



フェイス・ツウ・フェイスのコミュニケーションと 都市空間構造

大平, 悠季
津田, 宙
織田澤, 利守

(Citation)

土木学会論文集D3 (土木計画学) , 71(5):I_129-I_141

(Issue Date)

2015

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(Rights)

©2015 公益社団法人 土木学会

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90003400>



フェイス・ツウ・フェイスのコミュニケーション と都市空間構造

大平 悠季¹・津田 宙²・織田澤 利守³

¹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

²非会員 (株)九州旅客鉄道 大分工務センター (〒 870-0822 大分市大道町 1 丁目 5 番 11 号)
E-mail: theuniverse.u@gmail.com

³正会員 神戸大学大学院准教授 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

都市は、人々がコミュニケーションを行う場として、より一層その重要性を増している。本研究では、都市内におけるフェイス・ツウ・フェイスのコミュニケーション (face-to-face communication) が都市の空間構造に及ぼす影響について分析を行う。その際に、コミュニケーションを行う主体間に働く相互作用を明示的に扱う点が本分析の特徴である。モデル分析の結果、均衡において起こり得る都市の空間構造が明らかとなった。また、交通費用の低下が都市構造の分散化を促すことにより、却って厚生悪化をもたらす可能性があることが示された。

Key Words: face-to-face communication, urban spatial structure, social interactions, strategic complementarity

1. はじめに

現代社会において、コミュニケーションが果たす役割の重要性に異論を差し挟む余地はほとんどないであろう¹⁾。社会発展の原動力である革新的な概念や技術の多くは、高度な知識や技能を持つ主体同士によるコミュニケーションを通じた相互作用の産物といえる。都市に多様な主体が集積するメリットの一つに、それぞれが保有している知識やアイデアの交換、およびそれをベースにした創造的な活動を容易に行える点が挙げられる²⁾。通信技術が高度に発達した今日においても、主体同士が時間・空間を共にして行うフェイス・ツウ・フェイスのコミュニケーションがもたらす生産性・創造性の豊かさは、他の交流手段をもって代え難い³⁾。本研究では、フェイス・ツウ・フェイスのコミュニケーションが都市の空間構造に及ぼす影響について分析を行う。その際に、コミュニケーション過程において主体間に働く相乗的な相互作用 (2. で詳述) を明示的に扱う点が本分析の特徴である。

本論文の構成は、以下の通りである。2. では、本研究の基本的な考え方を示す。既往の関連研究について整理した上で、本研究で着目するコミュニケーションの特性について説明する。3. では、主体のコミュニケーション行動のモデルを定式化し、立地を外生とした下での均衡交流水準を導出する。4. では、主体の立地選択を内生化し、安定的な都市の空間構造を調べる。また、交通費用の低下などの環境変化が主体間の交流水

準と都市の空間構造に及ぼす影響を分析する。5. で数値計算事例を示した後、6. にてまとめと今後の展望について述べる。

2. 本研究の基本的な考え方

(1) 既往研究の概要

都市における主体間のフェイス・ツウ・フェイス・コンタクトが都市の空間構造に及ぼす影響に関する分析には多くの蓄積がある⁴⁾⁻⁷⁾。これらの研究の多くは、フェイス・ツウ・フェイス・コンタクトに起因する立地外部性によって都心が内生的に形成されるメカニズムに分析の主眼を置くものであり、議論の単純化のために主体間の交流を外生的に扱っている。これに対して、Helsley & Strange⁸⁾は、対面による交流を目的とした都心への訪問行動と立地選択を内生化したモデルを構築した。その際、都市全体で交流が活発化するのに伴ってコミュニケーションの質が向上するという集計レベルでの外部効果の存在を考慮している。Helsley & Zenou⁹⁾は、同様の枠組を社会的ネットワークの観点から分析している。そこでは、より活発に交流活動を行う主体との交流ほどより高い価値をもたらすという交流相手との間に働く戦略的補完性を考慮に入れて、社会的ネットワークにおいて中心的な主体ほど活発に交流に行い、また都心に近接して立地する傾向があることを明らかにした。ただし、交流は外生的に与えられた社会的ネットワーク上でつながりを持つ主体間でのみ行われる。

コミュニケーション行動の前提として、交流相手とのミーティングが成立している必要がある¹²⁾。小林ら¹³⁾は、ミーティング過程がマッチング過程と合意形成過程によって構成されることを指摘し、混雑現象と市場薄現象という2つの外部不経済が存在する下で都市内において長期定常状態として実現するミーティング均衡を導出した。その上で、交通施設整備が交通需要の量的な変化だけでなく、ミーティングの付加価値の上昇という質的な変化をもたらすことを明らかにした。

(2) 研究の焦点と位置づけ

本研究で想定するコミュニケーションとは、都市内に存在する多くの主体が互いに交流相手と出会い、ミーティングを通じた知識交換を行うことにより効用を得る過程である。ここで、コミュニケーション過程は探索行動を伴うマッチングと知識・アイデアの交換という2つの要素によって構成されると考えられる。

マッチングの質や機会（効率性）は、交流相手の探索や自身に関する情報発信といった活動（努力）の水準に応じて異なる。このような活動の例としては、研究者が学会や研究会に参加することや企業が自社の技術を展示会に出展すること、また個人が交友関係を広げるために交流イベントなどに参加することやソーシャルメディアを通じたネットワーキング活動などが挙げられる。以下では、このような活動を社交活動と呼ぶ。マッチングの効率性は、自らの社交活動水準のみならず、（潜在的な）交流相手の活動水準にも依存する。すなわち、高い水準で社交活動を行う主体同士ほど、互いにマッチングする可能性が高まるという相乗的な関係が存在する。なお、その一方では、マッチングには混雑現象が付随する。全体としての社交活動水準が高くなれば、探索に要する時間や労力の増加を通じて効率性が低下する。

他者とのコミュニケーションから得られる価値は、コミュニケーションを行う相手によって異なる。当然、より多くの知識や情報を持つ主体とのコミュニケーションほどより高い価値を有する。コミュニケーションを通じた知識交換の過程には様々な形態が存在する（Duranton & Puga は、集積の経済の源泉のひとつとして学習（learning）を挙げ、知識の伝播、創造、蓄積の段階毎に既存研究の整理を行っている）ものの、多くの場合、その効果は双方向的に作用する。すなわち、コミュニケーションを通じた知識交換の過程には、自らの知識や技能の向上が相手にとってのコミュニケーションの価値をも高めるといった戦略的補完性が付随する。

人々がコミュニケーションを行う場として、都市はより一層その重要性を増している。昨今では、コミュニケーションの活性化が都市経営における重要な政策課

題の1つに位置づけられている¹⁰⁾。こうした問題意識の下、本研究では、コミュニケーション過程におけるマッチングと知識交換の各段階において、主体間に働く相互作用が都市における交流水準や空間的構造に及ぼす影響を明らかにする。こうしたコミュニケーションの特性を表現し得るモデルとしてCabrales et al.¹¹⁾がある。Cabrales et al. は、社会的ネットワーク形成という観点から交流相手の選択と交流水準の決定を同時に扱うモデルを提案している。本研究は、Cabrales et al. のモデルをコミュニケーションの特性を表現するモデルとして再解釈した上で拡張を図るものである。新たに空間を導入し、主体の立地選択を通じた都市構造へのコミュニケーションの影響を調べる。Beckmann 等コミュニケーションを外生的に扱うモデルに対して、Cabrales et al. の枠組を援用し、コミュニケーションに関する活動水準を内生化することによって、フェイス・ツウ・フェイス・コミュニケーションが都市構造へ及ぼす影響だけでなく、逆に都市の空間構造がコミュニケーション行動に与える影響を考慮することができる。

3. 都市内コミュニケーションの均衡分析

(1) 空間設定

$N = \{1, \dots, n\}$ ($n \geq 2$) を有限な数の主体の集合とする。同質な n 主体および中心地（Center）と郊外（Periphery）の2地域からなる閉鎖都市（closed-city）を考える。すなわち人口の出入はないものとする。2地域間の距離は1に正規化する。

主体は中心地または郊外のいずれかの地域に立地し、中心地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コミュニケーションを行うことによって効用を獲得する。主体 i ($i = 1, \dots, n$) の立地点を x_i と表し、次式のように定義する。

$$x_i = \begin{cases} 0 & (\text{if agent } i \text{ locates in Center}) \\ 1 & (\text{if agent } i \text{ locates in Periphery}) \end{cases} \quad (1)$$

