

都市内・都市間空間を考慮した集積経済モデル

山口 修平¹・赤松 隆²

¹学生員 東北大学 工学部建築・社会環境工学科 (〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06-408)

E-mail: shuhe_i.yamaguchi.p7@dc.tohoku.ac.jp

²正会員 東北大学教授 大学院情報科学研究科人間社会情報科学専攻 (〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06-408)

E-mail: akamatsu@plan.civil.tohoku.ac.jp

消費者と企業の経済活動の相互作用によって、複数都心が創発することを示した代表的な集積経済モデルとして、Fujita and Ogawa(1982)モデルや高山・赤松(2011)のBeckmann型モデル(SISCモデル)が挙げられる。しかし、これらのモデルは、ある単一スケールにおける集積パターンの創発を示したにとどまる。現実に行き起きている経済活動の集積現象を理解するうえで、複数スケールでの相互作用による立地パターンの説明は重要な課題である。本研究では、複数スケールにわたる集積現象を統一的に説明するモデルを提案する。さらに、複数存在しうる均衡解のうち最も創発する可能性が高い集積パターンを確率安定性を通して明らかにする。

Key Words: 集積経済モデル, マルチスケール, 複数都心, 産業立地, 人口分布

1. はじめに

我が国では様々な空間スケールでの経済活動の集積現象が見られる。まず、首都圏のような大都市圏への集中と地方圏の衰退が挙げられる。これは、国内における最も巨視的なスケールでの集積現象である。次に、地方における中核都市の形成や小都市の縮小という現象が見られる。さらに、より微視的な視点では、各都市内における都心形成という集積現象が見られる。このような現象は、我が国で見られる一般的なものであり、複数の空間スケールにわたる集積現象のメカニズム解明は重要な課題である。

様々な空間スケールに対応する経済活動の集積現象に関する理論研究は、空間スケールごとに個別に進められ、大きく分けて都市経済学分野と新地理経済学(NEG)分野の二つが存在する。前者は都市内空間、後者は都市間空間での集積現象を扱う分野であり、数多くの研究から個々のスケールでは集積現象のメカニズムが明らかにされている。しかし、複数の空間スケールにわたる集積現象を統一的に扱った研究は数少なく、現在までに得られている知見は限定的である。

本研究の目的は、複数の空間スケールにおいて、どのような集積パターンが生じるかを明らかにすることである。そのために、空間スケールの異なる集積現象を同時に説明するモデルを構築する。そして、どのようなメカニズムで集積パターンが生じるのか、特に異なるスケール間での集積力の相互作用を明らかにする。具体的には、都市内スケールをFujita and Ogawa¹⁾モデル(以下、FOモデル)、都市間スケールは高山・赤松²⁾

の空間競争を考慮したBeckmann型モデル(SISCモデル)を基にして表現する。これにより、各都市の規模ならびに都市内の立地パターンを内生的に決定する。さらに、モデルの構成パラメータ(e.g., 交通費用)の値が変化した場合の、都市間および都市内スケールにおける大域的安定な集積パターンを明らかにする。

集積経済モデルには複数の均衡解が同時に成立するケースが存在するので、どの均衡解が尤もらしいかを特定し、大域的安定解を選択する必要がある。安定性の定義として、進化ゲーム理論で提案されている確率安定性の概念を採用する。具体的には、進化ゲーム理論において、利得関数のポテンシャルを定義できるゲームでは、ポテンシャル最大点と確率安定解は一致する。本研究は、ポテンシャルゲームとして定式化可能なモデルを構築する。存在しうる均衡解を列挙し、それぞれの均衡解のポテンシャル値を比較すれば、安定解を特定することができる。

2. モデル

(1) 空間設定

2階層の空間スケールを考え、上位の階層を都市間スケール、下位の階層を都市内スケールとする。都市間、都市内とも円周構造を持ち、各円周上に都市、立地点が存在するものとする。すなわち、図-1のように入れ子の円周構造となっている。円周構造を仮定した理由は、都市構造による外生的要因の影響を取り除き、モデル自体の持つ本質的な特性を調べることが可能であるためである。また、都市間スケールは N 個の離散的都市

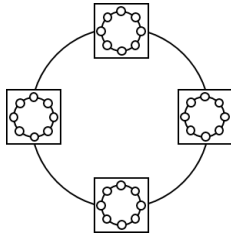


図-1 2 階層円周空間

郡, 各都市の内部には n 個の立地点が存在する. 都市内の立地点数 n は, その都市の企業数に依存して決定する (i.e., 都市の面積は企業数に比例する).

