

社会ネットワークを考慮したコミュニケーション行動に対する次善料金政策 ～社会的最適の進化的遂行～

鳥取大学大学院工学研究科 正会員 ○大平 悠季
神戸大学大学院工学研究科 正会員 織田澤 利守

1. はじめに

知識社会と呼ばれる現代社会において、コミュニケーションの重要性は一層増しつつある¹⁾。特にフェイス・トゥ・フェイスのコミュニケーション（対面交流）は、高度な知識や情報の主要な伝達・交換手段であると同時に、さらなる知識創造活動のプラットフォームの役割も担っている。活発な交流を通じた創造性豊かな社会の形成は、人口減少局面に突入した我が国において急務の課題であると言える。対面形式の交流が必ず交通行動を伴うことに着目すると、これらのコミュニケーションが複数の外部性を内包していることがわかる。一つは交通に伴う混雑外部性、いま一つはコミュニケーションの相乗効果がもたらす正の外部性（コミュニケーション外部性）である。社会的に望ましい交流水準を達成するための政策検討に際しては、2種類の外部性を同時に考慮する必要がある²⁾。一方、コミュニケーションを行う主体にとって、交流相手との信頼性や必要性は重要な要素である。行為主体間の相互関連性は社会ネットワークと呼ばれ、社会システム全体でのコミュニケーションに関する均衡状態を議論する上では無視できない。しかし、政府が社会ネットワークを正確に観測することは難しく、ネットワーク情報を用いた政策の実現は非常に困難である。本研究は、情報の利用可能性を考慮して、社会的に最適な水準のコミュニケーション行動を促進するための政策的検討を行う。

2. 混雑を考慮した2地域モデル

(1) 設定

$N = \{1, \dots, n\}$ ($n \geq 2$) を有限な主体の集合とする。各主体は、外生的な社会ネットワーク g 上のノードとして定義され、社会ネットワーク上でつながりを持つ主体とのフェイス・トゥ・フェイスのコミュニケーションから効用を獲得する。ここでは「活発なコミュニケーションをしている人とのコミュニケーションからは、高い効用を得られる」という外部性を仮定する。地理空間は、地域 C （都心）と地域 P （郊外）の2地域および都心内部の交通リンク1と地域間交通リンク2から構成され（図-1）、主体 i ($\forall i \in N$) の立地点は都心 ($x_i = 0$)

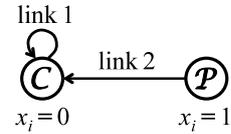


図-1 地理空間

または郊外 ($x_i = 1$) のいずれかであるとする。すべてのコミュニケーションは都心のミーティング施設において開催され、都心に立地する主体はリンク1のみを、郊外に立地する主体はリンク1, 2の両方を、それぞれ利用してミーティング施設を訪問するものとする。また、各交通リンクには混雑が存在する。すなわち、社会ネットワーク上の位置によってコミュニケーション行動（ここでは、ミーティング施設訪問行動と対応）の限界効用が、空間上の立地点によって限界費用が規定されるような状況の下で、主体は自身の効用を最大化するように行動水準を決定する。

政府は、コミュニケーション水準を最適化するための料金政策を提示する。その際、交通リンク上に現れるミーティング施設訪問行動水準は非集計レベルで観測できるが、社会ネットワーク情報は観測不可能であるとする。

(2) コミュニケーション行動の定式化

主体 i ($i = 1, \dots, n$) が都心から距離 x_i ($x_i = 0, 1$) の地点に立地するとき、主体 i は予算制約 (3) の下で、式 (1) の効用を最大化するようにコミュニケーション水準 v_i を決定する。

$$U_i(v_i, \mathbf{v}_{-i}, g) = z_i + u_i(v_i, \mathbf{v}_{-i}, g) \quad (1)$$

$$u_i(v_i, \mathbf{v}_{-i}, g) = \alpha v_i - \frac{1}{2} v_i^2 + \theta \sum_{j=1}^n g_{ij} v_i v_j \quad (2)$$

$$\text{sub. to } y = z_i + [p + t(x_i, \mathbf{v})] v_i \quad (3)$$

z_i は合成財消費量、 $u_i(\mathbf{v}_i, \mathbf{v}_{-i}, g)$ は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獲得する部分効用を表す。 v_i は主体 i によるミーティング施設訪問回数（もしくは頻度）を、 \mathbf{v}_{-i} は $\{v_1, \dots, v_{i-1}, v_{i+1}, \dots, v_n\}$ の集合を意味する。ここでは訪問回数をコミュニケーション水準の近似指標として扱う。 α, θ はいずれも非負の定数パラメータである。式 (3) において、 $p, t(x_i, \mathbf{v})$ はそれぞれ単位訪問あたりのフェイス・トゥ・フェイ

ス・コミュニケーションに伴って発生する固定費用と交通費用を表す。交通費用については混雑を考慮し、パラメータ $t_1, t_2 (\geq 0)$ を用いて、リンク 1, 2 の交通費用を各々 $t_1 \sum_{j=1}^n v_j$, $t_2 x_i \sum_{j=1}^n x_j v_j$ によって表される線形関数とし、 $t(x_i, \mathbf{v})$ はこれらの和であるとする。

