

価格-販売量推移曲線のモデル化と活用法 -民生エレクトロニクス関連製品への適用-

金井 康弘
太陽誘電株式会社

阿部 圭司
高崎経済大学

関 庸一
群馬大学

(受理 2012 年 5 月 5 日; 再受理 2014 年 3 月 17 日)

和文概要 価格-販売量推移曲線は、価格と販売量の時系列データを用いて作成した散布図から推定される。我々は、この価格-販売量推移曲線をモデル化した。このモデルを民生エレクトロニクス関連商品のような価格下落が速い製品カテゴリーに適用すると、価格-販売金額推移曲線を先行指標として価格-販売数量推移曲線を推定することが可能になり、販売数量のピークとそのピークに達する価格を精度良く予測することができる。本稿では、この価格-販売量推移曲線モデルを提案するとともに、日本のデジタル・スチール・カメラや磁気テープ等の民生エレクトロニクス関連商品に適用することにより、本モデルの予測パフォーマンスが、従来方法より優れていることを示す。

キーワード: 予測, 数理モデル, マーケティング

1. はじめに

世界的に液晶 TV の需要数量の伸びが止まりつつある状況の中で、2011 年度は、日本の液晶テレビメーカーの敗戦が明確になった年であった。日本の大手家電メーカーは、生き残りを賭け巨額の投資を行っていたが、熾烈な戦いの結果、1 インチ 1000 円を切った市場価格と、日系メーカー各社の過剰生産設備が残っただけであった(注1)。なぜこのようなことが起こったのであろうか。このような事態は避けることができなかつたのであろうか。様々な側面の要因が考えられるが、次の2項目は明白である。

1. 市場において価格がどこまで下がるのか
2. 需要量がどこでピークに達するのか

という予測の失敗である。

本稿は、世界市場をターゲットとして、競合する複数のメーカーが生産し、一般の個人消費者に対して販売されている液晶 TV のような民生電子機器や、その電子機器に搭載されている電子部品デバイス、さらにその電子機器で使用される記録メディア等の周辺製品等のエレクトロニクス関連製品を対象にしている。このような製品を民生エレクトロニクス関連製品(注2)と呼ぶことにする。この民生エレクトロニクス関連製品は、技術革新が速くすべての製品に代替製品台頭の可能性があり、その代替製品の成長とともに、世代交代により衰退していくという特徴を有している。グローバル化した現代においては、代替製品の台頭により衰退期に入った先代製品は、その製品がそれまでに記録した最大販売数量を超えることはほとんど無い。そのため企業では、当該製品の導入期 成長期 成熟期 衰退期突入、のプロセスの予測が重要な課題の1つとなっている。

このように厳しい価格競争にあり、漸進的に進歩した新製品が次々とリリースされる民生エレクトロニクス関連製品は、価格が傾向的に下落するため、販売金額がピーク・アウトした後も販売数量の増加が継続し、遅れてピーク・アウトする [図 1]。しかし販売金額がピーク・アウトしても貢献利益 (売上高 - 変動費 - 固定費) がプラスであり、数量増加による薄利多売により利益確保が可能なため、多くの企業が事業を継続する。その際、数量増加に見合った生産能力と、その生産量に対して安定した利益確保を可能にする生産体制等の再構築が不可欠となる。これを実行するためには、最大需要数量とその時点における価格、およびその時期等についての信頼性の高い予測データが、事前に必要である。

一方、このような需要予測を目的としたモデルを構築する際、例えば Bass モデル [1] のように、販売データから時間を変数とする販売数量・金額の関数 (モデル) を推定するのが一般的であるが、時間を変数としたモデルの場合、予測の信頼性が乏しいといわれている。本稿で分析対象とする民生エレクトロニクス関連製品では、集計水準を適切に設定することにより販売量推移がベル型曲線を描く製品カテゴリーを見出すことができる。このような製品カテゴリーの場合では、ピークを過ぎて 1 ポイント以上のデータがある場合に限って、安定的な推定が可能になるといわれている [7, 15, 22]。しかしそれでは、ピークにおける需要数量の信頼性の高い予測値が、事前に入手できないことになってしまう。

これらの課題に対処する方法として、本稿では価格-販売量推移曲線をモデル化して活用する方法を提案する。さらに本モデルをチップ抵抗、金属化有機フィルムコンデンサー、磁気ヘッド、フロッピー・ディスク、デジタル・スチール・カメラ (以降、DSC) と磁気テープの 6 種の民生エレクトロニクス関連製品に適用することにより、本モデルの予測への活用について有効性確認も行った。なおこの価格-販売量推移曲線に関しては、モデル化やその活用法に関する研究は、我々がレビューした範囲においては見つけることができなかった。

本稿において、価格-販売量推移曲線のモデル化を可能にした要因として、次の 2 つが挙げられる。

1 つは、民生エレクトロニクス関連製品の価格変動を指数関数でモデル化したことである。製品を民生エレクトロニクス関連製品に限定すると、価格推移において、指数関数へのフィッティングの良い領域が必ず存在する。しかしこれまで価格推移を指数関数で表せることを積極的に利用した研究はほとんど無い。

2 つ目は、価格-販売量推移曲線のモデル化に、新製品普及モデル [15] を、一般的な動的関数モデル (注 3) [13] と捉え実験式 (注 4) [13] として活用したことである。この新製品普及モデルはベル型曲線を描き、製品ライフ・サイクルと密接な関係があることが広く知られている。一方参考文献 [10] によれば、価格-販売量推移曲線によりライフ・サイクルにおける成長期-成熟期-衰退期等のステージの客観的な同定 [図 1] が可能であることから、価格-販売量推移曲線が、新製品普及モデルと密接な関係があるものと考えた。しかし一般的に知られている Bass モデル [1] (注 5) に代表される新製品普及モデルは、主に耐久消費財のように初回購入のみで反復購入を考慮しないで済む程度の期間における、新製品の普及過程への適用を前提として構築されている [11, 27] (注 6)。そのため、我々が本稿の実証で取り上げた民生エレクトロニクス関連製品のうち、反復購入が想定される製品や、電子部品等の生産財への適用は本来認められない。そのため本研究では、新製品普及モデルとしてではなく、時間を変数とし 1 期あたりの販売量がベル型曲線を描く Bass モデルを、実験式として活用する。したがって本稿では、模倣係数や革新係数等の議論はせず、パラメータに新たな解釈を加え用いる。

これらの着想のもとに我々は、この価格変動モデルと Bass モデルを結合することにより価格-販売量推移曲線をモデル化した。

本稿の構成は以下の通りである。2章で、価格-販売量推移曲線に関し、従来の製品ライフ・サイクル論との関係やその性質等について述べる。3章では、価格-販売量推移曲線をモデル化するとともに、民生エレクトロニクス関連製品の(2.2で定義した)成熟期の長さに対して影響する要因について、本モデルから導かれた知見を用いて論じている。4章では、本モデルを6種の民生エレクトロニクス関連製品に適用し in-sample と out-of-sample の両面から本モデルの予測への活用法を紹介するとともに有効性を確認している。4.2では、本モデルと Bass モデルを用いて予測した最大販売数量を比較することにより、両者の予測パフォーマンスを比較検討している。

2. 価格-販売量推移曲線

2.1. 従来の製品ライフ・サイクル

製品ライフ・サイクル(以下 PLC)概念の理論的基礎を構築したのは Dean(1950)[5]であるといわれているが、正確な起源は定かではない。一般的な PLC の推移は、S 字型の成長曲線に従い、この S 字型の曲線がピークを迎えた後その成長は止まり下降し始める [4, 14, 19]。このような PLC は、導入期、成長期、成熟期、衰退期といった、おもに4つのステージに識別されると考えられている。

一般的に PLC の縦軸は、「需要量」で示されている。需要量の推移を見る尺度としては、売上金額、売上数量、生産金額、出荷数量、出荷金額、売上高成長率などが用いられている。このほかにも、輸送機械の場合では年間走行距離や、技術の発展もしくは知識体系 [20] を尺度とした PLC も存在している。しかし、どのような尺度を用いるのが有効であるかに関しては明らかになっていないとともに、統一的な見解も提示されていないのが現状である [18]。このように PLC は、体系について明確な合意が形成されていなかったために、いくつかの問題点が指摘されてきた [3, 26]。例えば、PLC の各ステージの識別の困難性である。通常は、需要量における成長率の変化、つまり需要量の変曲点によって規定されるものと考えられている。しかし参考文献 [17] によると、PLC 曲線の成長率や、PLC 曲線の2次導関数から考える成長の変化率は、各ステージを識別する基準になりえず、典型的な PLC 曲線から、導入・成長・成熟・衰退という4ステージを識別する根拠は何も得られないと指摘している。同一製品であれば、誰が分類しても同一のステージに分けることができなくては、導入・成長・成熟・衰退という PLC の各ステージの分類は、需要の推移を説明する能力を持っていないことになる。

さらに現状では、PLC の縦軸で使われる「需要量」として、金額や数量が恣意的に用いられている。本稿で議論しているように、エレクトロニクス関連製品では、同一製品でも数量と金額で描いた PLC の形状はかなり違ったものになる場合がある。これでは、同一製品でも異なった PLC の判断をしてしまい、製品の事業運営の意思決定を誤ってしまう可能性も出てくる。

従来の PLC の上記課題に対して、本稿で提案する価格-販売量推移曲線モデルは、次のようなことを目的としている。1つは、金額と数量の両方の推移に注目することにより、従来の PLC におけるステージ分類の定義とは異なるが、客観的なステージの識別を可能にすることである。さらに、数量と金額両方の価格-販売量推移曲線モデルを推定することにより、数量がピークとなる価格や最大数量の信頼性の高い予測値を提供することである。これによ

