

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 18 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21360240

研究課題名（和文） 都市・産業集積の空間パターンの自己組織化

研究課題名（英文） Self-organized spatial patterns of industry agglomeration

研究代表者

赤松 隆 (Takashi Akamatsu)

東北大学・大学院情報科学研究科・教授

研究者番号：90262964

研究成果の概要（和文）：

新経済地理学の基本モデルである 2 都市 Core-Periphery (CP) モデルは、交通・人口条件の変化に伴い、産業が 2 都市に分散した状態から 1 都市に集積した状態へと分岐することが知られている。本研究は、より一般的な空間および産業条件下における CP モデルの分岐特性を明らかにした。より具体的には、2 次元空間上の CP モデルでは、Christaller の  $K=1,3,4,7$  システムに対応する六角形集積パターンが安定的な均衡解として存在すること、多産業 CP モデルでは産業立地の階層化構造が形成されること等を理論的に明らかにした。さらに、多産業 CP モデルが、中心地法則性（“central place regularities”）を満たした集積パターンを創発しうることを数値実験によって示した。

研究成果の概要（英文）：

Two-location Core-Periphery (CP) models in New Economic Geography exhibit a bifurcation from a symmetric equilibrium to an asymmetric one, depending on transportation costs. This study reveals interesting bifurcation properties of the CP models in more general settings, such as a two-dimensional space and a multi-industry economy. Some of the major findings of this study are 1) Christaller's hexagonal agglomeration patterns are proven to exist as stable equilibria of the CP models on a two-dimensional lattice, 2) “Hierarchy principle” of industry agglomeration patterns holds for the multi-industry CP models, 3) the multi-industry CP models generate the population distributions that follow “central place regularities”, i.e. the distribution satisfies a rank-size rule, a hierarchy principle, and a number-average size rule.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2010 年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
2011 年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
年度			
年度			
総計	12,500,000	3,750,000	16,250,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学，交通工学・国土計画

キーワード：集積経済，人口移動，分岐理論，均衡選択，都市システム

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 研究の必要性と従来研究

近年、経済のグローバル化進展に伴い、地域・都市間の競争が激化している。我国を含む先進諸国では、企業・工場の国外移転が相継ぎ、また、欧米諸都市では、高度な知識・技術を持つ人材を惹きつけるための方策が、重要課題となっている。この様な現象に対して、適切な施策を考えるためには、生産要素の都市間移動と経済活動の空間的集積メカニズムに関する理論が必要である。

生産要素の移動と空間的集積現象を一般均衡の枠組で扱った代表的理論は、Krugmanの“Core-Periphery (CP) モデル”である。このモデルは、都市間輸送費用減少に伴う人口集積現象のメカニズムを説明できるという興味深い特徴がある。そのため、この理論は、非常に多くのモデル・バリエーションと研究蓄積を生み、基本特性の頑健性が検証されることとなった。そして、それら一連の研究は、“新経済地理学(NEG)”と呼ばれ、都市経済学・地域経済学・国際経済学・立地論・経済地理学・産業組織論・労働経済学等の諸分野にまたがる研究分野を形成しつつある。

NEGの理論は、土木計画学の重要課題である社会基盤整備や地域政策の長期的な経済効果を予測・評価する際の基盤となりうるものである。しかし、NEG分野の従来理論は、土木計画分野で求められる定量的な予測・評価に用いるには、未だ、以下に示す本質的な限界・課題を残している。

まず、第一の限界は、従来研究が概念的な2都市モデルの分析に留まっていることである。2都市モデルでは空間的配置パターンが捨象されてしまうため、現実の都市システムで観測される多様な空間集積パターンの形成メカニズムを明らかにできない。現実的な政策評価等に適用可能な理論とするには、より一般的な空間条件のもとで多都市・多産業のシステムを対象としたモデルを構築し、その一般特性を解明する必要がある。

第二の限界は、CPモデルの“複数均衡問題”である。これは、規模の経済や不完全競争を考慮した現実的モデルでは、不可避免的に発生する。一般に、複数均衡解をもれなく求めることは難しく、解の大域的特性を知るためには、均衡解の分岐メカニズムの解明が必須である。また、複数の均衡解が存在する場合、どの均衡解が実現するのかを説明する理論も必要である。この“均衡選択問題”に対する一般的対処法は開発されていない。