各都市間, 各都市内立地点間は交通ネットワークにより結ばれており, 隣接都市間の距離, 隣接立地点間の距離は均等である. 隣接していない都市間および立地点間の距離は最短距離で定義する. なお, 都市間の距離は, 都市内立地点に依存しないものとする. 全ての都市・立地点は 1 から N (または n) まで時計回りに番号付けされているとする. このとき, 都市間の距離 C_{IJ} , 都市内立地点間の距離 T_{ij} は

$$C_{IJ} = \frac{2\pi}{N} \min\{|I - J|, N - |I - J|\} \quad (1)$$

$$T_{ij} = \frac{2\pi}{n} \min\{|i - j|, n - |i - j|\} \quad (2)$$

と定義される.

(2) 行動主体

立地主体として, 移動可能 (mobile) な消費者 (以下, 消費者 M または消費者) と企業の 2 つの主体が存在する. これに加え, 各都市に一様に分布する移動不可能 (immobile) な消費者 (以下, 消費者 I) が存在する. 消費者 M は効用を, 企業は利潤を最大化するように立地点を選択する. また, 企業と消費者 M の間には雇用関係が存在する.

消費者 M の効用関数は FO モデルと同一とし, 企業の利潤関数は FO モデルの利潤関数に都市間アクセシビリティと財の需要を取り入れる. 都市間アクセシビリティは, FO モデルの距離依存的な都市内アクセシビリティと同様の関数形で定義する. 財の需要は各都市に一様に分布する消費者 I の需要により決定する. これは SISC モデルと同様のモデル設定である.

a) 消費者 M の行動

消費者は居住する都市 I , 都市内立地点 i , 勤務地 j を選択する. 勤務地は居住地と同一都市でなければならないものとする.

消費者の直接効用は, 土地消費面積 s , 複合材の消費量 z によって, $U(s, z)$ とかける. 簡単のため, 本モデルでは消費者の消費土地面積を一定値 S_H に固定する.

消費者の予算制約式は,

$$W_j^I - t \cdot T_{ij} = R_i^I \cdot S_H + z \quad (3)$$

である. ただし, W_j^I は賃金, R_i^I は地代, t は通勤費用パラメータである. 通勤費用は都市内距離の 1 次関数で表す.

消費者が居住地 I_i ・勤務地 I_j を選択する行動は間接効用最大化の形で, 以下のように表現できる:

$$\max_{I, i, j} z_{ij}^I \quad (4)$$

$$\text{where } z_{ij}^I = \arg \max_z U(s = S_H, z)$$

$$= W_j^I - t \cdot T_{ij} - R_i^I \cdot S_H \quad (5)$$

b) 企業の行動

都市間での企業分布を M , 都市 I 内の企業分布を m^I とする. 各都市, 各立地点の立地企業数は $M = [M_1, M_2, \dots, M_N]^T$, $m^I = [m_1^I, m_2^I, \dots, m_n^I]^T$ と表せる. このとき, $M_I = \sum_i m_i^I$ の関係が常に成り立つ.

企業は利潤 Π_i^I を最大化するように都市 I の都市内立地点 i を選択する. 各立地点の利潤関数は以下で与えられる:

$$\begin{aligned} \Pi_i^I(M, m^I) = & A_i(m^I) + B_I(M) + Q_I(M) \\ & - R_i^I \cdot S_F - W_i^I \cdot L \end{aligned} \quad (6)$$

ここで, $S_F > 0, L > 0$ はそれぞれ財の生産のために固定的に必要な土地面積 (定数) と雇用者数 (定数) である.

$A_i(m^I)$, $B_I(M)$ はそれぞれ都市内, 都市間のアクセシビリティである. 他の企業との face-to-face の交流に依存して, 生産性が向上することを示しており, 次のように定義される:

$$A_i(m^I) = D^L m^I = \sum_j d_{ij}^L m_j^I \quad (7)$$

$$B_I(M) = [D^G M]_I = \sum_J d_{IJ}^G M_J \quad (8)$$

都市間, 都市内アクセシビリティは指数型の関数により表現し, $d_{IJ}^G = \exp[-\tau^G \cdot C_{IJ}]$, $d_{ij}^L = \exp[-\tau^L \cdot T_{ij}]$ である. τ^G, τ^L はそれぞれ都市間, 都市内の交通費用パラメータである. D^G は I, J 要素が d_{IJ}^G , D^L は i, j 要素が d_{ij}^L で定義される空間割引行列^{2), 3)} である.