り事業運営に有効に活用することができるいくつかの有用な情報を得ることが可能となる。

2.2. 価格-販売量推移曲線の性質

本稿で議論する価格-販売量推移曲線は、製品カテゴリーを対象とする。この価格-販売量推移曲線は、価格 P と数量 Q の散布図から価格-販売数量推移曲線 $Q(P)$ 、価格 P と金額 A の散布図から価格-販売金額推移曲線 $A(P)$ が推定される [10]。この散布図は、販売数量・金額の時系列データから、販売金額を数量で割ることにより得られる平均価格と数量・金額の時系列データに加工し、その時系列データから直接作成できるのが特徴である。民生エレクトロニクス関連製品のように、価格競争が厳しく一方的に価格が下落する傾向を持つ製品カテゴリーの価格-販売量推移曲線では、データが散布図の高価格帯領域から低価格帯領域に向かって経時的にプロットされていくことが経験的に分かっている [図 1]。

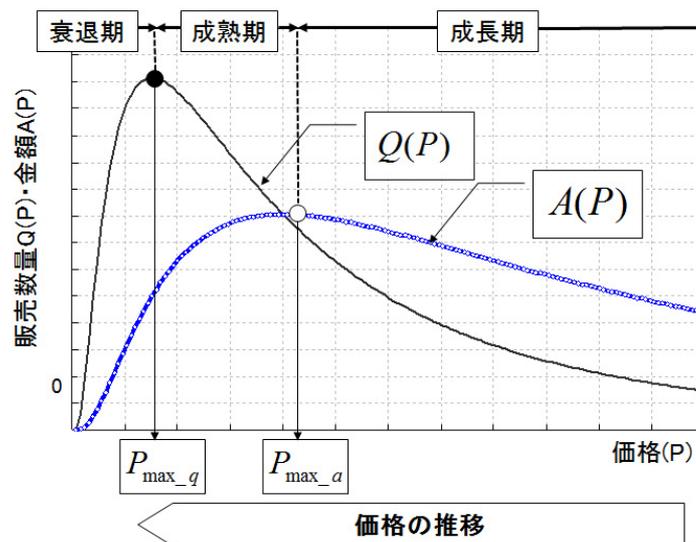


図 1: 価格-販売金額推移曲線 $A(P)$ と価格-販売数量推移曲線 $Q(P)$ の関係

参考文献 [10] では、価格-販売量推移曲線によって、バブル(景気)の視認を可能にする視覚化や、当該産業(業種・製品カテゴリー)の構造変化発生の視認を可能にする視覚化について報告している。

価格-販売量推移曲線では、価格-販売数量推移曲線 $Q(P)$ より価格-販売金額推移曲線 $A(P)$ の方が、高い価格で、時間的にも先にピークに達することも、経験的に分かっている [図 1][10](注 7)。したがって $A(P)$ を先行指標として用いることを目的にモデル化し、販売金額がピークを過ぎ 1 期経た、すなわち販売金額が最大となる価格 P_{max_a} を超えた時点で $A(P)$ のパラメータを推定できれば、そのパラメータを用いて推定した $Q(P)$ から、最大販売数量 $Q(P_{max_q})$ とその時点の価格 P_{max_q} 、さらにその時期を算出することにより、信頼性の高い予測値が事前に入手可能となる。この手法は、本稿で定義する成熟期の長い製品カテゴリーでは予測結果を有効に活用できるため、特に利用価値が高いと考える。

ここで今後の議論を進めやすくするために、図 1 において $A(P)$ 、 $Q(P)$ 両者の推移の特徴的な局面を 3 つに分類(金額・数量増加過程、金額減少・数量増加の過程、金額・数量減少過程)し、それらに命名しておく。本稿では、市場導入時の価格から販売金額が最大となる価格 P_{max_a} までを成長期、 P_{max_a} から販売数量が最大となる価格 P_{max_q} までを成熟期、 P_{max_q} にて販売数量がピーク・アウトし減少し続ける過程を衰退期と呼ぶことにする。この

分類法では、すべて価格をマイルストーンとして定量的に分類できるのが特徴である。なおここで定義した成長期・成熟期・衰退期は、2.1節で述べたような一般的製品ライフ・サイクルにおいて用いられている成長期・成熟期・衰退期と異なることに注意されたい。

この価格-販売量推移曲線は、製品の適正な価格設定を目的として、消費者の価格に対する反応情報を得るために、古くから経済学やマーケティングの分野において使われている価格-販売量反応曲線（価格-需要曲線等とも呼ばれる [21, 23-25]）とは異なることに注意されたい（注8）。

3. 価格-販売量推移曲線のモデル化

3.1. 傾向的に価格が下落する製品カテゴリーの価格推移-価格変動モデル-

民生エレクトロニクス関連製品は、図2に示すように、価格が市場に導入された直後から時間とともに下落している。この民生エレクトロニクス関連製品の多くが、PLCのステージを限定することにより、その推移を(1)式で与えられる指数関数で表現できる。なお $P(0)$ は定数、 g_0 は単位期間当りの価格下落率である。

$$P = P(0) \exp(-g_0 t) \quad (1)$$

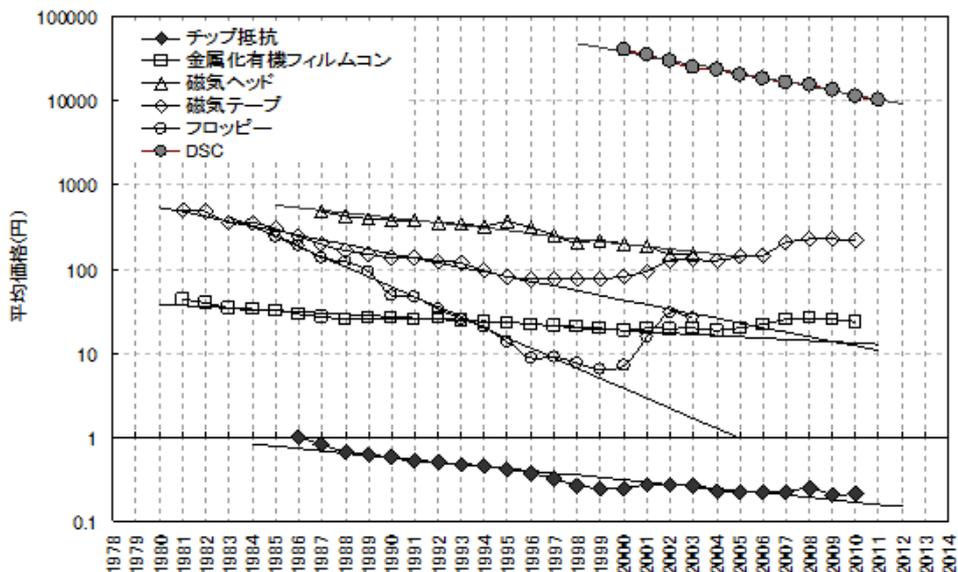


図2: 6種の民生エレクトロニクス関連製品の価格推移

様々なエレクトロニクス関連製品の価格推移を実際に分析してみると、産業機器等で見られるカスタム性の強い電子機器や電子部品、さらに半導体のCPUのように事実上独占的に生産・販売されている電子機器や電子部品デバイスなどに、(1)式が当てはまらない場合があることを確認している。またそれ以外の製品カテゴリーでも、PLCにおける導入期・成長期・成熟期・衰退期の全過程に(1)式を適用した場合、当てはまりが良くない。これらのことが、価格推移を(1)式で表せることを利用した研究が無い理由と考えられる。

しかし我々は、同質性の高い製品を、競合する複数のメーカーが生産し、一般の個人消費者に対して販売している民生エレクトロニクス関連製品において、成長期・成熟期・衰退期

表 1: 6 種の民生エレクトロニクス関連製品の価格変動モデルの推定結果とその精度

No.	製品	期間	データ数	価格変動モデル		
				$P(0)$	g_0	R^2
1	チップ抵抗器	1986年～2010年	25	0.770	0.0608	0.906
2	金属化有機フィルムコンデンサー	1981年～2000年	20	38.0	0.0357	0.922
3	磁気ヘッド(録画・再生)	1987年～2003年	17	528.5	0.0706	0.928
4	AV 磁気テープ	1981年～1996年	16	531.2	0.1264	0.975
5	フロッピー・ディスク	1985年～1999年	15	312.2	0.2750	0.988
6	DSC	2000年/1Q～2011年/2Q	46	44.4	0.0271	0.987

データの出典は1～5が経済産業省生産動態統計，6はカメラ映像機器工業会(CIPA)

初期の間に限定することにより，多くの製品カテゴリーの価格推移が，(1)式で表せることを確認した[図2]．

表1は，受動部品であるチップ抵抗と金属化有機フィルムコンデンサー，変換部品である録画再生用磁気ヘッド，メモリ部品としてオーディオ・ビデオ磁気テープとフロッピー・ディスク(ここまですべて[12])，そして民生電子機器としてDSC[2]に，(1)式を適用し推定した結果の精度評価である． R^2 値は，すべての製品で比較的高い値となっている．

3.2. 実験式としての Bass モデル

新製品普及モデルは，導入から成長期に加速的に販売数量が増加し，成長期から成熟期にかけて増加速度が減速し，その後販売数量がピークアウトして衰退していく過程をうまく描くという特徴を有している．一方図1に示すように，価格を変数とした価格-販売量推移曲線においても，PLCの特徴的な局面を明示することが可能である．我々は，このような両者の関係から，価格-販売量推移曲線モデルにおいて，この新製品普及モデルが構成要素の1つをなすものと考えた．

一般的に，普及曲線としてロジスティック曲線やゴンペルツ曲線，さらに Bass モデル等が挙げられる．なおこれらの普及曲線は，ハザード関数による定式化では系統的に扱うことができる[6]

本稿では，新製品普及の代表的モデルであり，ロジスティックモデルを包含するモデルになっている Bass モデルに注目した．Bass モデルは，電気機器・電子機器には広く適用されてきたが，購入者数で購入数量が決定されるような製品に適用することを前提として構築されている[1, 11, 27]．一方，本研究で適用を考えている受動部品のような生産財やオーディオ・ビデオ用磁気テープ等は，反復購入されるため，購入者数により購入数量が決定されるようなものではない．しかしながら我々は，Bass モデルが，このような製品にも良好なフィッティングを示すケースをしばしば経験している．そこでこれらの前提条件の呪縛から逃れるために，現象を数式によって模写する実験式として，Bass モデルを活用することを考えた．