各主体は、他の主体との対面交流を行うために中心地を訪問し、その度に自身の立地点 x_i に応じて交通費用を支払う。本章では立地を外生的に扱うものとし、中心地への立地主体数を n_c 、郊外への立地主体数を $n_p (= n - n_c)$ とおく（立地選択行動は4.で議論する）。

(2) コミュニケーション行動の定式化

各主体は、コミュニケーションに関する2種類の行動水準の意思決定を同時に行う。ひとつは、交流相手の探索行動などを含む社交活動水準 s (≥ 0) であり、これはマッチングの効率性に影響を及ぼす。いまひとつは、中心地にあるミーティング施設を訪問する回数（ミーティング活動水準） v (≥ 0) である。主体はミーティン

グ施設を訪問し、他の主体との1対1のコミュニケーションを通じて知識やアイディアの交換を行うことによって効用を得るものとする。小林¹²⁾が指摘するように、1対1のコミュニケーションはミーティングの基本的な形態であり、もっとも集中的に知識やアイディアを交換する方法であることから、本論文では分析対象をこの形態に絞ることとした（しかし、この形態が常にもっとも効果的であるとは限らず、本分析から得られる帰結は限定的であることに留意が必要である）。

主体 i ($i = 1, \dots, n$) が中心地から距離 x_i ($x_i = 0, 1$) の地点に立地するとき、主体 i の行動は以下の効用最大化問題として記述される。

$$\max_{v_i, s_i} U_i(\mathbf{v}, \mathbf{s}) = z_i + u_i(\mathbf{v}, \mathbf{s}) + f(h_i) \quad (2)$$

$$\text{subject to } y = z_i + [p_f + \tau(x_i)]v_i + c(s_i) + R(x_i)h_i \quad (3)$$

式(2)において、 U_i は準線形効用関数であり、 z_i は基準財消費量、 $u_i(v_i, s_i)$ は中心地のミーティング施設への訪問を通じた他の主体との交流から、 $f(h_i)$ は土地消費から獲得する部分効用を、それぞれ表している。 $\mathbf{v} = (v_1, \dots, v_n)$ 、 $\mathbf{s} = (s_1, \dots, s_n)$ は、全 n 主体のミーティング活動水準及び社交活動水準のプロファイルである。 h_i は主体 i の消費するロットサイズを表し、土地は不在地主によって所有されるものとする。また式(3)において、 $p_f, \tau(x_i)$ はそれぞれ対面交流に伴って発生する固定費用と中心地までの交通費用を表す。 p_f は正の定数とする。交通費用は中心地と立地点との距離 x_i に応じて決まるものとし、本稿ではパラメータ $\tau(\geq 0)$ を用いて $\tau(x_i) = \tau \cdot x_i$ 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。 $R(x_i)$ は地点 x_i の地代である。 h_i を i によらず一定であるとして、 $h_i = 1$ とおく。さらに、本稿では土地市場を明示的には考慮せず、立地費用 $R(x_i)$ を外生として扱う。加えて、以下では簡単化のために $f(1) = 0$ に基準化する。主体 i が他の主体との交流から獲得する部分効用 u_i は、次式によって表される。

$$u_i(\mathbf{v}, \mathbf{s}) = \beta v_i - \frac{\gamma}{2} v_i^2 + \alpha \sum_{k=1, k \neq i}^n g_{ik}(\mathbf{s}) v_i v_k \quad (4)$$

α, β, γ はいずれも非負の定数パラメータである。式(4)右辺第1項及び第2項は、主体 i が中心地を訪問すること自体から得られる効用である。第3項は他者とのコミュニケーションを通じて得られる相乗的效果を表す。2. で述べたように、コミュニケーションの相乗的效果は、交流相手とのマッチングとミーティングを通じた知識交換という2つの要素で構成されている。まず、 $g_{ij}(\mathbf{s})$ は主体 i, j 間のマッチングの効率性を表すものとし、次式のように定義する。

$$g_{ij}(\mathbf{s}) = \rho(\mathbf{s}) s_i s_j \quad (5)$$

ここで、

$$\rho(\mathbf{s}) = \begin{cases} 1/\sum_{j=1}^n s_j & (\text{if } \mathbf{s} \neq \mathbf{0}) \\ 0 & (\text{if } \mathbf{s} = \mathbf{0}) \end{cases} \quad (6)$$

である。式(5)より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。さらに式(6)より、任意の主体 i ($i = 1, \dots, n$) の選択した社交活動水準 s_i の増加は、主体 i 自身のみならず他のすべての主体の対面交流の効率性をも低減させる作用を有する。これは、マッチング過程における混雑外部性を表現したものである。また、 $g_{ij}(\mathbf{s})$ においてセルフループ ($i = j$) 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。したがって、主体 i, j 間のマッチング効率性 $g_{ij}(\mathbf{s})$ は、主体 i 自身の社交活動水準 s_i を、すべての主体の社交活動水準の総和に対するマッチング相手である主体 j のシェア $s_j/\sum_{j=1}^n s_j$ に応じて配分した値と等しい。

次に、主体 i, j 間のコミュニケーションを通じた知識交換がもたらす相乗的效果を両主体のミーティング活動水準の積 $\alpha v_i v_j$ によって表現する。これは、多くの主体と活発な交流活動を行う主体ほどより多くの知識や情報を有しており、そうした主体とのコミュニケーションは高い限界効用をもたらすという想定に基づいている。なお、パラメータ α は相乗効果の大きさを表す。

本研究では、フェイス・ツウ・フェイスのコミュニケーションが都市の空間構造に及ぼす影響を精査することに主眼を置くため、コミュニケーション過程の詳細なモデル化は行わず、主体間に作用する外部的効果を直接的に表現した Cabrales et al. による上記の枠組を採用する。

任意の主体のペア i, j ($i \neq j$) について、各変数間の関係性を以下で確認しよう。

$$\frac{\partial^2 U_i}{\partial v_i^2} = -\gamma < 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial^2 U_i}{\partial v_i \partial v_j} = \alpha g_{ij}(\mathbf{s}) > 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial^2 U_i}{\partial v_i \partial s_j} = \alpha \frac{s_i v_j}{\bar{s}} \left(1 - \frac{s_j}{\bar{s}}\right) > 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial^2 U_i}{\partial s_i \partial v_j} = \alpha \frac{v_i s_j}{\bar{s}} \left(1 - \frac{s_i}{\bar{s}}\right) > 0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial^2 U_i}{\partial s_i \partial s_j} = \left(1 - \frac{s_i}{\bar{s}}\right) \frac{\alpha v_i}{\bar{s}} \left(v_j - \sum_{k=1, k \neq i}^n v_k \frac{s_k}{\bar{s}}\right) \quad (11)$$

ただし、 $\bar{s} = \sum_{i=1}^n s_i/n$ である（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 $\bar{\mathbf{w}}^2 = \sum_{i=1}^n w_i^2/n$ と表記する）。式(7)より、 U_i は

自身のミーティング活動水準 v_i に関して凹関数である。式 (8) は、コミュニケーションを図る主体間のミーティング活動水準に関して戦略的補完性が存在し、その程度はマッチングの効率性 $g_{ij}(s)$ に比例することを表している。式 (9) 及び式 (10) から、自身のミーティング活動（社交活動）と相手の社交活動（ミーティング活動）の間にも戦略的補完性が存在することがわかる。なお、式 (11) の符号はミーティング相手 j のミーティング活動水準 v_j の大きさに依存する。 v_j が（社交活動水準で重み付けした）平均ミーティング活動水準を上回るときは正、下回るときは負となる。これは、マッチング過程に付随する相乗的効果と混雑の影響の内どちらが卓越するかによって決まり、活発に交流を行う相手に対しては戦略的補完、そうではない相手に対しては戦略的代替となることを示している。

(3) 均衡コミュニケーション行動と効用

式 (2), (3), (4) 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。

$$\frac{\partial U_i}{\partial v_i} = [\beta - p_f - \tau(x_i)] - \gamma v_i + \alpha \sum_{k=1, k \neq i}^n g_{ik}(s) v_k = 0 \quad (12)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial s_i} = -\eta s_i + \alpha \left\{ \sum_{k=1, k \neq i}^n \frac{s_k}{n\bar{s}} v_i v_k - \sum_{k=1, k \neq i}^n \frac{s_i s_k}{(n\bar{s})^2} v_i v_k \right\} = 0 \quad (13)$$

ここで、 $b_i = \beta - p_f - \tau \cdot x_i$ とおき、これを主体 i のアクセシビリティと呼ぶ。本モデルは 2 地域モデルであることから、アクセシビリティの取りうる値は $b_i = \beta - p_f$ （中心地に立地している場合; $x_i = 0$ ）または $b_i = \beta - p_f - \tau$ （郊外に立地している場合; $x_i = 1$ ）の 2 通りしかなく、前者を b_c 、後者を $b_p (= b_c - \tau)$ と表すこととする。以上のように b_i は立地点にのみ依存し、 b_i の値が大きい（アクセシビリティの高い）ことは、中心地に立地していることと同義である。