また, $Q_I(M)$ は財の需要量である. 財の需要は各都市に一定数 μ 存在する消費者 I の行動によって決定される (消費者 I の都市内立地点は問わない). 財はどの都市で購入しても同質で, 財の消費による効用, 購入費用は一定である. しかし, 都市 I, J 間で距離依存的な輸送費用 $\tau^G \cdot C_{IJ}$ がかかる.

消費者 I は財の購入地に関して異質性があると仮定し, 都市 I における都市 J のある企業に対する財の需要量 Q_{IJ} は Logit 型を選択関数により表す:

$$Q_{IJ} = \mu \frac{\exp[-\eta \cdot \tau^G C_{IJ}]}{\sum_K \exp[-\eta \cdot \tau^G C_{IK}]} M_K \quad (9)$$

$\eta \in [0, \infty)$ は消費者 I の異質性を反映したパラメータである。したがって、立地点 J の企業の財の需要は

$$Q_J = \sum_I Q_{IJ} = \mu \sum_I \frac{d_{IJ}^G}{\sum_K d_{IK}^G M_K} \quad (10)$$

とかける。

(3) 均衡条件

h_{ij}^I を都市 I の都市内 i に居住し、都市内 j に就労する消費者 M の数とする。消費者が立地選択に関して均衡状態であるならば、どの消費者も立地点を変更する動機を持たない。この条件は間接効用 z_{ij}^I を用いた以下の式で表現される：

$$\begin{cases} z^* = z_{ij}^I & \text{if } h_{ij}^I > 0 \\ z^* \geq z_{ij}^I & \text{if } h_{ij}^I = 0 \end{cases} \quad \forall I, i, j \quad (11)$$

企業分布についても、同様の関係が利潤関数 Π_i^I を用いて表現できる：

$$\begin{cases} \Pi^* = \Pi_i^I(\mathbf{m}) & \text{if } m_i^I > 0 \\ \Pi^* \geq \Pi_i^I(\mathbf{m}) & \text{if } m_i^I = 0 \end{cases} \quad \forall I, i \quad (12)$$

ただし、 $\mathbf{m} = [m^1, m^2, \dots, m^n]^T$ である。

地代 R_i^I について、土地市場の均衡条件が成立する。すなわち、都市 I において正の地代がついていれば、需要面積と供給面積 S^I が一致する：

$$\begin{cases} S_H \cdot \sum_j h_{ij}^I + S_F \cdot m_i^I = S^I & \text{if } R_i^I > 0 \\ S_H \cdot \sum_j h_{ij}^I + S_F \cdot m_i^I \leq S^I & \text{if } R_i^I = 0 \end{cases} \quad \forall I, i \quad (13)$$

同様に、労働賃金 W_j^I について、労働市場の需給均衡条件が成立する：

$$\begin{cases} \sum_i h_{ij}^I = L \cdot m_j^I & \text{if } W_j^I > 0 \\ \sum_i h_{ij}^I \geq L \cdot m_j^I & \text{if } W_j^I = 0 \end{cases} \quad \forall I, j \quad (14)$$

また、人口と企業数の保存則

$$\sum_I \sum_i \sum_j h_{ij}^I = H \quad (15)$$

$$\sum_I \sum_i m_i^I = M \quad (16)$$

が成り立つ。

(4) 等価な最適化問題

上記 (3) の均衡問題は、以下のポテンシャル最大化問題と等価である：

$$\begin{aligned} & \max_{\mathbf{m} \geq 0, \mathbf{h} \geq 0} Z(\mathbf{m}, \mathbf{h}) \\ & = Z_{SISC}^F(\mathbf{m}) + Z_{FO}^F(\mathbf{m}) - Z_{FO}^H(\mathbf{h}) \end{aligned} \quad (17)$$

$$\text{s.t.} \quad S_H \cdot \sum_j h_{ij}^I + S_F \cdot m_i^I - S^I \leq 0 \quad (18)$$

$$L \cdot m_j^I - \sum_i h_{ij}^I \leq 0 \quad (19)$$

$$\sum_I \sum_i \sum_j h_{ij}^I = H \quad (20)$$

$$\sum_I \sum_i m_i^I = M \quad (21)$$

where

$$\begin{aligned} Z_{SISC}^F(\mathbf{m}) &= \frac{1}{2} \sum_I \sum_J d_{IJ}^G \sum_i m_i^I \sum_j m_j^I \\ &+ \mu \sum_I \left(\ln \left[\sum_J d_{IJ}^G \sum_i m_i^I \right] \right) \end{aligned} \quad (22)$$

