

# 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

坂本 賢二\*・池田 清宏\*\*・赤松 隆\*\*\*・高山 雄貴\*\*\*\*

\*学生非会員 東北大学大学院 工学研究科 土木工学専攻 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)

E-mail:sakamoto@msd.civil.tohoku.ac.jp

\*\*正会員 東北大学教授 工学研究科 土木工学専攻 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)

E-mail:iked@msd.civil.tohoku.ac.jp

\*\*\*正会員 東北大学教授 情報科学研究科 人間社会情報科学専攻 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)

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

\*\*\*\*正会員 愛媛大学助教 理工学研究科 生産環境工学専攻 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町 3)

E-mail:takayama@cee.ehime-u.ac.jp

本研究では、1次元線形多都市 Core-Periphery モデルにおける人口の集積挙動と、その商業圏の変化について調べることを目的とする。ミクロ経済地理学的基础を持つ新経済地理学モデルを用いた人口の集積・分散の数値解析を行った結果、実質賃金の知覚パラメータの値の大小により、離散的な集積パターンが起こる場合と連続的な集積パターンが起こる場合が存在することが判明した。また、都市が商業圏として支配する領域についての分析を行った。さらに、円周多都市モデルで確認されていたが、1次元線形モデルではこれまで確認されていなかった、空間周期倍化現象による人口集積のメカニズムを発見したことが本研究の主要な成果である。

**Key Words** : Forslid & Ottaviano モデル, 都市の集積・分散, 商業圏, 空間周期倍化

## 1. 研究背景と目的

Krugman の Core-Periphery モデル<sup>1)</sup>は、集積について画期的な結果をもたらし、一連の新経済地理学モデルの開発や、集積現象の解明の端緒となり、交通費用の変化に伴う2都市間や円周上の都市間の人口移動のメカニズムが調べられている。図-1に示す1次元線形多都市モデルに対しては、従来連続的な集積が起こると考えられていたが、鈴木<sup>2)</sup>が、人口が3~5都市に集積した後に一つの都市に一極集中するという離散的な集積現象が起こることを示している。

本研究では、1次元線形多都市モデルの離散的な集積挙動、またその商業圏について調べることを目的とする。Krugman モデルを拡張した Forslid & Ottaviano モデル<sup>3)</sup>と Logit モデルを用い、数値解析には計算分岐理論による分岐解析法<sup>4)</sup>を用いる。

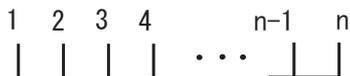


図-1 線形都市モデル

## 2. 都市の集積・分散モデル

本研究で用いた、Core-periphery モデルの一種であり、多都市の解析に適用が容易である Forslid & Ottaviano モデルと、Logit モデルを簡単に紹介する。

### (1) 一般均衡の枠組み

- 経済は、独占的競争が行われる工業部門と完全競争的な農業部門の2つの部門からなる。工業品の

輸送には輸送費がかかるが、農産品の輸送には輸送費はかからない。

- 経済全体では工業労働者は  $\mu$ 、農業労働者は  $(1 - \mu)$  の割合で存在する。工業部門で働く High skilled worker と、工業部門または労働部門で働く Low skilled worker が存在する
- High skilled worker は自身の効用を最大化するように確率的に都市間を移動することができるが、Low skilled worker は移動不可能で、すべての都市に均等に分布しており、賃金 1 である。

### (2) Forslid の短期均衡モデル

消費者の効用最大化行動、生産者の利潤最大化行動、氷塊輸送などの理論と上記の仮定を用いると、都市  $r$  の High skilled worker の賃金  $w_r^M$  は次式で表される。

$$w_r^M = \sum_{s=1}^n \frac{Y_s (T_{rs}^M)^{1-\sigma}}{\sum_{k=1}^n \lambda_k (T_{sk}^M)^{1-\sigma}} \quad (1)$$

