

# 対面コミュニケーションの相乗効果と 都市の空間構造

大平 悠季<sup>1</sup>・織田澤 利守<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 神戸大学大学院 工学研究科市民工学専攻 (〒 658-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)

E-mail: ohira@stu.kobe-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 准教授 神戸大学大学院 工学研究科市民工学専攻 (〒 658-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)

E-mail: ota@opal.kobe-u.ac.jp

主体間の相互作用は、都市社会を構成する重要な要素である。都市経済学等の分野では、地理的距離が主体間の相互交流に及ぼす影響について多数の知見が蓄積されている一方で、社会的距離が主体の選択行動に及ぼす影響は捨象されることがしばしばであった。本研究は、対面交流に内在する知識のスピルオーバー効果や相乗効果といった外部的効果に着目し、これらが波及する構造を明示的に考慮した理論モデルを構築した。本モデルの特徴は、地理的距離と社会的距離がこれらの効果の波及の結果として創出する都市の空間構造を規定するという想定の下で、2種類の距離を生内化した点である。さらに数値事例を通じて、環境の変化に対して対面コミュニケーションの水準及び都市の空間構造がどのように変化するかを分析し、一部の費用の低下や技術的な向上が必ずしも社会厚生を改善しないことを示した。

**Key Words** :: social interactions, network formation, urban spatial structure

## 1. はじめに

知識社会と呼ばれる社会が到来しつつある今日、知識や情報は都市・地域の発展の原動力であるとされる<sup>1)</sup>。現代社会において伝達・交換される知識や情報は、かつてどの社会も経験したことがないほど膨大かつ高度なものであり、その伝達・交換の手段としては対面形式 (face-to-face) の交流が非常に重要かつ有効であるといえる。高度な知識や情報をもつ主体同士のコミュニケーションが相乗的效果を発揮する現象が、社会の創造性の源であるとすれば、多様な隣人との相互交流が活発に行われる社会は、豊かな創造性と成長力を有する。

都市経済学分野において、経済主体が行う対面交流は都市の存在<sup>2),3)</sup>、構造<sup>4),5)</sup>、成長<sup>6),7)</sup>の主要因であるとされる。対面交流は交通行動を伴うため、その量的水準は主体間の地理的距離に必然的に依存する。地理的距離は、人々や企業といった主体の空間的配置 (立地状況) とそれらを取り巻く交通環境 (交通ネットワーク) によって規定される。一方で、社会科学等の見地から、主体間の相互作用に対しては地理的距離のみならず社会的距離が重要な役割を果たすことが指摘されてきた。社会的距離とは、相互の信頼性や必要性、関連性の程度を指す概念である。特に、複雑に入り組んだ主体間の関連性をグラフを用いて表現した社会的ネットワークは、社会学や人類学、組織論等といった幅広い学問分野において様々なレベルでの行為主体間の相互依存関

係を理解する上で有益な枠組みを提供している<sup>8),9)</sup>。地理的距離と社会的距離は、人々や企業の行動選択を通じて互いに作用し合いながら都市社会の有り様を決定づける。しかし、社会的ネットワークと交通ネットワークの相互関係は未だ十分に明らかにされておらず、理論的に解明を行うための基礎的枠組みを構築する必要がある。

本研究の目的は、社会的外部性を伴う対面コミュニケーションと空間経済システムの関係性を社会的ネットワークの観点から理論的に明らかにすることである。社会的距離と地理的距離が相互に作用しながら、社会全体としてのネットワークを自律的に形成した結果としての都市の様態を討究するために、Cabral et al.<sup>11)</sup>を拡張して、ソーシャルネットワーキング活動および対面交流を通じた知識生産活動の両水準同時決定モデルを構築する。ソーシャルネットワーキング活動とは、通信手段を用いた交流活動や新たな交流相手を得るために社交の場に参加する活動等を想定しており、社交活動と呼ぶこともできる。さらに、主体の立地選択行動を動学モデルによって記述し、長期的な均衡状態として創成する都市の空間構造を分析する。

以下、2章では既存研究と本研究の位置づけを述べる。3章で、社会的距離を規定する社会的ネットワークの形成を生内化した理論モデルを構築する。具体的には、社会的ネットワーク形成に関する社交活動水準と、

他の主体との対面交流との両方から効用を得る主体の行動を効用最大化行動として定式化し、均衡解の性質を述べる。さらに4章において、主体の立地選択行動を内生化するために進化ダイナミクスを導入する。5章では、数値事例を通して、費用のような環境の変化に対して社会のコミュニケーションの水準及び都市の空間構造がどのように変化するかを分析する。6章にまとめと今後の展望を述べる。

## 2. 既存研究と本研究の位置づけ

社会的ネットワークにおける主体の位置とその合理的な行動選択とを関連づけた既存研究には Ballester et al.<sup>19)</sup>がある。これは任意の構造を持つネットワーク内における相互依存関係を分析するための均衡モデルを提案するものであり、社会的ネットワークを対象とした応用的研究への可能性を開いた。Helsley & Zenou<sup>20)</sup>は、Ballester et al. に物理的空間を導入し、都市への訪問行動および立地選択を社会的ネットワークの観点から分析している。ただし、分析対象は、都市 (the city) と郊外 (the periphery) からなる2地域に留まっているため、交通環境がもつネットワークとしての特性は捨象されており、上述の目的を達成するのに十分な枠組みであるとは言えない。また、これらの既存研究は、社会的ネットワーク上の主体の位置関係を外生的に扱っている。Cabrales et al.<sup>11)</sup>は、主体同士のつながりの強さが社会的活動の結果として決定される状況設定の下で、社会的ネットワークを内生化するモデルを提案しているが、ここでは地理的距離は考慮されていない。現実には、社会的距離と地理的距離は互いに影響を与え合い、都市の様相は両者の相互依存関係の結果として内生的に決定すると言えるが、このような現象を構造化した枠組みは未だ提案されていない。

本研究では、Helsley & Zenou の線形都市モデルにおいて、社会的距離が外生的なネットワークとして与えられるのではなく、社会システムの均衡において内生的に決定する枠組みへの拡張を行う。これは Cabrales et al.<sup>11)</sup>の提案する社会的ネットワーク形成モデルに物理的空間を導入し、社会的距離と地理的距離が相互に影響し合うメカニズムを把握することを目指した試みである。また、Helsley & Strange<sup>5)</sup>の枠組みに社会的距離の概念を導入し、拡張したものと見ることもできる。

本稿で提示する理論的枠組みは、交通需要予測に直接的に適用することを目的とするものではないが、重力モデル等の既存の空間相互作用モデルに対して、社会的距離概念という新しい視座を提供するものであるといえる。また、昨今では企業間取引の膨大なデータを用い、企業間取引ネットワークと産業集積の関係に

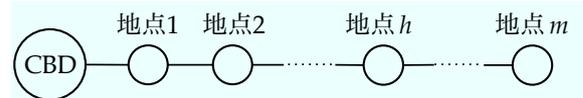


図-1: 線形都市空間 (m 地点)

着目した実証研究も既に報告されている<sup>21)</sup>。提案モデルは、こうした実証的アプローチに対して理論的な基礎を与え得るものであり、社会的ネットワークと都市・地域の空間構造との関係の解明へつながる基礎的研究とも位置付けられる。本稿内で示す数値例は、こうした本研究の位置付けと方向性を反映するものである。

## 3. 社会ネットワーク形成モデル

### (1) 基本設定

$N = \{1, \dots, n\}$  ( $n \geq 2$ ) を有限な数の主体の集合とする。 $n$  主体は  $t$  種類のグループから構成されており、正の整数  $c$  を用いて  $n = t \times c$  であるとする。すなわち、各々  $c$  主体を擁する  $t$  種類のグループ存在する状況を想定する。これらの同質な  $n$  主体および中心業務地区 CBD と  $m$  地点からなる線形の単一中心都市空間によって構成される閉じた都市 (Closed-City) を考える。本稿では、都市空間は CBD を中心として対称な構造となることが明らかであるため、図-1 に示すような一方向にのみ広がる都市を想定する。

各主体は、地点  $1, \dots, m$  のいずれかに立地し、CBD に存在するミーティング施設を訪問して他の主体との対面交流を行うことによって効用を獲得する。各立地点の面積は1とする。よって、多くの主体が立地する地点ではその分地代が高騰し、主体1人当たりの土地面積は小さくなる。そのため、各主体にとっては分散して立地することが望ましい。一方で、CBD から近い地点に立地すれば安価な交通費用で他の主体と交流することが可能となるため、人々は CBD に近い地点に立地する誘因を一様に有している。これらの分散力と集積力とのバランスの中で、都市の空間構造 (相互交流を行う主体による選択結果としての立地パターン) が決定すると考える。

### (2) コミュニケーション行動と社会的距離

各主体は、コミュニケーションに関する2種類の行動水準に関する意思決定を同時に行う。1つは他者との対面交流を達成するために行われる、中心地 CBD に存在

するミーティング施設への訪問行動水準  $v$  である。主体は、ミーティング施設を訪問する度に、機会費用等を含んだミーティングに関する固定費用  $p_f$  および自身の立地点から CBD までの交通費用  $\tau$  を負担する。このミーティングにおいて、知識・技術の交換や議論等のジョイントワークが行われるものとする。もう 1 つはソーシャルネットワーキング活動（社交活動）水準  $s (\geq 0)$  であり、これは他の主体との対面交流の効率性に反映される。主体  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) の社交活動水準を  $s_i$ 、すべての主体  $1, \dots, n$  の社交活動水準の集合を  $\mathbf{s}$  と書くことにすると、主体  $i, j$  が CBD において対面交流の場を持った場合の効率性  $g_{ij}$  を次のように定義できる。

$$g_{ij}(\mathbf{s}) = \rho(\mathbf{s})s_i s_j \quad (1)$$

ここで、

$$\rho(\mathbf{s}) = \begin{cases} \frac{1}{\sum_{j=1}^n s_j} = \frac{1}{n\bar{s}} & (\text{if } \mathbf{s} \neq \mathbf{0}) \\ 0 & (\text{if } \mathbf{s} = \mathbf{0}) \end{cases} \quad (2)$$

である。なお本稿では、任意の  $n$  元の要素からなる集合  $\mathbf{w} \in \mathbf{R}^n$  に対して、 $\bar{\mathbf{w}} = \sum_{i=1}^n w_i/n$  および  $\bar{\mathbf{w}}^2 = \sum_{i=1}^n w_i^2/n$  を定義する。式 (2) 中の  $\bar{s}$  はこれに準ずるものである。式 (1) による定義から、対面交流の効率性は双方にとって対称、すなわち  $g_{ij}(\mathbf{s}) = g_{ji}(\mathbf{s})$  である。主体のまた、ここではセルフループ ( $i = j$ ) を許容することとする。よって、主体  $i$  に関する  $g(\mathbf{s})$  の値をすべて合計すると

$$g_i(\mathbf{s}) = \sum_{j=1}^n g_{ij}(\mathbf{s}) = \rho(\mathbf{s})s_i \sum_{j=1}^n s_j = s_i$$

