

MAS を用いたネットワーク外部性の働く製品市場のモデル化と分析

早稲田大学理工学部経営システム工学科

氏名 大浦晃一

指導教員 逆瀬川浩孝

1. 研究背景と目的

本研究の対象とするテレビゲーム機市場では現在 Wii, PS3, Xbox360 の三つのゲーム機が競合している。テレビゲーム機は製品ごとに使用できるソフトが異なり、多く売れている製品ほどソフトの種類も豊富であるため、テレビゲーム機市場ではネットワーク外部性が働くと考えられる。ネットワーク外部性とは経済学における用語で、同種の製品を持つ消費者が多ければ多いほどその製品の価値が大きくなるという性質のことである。

ネットワーク外部性が働く製品の市場では、多く売れている製品がさらに売れるというポジティブフィードバックが働く。そのためネットワーク外部性を有する製品市場では、一つの製品や規格が市場のシェアを独占してしまうことがある。その代表的な例として VTR の規格競争が挙げられる。独占には至っていないが一つの製品が圧倒的なシェアを誇っている例として、パソコンの OS、テレビゲームが挙げられる。

図 1 はテレビゲーム機市場における Wii, PS3, Xbox360 の累計販売台数を示したグラフである。

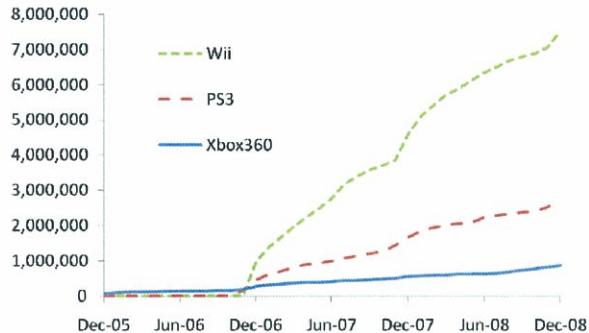


図 1. テレビゲーム機累計販売台数

ネットワーク外部性は消費者間の相互作用によって生じることから、消費者間のつながりを明示的にモデルに導入し、その関係に基づいてネットワーク外部性の働く市場における製品普及過程を分析することは重要な研究課題の一つであるといえる。

そこで、本研究では、既存の社会ネットワークで提案されているネットワーク構造を消費者の関係性のモデルとして用い、その構造の違いによる製品普及について分析する。また、トップシェアでない製品の価格が下がることによって市場にどのような影響があるのかについても分析する。

2. 従来研究

ネットワーク外部性は消費者の相互作用から生じることから、消費者をエージェントとしたマルチエージェントシミュレーションを用いた分析が有効であると考える。

そこで井庭ら[1]、岡本[2]は Regular モデルを用いて消費者の相互作用をモデル化している。相互作用がある消費者集団内での製品普及率と社会全体での普及率、そして製品の属性から得られる効用を線形和の効用関数として表し、購買行動するようにモデル化している。簡単な形で表すことによって分析が容易になるという点に特徴がある。

川村ら[1]は、既存の社会ネットワーク研究で提案されている Regular モデル、Small World モデル、Scale Free モデル、Random モデルを用いて普及の仕方の違いを比較考察している。しかし、消費者の購買行動の中核をなす効用関数では、社会全体での製品普及率を考慮していない。実際、CM や雑誌で得られる情報があるため、この仮定は問題であると考えられる。

3. モデル

本研究では、既存のネットワークモデルである Regular モデル、Small World モデル、Scale Free モデルを消費者の関係のモデルとして用いる。そこで、本研究ではこの二つのモデルを消費者関係として用いた、テレビゲーム市場における消費者購買行動のエージェントベースモデルを構築する。

3.1. 消費者エージェントのモデル化

現実社会の消費者を消費者エージェントとみなしてモデル化する。時点 t (離散)において製品 $j (= 1, 2, 3)$ に対する消費者エージェント $i (= 1, 2, \dots, 2500)$ の効用を $U_{ij}(t)$ と記す。

