

都市システムの空間構造と 社会的ネットワーク形成

津田 宙¹・大平 悠季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:138t128t@stu.kobe-u.ac.jp

²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:121t110t@stu.kobe-u.ac.jp

³正会員 博(工) 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

都市社会の発展において、人々の有する知識・情報が原動力となっている。相互交流の中でそれらが活発にやり取りされることで、都市社会の成長力を高める。相互交流の水準は、地理的距離と社会的距離に依存して決まる。相互にやり取りされる知識・情報が高度になるほど、face to face communication が重要な手段となる。本研究では、都市の空間構造が社会的ネットワークと主体間のコミュニケーション行動に与える影響についての理論モデルを構築した。さらに数値解析を行い、異なる都市の空間構造とその社会厚生を比較し、考察した。

Key Words ::social network, transportation network, travel demand, social welfare

1. はじめに

近年の都市・地域社会の発展において、人々が有する知識や情報が原動力となっている。¹⁾この発展においては、情報・通信技術の進展に支えられているところも大きい。特に重要なのは多様な主体間のコミュニケーションを通じた創造的活動であり、これはビジネス、科学、文化、芸術、教育といったあらゆる分野において高度な知識や技能を持つ主体間で起こる相乗的な現象に他ならない。コミュニケーションを通じた創造的活動においては、知識・情報と蓄積(ストック)もさることながら、それらの流れ(フロー)が大きな役割を果たしている。知識・情報が偏在し、また、相互のやり取りが不十分であれば、相乗的効果は期待できない。これに対し、活発な交流が行われる社会は、創造性に富み、成長力を持つ。

都市社会において、行われる相互交流の水準は、距離に関する2つの概念に依存して決まる。1つは地理的距離であり、いま1つは社会的距離である。相互にやり取りされる知識・情報が高度になれば、対面交流(face to face communication)がそれらを運ぶ重要な手段となる。対面交流は交通を伴うため、必然的にその水準は地理的距離に依存する。また、地理的距離自体は、交通環境(交通ネットワーク)と都市・地域の空間構造(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)によって内生的に決まる性質を持つ。一方、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。複雑に入り組んだ主体間の社会的関連性は社会的ネットワークと呼ぶ。地理的距離と社会的距離は、人や企業の選択を通じて互いに作用を及ぼし合いながら、都市社会の有り様を決定づける。しかし、これらの背後にあるメカニズムや関連性については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。

社会的ネットワーク及び交通ネットワークが、社会的相互作用の空間的波及メカニズムを介して、都市・地域の空間構造に影響を与える一方で、都市の空間構造が社会的ネットワークの成長を促している。すなわち社会的ネットワークと都市・地域の空間構造の間にある循環的因果関係について考察する必要がある。社会的ネットワークの成長を促し、相互交流を活発化させる交通ネットワークの構造とはどのようなものであろうか。主体が対面交流水準の決定に加え、社会的ネットワークにおけるリンク形成の意思決定を行う状況下において、交通ネットワークの位相幾何学的構造が社会的ネットワークの形成に及ぼす影響を明らかにする。また代表的な位相幾何学的構造(star型, tree型など)を比較して、望ましい交通ネットワークの形成のあり方について考察する。Cabralesら²⁾の社会的ネットワークを内生化したモデルを援用し、織田澤・大平³⁾の社会的ネットワークを考慮した空間相互作用モデルを拡張し、数値解析を行う。

2. 既存研究と本研究の位置づけ

既存研究において、社会的ネットワークを考慮した空間相互作用を分析した研究はいくらか蓄積がある。

Helsley & Zenou (2011)⁴⁾は、社会的ネットワークと主体間の地理的距離とコミュニケーション行動を関連づけたモデルを構築している。このモデルは、空間が都心と郊外の2地域からなる立地選択モデルである。織田澤・大平 (2012)³⁾は、このモデルを多地点で扱えるように拡張し、主体の立地を外生的に与えた時の空間相互作用モデルを構築している。しかしこれらのモデルでは、人と人のつながりを一定の強さで表しており、個々に差別化できていない。例えば、毎日遊ぶ親友と、挨拶を交わす程度に交流する人について、ともに自身との間につながりは存在するが、その強度は異なっているはずである。既存研究において、主体同士がどの程度コミュニケーション行動するかについて、社会的ネットワーク及び空間内における、主体の位置関係によって表すことに成功しているものの、つながりの強度の違いとその結果生じるコミュニケーション行動の様相を表現することはできていない。

