

○藤 祐司, 渡辺千仞 (東工大社会理工学)

1. 序論

新しい技術の開発に代表されるイノベーションは、経済成長を維持していく上で重要な原動力であり、社会全体に大きな利益をもたらす。このような新しい技術が導入、利用されるに至るスピードは、経済及び社会福祉に大きな影響をおよぼす。イノベーションの普及は、技術価値の向上を中心に、コスト減少、潜在的ユーザーの増加などが連続的に起こることにより促進される (図1)。

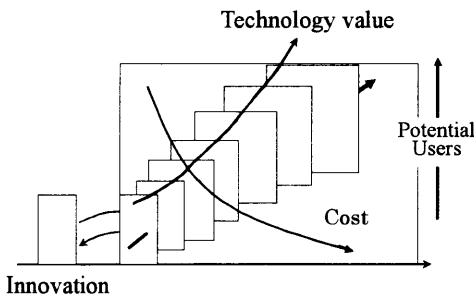


図1 普及過程における技術価値の向上

供給サイドの普及促進努力としては、R&Dによる技術開発努力、学習効果による改善などを通して、技術自身の価値の向上、使用領域の増加などをもたらすことが挙げられる。一方需要サイドにおいては、商品が普及するほど商品の利用価値が高まるというネットワーク外部性をはじめ、商品が普及すると購買経験を持つ消費者の口コミを通じて製品情報が広まり、それが需要の拡大につながるという情報効果、さらには、皆が消費するから自分も消費するというバンドワゴン効果など、消費の外部効果が存在する。普及に対するこれらの影響は、技術改善努力に勝るとも劣らないものと考えられる。

本分析においては、イノベーションの普及が、その技術自身の改善努力 (technology improvement) のみでなく、その普及過程における環境 (growing demand)

の変化によっても影響を受けることを念頭に、需要と供給の動的な関係を考慮した普及モデルの構築を目的とする。以上のコンセプトを図2に示す。

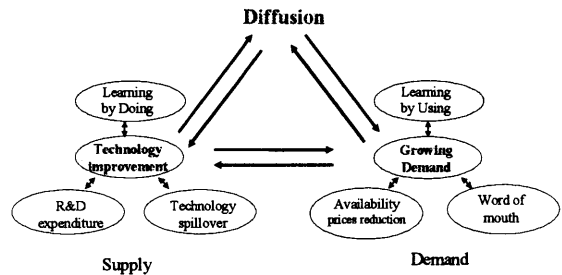


図2 普及過程における需要と供給の相互作用

2. イノベーションの普及

2.1 イノベーションの普及の概念

イノベーションの普及に関する研究の第一人者であるロジャースは、その著書 (1990) において、イノベーションを「個人、もしくは、他の採用単位によって新しいものと知覚されたアイデア、行動様式、物」とし、普及を「イノベーションがコミュニケーション・チャンネルを通して、社会システムの成員間において、時間的経過の中でコミュニケーションされる過程」と定義している。本分析でも、イノベーションと普及を同様に定義して扱う。

2.2 普及モデルに関する既存研究

2.2.1 Simple Logistic Model

Simple Logistic Model は普及モデルとして最も一般的なモデルであり、(1) 式の微分方程式で表される。

$$\frac{df(t)}{dt} = bf(t) \left(1 - \frac{f(t)}{K} \right) \quad (1)$$

$f(t)$: 時間 t におけるイノベーションの採用者数

K : イノベーションの潜在的な採用者数 (潜在的市場規模)

b : 内的自然増加率 (採用者が無限に成長する場合の増加率)

(1) 式を積分すると、(2) 式が得られ、これはロジスティック曲線と呼ばれる S 字型カーブを描く。

$$f(t) = \frac{K}{1 + a \exp(-bt)} \quad (2)$$

2.2.2 普及天井拡大モデル

Simple Logistic Model はイノベーションの潜在的な採用者数を一定とみなしている。それに対し次式は、技術の普及過程において潜在的な利用者の数も増大するものとし、(1)式の K を時間 t の関数と考えたモデルである。

$$\frac{df(t)}{dt} = bf(t) \left(1 - \frac{f(t)}{K(t)} \right) \quad (3)$$

Sharif and Ramanathan (1981) は、普及天井が時間の経過とともに増加すると考え、普及天井を時間の関数とした様々なパターンのモデルによって分析を行っている。