第三の限界は、現実データと整合的な定量

的モデルへの発展の困難さである。定量的モデルへの発展を実現するためには、最低限、都市システムの特性的に関する stylized facts と理論を整合させる必要がある。なかでも、多くの国の都市人口の頻度分布に関して頑健に成立する“Zipf 法則”との整合性は、モデルの妥当性確認のベンチ・マークと考えられる。しかし、Simon に始まる Zipf 則に関する従来研究から判断する限り、確定論的枠組の CP モデルからこの法則を満たす人口分布を生成することは難しいと思われる。

### (2) 関連先行研究

本研究の研究グループは、NEG 理論の限界打破を目指し、2007-08 年度科学研究費補助金・基盤研究(B):「都市システムにおける経済集積メカニズムに関する研究」を実施した。その研究では、先述の“第一の限界”と“第二の限界”の基本課題に焦点をあて、以下の2つの目的を達成した。

第一の目的は、NEG の従来理論を多都市の理論に一般化することである。そのために、まず、Forslid-Ottaviano (2003) の 2 都市 CP モデルを多都市モデルに拡張した。そして、群論的分岐理論と数値的分岐追跡法を活用し、1次元空間(円周および線分)上の多都市システムにおける均衡解(人口分布)の分岐の規則性を明らかにした(具体的な例で言えば、“period doubling”に代表される解の分岐の規則性や、複雑な多重分岐により従来研究では全く知られていなかった様々な集積パターンが創発することを明らかにした)。第二の目的は、都市集積モデルの均衡選択問題を解決するために、確率的な状態表現を導入したダイナミクス・モデルを構築し、その特性を明らかにすることである。より具体的には、経済状態の確率動的な“ゆらぎ”を CP モデルに導入することにより、動的な均衡経路の一意性を確保した理論を構築した。この研究はまた、前述の“第三の限界”の解決に必要とされる確率的な枠組を CP モデルに導入するための足掛りともなっている。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、大別すると2つである。まず、第一の目的は、本研究グループが先行研究で開発した方法論をさらに発展させ、より一般的な空間条件や経済・産業条件の下での CP モデルの集積特性を説明しうる理論を構築することである。より具体的には、2次元空間での CP モデルの分岐(空間的集積パターンの自己組織化)特性を解明する。こ

の解析では、輸送費用に関して均質な空間での分岐解析から始め、各種境界条件等の影響を明らかにする。また、CP モデルに産業別の財の輸送費用・代替弾力性・規模の経済を導入した多都市・多産業モデルを構築し、その分岐特性を解明する。さらに、第二の目的として、空間経済学的なモデルと現実と観測される都市集積パターンの規則性 (Zipf 法則や都市階層原理) との整合性を図る。これは、CP モデルに確率的なメカニズムを導入したモデルを構築することで実現を目指す。

### 3. 研究の方法

本研究では、集積経済モデルの特性を体系的に把握するために、以下の手順で理論を構築 (一般化) する。まず、1次元 (周期境界) 空間における多都市集積経済モデルの解析手法を整備する。より具体的には、群論的分岐理論と計算分岐理論の併用により複数均衡解の大域的特性を解析する方法を整備する。さらに、空間経済モデルの共通部品である空間的割引関数と巡回行列の特性に着目した新たな安定性解析手法も開発する。そのうえで、これらの解析法を活用し、CP モデルの集積特性を理論的に解明する。さらに、そのアプローチを CP モデル以外の集積経済モデル (e.g., 都市内集積経済モデル) に応用展開する。

次に、上記の2次元空間での解析法を2次元空間に適用可能な方法へと拡張し、2次元 (周期境界) 空間における CP モデルの集積特性を明らかにする。さらに、移動主体が1種類 (1産業) の場合のモデル及び分岐解析法を多種類 (多産業) の場合へと一般化する。そのうえで、多産業・多都市モデルにおける集積特性 (産業立地の階層化) を解明する。