社会的ネットワークの形成を内生化した既存研究に、Cabrales ら (2010)²⁾がある。Cabrales らは、主体の効用が socialization effort (社交的活動) と productive effort (生産活動) により決定するモデルを構築している。社交的活動とは、主体がどれだけ社交的な行動をしているか、という指標である。自身の子の教育について熱心である親を例に挙げると、ここでいう社交的活動とは、近所の親とお茶会を開いて、子育てについての情報を交換する、といったことである。また、生産活動は自身の子の勉強と一緒にすることや、課外活動の送迎などが挙げられる。Cabrales らは、社会的ネットワークにおけるつながりの強度を、この社交的活動 s を用いて表したモデルを構築している。しかしこのモデルは、交通ネットワークや立地パターンといった空間構造を考慮していない。

本研究では、“各主体の立地点と交通ネットワークの空間構造が、人と人のつながりを拡大し、コミュニケーション行動を活発化する要因である”という仮説のもと、織田澤・大平 (2012)³⁾のモデルを拡張する。

3. モデル

(1) モデルの概要

n 人の主体からなる経済を考える。主体は社会的ネットワーク上の全ての主体とつながっている。本研究では、1対1の face to face によるコミュニケーション行動 v と、社交的活動 s について考える。コミュニケー

ション行動 v は交通費用を伴い、各主体の立地パターンと交通ネットワークからなる空間構造に依存する。社交的活動 s は、主体がどれだけ社交的にふるまうかによって決定され、人と人のつながりの強度が求まり、社会的ネットワークの形成を表現する。主体は、つながりの強度に応じてコミュニケーション行動を行う。この静学モデルでは、各主体の立地パターン、その周囲の交通ネットワークが、社会的ネットワークの形成及びコミュニケーション行動に与える影響を調べる。

(2) モデルの定式化

社会的ネットワークを考慮した主体のコミュニケーション行動を分析した織田澤・大平 (2012)³⁾に基づき、本研究においても静学モデルを構築する。

n 人の主体及び、いくつかの都市からなる経済環境を想定する。主体のタイプ数は t 、各タイプの主体数は m とし、 $n = mt$ で表される。主体 i の主体 j との face to face によるコミュニケーション v_{ij} は、主体 j の立地点で行われる。主体は複数ある都市のいずれかに立地しており、各都市といくつかのリンク (交通ネットワーク) で結ばれた空間構造を考える。各主体の立地は外生的に与えるものとする。同じ都市に立地する主体とコミュニケーションを行う場合、交通費用は発生しない。

社会的ネットワーク g は、 $N = \{1, \dots, n\}$, $n \geq 2$ の主体で構成され、 n 次正方隣接行列 $\mathbf{G} = [g_{ij}(\mathbf{s})]$ で表す。個人の便益はこれらのつながりによる相互作用の影響を受ける。主体 i と主体 j のつながりの強度 $g_{ij}(\mathbf{s})$ は、主体の社交的活動 s_i, s_j によって決定され、次の式で表される。

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

$\mathbf{s} = (s_1, s_2, \dots, s_n)$, $s_i \geq 0$ である。リンクは対称とする。よって、 $g_{ij} = g_{ji}$ である。本研究では、セルフループ ($i = j$) を許すこととする。主体 i のつながりの強度の総和は、

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

ここで、 $\rho(\mathbf{s})$ は、

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

とすると、 $g_i(\mathbf{s}) = s_i$ である。すなわち社交的活動 s_i が、主体 i の他の全ての主体とのつながりの強度を決定する。

主体 i の効用は、基準財 z 及び相手とのコミュニケーションから得られ、効用関数 U_i は次式で表される。

$$U_i(v_{ij}, s_i; \mathbf{v}_{-i}, \mathbf{s}_{-i}, r) = z_i + u_i(v_{ij}, s_i; \mathbf{v}_{-i}, \mathbf{s}_{-i}, r) \quad (2)$$

ここで, v_{ij} は主体 i から j へのコミュニケーション行動, $\mathbf{v}_{-i}$ は主体 i 以外の $n-1$ 人のコミュニケーション行動を表すベクトルである. また, 主体 i の社交的活動 s_i , 主体 i 以外の社交的活動 $\mathbf{s}_{-i}$ である. 準効用関数 $u_i(v_{ij}, s_i; \mathbf{v}_{-i}, \mathbf{s}_{-i}, r)$ はコミュニケーションから得られる効用である. すなわち, 主体 i の効用は自身のコミュニケーション行動 v_{ij} , 自身以外の全ての主体のコミュニケーション行動 $\mathbf{v}_{-i}$, および社会的ネットワーク上の位置関係 $g_{ij}(\mathbf{s})$ に依存している. 準効用関数を, 次の式で表す.

$$u_i(v_{ij}, s_i; \mathbf{v}_{-i}, \mathbf{s}_{-i}, r) = \beta \sum_{k=1}^n v_{ik} + \frac{\alpha}{n} \sum_{k=1, k \neq i}^n [g_{ik}(\mathbf{s}) \sum_{l=1}^n v_{il} \sum_{h=1}^n v_{kh}] - \frac{\gamma}{2} \sum_{k=1}^n v_{ik}^2 \quad (3)$$