効用最大化の 1 階条件をすべての $i (\in N)$ について連立させると、行列計算により均衡解が唯一の内点解として解析的に導出される（解の存在条件については、紙面の制約上割愛）。これは他者の行動を与件とした各主体の最適化行動の結果であり、Nash 均衡である。

3. 社会的最適の進化的遂行

政府が各期において経済を刺激しながら長期的に社会的最適を達成する政策を考える。本稿ではベンサム型社会厚生関数を採用するとすると、社会的最適は、社会厚生 $W = \sum_{i \in N} U_i$ が最大化された状態と定義できる。社会厚生を最大化する最善政策は、主体 $i (\forall i \in N)$ に $T_i^O = t_1 \sum_{j=1, j \neq i}^n v_j + t_2 x_i \sum_{j=1, j \neq i}^n x_j v_j$ の混雑税を課し、同時に $S_i^O = \theta \sum_{j=1}^n g_{ij} v_j$ に相当するコミュニケーション補助金を与えることである。ただし補助金 S_i^O は社会ネットワーク情報 $[g_{ij}]$ の入手可能性を前提としているため、政府が実施することは困難である。

政策代替案として、以下のようなものを考える。政府は各期に実現したミーティング施設訪問水準に基づいて評価された外部性を内部化するように、次期の混雑税および補助金の額を決定する。每期ランダムに 1 主体が選ばれ、政策に対して行動を変更するチャンスを与えられる。この主体は、他の主体の戦略を所与として自分の利得が少なくとも現在より高くなる (better response) 戦略を選択するため、経済は、長期的な到達点において初期状態よりも改善する⁵⁾。

第 k 期において、政府はその期で観測されるコミュニケーション水準 $v_{1,k}, \dots, v_{n,k}$ に基づいて、下記のような代替政策 (セカンド・ベスト政策) を実行する。

- 主体 $i (\forall i \in N)$ に、その期の限界外部交通費用に相当する金額 $\tau_{i,k}$ を、次期の混雑税として課す。
- 主体 $i (\forall i \in N)$ に、その期の限界外部性に（理論上）相当する金額 $\sigma_{i,k}$ を、次期のコミュニケーション補助金として与える。

ただし

$$\tau_{i,k} = t_1 \sum_{j=1, j \neq i}^n v_{j,k} + t_2 x_i \sum_{j=1, j \neq i}^n x_j v_{j,k} \quad (4)$$

$$\sigma_{i,k} = v_{i,k} - \left(\alpha - p - t_1 v_{i,k} - t_1 \sum_{j=1}^n v_{j,k} - t_2 x_i \right) (5)$$

である。式 (5) に示す通り、ネットワーク $[g_{ij}]$ の情報を用いずに補助金を決定する点だが、この政策の特徴である。セカンド・ベスト政策の下では、主体は混雑税および補助金の額を一定と見なして行動する。よって、この政策を実施した後の主体の行動は、

$$f = \sum_{h=1}^n \left\{ \alpha v_{h,k} - \frac{1}{2} v_{h,k}^2 + \frac{\theta}{2} \sum_{j=1}^n g_{hj} v_{h,k} v_{j,k} + \sigma_{h,k-1} v_{h,k} - \left[p + \frac{t_1}{2} \left(v_{h,k} + \sum_{j=1}^n v_{j,k} \right) + t_2 x_i \left(v_{i,k} + \sum_{j=1}^n x_j v_{j,k} \right) + \tau_{h,k-1} \right] v_{h,k} \right\} (6)$$

をポテンシャルにもつポテンシャルゲームである。ポテンシャル関数 f は、そのヘッセ行列の固有値が、Nash 均衡解の存在する範囲においてすべて負値をとることから、狭義凹性を有していることが確認できる。よって、セカンド・ベスト政策下のゲームの Nash 均衡は一意に存在し、それはゲームの大域的最適解に一致する。紙面の都合上詳細な証明は省略するが、Better Response ダイナミクスの定常状態（不動点）においては、ポテンシャル関数 f の 1 階条件が社会厚生最大化問題の最適性条件と一致することが確認できる。

すなわち、限定的な情報に基づいて混雑税 τ_i および補助金 σ_i を逐次的に適用するセカンド・ベスト政策の下で、各主体がプレーするゲームの長期的な定常状態は、社会厚生最大化点に一致する。

4. 結論

本研究は、社会ネットワークを考慮した主体間相互作用モデルを混雑の枠組みに拡張し、複数の外部性が存在する社会に対して、社会的最適の進化的遂行の概念を導入することによって私的情報を用いずに実行可能な政策を検討した。モデルの仮定の緩和（効用関数・費用関数の一般化、主体の選好に関する情報の入手可能性の克服）およびモデルの拡張（多地域モデルや立地選択の枠組への拡張）は、今後の課題である。

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) Arnott, R.: Congestion tolling with agglomeration externalities, *Journal of Urban Economics*, Vol. 62, pp. 187-203, 2007.
- 3) Helsley, R. W. and Zenou, Y. : Social Networks and Interactions in Cities, *Journal of Economic Theory*, Vol. 150, pp.426-466, 2014.
- 4) Sandholm, W.H.: Evolutionary implementation and congestion pricing, *Review of Economic Studies*, 69, pp.667-689, 2002.
- 5) Vega-Redondo, F.: *Economics and the theory of tames*, Cambridge University Press, 2003.