

# 市場における新製品拡散予測

坂本 茂, 森村 英典

## 1. はじめに

新製品が市場でどれだけ売れるかを事前知することは、経営者や製品の開発者でなくとも興味のあることであろう。とはいっても、これは容易なことではない。市場における新製品拡散は、市場構造、製品特性、消費者行動等の多くの要因が複雑に絡み合っている上、さらに不測の社会・経済の変化も加わる。仮に複雑な新製品拡散メカニズムを解き明かすことができたとしても、社会・経済の変化の予測は難しい。とすれば、新製品の販売量を正確に予測することはほとんど不可能に近い。

それでは新製品の販売量の予測を試みることは意味のないことかという、そうとばかりはいえない。もちろん不測の要素がある以上、100%確実に新製品の販売量を知ることは不可能であろうが、それら不測の要素は考慮できなくとも、現実の現象に関わっている本質的要因を見極め、それを考慮して新製品の販売予測をすることは、市場構造や消費者行動を理解することにつながり、販売政策決定にも役立つであろう。

ところで、微分方程式はいくつかの量のごく微小な時間における変化に着目し、それらの間に成り立つ関係を記述するが、それを解いてある程度長い時間の挙動を眺めてみると、大局的な様子もかなりよく表わしていることに気づくことが多い。人間が直接関与しない自然現象では、特にそのような例が多く知られていて、理工学の分野で微分方程式が多く活躍している。

筆者の1人は振動現象の数値解析に携わっているため、微分方程式の持つ説明力の強さを常々認識し、社会・経済現象についても広く微分方程式の活躍する場があるのではないかと感じていた。そこで、次節で述べるバスモデルによる新製品拡散の挙動の記述に興味を持った。そして、耐久消費財を対象に、バスモデル

による、つまり微分方程式による製品拡散現象の記述力の確認を行なってみた。

そうしてみると、成熟製品においては、いったん、かなりの程度の消費者に普及した後、いくらかの時間を経過すると、(特に新モデルの発売を契機に)買い替え需要が喚起され、それが新たな購入者層を形成し、なかなか真の飽和状態にはならないことに気がついた。このような状況を表現するには、買い替え需要というものモデルにとりいれる必要があると考え、耐久消費財を対象に、買い替えを考慮した新製品拡散モデルを先に発表した [3]。本稿では、このモデルを販売予測に用いたとすればどのような結果になったかをシミュレートして、読者のご参考に供したい。

## 2. 新製品拡散モデル

### 2.1 バスモデル

耐久消費財の市場への普及を扱ったモデルとしては、バスモデル (Bass model) [1] がよく知られている。バスモデルは次式で表わされる。

$$dx/dt = (p + qx)(N - x) \quad (1)$$

ただし、

$x$  : 製品の累積販売量

$p, q$  : 製品拡散強度を表わす係数

$N$  : 達成され得る最大の需要量 (本稿では飽和需要量と呼ぶことにする)

である。

バスモデルは、製品の販売量の増加率が2つの要因から決まるとしている。すなわち、1つはinnovationと呼ばれ、製品の既購入者とは無関係に、いわば消費者個人が独自の意思決定にもとづいて製品を購入することによる製品拡散である。もう1つはimitationと呼ばれ、これは製品の既購入者が口コミ等によって未購入者を製品購入に引き込むことによる製品拡散である。係数 $p, q$ はそれぞれの製品拡散要因による普及の強さを表わす。これらのマーケティング上の意味は、宣伝・広告力をはじめとし、製品の持つアピール度、流行や消費者ニーズにマッチした度合い、さらには価格

さかもとしげる\*, もりむら ひでのり\*\*

\*㈱日立製作所 機械研究所

〒300 土浦市神立町502

\*\*日本女子大学 理学部数物科学科

面をも含む販売促進の強さを一括して表現するものととらえることができる。バスモデルについての解説は数多くあり、たとえば最近の本誌にも [4] がある。

## 2.2 競合型バスモデル

バスモデルに競争をとり入れた競合型バスモデルも提案されている [2]。これは、2種の製品の競争を考える場合、次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} dx_1/dt &= (p_1 + q_1 x_1 - v_1 x_2) (N - x_1 - x_2) \\ dx_2/dt &= (p_2 + q_2 x_2 - v_2 x_1) (N - x_1 - x_2) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここで、