$\alpha(\geq 0), \gamma(> 0)$ はパラメータである. 各主体はコミュニケーションを行うために各種費用を要する. y を所得とし, p_f を固定費用, t_λ をリンク λ のコミュニケーション行動に要する交通費用とすると, 予算制約 y_i は, 次のように表される.

$$y_i = z_i + p_f \sum_{k=1}^n v_{ik} + \sum_{k=1}^n \sum_{\lambda=a}^{\phi} t_\lambda l_{ik}^{od} r_{od}^\lambda v_{ik} + \frac{1}{2} s_i^2 \quad (4)$$

行列 $\mathbf{X} = [x_i^{X_h}] (\forall i = 1, \dots, n, \forall h = 1, \dots, n')$ である. 主体 i の立地点 $x_i^{X_h}$ は, 以下の式で表される.

$$x_i^{X_h} = \begin{cases} 1 & (\text{主体 } i \text{ の立地が } X_h \text{ のとき}) \\ 0 & (\text{その他}) \end{cases} \quad (5)$$

$\mathbf{L} = [l_{ij}^{od}]$, $\mathbf{R} = [r_{od}^\lambda] (\forall o, d = X_1, \dots, X_{n'})$ で表される. $\mathbf{L}$ は主体と主体の立地に関する行列であり,

$$l_{ij}^{od} = \begin{cases} 1 & (x_i^o = x_j^d = 1 \text{ のとき}) \\ 0 & (\text{その他}) \end{cases} \quad (6)$$

$\mathbf{R}$ は交通ネットワークに関する行列であり,

$$r_{od}^\lambda = \begin{cases} 1 & (\text{リンク } \lambda \text{ が } od \text{ 間経路に含まれる}) \\ 0 & (\text{その他}) \end{cases} \quad (7)$$

(3) 個人の行動

主体 i の効用は, 基準財 z 及び相手とのコミュニケーションから得られ, 効用関数 U_i は次式で表される.

$$U_i(v_{ij}, s_i; \mathbf{v}_{-i}, \mathbf{s}_{-i}, r) = z_i + u_i(v_{ij}, s_i; \mathbf{v}_{-i}, \mathbf{s}_{-i}, r) \quad (8)$$

ここで, v_{ij} は主体 i から j へのコミュニケーション行動, $\mathbf{v}_{-i}$ は主体 i 以外の $n-1$ 人のコミュニケーション行動を表すベクトルである. また, 主体 i の社交的活動 s_i , 主体 i 以外の社交的活動 $\mathbf{s}_{-i}$ である. 準効用関数 $u_i(v_{ij}, s_i; \mathbf{v}_{-i}, \mathbf{s}_{-i}, r)$ は自身のコミュニケーション行動 v_{ij} , 自身以外の全ての主体のコミュニケーション行動

$$u_i(v_{ij}, s_i; \mathbf{v}_{-i}, \mathbf{s}_{-i}, r) = \beta \sum_{k=1}^n v_{ik} + \frac{\alpha}{n} \sum_{k=1, k \neq i}^n [g_{ik}(\mathbf{s}) \sum_{l=1}^n v_{il} \sum_{h=1}^n v_{kh}] - \frac{\gamma}{2} \sum_{k=1}^n v_{ik}^2 \quad (9)$$

$\alpha(\geq 0), \gamma(> 0)$ はパラメータである. 各主体はコミュニケーションを行うために各種費用を要する. y を所得とし, p_f を固定費用, t_λ をリンク λ のコミュニケーション行動に要する交通費用とすると, 予算制約 y_i は, 次のように表される.

$$y_i = z_i + p_f \sum_{k=1}^n v_{ik} + \sum_{k=1}^n \sum_{\lambda=a}^{\phi} t_\lambda l_{ik}^{od} r_{od}^\lambda v_{ik} + \frac{1}{2} s_i^2 \quad (10)$$

(8)~(10) 式を効用最大化問題として一階条件を解くことにより, 均衡解を得る.