$U_{ij}(t)$ は製品そのものの効用 $P_{ij}(t)$ とネットワーク外部性から得られる効用である局所的普及率 $H_{ij}(t)$ 、大域的普及率 $G_j(t)$ の線形和で表されるものとし、(1)式でモデル化した。また、消費者はテレビゲームを買わないときは、他の娯楽に効用を感じると考え、時点 t における消費者エージェント i の非購買効用 $\bar{U}_i(t)$ は、他の娯楽から得られる効用 $D_i(t)$ で表わされるものとしてモデル化した。 $P_{ij}(t), D_i(t)$ は消費者によって多様であると考え [0, 1] の一様分布に従って毎時点ごとに変化する。こうすることにより、4つの効用のバランスの違いを比較できる。

$$U_{ij}(t) = h \times H_{ij}(t) + g \times G_{ij}(t) + p_j \times P_{ij}(t) \quad (1)$$

$$\bar{U}_i(t) = d \times D_i(t) \quad (2)$$

但し発売前の製品については $H_{ij}(t) = G_j(t) = 0$ と仮定する。

h, g, p_j, d はパラメータであり p_j は製品によって異なる。

消費者エージェントは効用をもとに、(3)式の多項ロジットモデルに従って、どの製品を購買するかを決める。

$$\Pr_{ij}(t) = \frac{\exp(U_{ij}(t))}{\sum_{k=1}^3 \exp(U_{ik}(t)) + \exp(\bar{U}_i(t))} \quad (3)$$

多項ロジットモデルはマーケティング・サイエンスにおいて現実の購買選択と適合度が高いことが知られている。

なお、発売前の製品を選択したエージェントはその時点から製品発売時まで行動をおこさず、発売時に購買する。そして発売されている製品を購買したエージェントはそれ以降行動しない。

3.2. 消費者エージェント関係のモデル化

ネットワークのノードを消費者、枝を消費者同士のつながりとする。影響を及ぼしあう消費者を枝で結び、消費者間のつながりをネットワークでモデル化する。

Regular モデルとは、社会的または心的な距離に基づいて近隣とリンクを持つように定義されたネットワークである。Small World モデルとは、消費者関係の大部分は心的距離の近い人とグループを形成するが、小さい割合で他のグループと繋がるリンクを持った消費者が存在することを想定したモデルである。RG の各リンクを置換確率 0.01 で他のノードとつなぎ変える事で生成される。Scale Free モデルは消費者のつながりを示す枝の数の分布がべき乗分布に従うものであり、非常に多くの消費者と関係を持つ「ハブ」と呼ばれる消費者がごく少数存在することを特徴とするネットワークである。

本研究ではテレビゲーム市場として 50×50 の格子状人工市場を想定する。各セルに消費者エージェントを配置し、ネットワークを張る。実証実験はできないので、人工市場で得られた結果から現実の製品普及の様子を推定する。シミュレーション実験を行うため、(株)構造計画研究所のマルチエージェントシミュレータ artisoc を使用する。

4. シミュレーション

4.1. シミュレーションの設定

まずネットワークの違いによる普及の仕方の違いについて分析するための実験を行う。1ヶ月 1 ステップを想定し、計 50 ステップ、約 4 年間シミュレーションを行う。Xbox360 の発売時点から開始し、1 年後に PS3 と Wii が発売されるとした。Wii, PS3 の発売時に Wii がトップシェアとなり、PS3 が 2 番目になるよう、発売まで、Wii の製品そのものから得られる効用のパラメータ p を 3、PS3 の p を 2 というように設定した。

購入予定者として累積したエージェントの全てが、実際に購買するとは考えられないため、しかしどれくらいの割合で購買するかはわからないので、今回は半分のエージェントが購買すると仮定する。

価格を下げた場合、消費者の製品そのものに対する効用は大きくなると考え、この影響の分析については p_j を大きくすることで実験を行う。価格を下げた後の影響を分析したいので、この実験では 100 ステップとする。

4.2. シミュレーション結果と考察

(1) ネットワーク構造による普及の違いの分析

ネットワーク外部性から得られる効用のパラメータである h, g を共に 15 以上にすると 50 ステップ以内に市場全体に普及してしまう。しかし現在でも実際の市場では製品が売れ続けているため、50 ステップ目に全体に行き渡っていない状況を想定したパラメータを設定して実験を行

う。また、テレビゲームは互換性が重要なので、局所での普及率を重視する状況を想定し $h=10, g=5, p=1$ とした。図 2 はそのときの各製品についてネットワーク構造による普及率の違いを比較したグラフである。なおシミュレーション結果は 100 回の平均を取ったものである。

