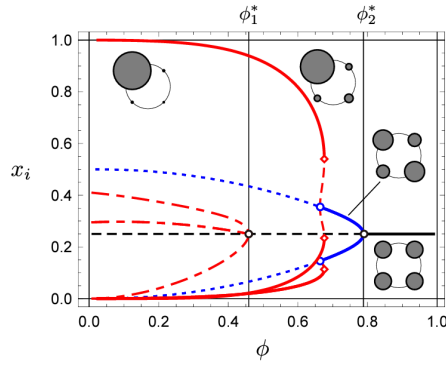


図 3 知識波及のネットワーク構造を考慮した多地域モデルにおける多極パターンの創発

[B-2] 技術革新を考慮したモデル. 単一種類の主体を考慮した地域経済学モデルにおいて, 技術革新が生じ得る場合の集積挙動に関する分析を行った. 技術革新の基礎づけの一つとして知識の空間的波及効果が挙げられる. 通常, 地域経済学モデルでは財の地域間輸送費用が集積挙動を特徴づける. ここに知識の波及による技術革新を考慮した結果, 知識波及のしやすさがもう一つの輸送費用構造として働く. ここでは, 従来では都市集積をもたらすと考えられていた知識波及の存在が地域スケールでは分散力として働くことを明らかにした. 特に, 知識波及という集積力によって輸送費用低下による「再分散」が生ずるという事実は, 既存研究では知られておらず, 本研究で初めて明らかになった (図 4).

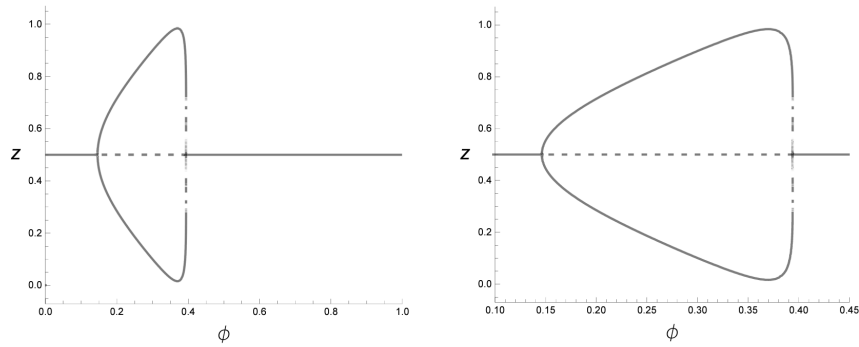


図 4 知識波及による技術革新を考慮したモデルにおける再分散現象

上述の [B-1] [B-2] について, それぞれ数値計算によって確率安定な大域的パスが局所安定性分析による結果と整合的であることを確認しているが, 解析的な特徴づけは与えられておらず, 今後の研究課題として残された.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 5件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ikeda Kiyohiro, Takayama Yuki, Gaspar Jos? M., Osawa Minoru	4. 巻 なし
2. 論文標題 Perturbed cusp catastrophe in a population game: Spatial economics with locational asymmetries	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Regional Science	6. 最初と最後の頁 1-20
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/jors.12582	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Ikeda Kiyohiro, Osawa Minoru, Takayama Yuki	4. 巻 22
2. 論文標題 Time Evolution of City Distributions in Germany	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Networks and Spatial Economics	6. 最初と最後の頁 125 ~ 151
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11067-021-09557-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Aizawa H., Ikeda K., Osawa M., Gaspar J. M.	4. 巻 30
2. 論文標題 Breaking and Sustaining Bifurcations in SN-Invariant Equidistant Economy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Bifurcation and Chaos	6. 最初と最後の頁 2050240 ~ 2050240
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1142/S0218127420502405	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Mori T., Osawa M.	4. 巻 2012.12503
2. 論文標題 Cities in a world of diminishing transport costs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 arXiv	6. 最初と最後の頁 1 ~ 4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Osawa M., Akamatsu T., Kogure Y.	4. 巻 2011.06778
2. 論文標題 Stochastic stability of agglomeration patterns in an urban retail model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 arXiv	6. 最初と最後の頁 1~6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Osawa Minoru, Akamatsu Takashi	4. 巻 187
2. 論文標題 Equilibrium refinement for a model of non-monocentric internal structures of cities: A potential game approach	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Economic Theory	6. 最初と最後の頁 105025 ~ 105025
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jet.2020.105025	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 恩田幹久, 村上大輔, 大澤実, 高山雄貴, 池田清宏	4. 巻 75
2. 論文標題 群論的スペクトル解析と人口分布の階層性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集D3 (土木計画学)	6. 最初と最後の頁 262 ~ 272
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejipm.75.262	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Minoru Osawa, Jose M. Gaspar	4. 巻 2001.05095
2. 論文標題 How social interactions matter when distance dies?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 arXiv Preprint	6. 最初と最後の頁 1~33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Takashi Akamatsu, Tomoya Mori, Minoru Osawa, Yuki Takayama	4. 巻 1912.05113
2. 論文標題 Endogenous agglomeration in a many-region world	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 arXiv Preprint	6. 最初と最後の頁 1~77
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 大澤実
2. 発表標題 都市内の空間構造とポテンシャルゲーム
3. 学会等名 第33回RAMP数理最適化シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Minoru Osawa
2. 発表標題 How social interactions matter when distance dies?
3. 学会等名 The Third International Workshop "Market Studies and Spatial Economics" (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Minoru O.
2. 発表標題 Endogenous agglomeration in a many-region world
3. 学会等名 Workshop on Microeconomics and Game Theory, Institute of Economic Research
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大澤実
2. 発表標題 地域間の知識ネットワークと人口集積
3. 学会等名 第33回応用地域学会（佐賀大学）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大澤実
2. 発表標題 Equilibrium refinement for a model of non-monocentric internal structures of cities: A potential game approach. Mathematical modeling and models of population dynamics in biological and social systems
3. 学会等名 青葉山数理生物コロキウム（東北大学）（国際学会）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
ポルトガル	Catolica Porto Business School		