ここで、 $Y_r$  は都市 ( $r$ ) の所得、 $T_{rs}^M$  は都市 ( $r$ ) から都市 ( $s$ ) 間の輸送費、 $\lambda_k$  は経済全体で都市 ( $k$ ) の High skilled worker の占有率、 $\sigma$  は任意の差別化された二つの財間の代替弾力性である。

### (3) Logit モデル (確率的都市選択行動)

High skilled worker の都市選択行動を決定する要因を実質賃金 (間接効用) の大きさによる考え、都市  $r$  における実質賃金  $\omega_r$  を High skilled worker の賃金  $w_r^M$  と工業品価格指数  $G_r$  を用いて以下のように定義する。

$$\omega_r = \sigma^r (1 - \mu)^{1-\mu} w_r^M G_r^{-\mu} \quad (2)$$

この実質賃金をランダムな確率変数と考え、都市  $r$  における High skilled worker の人口シェアを

$$\lambda_r = \frac{\exp[\theta \omega_r]}{\sum_{s=1}^n \exp[\theta \omega_s]} \quad (3)$$

と定義する．ここで、 $\theta$  は実質賃金に対する知覚誤差の分散を表すパラメータであり、 $\theta = 0$  のとき、High skilled worker の知覚する実質賃金は完全にランダムであり、 $\theta = \infty$  では、知覚する実質賃金は測定可能な実質賃金  $\omega_r$  と一致する．

### 3. 解析結果

本研究では、実質賃金の知覚誤差パラメータ  $\theta$  の値を変えて離散的な集積と連続的な集積の挙動の違いを調べ、さらに都市数や工業品の多様性を選好する度合いを表すパラメータ  $\sigma$  の値を変化させて解析を行った．また、都市の商業圏の変化を調べた．このとき、 $(\mu, \sigma, \theta) = (0.4, 10, 10000)$  をパラメータの基準値とした．

#### (1) 101 都市の人口集積挙動

連続的な都市に対する集積・分散挙動を調べるために、都市数が  $n = 101$  という十分大きいケースを考える．

輸送費が  $\tau = 0.8$  から  $\tau = 0.0$  へと減少する場合をしてみる．輸送費  $\tau$  の変化に伴う人口分布の変化を表した図-2 左より、この過程では、有為な人口を有する都市が離散的に発生し、その間に人口比率  $\lambda = 0$  の都市が存在している．有為な人口が存在する都市数は  $5(\tau = 0.8)$ 、 $3(\tau = 0.5)$ 、 $2(\tau = 0.3)$ 、 $1(\tau = 0.1)$  と漸次減少しながら一極集中に達した．これは  $\theta = 10000$  としたことで集積力が増し、衛生都市が形成したと言える．しかし、さらに輸送費を下げた  $\tau < 0.1$  における再分散の過程では、連続的に人口が分布し、 $\tau = 0$  の極限では一様分布となった．

次に輸送費が  $\tau = 10.0$  という大きな状態から  $\tau = 2.4$  へと小さくなる場合をしてみる．図-2 右より、この区間においても離散的な集積が見られる．輸送費が大きな場合は一様分布であるが、輸送費の減少に伴い都市と都市の間の都市の人口が両隣りにある都市へと移動し、都市が両隣りの都市を吸収する形で集積が起こり、有為な人口を持つ都市数が半減していった．集積する都市の数は  $101(\tau = 10.0)$ 、 $49(\tau = 5.00)$ 、 $24(\tau = 3)$ 、 $14(\tau = 2.5)$  と概ね半減する形で減っていく．この場合の人口の増減を図-3 に示す． $\tau = 6.5$  付近、 $\tau = 4.7$  付近、 $\tau = 2.5$  付近で周期倍化が起こり、人口が急変しているのがわかる． $\tau = 6.5$  付近での最初の周期倍化により、偶数番目の都市の人口が消滅し、残りの都市の人口は倍になっている． $\tau = 4.7$  付近、 $2.5$  付近での周期倍化でも同様にして人口が変化していく．この輸送費の変化に伴い、都市の数が半減していく現象は空間周期倍化と呼ばれ、競技場経済モデルにおいても確認されている<sup>5)</sup>．本解析でも、空間周期倍化現象が擬似的に進行している．

