

社会的ネットワークのゲーム論的モデルとその応用可能性*

Network Formation Game and its potential application *

織田澤利守**・

By Toshimori OTAZAWA**

1. はじめに

交通（道路，航空，鉄道）ネットワーク，通信ネットワーク，企業提携ネットワーク，友人関係など，世の中には数え切れないほど多くのネットワークが存在する。ここ10年間で急速に発展してきたネットワーク・サイエンスは，これらのネットワークに共通するいくつかの重要な性質を明らかにした。しかし，主に物理学の分野で行われてきたこれまでの研究では，ネットワーク形成に関するエージェント（経済主体）の意思決定やその複雑な相互依存関係については考慮されていなかった。昨今，ネットワーク分野にゲーム理論を応用することにより，こうした課題に取り組むことが可能となった^{1,2)}。本報告では，その一例として，国際間産業立地分布に着目した自由貿易協定のネットワーク形成に関するゲーム論的モデルを示す。その上で今後の応用可能性について述べる。

近年，自由貿易協定(FTA)や関税同盟(CU)などの特惠的貿易協定(PTA)が急速に進展している。我が国においても2007年11月時点で5ヶ国（シンガポール，メキシコ，マレーシア，チリ，タイ，）との自由貿易協定（日本政府は経済連携協定(EPA)としてFTAより対象分野の幅広い協定を締結している）が発効しており，今後も中国や韓国，ASEAN諸国，オーストラリアなどと積極的に交渉を進めていく方針が発表されている。こうした貿易の自由化に伴う関税の引き下げに加え，財の輸送や情報通信などに要する費用の低下は，人・物・資本・情報といった産業資源の国際間移動活発にしている。その結果，産業立地の形態が変化し，特定の地域における産業の集積などの現象が観察されるようになった。そこで本研究では，不完全競争下での国際貿易モデルを拡張し，国際間産業立地を明示的に考慮した上で，FTAネットワークの形成メカニズムと実現する均衡解の特性を明らかにする。

*キーワード：ネットワーク形成ゲーム，自由貿易協定，国際産業立地

**正員、工博、東北大学大学院情報科学研究科
(宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06、
TEL022-795-7508、FAX022-795-7500)

2. 自由貿易協定のネットワーク形成ゲーム

(1) 既存研究の概要と本研究の着眼点

貿易自由化に関する研究は数多く存在する。Furusawa and Konishi (2007)³⁾は独占的競争下の国際貿易を一般均衡モデルとして定式化し，FTAネットワークを対象とする分析を行ない，ある条件の下では，完全ネットワーク（全てのペアでFTAが締結されるネットワーク）が唯一の安定FTAネットワークであることを示した。しかし，各国の企業数を外生的に与え固定としている為に，国際産業立地の変化については考慮されていない。また，輸送費用を考慮しない一点経済を想定しており，貿易自由化における空間的要素を捨象している。一方，輸送費用を国際間貿易の重要な要素として扱った研究も存在している。Bond (2007)⁴⁾は，交通インフラ整備と貿易自由化の関係について分析を行った。しかし，分析する自由貿易ネットワークがFTAのペアと第三国のケースに限られている点で限定的である。さらに，国際間産業立地の変化についても考慮されていない。Behrens et al (2007)⁵⁾は，独占的競争下の国際貿易モデルにおいて，貿易自由化における関税の引き下げと輸送費用の低下が各国の企業立地と社会厚生に与える影響の分析を行い，関税の引き下げは経済全体に影響を及ぼすのに対し，輸送費用の低下は限定的な範囲にのみ影響を及ぼすことを示した。しかし，FTAネットワークを外生的に与えている為に，国際間産業立地と輸送費用がFTAネットワークの形状に与える影響については分析を行っていない。以上のように，国際間産業立地の変化と輸送費用を考慮し，FTAネットワークの形成プロセスを内生的に扱った既存研究は，筆者の知る限り存在しない。

(2) 国際貿易モデル

a) 設定

M ($M \geq 2$) 国によって構成される経済を想定する。 i ($i = 1, \dots, M$) 国には同質の消費者 L_i が存在し，経済の総人口は $L \equiv \sum_{i=1}^M L_i$ である。各消費者は1単位の労働を保有するため，経済の総労働は L に固定される。労働の国際間の移動は発生しない。また， i 国の消費者が所有する資本の賦存量を K_i と表し，経済の総資本賦存量は

