

東北大学 学生会員 ○恩田幹久
東北大学 フェロー会員 池田清宏
金沢大学 正会員 高山雄貴

1. はじめに

新経済地理学分野において、生産要素の地域間移動、および、それに伴う経済活動の空間的な集積分散現象を扱った一般均衡モデルが開発されている。このモデルは都市間の輸送費用の減少に伴う人口集積のメカニズムを説明できることから、社会基盤整備の影響予測・評価への応用が期待されている。

既往の研究¹⁾では、円周上に離散的に都市が配置された円周都市経済において、人口が増加する都市と減少する都市が互い違いに発現する「空間周期倍化」(図-1)が重要なことが明らかにされている。しかしこれらの研究で分析されているのは都市数が $n = 2^k$ の場合がほとんどであり、他の都市数、特に都市数が奇数になる場合どのような集積挙動を示すのかは、ほとんど知られていない。

本研究では、標準的な新経済地理学モデルである Forsild & Ottaviano(以降、FO)モデル²⁾を用いて、円周都市経済における集積特性が都市数の影響により、どう変化するかを調べる。そのために、計算分岐理論³⁾に基づく、非線形方程式の数値解析を行う。

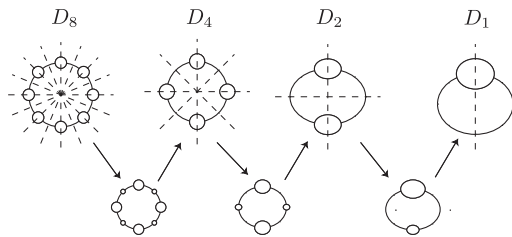


図-1 空間周期倍化

2. Forsild and Ottaviano モデルの概要

FO モデルは以下の仮定に基づいて、

- 経済は、独占競争的な工業部門と完全競争的な農業部門の2部門からなる。
- 経済主体は skilled worker と unskilled worker の2主体
- skilled worker は、総人口が1であり、地域間を移動する。
- unskilled worker は、各地域に均等に分布している。地域間の移動は不可能で賃金は1とする。

地域 i の skilled worker 人口 λ_i は、人口分布が $\lambda = [\lambda_i]$ 、かつ輸送費用パラメータが τ の時に地域 i に居住することで得られる効用 $v_i(\lambda, \tau)$ に応じて、決定される。

具体的には、skilled worker の地域間移動ダイナミクスを次の replicator dynamics で与える。

$$\dot{\lambda}_i = \lambda(v_i(\lambda, \tau) - \sum_k \lambda_k v_k(\lambda, \tau)) \quad (1)$$

本稿では、このダイナミクスの下で得られる安定均衡状態の特性を計算分岐理論に基づく数値解析により調べる。

3. 集積挙動の解析結果

本研究では、FO モデルの集積・分散特性に影響を与えることが知られている労働者の工業財への支出割合 μ 、工業財の代替弾力性 σ を $(\mu, \sigma) = (0.4, 10)$ とした。円周都市経済の都市数 $n = 8, 9$ 都市に対する輸送費 τ と最も大きい人口比率 $\lambda_{\max}$ の関係を記す解曲線とそれに対応する人口集積パターンを図-2、図-3に示す(都市の人口は円の面積で表し、実線は安定、点線は不安定を表す)。緑丸が単純分岐点、赤丸が2重分岐点を表す。

(1) 空間周期倍化

都市数の約数に2が含まれる場合には空間周期倍化が発生し、その結果都市数を半減し、都市間距離は2倍になる。8都市の場合(図-2)、輸送費 τ の減少に伴い、8都市一様分布の状態(point-a)から単純分岐点(point-A)において空間周期倍化を引き起こし、skilled worker が4都市分布(point-b)に集積する。さらに輸送費 τ が減少すると、2度(point-B, point-C)空間周期倍化を引き起こし、2都市(point-c)、1都市(point-d)に集積した。空間周期倍化が連続しておきる場合には、奇数回目にはFOモデルの特徴である subcritical bifurcation が生じたのに対し、偶数回目には supercritical bifurcation が生じた。