$$Z_{FO}^F(\mathbf{m}) = \frac{1}{2} \sum_I \left(\sum_i \sum_j d_{ij}^L m_i^I m_j^I \right) \quad (23)$$

$$Z_{FO}^H(\mathbf{h}) = t \sum_I \sum_i \sum_j T_{ij} h_{ij}^I \quad (24)$$

ただし、 \mathbf{h} は I, i, j 要素が h_{ij}^I で表される 3 次元配列である。

式 (17) の右辺第 1 項は都市間スケールの企業立地に関する項、第 2 項は都市内の企業立地に関する項、第 3 項は都市内の消費者立地に関する項である。この最適化問題のラグランジュ乗数として均衡地代 R_i^I 、均衡賃金 W_j^I が定まる。

最適化問題 (17) が (3) に記した均衡条件と一致することは、最適化問題の KKT 条件を書き出すことにより証明できる。本稿では証明を省略する。

また、最適化問題 (17) は 2 つの最適化問題から成り立っていると解釈でき、短期・長期の問題へと分解が可能である。短期では、企業分布 \mathbf{m} を与件とし、消費者のみが居住地・勤務地選択を行う。短期の最適化問題は、

$$[\mathbf{P}] \quad \min_{\mathbf{h} \geq 0} Z^H(\mathbf{h}) \quad (25)$$

$$\text{s.t.} \quad \text{式 (18), 式 (19), 式 (20)}$$

である。[P] の双対問題は以下のように与えられる：

$$\begin{aligned} [\mathbf{D}] \quad & \max_{z^*, \mathbf{R}, \mathbf{W}} Z^{H*}(z^*, \mathbf{R}, \mathbf{W} | \mathbf{m}) \\ & \equiv z^* N + \sum_I \sum_i (R_i^I \cdot S_F + W_i^I \cdot L) m_i^I \\ & - \sum_I S^I \sum_i R_i^I \end{aligned} \quad (26)$$

$$\text{s.t.} \quad z^* \geq W_j^I - S_H \cdot R_i^I - t \cdot T_{ij} \quad (27)$$

$$R_i^I \geq 0 \quad (28)$$

$$W_j^I \geq 0 \quad (29)$$

[P] と [D] の最適値関数は与件のパラメータ \mathbf{m} の関数であり、それぞれ $\hat{Z}^H(\mathbf{m})$ 、 $\hat{Z}^{H*}(\mathbf{m})$ とする。強双対定

理より, $\hat{Z}^H(\mathbf{m}) = \hat{Z}^{H^*}(\mathbf{m})$ が成立する.

次に長期の最適化問題を考える. 長期では企業が立地点を選択することができる. 短期の最適値関数を用いて, 長期の問題は次のように定式化できる:

$$\max_{\mathbf{m} \geq 0} \hat{Z}^F(\mathbf{m}) \equiv Z_{SISC}^F(\mathbf{m}) + Z_{FO}^F(\mathbf{m}) - \hat{Z}^{H^*}(\mathbf{m}) \quad (30)$$

s.t. 式 (21)

以上より, 最適化問題 (17) は企業分布 \mathbf{m} のみを変数とする最適化問題 (30) に帰着させることができる.

3. ポテンシャル関数と確率安定性

本モデルでは均衡解が複数存在しうる. それらの均衡解のうちどれが最も実現しやすいかという解の選択概念として, 本研究では確率安定性を採用する.

(1) 確率的進化ダイナミクス

企業は perturbed best response に従い立地点を選ぶとする. 即ち, 各時点で 1 つの企業が選ばれ, 立地選択の機会が与えられる. 選ばれた企業はその時点で利潤を最大化する地点を選択する. ここで, 利潤関数に外的要因の攪乱が加わると考えると, 企業は「確率的」に立地選択をするように見える. このとき, 各立地点の選択確率は, 利潤関数 $\Pi_i^l(\mathbf{m})$ とノイズパラメータ β の関数で表される. この選択確率を用いて, 企業分布の確率的ダイナミクスはマルコフ連鎖で与えられる. このマルコフ連鎖はエルゴード的であるので, 定常分布が一意に存在する.

