

令和元年6月27日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K13360

研究課題名（和文）空間経済における秩序形成：新しい理論と実証分析手法の構築

研究課題名（英文）Self-organizing regularity in a spatial economy: Development of new theoretical and empirical framework

研究代表者

森 知也 (Mori, Tomoya)

京都大学・経済研究所・教授

研究者番号：70283679

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、集積の経済を要因とする都市形成について、ミクロ経済学的基礎を持つ一般均衡モデルの数値解析手法の確立を主たる目的としてきた。具体的には、数値最適化理論の最近の成果が提案する解探索過程を応用し、多数地域・多産業を含む高次元非線形性の下で、数値的な均衡解の特定を可能にした。他方で、日本・米国・欧州・中国・インドのデータを用いて、実経済において都市の規模・空間分布・産業構造に発現する秩序を実証し、上記の解析手法を用いてそれらの理論的再現性を検証するための分析枠組を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、経済集積の秩序形成について日本のデータを中心に実証するとともに、そのメカニズムを理論化し、多様な経済活動の集積とそれらの空間的同期現象の結果として説明した。一国経済規模で起こる秩序形成の事実は、個々の都市の規模・産業構造等経済的な性質が、より広域な地域経済の構造と、秩序形成を介して相互依存することを意味し、そのメカニズムの定式化は、経済政策やインフラ整備が個々の地域経済に及ぼす効果を評価するために不可欠な手続きとなる。

また、本研究では10万次元を超える高次元非線形システムの均衡解をランダム抽出する効率的な手法を開発し、より一般的な非線形モデルへの応用が期待される先駆的な成果を得た。

研究成果の概要（英文）：This research aimed to develop a systematic numerical framework for studying micro-founded general equilibrium models for endogenous city formation based on agglomeration economies. Specifically, a recent development of numerical optimization theory has been incorporated in the self-organization of the location process of mobile agents. This in turn made it possible to identify stable equilibria of an economy despite the non-linearity in a high-dimensional system. This in turn made it possible to generate a reasonable amount of Monte-Carlo samples of stable equilibria of a hypothetical economy with essentially the same order of diversity in the degrees of increasing returns in the reality.

Furthermore, based on the data from Japan, US, Europe, China and India, empirical evidence for the self-organizing regularity in size, spacing and industrial composition of cities were established. The developed numerical methods are applied to theoretically replicate these regularities.

研究分野：都市経済学

キーワード：経済集積 都市規模 べき乗則 フラクタル スーパーコンピューター 都市システム 自己組織化

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

「集積」は今日の経済立地の代表的な形態であり、先進国では80%以上の人口が都市部に居住している。この事実は、国境の重要性が低下する中で、国際地域における交易や経済発展を理解し国内の地域政策を考察する上で、経済集積のメカニズムを理解する必要性を示唆している。特に、実経済では階層的な地域経済圏が形成され、都市の規模分布・空間分布はフラクタル構造を持つ。より具体的には、個々の地域経済圏において都市規模分布は共通のべき乗則に従い、産業が立地する都市の数と平均規模は共通の対数線形関係を持つ。空間経済学では、多地域経済を扱う理論・実証研究が蓄積されてきたが、経済集積の国全体あるいは国際地域における空間パターンに関する理論的進展は僅かで、実証研究では、集積規模の変動の説明を外生的な地域固定効果によりブラックボックスとして捉える研究が主であった。その理由は、現実の集積規模の多様性を内生的に説明するには、異なる規模/外部経済に直面する多様な経済主体と多数の地域を含む高次非線形モデルを要し、その解析が困難なことであり、複数均衡の存在により複雑な解選択を必要としたことである。しかし、実経済に見る秩序の存在は、それが特定の解選択に依存しない安定均衡の一般的性質であることを示唆している。そのような背景で、集積の経済を積極的にモデル化し、高次非線形システムの解探索を系統的になし得る数値解析手法の開発が望まれてきた。