(4) 均衡分析

主体 i は空間構造を所与として, 主体の社交的活動 $\mathbf{s}$ をもとに社会的ネットワークを形成し, 自身の効用を最大化するようなコミュニケーション水準 v_i を決定する. (8)~(10) 式より, 主体 i の効用最大化問題を解く.

v_i について一階条件を解くと,

$$\frac{\partial U_i}{\partial v_{ij}} = (\beta - p_f - \sum_{\lambda=a}^{\phi} t_\lambda l_{ij}^{od} r_{od}^\lambda) - \gamma v_{ij} + \frac{\alpha}{n} \sum_{k=1, k \neq i}^n [g_{ik}(\mathbf{s}) \sum_{h=1}^n v_{kh}] = 0 \quad (11)$$

ここで, $b_{ij} = \beta - p_f - \sum_{\lambda=a}^{\phi} t_\lambda l_{ij}^{od} r_{od}^\lambda$ とおくと, b_{ij} は主体 i と主体 j の立地と交通ネットワークによって決定する. そこで本研究では, b_{ij} を主体 i の他の主体 j に対する近接性と呼ぶことにする. 式 (11) を v_{ij} についてまとめると,

$$\gamma v_{ij} = b_{ij} + \frac{\alpha}{n} \sum_{k=1, k \neq i}^n [g_{ik}(\mathbf{s}) \sum_{h=1}^n v_{kh}] \quad (12)$$

式 (12) を, 行列で表記すると,

$$\gamma \mathbf{v} = \mathbf{b} + \frac{\alpha}{n} [\mathbf{G}'(\mathbf{s}) - \text{diag}(\mathbf{G}'(\mathbf{s}))] \mathbf{v} \quad (13)$$

式 (13) を変形すると, 以下のようになる.

$$\gamma \mathbf{v} + \frac{\alpha}{n} [\mathbf{I} + \frac{1}{n} \frac{\alpha \bar{\mathbf{s}}}{\gamma \bar{\mathbf{s}} - \alpha \mathbf{s}^2} \mathbf{G}'(\mathbf{s})] \mathbf{v} = \mathbf{b} \quad (14)$$

式 (14) の誘導を以下に示す. ここで, $\bar{\mathbf{x}} = \sum_{\tau=1}^n x_\tau / n$, $\bar{\mathbf{x}}^2 = \sum_{\tau=1}^n x_\tau^2 / n$ と定義する. 非負の正方行列 $\mathbf{M}(\mathbf{s}) =$

$[\mathbf{I} - \frac{\alpha}{\gamma n} \mathbf{G}']^{-1}$ について,

$$\mathbf{M}(\mathbf{s}) = [\mathbf{I} - \frac{\alpha}{\gamma n} \mathbf{G}']^{-1} =$$

$$\mathbf{I} + \frac{\alpha}{\gamma n} \mathbf{G}' + \left(\frac{\alpha}{\gamma n}\right)^2 \mathbf{G}'^2 + \cdots = \mathbf{I} + \sum_{p=1}^{+\infty} \left(\frac{\alpha}{\gamma n}\right)^p \mathbf{G}'^p.$$

$\sum_{p=1}^{+\infty} \left(\frac{\alpha}{\gamma n}\right)^p \mathbf{G}'^p$ は以下のように変形できる.

$$\begin{aligned} \text{sum}_{p=1}^{+\infty} \left(\frac{\alpha}{\gamma n}\right)^p \left(n \frac{\bar{\mathbf{s}}^2}{\bar{\mathbf{s}}}\right)^{p-1} g_{ij} &= \\ \frac{\frac{\alpha}{\gamma n} \cdot g_{ij}}{1 - \frac{\alpha}{\gamma n} \cdot n \frac{\bar{\mathbf{s}}^2}{\bar{\mathbf{s}}}} &= \frac{\alpha \bar{\mathbf{s}}}{\gamma \bar{\mathbf{s}} - \alpha \bar{\mathbf{s}}^2} \cdot \frac{g_{ij}}{n} \end{aligned}$$

行列 $\mathbf{M}(\mathbf{s})$ は, 存在条件である $\gamma > \frac{\alpha}{n} \frac{\bar{\mathbf{s}}^2}{\bar{\mathbf{s}}}$ を満たすとき, 次式のように定義される.

$$\mathbf{M}(\mathbf{s}) = [\mathbf{I} - \frac{\alpha}{\gamma n} \mathbf{G}']^{-1} = \mathbf{I} + \frac{1}{n} \frac{\alpha \bar{\mathbf{s}}}{\gamma \bar{\mathbf{s}} - \alpha \bar{\mathbf{s}}^2} \mathbf{G}'$$

以上より, 式 (14) が得られる.

ここで, $\bar{v}_i = \sum_l v_{il}/n$, $\bar{v} = \sum_i v_i/n$ ($\forall i = 1, \dots, n$) である. $\bar{v}_i$ は主体 i の平均コミュニケーション行動, $\bar{v}$ は全主体の総平均コミュニケーション行動である. $\gamma > \alpha \bar{\mathbf{s}}^2/n\bar{\mathbf{s}}$ ($\mathbf{M}(\mathbf{s})$ の定義に必要な条件) であるとき,

$$s_i = \alpha \bar{v}_i \sum_{k=1}^n \frac{s_k v_k}{n \bar{\mathbf{s}}}, \forall i = 1, \dots, n \quad (15)$$

