

神戸大学工学部 学生員 ○松井 宏樹
 神戸大学工学部 学生員 大平 悠季
 神戸大学大学院 正会員 織田澤 利守

1. はじめに

中華街、ウォール街、シリコンバレーなど、文化・人種的、職能的あるいは取引関係上のつながりの強い主体同士が特定の地域に集積して立地する現象は世界中で確認される。この現象から、主体同士のつながりが都市の空間構造に影響を与えている可能性が考えられる。社会的相互作用 (Social Interaction; SI) と都市空間構造に関する既存研究¹⁾の中で、人や企業などの主体間のつながりを社会的ネットワーク (SN) として明示的に考慮した既存研究には Helsley & Zenou (2014)²⁾がある。しかし、都心が外生的に与えられた2地点モデルの解析に留まっている。本研究ではSNを明示的に考慮した多地点SIモデルを構築し、SNの構造が主体の立地均衡パターンに及ぼす影響について明らかにすることを目的とする。

2. モデル

(1) モデル概要

行動主体は n 人の個人および多数のデベロッパーとする。地理空間は離散的な地点からなる交通ネットワークとする。各個人はSN上でリンクしている他の個人を訪問し、face-to-face communication によって効用を得る。また、地理空間上で1単位の floor space を消費する。デベロッパーは不在地主に地代を支払い、土地を開発する。また、完全競争の下で floor space を個人に供給する。

(2) 個人の行動

個人 i は、ネットワークの構造を所与として、自身の効用を最大化するように立地点 x_i を決定する。この過程は、次の効用最大化問題として定式化できる。

$$\begin{aligned} \max_{x_i} U_i &= z_i + \alpha + I_i(g), \\ I_i(g) &\equiv \theta \sum_{j=1}^n g_{ij}, \\ \text{sub.to } z_i + r_i &= Y - C_i, \\ C_i &\equiv \sum_{j=1}^n \psi_{ij} g_{ij}, \quad \psi_{ij} \equiv 1 - \exp[-tc(i, j)]. \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 z_i は基準財、部分効用関数 $I_i(g)$ は、ネットワーク上で直接リンクしている相手（すなわち $g_{ij} = 1$

であるような個人 j) 全員と face-to-face communication を行ったときに得られる効用を表す。 y を所得とし、 r_i を個人がデベロッパーに支払う floor 面積1単位あたりの地代とする。 C_i を個人間のコミュニケーションの際に必要な交通費用とし、距離抵抗 ψ_{ij} によって表す。 $c(i, j)$ は立地点 x_i, x_j の距離、 t は限界的な交通費用の大きさを表すパラメータである。

(3) 土地市場

立地点 x_i における単位土地面積あたりの floor space 供給面積を y_i とし、その開発費用は、 βy_i^2 で表されるとする。デベロッパーは、利潤 π_i^D を最大化するように、 y_i を選択する。デベロッパーの利潤最大化行動は次のように表される。

$$\max_{y_i} \pi_i^D = r_i y_i - \beta y_i^2 - R_i \quad (2)$$

ここで、 R_i は、デベロッパーが地点 x_i の単位面積あたりの土地に対して不在地主に支払う地代である。都市内の各地点の面積が一定値 a であるとする、floor space の需給均衡条件より

$$y_i = \frac{n_i}{a} \quad (3)$$

が得られる。したがって、floor space の地代 r_i は、式 (2) の一階条件と、式 (3) より以下のように与えられる。

$$r_i = \gamma n_i, \quad \gamma \equiv 2\beta/a \quad (4)$$

3. ポテンシャルゲームとしての再定式化

モデルをポテンシャルゲーム⁵⁾として再定式化する。モデル式を整理することで個人の利得関数が得られる。

$$h_i(x_i, x_j) = -\gamma n_i - \sum_{j=1}^n (\psi_{ij} - \theta) g_{ij} + q \quad (5)$$

ここで、 $q = Y + \alpha$ である。

本研究のモデルは、個人をプレイヤー、立地選択を戦略とした同一利害ゲーム $(h_i)_{i \in N}$ である。 $(h_i)_{i \in N}$ のポテンシャル f を極大化する戦略の組が存在すれば、それはナッシュ均衡である。

$(h_i)_{i \in N}$ のポテンシャル $f(x)$ は次のようになる。

$$f(x_i, x_j) = -\gamma \sum_{m=1}^l \sum_{k=1}^{n_m} k - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (\psi_{ij} - \theta) g_{ij} + q \quad (6)$$

4. 数値分析

数値分析では、離散凸解析ソルバ「ODICON」⁴⁾ による再急降下法を利用し、ナッシュ均衡を求め、個人の分権的な立地選択の違いを分析する。地理空間は4地点からなる円周都市を想定し、初期状態は1地点に12人の個人が立地する状況を想定する。完全ネットワーク (g_p)、スモールワールド型対称ネットワーク (g_s)、ツリーネットワーク (g_t) について分析する。各SNに対し γ を与え、 $A \equiv \exp[-t(2\pi/4)]$ を変化させる。また、 g_s, g_t の構造は図-1、数値計算結果は図-2, 3, 4の通りである。数値分析の結果以下のことがわかった。