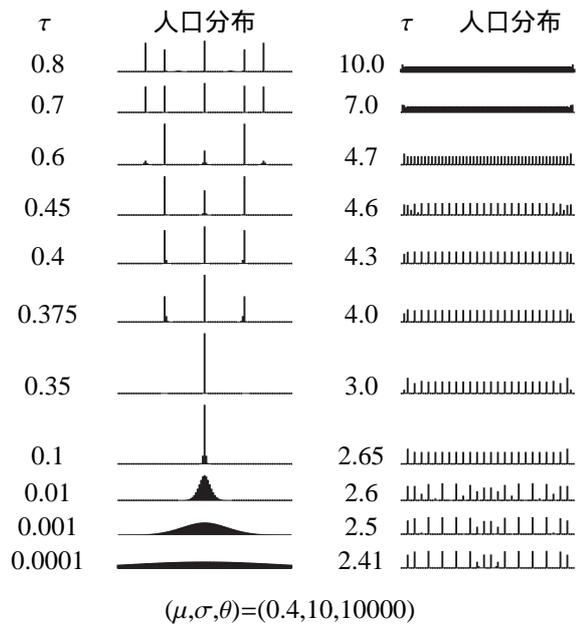


図-2  $\theta = 10000$  における 101 都市の人口分布

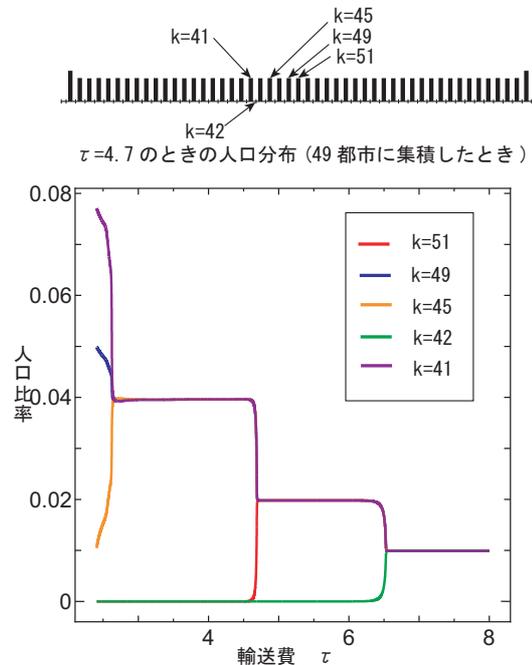


図-3 輸送費-人口比率曲線 (2.4095  $\tau$  7.0)

#### (2) 離散的な集積と連続的な集積の発現

離散的な集積と、連続的な集積を起こした場合の集積挙動の違いを調べるために、都市数を  $n = 17$  として、 $\theta = 500, 10000$  の場合の解析を行った．人口分布を比較した図-4 に示すように、 $\theta = 500$  に対しては、連続的な集積が発生し、外側の都市から 1 つずつ順に内側の都市へと集積し、徐々に中央の都市へと集積していく．一方、 $\theta = 10000$  に対しては、離散的な集積が発生し、人口の集積する都市の中で両端の都市を残して、都市と都市の間の都市が順に衰退し、後に端の都市も衰退するということを繰り返すことで集積していき、最後に中央の都市へと一極集中した．一極集中した後の再分散挙動については、ほぼ同様の傾向が見られた．

