

# 多都市Core-Peripheryモデルの経済厚生分析\*

## A welfare analysis of the Core-Periphery model with multiple cities\*

菅澤晶子\*\*・赤松隆\*\*\*・高山雄貴\*\*\*\*

By Akiko SUGASAWA\*\*・Takashi AKAMATSU\*\*\*・Yuki TAKAYAMA\*\*\*\*

### 1. はじめに

近年、交通通信技術の飛躍的な発展に伴い、人・物・情報の流通コストが低下し、我々を取り巻く経済システムは、大きな変革の時代を迎えている。BRICs諸国へのアウトソーシングが増加し、先進国の仕事が次々に奪われていることは、その代表的な例である。また、流通コストの低下によってもたらされたグローバル化の力は、人々の住み働く場所に対する選択肢を、地球規模へと広げている。その結果、国・地域を跨いだ労働者の移動と、それに伴う産業の移動が活発化している。このような社会経済を取り巻く環境の中で、政府が社会的に望ましい状態を実現するためには、輸送費用の低下を考慮した、産業・労働者の集積分散現象の規則性を知ることが必要不可欠である。

Krugmanら<sup>1)</sup>に始まる新経済地理学[New Economic Geography (NEG)]は、労働者の地域移動、及び、それに伴う経済活動の空間的な集積分散現象を、一般均衡理論として扱った研究分野である。この新経済地理学の代表的モデルであるCore-Periphery (CP)モデルは、輸送費用の低下によって、人口の集積現象が導かれることを説明している。その後、CPモデルは、その扱いやすさと示唆に富んだ結果から、さまざまな発展的研究が蓄積されてきた<sup>2) 3) 4)</sup>。しかし、既存研究には、大きな問題が存在する。それは、新経済地理学において経済厚生分析がほとんど取り扱われていないという点である。CPモデルは集積現象によって地域間格差を表現可能であるため、経済厚生分析は有益なインプリケーションを与えると考えられるが、社会的最適状態の一般的特性は未だに解明されていない。数少ない厚生分析を行う研究として

Pflüger & Südekum<sup>5)</sup> やTabuchi & Thisse<sup>6)</sup> が挙げられる。

本研究の貢献は以下の四点である。第一点目は、多都市モデルにおいて均衡状態と社会的最適状態を比較し、厚生分析を行った点である。一見、2都市モデルで得られた結果は頑健的であるように感じる。しかし、2都市モデルは変数が一つ、かつ、都市間の経路が一本のみで、解析が容易である反面、空間的距離や配置パターンを一切表現不可能という大きな欠点を持つ。このような理由から、Behrens & Thisse<sup>7)</sup> やFujita & Thisse<sup>8)</sup> においても主張されているように、2都市システムでの性質が、多都市システムにおいてもすぐさま適用できるかは自明ではない。したがって、多都市モデルで厚生分析を行った本論文の結果は、すべてが新規の事実といえる。第二点目として、均衡状態と社会的最適状態の都市別効用比や労働者別効用比など、様々な指標から厚生分析を行った点が挙げられる。従来研究では、主に効率性、すなわち、均衡状態と比較して社会的最適状態において総効用がどれだけ変化したか、という観点からしか分析が行われてこなかった。そこで、本論文では、より詳細に都市別、労働者別に比較し、社会的最適状態において効率性は高くないが、結果的に公平性が改善されることを明らかにした。第三点目の貢献は、労働者の異質性を考慮し、“再分散”を確認した点が挙げられる。Pflüger & Südekum<sup>5)</sup> の“再分散”は土地市場を導入したことによる分散力に起因している。本論文で仮定した労働者の異質性は、都市の分散力として“再分散”を引き起こし、土地市場と同様の効果をもたらすことを明らかにした。最後に、第四点目は、社会的最適状態への代表的誘導策であるピグー税の限界を明らかにした点である。ピグー税は、これまで理論的に必ず社会的最適状態へ誘導できると考えられてきた。しかし、本研究で系統的に均衡状態と社会的最適状態を比較した結果、解が複数均衡を持つ場合、ピグー税が必ずしも均衡状態を社会的最適状態へ誘導できないことが分かった（この問題は、新地理経済学に留まらず、複数均衡を扱う全ての分野に当てはまる）。このピグー税の新たな課題は、従来研究で全くと言っていいほど指摘されていない。したがって、今後は社会的最適状態への誘導策の一般理論を構築することが課題と言える。

\*キーワード：人口分布、国土計画、産業立地、地域計画

\*\*学生員、東北大学大学院情報科学研究科 博士前期課程

(仙台市青葉区荒巻青葉6-6,

TEL022-795-7507, FAX022-795-7505)

\*\*\* 正員、工博、東北大学大学院教授 情報科学研究科

(同上)

\*\*\*\*学生員、東北大学大学院情報科学研究科 博士後期課程

(同上)

本研究の目的は、多都市システムにおける Core-Periphery モデルの“市場均衡”と“社会的最適状態”の人口配分パターンを求め、均衡状態と社会的最適状態の定性的な挙動を明らかにすることである。そのために、第 2 章から第 4 章で多都市システムの一般均衡モデルを構築する。具体的には、第 2 章ではモデルの枠組み、第 3 章で短期的に定まる経済均衡を示す。次に、第 4 章で都市選択の異質性を考慮した市場均衡状態と社会的最適状態における各都市の人口シェアを定式化する。さらに、第 5 章において、池田ら<sup>9)</sup>によって開発された計算アルゴリズムを用いて、輸送費用が低下する局面における市場均衡と社会的最適の人口配分パターンを求め、定性的な違いを明らかにする。第 6 章では、経済厚生レベルに着目し、効率性と公平性の観点から、社会的最適状態を評価する。最後に第 7 章で本論文のまとめを示す。

## 2. モデルの枠組み

### (1) 枠組み

本論文では、Pflüger<sup>10)</sup>が提案した2都市における一般均衡理論を、多都市の枠組みに拡張し、労働者の都市選択の選好に異質性を組み込む。以下では、均衡条件の定式化を簡単に紹介する。ただし、解析結果の考察に重きを置いているため、詳しい定式化は赤松ら<sup>11)</sup>を参照されたい。

