

情報の多様化を考慮した情報伝播の モデル化とシミュレーション

藤田 幸久^{†1} 鷲田 祐一^{†2} 鳥海 不二夫^{†1}
植田 一博^{†3} 石井 健一郎^{†1}

昨今、情報通信技術の発達により、一般生活者が日常的に入手しうる情報の量と種類が飛躍的に増加している。意思決定や価値判断において、情報の有無は重要であり、情報量の増加は個人の行動に影響をもたらしている。多くの既存研究では、保持している情報の量と種類が多ければ、影響力や意思決定力が強くなるものとしている。しかし、その真偽を再考する研究も現れており、情報量の飛躍的増加という未曾有の現象の本質を理解することが望まれる。本論文では、情報の多様化を考慮した情報伝播モデルを提案し、情報の多様化が情報伝播に及ぼす影響をシミュレーションにより分析する。特に、既存研究において強い影響力を持つとされるイノベータに着目した。シミュレーションの結果、情報の多様化によりイノベータの影響力が低下し、イノベータ以外の層がコミュニティ全体に対して影響力を持つことが確認された。また、イノベータの影響力低下は、情報の価値が均一になる「フラット化」によってもたらされることを明らかにした。

Modeling and Simulation of Information Diffusion Considering Information Diversification

YUKIHISA FUJITA,^{†1} YUICHI WASHIDA,^{†2}
FUJIO TORIUMI,^{†1} KAZUHIRO UEDA^{†3}
and KENICHIRO ISHII^{†1}

Recently, with the advance of information technologies, the amount of available information has increased exponentially. It has a great influence on individual acts because information is quite important for decision making and value judgment. It has been shown in many studies that the increase in information brings the enhancement of decision-making ability. However, there are some studies which are questioning this argument. Hence, we need to understand the nature of the unprecedented increase in information. In this paper,

we propose the model of information diffusion considering information diversification, and investigate the impact of information diversification. Especially, we focus on the influence of innovators. The results of computer simulation using this model reveal that the influence of innovators is decreased by information diversification. It is also shown that “flat” information which innovators have leads to the decrease of their influence on other agents.

1. はじめに

1.1 社会的背景

本研究の目的は、情報の量や種類が非常に多くなった環境下での、個人の影響力の変化をシミュレーションにより検討することにある。

昨今、情報通信技術の発達により、一般生活者が日常的に入手しうる情報の量と種類が飛躍的に増加している。総務省の情報流通センサス¹⁾によれば、1996年から2006年の10年で、日本社会での選択可能情報量（全国の主要情報機器で一般生活者向けに発信された情報の量：ビット換算）は530倍、消費情報量（同、実際に受信された情報の量：ビット換算）は63倍に増加している。わずか10年ほどの間に、このような飛躍的な情報の量や種類の増加が発生した時代というのは、人類の歴史を振り返っても例は少なく、その意味で、きわめて特殊な時代を迎えていると考えられる。

国際的にも同様のことが進行しており、Friedmanは世界の情報格差が縮まることで、影響力や意思決定力も均一化したと主張している²⁾。これは、得られる情報の量や種類が増加すれば、それに比例して影響力や意思決定力を強化できるという論である。この論は、1960年代以降、国や組織だけではなく、個人の行動についても一般的に真だと論じられてきた。たとえばRogers³⁾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、ユーザを新技術採用時期別に、5つの層に分化するモデルを構築したが、その際、最初期に商品の採用を行うイノベータは、多くの情報を持ち、他者への影響力が大きいと考察している。また、Merton⁴⁾およびVan den Bulte

^{†1} 名古屋大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Nagoya University

^{†2} 株式会社博報堂イノベーション・ラボ
Innovation Lab, Hakuhodo Inc.

^{†3} 東京大学大学院総合文化研究科
Graduate School of Arts and Sciences, The University of Tokyo

ら⁵⁾は、普及過程におけるイノベータは「influentials」という社会的に影響力が大きい層であると定義している。さらに、Barabási⁶⁾は、WWW(ワールド・ワイド・ウェブ)のネットワークを大規模に調査し、非常に多数のリンクが集中する「情報ハブ」的ウェブサイトがごく少数存在しているという構造を発見したが、同様の構造が人間社会にも存在すると主張した。

しかし、保持・獲得している情報の量と種類が多いほうが、つねに影響力や意思決定力も強いかどうかについては、その真偽の再考を論ずる先行研究も現れてきている。Granovetter⁷⁾は、労働市場における生活者の求職活動を細かく分析し、知人関係の中で、どんな経路から得た情報が実際の求職活動において実効的であったかを検証した。その結果、日常的に強く結ばれている人間関係よりも、やや疎遠で弱く結ばれている人間関係のほうが、より有用な情報源になっていることを発見した。口コミの人間関係において、情報の量や種類が多く得られる「強い紐帯」関係よりも、少なくともしか得られない「弱い紐帯」関係のほうが、重要な意思決定について影響力が大きい場合があるということを示している。また、Dekimpeら⁸⁾は、160カ国での商品普及研究を通じて、社会格差の小さい国や組織ではイノベータの影響力が限定的であると結論した。さらに鷲田ら⁹⁾は、友人間の商品改良アイデアの伝播を研究し、イノベータ層によって想起されたアイデアよりも、その次の層であるアーリーアダプタ層によって想起されたアイデアのほうが、有意に創造性が高いことを検証した。Gladwell¹⁰⁾は、様々な領域で熟達者が熟慮の末に下す判断よりも、むしろ「最初の直感」で下す判断(これをadaptive unconsciousという)のほうが正しい場合が無視できない頻度で存在するという事実から、情報の量や種類の増加が必ずしも人間の意思決定力を強化しないと主張している。Duhanら¹¹⁾も同様の現象の存在を指摘し「wise fool」と呼んでいる。

このような大域的な問題についての検証は、実証調査などでは膨大な費用や時間がかかり、しかも調査対象国の文化性や情報環境の普及状況など、統制困難な問題が多い。ゆえに、基本的な条件を数理モデル化し、計算機を使ってシミュレーションをすることで、情報量の飛躍的増加という未曾有の現象の本質を理解することの意義が大きい。

1.2 数値モデル化の先行研究

情報伝播を数値モデル化した研究として、計算機シミュレーションの領域では、LT(Linear Threshold)モデル^{12),13)}やIC(Independent Cascade)モデル^{13),14)}がある。商品やサービスの普及にともなう情報伝播については、Rogersモデルをもとに、ネットワーク内の情報伝播を「模倣係数(q)」、そして技術の社会に対するインパクトを「革新係数(p)」という、それぞれ1つの係数で扱うBassの普及モデル¹⁵⁾がある。また、「ネットワーク外部性」

効果が影響する財の普及は、初期の一定数のユーザ間に普及するまでは普及の進展に拍車がかからないが、その一定数の初期ユーザ間での普及を果すと、その後は急激に普及が促進されることを、簡単なモデルで説明したRohlf'sの「クリティカルマス」モデル¹⁶⁾や、2つの競合する技術を扱ったArthurの経路依存モデル¹⁷⁾などがある。しかし、これら既存研究のように少ない種類(1~2種類)の情報が伝播していく状況を扱うだけでは、多種多様かつ大量な情報が伝わる昨今の情報環境下で起こる諸現象を、うまく説明しきれない可能性がある。

そこで、本研究では、複数の情報が集団内を伝播する情報伝播モデルを提案する。これにより、情報が多種多様に存在する現代の状況を表現し、1種類の情報を扱った既存の情報伝播モデルが表現しきれない現象の発生について考察する。特に、既存研究において情報伝播に対して影響力を持つといわれているイノベータが、情報の多様化によってどのような挙動をするかに焦点を当てて分析する。