### 2. 研究の目的

数値最適化理論において、人口ゲーム理論で多用される射影動学とメリット関数を用いた等価最適化問題による解探索法がFukushima (1992)により提案された。この解探索は、一般均衡の下での経済主体の自己組織化による調整過程と集計レベルで整合し、高次非線形システムにおいても、従来の方法に比べて高速に安定均衡に収束する性質を持つ。本研究では、この手法を、集積の経済に従う多数産業を含む多地域経済の安定均衡探索に応用し、実経済と同程度の立地・産業の多様性を含む仮想経済における安定均衡のモンテカルロ標本の生成のための数値解析手法を構築する。他方で、日本・アメリカ・欧州・中国・インドのデータを用いて、実経済における都市の規模・空間パターン・産業構造の秩序形成を実証し、多地域・多産業集積経済理論モデルを用いて理論的に生成した均衡標本による再現性を検証する。

### 3. 研究の方法

#### 理論分析の方法：

- 1) 理論モデルの構築：集積の経済を含む理論モデルの中でも多地域経済における定式化が可能な「新しい経済地理学」モデルの内、解析可能性の高いPflüger (2004)モデルを多地域・多産業に拡張したものを用いる。立地空間は離散円周空間とし、地域数は1024をベースラインとする。均衡条件式及び、Fukushima (1992)に基づく不均衡時の調整過程をFortranによりプログラム化し、大型計算機の利用を考慮した並列化を行う。
- 2) 産業構造の特定：Broda and Weinstein (2006)によって米国の輸入データから推定された、製造13,930品目に関する代替弾力性の分布から得る。より具体的には、この分布から、産業数を固定して、品目をランダム抽出することにより、仮想経済における産業構造(個々の産業の生産財の代替弾力性と消費支出シェア)を得る。本研究では、産業数=256をベースラインとする。
- 3) ランダムに与えた人口の地域及び産業間分布から、Fukushima (1992)に依拠した自己組織化により安定均衡を探索する。
- 4) 簡易・構造的な地域経済圏の特定：(i) 簡易経済圏：所与の中心都市群の後背地をボロノイ分割により定義し、各中心都市の後背地セルを地域経済圏とする。各経済圏内で、所与数の最大都市をその経済圏内の中心都市群として定義し、再帰的に地域分割を求め、階層的な地域経済圏を構築する。(ii) 構造的な地域経済圏：多地域・多産業経済地理学モデルでは、均衡における都市間貿易は産業レベルで重力モデルに従う。Mori and Wrona (2016)で開発した手法に基づき、モデルが示唆する産業毎の都市間貿易と産業を集計した重力モデルによる貿易推定量を比較して都市間の移出入依存度を判定し、都市間の貿易における主従関係を理論的に特定することにより、個々の都市の理論的な後背経済圏を求め地域経済圏として定義する。
- 5) 地域経済圏における都市集積の秩序形成の検定：(i) 都市規模分布の共通べき乗則：均衡における地域経済圏と都市数・階層構造を共有した下で、各地域経済圏を構成する都市圏をランダム化した反実仮想地域経済圏を構築する。地域経済圏毎に、都市の人口規模とその規模順位を求め、全ての地域経済圏に共通の対数線形関係を仮定し、切片のみを経済圏固有とした対数線形カテゴリカルモデルを回帰し、理論的均衡に依拠した地域経済圏と反実仮想地域経済圏の間で、モデルのフィット(平均二乗誤差)を検定統計量として比較する。前者が後者のフィットを有意に上まれば、経済集積メカニズムが都市規模分布の共通べき乗則を伴う地域経済圏の空間的フラクタル構造を生む本質的な要因であるとする仮説が支持される。(ii) 産業の立地都市の数と平均人口規模：個々の産業の立地都市の数と平均人口規模について、(i)と同様な対数線形モデルを回帰し、理論的均衡に

依拠した地域経済圏と反実地域経済圏の間で、モデルのフィット(平均二乗誤差)を検定統計量として比較する。(iii) 都市配置：経済集積理論は断片的な理論結果からの仮説として、規模の大きい都市ほどより空間的に距離をおいて形成されることを示唆してきた。多地域・多産業経済を想定した本理論モデルの下でこの仮説を検定するために、所与数  $M$  の最大都市圏と同数の無作為に選んだ都市について、無作為に選んだ所与数  $N$  の都市について全ての都市圏をボロノイ分割し、 $M$  都市が含まれる分割セル数を比較する。最大  $M$  都市を含むセル数がランダム  $M$  都市を含むセル数を有意に上まれば、仮説は支持される。

