

平成 21 年 5 月 8 日現在

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2007～2008 年度

課題番号：19360227

研究課題名 (和文) 都市システムにおける経済集積・分散メカニズムに関する研究

研究課題名 (英文) Bifurcation Analysis of Agglomeration Economies in a System of Cities

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：本研究の第一の目的は、新経済地理学（空間経済学）分野で発展してきた都市集積理論を、多数の都市を扱う理論に一般化することである。そのために、まず、従来研究による 2 都市 CP (Core-Periphery) モデルを N 都市モデル ($N>2$) に拡張した。そして、その均衡解の分岐パターンおよびメカニズムを解明するための方法（群論的分岐理論と数値分岐経路追跡の併用法）を開発した。解析の結果、多数の都市が円周上に位置する CP モデルでは、輸送・交通費用の変化に伴い、“空間的な周期倍分岐” に代表される多段階の対称性破壊分岐が起こることを明らかにした。さらに、“空間的割引行列” の概念に基づいた新たな解析的アプローチも開発した。このアプローチを用いることによって、様々な集積・分散現象の具体的な仕組みが解析的に明らかにされた。本研究の第二の目的は、都市集積モデルの複数均衡選択問題に対して、現実的な原理を導入した動学モデルを構築し、その理論的な特性を明らかにすることである。本研究では、まず、経済状態の不確実性（確率動的なゆらぎ）を導入した動学モデルを構築した。そして、この確率的な状態変数の導入によって、確定的な従来モデルでは不定であった動的な均衡経路が一意的に決定されることを証明した。また、状態変数のゆらぎにともなう均衡状態の確率分布は、定常状態に収束することを示した。これらの結果から、従来研究によって主張されていた「消費者集団の期待によって、複数の均衡解間での逆転的推移が生じる」といった現象は、確率論的に無視できることを明らかにした。さらに、上記の動学的均衡モデルに加え、社会的最適状態モデルを構築した。このモデルは確率的インパルス制御問題として定式化され、変分不等式理論に基づく数値解法を開発した。系統的な数値実験により、最適制御ルールの特性、および均衡状態と社会的最適状態の相違が明らかにされた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
2008 年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
年度			
年度			
年度			
総計	7,500,000	2,250,000	9,750,000

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

土木計画分野では、広域的な社会・経済的影響を及ぼす社会基盤整備事業の評価法に関する研究が蓄積されてきた。その結果、最近では、例えば、SCGE（多地域・計算一般均衡）モデルの発展により、社会基盤をもたらす広域的な経済便益を定量的に評価できるまでになっている。しかし、既存のSCGEモデルは、生産要素の地域（都市）間移動は無いとの前提に立った短期的視野の分析法である。長期的に生じる生産要素の移動を考慮したSCGEモデルの一般的特性については、理論的にほとんど解明されていない。

その理論的困難の大きな原因は、生産要素の地域間移動を考慮した一般均衡モデルで発生する“複数均衡（均衡解が複数個存在する）問題”にある。これは、財の生産に規模の経済が働くこと（eg. 財の生産に固定費用が必要な場合）や財市場の不完全競争（eg. 財の多様性を考慮した独占的競争）を考慮した現実的モデルでは、不可避的に発生する。

複数の均衡解が存在するモデルでは、その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ことは、一般的には、非常に困難である。さらに、このようなモデルでは、社会基盤の整備や政策を表現するパラメータの変化に対して、均衡解の特性（個数・安定性等）が不連続的に変化しうる（“解の分岐（bifurcation）現象”）。そのため、ロバストな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、どの均衡解が実際に生じるのかを説明する理論が必要である。これは、“均衡選択問題”と呼ばれ、均衡解へどのように到達するのかを記述したダイナミクスに関する分析が要求される。

生産要素の地域間移動、及び、それに伴う経済活動の空間的な集積・分散現象を一般均衡理論の枠組で扱った（初期の）代表的研究としては、Krugman (1991a)の“Core-Periphery (CP) モデル”が挙げられる。これは、その後、“新経済地理学”／“空間経済学”と呼ばれる多くの研究蓄積を生み、都市経済学、地域経済学、国際経済学、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。しかし、新経済地理学分野の研究は、現状では、2都市・2産業の概念的モデルによる分析に留まっている。より一般的な（多数の都市と多様な産業を持つ）都市シ