最後に、CP モデルと中心地法則性の関連付けを図る。より具体的には、まず、産業の異質性を確率的に特徴づける枠組を導入した多産業・多都市 CP モデルを構築する。そして、系統的な大規模数値実験および上記の理論一般化過程で得られる知見を基に、中心地法則性の創発条件を探る。

### 4. 研究成果

本研究の成果は、次の4つに分類される：

- (1) 1次元空間・多都市モデルに対する分岐解析法の開発と集積パターン特性の解明
- (2) 2次元空間・多都市モデルに対する分岐解析法の開発と集積パターン特性の解明

- (3) 多産業・多都市モデルにおける階層化・集積パターン特性の解明
- (4) CP モデルと中心地法則性 (階層原理, Zip 則および NAS 則) の関連付け

研究目的欄の「第一の目的」は上記の (1)-(3), 「第二の目的」は (4) に対応し、当初の研究目的は、ほぼ達成された。以下では、発表論文【雑誌論文 1~25 および学会発表 1~18】にまとめられた各研究成果の概要を示す。

#### (1) 1次元空間・多都市モデルに対する分岐解析法の開発と集積パターン特性の解明

1次元空間における多都市 CP モデルおよび都市内集積モデル (移動主体は1種類 (i.e., 1産業)) の分岐特性を解明した。先行研究では、数値実験によって CP モデルの集積パターンに規則性があることは示されていたものの、その理論的なメカニズムは完全には解明されていなかった。それに対して、本研究では、群論的分岐理論に基づく分岐の系統的分類法、および、空間割引行列・巡回行列・離散 Fourier 変換を活用した新たな安定性解析の方法を開発し、周期境界空間における集積パターンの創発と進展メカニズムを理論的に解明した。また、その新たなアプローチは、CP モデルの特性解明【論文 1, 3, 11, 23, 25 および発表 16, 18】のみならず、都市内集積モデル【論文 4, 17 および発表 14, 17】に対しても有効であることが示された。

さらに、周期境界を持たない線分空間においても、集積パターンの創発と進展には顕著な規則性があることが明らかにされた。特に、周期境界型空間で創発する“空間的周期倍分岐現象”と類似した集積パターンの推移が見られることが示された【論文 8 および発表 5】。また、従来研究では全く解析されていなかった都市内集積モデル (e.g., Beckmann 型の social interaction モデル) の均衡解の安定性および分岐特性を明らかにした。その結果、都市圏内集積パターン (都心) の創発・進展と交通費用・総人口等の関係および、その政策的含意が示された【論文 12, 13, 24 および発表 5, 17】。

#### (2) 2次元空間・多都市モデルに対する分岐解析法の開発と集積パターン特性の解明

2次元・周期境界空間における多都市 CP モデルおよび都市内集積モデル (移動主体は1種類) の分岐特性を解明した。より具体的には、まず、Lösch 型の六角形集積パターンが均衡解として存在することを群論的分岐理論に基づく解析により予測した。その上で、

計算分岐理論的アプローチにより Christaller の  $K=1,3,4,7$  システムが安定的均衡解として存在することを示した【論文 2, 6 および発表 2, 3, 8】.

さらに、2次元離散 Fourier 変換と空間割引行列を活用した新たな分岐（安定性）解析法を開発した。それによって、六角形の集積パターンが安定的均衡解として創発することを証明し、その分岐条件等を解析的に導いた【論文 15, 20 および発表 8, 11, 13】.

### (3) 多産業・多都市モデルにおける階層化・集積パターン特性の解明

都市圏内における階層的な産業立地構造 (hierarchy principle) が、多産業・都市内集積モデルの分岐現象により創発しうることを明らかにした。ここで、階層的な産業立地構造とは、規模の大きい都市は規模の小さい都市よりも多くの産業を有し、かつ、小都市に存在する産業は大都市にも存在するという構造である。この規則性は、都市圏内の業務地区においても観測される。すなわち、副都心に立地する産業は、CBD の産業の部分集合となっている。本研究では、(1) の都市内集積モデルおよび安定性解析法を多産業モデルに一般化した上で、交通費用・人口の変化に伴う解の分岐パターンを理論的に導いた。その結果、産業間の相互作用が非対称であれば、階層構造が創発することが示された【論文 7, 16, 18, 19 および発表 4, 9, 10】.