#### 実証分析の方法：

- 1) データ整備：米国・欧州・中国・インドについて、米国オークリッジ研究所が提供する LandScan2015 から、2015 年時点 1km メッシュレベルの人口推計データを、日本については国勢調査地域メッシュ統計より同等のデータを手入し、人口密度 1000 人/km<sup>2</sup> 以上かつ総人口 1 万人以上の連続地域を都市圏として同定する。日本については、更に経済センサス基礎調査(2014)を用いて、個々の都市圏の産業構造を特定し、全国貨物純流動調査(2015)を用いて、約 200 産業・品目ペアについて都市圏間貿易量を特定する。
- 2) 地域経済圏の特定：全ての地域について、理論分析と同様の方法で簡易地域経済圏を求め、日本については、理論分析と同様の方法で、都市間貿易データを用いて構造的な地域経済圏を特定する。
- 3) 地域経済圏における都市集積の秩序形成の検定：理論分析と全く同様の手法で、理論的均衡に依拠した地域分割と反実仮想地域分割の間の比較を行う。

#### 4. 研究成果

実経済では階層的な地域経済圏が形成され、都市の人口規模・空間分布はフラクタル構造を持つ。特に、個々の地域経済圏において、都市規模分布は共通のべき乗則に従い、産業が立地する都市の数と平均人口規模は共通の対数線形関係を持つ。本研究では、まずこれらの秩序形成の事実を日本のデータを用いて示し国際査読誌に掲載した。また、「新しい経済地理学」モデルに基づく構造的な地域経済圏の同定手法を開発し、ディスカッション・ペーパーとして公開した。その他、米国・欧州・中国・インドについても人口集積パターンにおける秩序形成について同様の分析を終え、順次ディスカッション・ペーパーとして公開する予定である。

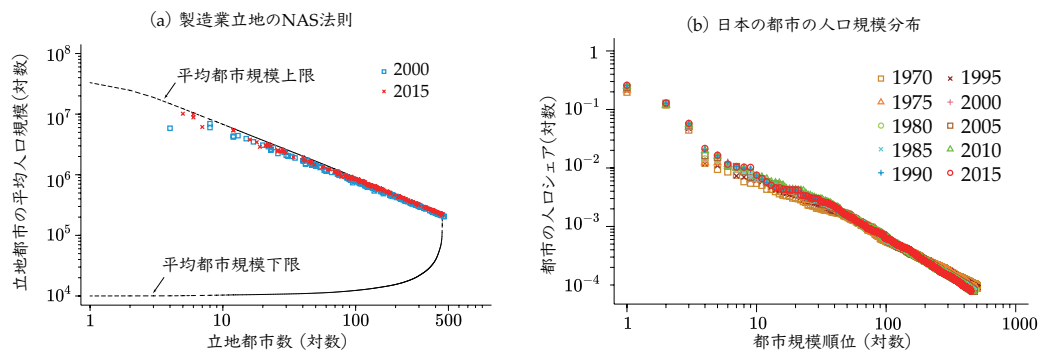


図 1 人口・産業集積における秩序形成

図1は、日本の人口・産業集積における秩序形成の例である。図(a)は、2000・2015年時の各製造業小分類産業について、その立地都市の数と平均人口規模の関係が明確な対数線形関係にあり(Number-Average Size (NAS)法則)、それが通時的に維持されていることを示している。更に、個々の産業の立地都市の平均人口規模はそのほぼ上限値に達しており、このことは、小都市に立地する産業が概ね大都市にも立地し、大小都市間に産業構造の階層性があることを示している。

なお、図(a)に示されるように平均都市規模の上限値の分布がべき乗則に従うことと、都市規模分布がべき乗則に従うことは漸近的に同値であることは、私の過去の研究成果において理論的証明している。それを裏付けるように、図(b)では1970-2015年の長い期間を通して、日本の都市規模分布が極めて安定的にべき乗則に従ってきたことを示している。

