

# ネットワーク外部性市場における不完全情報下での新製品導入に関する意思決定: マルチエージェントシミュレーションと被験者実験

## Decision-making on New Product Introduction under Imperfect Information in Market with Network Externality: Multi-agent Simulation and Experiments with Human Subjects

金子 陽平\*<sup>1</sup>  
Yohei Kaneko

西野 成昭\*<sup>1</sup>  
Nariaki Nishino

小田 宗兵衛\*<sup>2</sup>  
Sohei H. Oda

上田 完次\*<sup>1</sup>  
Kanji Ueda

\*<sup>1</sup> 東京大学 人工物工学研究センター  
Research into Artifacts, Center for Engineering, The University of Tokyo

\*<sup>2</sup> 京都産業大学 経済学部  
Faculty of Economics, Kyoto Sangyo University

This study examines behavior of economic agents under conditions of imperfect information in a market where network externalities are present. Product markets with network externalities have been expanding through development of information technology. We construct a market model in which network externalities are present, where a producer and two consumers exist. We analyze their economic behavior by game theory, multi-agent simulation, and experiments with human subjects. Simulation shows that agents' behavior converges to Nash equilibrium, but outputs in experiments with human subjects deviate from equilibrium. Especially, we find that imperfect information might bring the behavior of purchasing new products. Therefore, this study implies that diffusion of new products can arise by imperfectness of information.

### 1. はじめに

近年、技術革新と規制緩和の結果、情報通信を代表としたネットワーク外部性を伴う市場は国の経済成長に重要な影響を及ぼすようになってきている。ネットワーク外部性とは、「ある財から得られる個人の効用が同じ財を消費する人数増加とともに上昇するような外部性」である [依田 03]。

ネットワーク外部性が働く市場を考えた場合、いくつかの問題が指摘されている。最も重要なものとして、「過剰慣性」と「過剰転移」が挙げられる [Katz 92]。過剰慣性とは、既に普及している旧製品が過剰に普及し続ける現象を指しており、過剰転移とはその逆を意味している。過剰慣性や過剰転移により市場が独占的になると、企業間での競争が弱まり、企業の私的インセンティブが優先され消費者の余剰を搾取し、社会厚生が非効率になってしまう可能性が高くなる。

例えば、Farrell et al. [Farrell 86] は新技術導入に関する製品普及の均衡分析を行い、社会厚生が非効率になることがあると論じているが、モデル内の行動主体として企業が含まれておらず、新技術導入の時期や価格が外生的に与えられている点が問題として指摘できる。また、Katz et al. [Katz 92] は生産者をモデル内に導入し、均衡状態や社会厚生を分析しているが、行動主体がネットワークのサイズや新技術導入時期に関して、完全な情報を前提にしている点が問題と考えることができる。これらの理論研究では非現実的な仮定や完全情報が前提とされているが、実世界での生産者や消費者は、他の行動主体や市場全体について不完全な情報しか得られず、常に合理的に行動することは難しい。ネットワーク外部性が働く市場では、消費者にとって他の消費者がいずれの製品を購入するかという情報は意思決定に影響を強く与える。従って、不完全情報の導入し、実際の人間の意思決定を含めた分析が重要となる。

本研究では、マルチエージェントシミュレーションと実験経済学に基づく被験者実験を用いて、ネットワーク外部性を伴う市場において行動主体が持つ情報が不完全な状況下での消費者の購買と生産者の新製品導入の意思決定について分析を行う。

### 2. モデル

#### 2.1 ネットワーク外部性市場

図 1 に示すような、ネットワーク外部性を伴う製品市場を仮定する。市場では、独占的な生産者、同じ嗜好を持つ 2 人の消費者が存在しており、これらの行動主体は消費者 1、生産者、消費者 2 の順番に意思決定を行う。単純化のために、製品の価格とコストは期間を通して一定とし、非互換的であるとした。