$x_i$  : 製品  $i$  の累積販売量

$p_i, q_i$  : 製品  $i$  の拡散強度を表わす係数

$N$  : 飽和需要量

であり、また係数  $v_i$  は、一方の製品  $i$  が他方の製品  $j$  により普及を抑制される度合い、いわば製品  $i$  が競合によって受ける影響係数と解釈できる。式(2)は、競合製品の存在が、未購入者を減らすとともに、他方の製品拡散を抑制する方向に働くことを示している。なお、競合型バスモデルは、 $n$  ( $n \geq 2$ )種の製品の競争の場合にも拡張されている [2]。

## 2.3 買い替えを考慮したバスモデル

上記のバスモデル、あるいは市場競争を考える場合は競合型バスモデルに、次のように買い替えによる影響をとりいれよう。

まず、すでに製品を購入した消費者が買い替えを考えたとき、再び製品を購入する可能性を持つ消費者として飽和需要量に加わるとみなす。この買い替えにまわるまでの期間は消費者によって異なるので、これは確率変数であるとする。その分布は密度関数が次式で表わされるワイブル分布で近似するのがよいであろう。

$$f(\tau) = \begin{cases} 0 & (0 \leq \tau \leq \gamma) \\ \alpha \beta (\tau - \gamma)^{\beta-1} \exp(-\alpha(\tau - \gamma)^\beta) & (\tau > \gamma) \end{cases} \quad (3)$$

このとき、ある時点  $t$  において製品  $i$  を購入した消費者数は  $\dot{x}_i(t)$  なので ( $\cdot$  は時間  $t$  による微分)、過去において製品  $i$  を購入した消費者のうち、ちょうど時点  $t$  において買い替えにまわる消費者数  $r_i(t)$  は、

$$r_i(t) = \int_0^{t-T_i} \dot{x}_i(t-\tau) f(\tau) d\tau \quad (4)$$

で表わされる。したがって、時点  $t$  において買い替えにまわっている消費者の総数  $R_i(t)$  は、

$$R_i(t) = \int_{T_i}^t r_i(s) ds \quad (5)$$

と書ける。これが時点  $t$  において飽和需要量に加わると考えることにより、消費者が買い替えにまわることによる飽和需要量の変化を表現することができる。ただし、 $T_i$  は製品  $i$  の市場参入時点である。

ここで、飽和需要量の意味を明確にしておく必要がある。飽和需要量は達成され得る最大の需要量であり、これはもともとは潜在需要 (potential adopters) である。これに上で述べた買い替え需要が加わる。潜在需要は、製品を購入する可能性を持つ人々の総数 (購買層と呼ぶことにする) であるから、今対象としている耐久消費財の場合、その製品を購入することができるだけの所得を持つ人々の総数で評価するのが1つの方法と考えられる。

以上が買い替えのモデル化であるが、さらに、買い替えの際にブランドロイヤリティを持つ消費者が販売量に与える影響もモデルにとりいれる。

時点  $t_0$  において、ブランド  $k$  の製品  $i$  が製品  $j$  に移行するとする。このとき、製品  $i$  の既購入者で買い替えにまわる消費者のうち、ブランド  $k$  にロイヤリティを持つ消費者の割合を表わす係数  $b_k$  を導入する。そして、製品  $i$  の既購入者で時点  $t$  において買い替えにまわる消費者のうち、ブランド  $k$  にロイヤリティを持つ消費者  $b_k r_i(t)$  は自動的に同一ブランドの製品  $j$  を購入し、残りの消費者  $(1 - b_k) r_i(t)$  は他の製品も購入する可能性を持つ消費者として飽和需要量に加わるとする。これより、ブランドロイヤリティを持つ消費者が買い替えに与える影響を考慮することができる。

## 3. 高級乗用車市場への適用

上で述べた考えにもとづき、実際の高級乗用車市場の変遷過程を表現するモデルを作成して、計算結果を実績データと比較してみた。利用したデータは、1983年から1990年9月までのセドリック/グロリア (ブランド1)、およびクラウン (ブランド2) の新モデルについてのものである。高級乗用車市場は、考察の対象とした時期、この2つのブランドでほとんどが占められていた。