Bass 基本モデルでは，1期当たりの販売数量 $S(t)$ は下式で与えられる[1]．

$$S(t) = \frac{m(p+q)^2 e^{-(p+q)t}}{\left\{1 + \frac{q}{p} e^{-(p+q)t}\right\}^2} \quad (2)$$

新製品普及モデルとしての Bass モデルは，さまざまな製品の普及過程を記述することに成功しているものの，ピークを過ぎて1ポイント以上のデータが無いと，予測の信頼性が乏し

いことがわかっており [7, 15, 22], out of sample においてピークの販売数量予測には有効であるとはいえない。

また Bass モデルでは, (2) 式における p は外的影響 (革新係数), q は内的影響 (模倣係数) と解釈されている。しかし本稿では p, q, m を単にデータにフィットさせるためのパラメータとして捉えなおし, さらに 3.3 において, 新たな解釈を試みている。

3.3. 価格-販売量推移曲線モデル

本節では, (1) 式を用いて (2) 式の t を消去し, 価格の関数に変換することにより価格-販売量推移曲線モデルを構築する。(2) 式を 1 期当りの販売数量を与える関数とすると, 価格-販売量推移曲線モデル $Q(P)$ は (3) 式で与えられる。

$$Q(P) = \frac{m(p+q)^2 P(0)^{\frac{p+q}{g_0}} P^{\frac{p+q}{g_0}}}{\left\{ P(0)^{\frac{p+q}{g_0}} + \frac{q}{p} P^{\frac{p+q}{g_0}} \right\}^2} \quad (3)$$

さらに販売金額が, 販売数量と平均価格の積 ($A(P) = P \cdot Q(P)$) で与えられることから, 価格-販売金額推移曲線 $A(P)$ は, (3) 式の両辺に価格 P を乗じることで得られる。

$$A(P) = \frac{m(p+q)^2 P(0)^{\frac{p+q}{g_0}} P^{\frac{p+q}{g_0}+1}}{\left\{ P(0)^{\frac{p+q}{g_0}} + \frac{q}{p} P^{\frac{p+q}{g_0}} \right\}^2} \quad (4)$$

(4) 式の価格-販売金額推移曲線モデルを用いて, 販売データにおける販売金額がピークを超えた時点で各パラメータを推定し, それらのパラメータを (3) 式に代入して価格-販売数量推移曲線 $Q(P)$ を推定することにより, 信頼性の高い最大販売数量 $Q(P_{max,q})$ や最大販売数量に達する価格 $P_{max,q}$ 等を推定することが可能となる。

(3), (4) 式は, 両者ともにベル型の曲線を描く。そのため, 両式をそれぞれ価格 P で微分して 0 となる価格が, 最大販売数量に達する価格 $P_{max,q}$ と最大販売金額に達する価格 $P_{max,a}$ になる [図 1]。本モデルの場合,

$$P_{max,q} = P(0) \cdot \left(\frac{p}{q} \right)^{\frac{g_0}{p+q}}$$

$$P_{max,a} = P(0) \cdot \left(\frac{p}{q} \right)^{\frac{g_0}{p+q}} \left(\frac{p+q+g_0}{p+q-g_0} \right)^{\frac{g_0}{p+q}}$$

であり

$$\theta = \left(\frac{p+q-g_0}{p+q+g_0} \right)^{\frac{g_0}{p+q}} \quad (5)$$

とすると $P_{max,q}$ と $P_{max,a}$ の間に $P_{max,q} = \theta \cdot P_{max,a}$ の関係が成り立つ。

θ 値は, $Q(P)$ に対して $A(P)$ がどの程度先行しているかを示す一種の先行性指標と捉えることができる。また別の視点では, 成熟期の長さを示す指標とも捉えることができる。この θ の値が 1 と比較して小さい製品カテゴリーほど, $Q(P)$ に対する $A(P)$ の先行性が高く成熟期が長い。そのため販売金額がピーク・アウトした後, 販売数量のピークまでに十分な

時間を確保できる．このような場合，本モデルにより予測した $P_{max,q}$ や $Q(P_{max,q})$ を用いて，事業運営のための政策立案とその実行が可能となる．

(5) 式を構成するパラメータ $p+q$ は，製品カテゴリーの市場への浸透の速さを表す指標と捉えることができる(注9)．一方 g_0 は単位期間当りの価格下落率であり，製品カテゴリーの価格下落の速さを表す指標と捉えられる．したがって， θ の値は，注目する製品カテゴリーの市場への浸透の速さと，価格下落の速さのバランスにより決まると考えることができる．

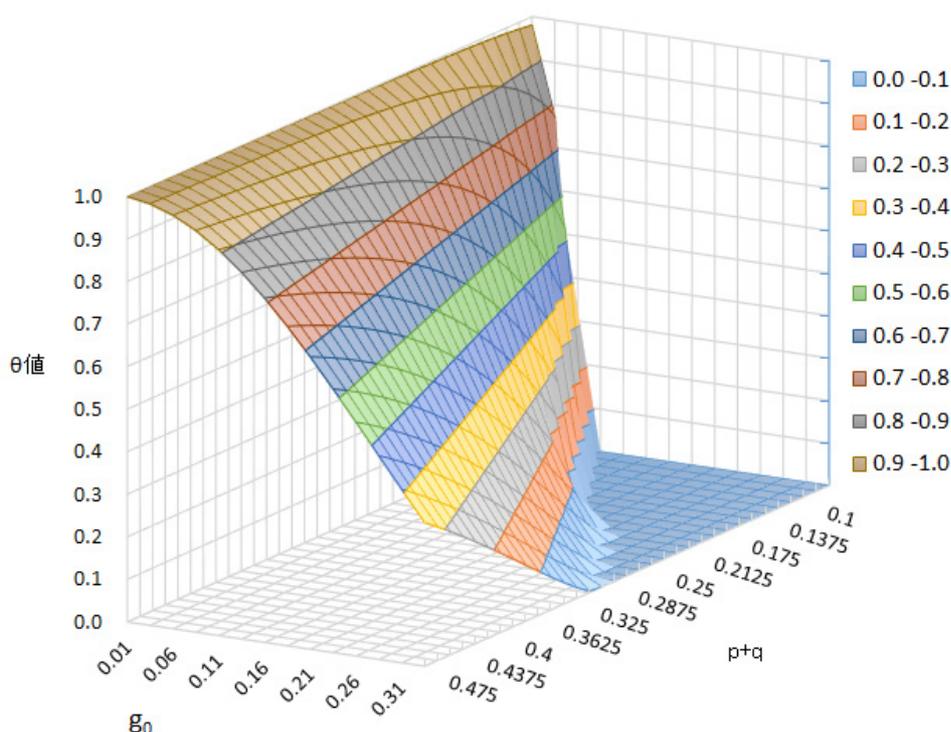


図 3: 各パラメータに対する θ の等高線図

図 3 は，パラメータ $p+q$ と g_0 に対する θ 値の等高線図である．図の形状は，価格下落が速いほど，製品カテゴリーの市場への浸透速度が遅いほど θ 値が小さくなり成熟期が長くなることを示唆している．(注 10)

また最大販売数量 $Q(P_{max,q})$ は，下式で与えられる．

$$Q(P_{max,q}) = \frac{m(p+q)^2}{4} \left(\frac{p}{q} \right) \quad (6)$$

(6) 式は，販売金額 $A(P)$ のピーク・アウトが確認できた時点で推定したパラメータのみで，最大販売数量 $Q(P_{max,q})$ が推定できることを示している．さらに市場への浸透が速い製品カテゴリーほど，それも内的影響に比べて外的影響による浸透が速い製品カテゴリーの方が， $Q(P_{max,q})$ が大きくなることを示唆している．一方，製品カテゴリーの価格下落の速さは $P_{max,a}$ や $P_{max,q}$ には影響するが，(6) 式には g_0 が含まれていないことから，最大販売数量には影響していないといえる．

4. 民生エレクトロニクス関連製品への適用

本章では、前章で提案したモデルを各種民生エレクトロニクス関連製品に適用し、モデルの有効性を評価する。4.1 では、in-sample におけるモデルの適合性を評価する。4.2 では、out-of-sample により本モデルの予測パフォーマンスを評価する。4.3 では、本モデルと Bass モデルを用いて、out-of-sample により予測した最大販売数量を比較検討する。

4.1. in-sample によるモデルの評価

本稿では、モデルを適用する民生エレクトロニクス関連製品として、実証性を重視して、 $A(P)$ がすでにピーク・アウトしたと考えられる製品カテゴリーに注目した（選択条件は注 11 参照）。それが表 1 の 6 種類の製品カテゴリーである。

まず表 1 に示した期間の実データにより作成した価格-販売金額の散布図に、(4) 式を適用し $A(P)$ を推定した。その際 $P(0)$ と g_0 は、それぞれ該当する製品の表 1 における推定値を用いた。モデルの推定は、 t 期の価格 P_t に対応する販売金額の実績値 A_t と、 P_t を (4) 式に代入して算出した計算値 $\hat{A}(P_t)$ との差の 2 乗値 $(= (A_t - \hat{A}(P_t))^2)$ の総和が最小になるように、ソルバーを用いてパラメータ p, q, m を推定した（注 12）。これはソルバーを用いた非線形最小 2 乗法に他ならない。さらに、ここで推定されたパラメータを (3) 式に代入することにより、価格-販売数量推移曲線 $Q(P)$ を推定した。

モデルの評価は $A(P)$ 、 $Q(P)$ と実データのフィッティング、および $P_{max,q}$ の予測値と実績値の比較によって行う。なお最大販売数量 $Q(P_{max,q})$ の精度に関しては、景気やその他の変動要因を含めて予測する必要があるため、その重要性が高い 4.2 における out-of-sample の予測パフォーマンス評価や、4.3 の、本モデルと Bass モデルを用いて予測した最大販売数量の比較検討のところで採り上げる。