ステムで経済活動の集積・分散パターンが、どのような条件で、どのように生じるか（ie. 均衡解分岐パターンの規則性とメカニズム）については、ほとんど未解明である。また、均衡選択問題についても、後述のように、現状では、問題解決には程遠い状態である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、大別すると2つある。まず、第一の目的は、新経済地理学 (NEG) 分野で発展してきた都市集積理論を、多数の都市・産業を扱う理論に一般化することである。より具体的には、従来研究による2都市CPモデルをN都市モデル ($N > 2$) に拡張した上で、その均衡解の分岐パターンとそのメカニズムを解明する。また、消費者の都市・産業選択行動に異質性を導入することにより、従来研究では十分に明らかにされていない様々な高次の集積・分散パターン創発（eg. 交通・通信基盤の整備や技術進展に対応する交易費用の減少に伴い、分散→集積→分散といった人口パターンの変化が現れる）メカニズムを統一的に解明する。さらに、その分析で得られた知見を基に、社会的に望ましい人口パターンへ導くための方策（eg. 社会基盤整備、地域課税政策、産業・貿易政策の方向性）を明らかにする。

第二の目的は、都市集積モデルの複数均衡選択問題に対して、現実的な原理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、経済状態の不確実性（確率動的なゆらぎ）をモデルに導入することによって、動的な均衡経路の一意性を確保した理論を構築する。また、このダイナミクスでは、消費者行動の限定合理性と学習過程を考慮し、完全予見型と近視眼型の中間的な行動原理が仮定される。さらに、このダイナミクスで選択される均衡経路の（資源配分の）効率性を把握するために、社会的に最適な集積ダイナミクスを解析し、均衡経路と最適経路の乖離、及びその改善方策を探る。

3. 研究の方法

本研究では、複数均衡解の大域的な特性を応用数学分野 (Golubitsky & Schaeffer (1985)) や応用力学系分野 (Ikeda & Murota (2002)) で

発展してきた群論的分岐理論と数値的分岐パス追跡法の併用によって解析する。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に着目した分岐解析手法も開発する。都市集積メカニズム分析に対するこのようなアプローチは、従来、全く検討されておらず、独創的である。

また、本研究で提案する均衡選択ダイナミクスは、確率的進化ゲーム理論 (Vega-Redondo (2003), Young (2004)) の最新知見及び数理ファイナンス分野での研究代表者等の成果を活用したものである。このアプローチは、従来研究では未解決であった均衡選択問題に対して、現実的な選択原理を与えるものである。また、都市集積均衡パターン選択問題に対するこのようなアプローチは、従来研究に類を見ず独創的である。

4. 研究成果

本研究の成果は、次の 3 つに大別される：

Part I : 1次元多都市システム空間における集積モデルの分岐解析法の開発とそれに基づく多都市 CP モデルの特性解明。

Part II : CP モデルの拡張・応用モデルの構築と解析。

Part III : 動学的な不確実性下での集積経済モデルの構築と解析。

以下では、査読つき発表論文①～⑧ (「5. 主な発表成果等」欄を参照) にまとめられた各研究の概要を示す。

Part I. 1次元多都市システム空間における集積モデルの分岐解析法の開発

(1) 計算分岐理論による都市の集積・分散モデルの分岐経路追跡法の提案 (論文⑧)

輸送費の変化による工業の都市集積現象のメカニズムを表現した Krugman の提案した Core-Periphery モデルは、複数の均衡解を持つことが知られている。しかし、地域 (都市) 数が 2 と 3 の場合については、その特性に関する多くの分析がなされているものの、都市数が更に増加した場合における輸送費変化による人口の空間的 (地域・都市間) 集積・分散パターンの分析に関しては十分な知見が得られていない。そこで、本論文では、まず、Krugman モデルを円周上に位置する同一の人口を持つ多都市モデルへと拡張する。そして、計算分岐理論に基づく数値解析法を提示する。系統的な数値実験により、その可

能な解を網羅的に求め、その適用可能性を明らかにする。

(2) 都市の集積分散モデルの対称性分岐破壊：群論的分岐理論によるアプローチ (論文⑥)

規模の経済と輸送費および要素移動の相互作用による都市集積現象を内生的に表現 Krugman の Core-Periphery モデルは、複数均衡解を持ち、その都市集積・分散過程は輸送費変化による分岐を伴う。しかしながら、その集積・分散過程は主に、都市数が 2 の場合しか明らかにされていない。本論文では、Core-Periphery モデルを多都市モデル、具体的には円周上に均等に位置する都市数 2^2 , 2^3 , 2^4 モデルへと拡張し、対称性を持つ系の一般論である群論的分岐理論を用いることにより、均衡解の分岐過程のメカニズムを解明する。その結果、輸送費の変化による周期倍分岐に代表される多段階の対称性破壊分岐を伴う都市の集積・分散の空間的分布の変化が明らかにされる。