2. 情報の多様化を考慮した情報伝播モデル

計算機シミュレーションのモデル化をするにあたって、出発点となる既存研究では、前述のとおりLTモデルとICモデルが広く用いられている。これらのモデルは、ある情報がネットワーク上で伝播していく現象を表現する数理モデルであり、次の仮定が存在する。

- ノードは“アクティブ”か“非アクティブ”のどちらか一方の状態をとる。
- 情報伝播により“非アクティブ”なノードが“アクティブ”に変化し、逆の変化は生じない。

そして、LTモデルでは、各ノードに情報伝播の閾値を、各リンクに重みを設定し、アクティブなノードとのリンクの重みの和が閾値以上であれば情報が伝播する。一方、ICモデルでは、リンクごとに設定された伝播確率によって確率的に情報が伝播する。これらのモデルでは、伝播の仕組みは異なっているが、単一の情報が伝播するという共通の前提が存在する。

一方、普及学やマーケティングの領域では、最も代表的な研究として、前述のRogers³⁾によるユーザの分類があげられる。Rogersは、商品の採用時期によって、ユーザを5層に分類した。前述のとおり、商品普及やマーケティングにおいては、その中でも最初期に採用を行うイノベータ、およびその次の層であるアーリーアダプタが重要であるとされている。Rogersのモデルも基本的には1種類の商品(情報)の伝播を扱っている。

本研究では、これらの研究では説明できない、情報が多様化した場合における情報伝播に

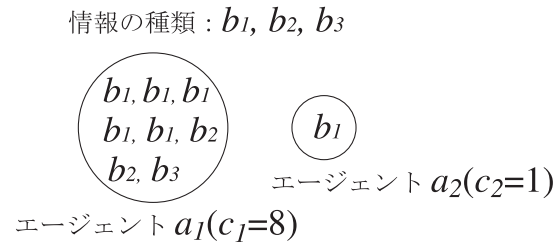


図 1 エージェントが所持する情報
Fig. 1 Information owned by agents.

ついて分析を行うために、人々の間で複数の情報が伝播するモデルを構築する。

本モデルで扱う情報として、人々が複数の商品の中から購入する商品を選択するのに用いる情報（機能、用途など）を想定する。特に、携帯電話キャリア（以下、単にキャリアという）に関する情報と、人々が情報伝播によって獲得した情報からキャリアを選択する状況を想定して、提案モデルの説明を行う。

まず、 N 人からなる集団において、個人をエージェント a_i ($i = 1, 2, \dots, N$), M 種類の情報を b_k ($k = 1, 2, \dots, M$) とする。通常、個々人が持つ情報の量や種類は、情報収集に対する意欲、興味などによって異なると考えられる。また、個人の能力や関心度により、所持する情報の量は限定されると考えられる。そこで、エージェント a_i に対して、所持できる情報の数に上限（保持可能情報数 c_i ）を定める。図 1 にエージェントの例を示す。図 1 では、3 種類の情報 b_1, b_2, b_3 が存在している状況で、エージェント a_1 が 8 つの情報をもち、エージェント a_2 がただ 1 つの情報を持つことを示している。携帯電話のキャリアで考えれば、キャリア b_1, b_2, b_3 が存在している状況で、 a_1 はキャリア b_1 に関する情報を多く持ち、キャリア b_2, b_3 に関して多少知っている程度であることを示す。また、 a_2 はキャリア b_1 に関することだけを多少知っていて、かつそれで十分であると考えていることを示す。

ある商品の情報が伝播する過程を考えた場合、詳しい人からの情報は受け入れられやすいことから、所持する情報が多い人から少ない人へ伝播しやすいと考えられる。そこで、エージェント a_i から a_j への情報伝播確率 p_{ij} を次式によって定義する。

$$p_{ij} = \begin{cases} c_i/c_j & \text{if } c_i < c_j \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

すなわち、保持可能情報数が多いエージェントから少ないエージェントへは確実に情報伝

播が生じ、その逆は確率的に情報伝播が生じる。図 1 の場合、 a_1 から a_2 へは確実に情報が伝播するが、 a_2 から a_1 へは確率 $1/8$ で情報が伝播する。本モデルでは、上記のような情報伝播を 1 ステップに 1 回、伝播元、伝播先のエージェントを無作為に選択して行う。なお、前述の LT モデルや IC モデルに代表される多くの情報伝播モデルでは、ネットワーク上のノード間で情報伝播が生じる。よって、情報が広まるかどうかはネットワークの構造に依存する。本モデルでは、分析を容易にするために、ネットワーク構造を前提としない情報伝播を考える（完全グラフと同等）。

情報伝播によって伝播する情報は、伝播元のエージェントが持つ情報の中から無作為に選択される。これにより、自分が多く持つ情報ほど他人に伝えやすい状況を表現する。また、伝播先のエージェントがすでに保持可能情報数上限まで情報を所持している場合、伝播した情報と異なる種類の古い情報が削除される。携帯電話キャリアで考えた場合、情報伝播によりあるキャリアに関する情報が増え、かつ他のキャリアに関する情報を不要と判断したことに相当する。なお、あるエージェントの持つ情報が 1 種類のみであり、かつ情報伝播により同種の情報がそのエージェントに伝播する場合、情報が伝播しなかったものとして扱う。これは、伝播先の個人がすでに十分な情報を持っているため、伝播してきた情報を不要と判断したことに相当する。

次に、各エージェントが情報伝播に及ぼす影響を分析するために、エージェントの情報伝播に対する影響力を次のように考える。あるエージェント a_j が情報 b_k を所持している場合に、 a_j に情報 b_k が伝播するまでの経路を考える。情報 b_k が伝播した経路の集合を ω_k とする。情報伝播が生じたエージェント間にリンクが存在すると見なし、エージェント a_j へ情報 b_k が伝播したある経路 ($\in \omega_k$) をエージェント、リンクの並びで表現する。このとき、経路上のエージェント a_i, a_j 間に存在するリンクの数を a_i, a_j の距離 d_{ij} とする。そして、情報 b_k に関して、 a_i の a_j に対する影響力 $\rho_k(a_i, a_j)$ を次式で定義する。

$$\rho_k(a_i, a_j) = \sum_{\omega_k} \left(\frac{1}{2}\right)^{d_{ij}-1} \quad (2)$$

ただし、1 つの経路上に同一のエージェントが複数回現れる場合、経路を逆順にたどり、最初に現れた位置のみ加算する。また、 a_j が情報 b_k を持たない場合、あるいは経路上に a_i が存在しない場合は $\rho_k(a_i, a_j) = 0$ とする。図 2 に、ある情報 b_k が a_5 へ伝播したときの、 a_5 に対する各エージェントの影響力を示す。図 2 は、情報 b_k が伝播した経路の 1 つであり、情報 b_k が $a_1 \rightarrow a_2 \rightarrow a_3 \rightarrow a_4 \rightarrow a_5$ という経路で伝播したことを示している。なお、

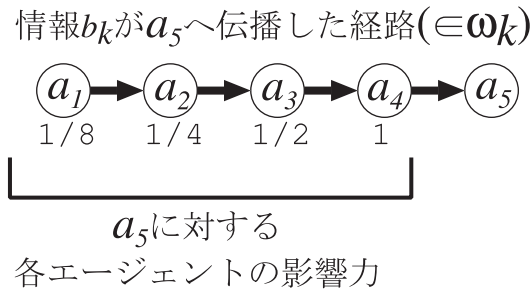


図2 エージェントの持つ影響力
Fig.2 Influence of agents.