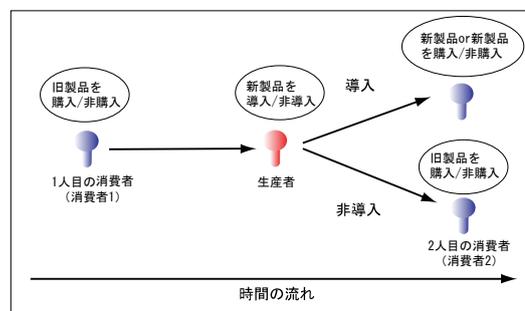


図 1: モデルの概要

#### 2.2 生産者

生産者はネットワーク外部性が働く新製品の導入／非導入を決める。生産者は次のようにモデル化している。

- 消費者 1 には旧製品のみを販売できる。
- 消費者 1 の意思決定後、新製品導入の有無を決める。
- 新製品導入の意思決定を行う際に、消費者 2 がどのような行動をとるかを知ることはできない。
- 消費者 2 には旧製品と新製品を販売できる。
- 生産者の目的は利得関数  $\Pi$  を最大化することであり、それは次のように計算される。

$$\Pi = (P_0 - C_0) \{ z_{0,0} + \sum_{t=1}^2 (z_{0,t} - z_{0,t-1}) e^{-rt} \} + (P_1 - C_1) \sum_{t=T^*}^2 (z_{1,t} - z_{1,t-1}) e^{-rt}$$

$P_{0(t)}$ : 旧(新)製品価格,  $C_{0(t)}$ : 旧(新)製品の限界費用

$z_{0(t),t}$ : 時刻  $t$  における旧(新)製品の購入者数

$e^{-rt}$ : 割引因子,  $T^*$ : 新製品導入時刻

連絡先: 西野成昭, 東京大学人工物工学研究センター, 〒277-8568 柏市柏の葉 5-1-5, Tel: 04-7136-4271, Fax: 04-7136-4242, e-mail: nishino@race.u-tokyo.ac.jp

### 2.3 消費者

市場には 2 人の消費者が存在しており、消費者 1 は旧製品の購買の有無を、消費者 2 は旧製品と新製品いずれかの購買の有無を決定する。ネットワーク外部性の効果により、他の消費者と同じものを購入した場合には、効用が高くなるようにモデル化している。具体的には次の通りである。

- 消費者 1 は意思決定の際に、他の行動主体がどのように行動するかを知ることができない。
- 消費者 2 は生産者の行動結果を知ることができるが、消費者 1 の行動結果を知ることができない。生産者が新製品を導入しなければ、それを選択することができない。
- 消費者  $i$  の目的はそれぞれの効用  $U_i$  を最大化することであり、それは以下のように計算される。

$$U_i = \sum_{j=0}^2 u(t)e^{-rt} - P_j e^{-rt} \quad (j = 0, 1)$$

ただし、旧製品の場合  $u(t) = A_0 + B_0 z_{0,t}$  で、新製品の場合は、 $u(t) = A_n + B_n z_{n,t}$  とする。  $A_0, B_0, A_n, B_n$  は定数とする。

### 2.4 均衡解

表 1 に示すパラメータを用いて均衡解を求める。ゲーム構造を図示すると図 2 のようになる。また、このゲームにおけるナッシュ均衡を、図中の太線の矢印で示す。この設定下では、幾つかの支配戦略が存在し、被支配される戦略を省くと、(旧製品, 非導入, 旧製品) という戦略が残りに、ナッシュ均衡となる。

表 1: パラメータ設定

$A_0$	$B_0$	$A_n$	$B_n$	$e^{-r}$	$P_0$	$P_1$	$C_0$	$C_1$
12	5	30	15	0.8	18	27	10	24

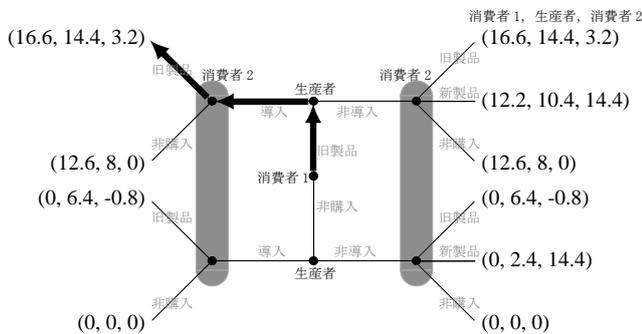


図 2: ゲームツリー

### 3. マルチエージェントシミュレーション

各行動主体がそれぞれ強化学習を行うエージェントとし、マルチエージェント環境でシミュレーションを行った。

#### 3.1 エージェントの行動ルール

消費者 1, 2 と生産者は以下の式で表される Q 学習によって行動を学習する。入力、先に意思決定したプレイヤーの行動結果を状態変数とし、消費者ならばどちらの製品を購入するかを出力し、生産者ならば新製品を導入するかしないかを決定する。Q 値は以下の式によって更新される。