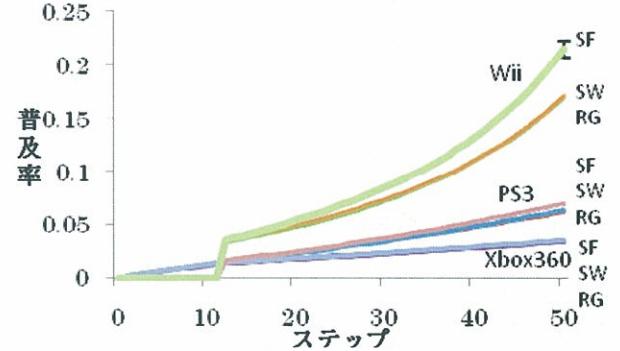


図 2. 各製品の普及率推移

PS3, Xbox360 のグラフはほぼ重なってしまっており、普及率は 3 つのネットワークでほとんど違いが見られないが、Wii の普及率は Scale Free モデルが Regular モデルと Small World モデルより大きくなっていることがわかる。ネットワーク外部性が働くない時のグラフと見比べると、後半のステップで普及率の傾きが大きくなっていく傾向があることがわかる。

本研究のモデルではネットワーク外部性が働くとき、普及率が大きくなっていくにつれ普及率の傾きも大きくなっていくといえる。 h と g の感度分析を行った結果、Scale Free モデルで普及が早まるという同様の結果が得られた。

ネットワーク構造の違いの観点から考察すると、Regular モデルや Small World モデルは高クラスタ構造であるため、ある消費者エージェントの購買の影響がそのエージェントの属するクラスタ内で大きくなりやすく、同クラスタに属する周囲の消費者エージェントにネットワーク外部性の効果が広がっていく。

しかし、さらに製品の普及が進むためには、ショートカットリンクの消費者エージェントがネットワーク外部性の効果を伝達していく必要がある。しかし高クラスタ構造の相互作用ネットワークでは、ショートカットリンクを担うエージェントの存在が少ないため、もしそのエージェントが製品を購買しなければ、その効果はそこで遮断されてしまう。すなわち、高クラスタ構造の相互作用ネットワークでは、クラスタ内でのネットワーク外部性の波及効果は大きいが、他のクラスタへの波及効果が小さいが、確実に浸透するため全体的に普及率が低いと考えられる。

一方、Scale Free モデルは高クラスタ構造ではないので、局所的なネットワーク外部性の効果は小さいが、短い平均パス距離で社会全体にネットワークが広がっているため、製品が広く普及しているものと考えられる。SF 市場では普及が早まる理由として、「ハブ」となるエージェントの存在が挙げられる。ハブが何かしらの製品を購買すると次のステップではハブに繋がっている多くのエージェントが購買しやすくなると考えられ、普及が早まったと言える。

(2) 製品価格を下げる場合の影響の分析

図3はSmall World モデルにおいて、3製品のうちシェアが2番目の製品(PS3)が発売1年後に価格を下げる場合と発売2年後、3年後に価格を下げる場合の100ステップ後の普及率を示している。図の横軸は p_j の h,g に対する相対ウェイトで表示してある。すなわち、 p_j の相対ウェイトを $p_j/(h+g+p_j)$ で表す。これは p_j がネットワーク外部性の効果に対して相対的にどれくらいであるかを知るためである。

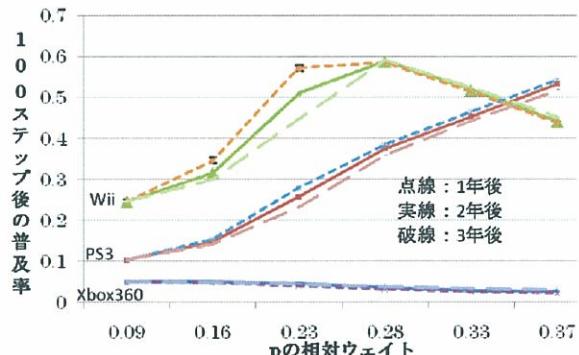


図3. 100ステップ後の各製品の普及率

その結果、発売1年後に価格を下げるか、2年後、3年後に下げるかで100ステップ後の普及率に大きな差がないことから、発売初期段階での消費者の購買状況が大きく影響するということが考えられる。また、Wiiの普及率も上がっているのは、PS3の価格が下がることで消費者はPS3に対する効用が高まるがWiiが最も普及しており、どちらを買うかという選択になり市場での販売競争が激化したと捉えることができる。