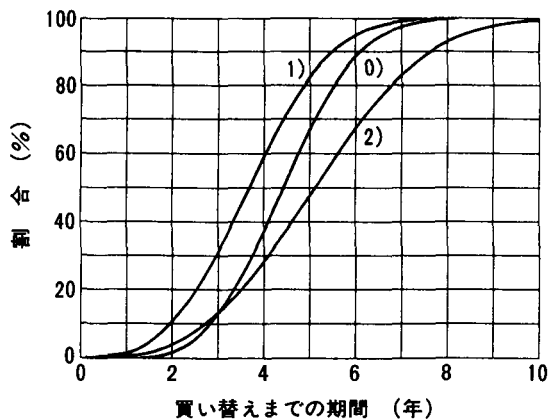
1983年6月に登場したセドリック/グロリアの新モデルを製品1、同年8月のクラウンの新モデルを製品2、1987年6月のセドリック/グロリアの新モデルを製品3、同年8月のクラウンの新モデルを製品4とする。

### 3.1 計算方法

2.1で述べたように、バスモデルにはinnovationと、imitationと呼ばれる2つの製品拡散の項がある。しかし、今考えている乗用車は市場に登場してからすでに長い期間が経過しており、人々は製品を熟知しているといつてよい。したがって、製品の既購入者が口コミ等により未購入者を製品購入に引き込むような製品拡散、すなわちimitationの項は小さいと考えられるので、ここではそれを無視し、innovationの項のみを考えた。製品*i*のinnovationの拡散強度を表す係数を $a_i$  ( $i=1, \dots, 4$ )、また、買い替えにまわる消費者のうち、ブランド*k*にロイヤリティを持つ消費者の割合を表す係数を $b_k$  ( $k=1, 2$ )とする。

計算に必要なパラメータの値は、次のように定めた。クラウン、セドリック/グロリアは高級乗用車なので、平均的ユーザーは700~800万円以上の年収を持つと考え、それらの所得者層を購買層と想定した。ただし、国民の所得分布に関して得られたデータ [5] は1987年までのものであったので、それ以降は外挿して推定した値を用いた。すなわち、1987年までの過去3年間はほぼ同数ずつ該当する所得者数が増加しているの、1988年以降もこれと同数ずつ増加していると仮定した。

また、買い替えまでの期間の分布を決めるパラメータの値は、 $\alpha=0.01$ ,  $\beta=3.0$ ,  $\gamma=1.2$ と定めた。このとき、買い替えまでの期間の分布は図1の0) のようになる。これは現実の乗用車の買い替え年数の分布に近いと考えてよいであろう。なお、図1の1)と2)のように、買い替えまでの期間が0) の場合よりも短



- 0) :  $\alpha=0.01$ ,  $\beta=3.0$ ,  $\gamma=1.2$
- 1) :  $\alpha=0.008$ ,  $\beta=3.0$ ,  $\gamma=0.0$
- 2) :  $\alpha=0.003$ ,  $\beta=3.0$ ,  $\gamma=0.0$

図1 買い替えまでの期間の分布

い、あるいは長い分布となる場合についても考察し、分布がこの程度の現実的な範囲であれば、ほぼ同様の結果が得られることを確認している。

### 3.2 計算結果

まず、次の3ケースを計算した。

ケース1：飽和需要量の変化を全く考慮しないとき

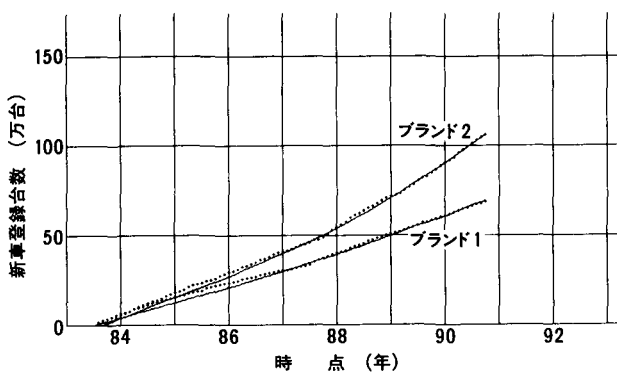
ケース2：購買層の(経時)変化を考慮したとき

ケース3：購買層の変化、買い替えを考慮したとき

実績値と計算値が最もよく合う製品拡散強度を表す係数 $a_i$  ( $i=1, \dots, 4$ )の値を求めた結果、飽和需要量の変化を詳しく考慮していくにしたがって、係数 $a_1$ と $a_3$ 、係数 $a_2$ と $a_4$ の値が近くなる。これは、両ブランドとも、モデルチェンジによって生まれた新製品の市場に普及していく強さが、旧製品のそれと比べて際だって大きくなったわけではないことを示している。極端な場合を考えると、モデルチェンジがなされても製品拡散強度はあまり変わらず、現実の販売量の増加は、所得水準の向上等による購買層の増加や買い替えによるものが支配的であり、それらで説明できない分は、ブランドロイヤリティを持つ消費者の購買によるもの仮説を立てることも可能である。そこで、ケース4として購買層の変化、買い替え、ロイヤリティを考慮し、今度は、両ブランドとも1987年のモデルチェンジの前後における製品拡散強度に全く変化はないと仮定して、ブランドロイヤリティに関する係数 $b_k$  ( $k=1, 2$ )だけをパラメータとして実績値と計算値を比較した。その結果を図2に示す。