となる。すなわち  $s_i$  は、あらゆる主体との対面交流を通じた知識生産活動の生産効率性を、主体  $i$  が総合的に社交活動水準として選択したものを表す。ここでいう社交活動水準とは、主体の交流相手としての魅力や求心力と捉えることも可能である。例えば、魅力的な技術を保有する企業は、他企業と業務提携を行ったとすれば、提携相手の企業に有益な対面交流の機会を提供することができる。本研究の枠組みでは、ある主体が CBD を 1 回訪問して対面交流を行うとき、これに伴う固定費用および交通費用は交流の相手に関わらず等しく発生するが、そこから得られる効用は相手によって異なる。社交的活動水準  $s$  に基づいて定義される対面交流の「生産効率性」とは、このような「任意の主体との潜在的な対面コミュニケーションを通じて、その主体が相手にもたらすことのできる『リターン』の大きさ」に対する差異を、コミュニケーション相手に対して規定するものである。また、 $g_{ij}(\mathbf{s})$  は「主体  $i, j$  の各々のコミュニケーション相手としての魅力に応じて決定するマッチング確率」のようなものであるということもできる。

社交活動を具体的な行動の水準として捉えるならば、 $s$  に表象される活動は、例えばメールや電話等の通信手

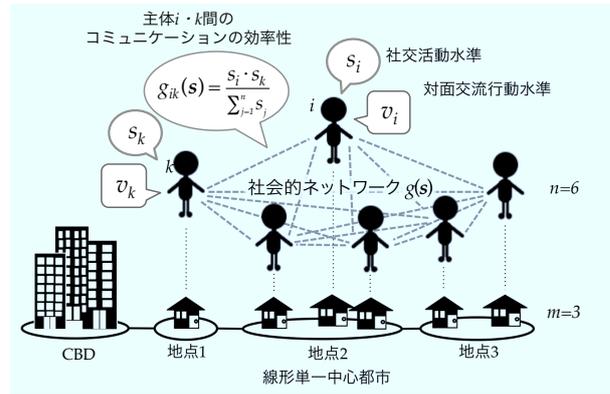


図-2: モデルの概念図 (社会的距離内生モデル)

段による、すなわち交通を伴わない交流が挙げられる。ミーティングを行うための CBD への訪問は、それ以前の打合せや基礎的な知識・情報の共有が十分に行われているか否かによって、効率的にも非効率にもなり得るため、 $s$  を高水準に維持していれば、同程度の回数でのミーティングでもより高度な成果が期待できる。あるいは、研究者や企業のような主体が研究会や展示会に参加するといった活動は、特定の主体との共同研究や提携業務のための日常的なミーティングに比して低頻度であるため、交通費用はほぼ無視できると考えると、社交活動  $s$  は、学会や研究会・展示会のような多数の主体が一堂に会する場に参加する頻度のようなものとも捉えることができる。以上のように社交活動は、活発に行えば対面交流の効率性を向上させ得る。同時に、対面交流の当該相手の社交活動水準（交流相手としての魅力）も、相乗的に対面交流の効率性に影響する。

各主体は、直面する立地状況に応じて、自身の効用を最大化するように交流水準  $v, s$  を決定する。図-2 は、本モデルにおける社会的距離と交通ネットワークの関係のイメージを、主体数  $n = 6$ 、地点数  $m = 3$  の例について図示したものである。各主体間の対面コミュニケーションの効率性  $g(\mathbf{s})$  は、あらゆる 2 主体のペアについてこれを定義することから、集合的にある種の社会的ネットワークのようなものとしてイメージすることも可能である。

### (3) 主体の選好

主体  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) が地点  $x_i$  ( $x_i = 1, \dots, m$ ) に立地するとき、主体  $i$  の都市の中心地 (CBD) への訪問回数を  $v_i$  とすると、この主体の行動は以下の効用最大化問題として記述される。

$$\max_{v_i, s_i, a_{x_i}} U_i = z_i + \zeta \ln a_{x_i} + u_i(v_i, s_i) \quad (3)$$

$$\text{subject to } y = z_i + R_{x_i} a_{x_i} + (p_f + \tau_i)v_i + c(s_i) \quad (4)$$

$u_i(v_i, s_i)$  は、主体  $i$  が他の主体との交流から獲得する効用を表す。  $a_{x_i}$  は地点  $x_i$  に立地する主体 1 人あたりの土地消費面積、  $R_{x_i}$  は地点  $x_i$  における地代、  $z_i$  は基準財消費量である。  $p_f, \tau_i$  はいずれも対面交流に要する費用であり、それぞれ固定費用と CBD までの交通費用を表している。交通費用  $\tau_i$  は CBD と立地点との距離  $d_i$  に応じて決まるものとし、本稿ではパラメータ  $p_t(\geq 0)$  を用いて  $\tau_i = p_t \cdot d_i$  によって表される線形関数を採用する。  $c(s_i)$  は社交活動に要する費用関数であり、ここでは定数パラメータ  $\eta (\geq 0)$  を用いて  $c(s_i) = \eta s_i^2/2$  と特定化する。

各主体は、所与の立地条件の下で、CBD の訪問行動水準  $v$  およびソーシャルネットワーキング活動水準  $s$  を同時に決定する。CBD への訪問を通じて達成されるコミュニケーションの効率性は、ソーシャルネットワーキング活動  $s$  に依存することから、任意の 2 主体  $i, j$  について次式を認めることができる。

$$\frac{\partial^2 u_i(\mathbf{s}, \mathbf{v})}{\partial v_i \partial v_j} = \alpha g_{ij}(\mathbf{s}) \quad (\text{for all } i \neq j) \quad (5)$$

$v_i$  は主体  $i$  が対面交流を行うための CBD への訪問水準、  $u_i$  は主体  $i$  が訪問行動から獲得する効用を表す。  $\alpha$  は非負のパラメータであり、式 (5) の下では、  $s_i \geq 0$  (for all  $i$ ) より、  $\mathbf{s} \neq \mathbf{0}$  であれば  $v_i$  と  $v_j$  は戦略的補完関係にある。

この仮定の下で、主体  $i$  が他の主体との交流から獲得する効用  $u_i$  は、次式によって表される。

$$u_i = \beta v_i - \frac{\gamma}{2} v_i^2 + \alpha \sum_{k=1, k \neq i}^n g_{ik}(\mathbf{s}) v_i v_k \quad (6)$$

$\zeta, \beta, \gamma$  はいずれも非負の定数パラメータである。式 (6) は準線形関数であり、また式 (5) の性質を満足している。

#### (4) 均衡コミュニケーション水準

式 (3), (4), (6) によって定式化された最適化問題の 1 階条件は、以下ようになる。

$$\frac{\partial U_i}{\partial v_i} = (\beta - p_f - \tau_i) - \gamma v_i + \alpha \sum_{k=1, k \neq i}^n g_{ik}(\mathbf{s}) v_k = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial s_i} = -\eta s_i + \alpha \left\{ \sum_{k=1, k \neq i}^n \frac{s_k}{n\bar{s}} v_i v_k - \sum_{k=1, k \neq i}^n \frac{s_i s_k}{(n\bar{s})^2} v_i v_k \right\} = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial a_{x_i}} = -R_{x_i} + \frac{\zeta}{a_{x_i}} = 0 \quad (9)$$

ここで、  $\beta - p_f - \tau_i = b_i$  とおき、これを主体  $i$  のアクセシビリティと呼ぶ。交通費用  $\tau_i$  は距離抵抗であることから  $b_i$  は立地点のみに依存して決定し、  $b_i$  の値が大きい (アクセシビリティの高い) 主体は、中心地 CBD の近郊に立地していると言える。また、土地市場の均衡条件は、地点  $h$  ( $h = 1, \dots, m$ ) に立地する主体数を  $n_h$  とする (ただし、  $\sum_{h=1}^m n_h = n$  を満足する) と以下のよ

うになる。

$$\begin{cases} n_h a_h = 1 & (\text{if } R_h > R_A) \\ n_h a_h < 1 & (\text{if } R_h = R_A) \end{cases} \quad (10)$$

ただし、  $R_A$  は農業地代 (土地の機会費用) であり、式 (10) は、地代  $R_h$  ( $h = 1, \dots, m$ ) は立地主体数に関わらず  $R_A$  を下限とすることを示している。

$\mathbf{v}$  に関する 1 階条件より、

$$v = \frac{1}{\gamma - \alpha(\mathbf{b})s} \quad (11)$$

を得る (詳細な導出過程は付録 I 参照)。ここで、  $\alpha(\mathbf{b}) = \alpha(\bar{\mathbf{b}}/\bar{\mathbf{b}})$  である。  $\bar{\mathbf{b}}$  がアクセシビリティ  $b_i$  のすべての主体に関する平均をとったものであるのに対し、  $\alpha(\mathbf{b})$  を 2 次平均アクセシビリティと呼ぶことができる。これを用いて、式 (8) より

$$s = \frac{\alpha}{\eta} v \cdot \frac{\sum_i \theta_i^2 s v}{\sum_i \theta_i s} = \frac{\alpha \bar{\theta}^2}{\eta \bar{\theta}} = \alpha(\mathbf{b}) \frac{v^2}{\eta} \quad (12)$$

である。よって、式 (11), (12) より、連立方程式

$$\begin{cases} v[\gamma - \alpha(\mathbf{b})s] = 1 \\ \eta s = \alpha(\mathbf{b})v^2 \end{cases} \quad (13)$$

を解けば、均衡における  $s = s^*$  および  $v = v^*$  が得られ、これに対応する  $s_i^*, v_i^*$  はそれぞれ次式で表される。

$$s_i^* = b_i s^* \quad (14)$$

$$v_i^* = b_i v^* \quad (15)$$

なお、  $s, v$  はともに非負であるので、  $\eta > 0$  かつ  $\gamma > \alpha(\mathbf{b})s$  である必要がある。式 (14), (15) より、各主体の戦略はアクセシビリティ  $b_i$  に依存し、かつ  $b_i$  は同一地点に立地する主体であれば共通の値をとるため、同一地点に立地する主体は互いに等しい行動水準を採用することがわかる。すなわち、主体  $i$  の立地点が地点  $h$  である (i.e.  $x_i = h$ ) ならば、「主体  $i$ 」に関する交流水準  $s_i, v_i$ 、地代  $R_{x_i}$ 、ロットサイズ  $a_{x_i}$ 、アクセシビリティ  $b_i$  等はいずれも「地点  $h$  に立地する主体」のそれと読み替えることができる。以降では、添字  $i, x_i$  を  $h$  と置き換えることを通じて、立地点  $h$  ( $h = 1, \dots, m$ ) に着目して主体の行動を追うこととする。

均衡において達成される交流水準が、式 (14), (15) によって表されるとき、地点  $h$  ( $\forall h = 1, \dots, m$ ) に立地する主体  $n_h$  人に共通の間接効用関数  $V_h$  は次のように表される。

$$\begin{aligned} V_h &= \beta b_h v^* - \frac{\gamma}{2} (b_h v^*)^2 + \alpha \sum_{k=1, k \neq i}^n \frac{b_h b_k s^{*2}}{n s^* \bar{\mathbf{b}}} \cdot b_h b_k v^{*2} \\ &\quad + \zeta \ln \frac{\zeta}{R_h} + y - \zeta - (p_f + \tau_h) b_h v^* - \frac{\eta}{2} (b_h s^*)^2 \\ &= y - \zeta + \zeta \ln \frac{\zeta}{R_h} + b_h^2 \left( v^* - \frac{\gamma v^{*2}}{2} + \frac{\eta s^{*2}}{2} \right) \\ &= y - \zeta + \zeta \ln \frac{\zeta}{R_h} + \frac{b_h^2 v^{*2}}{2} \end{aligned} \quad (16)$$

