

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 15 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K14044

研究課題名(和文) 産業規模と集積立地パターンの規則性の空間周波数解析

研究課題名(英文) Spatial frequency analysis of industrial agglomeration patterns

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)：多様な産業と多数の都市を持つ経済システムでは、都市・産業の自己組織的な集積現象が創発している。本研究は、その空間的集積パターンを特徴づける規則性を定量的に抽出する方法を開発した。より具体的には、均質な空間における集積経済モデルによる産業立地パターンを入力としたときに、フーリエ変換と群論的分岐理論から導かれる基底ベクトルを用いて、各産業の集積立地パターンに固有の空間周期を抽出する方法を開発し、現実の地理空間における産業立地パターンの観測データから空間的規則性を抽出し、理論モデルとの整合性を比較可能とする分析法を開発した。

研究成果の概要(英文)：This study provides a method for extracting spatial regularities observed in a variety of industrial agglomeration patterns that emerge in system of cities with agglomeration economies. Specifically, (1) based on Fourier transformation techniques and group-theoretic bifurcation theory, we developed a method that gives the spatial period/frequency of industrial location patterns obtained as stable equilibria of spatial agglomeration models in a homogeneous space, and (2) we extended the method so as to be able to identify spatial regularities from actual observed data of industrial location patterns in a real geographical space.

研究分野：土木計画学

キーワード：土木計画 立地 産業 空間周期 集積経済

1. 研究開始当初の背景

都市の規模、および、そこに立地する産業の規模・種類には幾つかの頑健な規則性が成立することが多くの実証研究により明らかにされている。その第一の規則性は、都市規模の頻度分布が冪乗分布に従うという Rank-Size rule である。第二の規則性は、規模の大きな(上位階層)都市に立地する産業の種類集合は下位階層都市に立地する産業の種類集合を包含するという Hierarchy Principle (階層原理) である。また、近年、これら2つの規則性を関連付ける Number- Average Size (NAS) rule が明らかにされている (Mori et al. (2008,2009,2011))。これは、各産業が立地する都市数とその平均人口規模の間に対数線形関係が成立するという規則性である。

これらの規則性(以下、Central Place Regularities (CPR)と呼ぶ)は、地域産業政策や都市間・都市内の社会基盤整備効果の分析といった土木計画分野の重要課題に対しても有用な含意を与える。実際、CPRは、上記のような政策の効果を定量的に分析するためのモデルが最低限満たすべきベンチマーク条件を与える。従って、CPR 成立のメカニズムを明らかにすることは、土木計画学の基盤となる理論を与える重要な研究課題である。にもかかわらず、従来研究では、CPR の全ての規則性を矛盾なく説明しうる理論体系は十分に発展していない。

本研究の応募者は、先行研究(赤松ら(2011), Akamatsu et al.(2014))において、新経済地理学(NEG)の理論に基づく多産業・多都市モデルで階層原理が成立することを分岐理論に基づく解析によって示している。さらに、産業・都市数及び産業間異質性の分散が十分に大きい場合には Rank-Size rule と NAS rule も成立することを数値実験によって示している。すなわち、ある条件下では、多産業・多都市 NEG モデルによって CPR の全規則性を再現できる。しかし、これまでの研究では、CPR の明確なメカニズムやその一般的成立条件までは必ずしも解明できていない。その最大の障害は、産業・都市数が大きい集積経済モデルでは立地均衡解の空間パターンが非常に複雑である(図-1の例を参照)上に多数の複数均衡解が存在するため、その立地パターンの規則性を定量的に特徴づけることが難しい点にある。言い換えれば、複雑な産業立地パターンの空間的規則性を系統的に分類/定量的に特徴づける良い方法があれば、立地パターンの背後に潜む CPR のメカニズムも明確化しうると予想される。

2. 研究の目的

本研究の目的は、CPR のメカニズム解明を題材として、多数の都市に多数の産業が集積立地した結果生じる都市・産業規模の複雑な空間パターンを系統的に分類/定量的に特徴づける方法を開発することである。具体的には、均質な空間における集積経済モデル