図中の矢印はリンクを表す．図2の場合，直近である a_4 の影響力が最も強く，以降は距離が離れるにつれて影響力が低下している．

そして，情報 b_k に関するエージェント a_i の影響力 σ_i を次式で定義する．

$$\sigma_i(b_k) = \sum_{j=1}^N \rho_k(a_i, a_j) \quad (3)$$

すなわち， σ_i は自分で多くのエージェントに情報を伝播させることにより高くなる．また，いったん情報が伝播したエージェントから，他のエージェントに情報が伝播することでも高くなる．これにより，エージェントの情報伝播に対する影響力を評価する．なお，前述のとおり，影響力の算出には情報が伝播した経路が必要となるので，エージェントが保持する情報 b_k が，どのエージェントから伝播してきたかを記録しておく．

3. 提案モデルによる既存研究の再現

3.1 概要

本章では，1種類だけの情報の伝播を扱うRogers³⁾やBass¹⁵⁾の普及モデル，2種類の情報伝播を扱うArthurの経路依存モデル¹⁷⁾という社会学・経済学における代表的な議論が提案モデルによって再現可能なことを示す．また，情報伝播における影響力は，既存の議論どおりイノベータが最も強いことを示す．これにより，式(2)，(3)で定義した影響力指標の妥当性を示す．

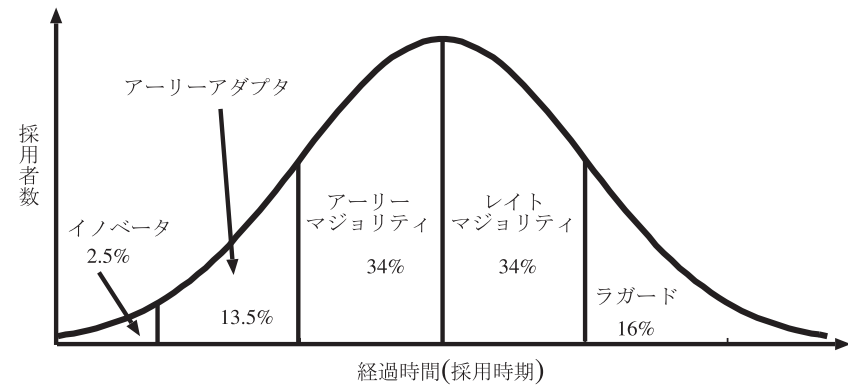


図3 ロジャーズの普及モデルとユーザ層分類 (Rogers, 2003)
Fig.3 Diffusion model and adopter categorization (Rogers, 2003).

3.2 普及曲線 (Rogers・Bass) の再現

3.2.1 再現対象

普及学における基本的な理論であるRogersの普及モデルは，図3に示すように，ある商品が普及する過程で，ユーザを商品の採用時期ごとに分類したものである．なお，図中の横軸は経過時間を，縦軸はその時期に商品を採用した人数を示す．イノベータは最初期に商品の採用を行う人々である．アーリーアダプタはゲイトキーパとも呼ばれ，イノベータからアーリーマジョリティへの橋渡し役となる人々である．アーリーアダプタとアーリーマジョリティの間にはキャズム(溝)があるといわれている¹⁸⁾．マーケティングにおいては，キャズムを越えてアーリーマジョリティへ商品が普及するか否かが流行の鍵であるといわれている．アーリーマジョリティ，レイトマジョリティ，ラガードは，イノベータ，アーリーアダプタから普及してきた商品を受け入れる人々(フォロワ)である．

図3は採用時期による分布であり正規分布となっているが，採用時期を横軸，採用者数の総和を縦軸とした場合，S字曲線が描かれる．この点についてはBassのモデルも同様の仮定を持っている．本シミュレーションでは，提案モデルによって商品普及のS字曲線が再現可能であることを示す．

3.2.2 シミュレーション設定

本シミュレーションではエージェントをイノベータ，アーリーアダプタ，フォロワの3層に分類する(図4)．各層ごとのエージェントの人数と保持可能情報数を表1に示す．なお，

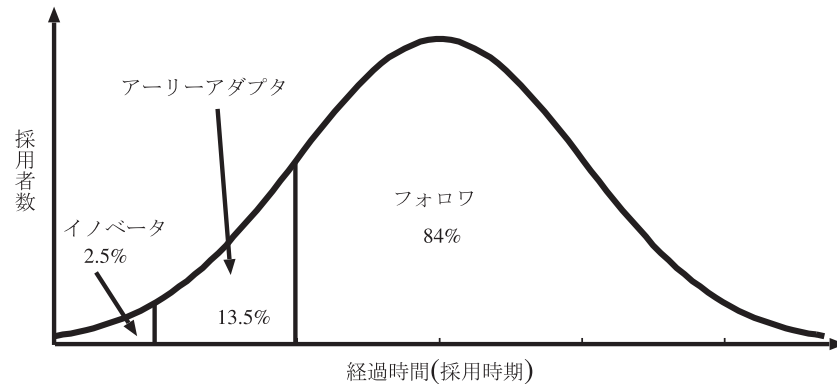


図4 シミュレーションで用いるエージェントの分類
Fig. 4 Agent categorization.

表1 エージェントの設定
Table 1 Configuration of agents.

	人数	保持可能情報数
イノベータ	2	100
アーリーアダプタ	14	10
フォロワ	84	1

情報伝播をするエージェント総数は100としたが、これは、人間のコミュニティがランダムな組合せでコミュニケーションを維持しようとする場合、コミュニティの規模は約150名が上限であるというDunbar¹⁹⁾の主張に従った。現実世界では無論、100より多い構成員を持つコミュニティもあるが、その場合は、情報伝播は無作為な相手と行われるという設定ではなく、何らかのネットワーク構造を想定する必要があるだろう。そこで本シミュレーションでは、モデルは可能な限り単純化すべきであるというKISS (Keep It Simple and Stupid)の原理²⁰⁾に従い、設定の簡略化を優先するためにエージェント数を100とした。

保持可能情報数はイノベータ、アーリーアダプタ、フォロワの順に冪乗で減少する。保持可能情報数の決定にあたっては、次のBarabásiの議論⁶⁾を参照した。

商品の普及や情報の伝播を、個人をノード、普及の経路をリンクとしたネットワークの成長で表現した場合、次数の低い多数のノードが次数の高い少数のノードに接続するスケールフリーネットワークとなる。イノベータやアーリーアダプタは、商品や技術の採用において

初期に関わる人々であり、次数の高い少数のノード(ハブノード)となる。スケールフリーネットワークを構築するための基本的なモデルであるBA (Barabási-Albert)モデル²¹⁾では、後から入ってくるノードは次数の高いノードと接続されやすい(優先的選択)。そのため、初期に存在するノードは、多くのリンクを獲得しやすい。多くのリンクを獲得したノードは、接続されたノードから情報を獲得する機会が増加し、さらに多くの情報を獲得していく。その結果、初期に存在したノードが持つ情報の量はリンク数に比例して増加していく。

以上の議論より、普及のネットワークにおいて、各ノードの持つ情報量はリンク数と同様に冪乗則に従うと考えることができる。すなわち、初期から普及に関わるイノベータは極端に情報量が多く、遅れて普及するフォロワは情報量が少ないといえる。そこで、本シミュレーションにおいても、各エージェントの保持可能情報数を冪乗則に従って表1のように設定した。

本シミュレーションでは、ある商品が普及していく様子を表現するために、1種類の情報が集団内で伝播する状況を考える。イノベータとなるエージェントのみが情報を持ち、他のエージェントは情報を持たない状態でシミュレーションを開始する。情報伝播によりエージェントが情報を持てばそのエージェントが商品を採用したと見なすことで、商品が普及していく様子を表現する。なお、本シミュレーションでは10,000ステップの試行を40回実行した平均をとる。

