

1. はじめに

近年、SNS (Social Networking Service) の急速な普及によって注目を集めた社会的ネットワーク (Social Network) は、本来主体間の結びつきを記号化した概念であり、コミュニケーションの動機そのものである。コミュニケーション活動に伴う交通は、交通ネットワークに加えて社会的ネットワークの観点からも議論する必要がある。同様のモチベーションをもつ交通需要モデリングに井料ら (2010)¹⁾があるが、社会的ネットワークについてはトポロジックな特徴を考慮するのみで、交流相手の異質性に言及していない。しかし、経済社会におけるコミュニケーション活動は、「誰か」と会うことに価値があるというよりは、「誰」と会うかによって相異なる便益を獲得するための行為と捉えることが妥当であるといえる。本研究では社会的ネットワークと交通ネットワークを同時に考慮し、交流相手を明示的に表現したモデルを構築することで、OD 交通需要の発生メカニズムを明らかにすることを目的とする。

2. モデル

(1) モデル概要

n 人の個人と各々の立地点からなる経済環境において、各個人は社会的ネットワーク上で接続している相手それぞれとの交通-コミュニケーション活動から便益を得る。達成されるコミュニケーションは相手によって異質であるとする。個人 i とその交流相手 j ($\forall i, j = 1, \dots, n$) との Face-to-Face コミュニケーションは、どちらかが相手を訪問することで実現するとすると、コミュニケーションの量は互いの訪問回数で計ることができ、これは OD 交通需要と解釈できる。ある OD 間の交通は、道路ネットワーク上の特定の経路のみを利用して発生する。個人 i は、予算制約下で相手 j のところに赴く交通需要 q_{ij} と、相手が自分を訪れることで達成される交通需要 q_{ji} の両方から得る効用 U_i を最大化するように、 q_{ij} を決定する。

(2) ネットワーク間の相互作用

社会的ネットワークと道路ネットワークの関係を記述するために、以下に示す行列 \mathbf{G}_e , \mathbf{P} および $\mathbf{C}_\ell(\mathbf{t})$ を定義する。 $n^2 \times n^2$ 行列 \mathbf{G}_e は社会的ネットワークを

グラフ化した隣接行列 $\mathbf{G} = [g_{ij}]$ ($g_{ij} = 1: i, j$ が直接接続している; $g_{ij} = 0: \text{その他}$) を拡張したものであり、その成分は次のように表せる: 行列 \mathbf{G}_e は $n \times n$ 小行列が縦横に n 個ずつ配列されたものである。上から k 番目、左から l 番目の小行列を $[k, l]$ で表すと、この小行列の h 行 m 列成分 $g_{hm}^{[kl]}$ は次のように表せ、これが \mathbf{G}_e の成分である ($\forall k, l, h, m = 1, \dots, n$).

$$g_{hm}^{[kl]} = \begin{cases} 1 & (k = l = i, h = m = j \text{ and } g_{ij} = 1) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases}$$

$\nu \times n^2$ 行列 \mathbf{P} は、交通ネットワークと社会ネットワークの相互関係を表す。個人 i と個人 j の間に発生する交通の経路に交通ネットワーク上のリンク ℓ が含まれるとき、行列 \mathbf{P} の ℓ 行 ($(i-1)n + j$) 列成分 $p_{\ell, ij}$ は $p_{\ell, ij} = 1$, その他の場合は $p_{\ell, ij} = 0$ となる。また、行列 $\mathbf{C}_\ell(\mathbf{t})$ は対角成分に各道路リンク ℓ ($\forall \ell = a, \dots, \nu$) の利用に要する交通コスト t_ℓ , その他の成分はすべて 0 であるような $\nu \times \nu$ 正方行列である。各個人 i の交流相手 j に対する交通需要 q_{ij} の列ベクトルを \mathbf{q} とすると、 $\mathbf{P}^T \mathbf{C}_\ell(\mathbf{t}) \mathbf{P} \mathbf{G}_e \mathbf{q}$ により得られる n^2 元列ベクトルは、社会的ネットワークが道路ネットワークに影響する構造を表現しており、その成分 $\sum_{\ell=a}^{\nu} p_{\ell, ij} t_\ell \sum_{j=1}^n p_{\ell, ij} g_{jj}^{[ii]} q_{ij}$ は、ネットワーク上の主体 i, j 間に発生する交通需要に対する交通費用を表す。

(3) 個人の行動

個人 i は、予算制約 (式 (3)) の下でネットワーク構造 g および他のすべての個人の交通需要 \mathbf{q}_{-i} を所与として、自身の効用 U_i を最大化するように交通-コミュニケーション需要 q_{ij} を決定する。

$$\max_{q_{ij}, z} U_i(q_{ij}, \mathbf{q}_{-i}, g) = z_i + u_i(q_{ij}, \mathbf{q}_{-i}, g), \quad (1)$$

$$u_i = \alpha \sum_{j=1}^n \bar{g}_{ij} \bar{q}_{ij} - \frac{\beta - \gamma}{2} \sum_{j=1}^n (\bar{g}_{ij} \bar{q}_{ij})^2 - \frac{\gamma}{2} \left(\sum_{j=1}^n \bar{g}_{ij} \bar{q}_{ij} \right)^2 + \theta \sum_{j=1}^n (\bar{g}_{ij} \bar{q}_{ij} \cdot q_j) \quad (2)$$

$$\text{sub. to } \bar{g}_{ij} \bar{q}_{ij} = g_{ij} q_{ij} + g_{ji} q_{ji},$$

$$q_i = \sum_{j=1}^n g_{ij} q_{ij}, \quad q_{ii} = 0,$$

$$y_i = z_i + p_T \sum_{j=1}^n \bar{g}_{ij} \bar{q}_{ij} + \sum_{\ell=a}^{\nu} p_{\ell, ij} t_\ell \sum_{j=1}^n p_{\ell, ij} g_{jj}^{[ii]} q_{ij}. \quad (3)$$