これは n が十分に大きいとき, $\alpha \bar{v}_i \frac{s_i v_i}{n \bar{\mathbf{s}}}$ と $\alpha s_i \bar{v}_i \sum_k \frac{s_k v_k}{(n \bar{\mathbf{s}})^2}$, $\frac{\alpha}{n} \frac{s_i^2 v_i^2}{(n \bar{\mathbf{s}})^2}$ は全て 0 に収束するからである. さらに, 式 (14) は,

$$\gamma \mathbf{v} = \left[\mathbf{I} + \frac{1}{n} \frac{\alpha \bar{\mathbf{s}}}{\gamma \bar{\mathbf{s}} - \alpha \bar{\mathbf{s}}^2} \mathbf{G}'(\mathbf{s}) \right] \mathbf{b} \quad (16)$$

と表せる. $g_{ii}(\mathbf{s}) = s_i^2 / \sum_{k=1}^n s_k$ であるから, $\text{diag}(\mathbf{G}'(\mathbf{s}))$ の成分もまた n が大きくなると 0 に近づく.

また, 式 (15) より $s_i/\bar{v}_i$ は常に一定であるので, $s_i = \theta_i s$, $\bar{v}_i = \theta_i v$ とおける. これより v と s , θ を用いて, 式 (15) を以下のように表す.

$$s = \alpha v^2 \frac{\bar{\theta}^2}{\bar{\theta}}. \quad (17)$$

また,

$$\frac{\alpha \bar{\mathbf{s}}}{\gamma \bar{\mathbf{s}} - \alpha \bar{\mathbf{s}}^2} = \frac{\alpha \bar{\theta} s}{\gamma \bar{\theta} s - \alpha \bar{\theta}^2 s^2} = \frac{\alpha \bar{\theta}}{\gamma \bar{\theta} - \alpha \bar{\theta}^2 s}$$

となり, 式 (14) は次式に変形できる.

$$\begin{aligned} \gamma v_{ij} &= b_{ij} + \frac{1}{n} \frac{\alpha \bar{\theta}}{\gamma \bar{\theta} - \alpha \bar{\theta}^2 s} \sum_{k=1}^n \frac{s_i s_k}{n \bar{\mathbf{s}}} \sum_{l=1}^n b_{kl} \\ &= b_{ij} + \frac{1}{n} \frac{\alpha \bar{\theta}}{\gamma \bar{\theta} - \alpha \bar{\theta}^2 s} \sum_{k=1}^n \frac{\theta_i \theta_k s^2}{n \bar{\theta} s} \sum_{l=1}^n b_{kl} \\ &= b_{ij} + \frac{\alpha s}{n} \frac{\theta_i}{\gamma \bar{\theta} - \alpha \bar{\theta}^2 s} \sum_{k=1}^n \theta_k \bar{b}_k \end{aligned} \quad (18)$$

ここで, $\bar{b}_i = \sum_{k=1}^n b_{ik}/n$ である. $\bar{b}_i$ は主体 i の平均近接性である. これを主体 i のアクセシビリティとする. 両辺 j についての和をとると,

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \gamma v_{ij} &= \sum_{j=1}^n b_{ij} + n \cdot \frac{\alpha s}{n} \cdot \frac{\theta_i}{\gamma \bar{\theta} - \alpha \bar{\theta}^2 s} \sum_{k=1}^n \theta_k \bar{b}_k \\ \gamma \cdot n \bar{v}_i &= n \bar{b}_i + \alpha s \cdot \frac{\theta_i}{\gamma \bar{\theta} - \alpha \bar{\theta}^2 s} \sum_{k=1}^n \theta_k \bar{b}_k \\ \therefore \gamma \theta_i \bar{v} &= \bar{b}_i + \frac{\alpha s}{n} \cdot \frac{\theta_i}{\gamma \bar{\theta} - \alpha \bar{\theta}^2 s} \sum_{k=1}^n \theta_k \bar{b}_k \end{aligned} \quad (19)$$

式 (19) は, $\frac{\bar{b}_i}{\theta_i} = \gamma \bar{v} - \frac{\alpha s}{n} \frac{\sum_{k=1}^n \theta_k \bar{b}_k}{\gamma \bar{\theta} - \alpha \bar{\theta}^2 s}$ がどの主体 i, j にとっても一定なものであることを意味している. ゆえに, $\theta_i/\theta_j = \bar{b}_i/\bar{b}_j$ であるから, $\theta_i = \bar{b}_i$ となる. 式 (19) をさらに変形して,

$$\frac{\alpha s}{n} \frac{1}{\gamma \bar{\theta} - \alpha \bar{\theta}^2 s} \sum_{k=1}^n \theta_k \bar{b}_k = \gamma \bar{b}_i v - \bar{b}_i$$

得られた結果を式 (18) に代入することにより, 主体 i の主体 j に対するコミュニケーション行動 v_{ij} が求まる.