(3) 一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 (論文①)

本研究は、新経済地理学 (空間経済学) の分野で開発された 2 都市 Core-Periphery (CP) モデル (Forslid and Ottaviano (2003), Pfluger (2005)) を多都市システムの枠組に拡張し、その均衡解の分岐 (少数都市への産業・人口集積) 特性を明らかにする。CP モデルに関する従来研究は、その大半が 2 都市モデルの解析に留まっている。その最大の理由は、多都市モデルで生じる分岐解析の困難さにある。この問題に対し、本論文は、(a) 空間的割引行列、(b) 離散フーリエ変換、(c) 円周都市システムの 3 つの鍵概念を組み合わせたアプローチを提示する。そして、その分析法を用いれば、多都市 CP モデルにおける分岐の基本的な仕組みは、解析的に理解可能であることが示される。さらに、計算分岐理論および群論的分岐理論に基づいた系統的な数値計算により、消費者が均質な場合と異質な場合の両ケースについて、空間的周期倍分岐や複数回の再分散現象に関する詳細な集積・分散パターンも明らかにされる。

Part II. Core-Periphery モデルの拡張/応用モデルの構築と解析

(4) 知識・技術の世代間伝達と都市集積の相互作用 (論文③)

我国における若年労働人口の減少を補うために、労働者間の知識・技術の伝達とその高度化の必要性が指摘されている。労働者間の学習効果と、それにより達成される知識・技術の伝達は、労働者の空間的配分パターンに大きく依存する。本論文は、労働者間の学習メカニズムを考慮した都市経済システムモデル (Core-Periphery モデル) を構築し、若年労働人口の減少が都市システムの人口配分パターンに与える影響を理論的に解析する。その結果、若年労働人口の減少によって、都市システム全体の人口集積が進むこと、及び、それによってシステム全体の学習効果が高まり、知識・技術水準の高度化が期待できることが明らかにされる。さらに、ある都市において若年労働者のみを誘致する政策は、その都市をかえって衰退状態に導く可能性があることが示される。

(5) 多産業都市システムにおける人口集積パターンの分岐解析 (論文②)

本論文は、多産業・多都市 Core-Periphery モデルの分岐特性を明らかにする。そのために、まず、経済地理学 (NEG) 分野で開発された Forslid and Ottaviano (2003) の 1 産業・2 都市モデルを (消費者による産業と居住都市の選択を内生化した) 多産業・多都市モデルに拡張する。そして、計算分岐理論に基づく数値実験により、モデル・パラメータと人口・産業集積パターンの関係を系統的に明らかにする。その結果、人口の多い大都市とその他の都市では、各々、代替の弾力性の小さい財生産と大きい財生産への特化が生じるといった産業・人口集積パターンの規則性が示される。

Part III : 動学的不確実性下での空間的集積経済モデルの構築と解析

(6) 不確実な経済環境における都市集積の均衡ダイナミクス (論文⑦)

本論文では、都市集積均衡パターンの選択問題に対して、不確実な経済環境下における都市間人口移動の完全予見的ダイナミクス (Perfect-Foresight Dynamics) を記述したモデルを構築し、その効率的な解法を提案する。具体的には、不確実性下における労働者の地域間移住に関する意思決定モデルを定式化し、人口移動ダイナミクスの均衡条件が非線形相補性問題 (NCP: Nonlinear Complementarity Problem) に帰着することを示す。その上で、この問題を効率的に解くための数値

計算手法の開発を行う。最後に、提案手法を用いた分析により、確率的に発生する輸送費用のサンプルパスに応じて、人口移動ダイナミクスの均衡経路が一意に決定されることが示される。

(7) 集積経済下における地域間移住 タイミング 選択の均衡ダイナミクス (論文⑤)

本論文では、従来研究の確定論的な枠組みでは未解決であった都市集積モデルの均衡選択問題に対し、確率論的な枠組みでの完全予見的ダイナミクスを導入した新しい均衡選択原理を提案する。具体的には、経済環境に不確実性 (確率動的なゆらぎ) が存在する下で、将来起こりうるすべて状況を確率的に織り込んだ労働者の地域間移住に関する意思決定モデルを定式化し、地域間移住ダイナミクスの均衡経路が確率的に実現するサンプルパスに応じて一意に決定されることを明らかにする。また、従来研究における解の不定性は確定論的な枠組みのみで必要な仮定に依存した結果であることを指摘し、提案モデルの均衡選択原理が頑健的であることを示す。さらに、長期的に実現する都市の集積・分散パターンが輸送費用のみに依存して決定されることを明らかにする。