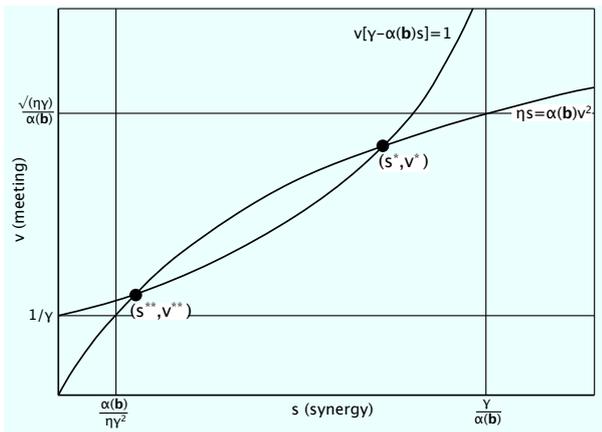


図-3: v-s 曲線

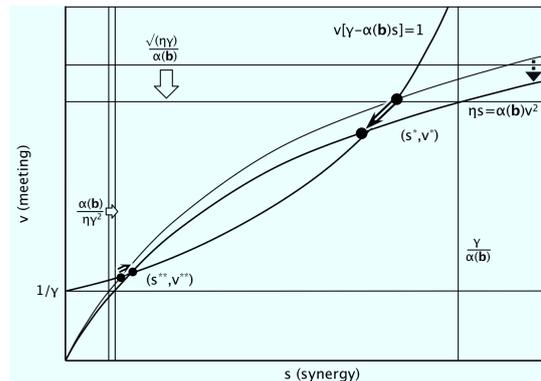


図-5: v-s 曲線 ( $\eta$  の低減に伴う変化)

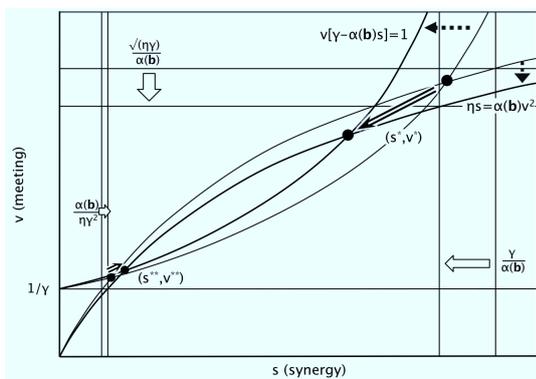


図-4: v-s 曲線 ( $\alpha(\mathbf{b})$  の増大に伴う変化)

式 (13) を満足する均衡解は 2 種類存在する。このことは図-3 に示した s-v 曲線のグラフより直観的に理解される（厳密な解の存在条件については、付録 III に述べる）。交点  $(s^*, v^*)$  および  $(s^{**}, v^{**})$  は、いずれも内点解に相当し、前者は CBD の訪問活動、社交活動ともに高水準で達成されるパレート優位な均衡、後者はパレート劣位な均衡である。これらの解は、数値的にはニュートン・ラフソン法等を用いて求めることができる。

Nash 均衡解についてはいくつかの性質が確認できる。まず、Nash 均衡解  $(s^*, v^*)$  および  $(s^{**}, v^{**})$  は、いずれも  $\alpha(\mathbf{b})/(\eta\gamma^2) < s < \gamma/\alpha(\mathbf{b})$ ,  $1/\gamma < v < \sqrt{\eta\gamma}/\alpha(\mathbf{b})$  の範囲内に存在する。このことから、 $\alpha(\mathbf{b})$  の増加（図-4 中の白抜き矢印に対応）は、その他の条件が一定の下では、2 曲線  $v[\gamma - \alpha(\mathbf{b})s] = 1$ ,  $\eta s = \alpha(\mathbf{b})v^2$  に対して同図中の破線矢印のような変化をもたらす。パレート優位の均衡点においては  $s, v$  の水準の低減、パレート劣位の均衡点においてはこれらの増大に帰結する（同図中の二重線矢印）。 $\alpha(\mathbf{b})$  の増加は、 $\alpha$  または  $\bar{b}^2/\bar{b}$  の増大によって引き起こされる。 $\alpha$  は対面コミュニケーションの技術的な効率性に相当するパラメータであり、知識交換等に有用

な道具・電子機器の開発や、モバイルデバイスを用いた多様なデータ活用の普及等は、 $\alpha$  の改善に対応する現象であると考えられる。 $\bar{b}^2/\bar{b}$  の増大は、 $b_i$  ( $\forall i = 1, \dots, n$ ) の平均と分散に依存するため限定的にはあるが、本稿で想定するような線形単一中心都市においては、交通費用  $\tau_i$  の低減や、立地の CBD 付近への一極集中化によってもたらされる。一般に、 $\alpha(\mathbf{b})$  の増大は、社会厚生改善をもたらすことが、Cabrales et al. によって示されている。

同様に、社交活動の費用に関するパラメータ  $\eta$  の減少（図-5 中の白抜き矢印に対応）は、その他の条件が一定の下では、パレート優位の均衡点においては  $s, v$  の水準の低減を、パレート劣位の均衡点においてはこれらの増大を誘起する（同図中の二重線矢印に対応）。本モデルにおける  $\eta$  の低下は、社交的活動の費用の低下に相当する。ある立地分布の下で、コミュニケーションに関して優位の均衡状態が達成されている状況を想定する。この状況下で、新たな通信手段の開発・普及を通じた通信の低価格化等によって  $\eta$  が低下したと仮定する。このことは、同じ水準の社交活動  $s$  を維持するために必要な対面交流行動  $v$  の水準が低下することを意味する。 $s-v$  グラフ中の曲線  $\eta s = \alpha(\mathbf{b})v^2$  は破線矢印のようにシフトする。均衡コミュニケーション水準は、このシフト後の  $\eta s = \alpha(\mathbf{b})v^2$  と従来の  $v[\gamma - \alpha(\mathbf{b})s] = 1$  との相互依存関係の中で決定する。その結果、 $\eta$  低減後は新たな均衡点に到達し、 $\eta$  の増加以前よりも  $s^*, v^*$  がともに低水準となることを示している。

## 4. 立地均衡

### (1) 立地変更ダイナミクス

前節において、各主体の立地点、すなわち各地点における立地主体数  $n_h$  ( $h = 1, \dots, m$ ) が固定の下での均衡におけるコミュニケーション水準  $s, v$  を導出し、安定な

Nash 均衡の存在を確認した。本章ではこの結果を踏まえて、均衡状態を前提とするときに達成される、単一中心都市における立地分布およびコミュニケーション水準を調べる。なお、ここで言う「立地均衡状態」とは、すべての地点に立地する主体について効用水準  $U_i$  が等しい状態とする。本モデルにおいて、立地均衡状態における立地分布を解析的に導出することは不可能であるため、ダイナミクスを導入して立地均衡を求めるモデルを構築した上で、社会的ネットワーク形成におけるリンク維持費用や中心地への交通費用が立地選択に及ぼす影響を明らかにする。本研究においては、主体の行動をレプリケーター・ダイナミクスによって記述する。主体の戦略的行動を記述する際、最適反応ダイナミクス等の学習ダイナミクスを採用する場合があるが、本研究においては、定式化・扱いの簡便さと収束が保証されている点、および本研究の想定する立地均衡状態とレプリケーター・ダイナミクスの定常状態との類似性から、レプリケーター・ダイナミクスを採用した。なお、前述のような他のダイナミクスを用いた場合も、本稿と同様の結果に帰着すると考えられる。

## (2) 立地変更ダイナミクス

各主体は、ある立地分布の下でコミュニケーション水準に関して均衡状態にあるとする。このとき前章の結論から、同一地点に立地する主体の効用は等しい。一方、異なる地点に立地する主体同士での比較を行うと、効用水準は一致するとは限らない。レプリケーター・ダイナミクスに則して本モデルにおける主体の立地変更の原理を考えると、すべての主体に関する効用水準の平均値  $\bar{V} (= \sum_{i=1}^n V_i/n = \sum_{h=1}^m (V_h \cdot n_h)/n)$  よりも効用が低い地点に立地する主体には、立地を変更する動機が発生する。立地変更先としての選択肢集合は、すべての地点  $1, \dots, m$  の  $m$  種類である。よって、この立地変更のダイナミクスは  $n$  人  $m$  戦略対称ゲーム ( $m^n$  ゲーム) と考えることができる。レプリケーター・ダイナミクスは戦略シェアの時間変化を示すダイナミクスであるので、変数はすべて 0 から 1 までの値をとる。変数は各地点の立地主体数のシェアに対応し、これをすべての立地点  $1, \dots, m$  について合計した値は常に 1 である。すなわち、 $m$  戦略の単位単体 (simple simplex) を考えることになる。このことを本章で取り扱う問題について定式化すると、地点  $h$  の立地主体数のシェアを  $q_h$  と表すことにより、すべての時点において

$$\sum_{h=1}^m q_h = \sum_{h=1}^m \frac{n_h}{n} = 1 \quad (0 \leq q_h \leq 1, \forall h = 1, \dots, m) \quad (17)$$

が成立することとなる。ある時点で地点間の効用水準にばらつきがあるとき、平均効用  $\bar{V} = \sum_{h=1}^m V_h \cdot q_h$  よりも高い [低い] 効用水準を達成している地点には、次の

時点においてより多くの [少ない] 主体が立地する。この立地主体数の増加 [減少] 分は、当該地点に立地する主体の効用水準と平均効用水準  $\bar{V}$  との差に依存し、すべての主体の内の当該地点に立地する主体数のシェアに基づいて決定する。すなわち、

$$\frac{\Delta q_h}{q_h} = \psi \cdot \frac{V_h - \bar{V}}{\bar{V}} \quad (18)$$

である ( $\psi$  はダイナミクスのパラメータ)。式 (18) は次式と同じ動学的特性を持つ。

$$\dot{q}_h = \psi (V_h - \bar{V}) q_h \quad h = 1, \dots, m \quad (19)$$

社会全体の立地分布がどのように推移していくかは、式 (19) を解くことにより明らかになる。本稿では、立地分布が推移する過程よりも最終的に辿り着く均衡立地分布に着目するため、 $\psi = 1$  として数値例に基づき分析を行う。

各主体は、当該時点に直面する立地分布の下で、ソーシャルネットワーキング活動 (社交活動) 水準  $s$  および中心地への訪問を通じた他者との対面交流行動水準  $v$  を決定する。これは、特定の時点においてのみ (短期的に) 成立する、コミュニケーションに関する均衡状態である。その上で、各地点に立地する主体の均衡効用水準にばらつきがある場合は、翌時点に立地変更が行われて社会全体の立地分布が変化する。この一連の過程がくり返された後、いずれの地点に立地する主体についても効用水準が等しい状態が達成される。これが、コミュニケーション行動・立地のいずれに関しても均衡した、長期的に達成される均衡状態であるといえる。初期の立地分布がランダムに形成されるとすると、想定する社会が長期の均衡状態に到達するまでのプロセスは図-6 のように図式化される。

## 5. 立地均衡におけるコミュニケーション水準

本章では、3, 4 章において提示した、社会的距離および立地を内生化した社会的相互作用モデルにおいて、環境の変化に対して社会の有り様がどのように反応するかを具体的な数値例を元に調べる。本稿において示す数値例はすべて、主体のグループ数  $t = 500$ 、各グループごとの主体数  $c = 100$  とし、総主体数  $n = t \times c = 50,000$  が  $m = 30$  の地点および中心地 CBD からなる都市において、コミュニケーション水準と立地点を選択すると想定する。この設定の下で、様々な環境要因の変化が主体の相互交流水準および立地分布に及ぼす影響を、数値シミュレーションによって確認する。