現実のマーケット現象との詳細な対応はつけにくい、対象としたのが成熟製品の乗用車であり、しかも消費者によく知られた高級乗用車であることを考えると、図2で示した結果は実際の販売動向をよく表現しているといつてよいであろう。しかし、この結果のようにモデルチェンジが製品拡散強度に変化を与えないのであれば、開発費用をかけてモデルチェンジをする必要がないのではないかと意見もあり得よう。これについて、筆者らは製品拡散強度の振る舞いをもう少し詳しく調べ [3]、製品拡散強度は時間的に減少しており、モデルチェンジはそれを元の強さまで引き上げる、すなわち製品の陳腐化を防ぐ役割をしていることを指摘した。図2の結果は、製品拡散強度の詳細な変化を無視したマクロな扱いの場合の結果である。

なお、図2では、データの初期には実績値と計算値にやや差が見られるが、これは、実績データと計算結



$a_1=0.035, a_2=0.049, a_3=0.035, a_4=0.049$   
 $b_1=0.05, b_2=0.45$   
 ブランド1：セドリック/グロリア  
 ブランド2：クラウン  
 プロット点：実績値、実線：計算値

図2 実績データと計算結果の比較：購買層の変化、買い替え、ロイヤリティを考慮したとき

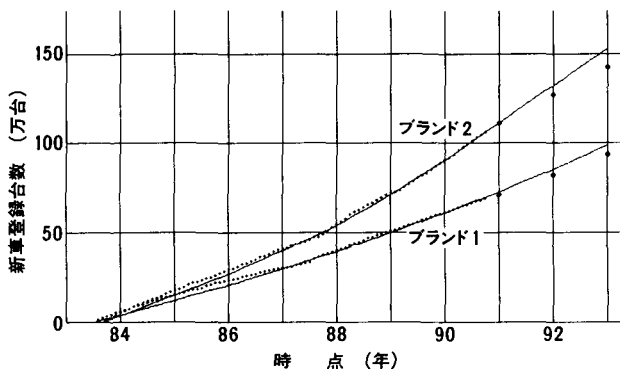
果の比較の対象とした時点以前にも、(旧モデル)の製品は販売されており、それらの購入者による買い替えが起きているにもかかわらず、計算ではそれを無視しているのが一因であると推定される。

#### 4. 予 測

それでは、このモデルを販売予測に用いたとしてみよう。

##### 4.1 計算による予測結果

筆者らが、当初、実績値と計算値の比較に用いたのは1990年9月までのデータであったが、現時点ではその後の実績データも公表されている。そこで、1990年



製品拡散強度、ロイヤリティに関する係数の値は図2のときと同一

ブランド1：セドリック/グロリア  
 ブランド2：クラウン

プロット点：実績値 (1990年以降はプロット点を大きくした)、実線：計算値

図3 計算による予測結果

9月までのデータを知り得たとして、本モデルを用いて、その後(1991年と1992年の2年間)の販売量を予測することを想定する。

購買層の値は、1987年までのデータから1990年までの値を推定したのと同様に1991年以降も外挿して推定する。

本モデルを用いて計算した場合の予測結果と販売実績の比較を図3に示す。なお、予測する期間の実績データは[6]から引用したが、1990年以降は(月毎ではなく)年間データしか掲載されないため、本図でもそのようになっている。

#### 4.2 考 察

まず、予測結果について表1にまとめる。

表1 実績値と予測値の比較

	相対誤差 (%)		
	ブランド1	ブランド2	平均値
1991年	14.8	31.5	23.2
1992年	17.9	33.8	25.9
2年間	16.4	32.7	24.5

この結果を見ると、計算による予測の誤差は、2年間を通してのブランド1、ブランド2の平均値で評価すると約25%となる。いずれも実績値よりも予測値の方が大きい。これは、バブル崩壊にはじまる長引く構造不況という社会・経済の変化にみまわれ、自動車の販売実績が不振であったことを考えると当然の結果であろう。