ここで、 y_i は所得、 p_T はミーティングの固定費用を表す定数である。効用 U_i は基準財 z_i および準効用関数 u_i から構成され、準効用関数 u_i は多様性選好（多様な相手との交流を好む性質）²⁾、および戦略的補完性（活発に交流活動を行う相手との交流はより高い効用をもたらす性質）³⁾ の双方の性質を有する。効用最大化の一階条件と $q_{ii} = 0$ より得た、 q_{ij} に関する一次式を ij について連立させると、行列計算により解析的に解を導出できる。これは Nash 均衡解である。

3. 数値事例

第2章(3)で得られた解を、図1のような4人の個人と3本の道路リンク a, b, c からなるネットワークの例に適用し、数値計算を行った結果を表1に示す。各パラメータ値は $\alpha = 46, \beta = 2.38, \gamma = -0.30, \theta = 0.6, p_T = 0.25$ 、道路コストの組合せ (t_a, t_b, t_c) は、case 1では $(3, 3, 3)$ 、case 2においては $(5, 3, 3)$ とする。

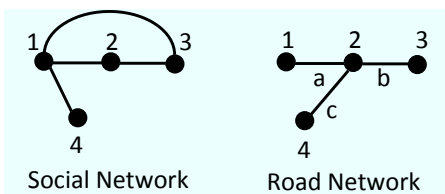


図-1 Example: Social Network / Road Network

case 1 は、道路ごとに要するコストが対称な場合である。case 2 は、道路リンクの1本のみが高コストとなるようなパラメータの組合せであり、case 2 から case 1 への変化は、その1本の道路を整備した前後の交通需要の変化と解釈できる。

表-1 数値計算結果—各個人の交通量と効用

		case 1		case 2	
		$\sum_{j=1}^4 q_{ij}$		$\sum_{j=1}^4 q_{ij}$	
q_1 (u_1)	q_{11}	0	39.4 (2403)	0	26.6 (1290)
	q_{12}	22.2		18.8	
	q_{13}	9.48		4.25	
	q_{14}	7.73		3.62	
q_2 (u_2)	q_{21}	15.4	28.1 (1860)	4.15	10.7 (1405)
	q_{22}	0		0	
	q_{23}	12.7		6.52	
	q_{24}	0		0	
q_3 (u_3)	q_{31}	12.1	20.1 (1873)	2.67	10.7 (912)
	q_{32}	8.00		8.00	
	q_{33}	0		0	
	q_{34}	0		0	
q_4 (u_4)	q_{41}	8.00	8.00 (801)	3.89	3.89 (397)
	q_{42}	0		0	
	q_{43}	0		0	
	q_{44}	0		0	
$\sum_{i=1}^4 q_i$ ($W = \sum_{i=1}^4 u_i$)			95.6 (6937)		51.8 (4004)

コミュニケーション需要 q_{ij} とそれから得られる効

用 u_i 、およびそれらの変化について、以下のことがいえる。

- 交通-コミュニケーション需要は、道路ネットワークによる空間的条件および社会的ネットワーク構造の両方の影響を受けて決定される。各主体の交通需要は、空間的立地条件と社会的なポジションを所与として Nash 均衡解として求まる。
- 主体 i に関するあらゆる方向の交通需要の和： $\sum_j \bar{g}_{ij} \bar{q}_{ij}$ のタームにおいて、個人1と個人2の大小関係が case 1 と case 2 で逆転すること等から、道路ネットワークの影響の強さが示唆される。
- 主体 i が交流相手 j へ行う交流活動を構成する q_{ij} (主体 $i \rightarrow$ 相手 j への交通行動) と q_{ji} (相手 $j \rightarrow$ 自分 i への交通行動) の大小関係は、社会的ネットワークにおける中心性に従うとは限らない。
- 各道路リンクのコスト、交流相手に関する多様性選好、および交通量に対する戦略的相補性を考慮することで、交通需要 q_i や効用 u_i の変化および大小関係のほとんどを説明できる。
- 道路リンクごとの交通量を計算すると、ある道路リンクを整備することで経済全体の交通-コミュニケーション行動が活発化し、他の道路リンクにもその効果が波及することがわかる。
- 社会的厚生 $W = \sum u_i$ は経済全体の交通需要に対応しており、コミュニケーション活動が活発な社会がより望ましいといえる。

4. 結論

本研究では、社会的ネットワークと道路ネットワークを同時に考慮することで、交通需要を本源的な動機から捉えるモデルを構築し、解析的に解を得た。さらに数値計算により、道路投資の影響が社会的ネットワークを通じて OD 交通需要に顕在化する過程を確認した。また、解の安定性の確認・Wardrop 均衡の概念の導入・二種類のネットワークに同時に言及する中心性指標の提案といったモデルの精緻化、両ネットワークの動的な相互関係の記述、社会的ネットワークの成長の内生化は、今後の課題である。

参考文献

- 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, 土木計画学研究発表会・講演集, 41, 2010: CD-ROM.
- Ottaviano, G., Tabuchi, T. and Thisse, J. F.: Agglomeration and Trade Revisited, International Economic Review, Vol.43, No. 2, pp. 409-435, (2002).
- Helsley, R. W. and Zenou, Y.: Social Networks and Interactions in Cities, CEPR Discussion Paper No. 8244, 2011.