任意の主体 i の均衡コミュニケーション水準は、全主体に共通のコミュニケーション活動の基準値 s, v および当該主体のアクセシビリティ b_i を用いて次のように表すことができる。

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

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

均衡における基準値は、1 階条件 (12), (13) を整理することによって得られる（詳細な導出過程は付録 I 参照）。十分に大きな n の下では、ミーティング活動水準の基準値 v に関して以下の式を得る。

$$v = \frac{1}{\gamma - \alpha(\mathbf{b})s} \quad (16)$$

ここで、 $\alpha(\mathbf{b}) = \alpha \cdot \bar{\mathbf{b}}^2 / \bar{\mathbf{b}}$ 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

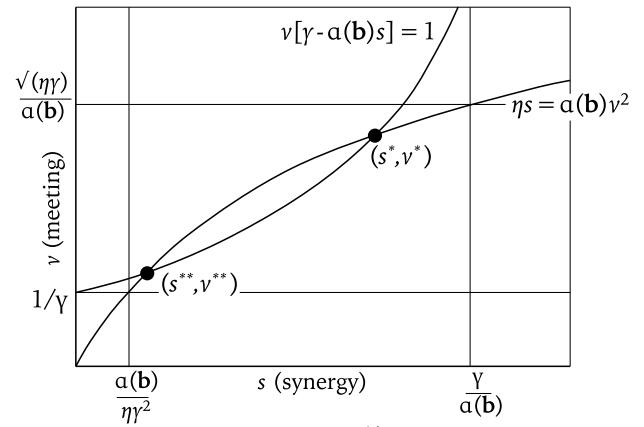


図-1 s-v 曲線

ができる。これを用いて、式 (13) より社交活動水準の基準値

$$s = \alpha(\mathbf{b}) \frac{v^2}{\eta} \quad (17)$$

が導出できる。よって式 (16), (17) より、連立方程式

$$\begin{cases} v[\gamma - \alpha(\mathbf{b})s] = 1 \\ \eta s = \alpha(\mathbf{b})v^2 \end{cases} \quad (18)$$

を解けば均衡における基準値 s^* および v^* が得られ、任意の主体 i の均衡コミュニケーション水準 s_i^*, v_i^* はそれぞれ式 (14), (15) に $s = s^*, v = v^*$ を代入することによって得られる。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活動水準を選択する。以降では、添字 i および立地点を表すインデックス x_i を ξ ($\xi = c, p$) と置き換えることとする。ここで、任意の主体間 i, j のマッチング効率性 $g_{ij}(s^*)$ は、主体 i, j の立地点に依存して決まる。 $b_c > b_p$ より $s_c^* > s_p^*$ が成立することから、マッチングの効率性について $g_{cc}(s^*) > g_{pc}(s^*) = g_{cp}(s^*) > g_{pp}(s^*)$ という関係を得る。すなわち、両者がともに都心に立地するとき最もマッチングの効率性が高く、郊外に立地するとき最も低くなる。また、(n が十分に大きいときに) 主体は郊外に立地するよりも中心地に立地することによって、任意の相手とのマッチングを効率化することができる。なお、この結果を Cabrales et al. による社会的ネットワークの文脈に即して解釈すれば、次のようなことが言える。 g_{ij} は主体 i, j 間の社会的紐帯の強さを意味することから、中心地に立地する主体同士は最も強い紐帯を、郊外に立地する主体同士は最も弱い紐帯を持つ。また、中心地に立地する主体の方がより密な社会的ネットワークを形成することがわかる。

式 (18) を満足する均衡解は 2 種類存在する。このことは図-1 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、前者はミーティング活動、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り、主体数 n が十分に大きいという仮定の下ではいずれの均衡も安定であると言える（均衡解の安定性の議論は付録 VI に示す）。

次に、均衡効用水準について調べる。均衡交流水準が式 (14), (15) のように表されるとき、地点 ξ ($\xi = c, p$) に立地する n_ξ 主体に共通の間接効用関数 U_ξ^* は次のように表される。

$$\begin{aligned} U_\xi^* &= y + b_\xi^2 \left(v^* - \frac{\gamma v^{*2}}{2} + \alpha(\mathbf{b}) s^* v^{*2} - \frac{\eta s^{*2}}{2} - \alpha \frac{b_\xi^2 s^{*2} v^{*2}}{n\mathbf{b}} \right) - R_\xi \\ &= y + \frac{b_\xi^2 v^*}{2} - \alpha \frac{b_\xi^4 s^{*2} v^{*2}}{n\mathbf{b}} - R_\xi \\ &\rightarrow y + \frac{b_\xi^2 v^*}{2} - R_\xi \quad (\text{when } n \rightarrow \infty) \end{aligned} \quad (19)$$

これより、均衡において各主体の獲得する効用水準が、主体自身のアクセシビリティおよびミーティング活動水準の基準値 v^* によって表されることが分かる。 v^* はすべての主体について共通の値である一方、アクセシビリティは当該主体の立地点に依存する。すなわち、コミュニケーションに関して均衡状態にあるとき、主体が獲得する効用水準は、自身の立地点に依存する。式 (19) はパレート優位の均衡における効用水準を表すが、劣位の均衡においても全く同様の導出過程を経て、効用水準を式 (20) のように表すことができる。

$$U_\xi^{**} = y + \frac{b_\xi^2 v^{**}}{2} - R_\xi \quad (\text{when } n \rightarrow \infty) \quad (20)$$

(4) 均衡解の性質

均衡コミュニケーション水準 (s^*, v^*) および (s^{**}, v^{**}) は、いずれも $\alpha(\mathbf{b})/(\eta\gamma^2) < s < \gamma/\alpha(\mathbf{b})$, $1/\gamma < v < \sqrt{\eta\gamma}/\alpha(\mathbf{b})$ の範囲に存在する。このことから、 $\alpha(\mathbf{b})$ の増加は、パレート優位の均衡点においては基準値 (s^*, v^*) の低下を、パレート劣位の均衡点においては (s^{**}, v^{**}) の増加をもたらす（図-2）。

本稿で想定する 2 地域構造の都市においては、交通費用 $\tau(x_i)$ の低減や中心地への立地集中化によって $\alpha(\mathbf{b})$ が増加する。コミュニケーションが均衡状態にあるとき、式 (16) において、コミュニケーションの相乗効果の限界効用の傾きは $\alpha(\mathbf{b})$ と s^* の積で表される。既に社交活動水準が高い状態にあるパレート優位の均衡では、マッチングにおける混雑のため追加的に s を増やすことのメリットは少ない。よって $\alpha(\mathbf{b})$ が上昇したとき、これに伴って主体は s^* を減少させる（ $\alpha(\mathbf{b})$ と s^* は代替的である）。社交活動 s^* の減少は、ミーティングの効率性の低下を通じてミーティング活動への投資を減少させる。ミーティング活動水準 v^* の低下により s^* の

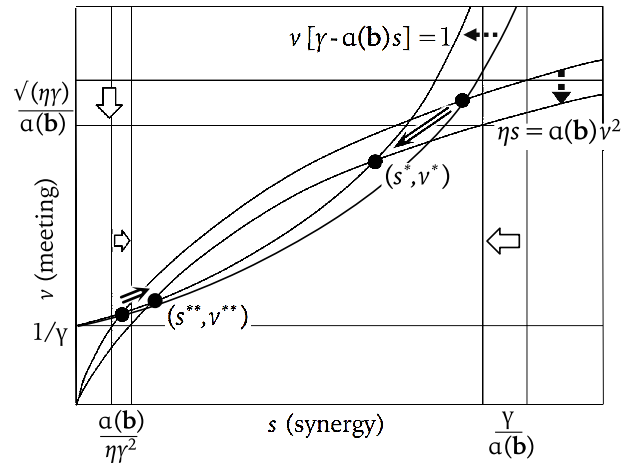


図-2 v-s 曲線 ($\alpha(\mathbf{b})$ の増大に伴う変化)