本モデルの枠組みは、i) 第 3 章で示す“短期的に定まる経済均衡”と、ii) 第 4 章で示す“長期的に定まる人口配分モデル”に分けることができる。ただし、第 4 章で示す人口配分モデルについては、市場均衡と社会的最適状態のそれぞれの状態を定式化する。具体的な枠組みは、短期的な均衡によって各都市の間接効用が定まり、長期的に労働者が間接効用を基に都市選択行動を行うことで各都市の人口が均衡する。一方、社会的最適状態では、総余剰を最大化するよう人口配分が決定される。

### (2) 経済環境の設定

#### a) 都市システムの仮定

離散的な  $n$  個の都市が交通ネットワークで結ばれた都市システムを想定する。この都市システムには、二つの生産部門が存在し、一つは、収穫逡増の技術を持つ企業が独占的競争を行う工業部門であり、もう一つは、収穫一定の技術を持つ企業が完全競争を行う農業部門である。またある都市で生産された工業財は交通ネットワークを通じて他の都市へ輸送することで、他の都市でも消費可能である。

#### b) 労働者の分類

この都市システムには、 $N$  人の経済主体が存在して

いる。彼らは一労働者であり、一消費者でもある。また、労働者は技術・知識水準に応じて skilled labor と unskilled labor の 2 種類に分類される。skilled labor は、高度な技術を持ち、働く都市の選択が可能である。これに対して、unskilled labor は、高度な技術を持たず、働く都市の選択が不可能であり、各都市に一樣に分布していると仮定する。ここで、skilled labor が都市システムの総人口に占める割合を  $e$  とすると、skilled labor の人口は  $eN$  人、unskilled labor の人口は  $(1-e)N$  人である。さらに、都市  $i \in [1, \dots, n]$  に従事する skilled の労働者人口を  $h_i$ 、unskilled の労働者人口を  $l = (1-e)N/n$  とする。

## 3. 短期的な経済均衡状態の定式化

### (1) 財の生産と輸送費用

この経済には、完全競争的な農業部門  $A$  と独占競争的な工業部門  $M$  が存在する。農業部門  $A$  は、収穫不変の技術により、unskilled labor を生産要素として 1 種類の同質な財  $A$  を生産する。従って、限界費用原理から、財  $A$  の価格  $p_i^A$  は、unskilled labor への賃金  $w_i^l$  に等しくなる。また、財  $A$  に輸送費用はかからず、どの都市でも無差別に消費可能であるため、すべての都市における財  $A$  の価格  $p_i^A$  は等しい。

一方、部門  $M$  は、収穫逡増の技術により、差別化された財  $M$  を生産する。より具体的には、都市  $i$  で種類  $k$  の財  $M$  を  $x_i$  単位生産するために、skilled labor を  $\alpha$  単位と unskilled labor を  $\beta x_i$  単位生産要素として投入する。従って、財  $M$  の生産費用関数  $C(x_i(k))$  は、次のように与えられる：

$$C(x_i(k)) = \alpha w_i + \beta x_i(k) w_i^l. \quad (1)$$

ここで、 $w_i$  は都市  $i$  に居住する skilled labor への支払い賃金である。この費用関数  $C(x_i(k))$  を前提として、部門  $M$  の企業は独占的価格競争により、利潤を最大化するように価格  $p_{ji}(k)$  を決定する：

$$\max_{\{p_{ji}(k)\}} \pi_i(k) = \sum_j p_{ji}(k) \cdot d_{ji}(k) - C(x_i(k)). \quad (2)$$

ここで、 $d_{ji}(k)$  は、都市  $i$  で生産され都市  $j$  で消費される財  $k$  への需要量であり、 $p_{ji}(k)$  は都市  $i$  で生産され、都市  $j$  で消費される財  $k$  の送達価格である。需要関数は、後述する消費行動との均衡により内生的に定まる：

$$d_{ji}(k) = \mu \frac{[p_{ji}(k)]^\sigma}{R_j^{1-\sigma}}. \quad (3)$$

ただし、 $\mu$  は後ほど示す消費者行動に含まれる財  $M$  の支出割合を表すパラメータである。また、都市  $j$  の物価水準  $R_j$  は、次式で与えられる。

$$R_j(\mathbf{h}) = \frac{\beta\sigma}{\alpha(\sigma-1)} \left[ \sum_k h_k \tau_{kj}^{1-\sigma} \right]^{1/(1-\sigma)} \quad (4)$$

ここで、財  $M$  の輸送費用は、氷解費用の形をとり、都市  $i, j \in [1, \dots, n]$  間で 1 単位の財が輸送されると、 $1/\tau_{ij}$  だけ到達すると仮定する。従って、財  $M$  の都市間輸送においては、各都市の供給量と需要量を明示的に区別して扱う必要があることに注意しよう。

## (2) 消費者行動

都市  $i$  の各労働者は、所得制約  $Y_i$  のもとで、準線形型の効用  $U_i(M_i, A_i)$  を最大化するように、差別化財  $M_i$  と同質財  $A_i$  を消費する：

$$\max_{\{M_i, A_i\}} U_i(M_i, A_i) = \mu \ln M_i + A_i. \quad (5a)$$

$$s.t. \quad p_i^A A_i + \sum_j \int_{k \in n_j} p_{ij}(k) d_{ij}(k) dk = Y_i. \quad (5b)$$

ここで、 $\mu > 0$  は財  $M$  の支出割合を表すパラメータであり、 $n_j$  は都市  $j$  で生産された財の種類を表す。また、消費量  $M_i$  は、差別化された財  $k \in n_i$  の消費量  $d_{ij}(k)$  を、代替の弾力性  $\sigma > 1$  を用いて集計した CES 型関数である：

$$M_i \equiv \left[ \sum_j \int_{k \in n_j} d_{ij}(k)^{(\sigma-1)/\sigma} dk \right]^{\sigma/(\sigma-1)}. \quad (6)$$