による産業立地パターンを入力としたときに、各産業の集積立地パターンが持つ規則性を表す特徴量を抽出しうる方法を開発し、一般的な地理空間において、実観測データと理論モデルによる立地パターンの特徴を整合的に比較可能な指標を抽出可能な分析法を開発する。

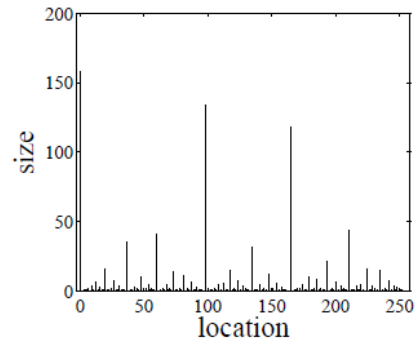


図-1 集積立地パターンの例:各地点(都市)の(全産業合計)立地企業数

3. 研究の方法

本研究は、均質な1次元および2次元空間における立地パターンに対する規則性抽出法を開発する Phase 1、および、その解析法を一般的な地理空間のデータに適用するための方法を開発し、現実の集積立地パターンに適用する Phase 2 から構成される。

Phase 1 では、まず、1次元均質空間において、多産業・多都市 NEG モデルによる均衡立地パターンを入力としたときに、フーリエ変換を基に、産業別の空間周波数等の特徴量が明瞭に現れる方法を開発する。次に、その方法を拡張し、2次元空間において、同様の分析が可能となる信号変換手法および指標を開発する。Phase 2 では、Phase 1 で開発した方法を実際の地理空間における人口分布データに適用可能とするためのデータ射影・空間変換の方法を開発し、その方法の頑健性等を実観測データによる産業立地パターンを入力信号として検証する。

4. 研究成果

(1) Phase 1 では、まず、1次元離散空間において、NEG モデルによる均衡立地パターンを入力ベクトルとして、離散フーリエ変換(DFT)を基にした信号変換によって得られるパワー・スペクトルや自己相関列等の指標が、集積パターンの空間的周期性を明瞭に表しうることを明らかにした。図-2 は、1次元空間における NEG モデルによる集積立地パターン(周期倍分岐によって創発する空間周期を持つ安定均衡解)を入力したときに、この方法で得られるパワー・スペクトルの例である。この立地パターンに特徴的な空間周期に対応する波数 2^k のパワー・スペクトル成分が明瞭に卓越していることが見て取れる。

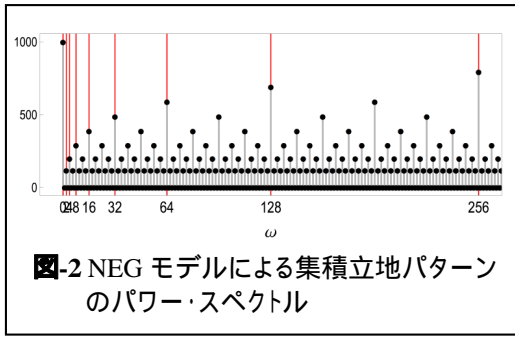


図-2 NEG モデルによる集積立地パターンのパワー・スペクトル

(2) 次に、上記の方法を拡張し、2次元空間において、同様の分析が可能となる手法を開発した。より具体的には、(i) 2次元立地空間を hexagonal lattice (正三角形を単位格子とする2次元格子) によって表現し、(ii) その空間上で可能な安定均衡解パターンを群論的分岐理論によって明らかにし、(iii) 2次元DFT に群論的分岐理論による基底ベクトル表現の概念を組合せた信号変換法を考案し、(iv) その信号変換で得られるパワー・スペクトル等の指標が、2次元空間での集積パターンの空間周期性を表しうることを明らかにした。

(3) Phase 2 では、まず、(1) で開発した均質な1次元離散空間での分析法を、実際の地理的空間に適用するためのデータ射影法を開発した。それによって得られた日本の都市(盛岡-博多)の人口分布ベクトル(図-3)に開発手法を適用した。