### (1) 数値例 5-1: 交流水準の複数均衡

3 章において、ある環境の下で、社交活動  $s$ ・対面交流  $v$  とともに高水準で均衡する優位な均衡と、これらがい

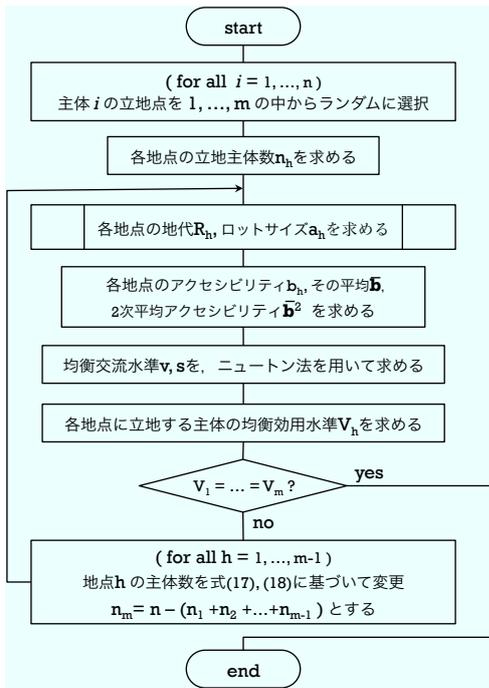


図-6: 立地均衡のアルゴリズム

ずれも低水準で均衡する劣位な均衡との複数均衡が存在することを解析的に示した。この数値例は、優位な均衡と劣位な均衡の存在および性質について、それぞれの均衡において達成される立地分布を含めて確認するものである。各パラメータの値は表-1の通りである。

まず、表-1のパラメータセットの下で2組の均衡交流水準の存在が確認できた。それぞれの交流水準( $s^*, v^*$ )と、対応する社会厚生水準  $SW$  およびその内訳の一部(各主体が相互交流から獲得する効用と、土地消費によって得る効用それぞれについて、すべての主体について総和をとったもの)、 $\alpha(\mathbf{b})$  を、下表-2に示す。なお、土地消費による効用については、地点  $h$  に立地する主体のこれが  $\zeta \ln(\zeta/R_h)$  と表されることから、地代  $R_h (> 0)$  に対して必ず負値となる。ロットサイズ  $a_h = 0$  の場合は  $\zeta \ln(\zeta/R_h) = \zeta \ln a_h = -\infty$  となる点は、理論上整合しており、また数値そのものよりも数値同士の大小関係や増減に着目するため、土地消費から得られる効用を効用タームで正の値とするような補正は行わなくてよいものとする。

これにより、 $s^*, v^*$  がいずれもより高水準である均衡状態の方が  $\alpha(\mathbf{b})$  の値が大きく、社会的厚生も高いことが確認できる。よって、以下では高水準のコミュニケーションを実現する均衡(1)を「パレート優位の均衡」、他方を「パレート劣位の均衡」とする。パレート優位の均衡、劣位の均衡それぞれにおいて、各地点に立地する主体が実現するコミュニケーション水準  $v_h^* = b_h \cdot v^*$ ,

表-1: 数値例 4-1: パラメータ

パラメータの種類		値
戦略的補完性のパラメータ	$\alpha$	0.25
準効用関数のパラメータ	$\beta$	20
	$\gamma$	10
社交活動の費用関数のパラメータ	$\eta$	1.5
土地消費による効用のパラメータ	$\zeta$	25
対面交流の機会費用	$p_f$	5
中心地 CBD までの限界交通費用	$p_t$	0.45
農業地代(土地の機会費用)	$R_A$	300
予算	$y$	500

表-2: 複数均衡と交流水準・社会厚生

	均衡(1)	均衡(2)
$s^*$	2.775	0.01736
$v^*$	1.126	0.1005
$SW$	$3.342 \times 10^5$	$3.007 \times 10^5$
(対面交流による効用)	$4.725 \times 10^4$	$2.211 \times 10^3$
(土地消費による効用)	$-7.555 \times 10^4$	$-6.405 \times 10^4$
$\alpha(\mathbf{b})$	3.284	2.582

$s_h^* = b_h \cdot s^*$  は図-7, 8 のようになる。いずれの均衡においても、中心地近郊(地点 1, ..., 5 辺り)に立地する主体は郊外(地点 25, ..., 30 辺り)に立地する主体よりも対面交流を活発に行う。1主体あたりの効用の内訳を見ると、優位の均衡・劣位の均衡のいずれの場合においても、中心地近郊の主体は、郊外に立地する主体よりもコミュニケーションから獲得する効用が高水準となっている。一方で、中心地付近においては多くの主体で決まった広さの土地を分け合うため、土地消費によって得られる効用は、郊外に立地する主体と比べて低い水準となる。図-9, 10 は、地点  $h = 1, \dots, m (= 30)$  に立地する主体数の分布を示している。各主体がコミュニケーションを活発に行うとき、交通費用負担を軽減するために中心地付近への立地が促進される。そのためパレート優位な均衡においては、劣位の均衡よりも中心地付近への集積度がより高い立地分布となることが確認できる。

## (2) 数値例 5-2: 交通費用の変化と立地均衡

次に、交通費用の増減に対して、均衡における交流水準や立地分布がどのように変化するかを調べる。具体的には、限界交通費用を表すパラメータ  $p_t$  以外は表

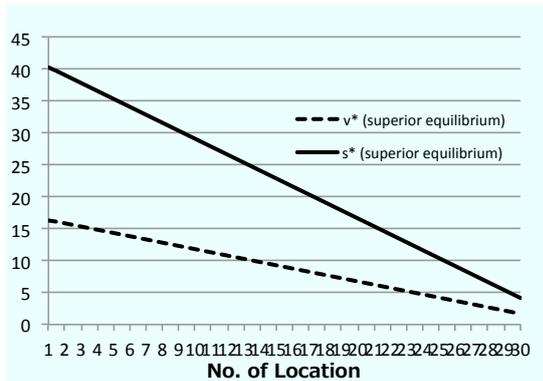


図-7: 各地点の主体の均衡交流水準 [パレート優位]

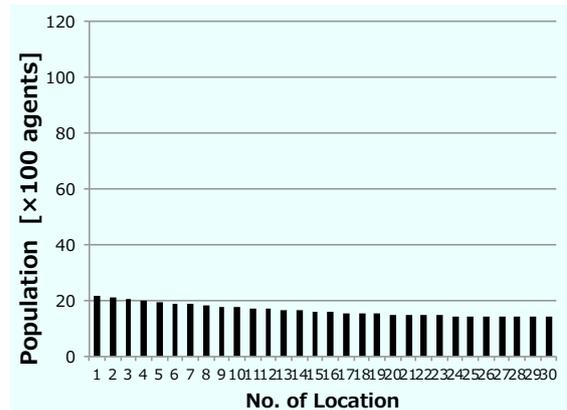


図-10: 均衡立地分布 [パレート劣位]

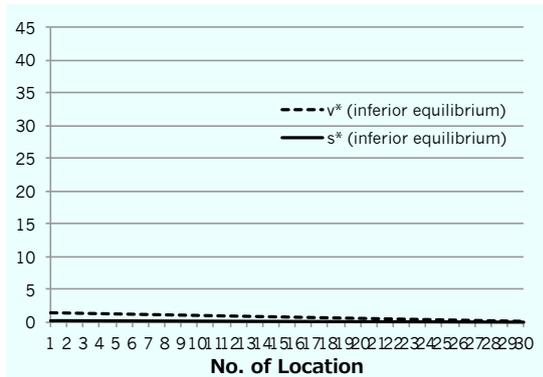


図-8: 各地点の主体の均衡交流水準 [パレート劣位]

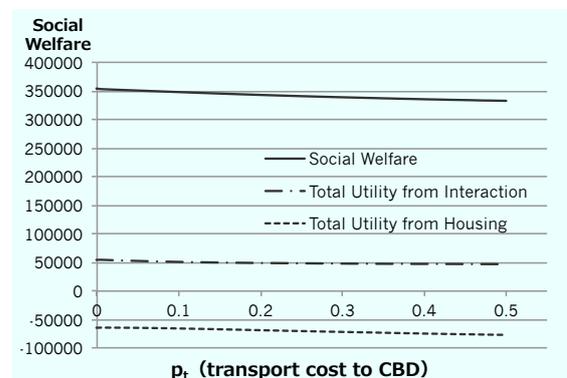


図-11: 交通費用  $p_t$  の変化と社会厚生

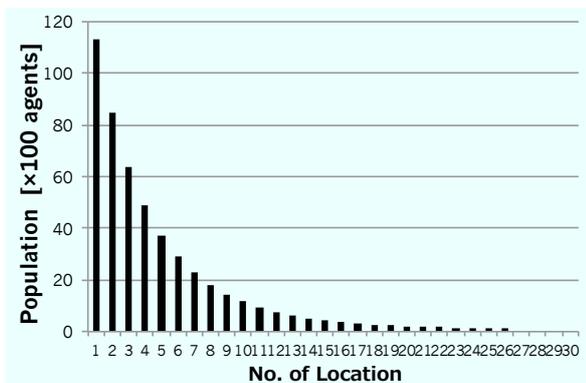


図-9: 均衡立地分布 [パレート優位]

-1 に示したパラメータセットを用いて、 $p_t$  が 0 ~ 0.5 の間で変化した場合にパレート優位の均衡における立地分布・コミュニケーション水準・社会厚生の変化する様子を、数値例 4-1 と同様の数値シミュレーションにより分析する。

図-11 は、交通費用が  $p_t = 0 \sim 0.5$  の範囲で変化した場合に、 $p_t$  の各値に対して立地均衡に達した社会の社会

厚生：Social Welfare（実線）および、各主体がコミュニケーションから獲得する効用：Utility from Interaction（一点鎖線）と各主体が土地を消費することにより得る効用：Utility from Housing（破線、なお、この土地消費効用には、地代の支払いは含まれていない）をそれぞれすべての主体について足し合わせたものが、どのように変化するかをグラフで示したものである。また、図-12 は、同じく  $p_t$  の変化に対して、パレート優位な均衡におけるコミュニケーション水準と  $\alpha(\mathbf{b})$  が変化する様子をグラフ化したものである。図-11 より、交通費用の低下が、社会全体でのコミュニケーションによってもたらされる効用および土地消費により得られる効用とともに増大させ、社会厚生を改善させることが分かる。図-12 に示す通り、 $p_t$  の低下は 2 次平均アクセシビリティ  $\alpha(\mathbf{b})$  をも増大させており、 $\alpha(\mathbf{b})$  の増加が社会厚生改善をもたらすという Cabrales et al. の結論とも対応する。また、3 章で確認した通り、 $\alpha(\mathbf{b})$  の増加に伴って、均衡における  $s^*, v^*$  の水準はいずれも低下している。