表 2 は、6 種の製品カテゴリーに対し、それぞれ表 1 と同じ期間のデータを用いて推定した (4) 式の各パラメータ (p, q, m) と、 $A(P)$ と $Q(P)$ の R^2 値による推定精度の評価結果である。チップ抵抗の $A(P)$ [図 4] を除いて、他の製品すべてにおいて良好な推定精度といえる。チップ抵抗は、販売金額が景気変動や不規則変動の影響を受けやすい製品と考えられる。

パラメータ p, q に注目すると、民生エレクトロニクス関連製品の場合、外的影響による浸透の速さの指標 p の値に比べ、内的影響に伴う浸透の速さの指標 q の値の方が圧倒的に大きい（注 13）。磁気ヘッドの p/q 比は 0.29 と大きいですが、それ以外は 0.02 から 0.07 の間の値である。したがって $p+q$ の値の差異はほとんど内的影響に伴う浸透の速さの指標 q の値の差異といって良い。

図 4, 5, 6, 7 は、それぞれ国内チップ抵抗器、国内金属化有機フィルムコンデンサー、国内磁気ヘッド、国内フロッピー・ディスクの価格-販売数量推移曲線と価格-販売金額推移曲線である。なお DSC と磁気テープに関しては、4.2 で図示する。実データのプロットと価格-販売量推移曲線との乖離は、国内金属化有機フィルムコンデンサーと国内フロッピー・ディスクにおける衰退期の価格上昇に伴う乖離を除くと、景気変動や不規則変動等により生じているものと考えられる。

表 3 には、各製品カテゴリーにおける $P_{max,q}$ の予測値と実績値、さらに推定されたパラメータを用いて算出した θ 値を示している。 $P_{max,q}$ の予測値と実測値は、四半期次データを用いている DSC を除くと比較的良い精度であるといえる。DSC の販売数量・金額は、ともに第 1 四半期をボトムとし第 4 四半期をピークとする季節性を有している [図 9]。この季節性のため $P_{max,a}$ や $P_{max,q}$ の推定誤差が拡大する傾向にある。

θ 値については、フロッピー・ディスクの 0.17 から金属化有機フィルムコンデンサー 0.93

表 2: 価格-販売量推移モデルの推定結果とその精度

製品	価格-販売金額推移曲線モデル				価格-販売数量推移曲線モデル
	p	q	m	R^2	R^2
チップ抵抗器	0.0086	0.1496	561909464	0.616	0.819
金属化有機フィルムコンデンサー	0.0066	0.1890	6189073	0.885	0.940
磁気ヘッド(録画・再生)	0.0462	0.1594	54296	0.929	0.809
AV 磁気テープ	0.0160	0.2376	2547879	0.947	0.954
フロッピー・ディスク	0.0074	0.3358	3663388	0.883	0.928
DSC	0.0019	0.1046	5.95×10^{11}	0.838	0.892

表 3: $P_{max,q}$ の予測値と実績値の比較および θ 値

製品	予測値	実績値	θ 値
	$P_{max,q}$	$P_{max,q}$	
チップ抵抗器	0.26(円)	0.24(円)	0.73
金属化有機フィルムコンデンサー	21(円)	21(円)	0.93
磁気ヘッド(録画・再生)	346(円)	374(円)	0.78
AV 磁気テープ	138(円)	132(円)	0.58
フロッピー・ディスク	15(円)	13(円)	0.17
DSC	16,002(円)	13,150(円)	0.88

