

平成 21年 5月 26日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2008

課題番号：19530388

研究課題名(和文) イノベーション普及のシミュレーションモデル分析

研究課題名(英文) Simulation Model Analysis of Innovation Diffusions

研究代表者

河合 勝彦 (KAWAI KATSUHIKO)

名古屋市立大学・大学院経済学研究科・教授

研究者番号：70278274

研究成果の概要：

本研究は、新しい製品、サービス、考え方等のイノベーションが、どのように社会(集団)に普及していくのか、ということ考察している。従来、こうした普及の過程は、集団全体としてのいくつかの特徴に基づいてモデル化(微分方程式モデル)されることが多かった。その一方、本研究は、集団における個人の特性や振る舞いを明示的に考慮する、個人ベースのモデル(エージェントベース・モデル)を用いている。このモデル化によって、集団が不均質である場合や個人間のつながりが特徴を持つ場合の、イノベーション普及の特徴を明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	900,000	270,000	1,170,000
2008年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,300,000	390,000	1,690,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：経営学・商学

キーワード：消費者行動、普及モデル、シミュレーション、エージェント、ネットワーク

1. 研究開始当初の背景

(1) コンピュータの性能の飛躍的な向上によって、社会科学分野におけるコンピュータ・シミュレーションの重要性が大幅に増加している。

例えば、コンピュータ上に多数の人間を擬したエージェントを作成し、エージェント間およびその外的環境との相互作用を観察するエージェントベース・シミュレーションに注目が集まっている。

(2) さらに、物理学やコンピュータ科学からの知見に基づいた複雑ネットワーク分析

の手法が、社会科学分野、特に人と人とのつながりに着目する研究分野においても活用されるようになった。

2. 研究の目的

本研究は、イノベーションや新製品が、どのように普及していくのか、さらに、どのようにすれば、その普及を促進させることができるのか、について分析を加える。分析手法としては、システム・ダイナミクスおよびエージェントベース・モデルを中心としたコンピュータ・シミュレーションを採用し、その分析結果からイノベーション・新製品普及

促進のためのマーケティング戦略などに関する提言を行う。

より詳細には、われわれが今までに構築した新製品普及過程を描写するシステム・ダイナミクスとエージェントベース・モデルの総括をおこない、両者の接合方法について理論的な説明をおこなう。さらに、エージェントベース・モデルとネットワークモデルとの融合を検討し、様々なネットワーク構成におけるイノベーションおよび新製品の普及形態についての解明を行う。

3. 研究の方法

イノベーションや新製品の普及は、主に口コミを中心として、友人や第三者の影響を多大に受ける。つまり、消費者の購買行動は、社会における人的ネットワークや準拠グループの形態に大きく依存している。以上の知見をもとにして、本研究は、様々な社会的な人的ネットワーク構造を取り入れたエージェントベース・モデルの構築をおこない、その理論的検討を行う。

4. 研究成果

(1) システムダイナミクス(SD)とエージェントベース・モデル(ABM)、この2つの方法による新製品普及のモデル化は、どのような場合に異なった普及の形態を示すだろうか。河合(雑誌論文の①)では、購買者の情報入手可能性に着目して、SDモデルと比較した場合の、ABMモデルの優位性について考察を加えた。

まず、SDにおいては、システム(市場)における全ての購買者が、他の購買者の購買行動の情報を得ているということを暗黙的に仮定している。つまり、ある未購買者が購買行動をおこなうかおこなわないかの確率は、すべての購買者で同一である。

その一方、ABMにおいては、未購買者達の全てが同じ情報を持っているとは限らない。例えば、ABMにおいては購買者と他者(および外部広告)との認知的距離を明示的に設定することが可能である。認知的距離とは、物理的な両者の距離に、情報の非対称性や親近感等を加味したものである。例えば、シミュレーション空間内に配置されたエージェントと他エージェントの距離は、両者の間の純粋な物理的距離というよりも認知的距離とみなした方が、抽象的なモデルにおいては素直な解釈が可能である。

したがって、両エージェント間の認知的距離が遠くなれば遠くなるほど、お互いの情報共有の度合いや影響力が弱まる可能性が高くなる。そうしたエージェントの特性を、ここでは限定合理性と呼ぶことにする。伝統的な経済学モデルに従えば、エージェントは他エージェントや自分が存在する環境の情報

