

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 21 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25630212

研究課題名(和文)都市と企業の規模分布と空間分布の規則性を表現しうるネットワーク形成理論

研究課題名(英文)A spatial economic theory of the regularities in spatial patterns and size distributions of cities and firms

研究代表者

赤松 隆 (Akamatsu, Takashi)

東北大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：90262964

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は「都市と企業の規模分布」の規則性(ランク・サイズ則)と「都市と企業の空間的分布」の規則性(都市の階層原理)を同時に説明しうる理論モデルを提示することである。本研究では、まず、多種集団 Population Game の枠組で企業の(取引先/立地点)選択行動と相互作用を表現し、(a)企業間取引ネットワーク形成と(b)企業の集積立地パターン形成、の各々が創発する2つのサブ・モデルの特性を理論的に明らかにした。そして、両者を統合的に統合したシステム・モデルを構築し、系統的な数値実験により、(a)と(b)の同時均衡状態で創発する企業の規模別・空間的分布パターンの特性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Statistical distributions of economic activities are known to exhibit a robust regularity called rank-size rule, or Zipf's law. This study shows that rank-size rule of city size distribution emerges as an equilibrium outcome of a multi-industry spatial competition model with agglomeration economies, along with another well-known regularity, urban hierarchy principle. We then demonstrate that the distribution of firm size also obeys rank-size rule if the degree of heterogeneity of firms and industries (variance in the distribution of a parameter representing the heterogeneity) are larger than some threshold.

研究分野：土木計画学・交通工学

キーワード：土木計画 集積立地 都市の規模分布 企業の規模分布 中心地理論

1. 研究開始当初の背景

世界の多くの国では、様々な規模（人口）の都市が併存しているが、その規模の頻度分布には Rank-Size 則 / 冪乗則と呼ばれる頑健な規則性が成立している。さらに、都市の規模を決定づける立地主体である企業群についても、同様の規則性が成立することが、最近のネットワーク科学分野の研究で示されている。すなわち、企業の規模（売上高、従業員数、企業間取引ネットワークの回数）の頻度分布は冪乗則に従う。

この様な都市や企業の規模分布に関する規則性は、Simon (1955) を嚆矢とする確率動学モデルに基づく多くの研究によって議論されてきた (e.g., Gabaix (1999)). また、最近でも Barabasi et al. (1999) 以降のネットワーク科学分野において、理論の一般化が進展している (e.g., Newman et al. (2006), Durrett (2007)). しかし、それらの理論は、現象の空間的側面を捨象し、都市や企業の規模に関する頻度分布の形状を説明するのみである。すなわち、ネットワーク科学分野の理論だけでは、土木計画学に関連する地域・都市政策（たとえば、社会基盤整備、企業誘致等）を議論する際に重要となる「どこに、どのような規模の企業や都市が存続しうるか？」という問いに答えることはできない。

この問い前半の「どこに？」、すなわち、都市や企業の空間的分布は、空間経済学において、立地主体の交通費用を考慮した経済行動と市場での相互作用を基に説明されてきた。特に、Krugman (1991) 以降の新経済地理学 (NEG) では、都市への企業の集積現象を一般均衡理論的な枠組で説明しうる理論が進展している (e.g., Fujita- Thisse (2002), Glaeser (2008)). しかし、NEG 分野の研究の多くは、限定的条件下での定性的理論であり、都市の規模分布のような定量的規則性を説明しうる理論は未だ十分に確立していない[注]。また、従来の NEG 理論は、均質な（同一規模の）企業を仮定しているため、企業の規模分布と立地パターンの関係についても、全く説明できない。すなわち、NEG 理論だけでは、先の問い後半の「どのような規模の？」には答えられない。

さらに、都市の空間分布には都市階層原理と呼ばれる規則性が成立することが Christaller 以降の中心地理論によって指摘されている。都市階層原理とは、都市規模が大きくなるにつれて生産される財の種類（立地する産業数）が増加し、かつ、規模が小さい都市に立地する産業は、より規模が大きい都市にも立地しているという、実証的にも確認された規則性である。近年、この都市階層原理と都市規模分布の冪乗則とを関連付ける新たな実証的規則性が、Mori et al. (4) を端緒