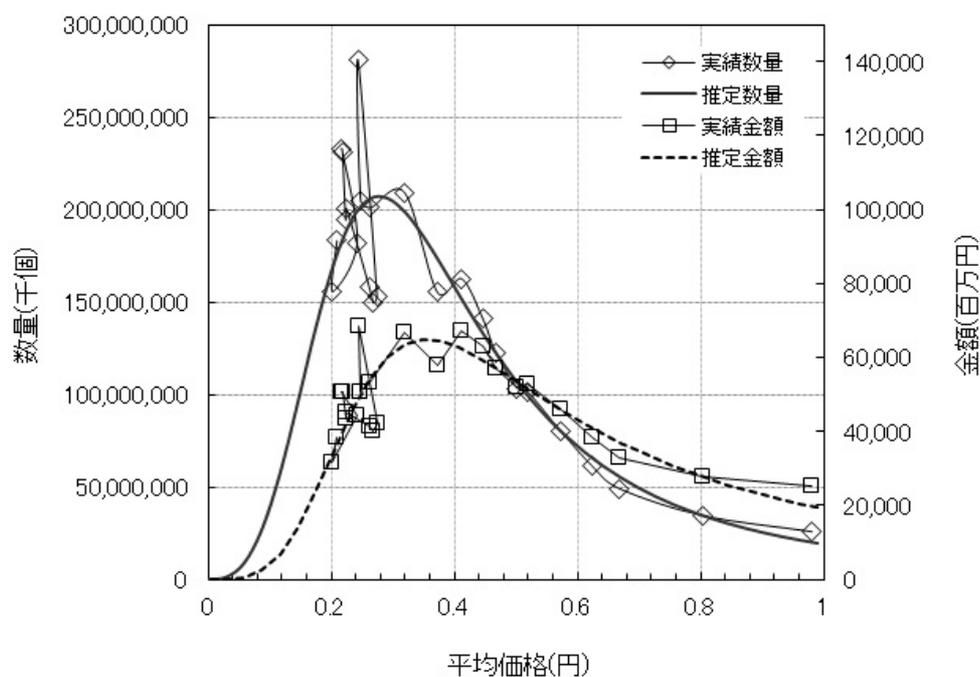


図 4: チップ抵抗の価格-販売量推移曲線

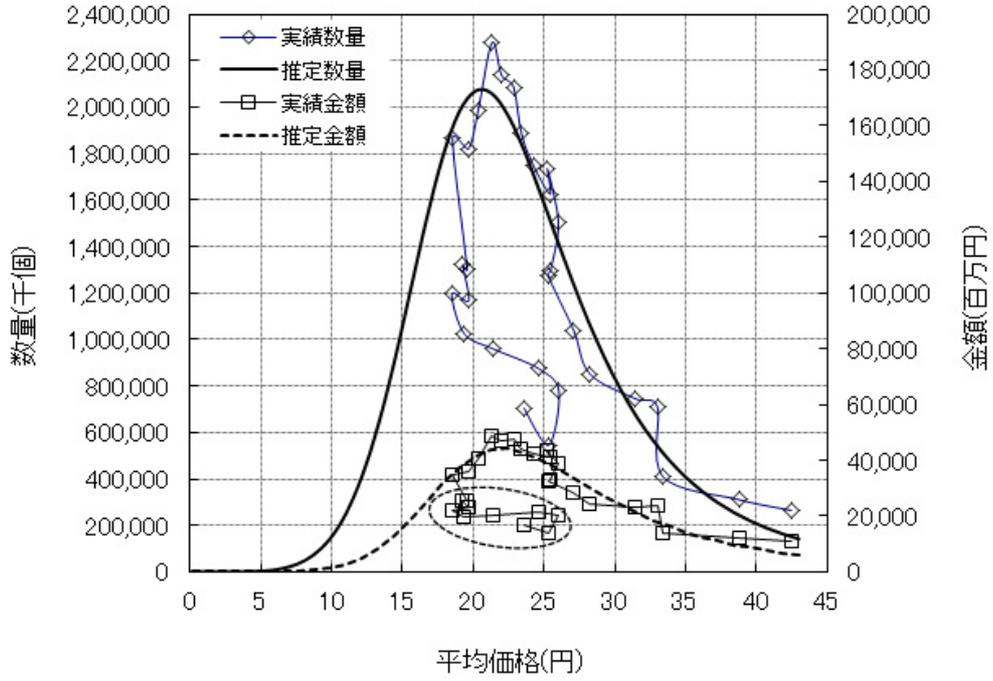


図 5: 金属化有機フィルムコンデンサーの価格-販売量推移曲線
破線楕円は衰退期における価格上昇期

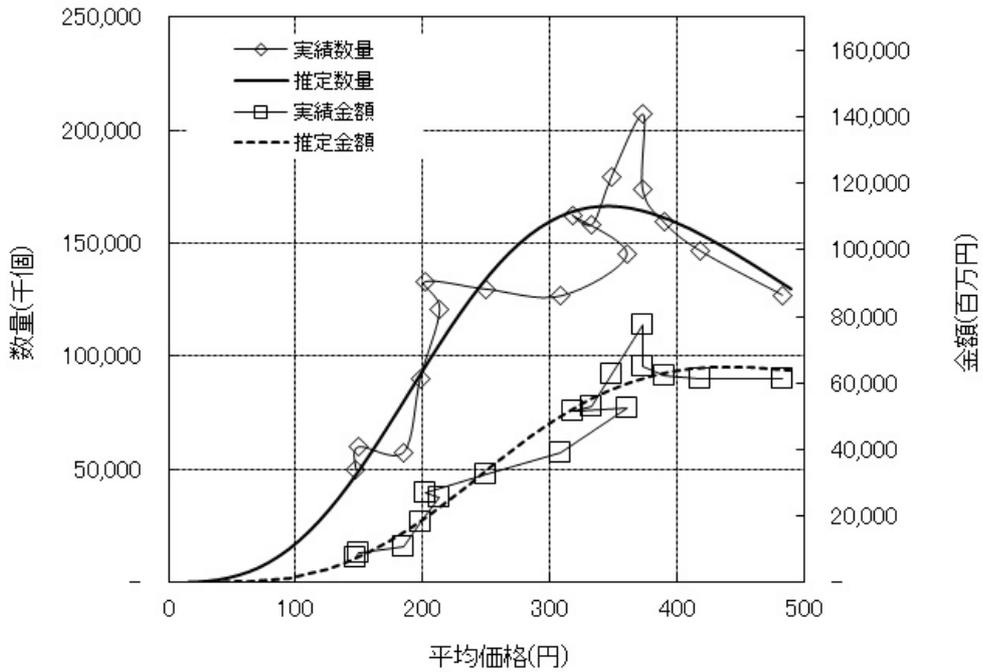


図 6: 録画再生磁気ヘッドの価格-販売量推移曲線

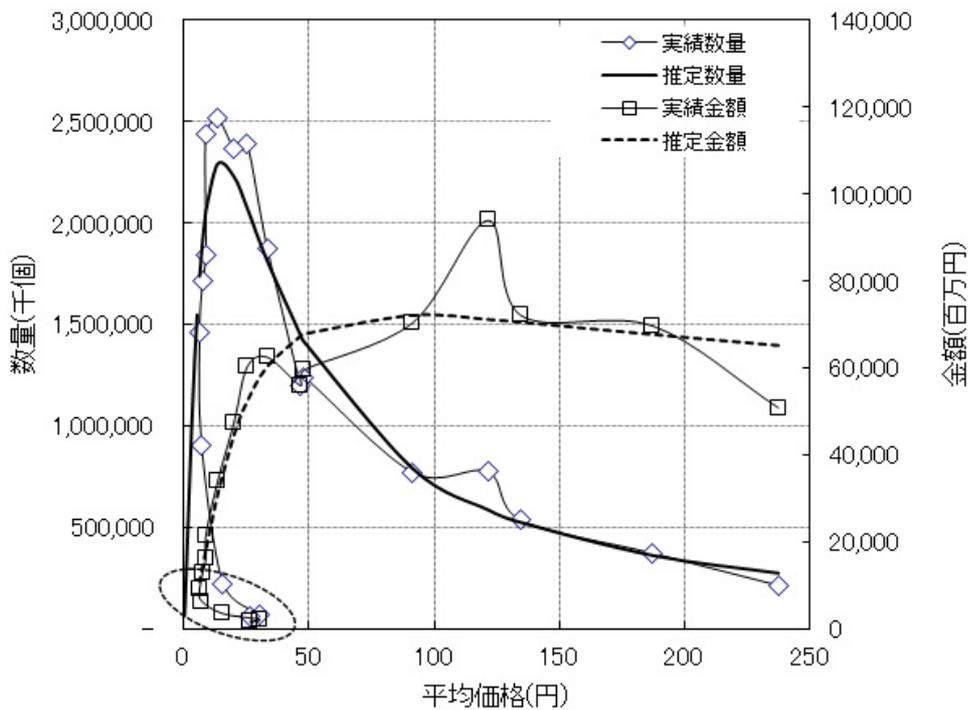


図 7: フロッピー・ディスクの価格-販売量推移曲線
破線楕円は衰退期における価格上昇期

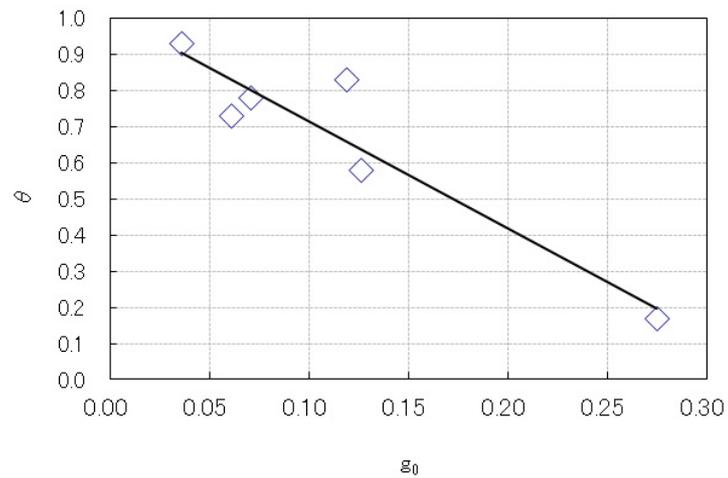
まで広く分布している。θ 値が 1 に近い金属化有機フィルムコンデンサーの場合、成熟期が短く販売金額がピーク・アウトした後すぐに販売数量のピークが訪れる。この場合、販売数量がピーク・アウトを迎えることに対する対応策については、迅速な実行が要求されるだろう。一方、1 に比べ小さいフロッピー・ディスクのような製品カテゴリーは成熟期が長いいため、数量がピーク・アウトを迎えることに対する対応策の立案と実行に十分な時間が確保でき、さらに本手法により予測した P_{max-q} や $Q(P_{max-q})$ を施策立案に有効に活用することが可能である。

ここで、θ の値にどのパラメータ ($g_0, p+q$) が影響しているかを、年次データにより推定した DSC を含む 6 製品カテゴリーのパラメータを用いて、重回帰分析により調べた。表 4 はその結果である。重回帰式においては、 g_0 が 1% 有意水準で有意であるが、 $p+q$ は g_0 に比べ有意性に劣ることが判明した。つまり成熟期の長期化に対して、製品カテゴリーの市場への浸透の速さの寄与は小さいといえる。 g_0 と θ の関係においては、単回帰ならびに重回帰においてともに係数が有意に負となり、このことから民生エレクトロニクス関連商品の場合、θ 値に対して g_0 が強く影響しており、価格下落の速い製品カテゴリーほど、成熟期間が長期化する傾向があることが分かった。

図 8 は、θ 値と g_0 の関係を散布図にしたものである。 g_0 が 0.05 より小さい製品カテゴリーは、θ が 0.8 より大きくなり、成熟期は極めて短いといえる。このような場合に備え、成長期の初期から g_0 を随時観測し、図 8 を用いて θ 値を推定することにより、成熟期の長さを予測することは極めて重要な作業といえる。このように、事前にかつ簡易的に成熟期間を推定するツールとして図 8 を活用するためには、事例を増やし、より一層の精度向上が求められる。

表 4: 民生エレクトロニクス関連製品における θ 値の重回帰分析結果

	偏回帰係数	P 値	偏回帰係数	P 値	偏回帰係数	P 値
$p + q$	1.320	0.010	-1.143	0.446	-	-
変数名 g_0	-3.925	0.001	-	-	-2.967	0.006
定数項	0.780	0.000	0.967	0.058	1.011	0.000
修正済決定係数	0.984		0.151		0.851	
AIC	-19.516		5.316		-6.446	
F 値	153.201		0.713		29.468	
サンプル数	6		6		6	

図 8: θ 値と g_0 の関係

4.2. out-of-sample の予測パフォーマンス評価

4.2.1. DSC

本項では、本モデルを現在成熟期にある DSC[2] に適用する。モデルの推定は、2000 年第 1 四半期から 2011 年第 2 四半期までの 46 期の四半期データのうち、当時、販売金額 (注 14) のピーク・アウトが推定できたと思われる 2008 年第 4 四半期までの 36 期のデータを用いて行った。まず価格のトレンド成分の推移を与える (1) 式の $P(0)$ と g_0 を推定した。次に、この $P(0)$ と g_0 を代入した (4) 式を、同じ期間の実データに適用しパラメータ m, p, q を推定した。その推定には最適化手法 (ソルバー) を用い、4.1 と同様の方法でパラメータを推定した (注 12)。

表 5 が、その推定結果である。価格変動モデル推定の R^2 値は 0.979 であり、指数関数への当てはまりは良いといえる。またパラメータ m, p, q 推定の R^2 値は 0.917 であった。図 9 は、価格-販売金額推移曲線と実データによる散布図、および価格-販売数量推移曲線と実績値の散布図である。価格-販売金額推移曲線と実データによる散布図は、ともに推定に使用した期間の実データと残りの期間の実データを区別できるように表示を変えている。価格-販売数量推移曲線は、価格-販売金額推移曲線で推定した表 5 のパラメータを、(3) 式に代入して推定した。2000 年第 1 四半期から 2011 年第 2 四半期までの全期間のデータでは、価格-販売金額推移曲線モデルの R^2 値が 0.839、価格-販売数量推移曲線モデルでは 0.894 であり、ともに実績値と推定値が良くフィットしているといえる。

表 5: DSC のパラメータ推定結果

価格変動モデル		価格-販売金額推移曲線モデル	
$P(0)$	43.4	m	6.6×10^{11}
g_0	0.0255	p	0.00187
データ数	36	q	0.09726
R^2	0.979	データ数	36
		R^2	0.917

表 6: θ 値および最大販売数量と最大販売数量・金額における価格

	単位	推定値	推定値 +1 σ	推定値 +2 σ	推定値 +3 σ	実績値
θ	-	0.873	-	-	-	-
$P_{max,q}$	千円	15.7	-	-	-	(13.2)
$P_{max,a}$	千円	18.0	-	-	-	20.0
最大販売数量	百万台	31.17	32.28	35.39	37.49	(34.86)

() はピーク・アウト後のデータが少ないため暫定値とした。

DSC の場合、季節性のため $P_{max,a}$ や $P_{max,q}$ の推定誤差が拡大する傾向にある。実際、価格-販売金額推移曲線の場合は、 $P_{max,a}$ の推定値 18.0 千円に対して、最大販売金額を記録したのは 2007 年第 4 四半期の価格 20.0 千円 [図 9 図中矢印] となっている [表 6]。一方 $P_{max,q}$ の場合は、推定値は 15.7 千円であるが、図 9 の実績値の価格-販売数量散布図では、数量がピーク・アウトしつつある推移を示しており、2010 年第 4 四半期の 13.2 千円、34.86 百万台が実績値の最大値 [図 6 図中矢印] となる可能性が高い [表 6]。この結果から、DSC は今後販