限界効用は小さくなり、 s^* への投資をさらに押し下げる。その結果、新たな均衡として実現する基準値 s^*, v^* は、当初の均衡における水準をいずれも下回る。したがって、中心地に立地する主体にとっては一人当たりの交流水準は減少し、式 (19) より効用水準も低下する。以上のことは、 $\alpha(\mathbf{b})$ が小さく空間的に隔たりがある状態の方が、各主体の社交活動 s への投資の増加を通じて社会全体のミーティングの効率性が向上することにより、それぞれの地点について見れば、一人当たりのミーティング活動が活発化する可能性を示唆している。これは、社交活動およびミーティング活動への投資配分を内生化し、それらに働く戦略的補完・代替性を考慮したことによって得られた結論である。 $\alpha(\mathbf{b})$ の増加が郊外の主体に与える影響は状況に応じて異なる。まず、交通費用 τ が低下した場合、郊外の主体にとって交流水準が必ずしも減少するとは限らず、交通費用 τ の低下によるアクセシビリティ b_p の増加分が基準値 s^* の減少分を上回るとき、交流水準は増加し、効用も上昇する。続いて、中心地に立地する主体が増加した場合、中心地の主体と同様に郊外の主体も一人当たりの交流水準は減少し、効用が低下する（ただし、郊外から中心地に移入した主体にとっては交流量、効用水準ともに増加するため、必ずしも社会全体の厚生水準が低下するとは限らない）。一方、パレート劣位の均衡においては α と s は補完的であり、主体は $\alpha(\mathbf{b})$ の上昇に伴って s^{**} を上昇させる。優位の均衡とは逆向きに作用が働き、結果として、新たな均衡として実現する基準値 v^{**}, s^{**} は、当初の均衡における水準を上回る。このとき、都心、郊外の主体ともに効用水準は上昇する。なお、詳細な説明は省略するが、社交活動費用パラメータ η の減少が同様の結果をもたらすことを確認している。

4. 立地均衡分析

(1) 立地費用と立地均衡

中心地の立地主体数 n_c を用いて、中心地への集積度 $\lambda = n_c/n$ を定義する。本項は、3. では外生的に扱った λ を、均衡として内生的に決定する枠組へと拡張する。

短期的には、任意の $\lambda \in [0, 1]$ に対して前章で導出したコミュニケーションの均衡状態が達成される。このとき、各主体が獲得する効用水準は、各地域内については等しいが、地域間では異なる場合がある。例えば $U_c^* > U_p^*$ であれば郊外の主体に立地点を中心地へ変更する誘因が存在する。このように、主体が「各時点においてより大きな効用をもたらす地域への移住を行う」という近視眼的な立地選択行動をとると仮定し、時点の推移に伴ってこのような立地選択が繰り返される（ただし、本稿では立地「変更」のための費用はかからないと仮定する）とすると、長期的には「主体の獲得する効用水準に地域間の差異が存在しない」立地均衡状態 λ^* が達成されることが考えられる。

中心地、郊外への立地に際して発生する立地費用を、それぞれ R_c, R_p と表すこととする。このとき式 (19) より、均衡における主体の効用水準は、中心地に立地している場合は

$$U_c^* = y + \frac{b_c^2 v^*}{2} - R_c, \quad (21)$$

郊外に立地している場合は

$$U_p^* = y + \frac{(b_c - \tau)^2 v^*}{2} - R_p \quad (22)$$

によって表される。ここでは、各主体が中心地および郊外のいずれの地域に立地する場合も、当該地域の立地主体数に応じた立地費用を支払わなければならない状況を想定し、

$$\frac{\partial R_c}{\partial \lambda} \geq 0, \quad \frac{\partial R_p}{\partial (1-\lambda)} \geq 0 \quad (23)$$

を仮定する。立地点による効用水準の差 ΔU は

$$\begin{aligned} \Delta U^* &= U_c^* - U_p^* = \frac{[b_c^2 - (b_c - \tau)^2]v^*}{2} - (R_c - R_p) \\ &= \frac{\tau(2b_c - \tau)v^*}{2} - (R_c - R_p) \end{aligned} \quad (24)$$

と表せる。ここで、 $\Delta R = R_c - R_p$ とおき、 $\Delta U^* = \Delta \bar{U}^* - \Delta R$ と表すこととする。さらに

$$\frac{\partial \Delta R}{\partial \lambda} \geq 0 \quad (25)$$

を仮定する。なお、式 (21), (22) および (24) はいずれもパレート優位の均衡における効用水準を表すが、 v^* を v^{**} で置き換えれば、劣位の均衡のそれも同様に表すことができる（上付き添字 * および ** は、それぞれ優位および劣位の均衡を表す）。以下では優位の均衡についてモデルを展開するが、劣位の均衡についても同様の展開が可能である。

3. (4) で確認したように、均衡交流水準 s^*, v^* は 2 次平均アクセシビリティ $\alpha(\mathbf{b})$ に依存する。個々の主体のアクセシビリティは立地点によって規定される。 $\alpha(\mathbf{b})$ は全主体のアクセシビリティを集約したものであることから、均衡交流水準 v^* は集積度 λ の関数 $v^*(\lambda)$ と見なせ、 ΔU^* も λ の関数となる。 $\Delta U^*(\lambda)$ を λ で偏微分すると

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Delta U^*(\lambda)}{\partial \lambda} &= \frac{\partial \Delta \bar{U}^*(\lambda)}{\partial \lambda} - \frac{\partial \Delta R}{\partial \lambda} \\ &= \frac{\tau(2b_c - \tau)}{2} \frac{\partial v^*(\lambda)}{\partial \alpha(\mathbf{b})} \frac{\partial \alpha(\mathbf{b})}{\partial \lambda} - \frac{\partial \Delta R}{\partial \lambda} \end{aligned} \quad (26)$$

となる。2 次平均アクセシビリティ $\alpha(\mathbf{b})$ は、集積度 λ を用いると

$$\begin{aligned} \alpha(\mathbf{b}) &= \alpha \cdot \frac{\lambda n \cdot b_c^2 + (1-\lambda)n(b_c - \tau)^2}{nb_c - (1-\lambda)n \cdot \tau} \\ &= \alpha \cdot \frac{b_c^2 - (1-\lambda)(2b_c - \tau)\tau}{b_c - (1-\lambda)\tau} \end{aligned} \quad (27)$$

と表すことができ、 λ で偏微分すると

$$\frac{\partial \alpha(\mathbf{b})}{\partial \lambda} = \frac{\alpha b_c(b_c - \tau)\tau}{[b_c - (1-\lambda)\tau]^2} > 0 \quad (28)$$

となる。中心地への集積度が限界的に増加したときに $\alpha(\mathbf{b})$ は増大することがわかる（式 (28) は、均衡状態に限らず常に成立する）。 $\tau(2b_c - \tau)/2 > 0$ および式 (28) から、式 (26) において、集積度が限界的に変化した際の効用差 ΔU^* の増減は $\partial v^*/\partial \alpha(\mathbf{b})$ の符号に依存する。さらに前章での議論から、優位の均衡においては $\partial v^*/\partial \alpha(\mathbf{b}) < 0$ 、劣位の均衡においては $\partial v^{**}/\partial \alpha(\mathbf{b}) > 0$ である。以上から、 $\partial \Delta \bar{U}/\partial \lambda$ について次のことがわかる。

$$\frac{\partial \Delta \bar{U}^*(\lambda)}{\partial \lambda} < 0 \quad (\text{優位の均衡}) \quad (29)$$

$$\frac{\partial \Delta \bar{U}^{**}(\lambda)}{\partial \lambda} > 0 \quad (\text{劣位の均衡}) \quad (30)$$

式 (29), (30) および式 (25) に基づき、中心地と郊外の部分効用差 $\Delta \bar{U}^*(\lambda)$, $\Delta \bar{U}^{**}(\lambda)$ および立地費用の差 $\Delta R(\lambda)$ の関係を図示すると、 に示す 7 つのパターンに分類できる。図中の白丸は安定的な立地均衡点を、黒丸は不安定な立地均衡点を表す。パレート優位、劣位のいずれの均衡においても、中心地の立地費用が高い場合は、郊外にすべての主体が立地する状態 ($\lambda = 0$) が安定的な立地均衡となる（）。このような状況は、本モデルで考慮されていない主体（例えば企業等）が都市の中心地に立地することによって、立地費用が高くなっているような状態に対応すると考えられる。立地費用がある程度低減すれば、あるいは中心地の立地費用の集積度に対する弾力性が高い（ $\partial \Delta R/\partial \lambda$ が大きい）ような場合は、中心地にも主体が立地するような状況が現れる。パレート優位な均衡において、、(c) では一部の主体が中心地に立地する内点解（ $\lambda = \lambda_b^*, \lambda = \lambda_c^*$ ）が、、(e), (f) ではすべての主体が中心地に集積する端点解（ $\lambda = 1$ ）が、それぞれ安定的となる。パレー