予算制約式(5b)において、 $p^A=1$  は農業財の価格であり、ニューメレールとして採用する。一方、 $p_{ij}(k)$  は、差別化された工業財  $k$  の価格であり、財の需給均衡条件から内生的に定まる。

## (3) 短期均衡状態

以上の定式化により、skilled labor が移動できないような短時間で定まる経済システムの状態を“短期均衡”と呼ぼう。各都市の人口配分パターン  $\mathbf{h} = [h_1, h_2, \dots, h_n]^T$  を与件とすると、短期均衡下では、財価格、生産量等の諸変数が均衡し、各都市の skilled labor への賃金が定まる：

$$w_i(\mathbf{h}) = \frac{\mu}{\sigma} \sum_j \left( \frac{(h_j + l) \tau_{ji}^{1-\sigma}}{\sum_k h_k \tau_{kj}^{1-\sigma}} \right). \quad (7)$$

この賃金が求まることによって、各都市の skilled labor の間接効用関数  $V_i(\mathbf{h})$  が人口変数  $\mathbf{h}$  の陽関数として求まる：

$$V_i(\mathbf{h}) = \mu(\ln \mu - \ln R_i - 1) + w_i. \quad (8)$$

## 4. 人口配分モデルの定式化

### (1) 均衡状態における都市選択

#### a) 長期的な労働者の都市選択均衡

長期的には、skilled labor は、自らの得る効用を最大化するように、都市の選択を行うことができる。skilled labor の都市の選択及び移住行動が、長期的に落ち着く状態を“長期均衡”と呼ぼう。

ここで、彼らの都市選択に対する選好に異質性を仮定し、知覚する効用には主観的効用  $\varepsilon_i$  が含まれるとする：

$$\bar{V}_i(\mathbf{h}) = V_i(\mathbf{h}) + \varepsilon_i. \quad (9)$$

上式の主観的効用  $\varepsilon_i$  は集団全体で互いに独立で同一の Weibull 分布に従う。このとき、都市  $i$  に居住する skilled labor の人口シェア  $P_i$  は次の Logit 型の選択確率で与えられる：

$$P_i(\mathbf{h}) = \frac{\exp(\bar{V}_i(\mathbf{h})\theta)}{\sum_j \exp(\bar{V}_j(\mathbf{h})\theta)} \quad \forall i. \quad (10)$$

ここで、 $\theta_h \in (0, \infty)$  は都市選択に関する skilled labor の選好のばらつきを表す分散パラメータである。従って、都市  $i$  の skilled 人口  $h_i$  を決める均衡条件式は、次のような不動点問題として表現できる：

$$h_i = eNP_i(\mathbf{h}) \quad \forall i. \quad (11)$$

### b) 安定性の議論

以上で定式化した一般均衡モデルを解くことで、均衡解を求めることができる。わずかな都市数を扱う既存研究<sup>1)2)3)4)</sup>でも知られている通り、CPモデルには一般に安定・不安定な均衡が複数存在しており、均衡人口配分が意味を持つためには、求めた均衡解の安定性を吟味する必要がある。そのために、 $\mathbf{P}(\mathbf{h}) = [P_1(\mathbf{h}), P_2(\mathbf{h}), \dots, P_n(\mathbf{h})]^T$  とし、均衡人口配分  $\mathbf{h}$  に対して以下のような人口移動ダイナミクス：

$$\dot{\mathbf{h}} = \mathbf{F}(\mathbf{h}) = eN\mathbf{P}(\mathbf{h}) - \mathbf{h} \quad (12)$$

を仮定する。均衡解  $\mathbf{h}^*$  においては、長期的にダイナミクスがゼロになる、すなわち  $\mathbf{F}(\mathbf{h}^*) = \mathbf{0}$  が満たされる。本論文では、この均衡点  $\mathbf{h}^*$  の中からさらに局所安定な (i.e. 均衡点に摂動  $\delta$  を与えても元の均衡解へ戻るような) 解を抽出して示すこととする。具体的には、まず均衡解の近傍  $\mathbf{h}^* + \delta$  でダイナミクスを線形近似する：

$$\mathbf{F}(\mathbf{h}^* + \delta) \approx \mathbf{F}(\mathbf{h}^*) + \nabla \mathbf{F}(\mathbf{h}^*) \cdot \delta = \nabla \mathbf{F}(\mathbf{h}^*) \cdot \delta. \quad (13)$$

ここで、 $\nabla \mathbf{F}(\mathbf{h}^*)$  はベクトル関数  $\mathbf{F}(\mathbf{h})$  の Jacobi 行列であり、 $\mathbf{h} = \mathbf{h}^*$  における定数行列である。この微分方程式を解くと、

$$\delta(t) = \exp[t\mathbf{A}]\mathbf{h}^* = \mathbf{Q} \exp[t\mathbf{A}]\mathbf{Q}^{-1}\mathbf{h}^* \quad (14)$$

が得られる。ここで、 $\mathbf{A}$  は行列  $\mathbf{A}$  の固有値を対角要素として持つ行列であり、 $\mathbf{Q}$  はその固有値に対応した固有ベクトルからなる行列である。式(14)より、行列  $\mathbf{A}$  の固有値の実部が負であれば、 $\lim_{t \rightarrow \infty} \delta(t) = 0$  となり、