(8) 経済環境の不確実性をともなう Core-Periphery モデルにおける社会的最適資源配分 (論文④)

本論文は、地域間移住を考慮した 2 地域モデルにおいて、不確実な経済環境下での社会的最適資源 (DSO: Dynamic Social Optimal) 配分状態を明らかにし、それに基づき厚生分析を行う。新経済地理学モデルにおける厚生分析は、静学的な枠組みを用いた既存研究は散見されるものの、地域間移住ダイナミクスを考慮した動学的な枠組みでは行われていない。本論文では、地域間人口配分の DSO 状態を求め、それに基づく最適制御ルールを導出する。その上で、財輸送費用の不確実性の度合いや移住費用などパラメータの変化が DSO 配分状態に及ぼす影響を明らかにする。さらに、動学的な均衡モデルと比較し、経済厚生改善をもたらす政策のあり方について検討する。

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（査読有り論文のみ）〕（計8件）

- ① 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, 査読有, 2009.
- ② 笠原衣織, 赤松隆, “多産業都市システムにおける人口集積パターンの分岐解析,” 都市計画論文集, 査読有, No.43, pp.109-114, 2008.
- ③ 佐藤慎太郎, 赤松隆, “知識・技術の世代間伝達と都市集積の相互作用,” 土木学会論文集, 査読有, No.64, pp.239-251, 2008
- ④ 織田澤利守, 赤松隆, 山崎周一, “経済環境の不確実性を伴うCore-Peripheryモデルにおける社会的最適資源配分,” 土木計画学研究・論文集, 査読有, No.25, pp.245-254, 2008.
- ⑤ 織田澤利守, 赤松隆, “集積経済下における地域間移住タイミング選択の均衡ダイナミクス,” 土木学会論文集, 査読有, No.63, pp.567-578, 2007.
- ⑥ 池田清宏, 河野達仁, 赤松隆, 柳本彰仁, 八巻俊二, “都市の集積・分散モデルの対称性破壊分岐: 群論的分岐理論によるアプローチ,” 土木学会論文集, 査読有, No.63, pp.553-566, 2007.
- ⑦ 織田澤利守, 赤松隆, “不確実な経済環境における都市集積の均衡ダイナミクス: 非線形相補性アプローチ,” 土木計画学研究・論文集, 査読有, No.24, pp.197-206, 2007.
- ⑧ 柳本彰仁, 池田清宏, 赤松隆, 河野達仁, “計算分岐理論による都市の集積・分散モデルの分岐経路追跡法の提案,” 土木計画学研究・論文集, 査読有, No.24, pp.191-196. 2007.

〔学会発表〕（計8件）

- ① 菅澤晶子, 赤松隆, “多都市・多産業Core-Peripheryモデルにおける集積・分散パターン,” 第43回日本都市計画学会 学術研究論文発表会, 2008年11月8日, 北海道大学.
- ② 高山雄貴, 赤松隆, 笠原衣織, “多産業経済における都市システムの階層構造の自律的形成,” 第38回土木計画学研究発表会, 2008年11月1日, 和歌山大学.
- ③ 菅澤晶子, 赤松隆, “多様な消費

者から成る都市システムにおける人口集積分散パターン,” 第38回土木計画学研究発表会, 2008年11月1日, 和歌山大学.

- ④ 八巻俊二, 柴崎晃, 池田清宏, 赤松隆, 河野達仁, “多都市モデルでの集積・分散とその分岐解析に関する研究,” 第63回土木学会 年次学術講演会, 2008年9月10日, 東北大学.
- ⑤ 佐藤慎太郎, 赤松隆, “知識・技術の世代間伝達と都市集積,” 第21回応用地域学会研究発表会, 2007年12月8日, 鳥取大学.
- ⑥ 山崎周一, 赤松隆, 織田澤利守, “経済環境の不確実性を伴うCore-Peripheryモデルにおける社会的最適資源配分,” 第35回土木計画学研究発表会, 2007年6月10日, 九州大学.
- ⑦ 佐藤慎太郎, 赤松隆, “若年人口減少下での都市集積と知識・技術の世代間伝達,” 第35回土木計画学研究発表会, 2007年6月10日, 九州大学.
- ⑧ 織田澤利守, 赤松隆, “集積経済下における地域間移住タイミング選択の均衡ダイナミクス,” 日本応用経済学会・2007年度春季大会, 2007年6月9日, 長崎大学.

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

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