

# 社会構造とイノベーションの創発に関する 探索的マルチエージェントモデリング

Exploratory multi-agent modeling studies examining influence of social structures on development of innovative ideas

松香敏彦\*1 本田秀仁\*2 鷲田祐一\*3 植田一博\*4  
Toshihiko Matsuka Hidehito Honda Yuuichi Washida Kazuhiro Ueda

\*1千葉大学 Chiba University \*2国立情報学研究所 National Institute of Informatics  
\*3一橋大学 Hitotsubashi University \*4東京大学 The University of Tokyo

## 1. はじめに

90年代以降のハイテク分野における代表的なイノベーション事例として携帯電話やワゴン型乗用車などがある。これらの商品に共通する特徴として、同一カテゴリの商品の価値が、普及の途中で消費者自身から生まれた自発的な新しいアイデアに牽引されて大きく転換したことがあげられる。携帯電話の場合は、通話主体からメールや着メロ利用主体への転換を、ワゴン型乗用車の場合は、ニッチ需要向け特殊車両からセダンを上回る主流車種へと転換した。このように、イノベーションとは必ずしも供給者の技術の開発・発展によるものではなく、消費者の価値転換現象によって創発されるイノベーションの数多く実在する。本研究では、このような価値転換現象によるイノベーション生成についてマルチエージェントモデルを用いて探索的に分析をおこなう。

### 1.1 イノベーションの普及構造

イノベーション普及学で最も代表的な学説として、Rogersの研究があげられる [Rogers, 62]。Rogersは、様々な財や技術のイノベーションの普及過程を社会学的視点から仔細に研究し、共通パターンを導き出すことで、消費者・ユーザーを新技術採用速度別に、イノベーター（普及第1層）、アーリーアダプター（普及第2層）、アーリーマジョリティ（普及第3層）、レイトマジョリティ（普及第4層）、ラガード（普及第5層）という5つの層に分化するモデルを構築した。第1層がイノベーターと呼ばれることもあり、第1層が技術普及によるイノベーションを牽引する役割を持つ層であるとの解釈が定着している一方、普及第2層であるアーリーアダプターは第1層から情報を受け継ぎその後の層にその技術が普及するかどうかを見極める重要な役割を担っていると考えられている [Rogers, 1986]。また、アーリーアダプターは技術を自身のニーズに適合させることによって、技術の社会的な意味を変化させ、イノベーションがより幅広い層に理解しやすいように再翻訳するという役割も持っているとされている [Rogers, 86]。また、Moore [Moore, 92]によると、特にハイテク情報技術の分野においては、普及第2層と第3層の間には、「キャズム（溝）」があり、新しい技術を理解する能力や、それを採用する考え方・行動などに大きな差が認められるという。それゆえ、新しい技術に明白な利点がある場合でも、それが市場に必ず行き渡るとはかぎらないという現象が起こりうる。

鷲田ら [Washida 08a,08b] がおこなった情報伝播に関する

連絡先: 松香敏彦, 千葉大学文学部, 263-8522 千葉県千葉市  
稲毛区弥生町 1.33, 043.290.3578 (Voice), 043.290.2278  
(Fax), matsuka@cogsci.L.chiba-u.ac.jp

実験では、従来の普及学やマーケティング学で考えられていた「供給側からの新技術や新商品の情報を直接的に受ける第1層（イノベーター層）が最もイノベータティブだ」は支持されず、実際には第2層（アーリーアダプター）が中心になって「新アイデア」が数多く発生することが示された。さらに、鷲田らの研究はアーリーアダプターは単に新技術を再解釈してマジョリティ層に伝播するだけでなく、技術開発の方向性そのものに影響を与える新アイデアがアーリーアダプターを中心とした情報伝播ネットワーク内で発生している可能性を示唆している。

以上の知見をふまえ、本研究では普及第1層から第3層をモデルに組み込み計算機シミュレーションによって検証をおこなった。

## 2. モデル

### 2.1 知識・価値・価値転換

本研究では、複数の特徴・技術・要素をもつ商品と、その価値を線形モデルとして実装した。具体的には  $J$  次元の特徴をもつ、ある商品  $x_i$  とその価値  $y_i$  を関係を以下のものとした:

$$y_i^{(k)} = \sum_{j=1}^J b_j^{(k)} x_{ij} \quad (1)$$

ここで、 $k$  はある個人を表し、 $b_j$  は特徴  $j$  の価値への重みであり、これらを消費者の「知識」と捉え、他者とのインターアクションなどを介して学習され伝搬されるものと仮定した。

本研究において価値転換は学習された「特徴-価値」の関係新たな事例に応用することと仮定し、価値転換の汎化力を価値転換の成功の指標とした。

### 2.2 社会構造

本研究では、社会におけるイノベーションの創発について、2つの社会構造をそれぞれ独自のシミュレーションによって分析する。一方の社会は small-world network (SW) 構造 [Watts 98] をもつ社会 (シミュレーション1) で、もう一方の社会は scale-free network (SF) 構造 [Barabasi 99] をもつ社会である (シミュレーション2)。シミュレーション1では、各普及層が個別の small-world network を形成し、普及層間のネットワークは限定的であるとした (異層間が繋がっている確率を 0.05 とした)。本研究では繋がりのあるもの同士のみが情報を共有・相互参照できるものとした。各普及層内で学習目的は同一とし、知識に対する「何が有用であるか」といった信念は各層内では共有されてはいると仮定した。シミュレーション2では、SWでは再現不可能である情報供給の中心となる多くの他者と

繋がりのあるハブの役割について探索的な分析をおこなった。SFでは普及層差の再現は試みず、エージェントの信念としてランダムな値をもたせ、エージェントの次数（繋がり数）の影響を検証した。