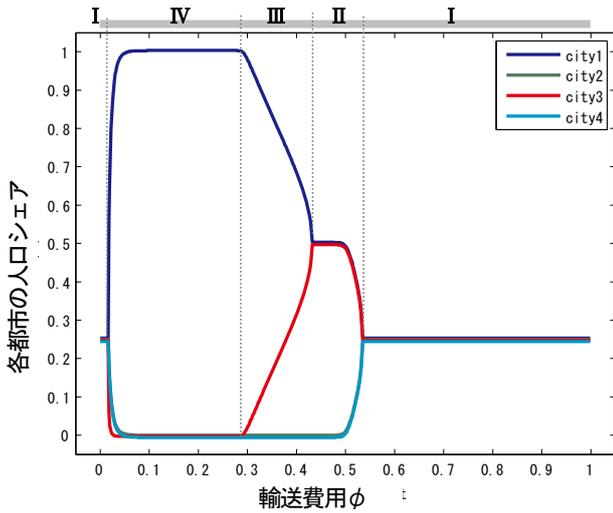


図-1 均衡人口配分

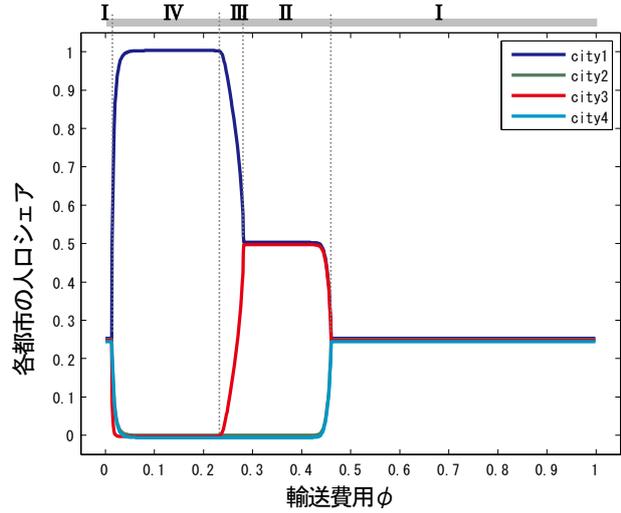


図-3 社会的最適人口配分

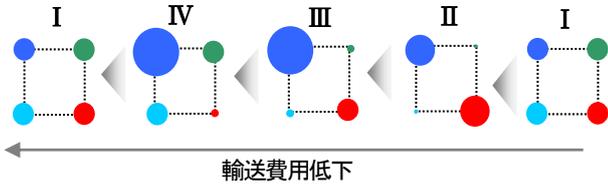


図-2 人口配分パターンの推移

その結果均衡解  $\mathbf{h}^*$  は漸近安定となる. このように, ある均衡解  $\mathbf{h}^*$  における人口ダイナミクス  $\mathbf{F}(\mathbf{h})$  の安定性は, Jacobi行列の固有値実部の値によって判定でき, 固有値実部が負の場合の解を均衡解として示す.

### c) 均衡解の導出

CPモデルは既存研究<sup>1)2)3)4)</sup>にある通り, 輸送費用の変化に伴い, 均衡解が分岐することが知られている. これまでは, 分岐解析の困難さが障害となり, 大半の従来研究で2都市システムしか扱われてこなかった. しかし, 現在赤松ら<sup>11)</sup>によって理論的に均衡解の分岐特性を明らかにする解析手法が提案されている(理論的解析手法の詳細については, 赤松ら<sup>11)</sup>を参照). 本論文では, 赤松らの研究から得られた多都市システムの人口分岐パターンの定性的な分類を基に, 数値実験を行う. また, 数値実験で均衡解を求める際には, 群論的分岐理論と計算分岐理論を適切に組み合わせた計算アルゴリズムを採用する(分岐解析手法の詳細は, 池田ら<sup>9)</sup>, 柳本ら<sup>12)</sup>参照).

### (2) 社会的最適状態における人口配分

社会的総効用(都市システムにおける全労働者の効用を足し合わせたもの)を最大化する人口配分を求める:

$$\max_{h_i} \sum_i h_i V_i(\mathbf{h}) - \frac{1}{\theta} \sum_i h_i \ln \frac{h_i}{H} + l \sum_i V_i^L(\mathbf{h}), \quad (15a)$$

$$s.t. \quad h_i > 0 \forall i, \quad \sum_i h_i = H. \quad (15b)$$

ここで, 総効用は消費者余剰の総和を表しており,

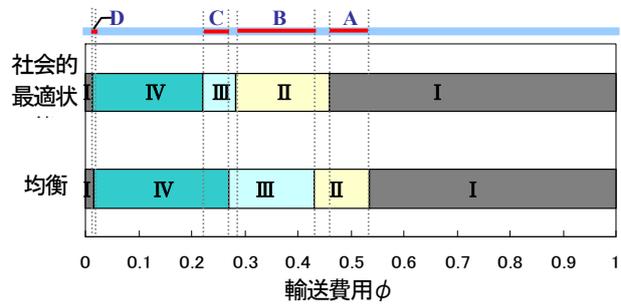


図-4 均衡状態と社会的最適状態の比較

skilled laborの確定的な間接効用  $V_i(\mathbf{h})$  の総和である第一項, 主観的効用  $\varepsilon_i$  の総和を意味する第二項, unskilled laborの間接効用  $V_i^L(\mathbf{h})$  の総和である第三項によって成り立っている. 第二項目がエントロピー関数として導出される過程は Williams<sup>13)</sup>を参照されたい. このとき, 都市  $i$  における skilled labor の人口シェア  $h_i$  を決める最適性条件式は, 次のように与えられる:

$$h_i = H \frac{\exp((V_i + \delta_i)\theta)}{\sum_j \exp((V_j + \delta_j)\theta)} \quad \forall i. \quad (16a)$$

$$where \quad \delta_i = \sum_j h_j \frac{\partial V_j}{\partial h_i} + l \sum_j \frac{\partial V_j^L}{\partial h_i}. \quad (16b)$$

この条件式(16a), (16b)を解くことによって求めた極大点のうち, 総余剰(15a)が最大となる解を社会的最適状態の解とする.

### 5. 均衡と社会的最適状態

本章では, 求めた均衡解と社会的最適解を比較し, 厚生分析を行うこととする. ただし, 各状態において, 赤松ら<sup>11)</sup>が理論的に求めた均衡分岐パターンの分類の中で, 最も典型的な“周期倍分岐パターン”を基に, 数値実験によって求めた解を用いることとする.