3. 分析のフレームワーク

需要と供給の動的な関係を考慮した普及モデルの構築を目的に、特に普及における需要サイドの影響を明確にモデルに組み込む。

3.1 分析モデルの構築

3.1.1 外部効果を考慮した需要関数

価格が P_1 から P_2 に低下した場合、個人需要量は $q_1(P_1, D_1)$ から $q_2(P_2, D_2)$ に増加する。個人需要量の増加分のうち、 q_1 から $q_1'(P_2, D_1)$ は価格効果、 q_1' から q_2 は外部効果によるものと考えられる (図 3)。均衡個人需要曲線は均衡点 E_1 と E_2 を結んだ d_{12} であり、外部効果が存在することによって、個人需要曲線はより価格弾力的(水平)になる。

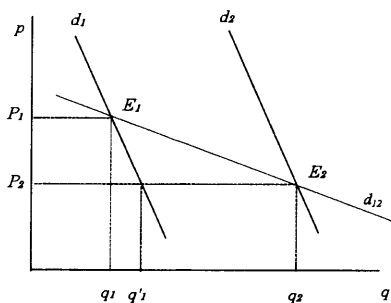


図3 外部効果を考慮した需要関数

以上より個人の需要が、その製品の価格のみではなく市場の需要 (Σqi) にも依存するものとし、次式の需要

関数を考える。

$$q_t = a - bP_t + c \int q_t dt = a - bP_t + cQ_t \quad (4)$$

q_t : t 期における需要量

Q_t : $\Sigma q = \int q_t dt$ (t 期における市場規模)

(4)式の微分方程式を解くと(5)式が得られる。

$$Q = -\frac{a}{c} - be^{-\lambda t} \int P_t e^{-\lambda t} dt + Ce^{\lambda t} \quad (5)$$

Q は累積需要量を示し、耐久年数が長期である製品においては、市場規模に一致する。

価格 P が供給サイドの技術改善努力により指数関数的に減少する価格モデルとして(6)式を考える。

$$P_t = P_0 e^{-\lambda t} \quad (6)$$

λ : 外生的技術係数

(6)式を(5)式に代入すると次の需要関数が得られる。

$$Q = -\frac{a}{c} - \frac{b}{\lambda + c} P_t + \left(\frac{a}{c} + \frac{b}{\lambda + c} \right) e^{\lambda t} \quad (7)$$

この(7)式の Q は、供給サイドの技術改善努力を享受した製品価格から推定される潜在市場を表す。

3.1.2 分析モデル

多くの技術の普及において、その市場は需給の相互作用による外部経済などの影響により連続的に拡大していく。この点に着目した分析を行うために、(8)式で表される潜在的市場が変化する普及天井拡大モデルを基本とする。

$$\frac{df(t)}{dt} = bf(t) \left(1 - \frac{f(t)}{K(t)} \right) \quad (8)$$

ここで $K(t)$ の関数形として、(5)式で表される需要関数を考える。すなわち、潜在的市場の規模はその製品の価格のみではなく需要量にも依存するものとする。

3.2 分析対象

ケーススタディとして、日本の1975-1999年における期間の太陽電池の普及を分析の対象とする。太陽電池はその用途の可能性の幅が非常に広く、高いポテンシャルを秘めたものであり、普及とともに需給の相互作用が働きながら市場を拡大していくと考えられる。また、太陽電池の耐久年数は20年以上であり(濱川, 2000)、この期間における反復はほとんど無視できるため、累積生産量と普及量は一致すると考

えられる。

太陽電池に関するデータは、生産量(y)、累積生産量(Y): MW 生産価格(P): 円/W (資源総合システム, 『太陽光発電情報』, 各号)、技術ストック(T): 累積研究開発 $T_t = R_{t-m} - (1 - \rho)T_{t-1}$ (R : 研究開発費, ρ : 陳腐化率, m : リードタイム: Watanabe *et al.*, 1999) を用いた。