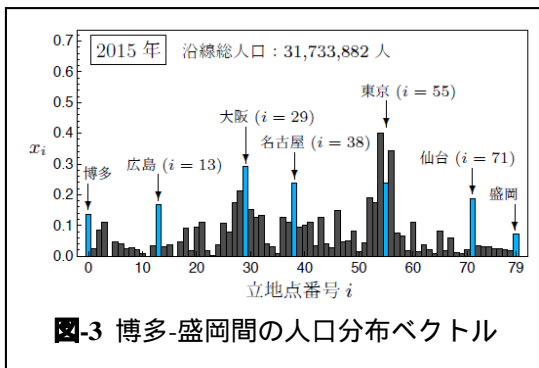


図-3 博多-盛岡間の人口分布ベクトル

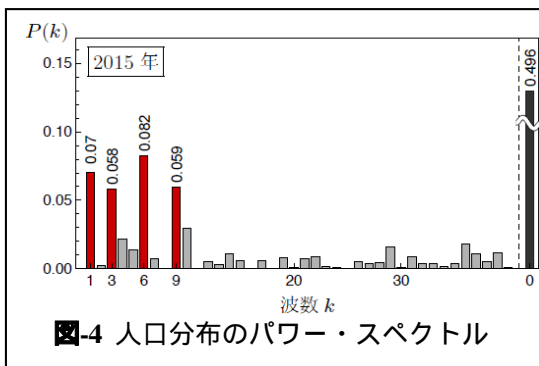


図-4 人口分布のパワー・スペクトル

得られたパワー・スペクトルは、図-4に示すように、波数 $k = 1, 3, 6, 9$ に明瞭な卓越が

見られた。これらに対応する固有ベクトルのピークは、以下の都市に対応しており、少数の周期的成分のみによって、人口分布の大的特徴が捉えられていることがわかる：

$k = 1$: 京阪神・中京・関東の三大都市圏

$k = 3$: 福岡・京阪神・関東の各都市圏

$k = 6$: 福岡・広島・大阪・浜松・東京・仙台

$k = 9$: 福岡・岡山・大阪・名古屋・静岡・

東京・郡山・仙台

また、1920、1950、1970、1990、2010の各時点における人口分布に同様の周波数分析を行い、人口分布の時系列変化が、集積経済モデルによる理論的予測と整合的であることを明らかにした。さらに、産業別都市人口パターンについても同様に分析した結果(図-5)、産業区分ごとに空間周波数が異なり、階層的に立地するというCPRと整合的であることが示された。

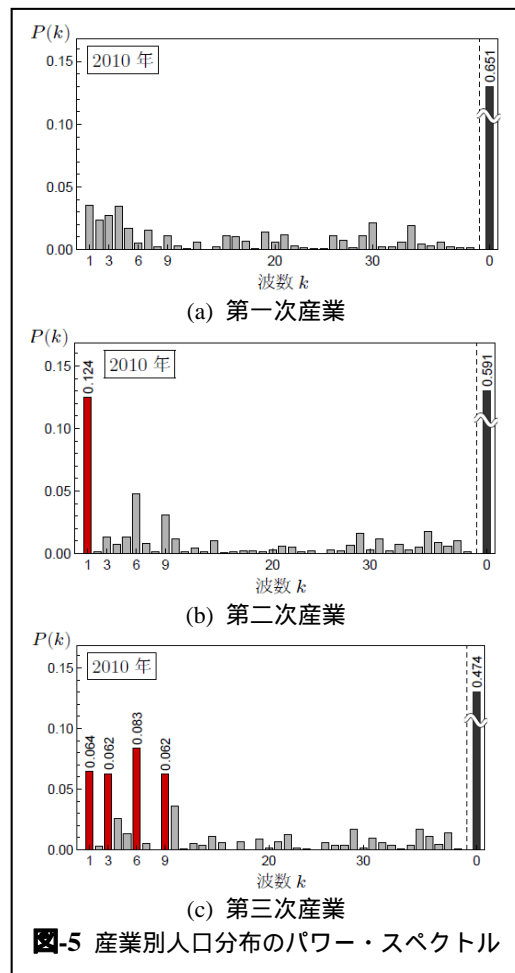


図-5 産業別人口分布のパワー・スペクトル

(4) 次に、(2) で開発した均質な2次元離散空間での分析法を、実際の地理的空間に適用するために、群論的分岐理論に基づく基底ベクトルを基に格子サイズを調整し、立地パターンの空間周波数を抽出する方法を開発した。そして、この方法をドイツおよびアメリカにおける実際の都市人口データにパターンに適用した。その分析例を図-6、図-7に示す。