$K \equiv \sum_{i=1}^M K_i$ であるとする。資本は国際間を自由に移動する。

各国の消費者は基準財と水平的に差別化された財を消費する。ここで、水平的に差別化された財は工業財を意味し、各工業財は規模に関して収穫逓増の技術を用い、唯一の独占的競争企業によって生産される。また、各独占的競争企業はインデックス $\omega \in [0, N]$ で表され、各工業財も同様のインデックス ω で表される。企業 ω は、各国の市場（市場は国ごとに分断されている）において他の企業と価格競争を行う。 i 国に立地する企業数を n_i と表し、経済全体における企業数は $N \equiv \sum_{i=1}^M n_i$ であるとする。 i 国に立地する企業の割合を $\lambda_i = n_i/N$ と表す。各国に立地する企業の割合は、資本市場において企業の資本レントが均等化する条件により内生的に決定される。また、工業財の投入要素は労働と資本であり、 i 国の企業 ω が工業財を生産する際に投入する要素は、可変投入要素として労働、固定投入要素として資本である。工業財1単位の生産に要する労働量を c 、各企業が要する資本量 F とすれば、可変費用 cw_i と固定費用 Fr_i である。ただし、 w_i は i 国の賃金率、 r_i は i 国の資本レントを表す。一方、基準財は、労働のみを投入要素として完全競争的に生産される。ここでは、一般性を失わずに、各基準財1単位の生産に要する労働が1単位であると基準化する。

b) 消費者行動

代表的消費者の効用を準線形効用関数を用いて、

$$U(q, q_0) = \int_0^N q(\omega) d\omega - \frac{1-\sigma}{2} \int_0^N q(\omega)^2 d\omega - \frac{\sigma}{2} \left[\int_0^N q(\omega) d\omega \right]^2 + q_0 \quad (1)$$

と表現する。ただし、 $q(\omega)$ は積分可能な消費関数を、 q_0 は基準財の消費量を表す。 σ は工業財の代替性を表すパラメータである。 $\sigma = 0$ のとき各工業財は互いに独立であり、 $\sigma = 1$ のとき各工業財は完全代替となる。また、 $\sigma < 1$ の範囲において、消費者は工業財の多様性を選好する。 y を消費者の所得とすれば、予算制約式

$$y + \bar{q}_0 = \int_0^N \tilde{p}(\omega) q(\omega) d\omega + q_0 \quad (2)$$

が成立する。ただし、 $\tilde{p}(\omega)$ は工業財の消費者価格（CIF価格）を表し、 \bar{q}_0 は基準財の初期賦存量である。消費者の効用最大化問題の一階条件より、代表的消費者の需要関数

$$q(\omega) = \frac{1}{1-\sigma} \left[1 - \tilde{p}(\omega) - \sigma \frac{N - \tilde{P}}{1 + (N-1)\sigma} \right] \quad (3)$$

が得られる。ただし $\tilde{P} \left(\tilde{P} = \int_0^N \tilde{p}(\omega) d\omega \right)$ は工業財の価格指数である。

c) 企業行動と価格均衡

工業財の国際間取引には、関税と輸送費用を要する。 i 国で生産された工業財に j 国が課す関税を t_i^j ($t_i^i = 0$) と表し、関税収入は自国の消費者に等しく分配される。一方、 i 国で生産された工業財を j 国に輸送する際にかかる輸送費用は $w_i G_i^j$ ($G_i^i = 0$) で表す。また、簡単化のため、基準財の国際間の移動には関税と輸送費用はかからないと仮定する。式(3)より、 j 国の代表的消費者の i 国企業 ω によって生産された工業財 ω に対する需要関数は、

$$q_i^j(\omega) = \frac{1}{1-\sigma} \left[1 - p_i^j(\omega) - t_i^j - G_i^j w_i - \sigma \frac{N - \tilde{P}_j}{1 + (N-1)\sigma} \right] \quad (4)$$

となる。ただし、 $p_i^j(\omega)$ は i 国企業 ω によって生産された工業財 ω の j 国での生産者価格（FOB価格）を表す。 i 国の企業 ω の利潤関数は、

$$\pi(\omega) = \sum_j \{ p_i^j(\omega) - cw_i \} L_j q_i^j(\omega) - Fr_i \quad (5)$$