4. 分析結果

4.1 太陽光発電の普及過程分析

4.1.1 太陽電池価格の推移

太陽光発電における製品価格の推移は図4に示す通りであり、(6)式のパラメータ推計を行った結果を表1に示す。

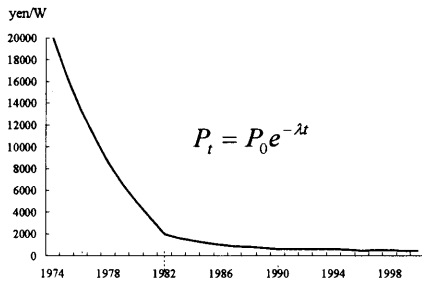


図4 太陽電池価格の推移

表1 パラメータの推計結果

	$\ln P_0$	λ	DW	$adj.R^2$
1975-1982	9.52 (101.83)	0.328 (16.20)	0.76	0.974
1983-1990	8.43 (199.25)	0.118 (35.56)	1.17	0.995
1991-1999	6.82 (60.39)	0.016 (3.01)	1.47	0.743

4.1.2 太陽電池市場規模の推計

1975-1999年の太陽電池の価格および生産量のデータを用いて(5)式のパラメータ推計を行った結果を表2に示す。また、4.1.1およびこの推計結果を用いた潜在市場規模の推移を図5に示す。

表2 パラメータの推計結果

$\frac{dY_t}{dt} = a - bP_t + cY_t$				
a	b	c	DW	$adj.R^2$
4.4659 (2.28)	0.0003 (1.44)	0.1043 (6.80)	1.94	0.928

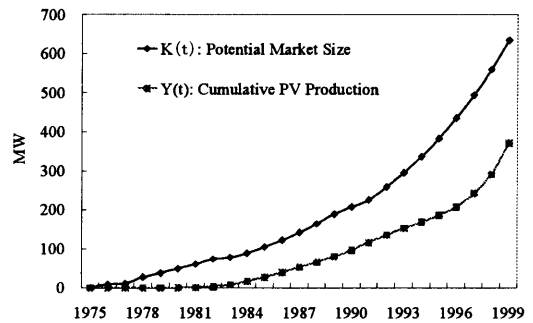


図5 太陽電池の累積生産量および潜在市場規模の推移

技術の普及プロセスにおいて潜在市場規模が普及軌道の画定に重要な役割を果たす (Meyer and Ausubel (1999))。そこで次式に基づき普及天井の変化に対する供給サイドの技術改善努力3要素 (規模拡大効果、累積生産、技術ストック) の貢献を分析する。

$$K(t) = K_0 e^{at} Y(t)^b T(t)^c \quad (9)$$

(9)式をもとに、1975-1999年における潜在市場の変化の支配要因を求めると図6のようになる。

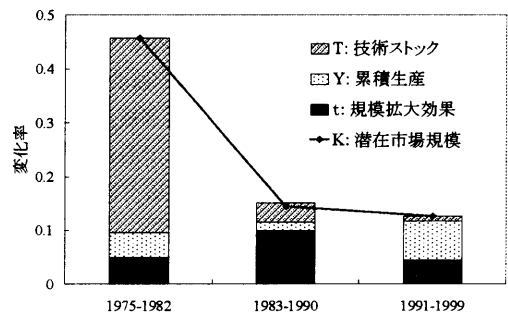


図6 潜在市場規模の変化への3要素の貢献の推移 (1975-1999)

図6から、普及の初期段階においては供給サイドの技術改善努力の効果が大きかったが、普及が進むにつれて規模拡大、そして累積生産の効果の割合が大きくなっていることが伺える。

1979年の「サンシャイン計画の加速的推進戦略」、1980年のNEDO設立などにより、太陽光発電に関する研究開発が盛んに行われるようになった(図7)にも関わらず、以上のような結果になったことは、潜在市場規模の変化は、需要サイドからのフィードバックが

大きく影響してきていることを示している。

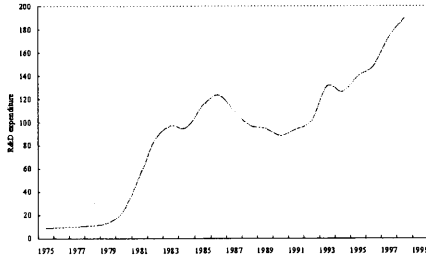


図7 太陽電池研究開発費の推移 (1975-1999)