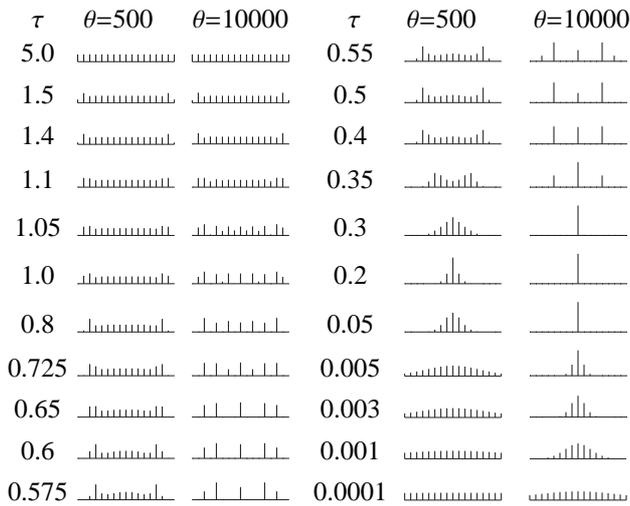


図-4 17都市の人口分布 ( $\mu, \sigma$ ) = (0.4, 10.0)

### (3) 都市数の違いの影響

都市数の違いが集積に与える影響を調べるために、都市数を  $n = 9, 17, 33, 65$  と変化させ、解析を行った。それぞれの都市数に対する都市の人口分布を図-5に示す。どの都市数においても離散的な集積が起こっている。17都市、33都市、65都市ではそれぞれ、17 7 3 1, 33 15 7 3 1, 65 31 15 7 3 1 と人口の集積している都市数が変化し、空間周期倍化が擬似的に起こっていることが判明した。

輸送費  $\tau$  が比較的小さい場合の中央の都市の輸送費-人口比率曲線(図-6(a))より、都市数が大きいほど曲線が右へシフトしており、輸送費の値が大きな段階で集積が起こっていることが分かる。一方、 $\tau$  が大きい場合の図-6(b)からは、輸送費の低下に伴い人口比率が倍になっていき、空間周期倍化が起こっていることが分かる。また、空間周期倍化は都市数の多い方から順に起きている。

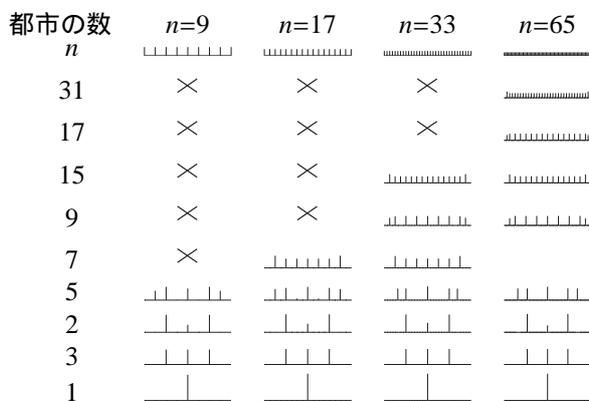
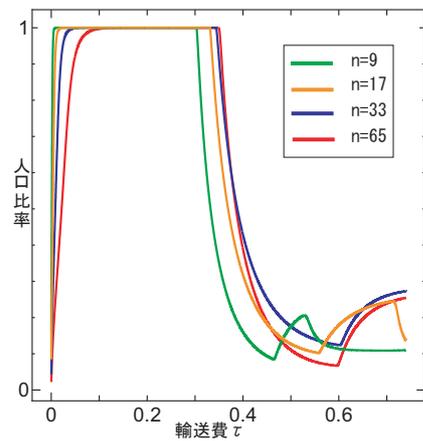
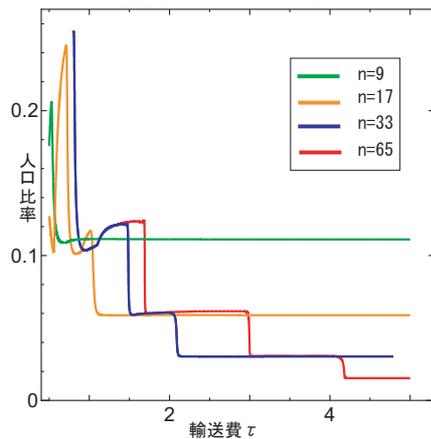