である。企業は各国の消費者の需要関数である。企業は各国の消費者の需要関数を既知として、自らの利潤を最大とする価格を決定する。以上より、 j 国の代表的消費者の i 国で生産される工業財 ω に対する均衡価格 p_i^j と均衡需要 q_i^j は、

$$p_i^j(t^j, G^j, \lambda) = (1-\sigma) q_i^j(t^j, G^j, \lambda) + cw_i \quad (6)$$

$$q_i^j(t^j, G^j, \lambda) = \frac{1}{2 + (N-2)\sigma} - \frac{1}{2(1-\sigma)} \phi_i^j + \frac{N\sigma}{2(1-\sigma)\{2 + (N-2)\sigma\}} \sum_{k=1}^M \lambda_k \phi_k^j \quad (7)$$

となる。ただし、 $\phi_k^j = t_k^j + cw_k + G_k^j w_k$ であり、 $t^j = (t_1^j, \dots, t_M^j)$ は j 国の関税ベクトル、 $G^j = (G_1^j, \dots, G_M^j)$ は j 国の輸送費用ベクトル、および $\lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_M)$ は企業分布ベクトルである。ゼロ利潤条件と、資本市場において企業の資本レントが均等化することから、均衡における i 国に立地する企業の割合を求めることが出来る。

d) 社会厚生

i 国における代表的消費者の所得は、労働収入、関税収入の分配、および資本収入の総和であるため、式(2)より i 国における代表的消費者の基準財の需要は、 i 国の関税ベクトル、輸送費用ベクトル、および企業分布ベクトルの下で、

$$q_0^i(t^i, G^i, \lambda) = \bar{q}_0 + w_i + T_i(t^i, G^i, \lambda) + \frac{\eta_i Kr}{L_i} - N \sum_{k=1}^M \lambda_k [p_k^i + t_k^i + G w_k] q_k^i \quad (9)$$

である。ただし、 η_i は i 国の所有する資本の割合である。また、 $T_i(t^i, G^i, \lambda)$ は i 国の消費者一人当たりの関税収入である。式(7)、式(9)を式(1)に代入することによ

り、 i 国における代表的消費者の均衡効用水準を得られる。これは、 i 国における消費者一人当たりの社会厚生とみなすことが出来る。

$$\begin{aligned} W_i(\mathbf{t}^i, \mathbf{G}^i, \lambda) &\equiv U(q_{k(k \in M)}^i, q_0^i) \\ &= V_i(\mathbf{t}^i, \mathbf{G}^i, \lambda) - X_i(\mathbf{t}^i, \mathbf{G}^i, \lambda) \end{aligned} \quad (10)$$

ただし、

$$V_i(\mathbf{t}^i, \mathbf{G}^i, \lambda) \equiv U\left(q_{k(k \in M)}^i, \bar{q}_0 + w_i + \frac{\eta_i Kr}{L_i}\right) \quad (11)$$

$$X_i(\mathbf{t}^i, \mathbf{G}^i, \lambda) \equiv N \sum_{k=1}^M \lambda_k \{(1-\sigma)q_k^i + cw_k + G_k^i w_k\} q_k^i \quad (12)$$

であり、 $V_i(\mathbf{t}^i, \mathbf{G}^i, \lambda)$ と $X_i(\mathbf{t}^i, \mathbf{G}^i, \lambda)$ は、それぞれ i 国の代表的消費者のグロスの効用と i 国の代表的消費者の工業財への支払額を表す。また、 $X_i(\mathbf{t}^i, \mathbf{G}^i, \lambda)$ は、さらに、代表的消費者の独占へのレント支払い額 $X_i^\alpha(\mathbf{t}^i, \mathbf{G}^i, \lambda)$ 、限界費用への支払額 $X_i^\beta(\mathbf{t}^i, \mathbf{G}^i, \lambda)$ 、輸送費用への支払額 $X_i^\delta(\mathbf{t}^i, \mathbf{G}^i, \lambda)$ に分けることができる。

$$X_i^\alpha(\mathbf{t}^i, \mathbf{G}^i, \lambda) = N \sum_{k=1}^M \lambda_k (1-\sigma) (q_k^i(\mathbf{t}^i, \mathbf{G}^i, \lambda))^2 \quad (13)$$

$$X_i^\beta(\mathbf{t}^i, \mathbf{G}^i, \lambda) = N \sum_{k=1}^M \lambda_k cw_k q_k^i(\mathbf{t}^i, \mathbf{G}^i, \lambda) \quad (14)$$

$$X_i^\delta(\mathbf{t}^i, \mathbf{G}^i, \lambda) = N \sum_{k=1}^M \lambda_k G_k^i w_k q_k^i(\mathbf{t}^i, \mathbf{G}^i, \lambda) \quad (15)$$