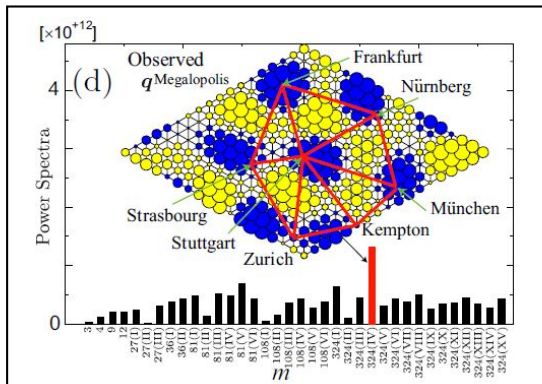


図-6 南ドイツの人口データから抽出された hexagonal pattern.

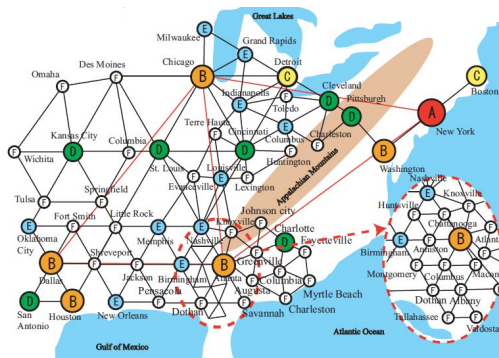


図-7 アメリカ東部の人口データから抽出された hexagonal pattern.

(5) 上記の研究過程において、当初の研究計画では想定していなかった新たな成果も得られた：従来研究で提案されてきた様々なタイプの集積経済モデルが、モデル内で表現されている「分散力」の空間スケール（及び、結果的に創発しうる集積パターンの空間周期数）に応じて、2つのクラスに集約されることを明らかにした。より具体的には、集積経済現象を表現した空間経済モデルは、集積力がどのようなものであっても、

- (i) 大域的な分散力（e.g., 財の広範囲輸送・販売に伴う空間的競争）を持つモデルと
- (ii) 局所的な分散力（e.g., 地代・交通混雑等の都市混雑費用）しか持たないモデル；

の2つのクラスに大別でき、(i) のモデルでは安定均衡解として多極型の集積パターンが創発しうるが、(ii) のモデルでは一極型の集積パターンしか生じない；という事実を理論的に明らかにした。これは、空間経済現象の実証研究におけるモデル選択の指針としても極めて重要であり、実際、経済学分野における（不適切なモデル構造を選択し、無意味／誤った結論を導いている）最近の実証研究（e.g., Redding and Sturm (2008, AER), Allen and Arkolakis (2014, QJE),）に対する警鐘となる含意を持つものである。

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（全て査読有り））（計8件）

Osawa, M., Akamatsu, T., and Takayama, Y., “Harris and Wilson (1978) Model Revisited: The Spatial Period Doubling Bifurcation Cascade in an Urban Retail Model,” *Journal of Regional Science*, Vol.57, (in press), 2017. DOI: 10.1111/jors.12306

Ikeda, K., Murota, K., and Takayama, Y., “Stable Economic Agglomeration Patterns in Two-dimensions: Beyond the Scope of Central Place Theory,” *Journal of Regional Science*, Vol.57, Issue 1, pp.132-172, 2017. DOI: 10.1111/jors.12290

Akamatsu, T., Fujishima, S., and Takayama, Y., “Discrete-space Agglomeration Models with Social Interactions: Multiplicity, Stability, and Continuous Limit of Equilibria,” *Journal of Mathematical Economics*, Vol.69, pp.22-37, 2017. DOI: 10.1016/j.jmateco.2016.12.007

Ikeda, K., Murota, K., Akamatsu, T. and Takayama, Y., “Agglomeration Patterns in a Long Narrow Economy of a New Economic Geography Model: Analogy to a Racetrack Economy,” (Invited paper) *International Journal of Economic Theory*, Vol.13, Issue 1, pp.113-145, 2017. DOI: 10.1111/ijet.12120