本稿では、1990年9月までの実績データを使ってその後の販売量を予測するという設定になったが、ちょうどこの時期がバブル崩壊の時期と一致し、予測には当然のことながら不利である反面、本モデルの外乱に対する強さを見るのには都合のよい状況でもあった。この期間(現在も続いているか)は、歴史の長い自動車産業も希にみる大きな影響を受けたため、不況を考慮していない単純な計算による予測では十分な結果とならなかったのは当然のことであろう。

そこで、1991年以降の飽和需要量 $N$ を変えて再計算してみる。バブル崩壊以後の販売不振は、所得の伸び悩みと買い控えが主な要因と考えられる。本モデルにおける飽和需要量 $N$ は購買層と買い替え需要からなるので、この値をパラメータとして、計算結果が実績データと合うような $N$ の値を求めてみたのである。

表2 Nを10%減らしたときの実績値と計算値の比較

	相対誤差 (%)		
	ブランド1	ブランド2	平均値
1991年	2.0	15.4	8.7
1992年	0.04	15.6	7.8
2年間	0.95	15.5	8.2

その結果を表2に示す。

上の表からわかるように、飽和需要量Nの値を当初の評価よりも10%小さくすると、実績値と計算値が比較的良好に一致する。所得の伸び悩みと買い控えを含めたおおまかな議論ではあるが、この飽和需要量の10%低下分が、バブル崩壊による落差と考えてよいであろう。そして、ここではこの縮小の度合いを予め考慮できなかったが、何らかの方法で所得の伸び悩みの程度等を見込むことができれば、この方法で予測することも可能であることを示している。

神ならぬわれわれ人間には、未来を予見することは不可能であるのはもちろんのこと、現実を生じている現象であっても、新製品拡散のように複雑なメカニズムを完全に解き明かすことは難しいであろう。しかし、現象から本質的要因をピック・アップし、それを何らかのモデルに表現することはわれわれにも可能である。本質を捉えたモデルを作成できれば、比較的信頼性のある、あえて俗な言い方をすれば、当たらずとも遠からずといった程度の予測には役立つのではないだろうか。

最後に、本モデルの適用範囲について考えておく。本モデルは耐久消費財の普及に買い替えを考慮したモデルであり、定常的に買い替えが行なわれている製品、たとえば本例の乗用車のほかに洗濯機、冷蔵庫、テレビ等にも適用できると考えられる。反面、1回の購入で済んでしまう程度にしか普及しなかった製品、たとえばジューサー・ミキサー、ホームベーカリー、家庭用餅つき機等は適用範囲外であろう。

## 5. おわりに

本稿では、買い替えを考慮した微分方程式による

新製品拡散モデルについて述べた。このモデルを高級乗用車市場にあてはめると、現実の販売動向をかなりよく表現できると考えられる結果が得られた。また、本モデルを使って、過去の販売実績データから将来の販売量を予測することを想定した計算も行なった結果、不況という大きな経済変動のもとで、2年あまり先の販売動向の予測誤差は、約25%であった。この結果は、精度は十分ではないとしても、現実の消費者行動を考慮した本モデルが、予測にもある程度の有効性を持っていることを示しているといつてよいであろう。

しかし、本結果は、高級乗用車市場における1つのケースだけであり、実用的な販売予測ツールに仕上げていくには、まだまだ多くの事例適用が必要と思われる。今後、本モデルの適用例を積み重ねていく予定であるが、たとえば、家電製品は、自動車のような販売台数のデータが手に入りにくいという欠点がある。よいデータをお持ちの方は、ご連絡いただければ幸いである。

## 参考文献

- [1] Bass, F. M.: A New Product Growth for Model Consumer Durables. *Management Science*, Vol. 15, No. 5 (1969), 215-227.
- [2] Ueda, T.: A Study of a Competitive Bass Model which Takes into Account Competition among Firms. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, Vol. 33, No. 4 (1990), 319-334.
- [3] 坂本 茂, 森村英典: 買い替えを考慮した新製品拡散モデル. *日本OR学会論文誌 (JORSJ)*, Vol. 37, No. 1 (1994), 12-33.
- [4] 山田昌孝: 新製品普及モデル. *オペレーションズ・リサーチ*, Vol. 39, No. 4 (1994), 189-195.
- [5] 経済統計年鑑. 東洋経済新報社, (1985-1989).
- [6] 自動車年鑑. 日刊自動車新聞社, (1991-1993).