### 2.3 知識の共有

社会における学習アルゴリズムは Evolutionary Strategy (ES) を用いた。ESでは、まず、ある個人は繋がりのある他者と交流し、意見を交換し、商品の各特徴に対する新たな知識を構築する。この構築は必ずしも正確に行なわれるものではなく、誤差を含むことがあると仮定した (ESにおける突然変異)。構築された知識は、繋がりのあるもの同士で評価され、有用と認識された知識は保持され、そうでないものは忘れられると仮定した。

### 2.4 知識の有用性

本研究では、知識には2つの重要な要素があり、それらの相対的な重みによって普及層の差を再現した。重要な2つな要素とは、正確性を複雑性である。本研究では知識の正確性（不正確性） $E$  を以下の式と定義した。

$$E(\mathbf{b}^{(k)}) = \sum_{i=1}^I \left( y_i^{(k)} - \sum_{j=1}^J b_j^{(k)} x_{ij} \right)^2 \quad (2)$$

つまり、既存の商品  $x$  の特徴をもとにした、その商品の価値の予測値と（世間一般に認識されている）実測値の差の二乗和が知識の正確性である。次に、知識の複雑性（簡素性） $C$  を以下の式と定義した。

$$C(\mathbf{b}^{(k)}) = \sum_j \left( b_j^{(k)} \right)^2 \quad (3)$$

複雑性とは、多くの特徴に価値を見いだしている場合に高い数値をとる。

各エージェントは正確性と複雑性を含んだ次の式をもとに、各々がもつ知識を評価する。

$$F(b^{(k)}) = v_E \frac{E(\mathbf{b}^{(k)}) - \min_E}{\max_E - \min_E} + v_C \frac{C(\mathbf{b}^{(k)}) - \min_C}{\max_C - \min_C} \quad (4)$$

ここで、 $v_E$  は正確性に対する重みで、 $v_C$  は複雑性に対する重みで、これらは各普及層内で共有される。この複雑性と正確性のバランスによって、既存の商品の価値の評価には関係のあるように見えるが、実際には価値のない特徴に価値を見いださなくなり、結果的に、本当に重要な特徴のみを理解することになる本研究では、既存の商品の価値評価のみに該当するものではなく、本当に重要な特徴による価値評価を「価値転換現象によるイノベーション生成」とする。

## 3. 計算機シミュレーション

### 3.1 シミュレーション 1

シミュレーション 1 では、普及第 1 層～第 3 層で SW 的に形成された社会で価値転換現象によるイノベーションがどのように発生するか分析した。各社会は 30 名のイノベーター（普及第 1 層）、60 名のアーリアアダプター（普及第 2 層）、および 210 名のアーリマジョリティー（普及第 3 層）で構成されており、各層は SW 的な構造をもつサブ社会を形成していた。イノ

ベーターは技術に対する知識が豊富であり、また各特徴の有用性に敏感であることから、複雑性に対し信念より正確性に対する信念がより高いと仮定した (0.05 vs. 0.95)。逆に、アーリマジョリティーは技術に対する知識がすぐ正確性を的確に評価できないと仮定し、複雑性に対し信念が正確性に対する信念より高いとした (0.95 vs. 0.05)。アーリアアダプターは技術に対する知識は必ずしも多くはないことから、複雑性に対し信念が正確性に対する信念より若干高いと仮定した (0.75 vs. 0.25)。

100 回繰り返したシミュレーションの結果、約 20 % の社会においてアーリアアダプターが価値転換現象によるイノベーション生成したことが示された。また、別の 2 つの社会においてアーリマジョリティーもイノベーションを生成することがあったが、イノベーターが価値転換現象によるイノベーションを生成することはなかった（学習データの質を向上することによってイノベーターもイノベーションを生成することは可能だが、データの質を向上すると定性的には価値転換現象といった解釈はできなくなる）。

### 3.2 シミュレーション 2

シミュレーション 2 では、情報供給の中心となる多くの他者と繋がりのあるハブの役割について検証した。エージェントの次数（繋がり数）の影響を検証するため、各エージェントの信念はランダムに割り当てた。

シミュレーションの結果、ハブとなる人物の信念 ( $v_E$  と  $v_C$  のバランス) によって社会全体が創発する価値転換の汎化力（イノベーションの良さ）に大きく違いが発生することが示唆された。また、興味深い結果として、全ての社会においても価値転換の汎化力が高い知識を生成したのはハブではなく、次数の少ないハブとの繋がりのある個人であった。つまり、ハブを介して社会で生成された知識にアクセスできるが、多くの他者の直接的な影響を受けない個人がもっともイノベータティブな発想が可能であることが示された。

## 参考文献

- [Barabasi 99] Barabasi, A. L. and Albert, R. *Emergence of Scaling in Random Network Science*, Vol. 286, p509-512. (1999).
- [More 91] Moore, G., *Crossing the chasm*. Harper Business Collins, NY. (1991).
- [Rogers 62] Rogers, E. *Diffusion of Innovations*. Free Press, NY. (1962).
- [Rogers 86] Rogers, E. *Communication Technologies: The New Media in Society*. Free Press, NY. (1986).
- [Washida 08a] 鷲田祐一. 普及過程における情報伝播ネットワークの不均一性と価値転換現象の構造分析：需要側が牽引するイノベーションの可能性. 博士論文. 東京大学.
- [Washida 08b] 鷲田祐一・植田一博. イノベーション・アイデアを発生させる需要側ネットワーク伝播構造の研究. 情報処理学会論文誌. 49. 1515 - 1526. (2008).
- [Watts 98] Watts, D. J. and Strogatz, S. H. *Collective Dynamics of "Small-World Network,"* Nature, Vol. 393, p440-442. (1998).