(2) 確率安定性の定義とポテンシャル

定常分布における企業分布 \mathbf{x} が実現する確率を $\pi_{\mathbf{x}}$ とする. 確率安定状態 \mathbf{x}^* は企業の選択にエラーがないものとし, ノイズパラメータの極限をとったときに $\pi_{\mathbf{x}^*} > 0$ を満たす状態と定義される. ポテンシャルゲームでは, 確率安定状態はポテンシャル関数を最大化する状態と一致する⁴⁾. したがって, 均衡解のポテンシャル関数値を比較することで確率安定解の特定が可能である.

4. 均衡解の候補

本章では, ポテンシャル関数値の比較による大域的安定解の特定のため, 都市間・都市内のスケールごとに, どのような均衡解が存在しうるかを整理する.

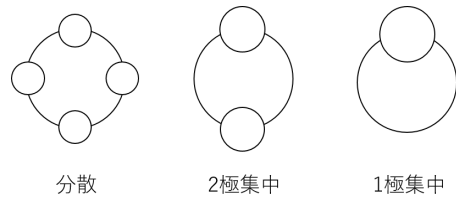


図-2 創発しうる都市間均衡立地パターン (N=4)

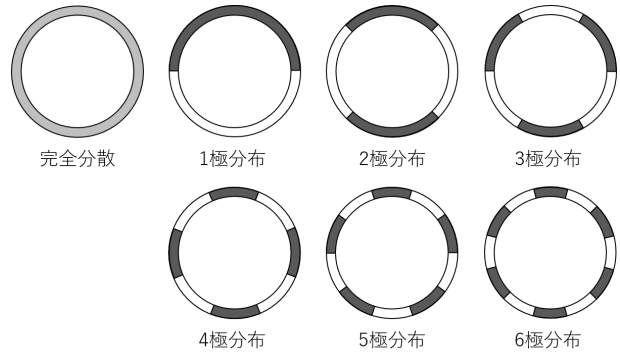


図-3 都市内均衡パターンの例

(1) 都市間スケール

円周都市システムにおいて, 各都市ごとの異質性を特徴づけるのは, 交通ネットワーク上における位置のみである. 従って, 全ての都市に消費者が均等に立地する“分散均衡状態”は, 常に自明の均衡状態として存在する. そのほか, 対称となる立地パターンは均衡解として存在しうる.

例えば, 都市数 $N = 4$ の場合に, 対称性から予測した創発しうる代表的な均衡立地パターンを図-2 に示した. 図中の丸の大きさは, 各都市の企業数の相対的な大きさを模式的に表している.

(2) 都市内スケール

a) 連続空間への近似

都市内スケールはポテンシャル関数の計算を容易にするため, 離散空間を連続空間に近似する. これは, Osawa and Akamatsu⁵⁾ と同じ手法である.

連続円周空間を \mathcal{S} と表す. $x, y \in \mathcal{S}$ は円周上の位置を表し, 離散空間の立地点 i, j と対応する. 企業, 消費者の立地パターン \mathbf{m}, \mathbf{h} は連続な立地密度関数 $m^I(x), h^I(x, y)$ により表現できる. 空間割引行列の各成分 d_{ij}^L は $D^L(x, y) = \exp[\tau^L |x - y|]$ と置き換える. す

ると、ポテンシャル式 (23),(24) は、

$$Z_{FO}^F(m) = \frac{1}{2} \sum_I \int \int_{S \times S} D^L(x, y) m^I(x) m^I(y) dx dy \quad (31)$$

$$Z_{FO}^H(h) = t \sum_I \int \int_{S \times S} |x - y| h^I(x, y) dx dy \quad (32)$$

と書き換えられる。

b) 都市内スケールの均衡解

都市内スケールの均衡解の例を図-3 に示す。均衡解は3種類のエリアから構成される。すなわち、図-3において、濃灰色は企業のみが立地、白は消費者のみが立地、薄灰色は企業と消費者が混在するエリアである。白いエリアに住む消費者は、濃灰色の企業へ通勤し、薄灰色のエリアに住む消費者は居住地と同じ地点に立地する企業へ勤務する。

図-3には完全分散パターンと1極分布から6極分布パターンを示した。都市内の全地点にわたって企業と消費者が混在するパターンを完全分散パターンと呼ぶ。また、濃灰色で示す企業の立地するエリア(業務地区: BD)の数がJ個存在するパターンをJ極分布パターンと呼ぶ。

5. 数値計算例

本章では、各均衡解のポテンシャル式を計算し、大小関係を評価する。各空間スケールの交通費用を変化させることにより確率安定となる集積パターンの変化を調べる。

(1) 計算条件

本稿では、空間構造について、上位階層の都市数を $N = 4$ としてモデルの特性を把握する。大澤・赤松⁶⁾で示されているように、円周4都市システムは集積経済モデルの特徴を把握するという目的に適した状況設定で、安定均衡パターンとして多極立地パターンを生ずるか、一極集中パターンを生ずるか峻別が可能な最小の状況設定である。