とする一連の研究により明らかになっている。この法則 Number-Average Size (NAS) rule は、各産業が立地（集積）する都市の数と、その平均人口規模の間に経験的に成立する対数線形関係であり、都市規模分布の冪乗則と NAS rule が成立する条件下では、都市階層原理が成立することが証明されている。しかし、従来研究では、これらの規則性を同時に説明しうる（ミクロ経済学的な基礎を持つ数理モデルに基づく）理論は全く確立していない。

2. 研究の目的

本研究は、都市と企業の規模分布の規則性（冪乗則）及び、都市への企業の立地パターン（都市階層原理に従う空間的分布）を同時に説明しうる立地・企業ネットワーク形成理論の構築を目指す。より具体的には、互いに密接な相互作用のある2つのサブ・モデル：

(1) 企業の空間的分布パターンを仮に与件とした時に、各企業の取引先選択行動によって少数企業に取引が集中する (i.e., 冪乗則に従う企業間取引ネットワークが形成される) 過程及び均衡状態を表現しうるサブ・モデル

(2) 企業間の取引ネットワークを仮に与件とした時に、各企業の立地選択行動によって少数都市に企業が集積する (i.e., 人口規模分布が冪乗則に従う都市群システムが形成される) 過程及び均衡状態を表現しうるサブ・モデル

を整合的に統合したシステム・モデルを構築する。そして、取引集中と集積立地の相互作用の同時均衡状態において創発する企業の規模別・空間的分布パターンの特性を明らかにする。

3. 研究の方法

上記目的で述べたサブ・モデルは、多種集団の“Population Game” (例えば、Sandholm (2010) 参照) の枠組で表現される。企業群は M 種 (タイプ) の集団に分類され、都市群は交通ネットワークで結ばれた N 個の都市で構成される。各企業の“戦略”は、(1) では取引先企業と取引金額 (企業間取引ネットワークの“flow”), (2) では立地都市である。各企業の“利得”に影響する“状態変数”は、(1) では各タイプの企業の取引額、(2) では各都市のタイプ別立地企業数である。この利得と状態変数の関数関係は、NEG 理論と同様、規模の経済と取引費用から生じる集積経済のモデル化によって得られる。

サブ・モデル (1), (2) の均衡状態では、各々、与件の企業立地パターンに応じた各企業タ

タイプの均衡取引額と企業数 (i.e., 企業規模分布), 与件の企業取引ネットワークに応じた各都市のタイプ別均衡立地企業数 (i.e., 都市規模分布) が, 内生的に決定される. そして, (1)と(2) の統合モデルにおける取引ネットワーク・立地パターンの形成過程とその同時均衡状態は, 各々, 進化ゲーム・ダイナミクスと変分不等式問題として表現される.

上記モデルは集積経済に起因する非凸性を持つため, 複数均衡が不可避免的に生じる. 従って, モデルで得られる規模分布及び空間的分布の頑健性を保証するためには, 安定的かつ尤もらしい均衡解を選択する良い方法が必要である. 本研究では, 均衡選択法として進化ダイナミクスと分岐理論を組み合わせた安定性解析法を採用する.

より具体的には, まず, 構造を簡略化したプロトタイプ・モデルに対して, 研究代表者らが先行研究で開発してきた理論的な分岐解析法 (Akamatsu et al.(2012)) を適用 (上記モデル用にカスタマイズ) し, 安定均衡解の基本特性を把握する. 次に, その知見を参照点として, より一般的なモデルに対して, 計算分岐理論に基づく系統的な数値実験によって, モデルで得られる規模分布及び空間的分布の規則性を検証する.