をすべて得ることができる場合に限って、完全に合理的な行動をおこなうことが可能である(完全合理性)。理論のベンチマークとなるモデルとしては、こうした完全合理性の仮定を使うことができるであろう。その一方、現実を的確に描写するものとしては、よりエージェントの特性に現実味を持たせたモデル、つまり、上に挙げた限定合理性によるモデルの方が好ましいだろう。

こうした見地に従って、普及のシミュレーションをおこなった。完全合理性モデル、限定合理性モデルともに、シミュレーションのステップは以下の通りである。

ステップ1: 仮想社会のセル内に、購買者を模したエージェント1000個をランダムに配置する。

ステップ2: 全エージェントのうち5%を初期採用者として設定する。

ステップ3: 製品を購入していない未購買のエージェントは、周囲の状況を検知して、個々に周囲の採用率を計算し購買を決定する。その一方、完全合理性モデルの場合は、全体の採用率を計算し購買を決定する。この採用率は全てのエージェントで同じ値をとる。

ステップ4: ステップ3を繰り返す、すべてのエージェントが製品を採用したらシミュレーションをストップする。

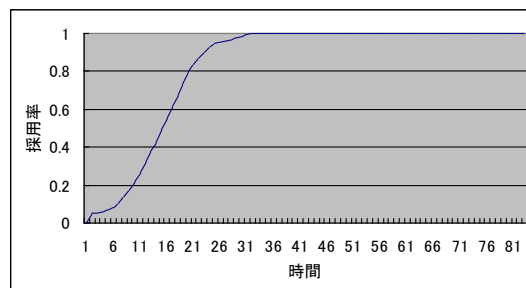


図1 完全合理性モデル

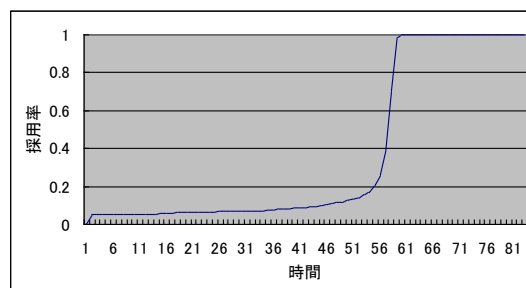


図2 限定合理性モデル

このシミュレーションの結果は、図1(完全合理性)および図2(限定合理性)の通りである。完全合理性モデルにおいては、普及に時間がかかるものの、一度普及が始まるとその加速度は非常に大きく、短期間のうちに

全体に広まっていく。その一方、限定合理性モデルの場合は、普及はじわじわと広まっていく。ただし、新製品が初期採用者から全体へと浸透するためのトータルの期間は短い。これは限定合理性の状況では、新製品の採用者クラスター（塊）ができやすく、このクラスターが局地的影響力（口コミ影響力）を強めるという、正のフィードバック効果がおこりやすいという状況を示している。

このモデルの背景をもう一度振り返ってみよう。そこでは、消費者はある新製品の購買に際し、自分の周囲の購買者の割合が増えれば増えるほど、その製品を購買する確率を上昇させる。こうした状況、つまり、より多くの消費者がある製品を購買することによって、さらにより多くの消費者が購買決定をおこなうことを、バンドワゴン効果と呼ぶ。また、消費者がある製品の購買を決定する際に、その購買状況を参考にする集団を準拠集団と呼ぶ、この準拠集団を市場システム全体としたモデルを本モデルでは完全合理性モデルと定義し、その一方、準拠集団が個々の消費者のある認知的距離の一定範囲内にあるモデルを限定合理性モデルと定義した。そして、われわれが示したのは、このバンドワゴン効果が存在する状況で、消費者の準拠集団の規模・範囲の違いが、ある新製品の普及状況にどのような違いをもたらすかということである。

さて、情報通信技術の発展等により、人々の準拠集団は、一昔前に比べ極めて多様なものになっている。今までは容易に得ることができなかった多分野の専門家の意見を、非常に低コストで得ることができる。また、CGM(Consumer Generated Media, 消費者生成メディア)と呼ばれる、ブログ、SNS、動画共有、ソーシャルブックマーク、リコメンデーションシステム等は、RSS、タギング(tagging)、協調フィルタリング(collaborative filtering)等の機能を通じて、社会に広く分散し、今までは会う機会が制限されていた、嗜好を同じくする多数の人々を結びつけることを可能にした。

本モデルで説明したシミュレーションは、こうした状況の変化を、限定合理性モデルから完全合理性モデルへの変化として描写することが可能であろう。よって、本モデルのシナリオに沿えば、多くの新製品の普及を観察した場合、ある時期を境にして、その製品の普及が一気に広がっていくというケースが増えることが予想される(図1の状況から図2の状況への変化)。そうした場合、新製品を市場に投入する企業は、今までよりも迅速な意思決定をする必要性に迫られるであろう。今後、商品開発、マーケティング等に生かす戦略づくりに、本シミュレーションが役立つことを期待したい。