図-2に示した都市間スケールの均衡パターンと図-3に示した都市内の均衡パターンについて、都市間・都市内の全組合せを均衡解の候補とする。すなわち、都市間は分散、2極集中、1極集中パターンを候補とする。都市内は完全分散パターンならびに、1極から6極までの多極パターンに限って候補とする。Osawa and Akamatsu⁵⁾によると、企業間アクセシビリティを指数関数の形で表したFOモデルにおいて、確率安定となる均衡解について次の性質を持つことが知られているためである。

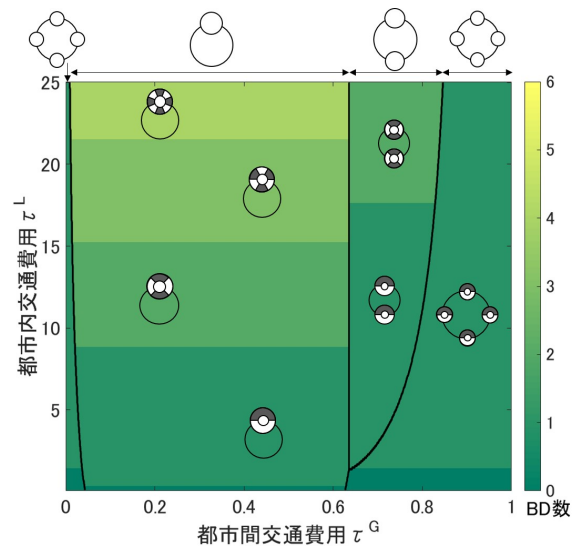


図-4 基準とする外生変数による均衡解の分類: $[t, \mu, M, L] = [0.05, 0.25, 1, 1]$

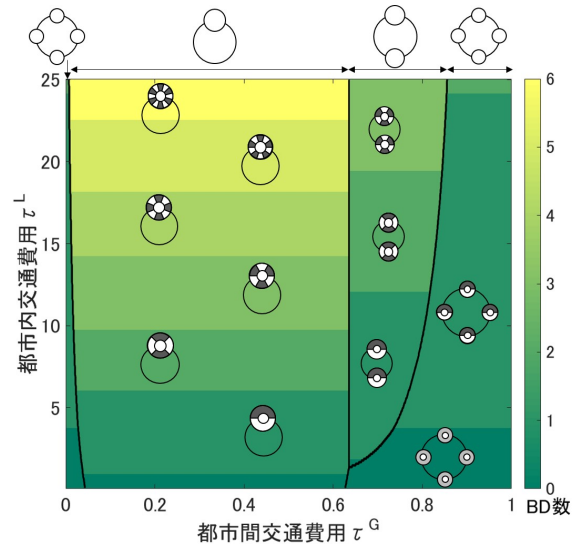


図-5 通勤費用 t が大きい場合 ($t = 0.1$)

- ある値より大きい通勤費用 t では、完全分散パターンが常に確率安定である。
- 多極パターンが確率安定となる t の下では、都市内交通費用 τ^L を増加させることにより、より多くのBDを持つパターンが創発する。

この性質から、多極パターンが創発するとき、 τ^L を増加させれば、7以上のBDを持つパターンが確率安定となることが容易に推測できる。

(2) 計算方法

各スケールの交通費用 τ^L, τ^G の組合せに対して確率安定となる集積パターンを調べる。まず、6つの外生変数 t, μ, M, L, S_F, S_H を与える。これにより、各均衡解のポテンシャル式 (17) は τ^G, τ^L のみを変数とする関数となる。そこで、各スケールの交通費用をある範囲内

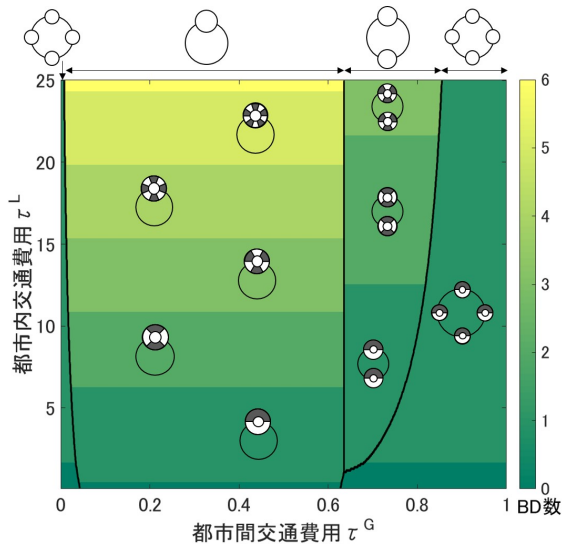


図-6 雇用者数 L が多い場合 ($L = 1.5$)