#### (1) 均衡人口配分

円周上に4都市が均等に配置された都市システムを仮定し、輸送費用を変化させた場合の典型的な均衡解を示す。都市システムに関するパラメータを  $\mu = 5.0$ ,  $\sigma = 2.5$ ,  $\alpha = 1.0$ ,  $\beta = 1.0$ ,  $e = 0.2$ ,  $N = 400$  とし、労働者サイドのパラメータを  $\theta = 10.0$  と設定する。このとき、市場の均衡によって決定した人口配分の分岐パターンを図-1に示す。ここで、図の横軸は  $\phi = 1 - 1/(1 + \tau)$  であり、1から $\infty$ となる氷解輸送費用  $\tau$  を 0 から 1 に縮約して表現している。また、縦軸は各都市の skilled labor の人口割合を表しており、線の色は凡例に示す都市と対応している。

図-1より、人口配分の分岐パターンは四つの人口配分パターンの変遷となることが分かる。この変遷を模式図で表したのが図-2である。輸送費用が高いときは4都市に人口が均等に配分されている（パターンI）が、輸送費用が低下するにつれて、対角2都市へ人口が集積する（パターンII）。さらに輸送費用が低下すると、1都市へ人口が集積し（パターンIII）、最大都市の対角に位置する都市が衰退する（パターンIV）。最後は再び4都市へ人口が分散する（パターンI）。

この分岐パターンは、i) 周期倍分岐である、ii) 輸送費用が低下すると再分散する、iii) 人口の逆転現象がおきるという三つの特徴づけを行うことができる。周期倍分岐は構造系や生態系などの分岐構造を持つ系において頻繁に観察される現象であり、本稿の設定においても、分岐構造を持つ特徴が現れたといえる。ただし、周期倍分岐は都市システムの対象性が十分高い場合に観察されており、特殊な対称性崩壊の過程として現れたと考えられる。また、従来のCPモデルでは観察されていない再分散現象は、消費者の異質性を考慮したことによって発現したと考えられる。なぜなら都市選択の異質性によって、消費者は効用差への反応が鈍くなるためである。消費者は輸送費用の低い領域における都市の微々たる効用差に反応しなくなったといえる。最後に、パターンIIで最大だった都市が、パターンIVで最小の都市となり、人口の逆転現象が観察されている。これは消費者の異質性の影響によって観察されるようになった人口配分パターンである。効用差への反応が確定的ではないため、効用が最大の都市だけでなく他の都市にも労働者が居住しており、実際の効用の大小関係に比例した人口配分が現れているといえる。

## (2) 社会的最適状態人口配分

均衡人口配分を求めた場合と同じパラメータ設定における円周4都市の社会的最適状態人口配分を示す。

社会的最適状態とは、ソーシャルプランナーによって都市システム全体の効用が最大化されている状態である。

このときの人口配分の分岐パターンは図-3であり、均衡状態の場合と同様に、横軸が輸送費用  $\phi$ 、縦軸が skilled labor の人口割合を表している。この図から、社会的最適状態の人口配分パターンの変化は、均衡状態と全く同様であることがわかる。すなわち分散→2都市集積→1都市集積→再分散となっている。

同一輸送費用軸上で、均衡状態と社会的最適状態を比較し、どのような違いがあるのかを明らかにしよう。図-4は横軸を輸送費用  $\phi$  とし、棒グラフ上に均衡状態と社会的最適状態の人口配分パターンを示したものである。この図から、均衡状態において、i) 集積し、再び分散し始めるまでの過程は過剰集積、また、図から読み取りにくいのが、再分散し始めたあとの過程は過少集積であることが分かる。また、ii) 均衡状態のほうが分散から集積へと移行する区間が長い、すなわち、パターンIIIの区間が比較的長いといえる。

輸送費用のA, B, C, D 区間を取り出し、具体的に均衡状態と社会的最適状態の人口配分パターンが変化する輸送費用を比較しよう。分散（パターンI）から2都市集積（パターンII）へ分岐する輸送費用は、均衡状態の方が区間A分だけ高い。また、1都市集積（パターンIV）が始まる輸送費用は、均衡状態の方が区間C分だけ高い。さらに、区間Bでは、均衡状態が2都市集積（パターンII）から1都市集積へ移行段階にあるのに対し（パターンIII）、社会的最適状態は2都市集積（パターンII）のままである。したがって、区間A, B, Cにおいては均衡状態が過剰集積している。一方、区間Dではわずかではあるが、均衡状態では分散（パターンI）であるのに対し、社会的最適状態は1都市集積（パターンIV）のままである。したがって区間Aでは均衡状態は過少集積している。

次に、各人口配分パターンが実現している輸送領域の広さを観察する。図-1と図-3の比較から、分散から2都市集積、2都市集積から1都市集積へ移行する輸送費用領域は、社会的最適状態のほうが狭いといえる。したがって、最適政策を実行する場合には、輸送費用を見極めて一気に集積させることが望ましいという結果が得られた。

この傾向は既存研究の Pflüger & Südekum<sup>5)</sup> と整合的である。ただし、彼らは Pflüger<sup>10)</sup> の2都市モデルのみを扱っている、また、解析的に集積する輸送費用を比較しているため、均衡状態と社会的最適状態における2都市集積から4都市集積へ移行する段階の複雑な人口配分パターンの違いや、各人口配分パターンが実現する領域の広さに関する議論はされていない。したがって、本論文では、CPモデルにおける均衡状態と社会的最適状態の人口配分パターンの違いに関する一般的特性を得ることができた。