図-5 都市数  $n$  の違いによる人口分布への影響



(a) (0  $\tau$  0.75)



(b) (0.5  $\tau$  5.0)

図-6 輸送費-人口比率曲線 ( $n=9, 17, 33, 65$ )

### (4) パラメータ $\sigma$ の影響

都市数を  $n = 17$ 、パラメータは  $(\mu, \sigma, \theta) = (0.4, 10, 3000)$  とした。工業品の多様性を嗜好する度合いを表す  $\sigma$  の影響を調べるため、 $\sigma = 10, 25, 50$  の場合の解析を行った。図-7を見ると、人口の増減も、 $\sigma$  が小さいほど激しく増減し、大きいほど振幅が小さく、増減する量が小さい。また、 $\sigma$  が小さいほど輸送費  $\tau$  の高い段階で集積が起こっている。図-8より  $\sigma = 10$  のときのみ離散的に集積していて、 $\sigma$  が小さいほど集積力が増すことがわかる。

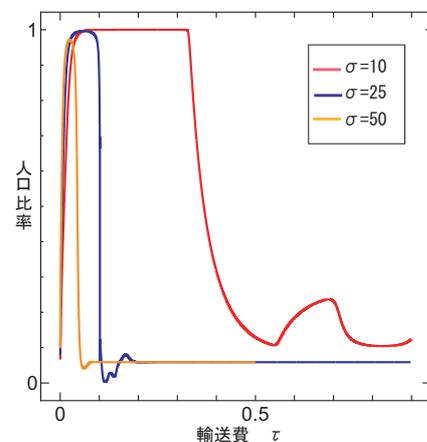


図-7 輸送費-人口比率曲線 ( $\sigma$  の値の影響)

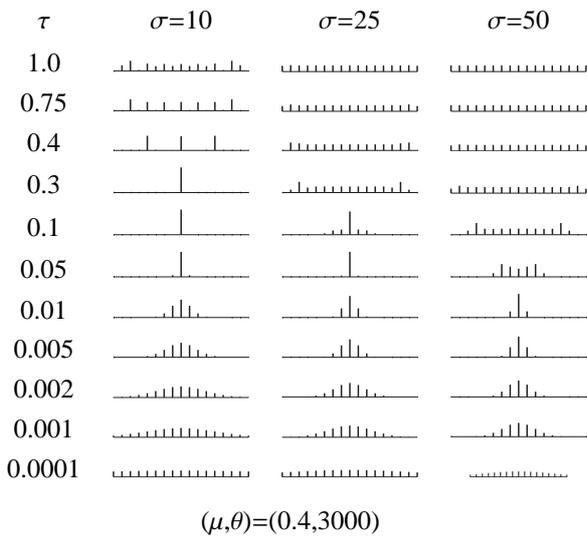
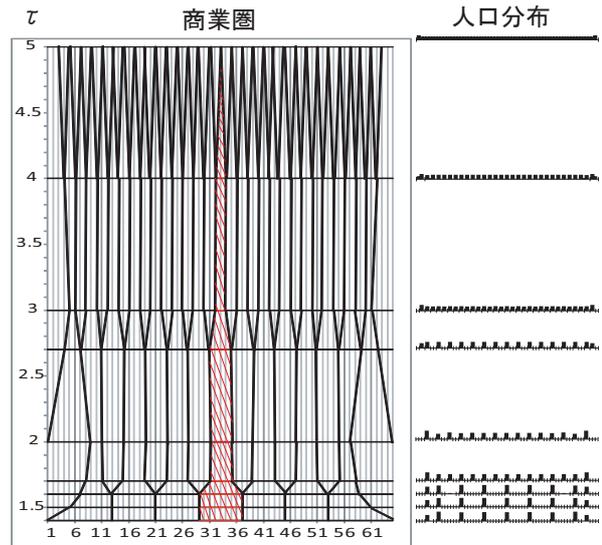