また、得られた潜在市場規模より各年の生産量を推計する。推計値と実測値との比較は図8の通りである。

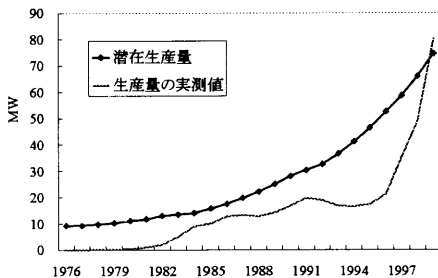


図8 生産量の推計値と実測地の比較 (1976-1999)

実測値が1996年から急速に伸び、1999年には市場価格を考慮した推定値よりも高い値を示している。

近年の生産量の伸びは、政府主導の補助金制度や「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法(新エネ法)」による影響が大きいと思われ、市場との相互作用の結果ではない、一時的なものである可能性が高い。

4.2 モデル比較

Watanabe *et al* (2002)、Kodama (2000) などを用いられている Logistic 曲線の普及天井が Logistic 曲線で拡大する LGDCC との比較を行う。

LGDCC モデルは(10)式によって表される。

$$Y(t) = \frac{N_N}{1 + \alpha \exp(-\beta t) + \frac{\beta \cdot \alpha_N}{\beta - \beta_N} \exp(-\beta_N t)} \quad (10)$$

普及天井: $N(t) = \frac{N_N}{1 + \alpha_N \exp(-\beta_N t)}$ α_N, β_N, N_N : 定数

(10)式から分かるように、LGDCC モデルは時間のみの関数であるため、需要との相互作用を考慮していない。そのため、政策などの外性的な影響が強い場合、その影響を反映することができない。

本分析に提案したモデルは、対象の価格および累積生産量の関係を織り込むことにより、需給の相互作用効果を反映しているため、より現実的な普及天井すなわち潜在的市場を示すことができるものと考えられる。

5. 結論

本分析においては、需要と供給の動的な関係を考慮した普及モデルを提案した。他の普及モデルと比較して、価格および生産量を通して需要と供給の相互作用を考慮することにより、政策などの外性的影響がある場合でも対応することが可能である。

本分析の結果から、太陽電池においては、初期段階においては供給サイドの技術改善努力が重要であるものの、次第に需要サイドからのフィードバックが大きく影響していくことが明らかになった。

以上より、普及の促進には単にコストを削減し生産量を増やすのではなく、市場からのフィードバックをフルに活用するためにも、市場のニーズに応えた的確な製品開発が必要であるといえる。

参考文献

- [1] 総務省, 『情報通信白書』, 2001.
- [2] 米国商務省著, 室田泰弘編訳, 『デジタル・エコノミー2000』, 東洋経済新報社, 2000.
- [3] E. M. ロジャース, 『イノベーション普及学』, 産能大学出版社, 1990.
- [4] 大内紀知, 『イノベーションの進化を勘案した普及モデルに関する分析』, 東京工業大学修士論文, 2001.
- [5] J. Hofbauer and K. Sigmund, *The Theory of Evolution and Dynamical Systems*, Cambridge University Press, Cambridge, 1988.
- [6] F. Kodama, 2000. "Innovation Management in the Emerging in Environments," in Machuca, J. A. D. and Mandakovic, T. (eds.), *POM Facing the New Millennium (Selected Papers from the First World Conference on Production and Operations Management, POM Sevilla 2000)*.
- [7] P. S. Meyer and J. H. Ausubel, "Carrying Capacity: A Model with Logistically Limits," *Technological Forecasting and Social Change* 61, 1999, 209-214.
- [8] A. Nagamatsu, "Functionality Development as a Source of Innovation in high-Technology industry," Doctor theses submitted to Tokyo Institute of Technology (2001).
- [9] C. Watanabe, "Systems Option for Sustainable Development," *Research Policy* 28, 1999, 719-749.
- [10] C. Watanabe and R. Kondo, "Institutional Elasticity towards IT Waves for Japan's Survival -The Significant Role of an IT Testbet," *Technovation*, in print.