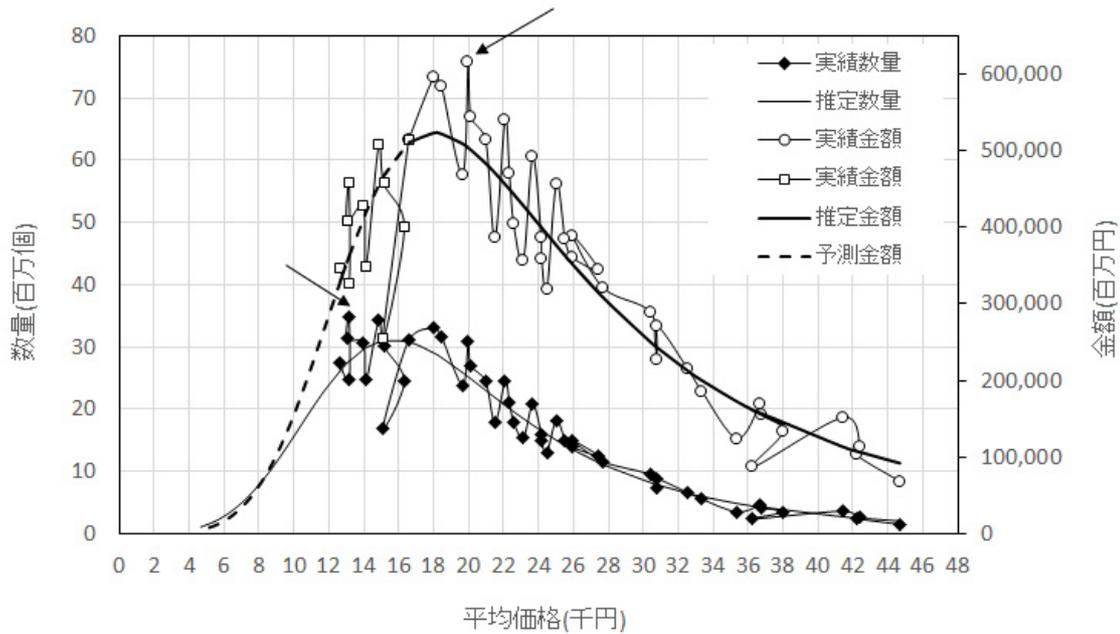


図 9: DSC の価格-販売金額および価格-販売数量推移曲線

売数量の減少が予想される。これは、近年における、DSC 機能の高性能化した携帯電話やスマートフォンの著しい成長が影響しているものと考えられる。

最大販売数量 $Q(P_{max,q})$ は、予測値 31.17(百万台) に対して実績値 34.86(百万台) で予測誤差が大きい。この誤差も、実データに景気変動、季節変動、不規則変動等が含まれていることが原因である。これを予測に反映する策として考えられるのが、モデルの推定期間における販売数量の実績値と予測値の誤差の標準偏差 σ の活用である。モデルの推定には、最小 2 乗法を用いているため、ピークの近傍において実データの最大販売数量は、推定値のそれより大きくなる。そこで推定値にそれぞれ 1σ , 2σ , 3σ を加算した値を実績値と比較してみた [表 6]。その結果、推定値 $+2\sigma$ の値が 35.39(百万台) であり、実績値 34.86(百万台) により近い値となっている。

DSC の θ 値は、0.873 であり比較的 1 に近い値である [表 6]。このような場合成熟期が短いため、数量がピーク・アウトを迎えることに対する対応策については、迅速な決断と実行が要求される。

4.2.2. 国内磁気テープ

磁気テープによる評価には、1981 年から 2009 年までの年次データ (29 期) を用いた [12]。なお価格-販売金額推移曲線モデルの推定には、1981 年から 1987 年までの 7 期のデータを用いている。販売金額の実績値が、1985 年をピークに 2 年連続して減少していることから、景気後退や不規則変動のような一時的な現象ではなく、トレンドの転換に伴うピーク・アウトと判断することが、1987 年当時可能であった。またサンプル数的にもモデルによる推定の成否評価が可能であった。DSC と同様に、価格変動モデルのパラメータ $(P(0), g_0)$ も同じ期間で推定し、これを確定値として使い、ソルバーにより (4) 式を推定した。

それらのパラメータの推定結果と、推定した価格変動モデルおよび価格-販売金額推移曲線モデルの R^2 値を表 7 に示す。また図 10 には価格-販売金額推移曲線と価格-販売数量推移

曲線の推定値と実績値の散布図を示している。

国内磁気テープは、衰退期に入ることにより撤退企業の増加が顕著となった1998年以降平均単価が上昇している [図10 図中破線丸]。この上昇した期間を除いた1981年から1998までの期間(18期)に注目すると、価格-販売金額推移曲線 ($R^2 = 0.955$)、価格-販売数量推移曲線 ($R^2 = 0.948$) とともに、推定値と実データの推移が良好な適合性を示している。

表 7: 国内磁気テープのパラメータ推定結果

価格変動モデル		価格-販売金額推移曲線モデル	
$P(0)$	610.5	m	2.35×10^6
g_0	0.157	p	0.0148
データ数	7	q	0.2893
R^2	0.964	データ数	7
		R^2	0.701

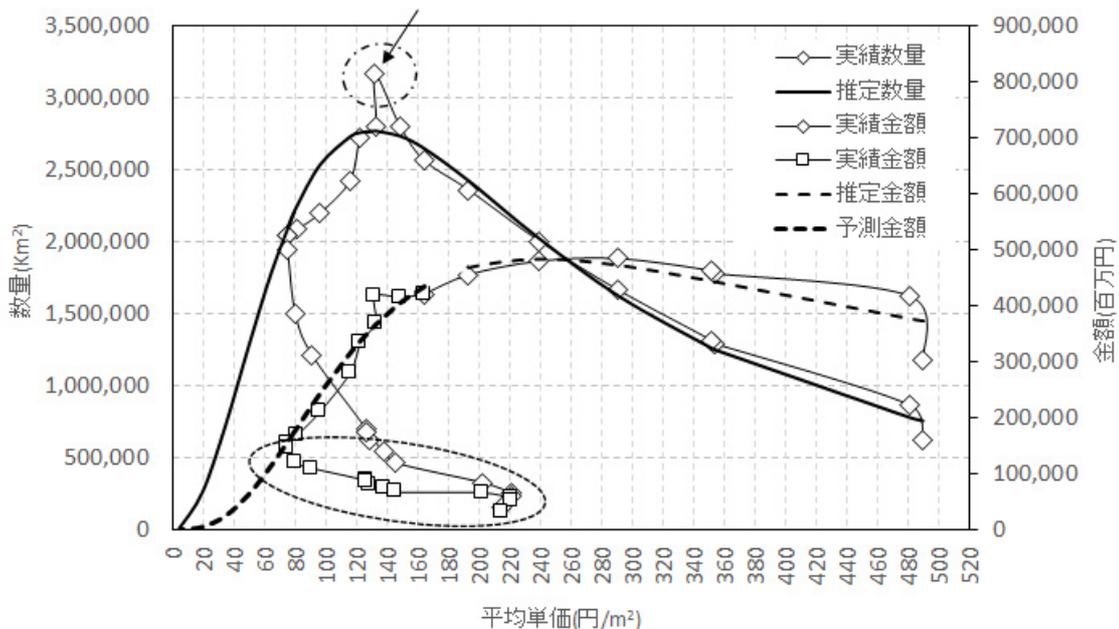


図 10: 国内磁気テープの価格-販売金額および価格-販売数量推移曲線

ただし図10[図中1点破線丸]の価格-販売数量推移曲線においては、 $P_{max,q}$ 付近で実データが突出しており推定値の誤差が大きい。この突出は1989年から1992年の期間に当たる。この時期は平成バブルの好景気にあり、特に1990年はその頂点にあった。そのため、販売数量が過剰に上振れしたのが原因であり外れ値と考えられる。しかし、実績値、推定値ともに、ほぼ1990年頃の値が最大販売数量 $Q(P_{max,q})$ [図10 中矢印] になっており、価格-販売数量推移曲線における推定値の推移は、実績値における販売数量の増減の方向性とほぼ一致している。

表8には、最大販売数量の予測値、予測値 $+\sigma$ (なお σ は、1981年から1987年までの7期のデータの実績値と推定値の誤差から算出)、予測値 $+2\sigma$ 、予測値 $+3\sigma$ および実績値を比較している。誤差を反映することで予測値はより実績値に近い値になっている。本項の結果と

表 8: θ 値および最大販売数量と最大販売数量・金額における価格

	単位	推定値	推定値 +1 σ	推定値 +2 σ	推定値 +3 σ	実績値
θ	-	0.556	-	-	-	-
P_{max-q}	円	132	-	-	-	132
P_{max-a}	円	238	-	-	-	291
最大販売数量	Km^2	2.79×10^6	2.87×10^6	2.95×10^6	3.04×10^6	3.16×10^6

前項の DSC の結果とを合わせて考察すると、予測値として推定値 +2 σ に注目することは有効なことと考えられる。

1988-89 年当時、バブル景気に伴う仮需による数量の急激な伸びが、その後も継続すると誤った判断を下し、生産能力増強投資を行った企業もあったかもしれない。実際には、1990 年に平均単価 132 円でピーク ($3.16 \times 10^6 Km^2$) [図 10 中矢印] に達し、その後減少に転じ急激に減少した。そのため、そのような企業は大きな損失を被った可能性がある。もし金額のピーク・アウトが確認された 1987 年に、本モデルを用いて予測していたとすれば、数量ピークが平均価格 132 円、 $Q(P_{max-q})$ は $2.79 \times 10^6 Km^2$ (推定値 +2 σ の場合は $2.95 \times 10^6 Km^2$) と予測されていたことになる。このように本モデルは、製品の事業運営に有効に活用できる可能性を秘めている。

4.3. 価格-販売量推移曲線モデルと Bass モデルによる最大販売数量予測

4.1 では in-sample により、4.2 では out-of-sample により価格-販売量推移曲線モデルと実データの比較評価を行った。本節では、本モデルと Bass モデルを用いて out-of-sample により最大販売数量を予測し、予測パフォーマンスの比較評価を行う。

比較は、チップ抵抗器、金属化有機フィルムコンデンサー、磁気テープ、フロッピー・ディスク、DSC で行った。磁気ヘッドは、成長期にあたる期間のデータが少なく予測が困難と判断し除外した。

ここでは、実データにおいて最大販売数量を記録した期の 2 年前までのデータを用い、モデルを推定し、それぞれ最大販売数量の予測を行った。なお両モデルの推定には、ソルバーを用いている。価格-販売数量推移曲線モデルの予測は、4.2.1 や 4.2.2 と同じ手順で行っている。一方 Bass モデルは、Bass 基本モデル (2) 式を、注 12 の方法で変換し、 t 期の販売数量の実績値 S_t と、 t を (2) 式に代入して算出した計算値 $\hat{S}(t)$ との差の 2 乗値 ($= (S_t - \hat{S}(t))^2$) の総和が最小になるようにパラメータを推定した。