3.2.3 シミュレーション結果

図5に、提案モデルを用いて商品の普及曲線を表現した結果を示す。図には40試行の平均(太線)および無作為に選択した3試行(細線)をプロットした。図の横軸はシミュレーション中の経過ステップを、縦軸は商品を採用したエージェント数を示す。なお、図には変化が生じていた2,500ステップまでを示す。図5では、シミュレーション開始直後は普及速度が遅く、その後一気に普及し、最後は普及速度が落ちるという普及のS字曲線の特徴が観察できる。

また、本シミュレーションにおける各エージェントの情報伝播に対する影響力を図6に示す。なお、図6には40回すべての試行における全エージェントの影響力をエージェントの種類ごとにプロットしている。図6より、情報伝播に対する影響力はイノベータ、アーリーアダプタ、フォロワの順に低下していくことが分かる。よって、情報伝播に対する影響力は情報の発信源であるイノベータが最も大きく、伝播されるだけのフォロワが最も小さくなるが示された。

以上より、提案モデルにより、Rogers, Bassが主張する商品普及のS字曲線が再現可能

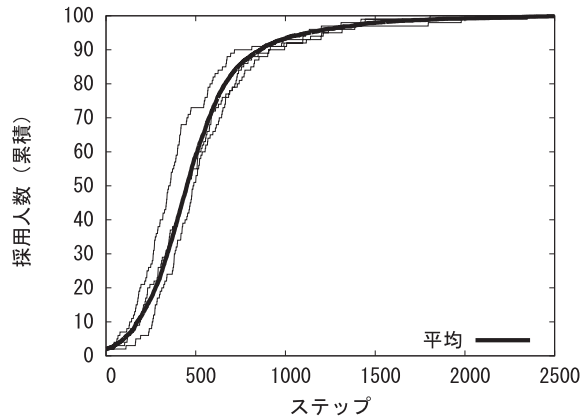


図5 シミュレーションによる普及曲線
Fig.5 Adoption curve by simulation.

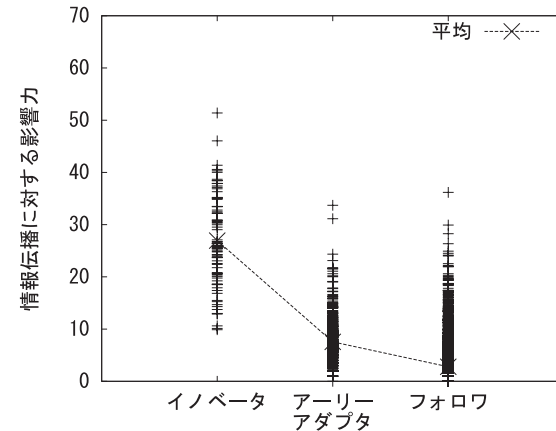


図6 各層の影響力
Fig.6 Influence at each category.

であることが示された。

3.3 経路依存性と Lockin 効果 (Arthur) の再現

3.3.1 再現対象

経路依存性と Lockin 効果を主張する Arthur¹⁷⁾ の議論は、2つの対立する商品が存在する状態での、シェア獲得競争と考えることができる (HD DVD と Blu-ray など)。どちらの商品がシェア獲得競争に勝利するかは、初期に生じる偶発的な現象によって決定される。そして、1度どちらかの商品が優位に立った場合、逆転は困難になる。初期の偶発的な現象によって将来のシェアが決定することを経路依存性という。また、その結果として、優位が確定することを Lockin 効果 (あるいは Lockin する) と呼ぶ。Arthur の主張する経路依存性と Lockin 効果の概要を図7に示す。なお、横軸が採用人数を、縦軸左が商品 α 、右が商品 β のシェアを示している。また、図中の Absorbing Barrier とは Lockin 効果が生じる境である。図では、Absorbing Barrier に至るまでは、ほぼランダムウォークでシェアが変動している。そして、偶発的に Absorbing Barrier に至ることで、Lockin 効果により商品 α の優位が決定されている。

3.3.2 シミュレーション設定

本シミュレーションでは、2種類の情報を扱うことで、2種類の商品がシェアを競う状況を想定する。ここでは、2種類の情報をそれぞれ b_1, b_2 とする。各イノベータに b_1, b_2 の

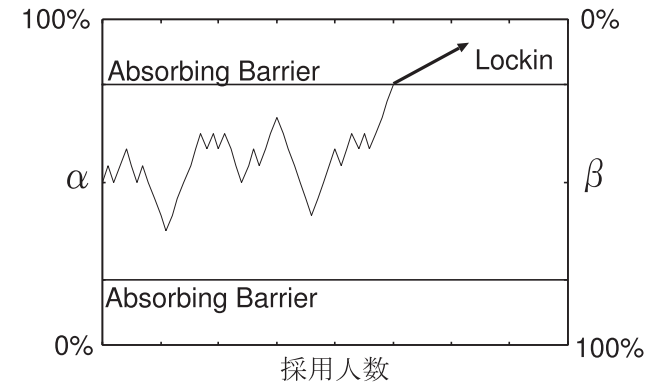


図7 経路依存性と Lockin 効果 (Arthur, 1989)
Fig.7 Path dependency and lockin (Arthur, 1989).

どちらか1種類のみを保持可能情報数上限まで与え、それ以外のエージェントには情報を与えない。すなわち、情報 b_1 のみを持つイノベータと情報 b_2 のみを持つイノベータが存在する状態でシミュレーションを開始する。これにより、2種類の情報が集団内を伝播し、伝播した範囲 (シェア) を争う状況を表現する。

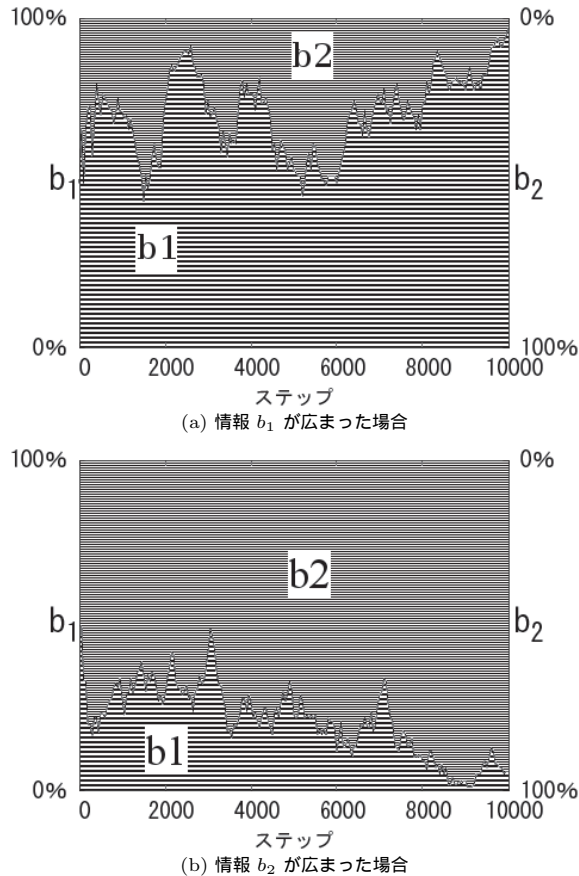


図 8 ある試行における採用者の割合の推移 (0~10,000 ステップ)
Fig. 8 Changes in ratio of adopters (0 ~ 10,000 step).