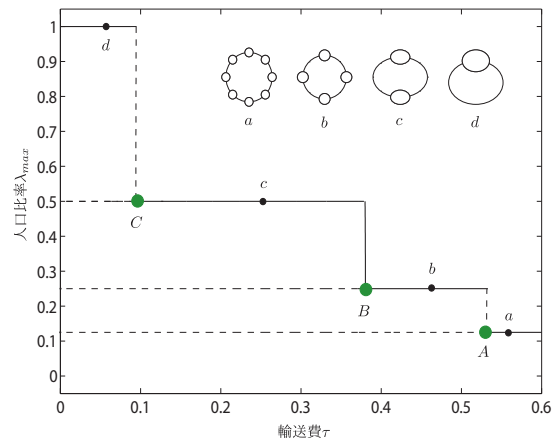


図-2 8都市集積挙動

(2) 擬似的空間周期倍化

都市数が奇数の場合には、波数が整合しないため、空間周期倍化は発生しない。代わりに最も高周波な分岐モードにより、都市間距離をほぼ2倍にする擬似的空間周期倍化を引き起こす。9都市の最も高周波な分岐モードと10都市の空間周期倍化の分岐モードを図-4に示す。9, 10都市の分岐モードは人口の増減量に違いが生じているが、どちらも5都市増加であり、似た分岐モードである。

9都市の場合(図-3)には、2重分岐点(point-A)で擬似的空間周期倍化を引き起こす。その後、都市数をつずつ減少させながら、1都市に集積する(point-a~h)。この時、都市数は $n-2 \rightarrow n-3 \rightarrow \dots \rightarrow 1$ に集積する。擬似的空間周期倍化分岐により発生する分岐経路の方向はIkeda-Murota⁴⁾に理論予測されているように2本の不安な subcritical bifurcation による経路が発生していた。

(3) 空間周期 3 倍化

都市数の約数に3が含まれる場合には、都市間の距離を3倍にする空間周期3倍化が発生する。2重分岐点(point-B)で空間周期3倍化を引き起こし、9都市(point-a)から3都市(point-i)に集積する。さらに輸送費 τ が減少すると、再度2重分岐点(point-B)で空間周期3倍化を引き起こし、1都市(point-h)に集積した。この空間周期3倍化分岐による経路は常に不安定であった。

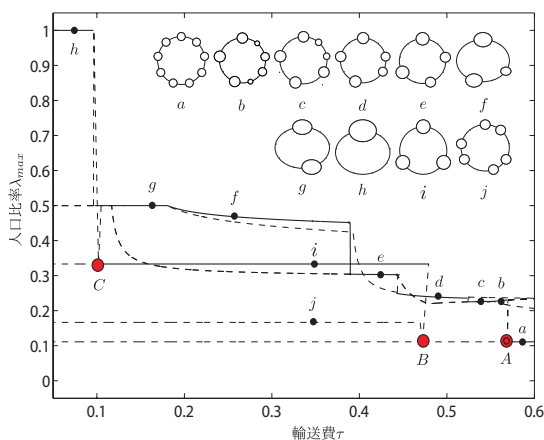


図-3 9都市集積挙動

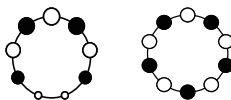


図-4 擬似的空間周期倍化分岐モード(左:9都市)と空間周期倍化分岐モード(右:10都市)(○は人口増加, ●は人口減少を表す)

