

○大内紀知, 渡辺千仞 (東工大社会理工)

1. 序論

IT (情報通信技術) の進歩は、情報流通の費用と時間を劇的に低下させ、密度の高い情報のやり取りを容易にし、我々の暮らしを飛躍的に便利にするとともに、世界規模での急激かつ大幅な社会経済構造の変化を生じさせることとなった。この結果、世界は工業社会から高度情報通信ネットワーク社会、すなわち情報と知識が付加価値の源泉となる社会に急速に移行しつつある (総務省, 2001 [1])。

しかし、我が国の IT 革命への遅れは、IT 戦略会議でも指摘されており、変化の速度の速い時代においては、現在の遅れが将来取り返しのつかない競争力格差を生み出すこと認識しなければならない。よって、我が国にとって、IT の普及を促進させることは非常に重要な課題であり、その課題を解決するためには IT の普及プロセスを理解することが求められる。

しかし、IT は、これまでの技術や製品とは異なる性質を持つため、その普及プロセスは必ずしも明らかにされてはいない。

そこで、本分析では、普及モデルを用いて、IT とこれまでのイノベーションの普及プロセスの違いを実証的に明らかにし、IT の特性を考察することを目的とする。

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

製品や技術などを含むより広い概念であるイノベーションの普及に関しては、様々な研究がなされている。

ロジャース (1990, [2]) は、人類学、農村社会学、マーケティング、コミュニケーション学などにおける 3000 以上の研究を普及に関する研究結果を整理、体系化した。この中で、ロジャースは、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 疫学モデル (ロジスティック曲線)

普及モデルとして最も一般的なものは疫学モデルであり、

(1) 式の微分方程式 (ロジスティック方程式) 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 Bass モデル

Bass モデル (Bass, 1969, [3]) では、採用者をマスメディアなど外的影響により自ら採用を行う革新者と、既採用者からの口コミ等の影響により採用を行う模倣者の 2 つに分類する。時点 t における革新者数は、 $p(K - f(t))$ (p : 革新係数)、模倣者数は、その時点までの採用者数に比例すると考え、 $q(f(t)/K)(K - f(t))$ (q : 模倣係数) とする。以上より、(3) 式が得られる。

$$\frac{df(t)}{dt} = \left(p + q \frac{f(t)}{K} \right) (K - f(t)) \quad (3)$$

(3) 式で $p = 0$ の場合、ロジスティック方程式と一致する。

2.2.3 Bi-logistic モデル

Meyer (1994, [4]) は、自動車、まず馬車との代替が起きた後、それ自身のさらなる普及が起きるように、普及は 2 つの波からなるとしている。そして、(2) 式で表せるロジスティック曲線を重ね合わせた Bi-logistic モデル (4) 式を用いて分析を行っている。

$$f(t) = f_1(t) + f_2(t) = \frac{K_1}{1 + a_1 \exp(-b_1 t)} + \frac{K_2}{1 + a_2 \exp(-b_2 t)} \quad (4)$$

2.2.4 Dynamic Carrying Capacity モデル

疫学モデルでは、イノベーションの潜在的な採用者数は一定であった。しかし、イノベーションの中にはその普及過程で、大いに変化していき、潜在的な利用者の数も増大するものもある。そこで、(1) 式の K を時間 t の関数と考えた (5) 式で表されるモデルも考えられている。

$$\frac{df(t)}{dt} = bf(t) \left(1 - \frac{f(t)}{K(t)} \right) \quad (5)$$

Banks (1994, [5]) は $K(t)$ を線形や指数関数などとしたモデルを提案している。Meyer and Ausubel (1999, [6]) は $K(t)$ をロジスティック曲線としたモデルを用いて、イギリスと日本の人口について分析している。

2.2.5 Lotka-Volterra モデル

生態学において、2 種の競争する種の相互作用をモデル化したものとして、(6) 式で表される Lotka-Volterra 方程式がある (Hofbauer and Sigmund, 1988 [7] など参照)。これもイノベーションの普及 (2 つの競合するイノベーションの場合) への応用が可能であると考えられる。

$$\begin{aligned} \dot{x} &= x(a - bx - cy) \\ \dot{y} &= y(d - ex - fy) \end{aligned} \quad (6)$$

(6) 式で、 x が存在しないときには、 y はロジスティック方程式に従う。

2.2.6 その他のモデル

上述のモデル以外に、Gompertz 曲線、Weibull 曲線なども代表的なモデルであり、P. Young (1993, [8]) はこれらのモデルを含む9つのモデルを比較している。遠藤、田村 (1997, [9]) は太陽電池の研究開発を対象とし、Logistic, Gompertz, Weibull, Bi-Logistic, Bi-Gompertz, Bi-Weibull の技術進歩モデルを比較している。