エージェントの設定は前節のシミュレーション (表 1) と同様とし、500,000 ステップの試行を 40 回実行する。各エージェントは、 b_1 、 b_2 に関して、多くの情報を持つ方を採用すると見なし、情報 b_1 、 b_2 の採用者数の推移を観察する。また、シミュレーション終了時に多数派となった情報に関する各エージェントの影響力を観察する。

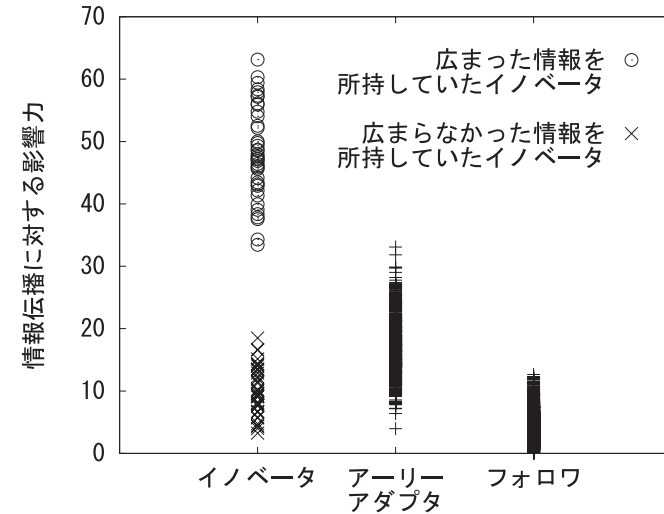


図 9 各層の影響力
Fig. 9 Influence at each category.

3.3.3 シミュレーション結果

図 8 に、無作為に抽出した 2 つの試行における採用者数の割合の推移を示す。なお、図には変化の大きい最初の 10,000 ステップを示す。図 8(a) は情報 b_1 が、図 8(b) は情報 b_2 が広まった場合の試行である。図 8(a) より、途中で情報 b_2 の採用者の割合が増加するものの、最終的には情報 b_1 の採用者が大半を占めることとなり、その後情報 b_1 の優位が覆ることはなかった。すなわち、初期は採用者の割合がほぼランダムに変化する。そして、ある時点で情報 b_1 の採用者が一定レベルを超えるまで増加し、Lockin 効果が生じたといえる。また、図 8(b) ではその逆の傾向が生じており、最終的に情報 b_2 が優位となっている。その他のすべての試行でも図 8 と同様に、最終的にどちらか一方の情報が優位となり、その優位が覆ることはなかった。

また、本シミュレーションにおける各エージェントの情報伝播に対する影響力を図 9 に示す。前節でのシミュレーション同様、40 回の試行におけるすべてのエージェントをプロットした。図 9 より、広まった情報を最初に所持していたイノベータの影響力は大きく、それ以外のイノベータの影響力は小さいことが分かる。経路依存性と Lockin 効果を主張している Arthur の議論では、採用者をイノベータ、アーリーアダプタなどに区別していない。た

だし、ある商品のシェア獲得に至るまでの普及という点では Rogers の議論と同様と考えることができる。よって、初期採用者であるイノベータの影響力が強く、採用時期が遅れるにつれ影響力が低下するのは妥当といえる。

以上より、提案モデルを用いて Arthur の経路依存性および Lockin 効果が再現可能であることが示された。

本章で行った 2 つのシミュレーションによって、提案モデルが Rogers, Bass, Arthur という普及学、経済学の代表的な議論を再現できることを確認した。また、既存の議論通り、情報伝播に対してイノベータが強い影響力を持つことが確認された。

以上より、提案モデルは既存の議論を再現可能であり、十分な表現力を持っていると考えられる。また、各エージェントの影響力は既存の議論を反映しており、式 (2), (3) で定義した影響力指標が妥当であることが確認された。

4. 情報が多様化した社会の表現と分析

4.1 情報の多様化によるイノベータの影響力の変化

4.1.1 目的

情報の多様化によるイノベータの影響力の変化を分析する。情報が 1 種類または 2 種類の場合は、イノベータが情報伝播に強い影響を及ぼしていた。本節では、情報が多様化した社会を表現し、イノベータの影響力について考察する。また、多種多様な情報が存在する現代社会において、情報を多く持つことの意味について考察する。

4.1.2 シミュレーション設定

本シミュレーションでは、情報の多様化を情報の種類が増加した状態ととらえる。入手可能な情報が爆発的に増加している現代では、イノベータに限らず、すべての人々が多様な情報に接し、何らかの情報を持つと考えられる。また、流行現象のように、すでに存在する情報が繰り返し伝播する状況は多いと考えられる。たとえば、携帯電話端末の大画面化に対するニーズや、ファッションのように、以前の流行が再び発生するなど、一部の流行現象は循環することが知られている²²⁾。したがって、多様な情報を想定する場合、特定の個人から情報が広まるのではなく、人々の間で情報が循環していくような設定が妥当であろう。そこで、本シミュレーションは、多様な情報が氾濫する現代社会を表現するため、すべてのエージェントに情報を与えた状態で開始する。ただし、このとき与えられる情報は、各エージェントの保持可能情報数上限まで無作為に選択される。

情報の種類数（以降、総情報数） M をパラメータとし、総情報数 M が少ない場合（5～

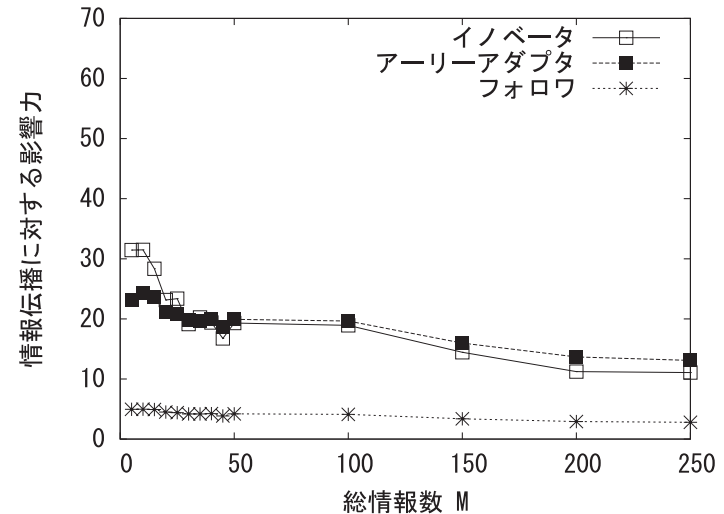


図 10 各層の影響力の推移

Fig. 10 Changes in average influence at each category.

50, 5 刻み) と多い場合 (50~250, 50 刻み) についてそれぞれシミュレーションを行う。なお、本論文で定義した影響力指標は、最終的に残っている情報の種類の数によっても変化する。1 種類の情報のみが広まった収束状態を観察するのが理想であるが、情報の種類が多い場合、収束までに多大な時間を要する。また、流行現象のように、複数の情報が繰り返し伝播し、情報が 1 つに収束しない場合もある。そこで、十分な情報伝播が生じると考えられる 500,000 ステップを 1 試行とし、多数派となった情報に関する各エージェントの影響力を評価する。各エージェントの設定は前章と統一し、40 回行った平均をとる。

4.1.3 シミュレーション結果

図 10 に、各層ごとに平均した影響力の推移を示す。図 10 より、総情報数が少ない場合、イノベータの影響力が最も大きいことが分かる。これは、これまで述べてきた、既存の普及学、経済学の議論に沿った結果といえる。しかし、総情報数が増加していくと、イノベータの影響力とアーリーアダプタの影響力の差がなくなり、最終的にはアーリーアダプタの方が強い影響力を持つようになる。一方、最も情報を持たないフォロウは総情報数が増加しても影響力はほとんど変化しない。また、図 11 に総情報数 $M = 200$ の場合における影響力の分布を示す。各層で分散が大きいものの、Rogers の議論と異なり、アーリーアダプタ

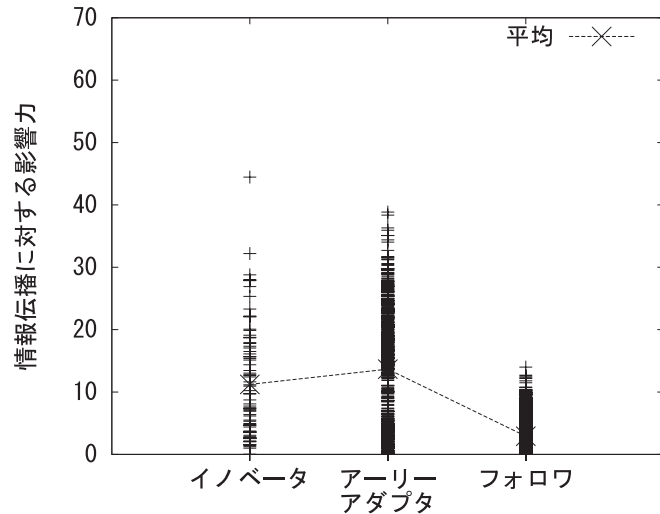


図 11 各層の影響力 (総情報数 $M = 200$)
Fig. 11 Influence at each category ($M = 200$).