図2は、上述の簡易的な階層的な地域経済圏の下での都市規模分布を、日本・米国・欧州について示したものである。本研究の成果として現在執筆中の論文では、各国の地域圏レベルの都市規模分布が共通のべき乗則に従うことについて、統計的に示している(中国とインドについても同様の結果を得ている)。

理論分析では、多次元非線形経済システムの安定均衡をランダム抽出する数値解析手法を開発した。多地域・多産業を含む「新しい経済地理学」モデルに適用してその実用性を確認し、当初計画した全てのランダムサンプルの生成を終えた。これらの均衡サンプルについて、今後、上述の実証分析と同様の手法で秩序形成の有無を統計的に検証し、実経済に発現する産業・人口集積パターンにマイクロ経済学的基礎を与え、順次ディスカッション・ペーパーとして公開する。

図3にシミュレーションによる現実の秩序形成の再現の一部を示す。これは、1024地域を持つ円周立地空間上で256産業及びその雇用者の立地をシミュレーションした例である。図3(a)は図1(a)のNAS法則と同様のプロットであり、理論モデルが現実と同様の秩序形成を再現していることを示している。図3(b)は、図3(a)と同じシミュレーションサンプルについて、図2で用いた簡易地域経済圏の下での都市規模分布をプロットしたものである。各地域経済圏レベルで都市規模が共通べき乗則に従う現象を、理論は極めて忠実に再現している。

本研究で明らかにした地域経済における秩序形成の事実は、個々の都市の規模・産業構造等経済的な性質が、その都市を含む広域的な地域経済の構造と、極めて安定的な内生的秩序を介して密接に相互依存することを意味し、そのメカニズムのモデル化は、個々の地域経済を対象にした、あるいは、広域経済を対象にした経済政策やインフラ整備効果を正確に評価するために不可欠手続きとなる。

研究で構築した均衡のランダム抽出法は、地域経済への応用に留まらず、より一般的な多次元非線形経済システムで記述される理論モデルに対して、その均衡の性質を系統的に分析するための実際的な手法を提案している。