David (1975, [10])、Davies (1979, [11]) は、明示的な行動仮説に基づいたプロビット・モデルを用いている。David は、イノベーションを企業にとっての刺激と考え、それぞれの企業が刺激の臨界点をもっており、イノベーションという刺激がその臨界点を超えたとき、初めてそのイノベーションを採用するとした。David は臨界点を企業の規模で定義している。Davies は、臨界点に相当するものとして、最大利得可能期間を用いている。

世代を有する製品の普及に関しては、Mahajan and Muller (1996, [12]) が IBM の汎用コンピュータを例にして実証分析を行っている。

3. IT の特徴

多くの IT 市場は、「ネットワーク効果 (外部性)」という特性を備えており、その技術が普及するほど、その価値は高まることになる (米国商務省, 2000 [13])。富士総合研究所 (2001, [14]) は、IT 革命を「インターネットを中心とした近年の技術進歩をそれによってもたらされる社会の変化」、情報革命を「コンピュータや通信技術の進歩によって起こる社会の変化」として、IT 革命でもたらされたネットワークの外部性よりも、はるかに大きいと指摘している。

また、IT によって変革を引き起こされた新しい社会経済構造システムの中で、IT は当初想定しなかった機能を発揮し、新たな需要を生み出していると考えられる。例えば、移動体通信は、当初、利用者にとっては通話だけが使用目的であったが、i-mode などの登場により全く別の使われ方もするようになった。またパーソナル・コンピュータも、計算機やワープロとして専門家を中心に使われていたものが、インターネットや電子メールなどの登場により、マルチメディア端末としても利用されるようになり、業務用から一般用まで幅広く利用されるようになった。吉川 (2001) [15] も IT には需要を創造する力があると指摘している。

4. 分析のフレームワーク

4.1 分析の対象

本分析の目的は、IT とこれまでのイノベーションの普及プロセスの違いを分析し、IT の普及プロセスを理解することである。そこで、機能の多様性とユーザによる機能の操作性によって、IT 強度の違いをとらえ、1) 冷蔵庫庫、2) 固定電話、3) 日本語ワープロ、4) カラーテレビ (以下カラー-TV)、5) 移動体通信、6) パーソナル・コンピュータ (以下 PC)²、

の6つの製品について、日本における普及に関して分析する。6つの製品の関係は図1に示す。

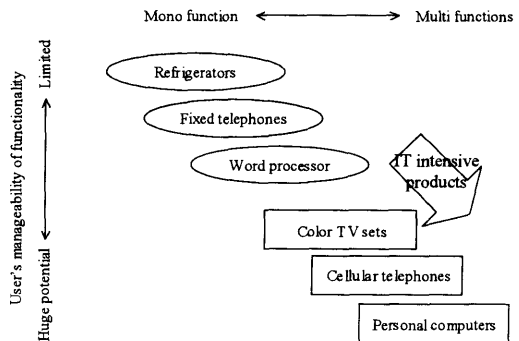


図1 製品の分類

4.2 分析モデル

IT はネットワークの外部性による価値の増加や、当初想定しなかった機能が次々と登場することにより、市場を連続的に拡大していくと考えられ、これが、これまでのイノベーションとは大きく異なる点である。よってこの点を明らかにするためには、(7) 式で表され、潜在的市場が変化する Dynamic Carrying Capacity モデルが最も適当であると考えられる。

$$\frac{df(t)}{dt} = bf(t) \left(1 - \frac{f(t)}{K(t)} \right) \quad (7)$$

次に $K(t)$ の関数形であるが、線形や指数関数にすると、潜在的市場規模が無限大に拡大することになってしまう。これは現実的ではなく、本分析では、Meyer and Ausubel (1999, [6]) と同様に $K(t)$ を (8) 式で表されるロジスティック曲線とする。すなわち、潜在的市場規模は時間とともに拡大するが、次第に増加率が減少していき、一定の値に近づく。

$$K(t) = \frac{K_K}{1 + a_K \exp(-b_K t)} \quad (8)$$

K_K : 潜在的市場規模の上限値

a_K : 潜在的市場が上昇し始める点を表すパラメータ

b_K : 潜在的市場の内的自然増加率

(7) 式に (8) 式を代入して解くと (9) 式を得る。

$$f(t) = \frac{K_K}{1 + a \exp(-bt) + \frac{b \cdot a_K}{b - b_K} \exp(-b_K t)} \quad (9)$$