の影響力がイノベータに比べ大きい傾向がある。なお、アーリーアダプタの影響力がイノベータの影響力を上回った結果に対して、片側 Mann-Whitney の U 検定を行ったところ、 $M \geq 150$ の場合に有意水準 5% で有意であった ($M = 150, 200, 250$ に対して、それぞれ $p = 0.027, 0.023, 0.038$)。

よって、情報が多様化した状況では、アーリーアダプタのような中間層が全体に対して影響を及ぼす逆転現象が生じることが確認された。

4.1.4 考察

まず、イノベータ、アーリーアダプタの影響力が逆転した現象の意味について考察する。普及学、マーケティングにおける先行研究では、イノベータはインフルエンサーとも呼ばれ、新製品や新技術を最初期に採用するだけでなく、革新的な価値観やアイデアを持つと考えられてきた。しかし、実際にイノベータが単独で新規アイデアの提案などを行うと、既存アイデアの焼き直しとなる場合が多い。あるいは、イノベータはそもそもアイデアの提案ができない場合が多いことが報告されている⁹⁾。本シミュレーションの結果においても、総情報数の増加にともない、アーリーアダプタの影響力が増加していった。これは、アーリーアダプタがゲートキーパーとしてキャズムを越えるための役割を果たしているわけではないと考え

られる。アーリーアダプタがキャズムを越えるための役割を果たす場合、イノベータから普及してきた商品を受け入れ、後続に伝えることが重要となる。このような場合、3.2 節でのシミュレーションのように、イノベータの影響力が大きくなるであろう。本シミュレーションの結果は、情報の多様化により、これまでのマーケティングや普及学における議論だけでは説明できない現象が生じることを示唆している。

そこで、以下では、イノベータとアーリーアダプタの影響力が逆転した原因を考える。情報の多様化が提案モデルの挙動に及ぼす影響として、エージェントが最初に持つ情報の種類数の増加があげられる。本シミュレーションにおいて、各エージェントが最初に持つ情報の多様さは保持可能情報数によって異なる。すなわち、イノベータのように保持可能情報数が大きい場合、多様な情報を所持することができる。特に、イノベータは保持可能情報数が 100 であり、情報を最も広範に持つ場合、100 種類の情報を持つことになる。このような状態では、イノベータから他のエージェントへの情報伝播が生じる場合、毎回異なる種類の情報が伝播する。アーリーアダプタ、フォロワは保持可能情報数が小さいため、情報が伝播してくるたびに所持する情報の種類が変わることになる。その結果、伝播した情報は蓄積されにくく、他のエージェントへ広まっていく可能性も減少する。さらに、イノベータは他のエージェントからの情報伝播が生じにくいいため、このような状態が長続きしやすい。一方、アーリーアダプタはイノベータに比べ保持可能情報数が少なく、フォロワからも影響を受けやすい。いったん、ある情報がフォロワの間で多数派になった場合、アーリーアダプタが広範な情報を所持していても、保持可能情報数がイノベータより小さいため、多数派の情報を獲得することで所持する情報の種類を限定していく。その結果、イノベータではなく、アーリーアダプタが伝播の中心になりやすい。また、アーリーアダプタはフォロワと比べ、イノベータに対して情報伝播が生じる可能性が高い。フォロワやアーリーアダプタの中で多数派となった情報が、アーリーアダプタを通じてイノベータへ伝播される。その結果として、情報伝播の元となるのはアーリーアダプタとなり、アーリーアダプタの影響力をより増大させると考えられる。

ここで、総情報数 $M = 200$ のある一試行について、400,000 ステップからシミュレーション終了までの 100,000 ステップの間に各エージェントから伝播した情報の種類数を調査した。その結果、イノベータからは平均 43 種類、アーリーアダプタからは平均 5.9 種類の情報が伝播していた。イノベータから伝播した情報の種類がアーリーアダプタに比べて多く、イノベータが最後まで多種の情報を伝播させていたことを示している。よって、エージェントが最初に持つ情報の種類数の増加は、イノベータ、アーリーアダプタの影響力が逆転した

要因であると考えられる。

4.2 所持する情報の多様性による影響

4.2.1 目的およびシミュレーション設定

前節のシミュレーションにおいて、情報の多様化により、イノベータの影響力が低下することを示した。また、その主要因として、イノベータが多種の情報をもち、伝播させる情報を統制できないことをあげた。これは、各情報に対する価値を自分の中で順序づけできず、情報の価値が均一になってしまっているため、伝播する情報を統制できない状態といえる。以降、イノベータが多種の情報を持つことにより、個人の中で情報の価値が均一化される状態を「フラット化」と呼ぶ。

本シミュレーションでは、「フラット化」していないイノベータを導入することで、「フラット化」により影響力が低下することを確認する。イノベータから1人選択し、そのイノベータに、1種類の情報を保持可能情報数の上限まで与えた状態でシミュレーションを開始する。これにより、情報を1種類しか持たない「フラット化」していないイノベータを設定する。他の設定は前節のシミュレーションと同様とする。

4.2.2 シミュレーション結果

図12に、各層ごとに平均した影響力の推移を示す。ただし、「フラット化」したイノベータと「フラット化」していないイノベータとで別にプロットした。また、図13に総情報数 $M = 200$ の場合における影響力の分布を示す。図12より、「フラット化」していないイノベータの影響力が最も大きく、アーリーアダプタ、「フラット化」したイノベータの順に低下している。また、図13より、フラット化したイノベータ群とフラット化していないイノベータ群との間に影響力の差があることが分かる。

ただし、図13中の影響力が25付近のフラット化していないイノベータ、および33付近のフラット化したイノベータについては、他のイノベータと異なる傾向となった。このイノベータが存在した試行を調査した結果、同一の試行におけるイノベータであることが分かった。この試行ではフラット化していないイノベータが所持していた情報が広まらず、まったく別の情報が多数派になっていた。よって、低い確率ではあるが、情報の多様化によりフラット化していないイノベータでも影響力が小さく、フラット化したイノベータでも影響力が高くなる可能性があるといえる。

4.2.3 考察

本節のシミュレーション結果および4.1節のシミュレーション結果より、イノベータが「フラット化」することで影響力が低下することが示された。現実におけるフラット化の影

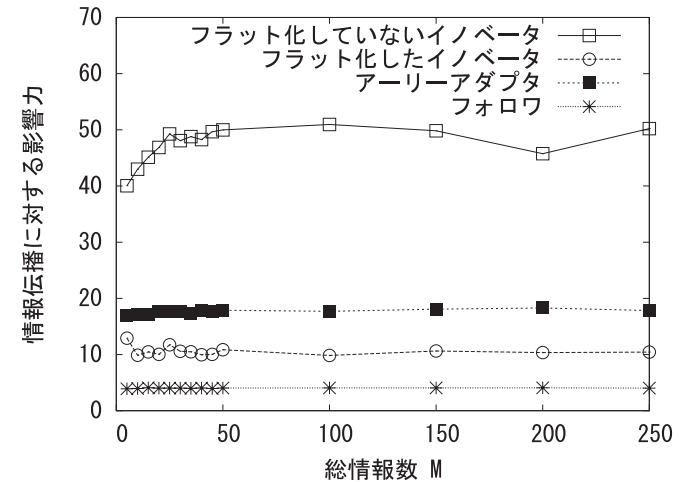


図12 フラット化していないイノベータが存在する場合の各層の影響力の推移

Fig.12 Changes in average influence at each category with an innovator whose information is not flat.