e) FTAネットワークのインセンティブと安定性

i 国と j 国がFTAを締結すると、 i 国は j 国から（同様に j 国は i 国から）工業財を輸入する際に賦課する関税を撤廃する（ $t_j^i = t_i^j = 0$ ）。一方、他の国から輸入する工業財に賦課する関税については、FTA締結前の水準を保つ。 i 国と j 国がFTAを締結する際の i 国の社会厚生の増加量 ΔW_i は、 $(i, j) \notin g^*$ であるとすると、

$$\Delta W_i = W_i(g^* \cup (i, j)) - W_i(g^*) \quad (16)$$

である。このとき、 $\Delta W_i \geq 0$ ならば i 国は j 国とFTAを締結するインセンティブが存在する。一方、 $\Delta W_i < 0$ ならば i 国は j 国とFTAを締結するインセンティブが存在しない。従って、 i 国と j 国がFTAを締結する条件は、

$$\Delta W_i \geq 0 \cap \Delta W_j \geq 0 \quad (17)$$

となる。

本研究ではFTAネットワークの安定性条件として、ペアワイズ安定性を用いる。次の2つの条件が満たされる場合、ネットワーク g^* はペア安定であるという。

1) どの $(i, j) \in g^*$ についても $W_i(g^*) \geq W_i(g^* \setminus (i, j))$ が成立。

2) どの $(i, j) \notin g^*$ についても $W_i(g^* \cup (i, j)) > W_i(g^*)$ な

らば $W_j(g^* \cup (i, j)) < W_j(g^*)$ が成立。

ペア安定性は、現在FTAを結んでいないどの二国も、新しいFTAを結ぶインセンティブが無く、かつ、現在存在するFTAを破棄するインセンティブはどちらの国にも無いことを要求する。

(3) 数値解析

$M=3$ の経済を想定する。各国が対称であると仮定すると、とりうるFTAネットワークの形状は図-1中の4通りである。以下では、まずベンチマーク(BM)ケースにおいて、安定FTAネットワークの形状の分析を行う。次に、各国間の輸送費用の変化に対し、安定ネットワークの形状がどのように変化するかを分析する。

a) ベンチマーク (BM) ケース

BMケースとして、各パラメータを、 $L=1000$ 、 $c=0.1$ 、 $K=50$ 、 $F=1$ 、 $G=0.0525$ 、 $t=0.015$ 、 $\sigma=0.15$ と設定して分析を行う。分析の結果が図-1であり、ノードは国を、リンクは国間でFTAが締結されていることを表す。各国に立地する企業の割合をノード内に、各国の社会厚生をノードの下に記す。

図-1より、ブロック型からハブ型に変化した場合、新たなFTAの当該国である3国の社会厚生が減少している。したがって、3国には2国とFTAを締結するインセンティブが存在しない。また、1国と2国は既存のFTAを破棄するインセンティブが存在しない。このことから、ブロック型が安定FTAネットワークであることが分かる。また、完全型において、各国は既存のFTAを破棄するインセンティブが存在しないため、完全型は安定である。よってBMケースでは、ブロック型と完全型が安定FTAネットワークとなる。

b) 輸送費用と安定FTAネットワーク

BMケースにおいて、輸送費用を変化させた場合の分析結果を図-2に示す。 $G=0.095$ では、ブロック型からハブ型に変化した場合、新たなFTAの当該国である2国と3国の厚生が増加している。したがって、2国と3国にはFTAを締結するインセンティブが存在し、ブロック型は不安定となる。 $G=0.095$ では、完全型が唯一の安定FTAネットワークとなる。

図-1,2より、輸送費用が小さい場合、FTAの締結による企業分布の変化が大きくなり、貿易の自由度が高い国（FTAを多くの国と締結している国）に企業が集中することが分かる。FTA締結により自国内の企業数が減少する場合、FTA締結前は自国で生産、消費していた財を、FTA締結後は他国から輸入しなければならない。その結果、輸送費用に対する支払額が増加する為に社会厚生が減少する。したがって、輸送費用がある閾値を下回ると