$$\begin{aligned} \gamma v_{ij} &= b_{ij} + \gamma \bar{b}_i \bar{v} - \bar{b}_i = b_{ij} + \gamma \theta_i \bar{v} - \bar{b}_i \\ \therefore v_{ij} &= \frac{b_{ij} - \bar{b}_i}{\gamma} + \bar{v}_i. \end{aligned} \quad (20)$$

一方で, 式 (19) は以下の式と同義である. $a(\mathbf{b}) = \alpha \bar{\mathbf{b}}^2/\bar{\mathbf{b}}$ とおくと,

$$\begin{aligned} v &= \frac{1}{\gamma} + \frac{1}{\gamma} \frac{\alpha s}{n} \frac{n \bar{\mathbf{b}}^2}{\gamma \bar{\mathbf{b}} - \alpha s \bar{\mathbf{b}}^2} = \frac{\gamma \bar{\mathbf{b}} - \alpha s \bar{\mathbf{b}}^2 + \alpha s \bar{\mathbf{b}}^2}{\gamma \cdot (\gamma \bar{\mathbf{b}} - \alpha s \bar{\mathbf{b}}^2)} \\ &= \frac{1}{\gamma - a(\mathbf{b})s} \end{aligned} \quad (21)$$

また, 式 (17) は,

$$s = \alpha v^2 \frac{\bar{\mathbf{b}}^2}{\bar{\mathbf{b}}} \quad (22)$$

と同義である. 以上のことから次のことが導かれる.

$$\begin{cases} s = \alpha(\mathbf{b})v^2 \\ v[\gamma - \alpha(\mathbf{b})s] = 1 \end{cases} \quad (23)$$

式 (23) より, 社交的活動 s とコミュニケーション行動 v の均衡解は, $\alpha(\mathbf{b})$ によって表される. この $\alpha(\mathbf{b})$ が意味するところは主体ごとの近接性のばらつきであり, $\alpha(\mathbf{b})$ が大きいほど, アクセシビリティの高い主体と低い主体のばらつきが存在する. 本研究ではこの $\alpha(\mathbf{b})$ を二次平均アクセシビリティとよぶ. また, 式 (23) は図 1 で表され, 均衡点は 2 つ存在することが分かる. これは, cabrales らの既存研究²⁾を踏襲している.

また, ここで得られるコミュニケーション行動 v は標準化されたものであり, 主体のコミュニケーション行動 $\bar{v}_i$ は, 次式で表される.

$$\bar{v}_i = \bar{b}_i v \quad (24)$$

同様に、社交的活動 s は標準化されたものであり、主体 i の社交的活動 s_i は次式で表される、

$$s_i = \bar{b}_i s \tag{25}$$

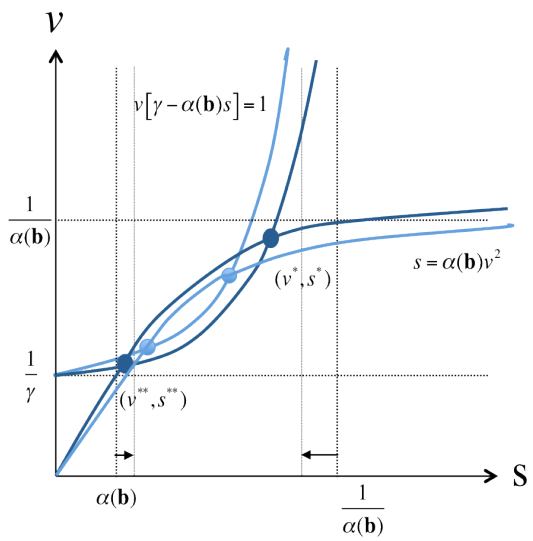


図-1 均衡点

(2) 集積度の異なる空間構造

star 型ネットワークの都市の空間構造を用いて、人口が都市 X_1 に集積した場合のコミュニケーション行動 $\bar{v}$ と、社交的活動 s の変化を調べる。本節では、集積度の異なる 3 パターンの空間を分析する。主体数 $n = 2000$ が存在する空間を考える。主体が各都市 400 ずつ立地する場合と、都市 X_1 に 800 と他の都市に 300 ずつ立地する場合、都市 X_1 に 1600 と他の都市に 100 ずつ立地する場合を比較する。本モデルでは、分析の都合上 $m = 100$ を人口の最小単位として数値解析を行う。