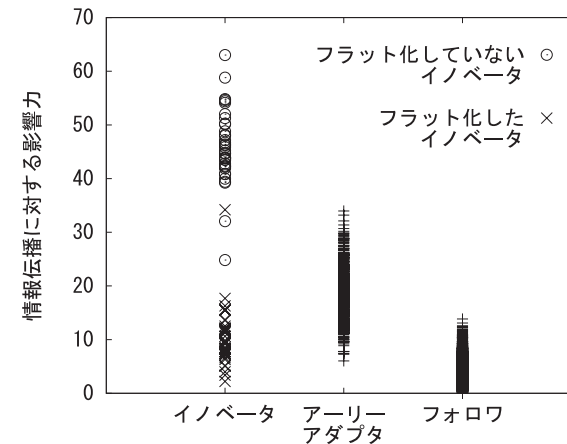


図13 フラット化していないイノベータが存在する場合の各層の影響力 (総情報数 $M = 200$)

Fig.13 Influence at each category with an innovator whose information is not flat ($M = 200$).

響としては、4.1.4 項で述べたように、情報伝播、商品の普及などがアーリーアダプタ中心となる点である。以上の結果は、1.1 節であげた、情報の量や種類の増加が必ずしも影響力を強化しない現象を、提案モデルにより説明可能なことを示している。

特に、情報が多様化し、情報獲得の機会が飛躍的に増加した昨今では、イノベータのように情報を自発的に多く収集する存在はフラット化している可能性が高いと考えられる。現実には、イノベータが多いと考えられる技術者、研究者や、いわゆるオタク、マニアと呼ばれる人々の中には、専門や興味の対象とは無関係に膨大な知識を持つ人々がいる。このような人々は、自分の持つ知識・情報が膨大であるがゆえに、廃れた情報に固執したり、必要な情報の取捨選択ができなかったりする場合がある。一方、アーリーアダプタに相当する人々は、過度の知識・情報を持たないため、自分の情報に固執しすぎず、コミュニティ内での流行に対応しやすい。ある一時点で、多種多様な情報を持っていたとしても、流行、あるいは流行の芽に対応して、情報の取捨選択を適宜行っていく。このような人々は、イノベータから得られる知識・情報とコミュニティの流行の芽を適切に融合させ、新しいアイデアを生み出していくものと考えられる。この場合、イノベーションや世論形成の元となる存在はイノベータではなく、アーリーアダプタとなる。本論文のシミュレーションにおいても、アーリーアダプタが自身の持つ情報、あるいはイノベータ、フォロワから得られる情報を保持し、フォロワだけでなくイノベータにもフィードバックすることで、アーリーアダプタが集団全体を主導する役割を担うようになったと考えられる。すなわち、情報の多様化により、イノベータ、アーリーアダプタの役割が変化していったと考えられる。

なお、影響力の逆転現象が発生する要因として「フラット化」をあげたが、情報の発信能力も要因である可能性がある。本節のシミュレーションにおけるある1試行では、フラット化したイノベータの影響力がフラット化していないイノベータの影響力を上回った。前述のように、この試行ではフラット化していないイノベータが持つ情報は広まらなかった。すなわち、この試行ではフラット化していないイノベータ以外からの情報伝播が多かったと考えられる。以上を考慮すると、イノベータはフラット化しているかどうかにかかわらず、1回に情報伝播する量や相手が多ければ影響力が大きくなる可能性がある。そこで、個人が1回に伝播・受信しうる情報の量について考えてみる。

本論文のシミュレーションにおいては、各エージェントが保持する情報の種類が大幅に増加したのに対して、各エージェントが1度に伝播・受信しうる情報は1つのままである。1.1 節での説明のとおり社会の情報流通量が大幅に増加しているのにもなって、個人の情報送受信量も増加していると考えられるべきかもしれない。特に、昨今のようにEメールや個

人のブログなどが普及している環境では、個人が情報を受発信できる機会は増加しており、それにともなって友人数なども大きく増加している可能性がある。ところが、博報堂の生活定点調査²³⁾によれば、1998年から2008年の10年間で、首都圏・関西圏に住む20歳から69歳の男女一般生活者における「友人」数の変化は、1998年では平均21.98人、2008年では平均22.09人で、まったく変化していない。一方Eメールなどやりとりする相手人数は1998年では平均5.84人、2008年では平均13.88人で、約2.4倍に増加している。つまり、少なくとも日本では、飛躍的な情報量増加にもかかわらず「友人」数に大きな変化はなく、Eメールなどの相手はやや増加したといえる。ただし、Wattsら²⁴⁾は、社会ネットワーク分析において、Eメールやブログなどによるつながりは、人間関係として薄いものであったり一方通行的であったりするので、「影響力がある友人」と認めるべきでないという主張をしている。また、鷲田²⁵⁾によれば、日本とスウェーデンにおいては、2006年段階では、イノベータとそれ以外での友人数の差は1.5倍以下であり、Barabási⁶⁾が主張するような著しい格差や乗乗関係は見られなかった。これらの実証調査研究の結果から、本論文では、各エージェントが1度に伝播・受信しうる情報は、少なくとも社会全体に流通する情報の量や種類の飛躍的増加ほどには増加していないと判断し、ゆえに、シミュレーションでは簡略化のために、各エージェントが1度に伝播・受信しうる情報は1つのままで固定することとした。今後この点については、総情報数 M ほど大きな変化は不要であるものの、各エージェントが1度に伝播・受信しうる情報を2つや3つに増加させてみることは検証してみる意味があるかもしれない。

5. む す び

本論文では、情報の多様化を考慮した情報伝播のモデル化を行った。そして、提案モデルを用いて、Rogers, Bass, Arthurの議論を再現可能なことを確認した。次に、情報の多様化が情報伝播に及ぼす影響を分析した結果、情報の種類が増加することにより、情報伝播に対して強い影響力を持つユーザ層が変化することが確認された。また、その要因は、多種の情報を持つことで、それぞれの情報の価値が均一化する「フラット化」であることを確認した。多くの先行研究では、情報や知識は広く、多く持てば持つほど良いとされ、情報を多く持つことへの弊害は着目されてこなかった。これに対して、本研究の結果は、現代社会における既存研究の意義を再考させるものである。また、情報が多様化した状況では、アーリーアダプタのような中間層が強い影響力を持つことが確認された。従来は、普及論やロングテールで語られるようなイノベータや特殊なニーズを持つ層の重要性が指摘されてきた。

しかし、本研究の結果は、イノベータ以外の層がコミュニティ全体に与える影響の重要性を示唆するものである。

今後の課題は、「フラット化」が生じる原因を探ることである。本論文では、イノベータが「フラット化」している状態でシミュレーションを行った。次の段階として、現実において、イノベータがなぜ「フラット化」するのかを考えていく必要がある。イノベータが「フラット化」する要因として、インターネットの普及によるコミュニケーションチャネルの増加および情報量の増加が考えられる。そこで、これらをシミュレーション、社会調査の両面から明らかにしていく予定である。特に、提案モデルでは閉じたコミュニティの中で限定された情報が伝播するという暗黙の前提が存在する。しかし現実には時間経過とともに、総情報数および伝播対象となる人数は変動していく。これらの要素が情報伝播に及ぼす影響も分析する必要がある。