恩田幹久, 高山雄貴, 池田清宏, “円周都市経済の分岐と集積の都市数依存性”, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.73, No.1, pp.04-55, 2017. DOI: 10.2208/jscejipm.73.40

大澤 実・赤松 隆, “集積経済理論の実証におけるモデル構造選択の課題”, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.73, No.1, pp.1-15, 2017. DOI: 10.2208/jscejipm.73.1

高山 雄貴, 赤松 隆, 石倉 智樹, “生産要素の地域間移動と集積の経済を考慮した空間応用一般均衡モデルの開発”, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.72, No.2, pp.211-230, 2016. DOI: 10.2208/jscejipm.72.211

大澤 実, 赤松 隆, 高山雄貴, “Harris and 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), Vol.71, No.3, pp.141-155, 2015. DOI: 10.2208/jscejipm.71.141

(学会発表) (計13件)

Akamatsu, T., Mori, T., Osawa, M. and Takayama, Y., Spatial Scale of Agglomeration: Theoretical Foundations and Empirical Implications, 第30回応用地域学会・研究発表会, 2016年11月26日, 神戸大学(兵庫県神戸市)

Osawa, M., and Akamatsu, T., Stochastically Stable Equilibria of Fujita and Ogawa (1982) Model, 第30回応用地域学会・研究発表会, 2016年11月26日, 神戸大学(兵庫県神戸市)

Akamatsu, T., Fujishima, S., and Takayama, Y., Discrete-space Agglomeration Models with Social Interactions: Multiplicity, Stability, and Continuous Limit of Equilibria, 第30回応用地域学会・研究発表会, 2016年11月26日, 神戸大学(兵庫県神戸市)

Osawa, M., and Akamatsu, T., Stochastic Stability Analysis of a Model of Endogenous Urban Subcenter Formation, 第54回土木計画学研究発表会, 2016年11月6日, 長崎大学・文教キャンパス(長崎県長崎市)

恩田幹久, 高山雄貴, 池田清宏, 円周経済の分岐による集積特性の都市数による変化, 第53回土木計画学研究発表会, 2016年5月29日, 北海道大学(北海道札幌市)

小松大地, 池田清宏, 高山雄貴, 亀井元大, ドイツ・アメリカ合衆国における人口集積の群論的二重フーリエスペクトルによる探査, 第53回土木計画学研究発表会, 2016年5月29日, 北海道大学(北海道札幌市)

浅川遼, 池田清宏, 高山雄貴, 1次元線分都市における人口分布パターンの空間周波数分析, 第53回土木計画学研究発表会, 2016年5月29日, 北海道大学(北海道札幌市)

大澤 実, 赤松 隆, 集積経済理論の実証におけるモデル選択の課題, 第53回土木計画学研究発表会, 2016年5月29日, 北海道大学(北海道札幌市)

Ikeda, K., Murota, K., Akamatsu, T., and Takayama, Y., Agglomeration Patterns in a Long Narrow Economy of a New Economic Geography Model: Analogy to a Racetrack Economy, RIETI DP 検討会, 2016年1月18日, 経済産業研究所(東京都千代田区)

浅川遼, 池田清宏, 高山雄貴, 線形都市経済の人口集積挙動の分析, 第52回土木計画学研究発表会, 2015年11月22日, 秋田大学(秋田県秋田市)

小松大地, 池田清宏, 高山雄貴, 分岐メカニズムにもとづく都市集積パターンの空間周波数分析, 第52回土木計画学研究発表会, 2015年11月22日, 秋田大学(秋田県秋田市)

亀井元大, 池田清宏, 高山雄貴, 実空間における都市集積分布の空間周波数分析, 第52回土木計画学研究発表会, 2015年11月21日, 秋田大学(秋田県秋田市)

大澤 実, 赤松 隆, 高山雄貴, 空間集積パターンの周波数解析, 第51回土木計画学研究発表会, 2015年6月7日, 九州大学・伊都キャンパス(福岡県福岡市)

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

(2) 研究分担者

高山 雄貴 (TAKAYAMA, Yuki)
金沢大学・環境デザイン学系・准教授
研究者番号: 90612648