この結果を受けて、PS3の発売時に価格を下げる場合でも実験を行ってみた。図4はその結果である。

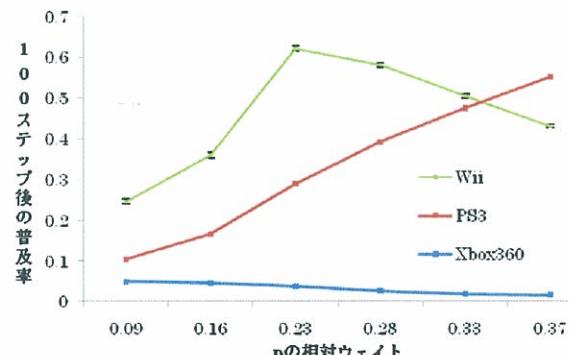


図4. PS3発売時点で値下げした場合

発売時に価格を下げる場合、発売1年後以降に行うよりはPS3の販売台数を大きくする効果はあるが、同様にWiiの販売台数も大きくなる。このことから、初期購入者数でその後の製品普及率の順位は決定してしまうと考えられる。PS3がWiiに勝つには、発売前に製品そのものから得られる効用をWiiより大きく設定するしかない。すなわち、発売前により優れた広告活動をすべきであると考えられる。

この実験から、価格を下げることで販売台数を増やすことに効果はあるという可能性が示された。しかし、市場で

一番になり大きなネットワーク外部性を得てさらに販売台数を増やす、または確固たるシェアを得るために、発売前の宣伝や、発売後に無理をしてでも大幅に製品価格を下げて販売することがネットワーク外部性の働く市場において企業が取るべき有効な戦略であると考える。

5. 結論と今後の課題

第一に、ネットワークが異なることで普及の早さに違いが出ることがわかった。Scale Free モデルは高クラスタ構造ではないので平均パス距離が短く、全体としてのネットワーク外部性の効果が保たれ製品が広く普及しているものと考えられる。

第二に、製品価格を下げる場合、販売台数が増えるという点では効果があるが、トップシェアの製品の販売台数も増えるため、逆転するということは困難である。また、発売後の価格を下げる時期によって普及率に大きな差が出ないということがわかった。このことからネットワーク外部性の働く製品市場では、初期の普及率の差が後の普及率に大きく影響するということが出来る。

いかに製品発売時にトップシェアを得るかが企業にとって非常に重要になるので、発売前の広告活動をどのようにおこなうか、他社の製品より優れた製品の性能、価格設定を行うかということに力を入れるべきであると考える。

課題として、妥当性を検証するための製品情報や、販売台数データ、アンケートデータの確保も今後のシミュレーションを用いた研究を行う際の課題として挙げられる。

謝辞

本研究を行うにあたって、逆瀬川浩孝先生に多岐にわたりご指導いただきました。ここに感謝の意を記します。

また(株)構造計画研究所よりマルチエージェントシミュレータartisocを貸与していただき、本研究のシミュレーション実験を行いました。ここに感謝の意を記します。

参考文献

- [1] 井庭崇, 竹中平蔵, 武藤佳恭, “人工市場アプローチによる家庭用VTRの規格競争シミュレーション,” 情報処理学会論文誌, Vol. 42, No. SIG14, 2001
- [2] 岡本隆, “情報ネットワーク型製品の普及特性および普及策 -個人の心的近接要因を導入したネットワーク外部性モデルを用いて,” 日本社会情報学会学会誌, 15(1), pp. 21-34, 2003
- [3] 川村秀憲, 大内東, “ネットワーク外部性の働く製品市場のモデル化とプレゼント戦略の評価,” 日本オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌, 48巻, pp. 48-65, 2005
- [4] 増田浩通, 上村亮介, 新井健, “社会的ネットワークを考慮した消費者行動のエージェントベースモデル - デジタルミュージックプレーヤー市場への適用 - ,” 経営情報学会誌, Vol. 17, No. 1, pp. 1-23, 2008
- [5] 増田直樹, 今野紀雄, “複雑ネットワークの科学,” 産業図書株式会社, 2005
- [6] 山影進, “人口社会構築指南 artisocによるマルチエージェントシミュレーション入門,” 有限会社書籍工房早山, 2007