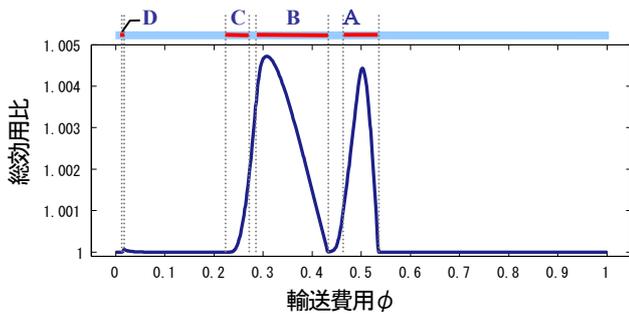


図-5 均衡状態と社会的最適状態の総効用比

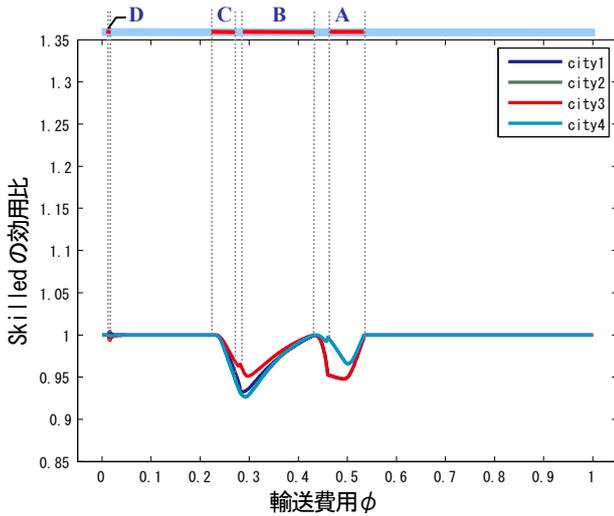


図-6 均衡状態と社会的最適状態における skilled labor 効用比

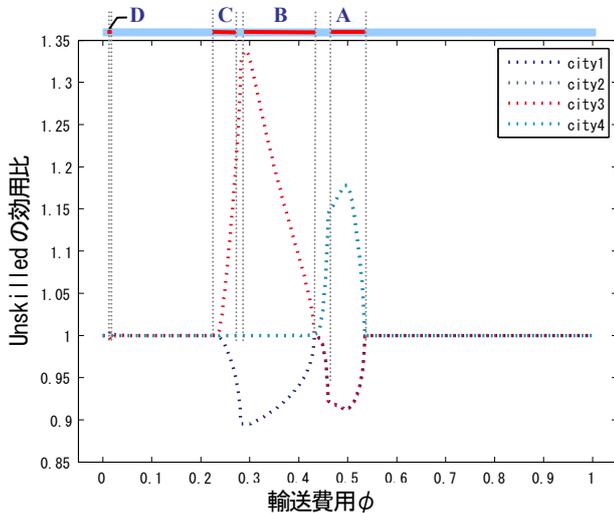


図-7 均衡状態と社会的最適状態における unskilled labor 効用比

## 6. 社会的最適状態の厚生分析

### (1) 社会的最適状態の効率性

効率性の観点から、社会的最適状態の効用が、均衡状態の効用と比べてどのような違いがあるのか分析しよう。図-5は、横軸を輸送費用とし縦軸に総効用比を示

したものである。ただし、総効用比は次のように定義する：

$$\text{総効用比} = \frac{\text{社会的最適状態の総効用}}{\text{均衡状態の総効用}}$$

この図から、i) 人口配分パターンが異なる場合に比較的効用比が大きい、また、やや驚くことに、ii) 社会的最適状態と均衡状態の総効用の絶対値は大きな差がないことがわかる。

図-5より、効用比が比較的大きい輸送費用領域は、 $\phi=0.24\sim 0.53$ である。この輸送費用領域は、区間A, B, C (区間A, B, C, Dは図-4で定義した輸送費用区間)を含んでおり、この区間A, B, Cは均衡状態と社会的最適状態の人口配分パターンが異なる輸送費用となっている。したがって、均衡状態と社会的最適状態の効用比すなわち効用の違いは、人口配分パターンの違いに起因すると考えられる。

次に効用比の大きさに注目すると、最も小さい比で1.0000、最も大きい比で1.0045である。したがって、社会的最適状態と均衡状態の効用にそれほど大きな差があるとはいえない。これは、unskilled laborの存在が影響している。ここで、各状態のskilled laborの効用比、unskilled laborの効用比を

$$\text{skilled labor 効用比} = \frac{\text{社会的最適状態の skilled labor 一人当たり効用}}{\text{均衡状態の skilled labor 一人当たり効用}}$$

$$\text{unskilled labor 効用比} = \frac{\text{社会的最適状態の unskilled labor 一人当たり効用}}{\text{均衡状態の unskilled labor 一人当たり効用}}$$

と定義し、それぞれ図-6、図-7に図示する。ただし、これらの図の縦軸は各労働者の効用比、横軸は輸送費用 $\phi$ を表しており、区間A~Dは図-4と対応している。これらの図から、過剰集積区間では、社会的最適状態において、小都市 (skilled laborが比較的集積していない都市) に居住する unskilled laborの効用のみ増加し、その他全ての労働者の効用が減少することが分かる。なぜなら、図-6の skilled labor 効用比は都市に関わらず1より小さいためである。また、図-7の unskilled labor 効用比に関しては、小都市における効用比が1より大きく、大都市 (skilled laborが比較的集積している都市) における効用比が1より小さい。これは、各労働者の効用水準が変化するメカニズムが異なることに起因する。本モデルでは、unskilled laborの効用水準は、都市の人口が多いほど価格指数が減少し、効用が増加するというメカニズムによって変化する；一方、skilled laborの効用水準は、集積すると競争原理によって賃金が低下して効用が減少する“賃金低下効果”と、集積の経済によって都市内の価格指数が低下して効用が増加する“価格指数効果”が相殺し、効用が変化しにくいメカニズムが