各製品カテゴリーにおける各モデルの推定結果と、それらのモデルにより予測した最大販売数量及び P_{max-q} を表 9 に示す。各製品カテゴリーの表には、実績値も載せている。なおチップ抵抗と磁気テープは、販売数量のピークが、それぞれ IT バブルと平成バブルの好景気の時期に当たり、外れ値とみなせるほど突出しているため [図 4,10]、ピークの年の前後を含めて 3 年間の平均値も載せている。また、DSC は四半期データであり季節性の影響が最大販売数量に反映されているため、最大販売数量を記録した四半期を含む 2010 年度で平均した四半期販売数量も載せている。これらは、表 9 中の実績値の欄に括弧で括り示した。

チップ抵抗器、磁気テープ、フロッピー・ディスク、DSC に関しては、Bass モデルに対して価格-販売量推移曲線モデルの方が、予測パフォーマンスが優れていることが分かる。例えば、チップ抵抗器では、Bass モデルが予測する最大販売数量は実績値の 1.4 倍、磁気テープの場合は 28.8 倍、フロッピー・ディスクの場合は 123.6 倍、DSC の場合も 2.4 倍と、極め

表 9: 各製品カテゴリーの最大販売数と $P_{max,q}$ の予測結果の比較

チップ抵抗器				
モデル推定期間 1986年～1998年(ピーク:2000年)				
	単位	Bass モデル	価格-販売数量推移曲線モデル	実績値
p		0.00486	0.00865	
q		0.19237	0.16816	
m		1,200,092,775,143	514,966,547	
データ数		13	13	
R^2		0.96	0.98	
最大販売数量	千個	294,791,766	207,120,906	280,534,036(212,864,933†)
$P_{max,q}$	円	-	0.278	0.244
†: ピーク年の2000年と前年, 次年の3年間の平均				
金属化有機フィルムコンデンサー				
モデル推定期間 1981年～1997年(ピーク:1997年)				
	単位	Bass モデル	価格-販売数量推移曲線モデル	実績値
p		0.00745	0.000506	
q		0.18787	0.128727	
m		5,563,169,891	1,361,652,448	
データ数		15	15	
R^2		0.97	0.95	
最大販売数量	千個	2,098,520	22,360,610	2,277,238
$P_{max,q}$	円	-	8.2	21.3
磁気テープ				
モデル推定期間 1981年～1988年(ピーク:1990年)				
	単位	Bass モデル	価格-販売数量推移曲線モデル	実績値
p		0.00035	0.01494	
q		0.1919	0.28564	
m		5,009,277,514,369	2,343,067	
データ数		8	8	
R^2		0.96	0.99	
最大販売数量	千個	83,692,586	2,768,717	3,163,243(2,919,567†)
$P_{max,q}$	円	-	131	132
†: ピーク年の1990年と前年, 次年の3年間の平均				
フロッピー・ディスク				
モデル推定期間 1985年～1993年(ピーク:1995年)				
	単位	Bass モデル	価格-販売数量推移曲線モデル	実績値
p		0.000044	0.007574	
q		0.28381	0.335797	
m		100,009,277,514,368	3,460,986	
データ数		9	9	
R^2		0.97	0.95	
最大販売数量	千台	309,179,015	2,301,010	2,514,187
$P_{max,q}$	円	-	15	13.5
DSC				
モデル推定期間 2000年Q1～2008年Q4(ピーク:2010年Q4)				
	単位	Bass モデル	価格-販売数量推移曲線モデル	実績値
p		0.00088	0.00187	
q		0.06595	0.09726	
m		5,009,277,514,600	660,927,751,461	
データ数		36	36	
R^2		0.94	0.96	
最大販売数量	台	74,329,632	31,172,289	34,856,857(30,388,945†)
$P_{max,q}$	千円	-	15.7	13.2
†: ピークのある2010年度の四半期平均				

で大きな値となっている。このようにベル型曲線を描くデータにおいて、ピークを超える前にモデルを適用した場合、販売数量を過大に予測する傾向があり、実務でこの方法を用いることは極めて危険である。

これに対して価格-販売量推移曲線モデルの予測誤差は、チップ抵抗器では実績値の-2.7%、磁気テープの場合は-5.2%、フロッピー・ディスクの場合は-8.5%、DSC の場合も+2.4% であり、予測パフォーマンスは比較的良好である。また価格-販売量推移曲線モデルでは、 $P_{max,q}$ も同時に予測でき、その予測パフォーマンスも良好といえる。

一方、 θ 値が 0.93 であり $P_{max,a}$ と $P_{max,q}$ が極めて接近しており成熟期が短い金属化有機フィルムコンデンサーの場合では、逆に Bass モデルの予測パフォーマンスが優れている。Bass モデルが予測する最大販売数量が実績値の約-7.8% に対して、価格-販売量推移曲線モデルでは実績値の 9.8 倍と予測パフォーマンスが極めて悪い。金属化有機フィルムコンデンサーの場合、モデル推定の時点で $A(P)$ がピーク・アウトしていないことが、価格-販売量推移曲線モデルの予測パフォーマンスを悪くしている最大の要因である。しかし同様の条件にある Bass モデルでは、最大販売数量に関して良好な予測パフォーマンスを示している。これは、推定期間のデータ数が 15 個と比較的多く、その推定期間に大きな不規則変動が無く、販売数量がゆっくりと増加し、その過程で比較的明瞭な変曲点を描いていることが、その要因と考えられる。

これらの結果から、 θ 値が 1 に比べ小さく、ある程度の長さを有す成熟期を形成する製品カテゴリーの場合は、本稿で提案する価格-販売量推移曲線モデルは、極めて有効であると考えられる。一方、金属化有機フィルムコンデンサーのように θ 値が 1 に極めて近く、ほとんど成熟期を形成しない製品カテゴリーの場合は、価格-販売量推移曲線モデルだけに頼ることは極めて危険であるといえる。実務において、このようなケースに対処する方法として、

1. g_0 が 0.05 より小さい製品は、金額と数量のピークが同時に来ることへの事前の準備
2. Bass モデルや他の普及モデルの併用による最大販売数量予測の実施

等が提案できる。

5. おわりに

本稿では、厳しい価格競争の下で傾向的に価格が下落する、民生エレクトロニクス関連製品の最大販売数量とその販売数量に達する時点の価格の予測を、信頼性を保ちながら事前に実行する方法として、価格-販売量推移曲線モデルを提案した。

最大販売数量となる価格と最大販売金額となる価格の比である θ 値は、価格下落の速さが大きい製品カテゴリーほど小さくなる。そのような製品カテゴリーでは、本稿で定義した成熟期が長く、最大販売金額に達した価格を超えてからも長い期間販売数量の増加が継続する。そのため、先行指標となる価格-販売金額推移曲線のピーク・アウトを確認した時点で、最大販売数量 $Q(P_{max,q})$ と最大販売数量に達する価格 $P_{max,q}$ を予測し、それを、販売数量がピークを迎えるための対策の立案とその実行のために活用する本方法は、液晶 TV のような失敗を回避するための有用な方法の 1 つであるといえる。

ただし、価格の下落の速さを表す指標である g_0 の値が 0.05 以下の製品カテゴリーの場合は、成熟期が極めて短く、販売金額のピーク・アウト後すぐに販売数量のピークが訪れる。そのため価格-販売金額推移曲線にシグナルが出て、対策を打つ時間がまったく無い場合があることには注意が必要である。この対応策として、成長期の初期から随時 g_0 を観測し、 θ と g_0 の関係を用いて θ 値を推定することにより、成熟期の長さを予測する方法が提案でき

る。その精度の向上のためにも、より多くの製品カテゴリーの事例分析を行う必要があり今後の課題でもある。

本稿では、価格-販売量推移曲線モデルの構成要素の1つとして、Bass基本モデルを使ってモデルを構築した。このBass基本モデルの代わりに、他のさまざまなベル型曲線を描く普及モデルを用いることが可能である。著者等は、Mansfieldモデル[16]、ゴンペルツ曲線[8]、その他[15]等を用いてフレキシブルに価格-販売量推移曲線モデルを構築することができることを確認している。そのため価格-販売量推移曲線モデルは、極めて適応性の高いモデルといえる。これらについては別途報告する予定である。

著者等は、企業の個別製品にも本モデルを適用できることを確認している。しかし一企業の製品の販売データには、シェアの変動などの構造変化が内在している場合がある。このようなデータによる価格-販売量推移曲線モデルの推定は難しい。このような問題への対処法や活用法に関しての検討は、今後の課題としたい。