図-14 からは、交通費用の低下に伴って都市の領域が拡大することが確認できる。

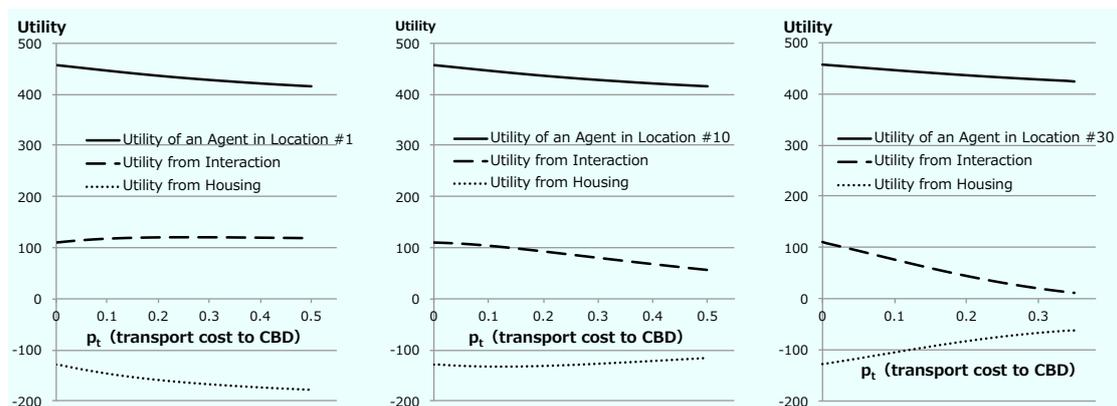


図-13: 交通費用  $p_t$  の変化と各主体の均衡効用水準 (地点 1, 10, 30)

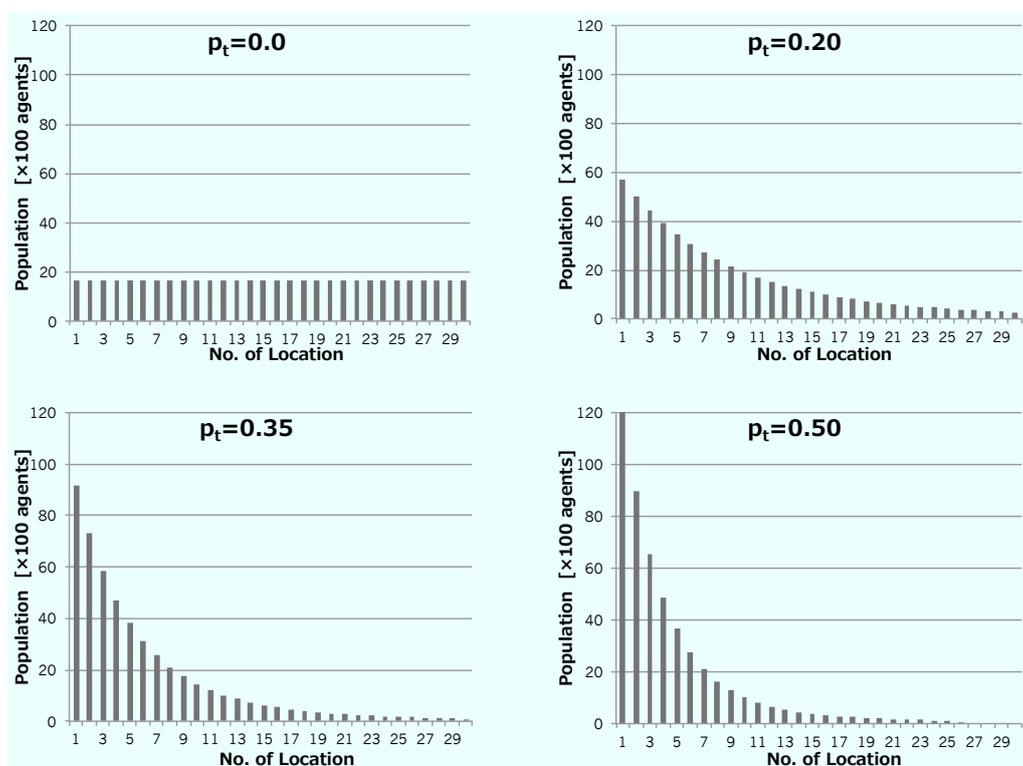


図-14: 交通費用  $p_t$  の変化と均衡立地分布

さらに、図-13は、 $p_t$ の変化に伴って、左からそれぞれ地点 1, 10, 30 に立地する主体の効用水準が推移する様子を示している。地点 30 の主体に関するグラフ (右) のみ  $p_t \leq 0.35$  の範囲に限ったグラフとなっているのは、 $p_t$  がこれ以上大きい場合には地点 30 は農地となり、立地する主体が存在しないためである (交通費用が  $p_t = 0.5, 0.35, 0.2, 0$  と変化したときの、各々の時点での均衡における立地主体数分布は、図-14 のようになる)。立地均衡においては、すべての主体の効用が等しい状態が達成されているため、1, 10, 30 のいずれの地点に立

地する主体の効用も (さらには、その他のあらゆる地点に立地する主体の効用も)、いずれの交通費用の場合においても完全に等しい水準である。よって、主体一人ひとりの効用は、 $p_t$  の低下に対して全く同じように増加するが、その変化の内訳は、地点によって異なる。図-13 左図より、CBD に近い地点 1 では、 $p_t = 0.5$  の時点では全主体数の 4 割近い主体が集積している。交通費用が低下すると、中心地と各立地点との物理的距離が縮減されるので、これに伴って主体が郊外へ流出する。地点 1 に立地し続ける主体にとっては、これは限

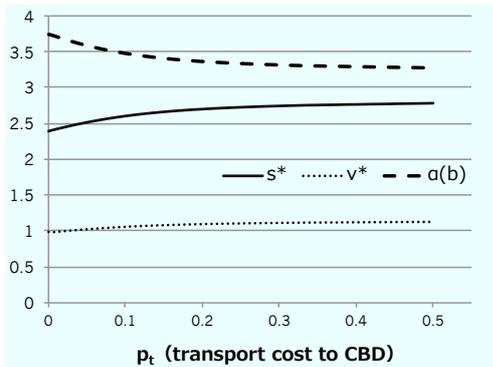


図-12: 交通費用  $p_t$  の変化と均衡交流水準および  $\alpha(\mathbf{b})$

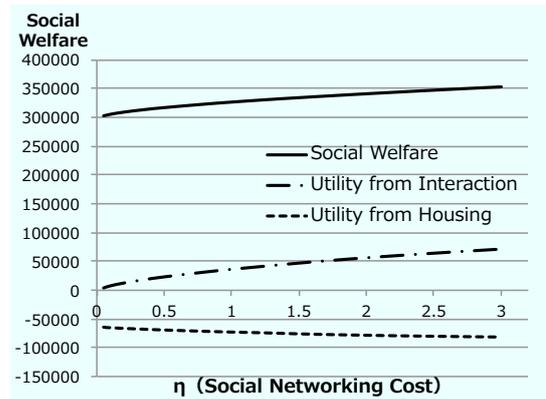


図-15: 社交活動費用  $\eta$  の変化と社会厚生

られた土地を分け合う相手の数が減少することを意味するため、交通費用の低下に伴って土地消費による効用は増加する。一方で、交通費用の低下に伴って  $v^*$  が低減し、また  $b_i = \beta - p_f - \tau_i$  は地点 1 についてはほとんど変化しないため、地点 1 に立地する主体がコミュニケーション  $v_i^* = b_i \cdot v^*$  によって獲得する効用は低減する。最も中心地から遠く離れた地点 30 では、地点 1 とは逆に、交通費用の低下に伴って主体が流入するため、この地点に立地する主体の土地消費による効用は減少傾向となる。そして、地点 30 では、交通費用の低下によるアクセシビリティ  $b_i = \beta - p_f - \tau_i$  の増加の程度が大きいため、 $v^*$  が低減してもなお、対面交流水準  $v_i^* = b_i \cdot v^*$  は増加する。従って、コミュニケーションから得る効用は増大する。また、このように郊外の立地点においては、交通費用が低下するに従って主体数が増加し、かつそれらの各主体の対面交流水準は増加する。よって、中心地付近に立地する主体にとっては、郊外の主体の CBD 訪問水準の増加の影響が戦略的補完性の効果を通じて波及するため、自身の訪問水準が低下しても、コミュニケーションによる効用の低減する度合いは緩やかなものとなる。

### (3) 数値例 5-3：社交活動費用の変化と立地均衡

3 章 (4) 節において、立地分布が変化しないという設定の下で、社交活動費用のパラメータ  $\eta$  が低減した場合について、比較静学による分析を行った。ここでは、社交活動費用  $\eta$  が変化した後立地変更が発生し、新たな社交活動費用  $\eta'$  の下での立地均衡が達成されたときに、 $\eta$  が変化する以前の社会との比較を行うことによって、社交活動に関する費用の変化が長期的に社会全体にどのような影響を与えるかを分析する。具体的には、 $\eta$  以外のパラメータの設定には表-1 と同じ値を用い、 $\eta$  を 0.05 ~ 3.0 の範囲で変化させたときの、パレート優位な均衡における立地分布・交流水準および社会厚生

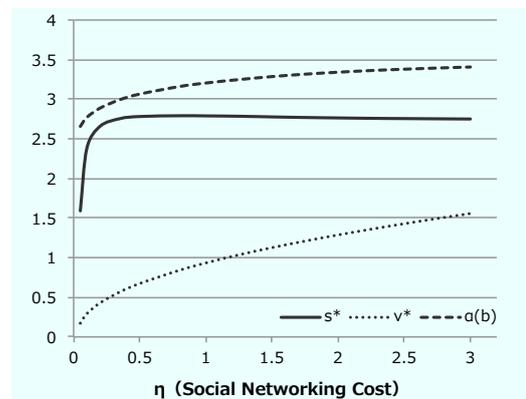


図-16: 社交活動費用  $\eta$  の変化と均衡コミュニケーション水準および  $\alpha(\mathbf{b})$

の変化を、数値シミュレーションを用いて調べる。

図-15 は、社交活動費用  $\eta$  の増減に対する社会厚生の変化および、各主体がコミュニケーションから獲得する効用と各主体が土地を消費することによりえる効用をそれぞれすべての主体について足し合わせたものが、どのように変化するかをグラフで示したものである。 $\eta$  の変化に対して、パレート優位な均衡におけるコミュニケーション水準と  $\alpha(\mathbf{b})$  が変化の様子は、図-16 に示した。

$\eta = 2.5, 1.5, 0.50, 0.050$  のそれぞれの場合について、均衡における主体数の立地分布は図-17 のようになる。費用の低下に対して立地分布が分散化し、都市の領域が拡大するという傾向は、交通費用  $p_t$  の場合と同様である。図-16 の結果は、 $\eta$  の低下に伴ってパレート優位な均衡における交流水準  $v^*, s^*$  が減少することを示しており、3 章の解析的分析と整合する。一方で、図-15 からは、社交活動費用  $\eta$  の低下が、交通費用の低下とは異なり、社会厚生を低減をもたらすことがわかる。一般的に費用の低下は社会厚生を改善すると考えられる