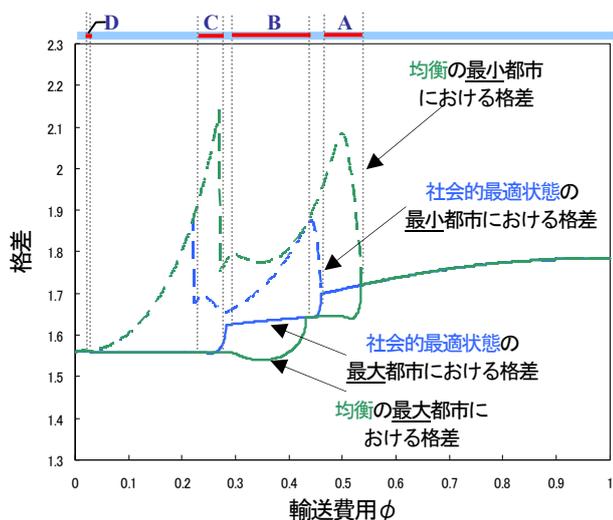


図-8 均衡と社会的最適状態における労働者格差

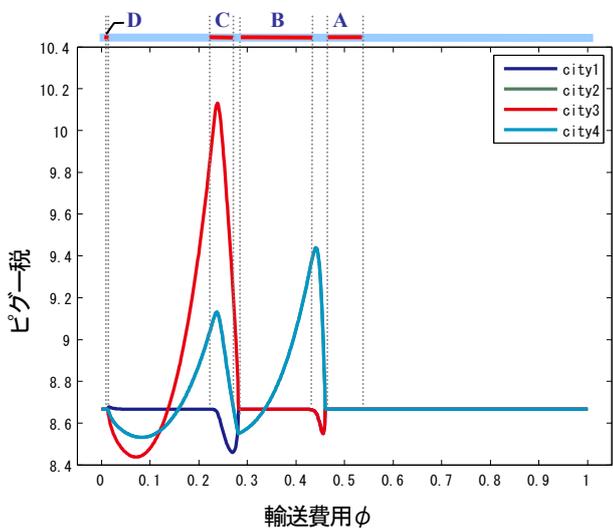


図-9 ピグー税

ある。したがって、小都市のunskilled laborの効用のみ増加するのは、均衡状態と比べ、社会的最適状態における人口が比較的分散しており、小都市の人口が増加するためだと考えられる。

社会的最適状態は、skilled labor が過度に集積すると、大都市の unskilled labor の効用は増加するが、小都市の unskilled labor の効用低下が激しくなる、というトレードオフ関係によって決まる。したがって、効率性の面で、均衡状態と大きな差が生まれなかった理由は、これら二つの効果が相殺し総効用に大きな変化が現れなかったためだと考えられる。また、この結果から、社会的最適状態においては、総効用が増加するものの、パレート改善ではないことが分かる。

## (2) 社会的最適状態の公平性

前節で議論した図-6、図-7 に着目すると、輸送費用がある程度高い領域では、社会的最適状態において、最

小都市に居住する unskilled labor の効用のみが増加している。したがって、社会的最適状態では最小効用水準を得る主体のみ効用が大きくなることから、労働者間の格差が縮小している可能性が考えられる。

そこで、以下では社会的最適状態を公平性の観点から、労働者格差について分析を行う。ここでは格差を

格差 = skilled labor の効用 / unskilled labor の効用

と定義し、この格差が均衡状態と社会的最適状態でどのように異なるかを、最大都市と最小都市に着目して分析しよう。均衡状態と社会的最適状態の最大都市と最小都市における格差を図-8 に示す。この図は、縦軸が格差、横軸が輸送費用  $\phi$  を表しており、区間A~D は 図-4 と対応している。この図から、i) 格差は最小都市で最大となる、ii) 社会的最適状態のほうが最小都市の格差が改善されるが、最大都市の格差が大きくなることが分かる。

これらの点について図-8 を観察すると、最大都市の格差と最小都市の格差の比較から、両状態とも最小都市の格差が大きいことがわかる。これは、小都市に居住する unskilled labor の効用水準が価格指数効果（価格指数が上昇し、物価が高くなる）によって低くなるため、最小都市では格差が大きくなり、最大都市では逆の現象が発生していると考えられる。また、最小都市の格差が改善し、最大都市の格差が広がる点については、immobile factor (unskilled labor) の存在が鍵となっている。先にも述べた通り、人口が少ない程 unskilled labor の効用水準は価格指数効果によって低くなるため、単純に人口が少ない都市ほど格差は大きい。輸送費用A~D区間については、最大都市の人口が、社会的最適状態<均衡状態となるため、格差は社会最適状態の方が大きい。しかし、その分人口が分散しており、その他の都市の人口は、社会的最適状態>均衡状態となることから、最小都市の格差は社会的最適状態の方が小さくなる。したがって、社会的最適状態は、結果的に、均衡状態の都市選択で考慮されることになかったimmobile factor の最低効用水準を (skilled labor が分散することによって) 上げることにより、総効用最大化を達成しているといえる。

この事実は、所得の再配分において、従来なされてきた議論とは大きく異なる。これまでは、しばしば公共投資は効率性の観点から都市へ一極集中するべきであると主張されてきた。一方、地方への公共投資は、公平性の観点からのみ議論されている。しかしながら、本論文では、immobile factor を考慮することにより、効率性の観点からも地方への投資が望ましく、また、結果的に公平性も担保できることが分かった。

## (3) 伝統的ピグー税の限界

社会的最適状態への誘導策として代表的なものに、

ピグー税の導入が挙げられる。ピグー税とは、私的効用が社会的限界効用と一致するよう、経済主体へ税金を賦課、または、補助金を交付するものである。実社会においても、環境税としていくつかの国で導入されており、その存在はよく知られている。これまでは、ピグー税を賦課した場合、理論的に必ず社会的最適状態へ誘導できると考えられてきた。しかし、本研究で系統的に均衡状態と社会的最適状態を比較した結果、ピグー税に限界があることがわかった。その限界とは、解が複数均衡を持つ場合、必ずしも均衡状態を社会的最適状態へ誘導できない、という点である。以下では、本モデルにおけるピグー税を例に、これまで全く議論されてこなかった伝統的ピグー税の大きな課題を明らかにする。

伝統的ピグー税に従い、移動主体であるskilled laborの効用に、社会的限界効用と私的効用の差：

$$\delta_i = \sum_j^n h_j \frac{\partial V_j}{\partial h_i} + l \sum_j^n \frac{\partial V_j^l}{\partial h_i} \quad (17)$$