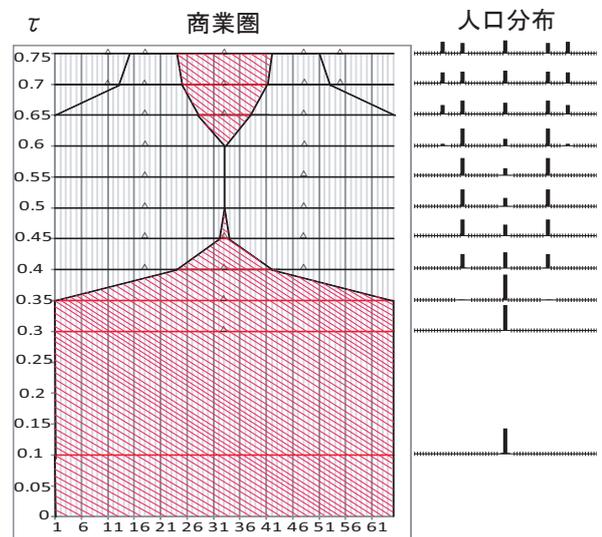
図-8 人口分布 ( $\sigma$  の値の影響)

#### (5) 商業圏の変化

それぞれの都市の商業圏を、その都市が最大の輸入先である都市の集合により定義する。十分多い都市数である  $n = 65$  に着目し、特に中央の都市の商業圏に着目する。図-9において、赤の斜線で示す領域が中央の都市の商業圏である。輸送費  $\tau$  の変化に伴い商業圏が変化している。(a)より、空間周期倍化により  $\tau=1.4$  までは中央の都市の商業圏は徐々に広がっているが、(b)を見ると  $\tau=0.75$  からは中央の都市の人口が徐々に減り、支配する領域も小さくなり、 $\tau=0.6$  付近では消失している。このとき 18 番目と 48 番目の 2 つの都市が全領域を支配している。このことから、およそ 3 分の 1 地点に存在するこれら 2 つの都市が全領域を支配したほうが、輸出入の効率がよいことが伺える。 $\tau=0.5$  付近から再び急激に広がり、全ての都市が中央の都市で製造された財を最も多く消費しており、中央の都市がマーケットを支配した状態になる。輸送費が下がると、人口が中央に移動するほうが効率的であることが伺える。



(a) ( $1.4 \leq \tau \leq 5.0$ )



(b) ( $0.00 \leq \tau \leq 0.75$ )

図-9 中央の都市の支配する商業圏の変化

## 4. 結論

本研究では、1次元線形多都市モデルにおいて、離散的に生じる人口の集積挙動とその商業圏について調べた。知覚パラメータの値により、離散的な集積と連続的な集積が生じる場合の集積挙動の違いを明らかにすることができた。特に、都市数  $n = 17, 33, 65$  では、離散的に集積が起こる際に、空間周期倍化現象が生じることを発見した。この現象は、これまで円周多都市モデルにおいては確認されていたが、1次元線形多都市モデルにおいてはまだ確認されていなかったものである。また、都市の商業圏について分析し、輸送費の減少に伴い都市の支配する商業圏が拡大していくことを示した。本研究では、数値解析に基づく発見的な見地から集積挙動の研究を行った。モデルの特性やその集積・分散挙動の理解と説明が今後の課題である。

## 参考文献

- 1) M. Fujita, P. Krugman, and A.J. Venables, The Spatial Economy: Cities, Regions, and International Trade, MIT Press, 1999.
- 2) 鈴木明憲: 1次元線形多都市モデルにおける人口の集積・分散挙動の解明, 土木工学専攻, 卒業論文, 2009.
- 3) Forslid, R. and G. I. P. Ottaviano, An analytically solvable core-periphery model, J. Econo. Geography, 3, 229-340, 2003.
- 4) 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, 24, 191-196, 2007.
- 5) 柳本彰仁: 都市の集積・分散モデルとその分岐に関する研究, 土木工学専攻, 修士論文, 2008

(2011.8.3 受付)