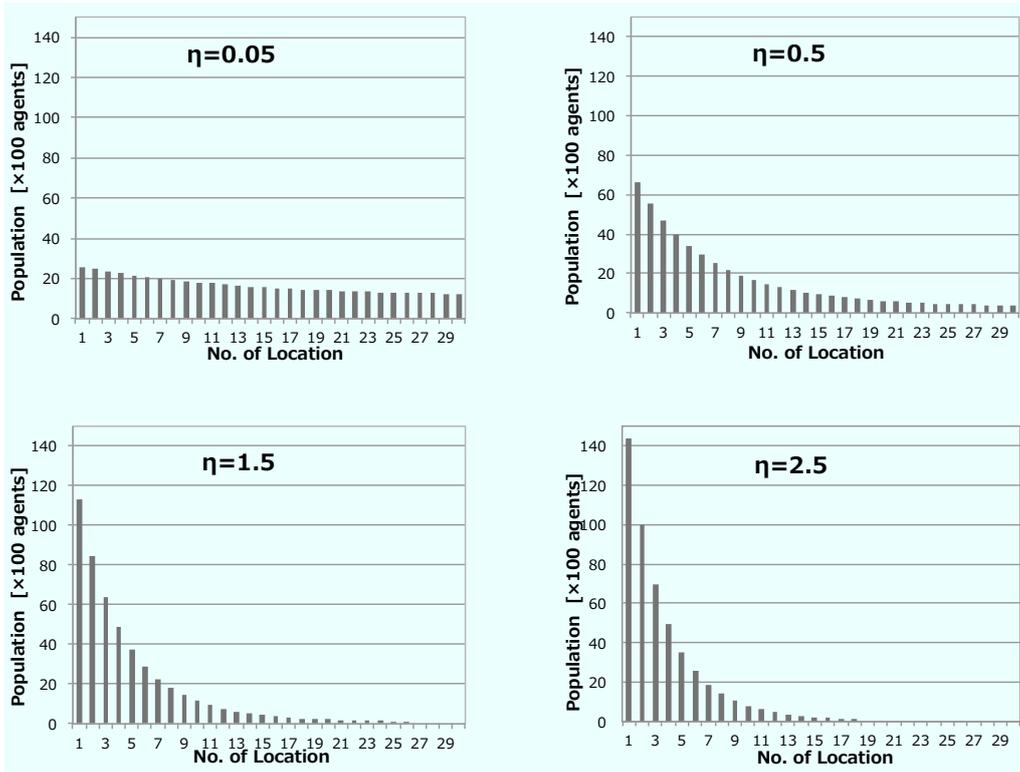


図-17: 社交活動費用  $\eta$  の変化と均衡立地分布 ( $\eta = 0.05, 0.5, 1.5, 2.5$ )

ため、直観的にも理解し難いが、この結果は次のように考えることができる。

ある社交活動費用  $\eta$  の下で、立地も含めた均衡に到達した社会を想定する。この状態を、便宜的に均衡 A と呼び、この時点でのコミュニケーション水準を  $s_A^*, v_A^*$  とする。均衡 A において、社交活動費用が  $\eta = \eta'$  ( $\eta' < \eta$ ) に変化したとすると、均衡コミュニケーション水準は低減し、 $(s, v) = (s_B^*, v_B^*)$  ( $s_B^* < s_A^*$  かつ  $v_B^* < v_A^*$ ) である新たな均衡状態に至る。この状態を均衡 B と呼ぶことにすると、均衡 A と均衡 B では、立地変更が起こっていないため、 $\alpha(\mathbf{b})$  の値は共通である。この均衡状態の推移は、**図-18** に二重線矢印で示した均衡点の推移に相当する。均衡 A は立地に関して均衡した状態であるため、交流水準が変化した均衡 B においては、各主体の獲得している効用水準が、地点ごとに異なる。均衡 A から均衡 B に推移したときの地点  $h$  に立地する主体の効用水準の変化  $\Delta U_h$  は、式 (16) より

$$\Delta U_h = U_h(B) - U_h(A) = \frac{b_h^2}{2} (v_B^* - v_A^*)$$

により表される (均衡 A から均衡 B への変化の過程で立地変更は行われなため、ロットサイズは等しく、 $a_h(A) = a_h(B)$  である)。よって、効用水準の変化  $\Delta U_h$  の正負はすべての地点  $1, \dots, 30$  について共通であり、変化の大きさ  $|\Delta U_h|$  はアクセシビリティ  $b_h$  が大きい地点

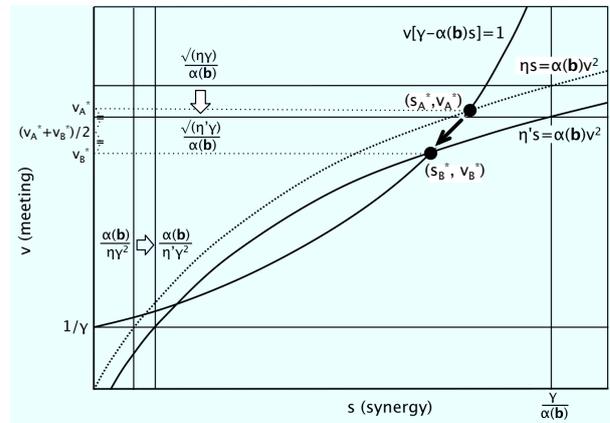


図-18: 社交活動費用  $\eta$  の低下と均衡点の推移

ほど大きい。すなわち、中心地に近い地点ほど効用水準の変化が大きいことがわかる。 $v_B^* - v_A^* < 0$  であることから  $\Delta U_h < 0$  であり、中心地近郊の効用水準は他の地点よりも大幅に低減しているため、中心地の付近に立地していた主体が郊外地域に向かって分散すると考えられる。立地変更がなされた後の立地分布の下では、さらに新たなコミュニケーションに関する均衡が達成される。この状態を均衡 C と呼ぶ。立地変更後は、中心地均衡に立地空いていた主体が分散して都市領域が

拡大するため、均衡 C においては均衡 A よりも  $\alpha(\mathbf{b})$ 、社会厚生ともに低減する。図-15 において、土地消費による効用が、 $\eta$  の低減に伴って改善していることから、立地が分散化したことが裏付けられる。さらに図-16 によると、 $\eta < 0.5$  の領域では交流水準の低下の程度が著しい。

以上の結果および考察から、社交的活動の費用が低減することは必ずしも社会にとって望ましい結果をもたらさないことが示唆される。またこれは、立地選択までを考慮した本モデルによる分析を通じて新たに得られた結論である。

なお、紙面の都合上詳細は省略するが、戦略的補完性の技術的効率性を表すパラメータ  $\alpha$  の増大は、社交活動費用  $\eta$  の低下と同等の変化を社会にもたらすことが、本節と同様の数値計算により確認できる。

## 6. 結論

本稿は、社会的ネットワークの形成を内生化した下での相互交行動、さらには立地選択や都市の構造に及ぼす影響を、理論モデルに基づき分析した。

3章において、構築したコミュニケーション水準に関するモデルが2つの安定な内点均衡解をもつことを示し、その内の一方が、コミュニケーション水準・社会厚生ともに高水準なパレート優位な均衡、他方はこれらのいずれもが低水準であるパレート劣位な均衡であることを、5章(1)節において数値的に確認した。また、立地変更が起こらない短期的な状況下では、対面コミュニケーションの効率性  $\alpha$  の改善や社交活動の費用  $\eta$  の低減が社会厚生を改善をもたらすことを解析的に示した。さらに、立地変更のダイナミクスを考慮した数値分析に基づき、1. 交通費用の低下は、短期的にも長期的にも社会厚生を改善させ、長期的な均衡においては立地を分散化させること、2. 社交活動の費用  $\eta$  の低下および対面コミュニケーションの効率性  $\alpha$  の増大は、短期的には社会厚生を改善するものの、長期的には中心地均衡の主体を郊外に流出させ、長期的な均衡においては却って社会厚生を改悪する可能性があることを示した。

本稿の得た結論においては立地均衡の安定性および唯一性の議論が不十分であり、今後精査を要する。また本モデルの拡張として、CBDの内生化が考えられる。

## 付録

### I. 連立方程式 (13) の導出

式 (7) より

$$\gamma v_i = b_i + \alpha \sum_{k=1, k \neq i}^n g_{ik}(\mathbf{s}) v_k$$

である。上式をすべての  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) について連立して解くことにより、均衡における対面交流水準  $v^*$  が導出できる。これを行列表記すると、

$$\gamma \mathbf{v} = \mathbf{b} + \alpha [\mathbf{G}(\mathbf{s}) - \text{diag}(\mathbf{G}(\mathbf{s}))] \mathbf{v} \quad (20)$$

となる。 $\mathbf{G}(\mathbf{s})$  は  $(i, j)$  成分が  $g_{ij}(\mathbf{s}) = s_i \cdot s_j / n\bar{s}$  であるような  $n$  次元対称行列、 $\mathbf{I}$  は  $\mathbf{G}$  と同次元の単位行列である。また  $\text{diag}(\mathbf{G}(\mathbf{s}))$  は、対角成分が  $\mathbf{G}(\mathbf{s})$  と等しい対角行列である。すなわち、

$$[\text{diag}(g_{ij}(\mathbf{s}))] = \begin{cases} g_{ij}(\mathbf{s}) & (\text{if } i = j) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases}$$

である。式 (20) を整理すると、

$$\gamma \left[ \mathbf{I} - \frac{\alpha}{\gamma} \mathbf{G}(\mathbf{s}) \right] \mathbf{v} + \alpha \text{diag}(\mathbf{G}(\mathbf{s})) \mathbf{v} = \mathbf{b} \quad (21)$$

となる。ここで、 $n$  次元行列  $\mathbf{M}(\mathbf{s}) = [\mathbf{I} - (\alpha/\gamma)\mathbf{G}(\mathbf{s})]^{-1}$  とおく（逆行列  $[\mathbf{I} - (\alpha/\gamma)\mathbf{G}(\mathbf{s})]^{-1}$  の存在条件は、付録 II に示した）と、

$$\mathbf{M}(\mathbf{s}) = \mathbf{I} + \frac{\alpha}{\gamma} \mathbf{G} + \left(\frac{\alpha}{\gamma}\right)^2 \mathbf{G}^2 + \dots = \mathbf{I} + \sum_{p=1}^{+\infty} \left(\frac{\alpha}{\gamma}\right)^p \mathbf{G}^p$$

である。 $\mathbf{G}^p = (\bar{s}^2/\bar{s})^{p-1} \mathbf{G}$  が帰納的に導かれるので、これは

$$\begin{aligned} \mathbf{M}(\mathbf{s}) &= \mathbf{I} + \sum_{p=1}^{+\infty} \left(\frac{\alpha}{\gamma}\right)^p \frac{\bar{s}^2}{\bar{s}} \mathbf{G} = \mathbf{I} + \frac{\frac{\alpha}{\gamma} \bar{s}^2}{1 - \frac{\alpha}{\gamma} \frac{\bar{s}^2}{\bar{s}}} \mathbf{G} \\ &= \mathbf{I} + \frac{\alpha \bar{s}}{\gamma \bar{s} - \alpha \bar{s}^2} \mathbf{G} \end{aligned}$$

となる。 $\mathbf{M}(\mathbf{s})$  を式 (21) の両辺に右側から掛けると

$$\gamma \mathbf{v} + \alpha \left[ \mathbf{I} + \frac{\alpha \bar{s}}{\gamma \bar{s} - \alpha \bar{s}^2} \mathbf{G} \right] \cdot \text{diag}(\mathbf{G}(\mathbf{s})) \mathbf{v} = \left[ \mathbf{I} + \frac{\alpha \bar{s}}{\gamma \bar{s} - \alpha \bar{s}^2} \mathbf{G} \right] \mathbf{b}$$

となるが、 $n$  が十分に大きいとき  $\text{diag}(\mathbf{G}(\mathbf{s}))$  の成分  $g_{ii}(\mathbf{s}) = s_i^2 / n\bar{s}$  はすべて 0 に近づくために無視してよく、

$$\gamma \mathbf{v} = \left[ \mathbf{I} + \frac{\alpha \bar{s}}{\gamma \bar{s} - \alpha \bar{s}^2} \mathbf{G} \right] \mathbf{b} \quad (22)$$