さらに、(1) の都市内集積モデルおよび安定性解析法を拡張することによって、土地市場における企業と消費者の相互作用を考慮した立地集積モデルの集積特性も明らかにした【論文 14, 21, 22 および発表 12, 15】.

### (4) CP モデルと中心地法則性（階層原理、Zip 則、NAS 則）の関連付け

多産業・多都市 CP モデルにおいて、中心地法則性と整合的な都市集積パターンが創発することを明らかにした。ここで、中心地法則性とは、1) Rank-Size rule, 2) Hierarchy Principle, 3) Number- Average Size (NAS) rule の3つの統計的規則性であり、何れも現実の都市システムにおける成立が実証的に示されている。本研究では、まず、労働者が立地点および産業を選択する多都市・多産業 CP モデル及び、その安定的均衡解の効率的計算法を開発した。また、Zip 則を満たすための確率的仕組みとして、産業間の異質性を特徴づけるパラメータ (e.g., 生産財の代替弾力性) が、あるクラスの確率分布に従う枠組みを導入した。以上の条件下での系統的な数値

実験により、交通費用パラメータや立地空間の構造によらず、中心地法則性が頑健に成立することが示された【論文 9, 10 および発表 1, 6】.

## 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 25 件)

1. T. Akamatsu, Y. Takayama and K. Ikeda, "Spatial Discounting, Fourier, and Racetrack Economy: A Recipe for the Analysis of Spatial Agglomeration Models," *Journal of Economic Dynamics & Control*, Vol.36 (in press), 査読有り, 2012.
2. K. Ikeda, K. Murota, and T. Akamatsu, "Self-Organization of Lösch's Hexagons in Economic Agglomeration for Core-Periphery Models," *International Journal of Bifurcation and Chaos*, Vol.22 (in press), 査読有り, 2012.
3. K. Ikeda, T. Akamatsu and T. Kono, "Spatial Period-Doubling Agglomeration of a Core-Periphery Model with a System of Cities," *Journal of Economic Dynamics & Control*, Vol.36, 754-778, 査読有り, 2012.
4. 高山雄貴・赤松 隆, 空間競争を考慮した Social Interaction モデルによる複数都心の創発, *土木学会論文集 D3*, Vol.67, 1-20, 査読有り, 2011.
5. T. Akamatsu and T. Nagae, "A Network of Options," *Journal of Economic Dynamics & Control*, Vol.35, 714-729, 査読有り, 2011.
6. 秋吉一樹・池田清宏・赤松 隆・高山雄貴, 2次元多都市モデルにおけるレッシュの正六角形市場域の形成, *土木計画学研究・講演集 44*, 245 (CD-ROM), 査読無, 2011.
7. 高山雄貴・赤松 隆・菅澤晶子, 1次元空間における都市階層構造の形成メカニズム:多産業 Core-Periphery モデルの分岐解析, *土木計画学研究・講演集 44*, 241 (CD-ROM), 査読無, 2011.
8. 坂本賢二・池田清宏・赤松 隆・高山雄貴, 1次元線形多都市モデルにおける人口の集積と商業圏の形成に関する研究, *土木計画学研究・講演集 44*, 049 (CD-ROM), 査読無, 2011.