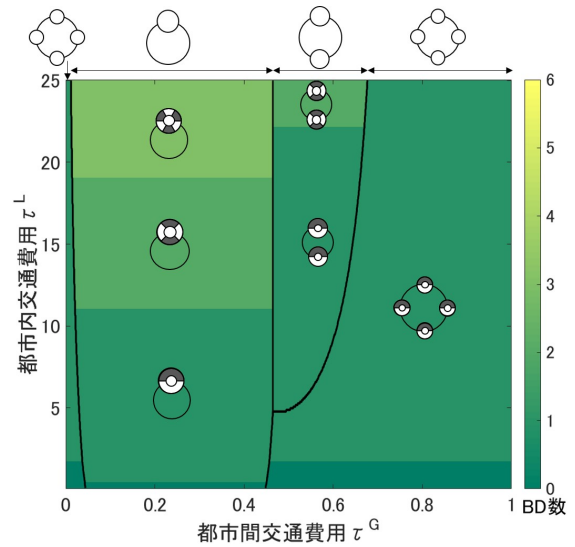


図-8 総企業数 M が小さい場合 ($M = 0.8$)

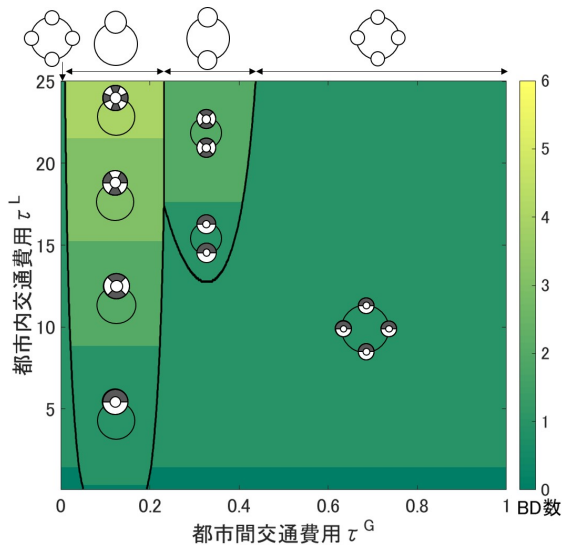


図-7 消費者 I の数 μ が大きい場合 ($\mu = 1$)

で変化させ、各均衡解のポテンシャル値の大小関係を比較し、ポテンシャル最大となる均衡解を特定する。

外生変数のうち土地面積パラメータを $[S_F, S_H] = [1, 1]$ と固定する。そのほかの外生変数については、 $[t, \mu, M, L] = [0.05, 0.25, 1, 1]$ の場合を基準として、通勤費用 t が高い場合： $[t, \mu, M, L] = [0.1, 0.25, 1, 1]$ ，消費者 I が多い場合： $[t, \mu, M, L] = [0.05, 1, 1, 1]$ ，総企業数 M が少ない場合： $[t, \mu, M, L] = [0.05, 0.25, 0.8, 1]$ ，雇用者数 L が多い場合： $[t, \mu, M, L] = [0.05, 0.25, 1, 1.5]$ についてそれぞれ計算を行い、外生変数の変化がもたらす集積パターンへの影響を調べる。

(3) 計算結果

図-4 から図-8 は、都市間、都市内交通費用パラメータによる確率安定な均衡解の分類図である。横軸は都

市間交通費用 τ^G ，縦軸は都市内交通費用 τ^L を表している。図中の実線は都市間の均衡パターンの分類を示している。各領域の色は、最も企業数の多い都市における BD 数を表している。BD 数が 0 のものは完全分散パターンを表している。代表的な立地パターンについては、対応する立地パターンの模式図を図中にかけた。

a) 交通費用の変化に伴う集積パターンの変化

図-4 から図-8 において、都市内では τ^L が増加するほど BD 数が 1 つずつ増加する。都市間では交通費用が高い状態 $\tau^G = 1$ から $\tau^G = 0$ へ交通費用を減少させると、 τ^L が大きい場合には分散 $\rightarrow 2$ 極 $\rightarrow 1$ 極 \rightarrow 分散と変化し、 τ^L が小さい場合には分散 $\rightarrow 1$ 極 \rightarrow 分散と変化する様子が見られる。ただし、図-7 では、ある τ^L に対して分散 $\rightarrow 2$ 極 \rightarrow 分散 $\rightarrow 1$ 極 \rightarrow 分散と変化する。