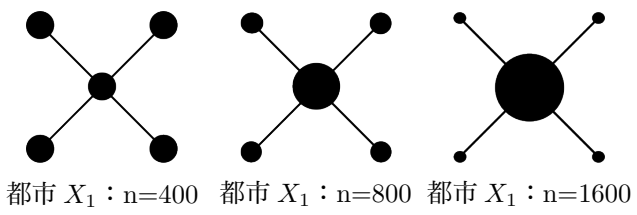


図-3 都市の空間構造—集積度

4. 数値解析

(1) 都市の空間構造の設定

構築したモデルにおいて、簡単な都市の空間構造を設定し、数値解析を行うこととする。この数値解析に際して実データに基づいた計算は行っておらず、モデルに登場するパラメータも任意に与えている。都市の空間構造について図 2 のような $X_1, X_2, \dots, X_5$ の 5 都市からなるシンプルなものであり、分析結果も限定的なものになる可能性がある。しかし、このモデルの均衡解及び最適解が示す値がどのような反応を示すかを調べるという本章の目的は逸脱しない。都市の交通ネットワークの変化や主体の立地パターンの変化など、いくつかの想定の下で数値解析を行い、都市の空間構造が社会的ネットワークの形成及びコミュニケーション行動に与える影響を分析する。

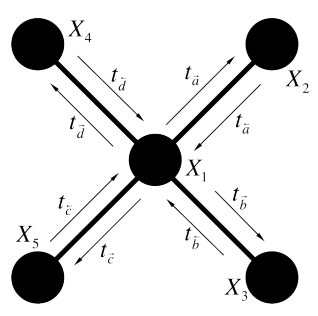


図-2 都市の空間構造の例

表 1 に得られた結果をまとめる。 $\sum U, \bar{v}$ の部分について、上段はパレート劣位な均衡での値で、下段はパレート優位な均衡の値である。

表-1 集積度による比較

集積度	$\bar{b}$	$\bar{b}^2$	$\alpha(b)$	$\sum U$	$\bar{v}$
	5.44	1.6	0.147	11908	5.57
				400717	33.9
	5.96	1.88	0.158	12333	6.12
				422920	34.3
	7.24	2.68	0.185	13672	7.52
				430350	34.8

表 1 の数値解析結果では、都市 X_1 に集積が進むにつれて、アクセシビリティ $\bar{b}$ と二次平均アクセシビリティ $\alpha(b)$ が共に大きくなり、その結果コミュニケーション行動の水準も大きくなる。しかし都市 X_1 とその他の都市のコミュニケーション行動の水準の比は大きな

ることが分かった。

次に、各都市の主体のコミュニケーション行動と効用について分析する。図4と図5はそれぞれ、各都市の主体のコミュニケーション行動の水準と社交的活動の水準について示したものである。円内の黒色の数字がその都市に立地する主体の社交的活動の水準であり、赤色の数字が都市 X_1 の中心地に立地する主体のコミュニケーション行動の水準、青色の数字が郊外の都市に立地する主体のコミュニケーション行動の水準である。図4と図5より、都市 X_1 の集積が大きいが集積が小さい場合に比べて、主体のコミュニケーション行動、社交的活動は小さくなっていることがわかる。しかし、集積している場合の全体のコミュニケーション行動の水準と社会厚生の方が集積していない場合より大きくなっている。これは、集積が小さいほど、都市 X_1 に立地する中心地の優位性をもつ主体が、周囲の主体のコミュニケーション行動の水準と社交的活動の水準を挙げていると考えられる。一方で、都市 X_1 に集積が進むと、中心地に立地する優位性が薄れ、コミュニケーション行動の水準、社交的活動の水準は下がり、格差が広がるが、中心地に立地する主体の数が大きくなるため、全体のコミュニケーション行動の水準や社会厚生は大きくなると考えられる。

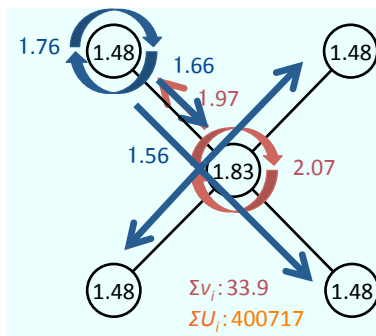


図-4 各都市の主体の行動（都市 X_1 : $n = 400$ ）

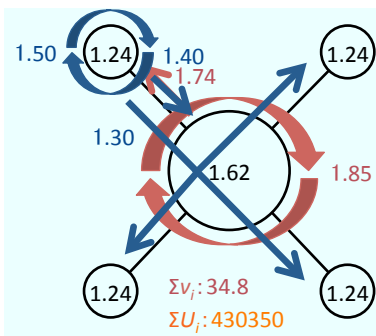


図-5 各都市の主体の行動（都市 X_1 : $n = 1600$ ）

(3) 交通ネットワークの異なる空間構造

5つの都市とその都市間を結ぶ4本の交通リンクが存在するような空間を考える。都市間の結び方の異なるパターンは図6のようなstar型, tandem型, tree型の交通ネットワークのパターンが考えられる。空間には $n = 2000$ の主体が存在し、各 $m = 100$ を人口の最小単位として数値解析を行う。