9. 土屋浩伸・赤松 隆・高山雄貴, 空間経済モデルによる人口規模則と産業立地階層性の創発, 土木計画学研究・講演集 44, 048 (CD-ROM), 査読無, 2011.
  10. 赤松 隆・森 知也・高山雄貴, 新経済地理学モデルにおける中心法則性の創発, 第 25 回応用地域学会・発表論文集, A4-3 (web-link), 査読無, 2011.
  11. 赤松 隆・高山雄貴・池田清宏・菅澤晶子, 1 次元多都市システムにおける人口集積パターンの分岐メカニズム, 土木学会論文集 D, Vol.66, 442-460, 査読有り, 2010.
  12. 高山雄貴・赤松 隆, Beckmann 型都心創発モデルの均衡解の一意性と安定性, 土木学会論文集 D, Vol.66, 232-245, 査読有り, 2010.
  13. 河野達仁・光谷友樹・岸昭雄・能登谷浩路, 最適な商業集積水準と交通施設整備の便益評価, 土木学会論文集 D, Vol.66, 125-136, 査読有り, 2010.
  14. 河野達仁・宮原 史・織田澤利守, 単一中心都市における住宅地の開発・再開発及び撤退の空間的立地パターン, 土木学会論文集 D, Vol. 66, 279-289, 査読有り, 2010.
  15. 高山雄貴・赤松 隆, 2 次元集積経済モデルによる Losch 型立地パターンの創発: 三角形格子状の都市モデルにおける理論的解析, 土木計画学研究・論文集, Vol.27, 109-120, 査読有り, 2010.
  16. 高山雄貴・赤松 隆, 1 次元空間における産業構造の階層化メカニズム: コミュニケーション外部性を考慮した多産業立地モデルの分岐解析, 土木計画学研究・論文集, Vol.27, 285-295, 査読有り, 2010.
  17. T. Akamatsu and Y. Takayama, "A Simplified Approach to Analyzing Multi-regional Core-Periphery Models," *EconPapers*, No.21739 (<http://econpapers.repec.org/paper/pramprapa/21739.htm>), 査読無, 2010.
  18. 小坂直裕・赤松 隆・高山 雄貴, 1 次元マルチ・スケール空間構造下での人口集積パターン, 土木計画学研究・講演集 42, 129 (CD-ROM), 査読無, 2010.
  19. 高山雄貴・赤松 隆, コミュニケーション外部性を考慮した多産業立地モデルによる階層構造の自律的形成, 土木計画学研究・講演集 42, 125 (CD-ROM), 査読無, 2010.
  20. 高山雄貴・赤松 隆, 2 次元 Core-Periphery モデルにおける人口集積・分散パターン, 土木計画学研究・講演集 41, 002 (CD-ROM), 査読無, 2010.
  21. A.Kishi, T. Kono, and T. Mitsutani, "Welfare Effect of Urban Transport Improvement through Change in Retail Store Location: Agglomeration and Dispersion," *Selected Proc. of the 12<sup>th</sup> World Conference on Transport Research*, ID 01409, 査読有り, 2010.
  22. K. K. Joshi and T. Kono, "Optimization of Floor Area Ratio Regulation in a Growing City," *Regional Science & Urban Economics*, Vol. 39, 502-511, 査読有り, 2009.
  23. 菅澤晶子・赤松 隆・高山雄貴, 多都市 Core-Periphery モデルの経済厚生分析, 土木計画学研究・論文集, Vol.26, 393-402, 査読有り, 2009.
  24. 高山雄貴・赤松 隆, Beckmann 型都心創発モデルの均衡解の一意性と安定性, 土木計画学研究・講演集 40, 231 (CD-ROM), 査読無, 2009.
  25. 赤松隆・高山雄貴・池田清宏・菅澤晶子, 1 次元多都市システムにおける人口集積パターンの創発メカニズム, 土木計画学研究・講演集 40, 228 (CD-ROM), 査読無, 2009.
- [学会発表] (計 18 件)
1. 赤松 隆・森 知也・高山雄貴, 新経済地理学モデルにおける中心法則性の創発, 第 25 回応用地域学会研究発表大会, 2011 年 12 月 4 日, 富山大学.
  2. K. Ikeda, K. Murota, T. Akamatsu and Y. Takayama, "Self-Organizing Hexagons for Core-Periphery Models: Central Place Theory and Group Theory," ARSC-2011, 2011 年 12 月 3 日, 富山大学.
  3. 秋吉一樹・池田清宏・赤松 隆・高山雄貴, 2 次元多都市モデルにおける Losch の正六角形市場域の形成, 第 44 回土木計画学研究発表会, 2011 年 11 月 27 日, 岐阜大学.
  4. 高山雄貴・赤松 隆・菅澤晶子, 1 次元空間における都市階層構造の形成メカニズム