としてよい。これは、すべての  $i$  について

$$\gamma v_i = b_i + \frac{\alpha \bar{s}}{\gamma \bar{s} - \alpha \bar{s}^2} \sum_{k=1}^n \frac{s_i s_k}{n\bar{s}} b_k \quad (23)$$

が成立することを意味する。

式 (8) より

$$\frac{s_i}{v_i} = \frac{\alpha}{\eta} \cdot \frac{\mathbf{s} \cdot \mathbf{v}}{n\bar{s}} \quad (24)$$

であり、右辺の値は  $i$  によらず一定である。よってすべての  $i, j$  について

$$\frac{s_i}{v_i} = \frac{s_j}{v_j}$$

が成り立つ。このことより、すべての  $i$  についてある実数値  $s, v$  を用いて  $s_i = \theta_i s, v_i = \theta_i v$  とおくことができ、

$$\begin{aligned}\gamma\theta_i v &= b_i + \frac{\alpha s \bar{\theta}}{\gamma s \bar{\theta} - \alpha s^2 \bar{\theta}^2} \cdot \sum_{k=1}^n \frac{s^2 \theta_k \theta_k}{n s \bar{\theta}} \cdot b_k \\ &= b_i + \frac{\alpha s}{n} \frac{\theta_i}{\gamma \bar{\theta} - \alpha s \bar{\theta}^2} \cdot \sum_{k=1}^n \theta_k b_k\end{aligned}$$

$$\therefore \frac{b_i}{\theta_i} = \gamma v - \frac{\alpha s}{n} \frac{\sum_k \theta_k b_k}{\gamma \bar{\theta} - \alpha s \bar{\theta}^2} (= \text{const.})$$

すなわち、任意の  $i, j$  について

$$\frac{\theta_i}{\theta_j} = \frac{b_i}{b_j}$$

が成立する。よって  $b_i = \theta_i$  としてよく、

$$\begin{aligned}\gamma v &= 1 + \frac{\alpha s}{n} \frac{n \bar{b}^2}{\gamma \bar{b} - \alpha s \bar{b}^2} = 1 + \frac{\alpha s \bar{b}^2}{\gamma \bar{b} - \alpha s \bar{b}^2} = \frac{\gamma}{\gamma - \alpha(\bar{b})s} \\ \therefore v &= \frac{1}{\gamma - \alpha(\bar{b})s}\end{aligned}$$

が得られる。

## II. 逆行列 $\mathbf{M}(\mathbf{s}) = [\mathbf{I} - (\alpha/\gamma)\mathbf{G}(\mathbf{s})]^{-1}$ の存在条件

Ballester et al.<sup>19)</sup>に準拠すると、非負行列  $\mathbf{M}(\mathbf{s}) = [\mathbf{I} - (\alpha/\gamma)\mathbf{G}(\mathbf{s})]^{-1}$  の存在する必要十分条件は、

$$1 > \left(\frac{\alpha}{\gamma}\right) \rho(\mathbf{G}(\mathbf{s})) \quad (25)$$

が満たされていることである。 $\rho(\mathbf{G}(\mathbf{s}))$  は非負行列  $\mathbf{G}(\mathbf{s})$  の最大固有値の絶対値である。以下で、 $\rho(\mathbf{G}(\mathbf{s})) = \bar{s}^2/\bar{s}$  を示す。まず、スカラー  $\bar{s}^2/\bar{s}$  は、行列  $\mathbf{G}(\mathbf{s})$  の固有ベクトル  $\mathbf{s}$  に関する固有値である。すなわち  $\mathbf{G} \cdot \mathbf{s} = (\bar{s}^2/\bar{s})\mathbf{s}$  である。次に、大きさが1であるような  $n$  次元ベクトル  $\mathbf{x}$  ( $\mathbf{x}$  は  $\|\mathbf{x}\| = 1$  を満たす) を用いて、 $\mathbf{G}(\mathbf{s}) \cdot \mathbf{x} = \mathbf{s} \cdot \mathbf{x} / n \bar{s}$  が得られる。 $\mathbf{s} \cdot \mathbf{x}$  はベクトル  $\mathbf{s}$  と  $\mathbf{x}$  の内積を表し、 $|\mathbf{s} \cdot \mathbf{x}| \leq \|\mathbf{s}\| \times \|\mathbf{x}\| \leq \|\mathbf{s}\|$  が言える。ゆえに、 $\|\mathbf{G} \cdot \mathbf{x}\| \leq (\|\mathbf{s}\|^2 / n \bar{s}) = \bar{s}^2/\bar{s}$  が導かれる。一方、 $\rho(\mathbf{G})$  は「行列  $\mathbf{G}$  の最大固有値の絶対値」であるので  $\rho(\mathbf{G}) = \sup \{\|\mathbf{G} \cdot \mathbf{x}\| / \|\mathbf{x}\| : \|\mathbf{x}\| = 1\}$  である。よって、 $\rho(\mathbf{G}) = \bar{s}^2/\bar{s}$  が結論づけられる。以上から、 $\rho(\mathbf{G}(\mathbf{s})) = \bar{s}^2/\bar{s}$  であるので、式(25)は

$$1 > \frac{\alpha \bar{s}^2}{\gamma \bar{s}} \quad (26)$$

と同値である。よって、行列  $\mathbf{M}(\mathbf{s}) = [\mathbf{I} - (\alpha/\gamma)\mathbf{G}(\mathbf{s})]^{-1}$  は、 $1 > (\alpha \bar{s}^2)/(\gamma \bar{s})$  のとき、またこのときに限り存在する。

## III. 連立方程式 (13) の解の存在条件

式(13)について、2つの解が存在する条件について検討する。

$v$  を  $s$  の式に代入し、 $s = f(s)$  とおくと

$$f(s) = \frac{\alpha(\mathbf{b})}{\eta[\gamma - \alpha(\mathbf{b})s]^2} \quad (27)$$

となる。式(13)が2つの解を持つためには、 $f(s)$  曲線が、 $s - f(s)$  平面において原点を通り  $s$  軸と成す角が45

度である直線(45度線と呼ぶ)と2回交差すればよい。

$$f(0) = \frac{\alpha(\mathbf{b})}{\eta\gamma^2}, \quad \lim_{s \rightarrow \gamma/\alpha(\mathbf{b})} f(s) = +\infty$$

よって、関数  $f(\cdot)$  は、定義域  $[0, \gamma/\alpha(\mathbf{b}))$ 、値域  $[\alpha(\mathbf{b})/\eta\gamma^2, +\infty)$  の範囲で挙動する。さらに、

$$f'(s) = \frac{2[\alpha(\mathbf{b})]^2}{\eta[\gamma - \alpha(\mathbf{b})s]^3}$$

より

$$f'(0) = \frac{2[\alpha(\mathbf{b})]^2}{\eta\gamma^3}, \quad \lim_{s \rightarrow \gamma/\alpha(\mathbf{b})} f'(s) = +\infty$$

である。このことから、 $f(s)$  がある  $s \in [0, \gamma/\alpha(\mathbf{b}))$  において45度線に平行な接線を持ち、かつこの接線が45度線よりも厳密に下方に位置すれば、 $f(s)$  は  $s \in [0, \gamma/\alpha(\mathbf{b}))$  の範囲内に異なる2つの解をもつ。このような接線が存在するためには、

$$\frac{2[\alpha(\mathbf{b})]^2}{\eta\gamma^3} \leq 1 \iff \alpha(\mathbf{b}) \leq \sqrt{\frac{\eta\gamma^3}{2}}$$

である必要がある。また、 $f(s)$  が  $s = x^*$  において前述のような接線をもつとすると、

$$f'(x^*) = 1 \iff \alpha(\mathbf{b})x^* = \gamma - \left\{ \frac{2}{\eta} [\alpha(\mathbf{b})]^2 \right\}^{1/3}$$

である。式(13)が2つの解を持つための必要十分条件は

$$\alpha(\mathbf{b}) \leq \sqrt{\frac{\eta\gamma^3}{2}} \quad \text{かつ} \quad f(x^*) < x^* \quad (28)$$

であり、

$$f(x^*) = \frac{\alpha(\mathbf{b})}{\eta[\gamma - \alpha(\mathbf{b})x^*]^2} = \frac{1}{[4\eta\alpha(\mathbf{b})]^{1/3}}$$

より

$$\begin{aligned}f(x^*) < x^* &\iff \frac{1}{[4\eta\alpha(\mathbf{b})]^{1/3}} < \frac{1}{\alpha(\mathbf{b})} \cdot \left[ \gamma - \left\{ \frac{2}{\eta} [\alpha(\mathbf{b})]^2 \right\}^{1/3} \right] \\ &\iff \frac{3}{2} \left( \frac{2[\alpha(\mathbf{b})]^2}{\eta} \right)^{1/3} < \gamma \\ &\therefore \alpha(\mathbf{b}) < \frac{2}{3\sqrt{3}} \sqrt{\eta\gamma^3}\end{aligned}$$

以上から、式(28)の必要十分条件は

$$\alpha(\mathbf{b}) < \sqrt{\eta\gamma^3} \times \min \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{2}{3\sqrt{3}} \right\}$$

が満たされていることと同値であるが、 $(1/\sqrt{2}) > (2/3\sqrt{3})$  よりこれは

$$\alpha(\mathbf{b}) < \frac{2}{3\sqrt{3}} (\eta\gamma^3)^{1/2} \quad (29)$$

に相違ない。よって、条件(29)が満たされているとき、またそのときに限り、 $f(\cdot)$  は45度線と  $[0, \gamma/\alpha(\mathbf{b}))$  の範囲で2回交わり、式(13)は異なる2つの解をもつ。

## VI. 均衡解の安定性解析

均衡解の安定性について議論する。最初に、どの主体も社交活動をまったく行わない、すなわち  $(s_i^*, v_i^*) = (0, b_i/\gamma)$  ( $\forall i = 1, \dots, n = t \cdot c$ ) である均衡について考える。これはコミュニケーションに関する純粋戦略 Nash

均衡の一つである。この状況下で、ある主体  $j$  が社交活動水準を増加させたとすると、 $j$  ( $\neq i$ ) にとって、 $s_i$  に関する限界効用は

$$\frac{\partial u_j}{\partial s_i} = \frac{\alpha s_j v_j}{n\bar{s}} \left( v_i - \sum_{l=1, l \neq j}^n \frac{s_l v_l}{n\bar{s}} \right) = \alpha v_j v_i$$

によって表される離散量の分だけ増加する。 $s_j$  の増加幅が小さくても、上式と同等の効用増加が見込めるのに対して、 $s_j$  が小さければそれに伴って発生する費用負担は安価に抑えられる（これは効用関数の線形2次構造に起因するものではなく、効用と費用のべき乗のオーダーの違いによって生じる結果である）。よって、誰もが社交活動を一切行わなかった状況から、誰かが僅かにでも社交的活動が発生すれば、この主体との間の相乗効果によって効用が増大する主体が他に必ず存在するため、社会全体における社交活動の量的水準は増大する。この作用が伝播することによって、最終的には他のあらゆる主体に社交活動を始める誘因が生じる。以上から、社会全体における社交活動水準は0に留まらないため、 $(s_i^*, v_i^*) = (0, b_i/\gamma)$  の均衡は不安定である。

次に、図-3 に示した2つの内点解について考察する。 $(\mathbf{s}(t), \mathbf{v}(t))$  について、勾配系のダイナミクスを考えると、

$$\frac{\partial s_i(t)}{\partial t} = \frac{\partial u_i(\mathbf{s}(t), \mathbf{v}(t))}{\partial s_i(t)}, \quad \frac{\partial v_i(t)}{\partial t} = \frac{\partial u_i(\mathbf{s}(t), \mathbf{v}(t))}{\partial v_i(t)} \quad (30)$$