なお、上に述べたように、本モデルは製品特性を考慮の対象外としている。よって、今後の課題としては、より多くの新製品普及の考察に役立つ、製品特性を取り入れたモデルへの拡張等が必要であろう。

(2) 標準的な経済理論における、合理的な消費者行動の説明によると、ある消費者の購買行動は他者の購買行動に影響を与えないとされている。しかしながら、バイラルマーケティング、もしくは、最近ではCGM(Consumer Generated Media)と呼ばれる、SNSやblogを介した消費者による口コミ等を活用したマーケティング活動を観察するに、ある消費者の購買行動は他者の購買行動に影響を与えている可能性は大きい。

こうした現象を解明するために、マーケティング・消費者行動論の分野では、購買行動への影響要因の一つとして、準拠集団を考察の対象としている。河合・酒井(雑誌論文の②)は特に、イノベーションの採用における、オピニオンリーダーと呼ばれる準拠集団内の消費の媒介者の役割に着目して分析をおこなった。

イノベーション普及におけるオピニオンリーダーの役割は、消費者行動における口コミ(word-of-mouth)の効果と密接に関連している。ここでは、オピニオンリーダーを、口コミの影響力が他の消費者とくらべて比較的大きい、製品の初期採用者であると定義する。さらに、身内等の強い準拠集団内のコミュニケーションのつながりを強い紐帯(strong ties)、そして、それ以外の集団とのコミュニケーションのつながりを弱い紐帯(weak ties)と定義して、エージェントのつながりをより詳細にモデル化してみた。

シミュレーションの手順は次の通りである。

ステップ1: 1000のエージェントを、ほぼ同一規模の準拠集団を作成するように、ランダムに割り振る。エージェントはこの準拠集団内の全エージェントとコミュニケーションのつながりを作る(強い紐帯)。さらに、エージェントの集合全体からランダムにオピニオンリーダーを選択し、イノベーション採用済みエージェントとする。

ステップ2: 各エージェントは、自集団以外の傾向、つまり全体の傾向を知るために、ある一定の割合で準拠集団外のエージェントとのコミュニケーションのつながりを作る(弱い紐帯)。

ステップ3: 各エージェントは強い紐帯および弱い紐帯で結ばれた他エージェントのイノベーション採用率を感知し、もしも、それが一定の割合(採用閾値)以上であれば、そのイノベーションを採用する。

ステップ4: ステップ3を繰り返し、イノベ

ーションがシステム全体にいきわたった場合、もしくは、イノベーション普及の増加が停止した場合に、シミュレーションを終了する。

このモデルにおいて観察されたことは、モデルのパラメータは普及率に影響するのではなく、普及の成功率に影響するというものである。つまり、普及が広まる場合は全体に広まるが、広まらない場合は、早い段階で普及が停止してしまうということである。

次に、表 1 のパラメータの組合せによるシミュレーションをそれぞれ 10 回ずつ、総計 6250 回おこない、その出力結果を Probit モデルによって分析した (表 2)。

オピニオンリーダーの数(OP) {10, 15, 20, 25, 30}
弱い紐帯の割合(CC) {0.12, 0.15, 0.18, 0.21, 0.24}
準拠集団の規模(MEM) {15, 20, 25, 30, 35}
採用閾値(TH) {0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30}

表 1

回帰分析の結果は以下の通りである。

説明変数	回帰係数	標準誤差
OP	0.36752***	0.02894
CC	27.65165***	3.35127
MEM	-0.22873***	0.02273
THD	-171.12537***	11.88410

***p < 0.001

表 2

まず、上の 4 つの説明変数のすべてが 0.1% 水準で有意であることが確認された。さらに、イノベーション普及の成功に正の効果を持つものとして、オピニオンリーダーの数(OP)と弱い紐帯の割合(CC)があるということがわかった。その一方、負の効果を持つものとしては、準拠集団の規模(MEM)および採用閾値の大きさ(THD)があるということがわかった。いずれも、日常の直感と矛盾しないが、それをモデルで確認したという意義はあるだろう。

本モデルは、消費者のロコミ行動、特に情報を普及初期に媒介するオピニオンリーダーに着目してイノベーション普及の考察をおこなったものである。結果、その普及過程におけるオピニオンリーダーの役割と、その特性(つながりの多さ)に着目する重要性を示した。さらに、消費者の強い紐帯を他のグループに結びつける弱い紐帯の重要な役割を明らかにした。