- g_p の均衡立地パターンは高山(2011)³⁾ と一致する。
- 均衡立地パターンはSNの構造によって異なる。
- SNの内部で相対的に密度の高い部分(コミュニティ)に属する主体は、同じ地域に集積して立地する傾向がある。
- 本研究から導かれる均衡立地パターンとネットワーク理論に基づくコミュニティ抽出結果との間に類似性がある。

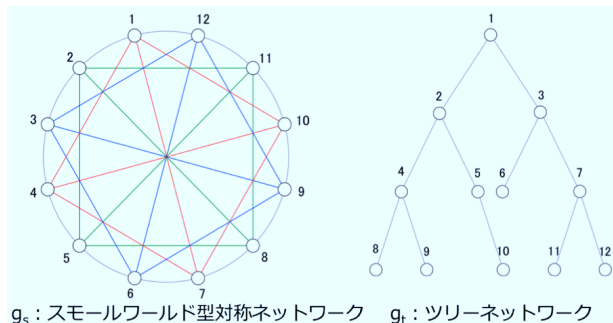


図-1 ネットワークの構造

g_p : 完全ネットワーク($\gamma=0.5$)

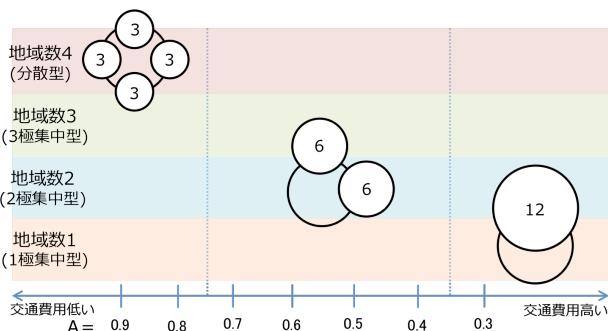


図-2 g_p の数値分析結果

g_s : スモールワールド型対称ネットワーク($\gamma=0.23$)

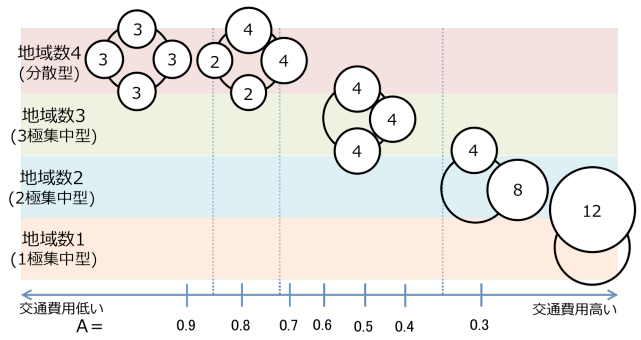


図-3 g_s の数値分析結果

g_t : ツリーネットワーク($\gamma=0.04$)

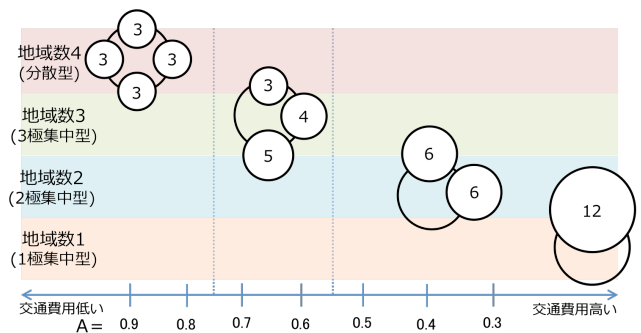


図-4 g_t の数値分析結果

5. 結論

本研究ではSNを明示的に考慮した多地点SIモデルを構築し、ポテンシャルゲーム・アプローチにより、ナッシュ均衡を求めた。さらに数値計算により、均衡立地パターンがSNの構造によって異なることを確認した。また、コミュニティ抽出アルゴリズムとの比較から、本研究における分権的な立地均衡モデルがある種のコミュニティ抽出アルゴリズムとして機能することを確認した。モデルの離散凸性に関する検討、集積力・分散力に関する代替的なモデルの定式化は、今後の課題である。

参考文献

- 1) Beckmann, M. J.: Spatial equilibrium in the dispersed city, In: Papageorgiou, G. J. (Ed.), Mathematical Land Use Theory, Lexington, MA: Lexington Books, pp. 117-125, 1976.
- 2) Helsley, R. W. and Zenou, Y.: Social Networks and Interactions in Cities, Journal of Economic Theory 150, pp.426-466, 2014.
- 3) 高山 雄貴: 人口・産業の空間的集積パターンの自己組織化メカニズム都市内・都市間集積経済モデルの分岐特性, 東北大学, 博士論文, 2011.
- 4) 土村展之, 森口聡子, 垣村尚徳, 岩田覚, 室田一雄: 情報処理学会研究報告, Vol.2011-AL-133 No.4, 2011
- 5) 宇井 貴志: ポテンシャルゲームと離散凸性, 第17回RAMPシンポジウム論文集, pp.89-105, 2005.