ただし、 $a, b, a_K, b_K > 0, b > b_K$

本分析では、(9) 式で表されるモデルを Logistic Growth Function within a Dynamic Carrying Capacity と呼ぶ。このモデルにおいて、 $a_K \approx 0$ のとき、(8) 式は $K(t) = K_K$ 、また $b_K \approx 0$ のとき、 $K(t) = K_K / (1 + a_K)$ となるので、通常のロジスティック曲線と一致する。

¹ 携帯電話、自動車電話、PHS すべてを含む

² 本分析では、IT の特徴がより発揮され则认为られる 32bit 以上の PC のみを扱う。

4.3 データ構築³

一般的に、普及の分析にあたって、普及を表す指標としては、イノベーションの採用者の累積数を用いるのが適当であるとされている。

そこで、本分析では、固定電話と移動体通信については加入契約者数を用いた。

冷蔵庫、日本語ワープロ、カラーTV、PCについては、国内出荷台数に買い替え率を考慮した(10)式を用いて、累積利用者数とした。

$$N_t = P_t + (1 - \rho)N_{t-1}, \quad N_0 = P_1 / (g + \rho), \quad \rho = 1 / LT \quad (10)$$

N_t : 時点 t における製品の累積利用者数, P_t : 時点 t における国内出荷台数, g : 計測初期段階における国内出荷台数の伸び率, ρ : 製品の買い替え率⁴, LT : 製品の平均買い替え年数

5. 分析結果

Logistic Growth Function within a Dynamic Carrying Capacity による6つの製品について、パラメータの推定⁵を行った結果を表1に示す。またそれぞれの製品について図2-7に普及プロセスを示す。

表1 パラメータの推定結果

	K_K	a	b	a_K	b_K	$adj. R^2$	DW
冷蔵庫	51884200 (121.66)	31.793 (0.96)	0.177 (29.46)	0.181 (0.17)	0.175 (26.17)	0.999	0.09 ⁶
固定電話	60948330 (56.85)	4.177 (12.60)	0.155 (23.14)	0.026 (10.41)	0.155 (23.11)	0.997	0.18
日本語ワープロ	11849440 (78.27)	1.207 (1.10)	0.722 (17.40)	0.163 (3.51)	0.721 (17.24)	0.997	0.75
カラーTV	94780600 (71.91)	470.330 (2.01)	1.011 (9.68)	6.203 (22.36)	0.121 (31.74)	0.999	0.38
移動体通信	157768400 (8.70)	3.371 (7.49)	0.182 (19.71)	4.038 (8.13)	0.022 (15.50)	1.000	0.80
PC	172329500 (5.88)	1947.517 (7.27)	0.180 (49.33)	34.996 (7.06)	0.045 (17.93)	1.000	0.20

()内は t 値を示す

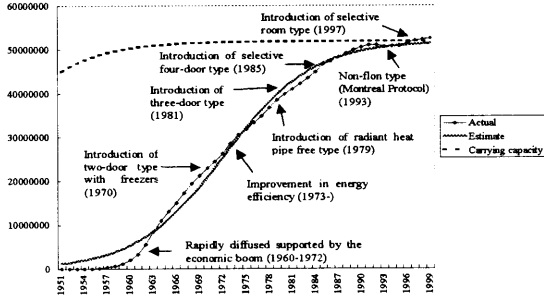


図2 冷蔵庫の普及プロセス (1951-1999)

³ データ構築にあたっては、機械統計年報 (経済産業省)、NTT's annual reports (NTT)、民生用電子機器国内出荷統計 (電子技術情報産業協会)、TCA's Monthly Reports (電気通信事業者協会)、パーソナル・コンピュータ自主統計 (電子技術情報産業協会)、消費動向調査 (内閣府) を用いた。

⁴ 1997年以前の平均買い替え率については、1998年以降の製品の平均買い替え率と電気機械産業における技術の陳腐化率 (C. Watanabe, 1999, [16]) の比から推定を行った。

⁵ 準ニュートン法による非線形回帰により求めた。

⁶ DW の値が0に近い値をしめしているが、これは、ストック化したデータを用いているため、どうしても前期の影響を受けてしまうからである。

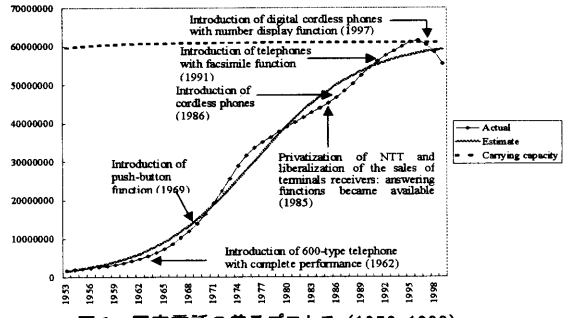


図3 固定電話の普及プロセス (1953-1999)