最後に、今後のモデル拡張についての展望を述べておく。まず、本モデルは、パラメータの値の設定が極めて恣意的である。よって、

既存の実証モデル文献のサーベイを詳細におこない、パラメータ設定の説得力を高める必要がある。また、より詳細な感応度分析をおこない、モデルの特性をはっきりさせたい。さらに、複雑ネットワーク分析における知見をモデルに組み込み、モデルにおけるミクロ・マクロループのより厳密な解析につとめていく必要がある。

(3) 耐久消費財を念頭にモデル化が試みられた普及モデルは、現在まで一定の役割を果たしてきた。しかし、現代のイノベーションの主流はサービスである。例えば、インターネットの爆発的な普及は、ウェブ・テクノロジーを核とした、新しいビジネスモデルを続々と生みだしている。このような経済状況を考慮した新しい普及モデルとは、いったいどのようなものであるべきだろうか。

このようなサービス経済の発展を織り込んだ普及モデルを考察するにあたって、いくつかの重要な着眼点がある。顧客減、普及の天井の存在、初期ユーザの囲い込み、ネットワーク効果の存在が代表的なものである。

河合(雑誌論文③)では、これらの着眼点をいくつか取り込み、従来の普及モデルを ABM で拡張および再定式化した。

モデルの基本的な仮定は、次の通りである。エージェントの特徴:消費者(エージェント)は、どの時点においても、あるサービスを採用しているか、していないかのどちらかである。

初期条件:時点 $t=0$ において、ランダムに選ばれた、そのサービスの採用者が 1 人存在する。

外的影響:任意の時点 t において、任意の消費者は、あるサービスを広告する外部メディアの影響を受け、そして、 p の確率で、そのサービスを採用する。

内的影響:任意の時点 t において、任意の消費者は、ランダムに選ばれた自分以外の他の消費者の 1 人と接触し、あるサービスの情報を得る。そして q の確率で、そのサービスを採用する。

以下、この ABM の特性を見るために、2 種類のシミュレーションをおこなった結果を示す。なお、これらのシミュレーションは、あくまでも規範的なモデル化であり、近い将来の正確な需要予測を目的としたようなものではない。むしろ、企業のマネジメント部門等によるマーケティング戦略の立案に使うこと等を念頭に置いている。

利用中止の追加:本モデルの基本的仮定に従って構築した ABM による普及シミュレーションは、微分方程式によって構築された伝統的な Bass モデルと、ほぼ同一の挙動を示す。このようにモデルの基本的特性をまず確認し、次に、モデルの条件のひとつに変更を加

え、この ABM の動的な特性を調査する。つまり、感応度分析をおこなう。

ここでは、サービスの消費者が、その利用停止後に、必ずある程度のタイムラグを経て、もう一度利用するかどうか決める、という仮定に改めてみる。例えば、タイムラグが 2 の場合は、サービスの利用を止めて、2 期間後に、再度、そのサービスを利用する機会を持つ。そもそも、サービスの利用中止には何らかの理由があるわけで、その何らかの理由が解消し、顧客として戻ってくるのに、一定の期間が必要であると仮定する。

このシミュレーション結果は、図 3 の通りである。タイムラグが大きくなればなるほど、累積的な採用率が小さくなる。

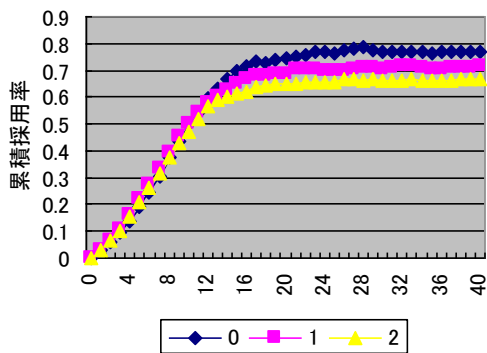


図 3 利用中止を取り入れた ABM モデル

ネットワーク構造の追加：内的影響力（口コミの影響力）を、企業が操作することは可能であろうか。もちろん、価格政策や消費者の属性にターゲットを絞った製品プロモーションによって、それは可能であろう。従来の普及モデルでは、一般化 Bass モデルがそのようなモデルの分析に利用された。

しかし、消費者相互間の関係を考慮する際に、より重要になってくるのは、実際の消費者同士のつながりである。この「つながり」の問題は、従来の普及モデルでは考察できなかった。