謝辞

本稿の改訂にあたり、査読者の先生方には多くの適切かつ建設的なコメントを頂きました。ここに深く感謝致します。

注

1. 液晶TVにおける国内メーカーの状況に対する捉え方は、以下に挙げる情報をもとにしている。1) 日本経済新聞社/日経BP社(編):テレビ敗戦 復活への処方箋(日本経済新聞社,2012)。2) 大西康之:テレビ敗戦「失敗の本質」シャープ、パナソニックを惑わせた巨艦の誘惑(日本経済新聞,2012/3/20)。3) 週刊現代(編):シャープ元幹部が実名で明かす日本のテレビが韓国製に負けた「本当の理由」(講談社,2012/7/17)、その他。
2. 産業機器等で見られるカスタム性の強い電子機器や電子部品、さらに独占的に生産・販売されている電子機器や電子部品デバイスなどを除くことに注意。
3. 現象の状態を表す量 y が時間 t の関数として確定的に $y = f(t)$ と表せる場合を、動的関数モデルと呼ぶ。
4. 一般的にその理論的根拠が明らかでないが、実測値がその式の表す関係によく一致することが認められるとき、この式を実験式という。現象の数式による模写ともいえる[13]。
5. Bassモデルは改良されエレクトロニクス関連製品等の耐久消費財だけではなく、農業、教育、医薬品等の市場分析に活用されてきた[15]。このBassモデルは、新製品の潜在的採用者が、マスメディア等の情報伝達(外的影響)によって購入を決定するグループと、既採用者の口コミによる情報(内的影響)によって購入を決定するグループの2種から構成されるとして構築されている。
6. Bass基本モデル[1]は、反復購入行動が無いことを前提としたモデルである。本間(2005)によると、Bassの1969年の論文以降の先行研究においても反復購入行動をBass型モデルによって説明した論文は見つかることができなかつたと述べている[9]。
7. 例えば、価格-販売数量推移曲線 $Q(P)$ が、 $Q(P) = \alpha - \beta \cdot P$ の場合(これは価格が0円になっても販売量 α を維持するという極めて非現実的なモデル)でも、価格-販売金額推移曲線は $A(P) = \alpha \cdot P - \beta \cdot P^2$ (上に凸の放物線)となり、 $P = \alpha/2\beta$ でピークに達し、それ以上価格が下がると販売金額が減少する。ただし $Q(P) = \alpha \cdot P^{-n}$ ($n \geq 1$) 型の価格-販売数量推移(これも価格が0円で α から無限大の売上金額になるため非現実的)の場合は、 $Q(P)$ 、 $A(P)$ とともにピーク・アウトしない。しかし一般的に、 $Q(P)$ が代替製品の台頭による世代交代で、減少に転じる曲線を描く場合は、かならず $Q(P)$ が先にピーク・アウトするといえる。
8. 価格-販売量反応曲線は、ある任意の一定時点における同一製品の価格と販売量の関係を曲線で表しているところに特徴がある。この価格-販売量反応曲線の形状がどのようなものであるかに関するこれまでの実証は、必ずしも十分なものではない。これを用いる際は、直線を含めた下に凸の減少関数を想定するのが一般的である。価格の効果を探る場合、その推定に際して、線形の場合は回帰モデル、それ以外の場合にはロジット・モデルが用いられることが多い。
9. 価格-販売数量推移曲線モデル(3)式の曲線形への、 p と q の影響を図にしたものが下図である。下左図は p 、右図は q の変化による曲線形の変化を示している。いずれも大きくなると曲線の立ち上がり及早まる。このことから p と q は、製品の市場への浸透の速さを表す指標と捉えることができる。Bassモデルの考え

方を取り入れると、 p は外的影響による浸透の速さの指標、 q は内的影響による浸透の速さの指標と考えることも可能である。したがって、 $p+q$ は、当該製品の総合的な市場への浸透の速さを表す指標と捉えることができる。

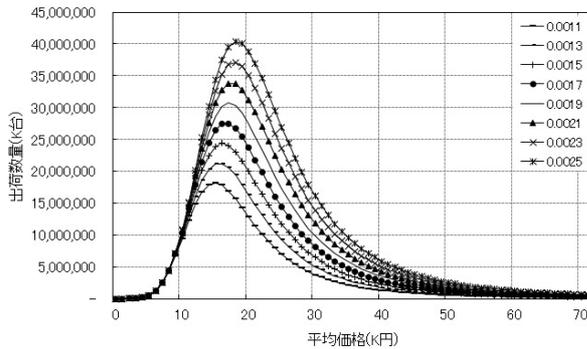


図 p の変化による曲線の変化 ($q = 0.1, m = 6 \times 10^{11}$)

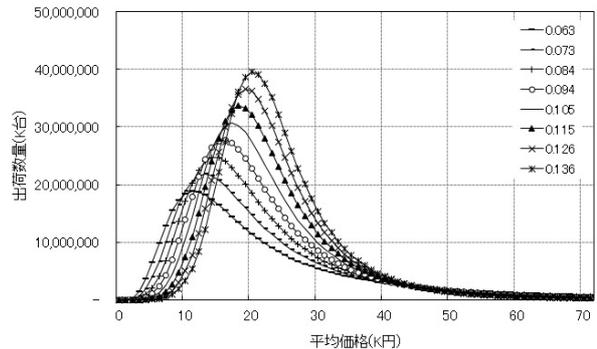


図 q の変化による曲線の変化 ($p = 0.002, m = 6 \times 10^{11}$)

10. 本稿では、本稿で定義した成熟期 ($P_{max.a}$ から $P_{max.q}$ までの期間) の長さを示す指数として θ を導入し、その性質等について議論している。しかし著者等はここで止まることなく、本モデルにより、成熟期の長さや製品寿命を時間 (期間) で示す方法の検討を進めている。現在、実データによる検証を行っている。
11. モデルを適用する製品は、以下の4条件で選定した。1) Bass モデルを適用した先行研究の無い製品。2) 民生エレクトロニクス関連製品。(カスタム性の強い電子機器や電子部品、独占的に生産・販売されている電子機器や電子部品デバイスなどは除く)。3) 本稿においてモデルの実証ができるように、すでに衰退期に突入している製品。4) データの充実している日本の METI 等の統計資料を活用できるように、日系メーカーの世界におけるシェアの高い製品。
12. 本稿では、(2) 式や (4) 式において $p+q = \alpha, q/p = \beta$ とすることにより、 α, β, m をパラメータとする式に変換してソルバーを適用している。推定された α と β から $p = \alpha/(1 + \beta), q = \alpha \cdot \beta/(1 + \beta)$ によって p と q を算出している。
13. p/q 比は、チップ抵抗が 0.06、金属化有機フィルムコンデンサーが 0.04、磁気ヘッドが 0.29、オーディオ・ビデオ磁気テープが 0.07、フロッピー・ディスクが 0.02、そして DSC が 0.02 である。磁気ヘッドの場合、導入期から成長期のデータが入手できなかったことから、その期間のデータが推定に使われていないため p/q 比が大きくなったと思われる。[図 6]
14. カメラ映像機器工業会 (CIPA) の統計では、DSC の生産台数・金額および出荷台数・金額が公開されている。本稿では出荷台数・金額データを用い、用語の統一を目的に、これを販売数量・金額と表現している。

参考文献

- [1] F. Bass: A new product growth model for consumer durables. *Management Science*, **15** (1969), 215–227.
- [2] カメラ映像機器工業会 (CIPA): デジタルカメラの生産・出荷データ。
<http://www.cipa.jp/index.html>
- [3] G.S. Day: The product life cycle: Analysis and applications issues. *Journal of Marketing*, **45-Fall** (1981), 60–67.
- [4] G.S. Day: *Analysis for Strategic Market Decisions* (St. Paul, MN: West, 1986)
- [5] J. Dean: Pricing policies for new products, *Harvard Business Review*, **28** (1950), 45–53.
- [6] J. Eliashberg, G.L. Lilien 編, (森村英典・他監訳): マーケティングハンドブック (朝倉書店, 1997).
- [7] R. Heeier and R. Hustad: Problems in predicting new product growth for durable. *Management Science*, **26-10** (1980), 1007–1020.

- [8] I. Hendry: The three parameter approach to long range forecasting. *Long Range Planning*, **51** (1972), 40-45.
- [9] 本間清史: デジタルテレビ受信機普及の実証研究 - アナログテレビとの世代交代についての将来予測 - (大阪学院大学経済学研究科博士論文 2005.05).
- [10] 金井康弘, 阿部圭司: 生産・出荷統計の新しい分析手法の提案 - バブル・構造変化の視覚化と製品ライフ・サイクルのステージの同定法. *景気とサイクル*, **47** (2009), 115-127.
- [11] 片平秀貴: マーケティング・サイエンス (東京大学出版会, 1987).
- [12] 経済産業省: 生産動態統計. <http://www.meti.go.jp/>
- [13] 近藤次郎: 数学モデル 現象の数式化 (丸善, 1976).
- [14] T. Levitt: Exploit the product life cycle. *Harvard Business Review*, **43** (1965), 81-94.
- [15] V. Mahajan, E. Muller and F. Bass: New product diffusion models in marketing: A review and directions for research. *Journal of Marketing*, **54** (1990), 1-26.
- [16] E. Mansfield: Technical change and the rate of imitation, *Econometrica*, **29** (1961), 741-766.
- [17] 尾上伊知郎: 製品ライフサイクル論の批判的検討. 六甲台論集, **32-2** (1985), 218-229.
- [18] 小沢 貴史: 製品ライフ・サイクル論の昇華に向けて: 製品ライフ・サイクルの脆弱さと今後の研究課題. *経営行動科学*, **16-1** (2002), 63-74.
- [19] A. Patton: Top management's stake in a product's life-cycle. *Management Review*, **48-1** (1959), 9-79.
- [20] 清水信年: 市場競争の動的な分析枠組に関する一考察. 六甲台論集, **44-1** (1997), 145-161.
- [21] H. Simon and R.J. Dolan 著, 吉川 尚宏, エコノミクスコンサルティング研究会訳: 価格戦略論 (ダイヤモンド社, 2002).
- [22] V. Srinivasan and C. Mason: Nonlinear least squares estimation of new product diffusion models. *Marketing Science*, **5** (1986), 169-178.
- [23] 杉田善弘, 上田隆穂, 守口剛 (編著): プライシング・サイエンス-価格の不思議を探る- (同文館出版, 2005).
- [24] 上田隆穂, 最上健児, 柿島秀樹: グーテンベルグ仮説に基づく価格反応関数. 学習院大学経済論集, **34-2** (1997), 117-134.
- [25] 上田隆穂, 徳山美津江, 畑井佐織: 低価格感度領域を示すグーテンベルグ仮説の POS データによる検討と条件に応じて変化する価格の需要曲線形の考察 - ニューラルネットワークの活用 -. 学習院大学経済経営研究所年報, **16** (2002), 1-23.
- [26] G.L. Urban and S.H. Star: *Advanced Marketing Strategy* (Prentice Hall, 1991).
- [27] 山田昌孝: 新製品普及モデル. *オペレーションズ・リサーチ* **39-4** (1994), 189-195.

関 庸一

群馬大学 学術研究院 電子情報部門

〒 376-8515 桐生市天神町 1-5-1

E-mail: seki@cs.gunma-u.ac.jp

tel & fax : 0277(30)1806