4. 研究成果

平成 25 年度の研究では, まず, 上記 2 つのサブ・モデルを開発した.(1) については, 各都市に各産業・タイプの企業が立地したときの利潤関数条件を規模の経済と輸送費用による集積経済効果を反映したモデルで表現し, 空間均衡条件によって, 各都市に立地する各産業・タイプの企業数が内生変数として決定されるモデルを構築した.(2) については, 空間割引効果を考慮した gravity type のモデルで表現され, 市場参入・撤退条件から, 各タイプの企業数が内生変数として決定される. また, これらのモデリングに付随して, 企業間取引モデルで用いる生産関数にフレキシブルな階層構造を導入する場合, 交通分野で開発されたネットワーク GEV モデルと数理的に同型の理論を構成できることを明らかにした. 次に, ベンチマーク・ケース (円周都市経済) において, 各サブ・モデルの均衡解と安定性条件を導出し, 各種モデル・パラメータ空間における立地パターンの分岐特性および安定的な都市・企業規模分布の特性を明らかにした.

平成 26 年度の研究では, まず, 平成 25 年度に解析した基本モデルに対する幾つかのバリエーション・モデルを考察し, 均衡条件系と等価な最適化問題 (ポテンシャル関数) を構成できるモデルを開発した. そして, そのモデルが, 基本モデルと同様の分岐特性が

成立するための条件 (集積/分散力を表すモデルの数理構造) を明らかにした. 次に, このモデルに対する大規模な都市数・企業数下での数値実験により, 産業間の異質性を表現する 2 種類のモデル・パラメータ (交通費用および代替弾力性) の分布が一定以上の分散を持つならば, べき乗則 (図 1-A, 図 2-A) および, Number-Average Size 則 (図 1-B, 図 2-B) が頑健に成立することが示された.

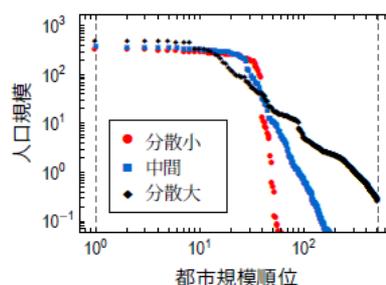


図 1-A 産業別輸送費用の異質性 (分散) と都市規模分布

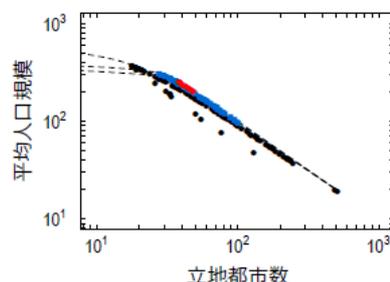


図 1-B 産業別輸送費用の異質性 (分散) と NAS-plot

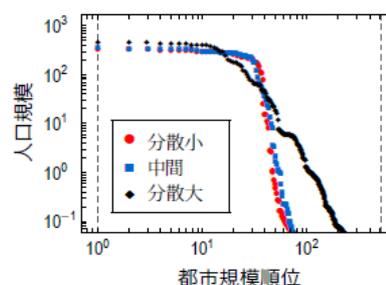


図 2-A 産業別代替弾力性の異質性 (分散) と都市規模分布

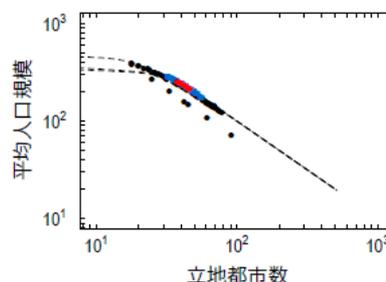


図 2-B 産業別代替弾力性の異質性 (分散) と NAS-plot

企業の規模分布に関しては、産業間の異質性(上記2種類のパラメータ分布)のみでは、必ずしもべき乗則は発現しない(図3(a))が、企業タイプを表現するパラメータ(企業のタイプ別に定義された集積立地に対する規模の経済パラメータ)に異質性を導入すれば、べき乗則が成立する(図3(b)のケース)ことが示された。