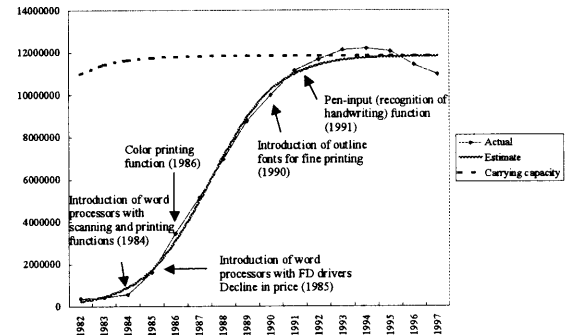


図4 日本語ワープロの普及プロセス (1982-1997)

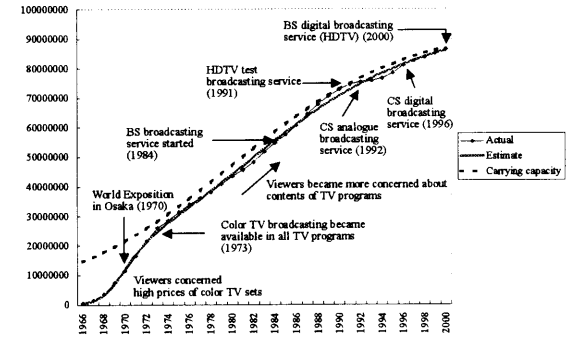


図5 カラーTVの普及プロセス (1966-2000)

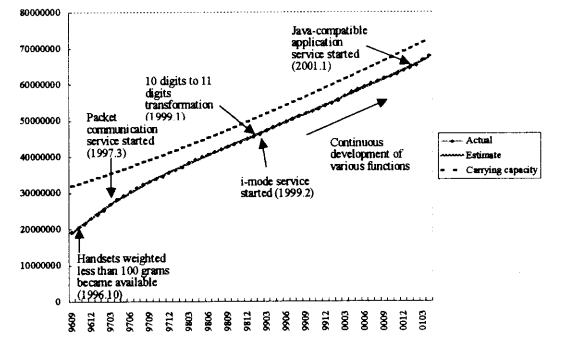


図6 移動体通信の普及プロセス (1996-2001)

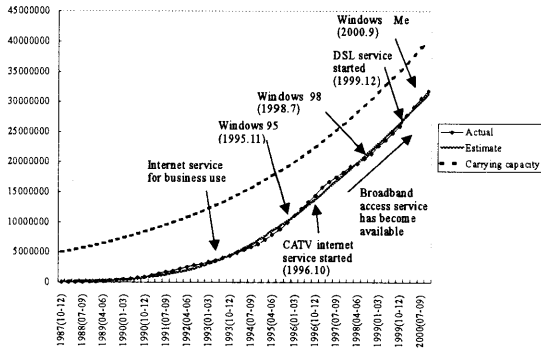


図7 PCの普及プロセス(1987-2000)

表1から冷蔵庫、固定電話、日本語ワープロは a_k の値が小さく、逆に、カラーTV、移動体通信、PCは a_k の値が大きい。よって、図に示したように、前者のグループは、潜在的市場規模がほぼ一定であるのに対し、後者のグループでは、潜在的市場規模が時間とともに増加している。すなわち、ITは自己増殖的に潜在的市場規模を拡大しながら普及していくといえる。

冷蔵庫、固定電話、日本語ワープロなどは、それぞれ、食料の保存、通話、文書作成という単一機能でのみの使用として普及していた。一方、移動体通信やPCでは当初には想定しなかった機能の出現、ソフトウェアの発達により、様々な目的への使用が可能になり、新たな需要が創出された。このことが潜在的市場規模の増加の大きな要因であるといえる。カラーTVは、見るという単一機能しかないと考えられるが、コンテンツ(番組)が多様化し、ユーザの選択性が増えたこと、またデジタルBS放送の双方向性、インタラクティブな機能の付加などにより、潜在的市場規模が拡大したと考えられる。また、TVはデジタルコンピュータ同様の機能の集積であるともいわれている(Noll, 1999 [17])。