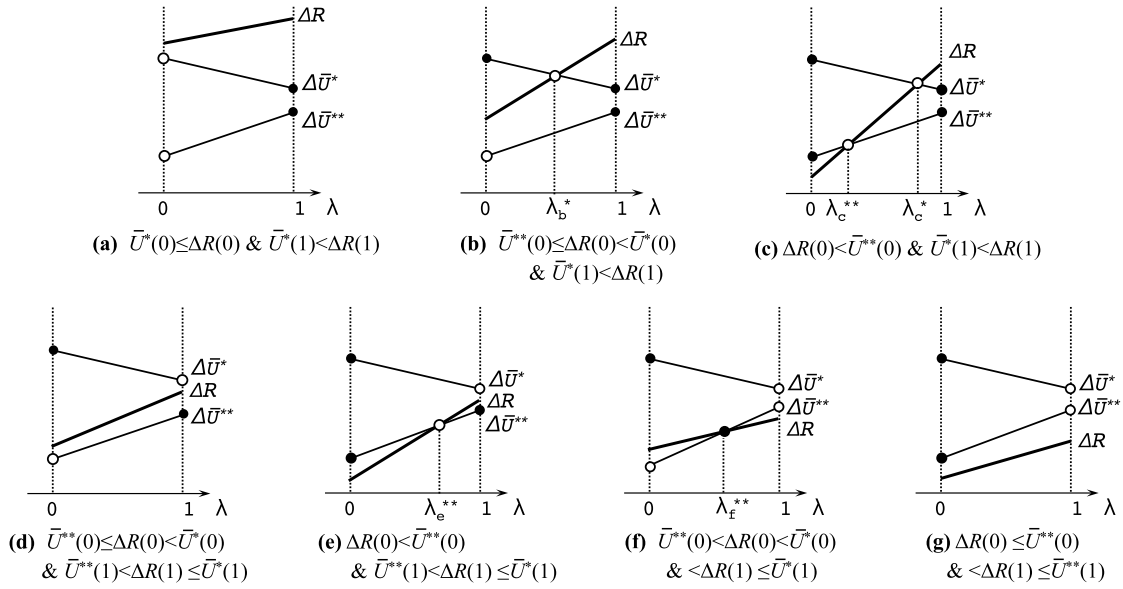


図-3 均衡効用差 $\Delta\bar{U}$ と地代差 ΔR の関係 (○：安定均衡，●：不安定均衡)

ト劣位な均衡においては，パレート優位な均衡と同様に安定的な内点解 $\lambda = \lambda_c^{**}$ (図-3(c))， $\lambda = \lambda_e^{**}$ (図-3(e)) が実現し得る一方で，費用がさらに低い水準となった場合は，中心地に主体が立地するとは限らない。図-3(f)においては， $\lambda = \lambda_f^{**}$ が示す劣位の内点均衡は不安定であり，主体が中心地に立地する均衡 ($\lambda = 1$) と，全主体が郊外に立地する均衡 ($\lambda = 0$) が同時に存在する。いずれが実現するかは，歴史的経緯や偶発的要素に依存する。立地費用がかなり低い状況下では，図-3(g)のようにパレート優位・劣位とも，すべての主体が中心地に集積した $\lambda = 1$ が安定均衡となる。

(2) 交通施設整備が立地均衡に及ぼす影響

交通施設整備による交通費用の低減が，安定的な立地均衡状態に及ぼす影響について調べる。本項では解析の複雑化を回避するために，立地費用を

$$R_c = R, \quad R_p = 0 \quad (31)$$

と特定化して分析を進める (R は正の定数)。式 (31) は立地費用が本モデルの枠組では考慮されない要因 (e.g. 企業の立地選択等) に支配される状況を表しており，式 (23) の等号が成立するケースに相当する。このとき，式 (24) は

$$\Delta U^* = \Delta \bar{U}^* - \Delta R = \frac{\tau(2b_c - \tau)v^*}{2} - R \quad (32)$$

となり，図-3 の 7 パターンの内図-3(a),(b),(d),(f),(g) の 5 パターンに相当するケースのみが， R の水準に応じて実現する。ここでは，図-3(b) の $\lambda = \lambda_b^*$ によって示された安定的な立地パターンに着目して議論を進める。

ある交通費用の下で立地均衡が達成されている状態から，交通施設整備によって交通費用 τ が低減する状況

を考える。均衡においては効用差 $\Delta U^* = 0$ である。さらに，均衡まわりでは

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta U^*}{d\tau} &= \frac{\partial \Delta U^*}{\partial \tau} + \frac{\partial \Delta U^*}{\partial v^*} \frac{\partial v^*}{\partial \alpha(\mathbf{b})} \left(\frac{\partial \alpha(\mathbf{b})}{\partial \tau} + \frac{\partial \alpha(\mathbf{b})}{\partial \lambda} \frac{\partial \lambda}{\partial \tau} \right) \\ &= (b_c - \tau)v^* + \frac{\tau(2b_c - \tau)}{2} \frac{\partial v^*}{\partial \alpha(\mathbf{b})} \left(\frac{\partial \alpha(\mathbf{b})}{\partial \tau} + \frac{\partial \alpha(\mathbf{b})}{\partial \lambda} \frac{\partial \lambda}{\partial \tau} \right) \\ &= 0 \end{aligned} \quad (33)$$

が成り立つ。ここで，3. の議論より

$$\frac{\partial v^*}{\partial \alpha(\mathbf{b})} < 0 \quad (\text{優位の均衡}) \quad (34)$$

である。また， $\tau > 0$ の範囲では常に

$$\frac{\partial \alpha(\mathbf{b})}{\partial \tau} < 0 \quad (35)$$

が成立する (付録 V)。ここで， $\partial \lambda / \partial \tau \leq 0$ であると仮定すると，式 (28) より $\partial \alpha(\mathbf{b}) / \partial \lambda > 0$ であるので

$$\frac{\partial \alpha(\mathbf{b})}{\partial \lambda} \frac{\partial \lambda}{\partial \tau} \leq 0$$

となり，さらに式 (34), (35) から式 (33) の第 2 項は正となる。第 1 項 $(b_c - \tau)v^*$ が正であることと併せると， $d\Delta U^* / d\tau > 0$ となり，矛盾する。したがって，

$$\frac{\partial \lambda^*}{\partial \tau} > 0 \quad (36)$$

であることがわかる。すなわち，交通施設整備によって交通費用 τ が低減すると立地は分散し，均衡における集積度 λ は減少する。

次に，交通施設整備が社会厚生に及ぼす影響を調べる。本稿ではベンサム型社会厚生関数を採用することとすると，均衡における社会厚生関数 \mathcal{W} は，地代収入を

考慮した上で λ を用いて次のように書くことができる。

$$\begin{aligned}\mathcal{W} &= n\lambda U_c^* + n(1-\lambda)U_p^* + n\lambda R_c + n(1-\lambda)R_p \\ &= nU_c^* + n\lambda R \quad (\because U_c^* = U_p^*) \\ &= n\left(y + \frac{b_c^2 v^*}{2} - R\right) + n\lambda R \\ &= n\left[y + \frac{b_c^2 v^*}{2} - (1-\lambda)R\right] \quad (37)\end{aligned}$$

一方、立地均衡状態が達成されている ($\Delta U^* = 0$) 下では、式 (24) を用いて均衡ミーティング活動水準の基準値 v^* は次式のように求められる。

$$v^* = \frac{2R}{\tau(2b_c - \tau)} \quad (38)$$

式 (38) を式 (37) に代入すると、社会厚生は

$$\mathcal{W} = ny + n\left[b_c^2 \cdot \frac{R}{\tau(2b_c - \tau)} - (1-\lambda)R\right] \quad (39)$$

と表される。これより、 τ の変化による、均衡における社会厚生 \mathcal{W} の増減については、次式の符号を調べることによってわかる。

$$\frac{d\mathcal{W}}{d\tau} = -n \frac{b_c^2 R(b_c - \tau)}{\tau^2(2b_c - \tau)^2} + n \frac{\partial \lambda}{\partial \tau} R \quad (40)$$

式 (36) より $\partial \lambda / \partial \tau > 0$ であるので、 $d\mathcal{W}/d\tau$ の符号は、式 (40) の第 1 項と第 2 項の絶対値の大きさによって変化する。具体的には、

$$\frac{\partial \lambda}{\partial \tau} > \frac{b_c^2(b_c - \tau)}{\tau^2(2b_c - \tau)^2} \quad (41)$$