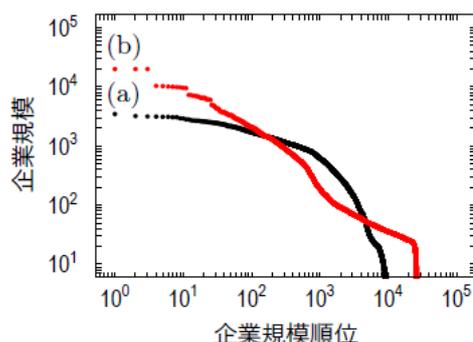


図3 企業別タイプ・パラメータの異質性と企業規模分布

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6件)

1. 原 祐輔, 赤松 隆, “Network GEV 型経路選択モデルを用いた確率的利用者均衡配分”, 土木学会論文集 D3, 査読あり, Vol.70, pp.611-620, 2014.
DOI: 10.2208/jscejipm.70.I_611
2. 大澤 実・赤松 隆・高山 雄貴, “Harris & Wilson (1978) モデル再訪: 集積の経済を考慮した商業立地モデルの分岐解析”, 土木計画学研究・講演集, 査読なし, Vol.50, 022 (CD-ROM), 2014.
3. K. Ikeda, K. Murota, T. Akamatsu, T. Kono, and Y. Takayama, “Self-organizing hexagonal agglomeration patterns in new economic geography models,” *Journal of Economic Behavior & Organization*, 査読あり, Vol.99, pp.32-57, 2014.
DOI: 10.1016/j.jebo.2013.12.008
4. 高山 雄貴, 赤松 隆, 福島 晶子, “一次元空間における都市階層構造の創発: relocation cost を考慮した多産業 core-periphery モデルの分岐解析”, 土木学会論文集 D3, 査読あり, Vol.69, pp.250-266, 2013.
DOI: 10.2208/jscejipm.69.250
5. T. Akamatsu, M. Osawa, T. Nagae, and H. Yamaguchi, “Spatio-temporal analysis of gasoline shortages in the Tohoku region after

the great east Japan earthquake,” *Journal of JSCE*, 査読あり, Vol.1, pp.447-469, 2013.
DOI: 10.2208/journalofjsce.1.1_447

6. 池田 清宏, 赤松 隆, 河野 達仁, 高山 雄貴, 坂本 賢二, Reza Sobhaninejad, “線分都市経済の人口集積メカニズムの分析”, 土木学会論文集 D3, 査読あり, Vol.69, pp.53-63, 2013.
DOI: 10.2208/jscejipm.69.53

[学会発表](計6件)

1. 大澤 実, 赤松 隆, 高山 雄貴, “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”, 第28回 ARSC 研究発表大会, 2014年11月30日, 沖縄産業支援センター(那覇).
 2. T. Akamatsu, T. Mori, Y. Takayama, “Spatial coordinations among industries and the common power law for city size distributions,” the 61st Annual North American Meetings of the Regional Science Association International (9th Meeting of the Urban Economics Association), November 13rd, 2014, Washington D.C. (USA).
 3. Takashi Akamatsu, Shota Fujishima, Yuki Takayama, “Stabilization of social optimum in economies with positive and negative Externalities,” 日本経済学会 秋季大会, 2014年10月11日, 西南学院大学(福岡).
 4. 池田 清宏, 室田 一雄, 赤松 隆, 河野 達仁, “2次元多都市 CP モデルの集積挙動における境界条件の影響評価について”, 第27回 ARSC 研究発表大会, 2013年12月15日, 京都大学(京都).
 5. T. Akamatsu, S. Fujishima, and Y. Takayama, “Limitations of Pigouvian Policies in Non-convex economy”, 第27回 ARSC 研究発表大会, 2013年12月14日, 京都大学(京都).
 6. T. Akamatsu, S. Fujishima, and Y. Takayama, “On Stable Agglomeration Equilibria in Social Interaction Models,” Third Asian Seminar in Regional Science, August 8th, 2013, National Dong Hwa University (Taiwan).
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
赤松 隆 (AKAMATSU, TAKASHI)
東北大学・大学院情報科学研究科・教授
研究者番号: 90262964