ネットワークの外部性については、固定電話の潜在的市場がほぼ一定であることから、潜在的市場の拡大にはあまり貢献していないかのように思える。しかし、固定電話は、既知のコミュニケーション範囲においては、有効な手段であるが、自己のコミュニケーション範囲外でのネットワークの増加による効用は低い。そのため、例えばユーザ数が増加したとしてもネットワークの効果は希少であり、潜在的市場規模の拡大にはつながりにくい。一方、移動体通信やPCはインターネットを通じて不特定多数の知識や創造性と結びつくことができる。そのため、自己のコミュニケーション範囲外でのネットワークの増加による効果は高い。すなわち自己増殖的にその市場を拡大していくことができる。よって、固定電話では、ネットワークの外部性は潜在的市場の成長に貢献しているとはいえなかったが、移動体通信やPCにおいては、ネットワークの外部性も潜在的市場を拡大させた要因である可能性もある。

6. 結論と継続的発展課題

本分析では、Logistic Growth Function within a Dynamic

Carrying Capacityを用いて、これまでのイノベーションとITの普及プロセスの相違を実証的に明らかにし、後者は自己増殖的に潜在的市場を拡大しながら普及していくという結論を得た。

今後の課題としては、モデルの各パラメータにどのような支配要因があるのかを明確にする必要がある。

Watanabe and Kondo (2001) [18] は、技術革新・普及に影響を及ぼす広義の社会経済体質の変化に対する柔軟性(institutional elasticity)の欠如が、我が国におけるIT普及の遅れの原因であると指摘している。これらの関係を実証的に明確にすることは、IT普及の促進に重要な役割を果たす。

さらに、IT化に遅れたといわれる我が国において、テレビジョン放送のアナログからデジタルへの移行(地上放送も、関東・近畿・中京の三大広域圏は2003年末まで、その他の地域は2006年末までの放送開始を目指している)は重要な鍵を握る(総務省, 2001 [1])。この普及に対して、アナログとデジタルの競合関係を考慮したLotka-Volterraモデルや、Bassモデル、及びDynamic Carrying Capacityモデル等のアプローチを取り入れ改良したモデルを用いた分析が希求されている。

参考文献

- [1] 総務省, 『情報通信白書』, 2001.
- [2] 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.
- [3] F. M. Bass, "A New-Product Growth Model for Consumer Durables," *Management Science* 15, 1969, 215-227.
- [4] P. S. Meyer, "Bi-logistic Growth," *Technological Forecasting and Social Change* 47, 1994, 89-102.
- [5] R. B. Banks, *Growth and diffusion phenomena: mathematical frameworks and applications*, Springer-Verlag, Berlin, 1994.
- [6] P. S. Meyer and J. H. Ausubel, "Carrying Capacity: A Model with Logistically Limits," *Technological Forecasting and Social Change* 61, 1999, 209-214.
- [7] J. Hofbauer and K. Sigmund, *The Theory of Evolution and Dynamical Systems*, Cambridge University Press, Cambridge, 1988.
- [8] P. Young, "Technological Growth Curves A Competition of Forecasting Models," *Technological Forecasting and Social Change* 44, 1993, 375-389.
- [9] 遠藤栄一, 田村佳彦, 「太陽電池の技術進歩モデルの比較」, 第36回計測自動制御学会学術講演予稿集1, 1997, 81-82.
- [10] P. David, *Technical Choice, Innovation and Economic Growth*, Cambridge University Press, Cambridge, 1975.
- [11] S. Davies, *The Diffusion of Process Innovations*, Cambridge University Press, Cambridge, 1979.
- [12] V. Mahajan and E. Muller, "Timing, diffusion, and Substitution of Successive Generations of Technological Innovations: The IBM Mainframe Case," *Technological Forecasting and Social Change* 51, 1996, 109-132.
- [13] 米商務省著, 室田泰弘編訳, 『デジタル・エコノミー2000』, 東洋経済新報社, 2000.
- [14] 富士総合研究所, 『IT革命とは? 一超長期的な視点からの考察-』, 2001.
- [15] 吉川 洋, 『ITと経済成長: デマンドサイド重視の考え方』, 富士通総研経済研究所, 『IT革命のミクロとマクロ』, 2001.
- [16] C. Watanabe, "Systems Option for Sustainable Development," *Research Policy* 28, 1999, 719-749.
- [17] A. M. Noll, "The evolution of Television Technology," in D. Gerbang (Ed.), *The Economics, Technology and Content of Digital TV*, Kulwer Academic publishers, Norwell, MA, 1999, 3-17.
- [18] C. Watanabe and R. Kondo, "Institutional Elasticity towards IT Waves for Japan's Survival -The Significant Role of an IT Testbet," *Technovation*, in print.