よって、本モデルでは、消費者集団の特性を変化させることによって、消費者間のつながりの、普及に対する影響を観察する。用いるモデルの構造は、ABM にネットワークを取り入れたものとなる。

まず、集団の特性を以下の 2 つに設定する。集団 1：優先的選択のアルゴリズムを用い、2,000 人の消費者を次数 2 でつなぐ。この消費者のネットワークは、人間社会のネットワーク構造としてよく観察される、スケールフリー性を持つ。

集団 2：消費者は自分の行動の判断を助ける参照先（準拠集団）をいくつか選ぶ、ただし、次数の条件を集団 1 と合わせるために、本集団は参照先をランダムに 1 つではなく、2 つ

選ぶことにする。

このネットワーク構造を考慮した ABM によるシミュレーション結果は図 4 の通りである。スケールフリー性をもったネットワークは、普及ペースが早く、なだらかに普及の天井に達する。

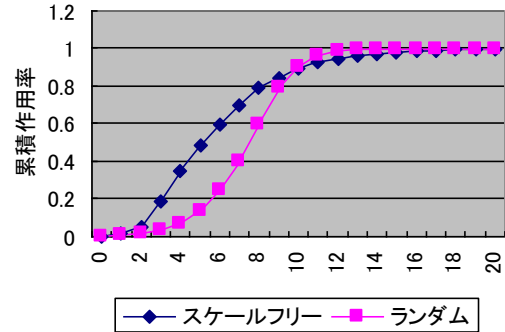


図 4 ネットワーク構造を取り入れた ABM

なお、本研究が目的とするのは、巨大で万能なモデルを構築することではなく、分析の主眼となる部分のモデル化に絞った、単純なモデルの構築である。ABM をやみくもに複雑化、巨大化するのは、注視すべき重要な分析上の論点を曖昧にしてしまうという危険性を生むことに注意したい。

本モデルは、伝統的な微分方程式モデルによる普及モデルの問題点をいくつか指摘し、実際に複数の普及モデルを ABM 化することにより、詳細な規範的分析が容易になることを示した。さらに、消費者のつながりに、特定のネットワーク構造を導入することにより、ABM が、より説得力の高いモデルを提供できる可能性を示した。

情報化社会の進展は、ウェブ等に残された、人々の履歴データの入手性を大きく高めた。普及の調査用に小集団のデータを集める意義は、いまだ失せてはいないが、最近では、大集団のランダムサンプルを安価に入手することが可能である。つまり、普及のネットワークを研究することが、分析の手段はあるが、データの入手可能性が低いという以前の状態から、データは有り余っているが、分析の道筋を見つけるのが難しいという状態へとかわりつつある。

物理学からの知見を多く含んでいる複雑ネットワーク理論は、ウェブから得られる大規模なデータを分析するために必須のツールとなり、社会科学にも大きな影響を与えている。今後、人々のつながりについて実際のデータによる裏付けを十分に取った上で、ABM を構築することが必要になるであろう。また、規範的分析のみならず、ABM がどれだけ過去のデータの再現性を発揮できるかを検証する必要もある。そして、最終的には、ABM によって拡張された普及モデルの予測力

の向上をはかり、実際のビジネスにも活用できるようにその精度を高める必要があるだろう。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

① 河合勝彦, イノベーション普及モデルの再考 — サービス普及のモデル化を中心に —, Discussion Papers in Economics, Society of Economics, Nagoya City University, vol499, 2009, pp.1-10, 査読無

② 河合勝彦, 酒井博章, イノベーション普及とオピニオンリーダー, 情報経営学会第 55 回全国大会予稿集, 2007, pp.141-144, 査読無

③ 河合勝彦, 認知的な制限を取り入れた新製品普及モデルの考察 — エージェントベース・モデルによるアプローチ, オイコノミカ, 44 巻, 2007, pp.105-120, 査読無

[学会発表] (計 1 件)

① 河合勝彦, 酒井博章, イノベーション普及とオピニオンリーダー, 情報経営第 55 回全国大会, 2007 年 11 月 3 日, 愛知学院大学

[その他]

Web 上での普及を計測するためのソフトウェア <http://diffusion.kklab.info/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

河合 勝彦 (KAWAI KATSUHIKO)

名古屋市立大学・大学院経済学研究科・教授
研究者番号：70278274

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

酒井 博章 (SAKAI HIROAKI)

名古屋市立大学・大学院経済学研究科・研究員
研究者番号：00448721