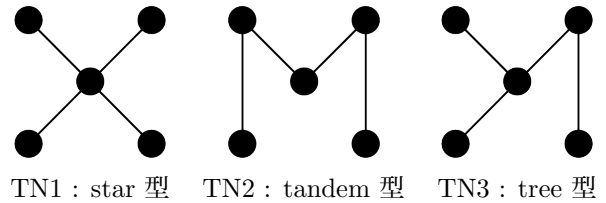


図-6 都市の空間構造—交通ネットワーク

表2に得られた結果をまとめる。表1と同様、上段はパレート劣位な均衡の値で、下段はパレート優位な均衡の値である。

表-2 交通ネットワーク (TN) の比較

TN	$\bar{b}$	$\bar{b}^2$	$\alpha(\mathbf{b})$	$\sum U$	$\bar{v}$
	5.44	1.6	0.147	11908	5.57
				400717	33.9
	5.12	1.50	0.147	11765	5.24
				340315	31.9
	4.80	1.44	0.150	11665	4.92
				265525	29.3

交通ネットワークの比較において、アクセシビリティ $\bar{b}$ と二次平均アクセシビリティ $\alpha(\mathbf{b})$ の変化は一致しておらず、star型, tree型, tandem型の順に社会厚生が大きくなることがわかった。 $\bar{b}$ と $\alpha(\mathbf{b})$ のどちらも、値が大きくなるほどコミュニケーション行動の水準と社会厚生を大きくするが、 $\bar{b}$ と $\alpha(\mathbf{b})$ の影響力については、さらに数値解析を行う必要がある。

5. おわりに

本研究では、都市の空間構造により社会的ネットワークが内生的に決まるモデルを構築し、複数均衡の存在を確認した。このモデルの有効な点として、コミュニケーション行動と社交的活動がアクセシビリティ $\bar{b}$ と2次平均アクセシビリティ $\alpha(\mathbf{b})$ によって求まり、社会厚生が得られることである。

本研究の課題としては、最適解についてはまだ確認できていないことと、都市内の移動においては交通費用が発生せず負の外部性を考慮できていないことが挙げられる。また、アクセシビリティ $\bar{b}$ と2次平均アクセシビリティ $\alpha(\mathbf{b})$ がより説明力を持つには、さらに数値解析を行う必要がある。都市間の移動にかかる交通費用を変化させた場合のコミュニケーション行動の水準や社会厚生についても分析を行いたい。本研究で構築したモデルは理論モデルではあるが、実際の空間構造や交通費用を考慮することにより、実証的分析の可能性がある。

参考文献

- 1) 小林潔司：知識社会と都市の発展，森北出版，1999.
- 2) Antonio Cabrales, Antoni Calvo-Armengol, Yves Zenou : Social Interactions and Spillovers , 2010.
- 3) 織田澤利守，大平悠季：社会的ネットワーク理論に基づく空間相互作用モデル，土木計画学研究・講演集，Vol.46, 2012.
- 4) Robert W.Helsley, Yves Zenou : Social Networks and Interactions in Cities, 2011.
- 5) 佐々木公明，文世一：都市経済学の基礎，有斐閣アルマ，2000.
- 6) Fujita Masahisa, Jacques-Francois Thisse : Economics of Agglomeration, 2002.
- 7) Ottaviano, Tabuchi, Thisse : Agglomeration and Trade Revisited, 2002.
- 8) 馬場健司：情報通信技術による交通—コミュニケーション行動の補完と代替—オフィスにおける業務ミーティングプロセスを考慮して，土木計画学研究・論文集，No.17, pp.163-168, 2000.

(平成 25 年 8 月 2 日 受付)

System of Cities and Social Interactions

Toshimori Otazawa , Yuki Ohira and Hiroshi Tsuda

Social interactions are important aspect of everyday's life so that human beings are called "social animals." There are various kinds of interactions such as meetings with friends and business conferences. These partners to interact are connected in social networks. In economic terms, face-to-face communications between agents are crucially important factor in cities. Economic agents visit each other considering physical distances between themselves and the traffic environment. They are assumed to largely affect on face-to-face interactions.

On the other hand, such spatial structures also affect on social network formation. Many people have experiences that they find friend in their neighbourhood. We can find a lot of firms closely located being in business relations.

In this paper, we incorporate the spatial structure of a city into an equilibrium model of social networks and interactions to examine communication behavior of an agent who enjoys the benefit derived from interacting with others through reciprocal visits who locate in the transportation network. We show that there exist the Nash equilibriums level of interactions. Furthermore, in numerical studies, we studies the relations between topologies of transportation networks and communication behaviors and correlation between agglomeration degree of population to the geographical center and social welfare.