τ^L を一定と見て、 τ^G 軸方向で都市内立地パターンを比較する。図-4 から図-8 のいずれの場合も、都市内で最も BD 数の多い企業分布が生じるのは、都市間が 1 極集中のときである。すなわち、都市規模が大きいほど、より極数の多い立地パターンが安定となる。これは、都市内の立地パターンが、都市間の立地パターンの影響を受けて決定することを意味している。

さらに、都市間分散状態から 2 極集中への変化が生じる τ^G は、 τ^L の値によって変化する。これは、都市間の立地パターンが、都市内の分散力の影響を受けることを意味している。

b) 外生変数が集積パターンに与える影響

図-4 と、図-5 から図-8 でそれぞれ比較を行う。すると、外生変数は都市内の集積のみに影響を与えるもの (t, L)，都市間の集積のみに影響を与えるもの (μ)，都市内・都市間の集積両方に影響を与えるもの (M) に分類できる。

まず、通勤費用 t が増加すると、消費者の通勤行動による都市内分散力が大きくなる。また、雇用者数 L が増加すると、均衡賃金が上がり都市内分散力が強く働く。したがって、都市内ではより BD 数の多い多極パターンが安定となる (図-5, 図-6)。これは、Osawa and Akamatsu⁵⁾ が明らかにした FO モデルの大域的安定解の性質と整合する。なお、都市間の空間競争には無関係の変数であるため、都市間の立地パターンに影響を与えない。

次に、消費者 I の数 μ が増加すると、式 (10) で表される財の需要が大きくなる。財の需要は SISC モデルにおける空間競争による分散力であり、都市間分散力の効果が大きくなる。よって、都市間では 1 極集中パターンが安定となる τ^G の範囲が狭くなり、分散パターンが安定となる範囲が広がる (図-7)。

最後に、企業数 M が減少すると、1 企業あたりの財の需要が増加するため、空間競争による都市間分散力の影響が小さくなる。また、均衡地代が下がり都市内分散力は小さくになると考えられる。したがって、都市間では 1 極, 2 極の集積パターンが安定となる τ^G の範囲が狭くなり、都市内では BD 数の少ない立地パターンが安定となる (図-8)。

6. おわりに

本研究では、都市間と都市内というスケールの異なる 2 階層を持つモデルを構築し、複数の空間スケールにおける集積現象の相互作用から生じる集積パターンの創発を示した。その中で、都市間スケールでの集積

現象は、都市内での分散効果に対して影響を与える一方、都市内分散力の影響を受けることを明らかにした。

本稿では都市数を 4 と仮定し、都市内は 6 極まで創発するという限定的な範囲での数値計算を行ったものの、モデルから内生的に生じる集積パターンを明らかにし、モデルの性質を定性的に示した。今後は、一般的な都市数の場合についても数値計算を行い、同様の性質を示すか、モデルの頑健性を検証する必要がある。結果については、発表時に紹介する予定である。

参考文献

- 1) Fujita, M., Ogawa, H. : Multiple equilibria and structural transition of non-monocentric urban configurations, *Regional science and urban economics*, vol. 12, No.2, pp. 161- 196, 1982.
- 2) 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, No.1, 1-20, 2011.
- 3) 赤松隆, 高山雄貴, 池田清宏, 菅澤晶子, 佐藤慎太郎: 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 D, Vol. 66, No. 4, pp.442-460, 2010.
- 4) Chris Wallace, H.Peyton Young: Stochastic Evolutionary Game Dynamics, In H.P.Young and S.Zamir (Eds.), *Handbook of Game Theory with Economic Applications*, volume 4, pp.327-380, Elsevier, 2015.
- 5) Osawa, M., Akamatsu, T. Stochastically stable equilibria of the Fujita and Ogawa (1982) model, 第 30 回応用地域学会研究発表大会, 2016.
- 6) 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, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 73, No. 1, pp.1-15, 2017.

(2017. 7. 31 受付)

AN AGGLOMERATION MODEL TAKEN ACCOUNT OF INTER-CITY AND INTRA-CITY SPACE STRUCTURE

Shuhei YAMAGUCHI and Takashi AKAMATSU