また、今後より多くの社会現象を再現・説明するために、ネットワーク構造などの要因を考慮する必要がある。特に、情報伝播は集団内で均一に生じるのではなく、層ごとに不均一に生じるという調査結果²⁵⁾もあり、ネットワーク構造の導入によって、モデルがより多くの現象を表現可能になると考えられる。ただし、ネットワーク構造を導入する場合、イノベータの扱いに注意する必要がある。ネットワーク自体の構造や、イノベータがネットワークの中心に位置するか否かなどにより結果が大きく異なると考えられるため、ネットワーク構造の導入にあたっては多くの点を考慮する必要がある。

参 考 文 献

- 1) 総務省情報通信政策局情報通信経済室：平成 18 年度情報流通センサス報告書，総務省 (2008).
- 2) Friedman, T.: *The World Is Flat*, Farrar, Straus and Giroux, New York (2006). 伏見威蕃 (訳)：フラット化する世界，日本経済新聞社 (2006).
- 3) Rogers, E.: *Diffusion of Innovations*, Free Press, 5th edition (2003). 三藤利雄 (訳)：イノベーションの普及，翔泳社 (2007).
- 4) Merton, R.: *Social theory and social structure*, Free Press New York (1957).
- 5) Van den Bulte, C. and Joshi, Y.V.: New product diffusion with influentials and imitators, *Marketing Science*, Vol.26, No.3, pp.400–421 (2007).
- 6) Barabási, A.: *Linked: The New Science of Networks*, Perseus Publishing (2002). 青木 薫 (訳)：新ネットワーク思考世界のしくみを読み解く，日本放送出版協会 (2002).
- 7) Granovetter, M.: The Strength of Weak Ties, *American Journal of Sociology*, Vol.78, No.6, p.1360 (1973).
- 8) Dekimpe, M., Parker, P. and Sarvary, M.: Global diffusion of technological innovations: A coupled-hazard approach, *Journal of Marketing Research*, Vol.37, No.1, pp.47–59 (2000).
- 9) 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*，Vol.49, No.4, pp.1515–1526 (2008).
- 10) Gladwell, M.: *Blink: The Power of Thinking without Thinking*, 1st edition, New York: Little Brown and Company (2005). 沢田 博，阿部尚美 (訳)：第 1 感「最初の 2 秒」の「なんとなく」が正しい，光文社 (2006).
- 11) Duhan, D., Johnson, S., Wilcox, J. and Harrell, G.: Influences on consumer use of word-of-mouth recommendation sources, *Journal of the Academy of Marketing Science*, Vol.25, No.4, pp.283–295 (1997).
- 12) Watts, D.: A simple model of global cascades on random networks, *Proc. National Academy of Sciences*, Vol.99, No.9, p.5766 (2002).
- 13) Kempe, D., Kleinberg, J. and Tardos, É.: Maximizing the spread of influence through a social network, *Proc. 9th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*, ACM New York, NY, USA, pp.137–146 (2003).
- 14) Goldenberg, J., Libai, B. and Muller, E.: Talk of the network: A complex systems look at the underlying process of word-of-mouth, *Marketing Letters*, Vol.12, No.3, pp.211–223 (2001).
- 15) Bass, F.: A new product growth model for consumer durables, *Management Science*, Vol.15, No.5, pp.215–227 (1969).
- 16) Rohlfs, J.: A theory of interdependent demand for a communications service, *The Bell Journal of Economics and Management Science*, Vol.5, No.1, pp.16–37 (1974).
- 17) Arthur, W.: Competing technologies, increasing returns and lock-in by historical events, *The Economic Journal*, Vol.99, pp.116–131 (1989).
- 18) Moore, G.: *Crossing the Chasm, rev ed*, HarperBusiness, New York (1999). 川又政治 (訳)：キャズム—ハイテクをブレイクさせる「超」マーケティング理論，翔泳社 (2002).
- 19) Dunbar, R.: Coevolution of neocortex size, group size and language in humans, *Behavioral and brain sciences*, Vol.16, No.4, pp.681–735 (1993).
- 20) Axelrod, R.: *The complexity of cooperation: Agent-based models of competition and collaboration*, Princeton University Press (1997). 寺野隆雄 (監訳)：対立と協調の科学—エージェント・ベース・モデルによる複雑系の解明，pp.4–7, ダイヤモンド社 (2003).
- 21) Barabási, A. and Albert, R.: Emergence of Scaling in Random Networks, *Science*, Vol.286, No.5439, pp.509–512 (1999).
- 22) 鈴木裕久：流行，講座社会心理学，池内 一 (編)，pp.121–152, 東京大学出版会 (1977).
- 23) (株)博報堂生活総合研究所：生活定点 2008 (2008).

- 24) Watts, D. and Dodds, P.: Influentials, networks, and public opinion formation, *Journal of Consumer Research*, Vol.34, No.4, pp.441-458 (2007).
- 25) 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，東京大学大学院総合文化研究科 (2008).

(平成 21 年 8 月 16 日受付)

(平成 21 年 9 月 18 日再受付)

(平成 21 年 10 月 22 日採録)



藤田 幸久

2007 年名古屋大学大学院情報科学研究科修士課程修了。現在，同大学院情報科学研究科博士課程在学中。主として人工社会の研究に従事。電子情報通信学会会員。



鷲田 祐一 (正会員)

1991 年一橋大学商学部経営学科卒業。2008 年東京大学大学院総合文化研究科博士課程修了。博士 (学術)。兼マサチューセッツ工科大学メディア比較学科客員研究員 (2003 年より)。1991 年 (株) 博報堂に入社。マーケティング職を経て，2005 年より同イノベーション・ラボ首席研究員。情報技術や自動車等ハイテク産業における技術普及と生活者動向研究，未来予測手法の開発等に従事。主な著書に “Information Communication Technologies and Emerging Business Strategies” (IDEA Group Publishing, 2006 年共著)，『未来を洞察する』(2007 年，NTT 出版) 等。第 7 回ドコモ・モバイル・サイエンス賞社会科学部門奨励賞受賞 (2008 年)。日本認知科学学会会員。



鳥海不二夫

2004 年東京工業大学大学院理工学研究科機械制御システム工学専攻博士課程修了，同年名古屋大学情報科学研究科助手，2007 年同助教，現在に至る。エージェントベースシミュレーション，人工市場等の研究に従事。電子情報通信学会，計測自動制御学会，人工知能学会各会員。博士 (工学)。



植田 一博

1988 年東京大学教養学部卒業。1993 年東京大学大学院総合文化研究科博士課程修了。博士 (学術)。東京大学大学院総合文化研究科助手を経て，1999 年より同助教授，2007 年より准教授 (2000 年 4 月～2004 年 3 月同大学情報学環助教授)。科学的発見プロセスの解明，熟達化メカニズムの認知神経科学的解明，人工市場ならびに行動ファイナンス，ヒューマン・エージェント・インタラクション等の研究に従事。著書に『協同の知を探る』(共立出版，共編著)，『知性の創発と起源』(オーム社，共著)，『情報』(東京大学出版会，共著)，“Evolutionary Computation in Economics and Finance” (Springer-Verlag, 共著)，“Conversational Informatics” (Wiley, 共著) 等。日本認知科学学会，人工知能学会，ヒューマン・インタフェース学会，The Cognitive Science Society, Cognitive Neuroscience Society, AAAI 各会員。



石井健一郎 (正会員)

1974 年東京大学工学系研究科計数工学専門課程修士課程修了。同年日本電信電話公社 (現 NTT) 入社。1979 年より 1 年間米国 Purdue 大学客員研究員。1990 年工学博士 (東京大学)。2003 年名古屋大学大学院情報科学研究科教授，現在に至る。主としてパターン認識の研究に従事。電子情報通信学会，IEEE，人工知能学会各会員。