が成立するとき、 $d\mathcal{W}/d\tau > 0$ となる。以上の結果は、次のように解釈することができる。3. (4) でも示した通り、交通費用 τ の低下と都市構造の分散化 (λ の低下) は、交流水準 v^* , s^* に対して逆向きに作用する。しかし、ここで想定する立地均衡下においては都市構造の分散化の影響が常に卓越し、 τ の低下は均衡コミュニケーション水準 v^* の増加をもたらす (式 (38) より、 $\partial v^* / \partial \tau < 0$ が成立)。その上で、式 (40) の右辺第 1 項は、交通費用の低下に伴って社会全体が交流活動から獲得する効用の増加分 (社会的限界便益) を、第 2 項は都心から郊外への移出に伴って主体が逸失する交流活動からの効用 (社会的限界費用) を表す。郊外への立地変化が大きい場合、後者が前者を上回り、交通費用の低下は社会厚生を却って悪化させる。以上を整理して、**定理 1** を得る。

定理 1 式 (31) の仮定の下では、交通施設整備による交通費用の低下は、郊外への立地変化を促し、都市構造を分散化させる。また、立地変化が大きい (式 (41) が成立する) 場合は、却って社会厚生を悪化させる。

(3) 社交活動費用が立地均衡に及ぼす影響

続いて、社交活動費用 η が及ぼす影響について調べる。(2) 節と同様、分析の対象を図-3(b) の内点均衡に

限定して議論を進める。

立地均衡状態から、社交活動費用 η が低減する状況を考える。社交活動費用の低減とは、例えばネットワーキング活動のための通信費用が低下することなどを想定している。効用差 ΔU^* を η で全微分したものは

$$\begin{aligned}\frac{d\Delta U^*}{d\eta} &= \frac{\partial \Delta U^*}{\partial v^*} \left(\frac{\partial v^*}{\partial \eta} + \frac{\partial v^*}{\partial \alpha(\mathbf{b})} \cdot \frac{\partial \alpha(\mathbf{b})}{\partial \lambda} \cdot \frac{\partial \lambda}{\partial \eta} \right) \\ &= \frac{\tau(2b_c - \tau)}{2} \left(\frac{\partial v^*}{\partial \eta} + \frac{\partial v^*}{\partial \alpha(\mathbf{b})} \cdot \frac{\partial \alpha(\mathbf{b})}{\partial \lambda} \cdot \frac{\partial \lambda}{\partial \eta} \right) \\ &= 0 \quad (42)\end{aligned}$$

によって表される。ここで、3. (4) において $\partial v^* / \partial \alpha(\mathbf{b}) < 0$ を示したのと同様に $s-v$ 平面上で η が低減する場合について考えてみると、 η の低減は $\sqrt{\eta\gamma}/\alpha(\mathbf{b})$ および $\alpha(\mathbf{b})/\eta\gamma^2$ に対して $\alpha(\mathbf{b})$ の増加と同方向の変動をもたらす。よって、

$$\frac{\partial v^*}{\partial \eta} > 0 \quad (\text{優位の均衡}) \quad (43)$$

が成立する。また、式 (34) より $\partial v^* / \partial \alpha(\mathbf{b}) < 0$ 、式 (28) より $\partial \alpha(\mathbf{b}) / \partial \lambda > 0$ である。ここで、 $\partial \lambda / \partial \eta \leq 0$ と仮定すると、

$$\frac{\partial v^*}{\partial \alpha(\mathbf{b})} \cdot \frac{\partial \alpha(\mathbf{b})}{\partial \lambda} \cdot \frac{\partial \lambda}{\partial \eta} \geq 0$$

となり、式 (43) と合わせると $d\Delta U^* / d\eta = 0$ が成立せず、矛盾する。よって、優位の均衡において

$$\frac{\partial \lambda}{\partial \eta} > 0 \quad (44)$$

であることがわかる。すなわち、社交活動費用 η が限界的に低減すると集積度 λ は減少し、郊外の主体が増加した状態が安定均衡として達成される。

次に、社交活動費用の低下が社会厚生に及ぼす影響を調べる。式 (39) によって表される均衡社会厚生 \mathcal{W} を η により全微分すると、

$$\frac{d\mathcal{W}}{d\eta} = nR \cdot \frac{\partial \lambda}{\partial \eta} > 0 \quad (45)$$

となり、式 (44) と合わせると η の低下は社会厚生を低下させることがわかる。 η の低下は、式 (44) を経て $\alpha(\mathbf{b})$ を減少させ、4. (2) で述べたマッチング過程における混雑の影響によって、社会厚生を悪化させる。

定理 2 式 (31) の仮定の下では、社交活動費用 η の低下は都市構造を分散化させ、社会厚生を悪化させる。

5. 数値分析

(1) 数値計算の概要

前章では、都市の中心部への立地費用を定数 R とした場合について、交通施設整備による交通費用の低下および社交活動費用の低下が社会にもたらす変化を定性的に分析した。本章では立地費用関数を、式 (23) を満たすより一般的な関数として数値シミュレーション

を行い、交通費用 τ の変化が立地均衡に与える影響を確認する。具体的には、立地費用関数を

$$R_c = \delta\lambda, \quad R_p = \delta(1 - \lambda) \quad (46)$$

と定義する (δ は正の定数)。4.(2), (3) で用いた立地費用関数 (式 (31)) が、立地費用がモデル外の要因に支配される状況を表していたのに対し、式 (46) は立地費用が主体の立地選択のみに依存して決定するケースに対応する。現実の立地選択においては、これら両方の要素が影響していると考えられる。式 (46) の立地費用関数の下では、2 地域間の立地費用の差 ΔR は $\Delta R = R_c - R_p = \delta(2\lambda - 1)$ と表され、 $\Delta R|_{\lambda=0} = -\delta < 0$ となることから、立地均衡は図-3 の 7 パターンの内図-3(c),(e),(g) の 3 パターンのみが実現し得る。本数値計算では、特に図-3(c) の安定的な立地パターンに着目して分析を行うこととし、外生変数は以下のように設定した： $n = 5.0 \times 10^4$, $\alpha = 0.25$, $\beta = 1.5$, $\gamma = 1.5$, $\eta = 0.35$, $p_f = 0.50$, $\delta = 1.5$, $y = 10$ 。

(2) 分析結果

前節の設定の下、交通費用パラメータ τ を 0.9 から 0 まで低減させた数値事例の結果を図-4~7 に示す。図-4, 7 において、黒線はパレート優位な均衡、グレーの線はパレート劣位な均衡をそれぞれ示している。交流水準の結果を表す図-5, 6 中の青線は社交活動水準 s 、赤線はミーティング活動水準 v を表しており、実線および破線はそれぞれ中心地および郊外に立地する主体の交流水準に対応する。

図-4 は、交通費用 τ の変化による集積度 λ^*, λ^{**} の変化を示す。パレート優位な均衡において、 τ の低減に伴って λ^* が減少 ($\partial\lambda^*/\partial\tau > 0$) している。式 (36) は立地費用関数を式 (31) に特定化して導出した結果であるが、本数値事例で用いた立地費用関数 (46) の下でも同様の結果が得られ、交通費用の低下が分散型立地へ移行をもたらす可能性を示唆している。パレート劣位な均衡においても、今回の数値事例では $\partial\lambda/\partial\tau > 0$ に対応する結果が得られている。図-5, 6 は、交流水準の変化を表している。パレート優位な均衡において、 $\tau > 0.2$ の領域では τ の低下によって s_{ξ}^*, v_{ξ}^* ($\xi = c, p$) がいずれも増加している。これは、定理 1 の議論における (i) 交通費用の低下による直接的な社会的便益と (ii) 都市構造の分散化を通じた社会的費用の内、後者が卓越して $\alpha(\mathbf{b})$ が減少するためである。パレート劣位の均衡においては、 $\tau > 0.5$ の範囲で τ の低下に伴って $s_{\xi}^{**}, v_{\xi}^{**}$ が減少している。これは、交通費用の低下がもたらす都市構造の分散化 (上述の (ii)) によって $\alpha(\mathbf{b})$ が低減し、基準値 s^{**}, v^{**} が低下した結果である。一方、図-7 は社会厚生の変化を示しているが、パレート優位の均衡において、 $0.5 < \tau < 0.8$ の範囲では τ の低減に伴って厚生が低下している。このことは、式 (40) において $dW/d\tau$