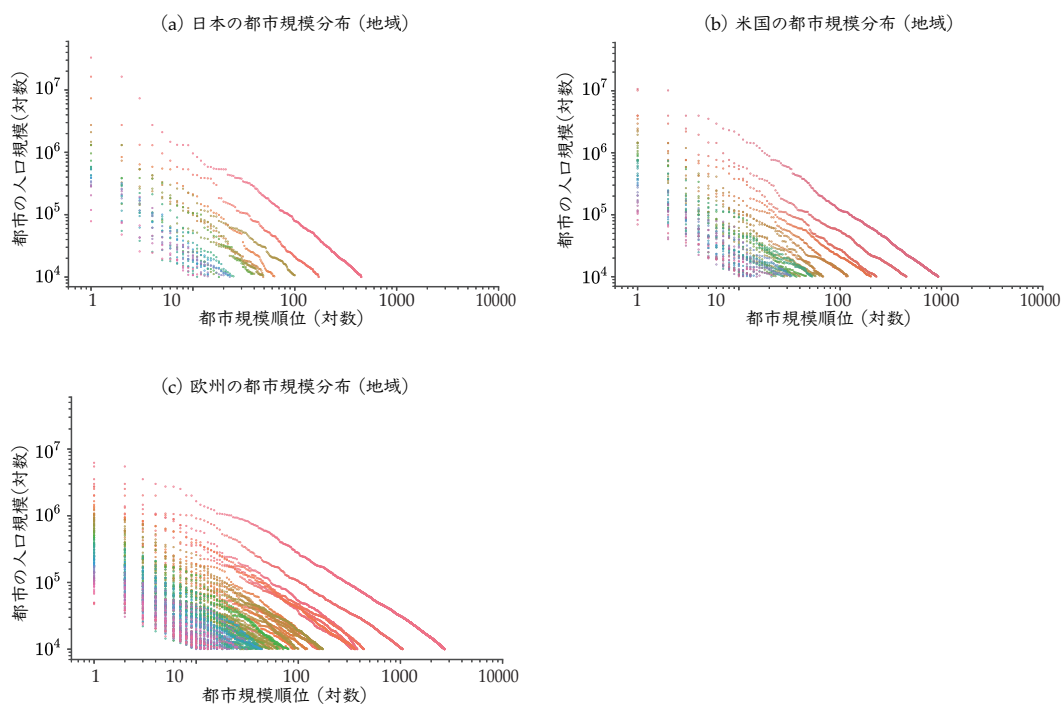


図 2 日本・米国・欧州の都市規模分布とフラクタルパターン

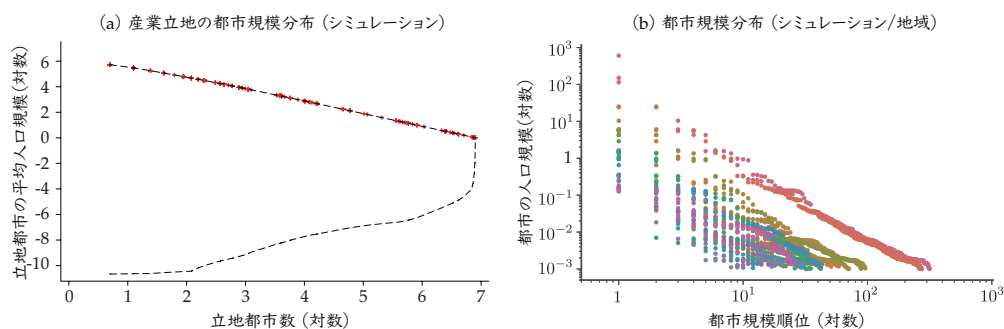


図 3 NAS 法則と都市規模分布のべき乗則(シミュレーション)



参考文献：

Broda, C., Weinstein D.E. (2006) “Globalization and the gains from variety.” *The Quarterly Journal of Economics* 121: 541-585.

Fukushima, M. (1992) “Equivalent differentiable optimization problems and descent methods for asymmetric variational inequality problems.” *Mathematical Programming* 53: 99-110.

Mori, T. and Wrona, J. (2018) “Inter-city trade.” Discussion Paper No. 995. Institute of Economic Research, Kyoto University.

Pflüger, M. (2004) “A simple, analytically solvable, Chamberlinian agglomeration model.” *Regional Science and Urban Economics* 34: 565-573.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 1 件)

Mori, T. (2017) “Evolution of sizes and industrial structure of cities in Japan from 1980 to 2010: Constant churning and persistent regularity.” *Asian Development Review* 34(2): 86-113.

Mori, T. and Wrona, J. (2018) “Inter-city trade.” Discussion paper No.995, Institute of Economic Research, Kyoto University.

Mori, T. (2018), “Spatial patterns and city size distribution.” Discussion paper No. 996, Institute of Economic Research, Kyoto University.

Mori, T. (2017), “Constant churning and persistent regularity in population and industrial locations: Evidence from Japan.” *Vox Column* August 25.

〔学会発表〕 (計 4 件)

“Evolution of size and industrial structure of the urban system in Japan: 1980-2014,” *Asian Development Review Conference, Urban and Regional Development in Asia*, Millennium Seoul Hilton, Seoul, Korea, 2016年6月2日.

“Cities and space: Common power laws and fractal structure,” *The Osaka Conference on Spatial and Urban Economics*, 大阪大学, 2016年10月8日.

“Inter-city trade”, *Moscow International Economics Workshop, New Economic School*, Moscow, Russia, 2018年6月17日.

“Inter-city trade,” *The 9<sup>th</sup> European Meeting of the Urban Economics Association*, The Vrije Universiteit Amsterdam, Amsterdam, Netherlands, 2019年5月31日.

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年：

国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年：

国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：赤松隆

ローマ字氏名：Takashi Akamatsu

研究協力者氏名：高山雄貴

ローマ字氏名：Yuki Takayama

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。