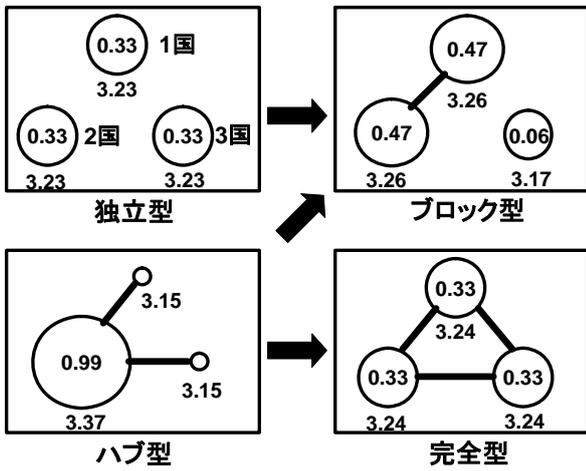


図-1 輸送費用の低いケース(BM ケース)の分析結果

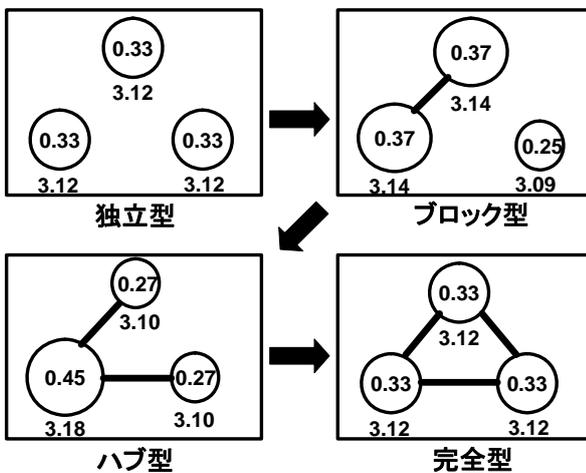


図-2 輸送費用の高いケースの分析結果

FTAが締結されなくなる。輸送費用と安定ネットワークにおける各国の社会厚生を図-3に示す。世界全体の平均の社会厚生は、完全型(実線)の方がブロック型(破線)よりも高い。したがって、輸送費用によらず常に完全型は社会的最適である。一方、1国と2国の社会厚生は、ブロック型(一点破線)の方が完全型(実線)よりも高くなる。したがって、ブロック型から完全型へはパレート改善しないため、社会的最適を実現する為には所得移転などの調整が必要となる。

3. おわりに

本報告では、社会的ネットワークのゲーム論的モデルの一例として、国際間産業立地分布に着目した自由貿易協定のネットワーク形成に関するモデルを紹介した。より大きな規模のネットワークを対象とした分析は今後の課題である。ただし、ペア安定性の均衡概念に基づく本モデルは静的分析であるため、ネットワークの動学的形成過程とその性質について分析することができない。

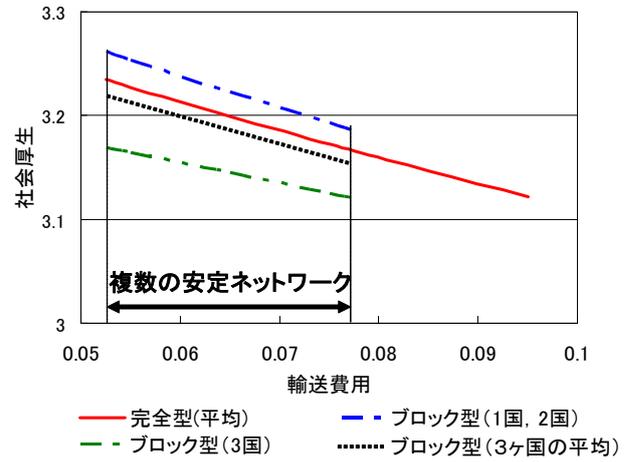


図-3 安定ネットワークにおける社会厚生

複雑なネットワークを対象に、ゲーム論的な主体的エージェントの動学的な行動を組み込む試みも始まっている⁶⁾。こうした試みは、人々の間の信頼関係や人間関係に代表される、ソーシャル・キャピタルに関する理論的分析の基礎となっており、土木計画、地域計画の分野において今後の大きな貢献が期待される。

参考文献

- 1) Jackson, M.O. and Wolinsky, A: A Strategic Model of Social and Economic Networks, *Journal of Economic Theory*, 71, 4-74, 1996.
- 2) Demange, G. and Wooders, M.: Group Formation in Economics, Cambridge University Press, 2005.
- 3) Furusawa, T. and Konishi, H.: Free trade networks, *Journal of International Economics*, 72, 310-335, 2007.
- 4) Bond, E.W.: Transportation infrastructure investments and trade liberalization, *The Japanese Economic Review*, 57, 483-500, 2006.
- 5) Behrens, K., Lamorgese, A.R., Ottaviano, G.I.P., Tabuchi, T.: Changes in transport and non-transport costs: local vs global impacts in a spatial network, *Regional Science and Urban Economics* 37, 625-648, 2007.
- 6) Vega-Redondo, F.: Complex Social Networks, Cambridge University Press, 2007.