4. パラメータの影響

一様分布状態から輸送費 τ の減少した場合、最初に発生しやすい分岐は、空間周期倍化分岐、擬似的空間周期倍化分岐、空間周期3倍化分岐の順である。高山・赤松⁵⁾は、パラメータの影響により、空間周期倍化と空間周期3倍化の発生順序が逆転することを明らかにしている。擬似的空間周期倍化分岐においても発生順序が逆転するかを調べる。各都市数($n=3 \sim 10$)に対して、 μ の値を0.1, 0.2, ..., 0.9と変化させ、分岐が発生したときの輸送費を図-5に示す。都市数 $n=2^k$ の場合には空間周期倍化分岐、奇数の場合には最も高周波の分岐(擬似的空間周期倍化)が必ず発生し、分岐の発生順が逆転したのは、 $n=6, 10$ 都市の場合であった。この逆転は、空間周期倍化と最も高周波の分岐が、集積力が低い段階($\mu_{10} < 0.5$)で逆転した。6都市の場合には、高周波の分岐には、擬似的空間周期倍化が存在せず、代わりに空間周期3倍化が発生した。空間周期3倍化が発生するのは、3, 6都市の場

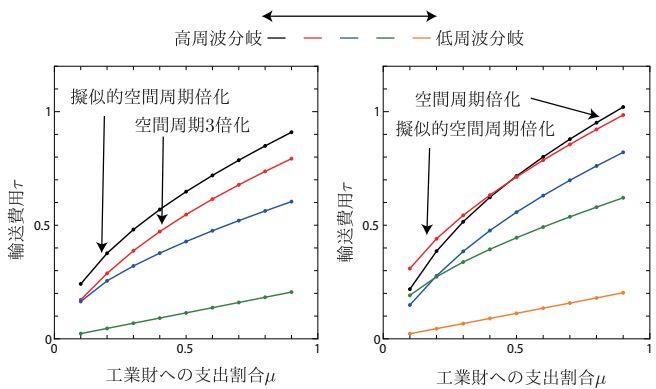


図-5 μ の影響(左: $n=9$, 右: $n=10$)(高周波の分岐から黒, 赤, 青, 緑, 黄色)

合であり、都市数を増加させたときには発生しない。

5. Property

都市数 n による最初に発生する分岐に関して

- 空間周期倍化 ($n=\text{even}$)
- 擬似的空間周期倍化 ($n=\text{odd}$)
- 空間周期倍化 or 擬似的空間周期倍化 ($n=2 \times \text{odd}$)

という Property が存在する。 $n=2 \times \text{odd}$ の場合にはパラメータ依存であり、集積力が小さいときは擬似的空間周期倍化が、集積力が大きい場合には空間周期倍化が卓越する。

6. 結論

本研究では、都市数に注目し、集積挙動に対する影響を調べた。都市数が 2^k 以外の場合、空間周期倍化に最も近い擬似的空間周期倍化が重要であることが新たに明らかになった。

都市数の因数分解的性質により空間周期倍化、擬似的空間周期倍化、空間周期3倍化の組み合わせが決まり、都市数の偶奇性により、空間周期倍化か擬似的空間周期倍化に決まる。擬似的空間周期倍化のほうが空間周期倍化に比べ、緩やかに人口変化が起き、空間周期倍化と擬似的空間周期倍化が都市数をつつ増やすだけで入れ替わるので、都市数が人口分布予測に大きく影響を及ぼしていることが明らかになった。より複雑な線分都市経済や2次元平面による解析を行う際には都市数に注意する必要がある。

これらの性質は他の経済集積モデルにおいて同様にいえることであり、空間設定による非独立性が存在することが示すことが出来た。

参考文献

- 1) K.Ikeda, T.Akamatsu, T.Kono: Spatial peropd-doubling agglomeration of a core-periphery model with a system of cities, *Journal of Economic Dynamics & Control* 36,754-778,2012.
- 2) Forslid,R.and Ottaviano,G.: An Analytically Solvable Core-Periphery Model, *Journal of Economic Geography*, Vol.3,229-240,2003.
- 3) 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 No.24,191-196,2007.
- 4) K.Ikeda,K.Murota: *Imperfect Bifurcation in Structures and Materials*,2nd ed., Springer-Verlag,2010.
- 5) 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(土木計画学), Vol.67, No.1,1-20,2011