- ム, 第 44 回土木計画学研究発表会, 2011 年 11 月 27 日, 岐阜大学.
5. 坂本賢二・池田清宏・赤松 隆・高山雄貴, 1 次元線形多都市モデルにおける人口の集積と商業圏の形成に関する研究, 第 44 回土木計画学研究発表会, 2011 年 11 月 26 日, 岐阜大学.
  6. 土屋浩伸・赤松 隆・高山雄貴, 空間経済モデルによる人口規模則と産業立地階層性の創発, 第 44 回土木計画学研究発表会, 2011 年 11 月 26 日, 岐阜大学.
  7. 高山雄貴・赤松 隆, 1 次元都市内空間における産業構造の階層化メカニズム, 第 24 回応用地域学会研究発表会, 2010 年 12 月 5 日, 名古屋大学.
  8. 高山雄貴・赤松 隆, 2 次元集積経済モデルによる Lösch 型集積パターンの創発, 第 24 回応用地域学会研究発表会, 2010 年 12 月 4 日, 名古屋大学.
  9. 赤松 隆・小坂直裕・高山雄貴, 1 次元マルチ・スケール空間構造下での人口集積パターン, 第 42 回土木計画学研究発表会, 2010 年 11 月 21 日, 山梨大学.
  10. 高山雄貴・赤松 隆, コミュニケーション外部性を考慮した多産業立地モデルによる階層構造の自律的形成, 第 42 回土木計画学研究発表会, 2010 年 11 月 21 日, 山梨大学.
  11. 高山雄貴・赤松 隆・池田清宏, 2 次元 Core-Periphery モデルによる Lösch 型集積パターンの創発, 日本経済学会 2010 年度秋季大会, 2010 年 9 月 18 日, 関西学院大学.
  12. A.Kishi, T.Kono, and T.Mitsutani, Welfare Effect of Urban Transport Improvement through Change in Retail Store Location: Agglomeration and Dispersion, 12th WCTR (World Conference on Transport Research), 2010 年 7 月 12 日, Lisbon.
  13. 高山雄貴・赤松 隆, 2 次元 Core-Periphery モデルにおける人口集積・分散パターン, 第 41 回土木計画学研究発表会, 2010 年 6 月 5 日, 名古屋工業大学.
  14. 高山雄貴・赤松 隆, 空間的競争を考慮した Beckmann 型立地モデルによる複数都心の創発, 第 23 回応用地域学会研究発表会, 2009 年 12 月 13 日, 山形大学.
  15. 織田澤利守・高山雄貴・赤松 隆・菊池麻子, 独占的競争下での消費者と企業の都市内同時立地パターン, 第 23 回応用地域学会研究発表会, 2009 年 12 月 13 日, 山形大学.
  16. 赤松隆・高山雄貴・池田清宏・菅澤晶子, 1 次元多都市システムにおける集積経済モデルの分岐メカニズム, 第 23 回応用地域学会研究発表会, 2009 年 12 月 13 日, 山形大学.
  17. 高山雄貴・赤松 隆, Beckmann 型都心創発モデルの均衡解の安定性解析, 第 40 回土木計画学研究発表会, 2009 年 11 月 23 日, 金沢大学.
  18. 赤松隆・高山雄貴・池田清宏・菅澤晶子, 1 次元多都市システムにおける人口集積パターンの創発メカニズム, 第 40 回土木計画学研究発表会, 2009 年 11 月 23 日, 金沢大学.
- ## 6. 研究組織
- (1) 研究代表者
 

赤松 隆 (Takashi AKAMATSU)  
 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
 

池田 清弘 (Kiyohiro IKEDA)  
 東北大学・大学院工学研究科・教授  
 研究者番号: 50168126

斉木 功 (Isao SAIKI)  
 東北大学・大学院工学研究科・准教授  
 研究者番号: 40292247

河野 達仁 (Tatsuhito KONO)  
 東北大学・大学院情報科学研究科・准教授  
 研究者番号: 00344713

織田澤 利守 (Toshimori OTAZAWA)  
 東北大学・大学院情報科学研究科・准教授  
 研究者番号: 30374987
  - (3) 連携研究者
 

なし