を足してみよう。これをピグー税とし、都市別の値を図-9に図示する。この図の縦軸は補助金/税金の額を表しており、値が正の場合は補助金、負の場合は税金を意味している。また、横軸は輸送費用 $\phi$ であり、区間A~Dは図-4と対応している。この図から、本モデルの場合、(17)に定義する一般的なピグー税では社会的最適状態への誘導が必ずしもできないことが分かる。例えば、図-9の輸送費用のA区間に注目しよう。均衡状態で実現している2都市集積(パターンII)を、社会的最適状態となる分散(パターンI)へ誘導する必要がある。しかしながら、A区間におけるピグー税は全ての都市で一定であり、均衡状態に何ら変化を与えるものではない(都市選択は効用の差に依存するため、一律に効用が増加しても人口配分に変化はない)。これ以外にも、A区間からD区間に及ぶ輸送費用領域において、明らかに限界効用の値が社会的最適状態を誘導できない場合がある。

このような結果が得られた理由は、解が複数均衡を持ち、社会的最適状態と全く異なる人口配分パターンが安定解として実現するためだと考えられる。ピグー税の水準は、現在の均衡状態とは無関係に、社会的最適状態における人口配分パターンのみの情報で設定される。本論文では、社会的最適状態の人口配分パターンが、均衡状態における不安定解の一つに対応しているにも関わらず、ピグー税がその不安定解に対する値になってしまったと考えられる。この結果から、伝統的ピグー税は、解が複数均衡を持つ場合、均衡状態と社会的最適状態の違いを考慮したより一般的な理論(例えば、均衡状態と社会的最適状態の解が一致する場合と一致しない場合に異なる値をとる税制度の理論)の開発が必要であるといえ

る。また、さらにその一般的理論を実現する新しい政策の提案も必要となる。ただし、このピグー税の新しい課題は、新地理経済学に留まらず、複数均衡を扱う全ての問題に必要な不可欠であり、本論文で対応できる範囲を明らかに超えている。したがって、ピグー税に関する一般的理論の構築は、新たな研究課題として今後扱うこととする。

## 7. おわりに

本論文では、従来のNEGモデルを大都市システムに拡張した一般均衡モデルを構築し、都市経済システムの均衡人口配分と社会的最適状態人口配分を数値計算によって求めた。その結果、均衡人口配分は、集積から再分散に至るまでの過程において過剰集積となる。また、社会的最適状態の厚生レベルは、i) 社会的最適状態と均衡状態の総効用比が小さいことから効率性は高くなく、ii) 小都市へ各都市の効用が均等化する方向にあることから公平性が高くなるという結論が得られた。

なお、本研究の均衡状態と社会的最適状態の関係は必ずしもパレート改善ではないことから、今後は、パレート改善となるセカンドベスト政策、さらには社会的最適状態を実現する方策を検討する必要がある。

## 参考文献

- 1) Henderson, J.V. and Thisse, J-F.: *Handbook of Regional and Urban Economics*, vol.4, Cities and Geography, Elsevier North-Holland, 2004.
- 2) Fujita, M. and Thisse, J-F.: *Economics of Agglomeration - Cities, Industrial Location, and Regional Growth*, Cambridge University Press, 2002.
- 3) Fujita, M., Krugman, P. and Venables, A.J.: *The Spatial Economy: Cities, Regions, and International Trade*, The MIT Press, 1999.
- 4) Baldwin, R., Forslid, R. and Martin, P., Ottaviano, G. and Robert-Nicoud, F.: *Economic Geography and Public Policy*, Princeton Univ. Press, 2003.
- 5) Pflüger, M. and Südekum, J.: Integration, Agglomeration and Welfare, *Journal of Urban Economics*, vol.63, pp.44-566, 2008.
- 6) Tabuchi, T. and Thisse, J-F. : Taste heterogeneity, labor mobility and economic geography, *Journal of Development Economics*, vol.69, pp.55-177, 2002.
- 7) Behrens, K. and Thisse, J-F.: Regional economics: A new economic geography perspective, *Regional Science of Urban Economics*, vol.37, pp.57-465, 2007.
- 8) Fujita, M. and Thisse, J-F.: New Economic Geography: An appraisal on the occasion of Paul Krugman's 2008 Nobel Prize in Economic Science, *Regional Science of Urban Economics*, vol.39, pp.09-119, 2009.
- 9) 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 D, Vol.63, No.4, pp.553-566, 2007.

- 10) Pflüger, M.: A Simple Analytically Solvable, Chamberlinian Agglomeration Model, *Regional Science and Urban Economics*, Vol34, pp565-573, 2004.
- 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創発メカニズム, 土木学会論文集, 投稿中

- 12) 柳本章仁, 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, vol.24, pp.191-196, 2007.
- 13) Williams, H.C.M.L.: On the formation of travel demand models and economic evaluation measures of user benefit, *Environment and Planning A*, Vol.9, pp.258-344, 1977.

---

## 多都市Core-Peripheryモデルの経済厚生分析\*

菅澤晶子\*\*・赤松隆\*\*\*・高山雄貴\*\*\*\*

本論文の目的は, 多都市Core-Periphery モデルにおいて, 市場均衡状態と社会的最適状態における人口配分パターンと経済厚生レベルの定性的な挙動を明らかにすることである. まず, Pflüger<sup>10)</sup>の2都市モデルを多都市の枠組みに拡張し, 消費者の都市選択の選好に関する異質性を組み込んだモデルを構築した. 次に, 数値実験により市場均衡状態及び社会的最適状態を求めた. 両状態を比較した結果, i) 均衡状態は, 集積から再分散に至るまでの過程において過剰集積, ii) 社会的最適状態は均衡状態と効率的に大きな差はないが, 結果的に公平性が改善される, ということを示した.

---

## A welfare analysis of the Core-Periphery model with multiple cities\*

By Akiko SUGASAWA\*\*・Takashi AKAMATSU\*\*\*・Yuki TAKAYAMA\*\*\*\*

This paper aims to clarify the bifurcation patterns and welfare of the core-periphery model in which the conventional Pflüger<sup>10)</sup> model is extended to that with multiple cities. By comparing the market equilibrium and social optimum patterns, we show that i) the market equilibrium is characterized by over-agglomeration in the process of agglomeration to redispersion, ii) the difference in efficiency level between market equilibrium and optimum is small but equity level among consumers is improved.

---