$$Q(s, a) \leftarrow Q(s, a) + \alpha [r - \gamma \max_{a'} Q(s', a') - Q(s, a)]$$

ここで、 $\alpha$  は学習率で、 $\gamma$  が割引率、 $r$  は報酬(ゲームでの利得)である。 $\alpha = 0.1$  とし、本シミュレーション設定では、遷移先の状態を考える必要がないため  $\max Q(s', a')$  の項は 0 となる。また、 $s$  が状態変数であり、 $a$  は選択した行動である。

### 3.2 シミュレーション結果

図 3 に結果を示す。図は各エージェントの利得の推移を表している。結果から、消費者 1 と生産者が利得が高くなるような安定的な状態に収束している。100 試行のうち 93 回が(旧製品, 非導入, 旧製品)というナッシュ均衡と一致する行動であった。

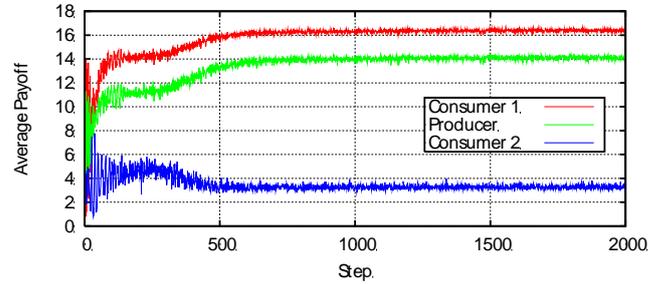


図 3: 各エージェントの利得の推移(100 回平均)

### 4. 被験者実験

京都産業大学の学生 27 名(3 名×9 グループ)を被験者として実験を行った。実験では、各グループの各被験者が消費者 1・生産者・消費者 2 の順番(この流れを 1 ターンとする)で意思決定を行い、ターン毎に役割は固定したままでグループの組み合わせをランダムに変えて、10 ターン繰り返して行った。なお、パラメータの設定については表 1 と同様である。また、実験経済学の手法に基づき、被験者には 1 点あたり 5 円の報酬を支払った。

被験者実験の結果を表 2 に示す。どちらの製品を購入しているかという状態別の割合を示している。表より、ナッシュ均衡でもありシミュレーション結果でもある、(旧, 旧) という状態は減少し、(旧, 新) という状態が比較的多く観察された。情報不完全さが、実際の意思決定に影響し、結果として新製品の購入を促す可能性を示唆している。

表 2: 実験結果(製品購入状態の割合)

普及状態	シミュレーション(%)	被験者実験(%)
(旧, 旧)	93.0	53.3
(旧, 新)	5.0	38.9
(旧, 非)	2.0	6.7
(非, 旧)	0	0
(非, 新)	0	1.1
(非, 非)	0	0

(注: 旧は旧製品, 新は新製品, 非は非購入を表す)

### 5. おわりに

本研究は、ネットワーク外部性が働く市場をモデル化し、マルチエージェントシミュレーションと被験者実験によって、行動主体の意思決定の分析を行った。特に、先の消費者の意思決定が見えないという不完全情報下では、ナッシュ均衡と異なり、新製品の購入を促す可能性があることを示した。

### 参考文献

[依田 03] 依田高典: ネットワークエコノミクス, 日本評論社, 2003.  
 [Katz 92] Katz, M. L. and Shapiro, C.: "Product Introduction with Network Externalities", The Journal of Industrial Economics, Vol.40, No.1, pp.55-83, 1992.  
 [Farrell 86] Farrell, J. and Saloner, G.: "Installed Base and Compatibility: Innovation, Product Preannouncements, and Predation", The American Economic Review, Vol.76, No.5, pp.940-955, 1986.