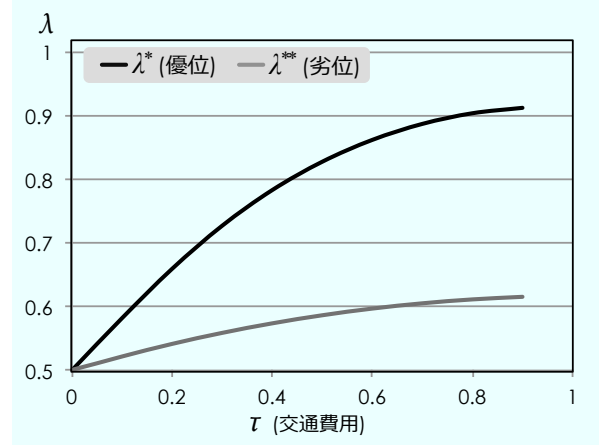


図-4 交通費用 τ -集積度 λ

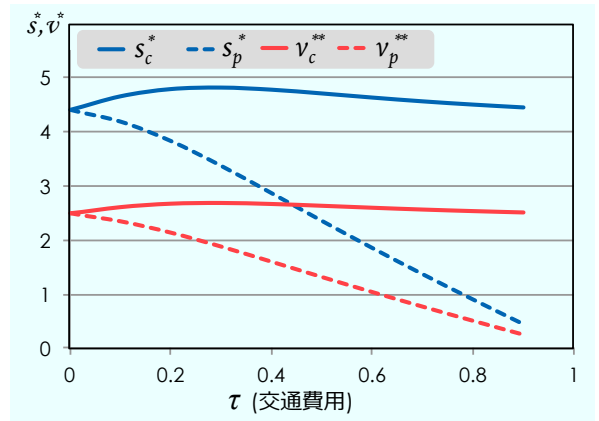


図-5 交通費用 τ -交流水準 s^*, v^* (優位)

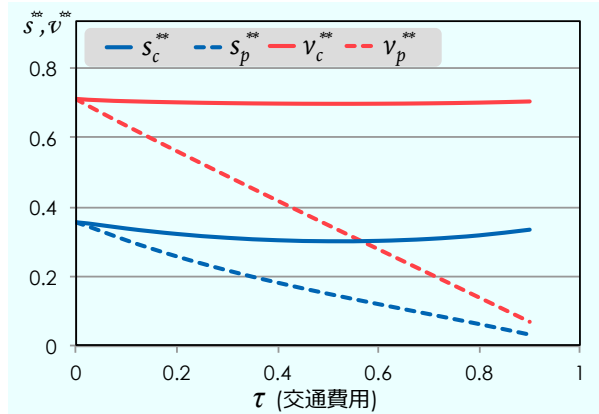


図-6 交通費用 τ -交流水準 s^{**}, v^{**} (劣位)

が正・負のいずれの値も取り得ることに対応する結果であり、交通費用の低減をもたらす交通施設整備が必ずしも社会厚生を改善しない可能性を示唆するものである。なお、 $\tau = 0$ の状況は、集積度を外生的に $\lambda = 1$ とした場合と一致しており、今回の数値計算の範囲では、中心地に一極集中することによって社会厚生が増大することを確認している。

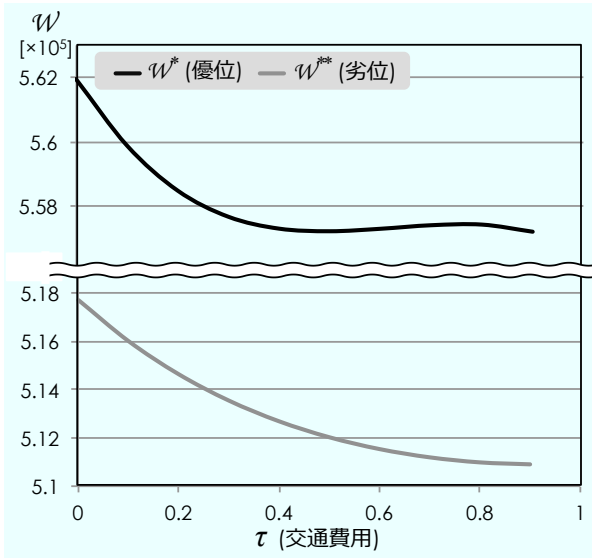


図-7 交通費用 τ -社会厚生 W

6. 結論と課題

コミュニケーションを通じた知識の交換や創造は、都市や社会の発展を支える重要な営みである。本稿では、都市内におけるフェイス・ツウ・フェイスのコミュニケーションが都市の空間構造に及ぼす影響について分析を行い、以下のことを明らかにした。3.において、コミュニケーションの特性を明示的に考慮した交流行動モデルが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示した。4.では、主体の立地選択を内生的に扱い、立地費用の水準に応じた立地均衡パターンを明らかにした。さらに、内点解が安定となるパレート優位均衡に着目し、交通費用および社交活動費用の低下が中心地への集積度を減少させ、都市内立地分布を分散化することを示した。さらに、その際の社会厚生への影響についても分析を行った。5.では、数値計算を用いて、交通費用の低下が却って社会厚生の悪化をもたらす可能性を示した。

以下に、今後の課題を示す。まず、本稿では均衡解の導出およびその分析に留まっており、社会的最適解を解析的に導出できていない。これは、均衡解導出の際に用いた近似が使えないためであるが、今後は社会的最適ならびに最善政策についても検討する必要がある。本研究の枠組における社会的最適は、コミュニケーションに内在する外部性が内部化された状態であるが、コミュニケーション行動に対する政策実施は技術的に困難であることから、交通料金政策や立地政策等の次善政策を議論することも、今後の課題である。次に、本モデルでは、主体が外生的に与えられたミーティング施

設を訪問し、2者間のコミュニケーションを行うという限定的な状況を想定した。実際の社会では、より効果的にコミュニケーションを図るために多人数ミーティングが自発的に形成される。ミーティングの開催場所についても主体の選択行動とその相互作用の結果として自発的に形成されるはずである。以上のような枠組への拡張は重要な課題である。また、本モデルは、コミュニケーションが持つ特性の一部を考慮したに過ぎない。例えば、小林らで考慮されているマッチング過程における市場薄の外部性や時間制約下でのミーティング相手を選択する行動については考慮されていない。また、知識創造の過程では、知識の異質性が重要な役割を果たす¹⁴⁾。主体間の異質性が都市内におけるコミュニケーション行動と立地分布に及ぼす影響についても検討が必要である。

謝辞：本研究は科学研究費補助金・若手研究B（課題番号：22760380）及び基盤研究C（課題番号：25420547）の助成を受けて行った。また、本稿の内容に関して、小林潔司先生（京都大学）、松島格也先生（京都大学）、高山雄貴先生（東北大学）に有益なご指摘を多数頂いた。ここに記して感謝する。

付録

I. 連立方程式 (18) の導出

式 (12) 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、

$$\gamma \mathbf{v} = \mathbf{b} + \alpha [\mathbf{G}(\mathbf{s}) - \text{diag}(\mathbf{G}(\mathbf{s}))] \mathbf{v} \quad (47)$$

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。式 (47) を整理すると、

$$\gamma \left[\mathbf{I} - \frac{\alpha}{\gamma} \mathbf{G}(\mathbf{s}) \right] \mathbf{v} + \alpha \text{diag}(\mathbf{G}(\mathbf{s})) \mathbf{v} = \mathbf{b} \quad (48)$$

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、これは

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

となる。 $\mathbf{M}(s)$ を式 (48) の両辺に左側から掛けると

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

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

$$\gamma \mathbf{v} = \left[\mathbf{I} + \frac{\alpha \bar{s}}{\gamma \bar{s} - \alpha s^2} \mathbf{G} \right] \mathbf{b} \quad (49)$$

としてよい。これは、すべての i について

$$\gamma v_i = b_i + \frac{\alpha \bar{s}}{\gamma \bar{s} - \alpha s^2} \sum_{k=1}^n \frac{s_i s_k}{n \bar{s}} b_k \quad (50)$$

が成立することを意味する。一方、式 (13) より

$$\frac{s_i}{v_i} = \frac{\alpha}{\eta} \cdot \left[\frac{\sum_k s_k v_k}{n \bar{s}} - \frac{s_i v_i}{n \bar{s}} - s_i \frac{\sum_k s_k v_k}{(n \bar{s})^2} + \frac{s_i^2 v_i}{(n \bar{s})^2} \right]$$

である。 n が十分に大きいとき右辺第 2-4 項は無視できるため、上式は

$$\frac{s_i}{v_i} = \frac{\alpha}{\eta} \cdot \frac{\sum_k s_k v_k}{n \bar{s}}$$

と見なせる。 $\sum_k s_k v_k$ はベクトル \mathbf{s}, \mathbf{v} の内積であるため

$$\frac{s_i}{v_i} = \frac{\alpha}{\eta} \cdot \frac{\mathbf{s} \cdot \mathbf{v}}{n \bar{s}} \quad (51)$$