について検討することになる。これらは、均衡付近で線形近似を行うと

$$\begin{aligned} \frac{\partial s_i(t)}{\partial t} &= \sum_{k=1}^n \frac{\partial^2 U_i}{\partial s_i \partial s_k} (\mathbf{s}^*, \mathbf{v}^*) (s_k(t) - s_k^*) \\ &\quad + \sum_{k=1}^n \frac{\partial^2 U_i}{\partial s_i \partial v_k} (\mathbf{s}^*, \mathbf{v}^*) (v_k(t) - v_k^*) \\ \frac{\partial v_i(t)}{\partial t} &= \sum_{k=1}^n \frac{\partial^2 U_i}{\partial v_i \partial v_k} (\mathbf{s}^*, \mathbf{v}^*) (v_k(t) - v_k^*) \\ &\quad + \sum_{k=1}^n \frac{\partial^2 U_i}{\partial v_i \partial s_k} (\mathbf{s}^*, \mathbf{v}^*) (s_k(t) - s_k^*) \end{aligned}$$

となる。 $n$  が十分に大きいとき、任意の  $i$  ( $\neq k$ ) について

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 U_i}{\partial s_i \partial s_k} &= \frac{\alpha v_i}{n\bar{s}} \left\{ v_k \left( 1 - \frac{s_i}{n\bar{s}} \right) - \sum_{l=1, l \neq i}^n \frac{s_l v_l}{n\bar{s}} \left( 1 - \frac{2s_i}{n\bar{s}} \right) \right\}, \\ \frac{\partial^2 U_i}{\partial v_i \partial s_k} &= \alpha \frac{s_i}{n\bar{s}} \left( v_k - \sum_{l=1, l \neq i}^n \frac{s_l v_l}{n\bar{s}} \right), \\ \frac{\partial^2 U_i}{\partial s_i \partial v_k} &= \alpha \frac{s_k v_i}{n\bar{s}} \left( 1 - \frac{s_i}{n\bar{s}} \right), \quad \frac{\partial^2 U_i}{\partial v_i \partial v_k} = \alpha \frac{s_i s_k}{n\bar{s}} \end{aligned}$$

であるが、これらはいずれも近似的に0としてよい。

また

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 U_i}{\partial s_i^2} &= -\eta - \frac{2\alpha v_i}{n\bar{s}} \left( 1 - \frac{s_i}{n\bar{s}} \right) \cdot \sum_{l=1, l \neq i}^n \frac{s_l v_l}{n\bar{s}}, \\ \frac{\partial^2 U_i}{\partial s_i \partial v_i} &= \alpha \left( 1 - \frac{s_i}{n\bar{s}} \right) \sum_{l=1, l \neq i}^n \frac{s_l v_l}{n\bar{s}}, \quad \frac{\partial^2 U_i}{\partial v_i^2} = -\gamma \end{aligned}$$

が得られるが、 $n$  が大きいときこれらはそれぞれ

$$\frac{\partial^2 U_i}{\partial s_i^2} = -\eta, \quad \frac{\partial^2 U_i}{\partial s_i \partial v_i} = \alpha(\mathbf{b})v, \quad \frac{\partial^2 U_i}{\partial v_i^2} = -\gamma$$

に近づく。よって、勾配系の調整ダイナミクスに関する安定性は、次の行列  $\mathbf{\Pi}$  の固有値をもって判断することになる。

$$\mathbf{\Pi} = \begin{bmatrix} -\eta\mathbf{I} & \mathbf{B} \\ \mathbf{B} & -\gamma\mathbf{I} \end{bmatrix}, \quad \text{where } \mathbf{B} = \begin{bmatrix} \alpha(\mathbf{b})v & \cdots & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & \cdots & \alpha(\mathbf{b})v \end{bmatrix} \quad (31)$$

$\mathbf{I}$  は  $\mathbf{B}$  と同次元の単位行列である。すなわち、 $-\eta\mathbf{I}, \mathbf{B}, -\gamma\mathbf{I}$  はいずれも  $n$  次元対角行列で、それぞれの対角成分がすべて  $-\eta, \alpha(\mathbf{b})v, -\gamma$  であるような正方行列である。 $\mathbf{\Pi}$  の固有値を  $\lambda$  とおくと、特性方程式は、 $2n$  次元単位行列  $\mathbf{I}$  を用いて

$$[\mathbf{\Pi} - \lambda\mathbf{I}] = \{(\eta + \lambda)(\gamma + \lambda) - [\alpha(\mathbf{b})v]^2\}^n = 0$$

となる。よって2つの固有値が存在し、それぞれを  $\lambda_1, \lambda_2$  とおくと、このダイナミクスが安定であるための必要十分条件は「 $\lambda_1 < 0$  かつ  $\lambda_2 < 0$ 」が満足することであるが、 $\lambda_1 + \lambda_2 = -(\eta + \gamma) < 0$  より  $\lambda_1 \cdot \lambda_2 = \eta\gamma - [\alpha(\mathbf{b})v]^2$  が正であることが確認できればよい。ここで、式(13)において  $v$  の式に  $s$  を代入すると

$$v = \frac{1}{\gamma - \alpha(\mathbf{b}) \cdot [\alpha(\mathbf{b})v^2/\eta]} = \frac{\eta}{\eta\gamma - [\alpha(\mathbf{b})v]^2}$$

となり、 $\lambda_1 \cdot \lambda_2 = \eta\gamma - [\alpha(\mathbf{b})v]^2 > 0$  は  $v$  の非負条件と一致する。以上から、 $n$  が十分大きいとき2つの内点均衡解が存在し、これらはいずれも安定である。

## 参考文献

- 1) 小林潔司 編著：知識社会と都市の発展，森北出版，1999.
- 2) Marshall, A. : *Principles of Economics*, London: Macmillan, 1890.
- 3) Duranton, G. and Puga, D. : Micro-foundations of Urban Agglomeration Economies, In: Henderson, J. V. and Thisse, J. -F. (Ed.), *Handbook of Regional and Urban Economics*, Vol. 4, North Holland, pp. 2063-2117, 2004.
- 4) 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.
- 5) Helsley, R.W. and Strange, W.C. : Urban interactions and spatial structure, *Journal of Economic Geography*, pp. 1-20, 2007.
- 6) Lucas, R. E. : On the mechanics of economic development, *Journal of Monetary Economics*, Vol. 22, pp. 3-42, 1988.
- 7) Ioannides, Y. M. : *From Neighborhoods to Nations: The Economics of Social Interactions*, Princeton: Princeton University Press, 2011.
- 8) Jackson, M. O. : *Social and Economic Networks*, Princeton: Princeton University Press, 2008.
- 9) 金光淳：社会的ネットワーク分析の基礎—社会的関係資本論に向けて，勁草書房，2003.
- 10) 小林潔司：知識社会における交通行動：課題と展望，土木計画学研究・論文集，No. 12, pp.1-13, 1995.
- 11) Cabrales, A., Calvò-Armengol, A. and Zenou, Y. : Social Interactions and Spillovers, *Games and Economic Behavior*, Vol. 72, pp. 339-360, 2011.
- 12) Fujita, M. and Thisse, J. F. : *Economics of Agglomeration—Cities, Industrial Location, and Regional Growth*, Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
- 13) Krugman, P. : The Role of Geography in Development, *International Regional Science Review*, Vol. 22, pp. 142-161, 1999.
- 14) 高山雄貴，赤松隆：Beckmann 型都市創発モデルの均衡解の一意性と安定性，土木学会論文集 D, Vol.66, No.2, pp.232-245, 2010.
- 15) 小林潔司，福山敬，松島格也：フェイス・トゥ・フェイスのコミュニケーション過程に関する理論的研究，土木学会論文集，No. 590/IV-39, pp.11-22, 1998
- 16) 森川高行：個人選択モデルの再構築と新展開，土木計画学研究・論文集，No. 12, pp. 15-27, 1995.
- 17) 福田大輔，上野博義，森地茂：社会的相互作用存在下での交通行動とミクロ計量分析，土木学会論文集，No. 765/IV-64, pp. 49-64, 2004.
- 18) 井料隆雅，岡崎有吏子，朝倉康夫：社会ネットワークとゲーム理論による交通需要のモデリング，土木計画学研究・講演集，Vol. 41, CD-ROM, 2010.
- 19) Ballester, C., Calvò-Armengol, A. and Zenou, Y. : Who's who in networks. Wanted: The key player, *Econometrica*, Vol. 74, pp.1403-1417, 2006.
- 20) Helsley, R. W. and Zenou, Y. : Social Networks and Interactions in Cities, *Journal of Economic Theory*, Vol. z 150, pp.426-466, 2014.
- 21) Nakajima, K., Saito, Y. and Uesugi, I. : Role of Inter-firm Transactions on Industrial Agglomeration: Evidence from Japanese firm-level data, *RIETI Discussion Paper Series 13-E-021*, 2013.
- 22) 文世一：情報通信技術の進歩がオフィス企業の交通需要と立地分布および都市の規模に及ぼす影響，土木計画学研究・論文集，No. 15, pp. 111-118, 1992.
- 23) 塚井誠人，奥村誠：情報伝達の複雑性を考慮した通信と交通の情報交流分担モデル，土木学会論文集，No. 667/IV-50, pp.113-121, 2001.
- 24) 今川拓郎：通信と交通は代替的か？—「IT と都市」へのインプリケーション—，郵政研究所月報，No. 153, pp.55-69, 2001.
- 25) Jovanovic, B. and Rob, R. : The Growth and Diffusion of Knowledge, *Review of Economic Studies*, Vol. 56, pp. 569-582, 1989.
- 26) Berliant, M. and Fujita, M. : Knowledge Creation as a Square Dance on the Hilbert Cube, *International Economic Review*, Vol. 49, No. 4, pp. 1251-1295, 2008.
- 27) Ogawa, H. and Fujita, M. : Equilibrium Land Use Patterns in a Nonmonocentric City, *Journal of Regional Science*, Vol. 20, pp.455-475, 1980.
- 28) Puga, D. : The Magnitude and Causes of Agglomeration Economics, *Journal of Regional Science*, Vol. 50, pp. 203-219, 2010.
- 29) Corchòn, L. C. and Mas-Colell, A. : On the stability of best reply and gradient systems with applications to imperfectly competitive models, *Economics Letters*, Vol. 51, pp. 59-65, 1996.
- 30) 大浦宏邦：社会科学者のための進化ゲーム理論—基礎から応用まで—，勁草書房，2008.

(平成 26 年 8 月 1 日 受付)

## SYNERGY EFFECTS OF FACE-TO-FACE INTERACTIONS AND URBAN SPATIAL STRUCTURE

Yuki OHIRA and Toshimori OTAZAWA

Interactions between individual agents are fundamental to our society. Local interactions generate external effects such as knowledge spillovers and synergies. From the spatial aspect, face-to-face contacts are regarded as a crucial factor of the existence and the structures of cities. Most of these researches, however, focus on the influence of physical proximity and pay less attention to that of social proximity. As sociologists claim, social distance also plays an important role in determining both quantity and quality of interaction activities. In this paper, we propose a social interaction model into which both intensity of social linkage and synergy effects of face-to-face contacts are incorporated. Furthermore, we introduce evolutionary dynamics of agents' locational choices and examine the long-run outcome of interdependence between social interactions and urban spatial structure.