と表せ、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、

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

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

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、

$$\gamma v = 1 + \frac{\alpha s}{n} \frac{n \bar{\mathbf{b}}^2}{\gamma \bar{\mathbf{b}} - \alpha s \bar{\mathbf{b}}^2} = 1 + \frac{\alpha s \bar{\mathbf{b}}^2}{\gamma \bar{\mathbf{b}} - \alpha s \bar{\mathbf{b}}^2} = \frac{\gamma}{\gamma - \alpha(\mathbf{b})s}$$

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

が得られる。さらに、式 (51) より次式が導ける。

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

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

Ballester et al.¹⁵⁾に準拠すると、非負行列 $\mathbf{M}(s) = [\mathbf{I} - (\alpha/\gamma)\mathbf{G}(s)]^{-1}$ の存在する必要十分条件は、

$$1 > \left(\frac{\alpha}{\gamma} \right) \rho(\mathbf{G}(s)) \quad (52)$$

が満たされていることである。 $\rho(\mathbf{G}(s))$ は非負行列 $\mathbf{G}(s)$ の最大固有値の絶対値である。以下で、 $\rho(\mathbf{G}(s)) = \bar{s}^2/\bar{s}$ を示す。まず、スカラー \bar{s}^2/\bar{s} は、行列 $\mathbf{G}(s)$ 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、 $\mathbf{G}(s) \cdot \mathbf{x} = \mathbf{s} \cdot \mathbf{x} / n \bar{s}$ 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、 $\rho(\mathbf{G}(s)) = \bar{s}^2/\bar{s}$ であるので、式 (52) は

$$1 > \frac{\alpha \bar{s}^2}{\gamma \bar{s}} \quad (53)$$

と同値である。よって、行列 $\mathbf{M}(s) = [\mathbf{I} - (\alpha/\gamma)\mathbf{G}(s)]^{-1}$ 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 (18) の解の存在条件

式 (18) 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

$$f(s) = \frac{\alpha(\mathbf{b})}{\eta[\gamma - \alpha(\mathbf{b})s]^2} \quad (54)$$

となる。式 (18) 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 (18) が 2 つの解を持つための必要十分条件は

$$\alpha(\mathbf{b}) \leq \sqrt{\frac{\eta\gamma^3}{2}} \quad \text{かつ} \quad f(x^*) < x^* \quad (55)$$

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 (55) 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、これは

$$\alpha(\mathbf{b}) < \frac{2}{3\sqrt{3}} (\eta\gamma^3)^{1/2} \quad (56)$$

に相違ない。よって、式 (56) 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 (18) は異なる 2 つの解をもつ。

IV. 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なると、 $j \neq i$ 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-1 に示した 2 つの内点解について、Cabrales et al.¹¹⁾ に準拠して考察する。すべての主体の行動に一

様に影響する基準値： $(\mathbf{s}(t), \mathbf{v}(t))$ について勾配系のダイナミクスを考えると、

$$\frac{\partial s_i(t)}{\partial t} = \frac{\partial u_i(\mathbf{s}(t), \mathbf{v}(t))}{\partial s_i(t)}, \quad \frac{\partial v_i(t)}{\partial t} = \frac{\partial u_i(\mathbf{s}(t), \mathbf{v}(t))}{\partial v_i(t)} \quad (57)$$

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

$$\begin{aligned} \frac{\partial s_i(t)}{\partial t} &= \sum_{k=1}^n \frac{\partial^2 U_i}{\partial s_i \partial s_k} (\mathbf{s}^*, \mathbf{v}^*) (s_k(t) - s_k^*) \\ &\quad + \sum_{k=1}^n \frac{\partial^2 U_i}{\partial s_i \partial v_k} (\mathbf{s}^*, \mathbf{v}^*) (v_k(t) - v_k^*) \end{aligned} \quad (58)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v_i(t)}{\partial t} &= \sum_{k=1}^n \frac{\partial^2 U_i}{\partial v_i \partial v_k} (\mathbf{s}^*, \mathbf{v}^*) (v_k(t) - v_k^*) \\ &\quad + \sum_{k=1}^n \frac{\partial^2 U_i}{\partial v_i \partial s_k} (\mathbf{s}^*, \mathbf{v}^*) (s_k(t) - s_k^*) \end{aligned} \quad (59)$$

となる。 n が十分に大きいとき、任意の $i \neq k$ について

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

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

$$\frac{\partial^2 U_i}{\partial s_i \partial v_k} = \alpha \frac{s_k v_i}{n\bar{s}} \left(1 - \frac{s_i}{n\bar{s}} \right), \quad \frac{\partial^2 U_i}{\partial v_i \partial v_k} = \alpha \frac{s_i s_k}{n\bar{s}}$$

である。総主体数 n が十分大きいために個々の他主体による影響は微小であり、無視できると考えると、これらはいずれも近似的に 0 と見なせる。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 Π の固有値をもって判断することになる。

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

\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。 Π の固有値を λ とおくと、特性方程式は、 $2n$ 次元単位行列 \mathbf{I} を用いて

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

となる。よって 2 つの固有値が存在し、それぞれを λ_1, λ_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 (18) 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。

以上の内点解に関する s - v 平面上での議論の対象は、均衡まわりにおいて全主体の戦略行動が一様に変化するような摂動に対する安定性に限られる。一般的な安定性の議論においては、個々の主体が均衡点まわりでそれぞれに戦略を微小に変更した場合に、均衡に戻るか逸脱するかを確認することとなるが、その際は、各主体は別々の方向に戦略を変更するはずである。 n が大きい場合に、上述のような“全員が足並みを揃えて”同じ方向に変更する（例えば、一斉に s_i を増加するなど）可能性はきわめて少ないと言える。したがって、各主体が自らの意思決定に基づいて均衡点まわりでの戦略変更を行う場合、それらの影響を足し合わせてもそれぞれは相殺されるため、無視できると考えられる。このような観点から、式 (58), (59) においては、 n が十分に大きい下で「個々の他主体による影響を無視できる」と仮定し、2 つの内点均衡は安定であると結論付けた。

V. 式 (35) の導出

式 (27) の両辺を τ で偏微分すると

$$\frac{\partial \alpha(\mathbf{b})}{\partial \tau} = \frac{\alpha(1-\lambda)}{[b_c - (1-\lambda)\tau]^2} \{-b_c^2 + 2b_c\tau - (1-\lambda)\tau^2\} \quad (60)$$

を得る。右辺を τ の関数と見て $f(\tau)$ とおくと、 $f(0) = -\alpha(1-\lambda) < 0$ および、解と係数の関係から 2 次方程式 $f(\tau) = 0$ の相異なる 2 解がいずれも負であることを踏まえ、 $\tau > 0$ の範囲では常に式 (35) が成立する。

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) 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.
- 3) Storper, M. and Venables, A. J.: Buzz: face-to-face contact and urban economy, *Journal of Economic Geography*, Vol.4, pp.351-370, 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) Fujita, M. and Thisse, J. F. : *Economics of Agglomeration—Cities, Industrial Location, and Regional Growth*, Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
- 6) 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.
- 7) Mossay, P. and Picard, P.: On spatial equilibria in a social interaction model, *Journal of Economic Theory*, Vol. 146, Issue 6, pp. 2455-2477, 2011.
- 8) Helsley, R. W. and Strange, W. C. : Urban interactions and spatial structure, *Journal of Economic Geography*, pp. 1-20, 2007.
- 9) Helsley, R. W. and Zenou, Y. : Social networks and interactions in cities, *Journal of Economic Theory*, Vol. 150, pp.426-466, 2014.
- 10) 閣議決定：日本再興戦略，pp. 79-86, 2013.
- 11) Cabrales, A., Calvò-Armengol, A. and Zenou, Y. : Social interactions and spillovers, *Games and Economic Behavior*, Vol. 72, pp. 339-360, 2011.
- 12) 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.
- 13) 小林潔司，福山敬，松島格也：フェイス・ツウ・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.
- 14) 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.
- 15) Ballester, C., Calvò-Armengol, A. and Zenou, Y. : Who's who in networks. Wanted: The key player, *Econometrica*, Vol. 74, pp.1403-1417, 2006.

(2015. 2. 27 受付)

FACE-TO-FACE INTERACTIONS AND URBAN SPATIAL STRUCTURE

Yuki OHIRA, Hiroshi TSUDA 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. In this paper, we propose a social interaction model into which two kinds of strategic complementarity intrinsic to face-to-face contacts are incorporated, and examine those effects on urban spatial structure. Furthermore, we reveal that a decrease of transportation cost may lead to locational dispersion and decline the level of social interaction in a city.