

# 産業技術の社会受容

## — 既存の3モデルを統合した環境製品普及評価モデルの構築 —

松本 光崇<sup>\*1</sup>、近藤 伸亮<sup>2</sup>

技術開発を通じて社会の変革を実現するためには、技術の社会受容を評価・分析することも重要な課題になる。本研究では特に温暖化対策に資する環境製品を対象にして製品普及の評価モデルの構築を行った。長期の普及分析と各種普及促進策の効果分析とともに実現するために、これまで個別に議論されてきた3つのモデル、すなわちBassモデル、消費者選好モデル、学習曲線モデル、を統合した評価モデルを構築した。本稿では、研究の目的、既存モデル、構築した統合モデル、統合モデルと必要データ組み込んだツール、分析事例を示す。

**キーワード:** 技術の社会受容、環境製品、普及モデル、Bass モデル、消費者選好

## Modeling the social acceptance of industrial technologies

### — Development of an eco-product diffusion analysis model that incorporates three existing models —

Mitsutaka Matsumoto<sup>\*1</sup> and Shinsuke Kondoh<sup>2</sup>

In order to bring change to society through technological developments, analysis of the social acceptance of a given technology is indispensable. In this research, we developed a model that includes the effects of the diffusion of environmentally conscious products. To analyze the long term diffusions and to analyze the effects of various diffusion promoting measures, we have incorporated three existing models: the Bass diffusion model, the consumer preference model, and the learning curve model. These models have been argued for individually to date. The paper describes the research objective, existing models, the developed model, the related developed tools, and an analysis example.

**Keywords:** Social acceptance of technologies, eco-products, product diffusion model, Bass model, consumer preference

#### 1 はじめに

技術は社会と相互作用することで発展していき、その中では新しい技術が社会に即座に受容されないことによる技術の悪夢の時代もやってくる<sup>[1]</sup>。技術により社会を変革するためには技術と社会の相互関係をモデル化する研究も必須である。本研究は技術と社会の関係を理解しモデル化していくことを目指している。技術と社会の関係は言うまでもなく多数のフェーズ、多様な側面がある。研究では、関連する課題に取り組み、対応するモデルを一つ一つ構築していくことを通じて、包括的で多面的なモデルに組み上げていくことを目指している。

本稿で示すのはそうした研究の一事例として我々が位置づける、環境製品の社会普及モデルの構築の研究の内容である。本研究は経済産業省の地球温暖化問題対策調査の一環として実施した<sup>[2][3]</sup>。

本調査の研究のプロセスは次のとおりであった。

#### 1. 研究の目標の明確化 (本稿 2 章)

#### 2. 既存モデルの調査 (同 3 章)

#### 3. モデルの決定 (同 4 章)

#### 4. データの収集 (同 5 章)

#### 5. ツールの作成 (同 6 章)

#### 6. 分析 (同 7 章)

本研究ではモデルとして、3つの既存のモデルを組み合わせ統合して用いた。1つは製品普及モデルである Bass モデル、第2は消費者選好モデルに関連するコンジョイント分析、3つ目は技術進歩による価格低下のモデルである学習曲線モデルである。基本的には第1の Bass モデルをベースにした。以下本稿では上記の各過程を各章で記す。次章で本研究の目標を記し、3章で製品普及分析に関連する既存研究を示す。4章で本研究で構築したモデルを示す。5章では収集したデータを示し、6章ではモデルとデータを簡易に使用できるように作成したツールを示す。7章では省エネエアコンの普及評価に適用した例を示し、最終章で結論と今後の課題を示す。

1 産業技術総合研究所 サービス工学研究センター 〒305-8568 つくば市梅園 1-1-1 中央第2、2 産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門 〒305-8564 つくば市並木 1-2-1

1. Center for Service Research, AIST Tsukuba Central 2, Umezono 1-1-1, Tsukuba 305-8568, Japan \*E-mail: matsumoto-mi@aist.go.jp, 2. Advanced Manufacturing Research Institute, AIST Namiki 1-2-1, Tsukuba 305-8564, Japan

Received original manuscript October 14, 2008, Revisions received December 2, 2008, Accepted December 2, 2008

研究に際しては上記の6過程が一方向に円滑に進んだわけではなかった。特に1と3の議論を往き来する作業を何度も繰り返した。つまりモデルを考慮する中で、研究の目標を再検討し、それに応じてモデルを再構成したり元に戻したりという作業を繰り返し行った。その過程については4章で記す。

## 2 研究の目標の明確化

本研究は経済産業省の地球温暖化問題対策調査の一環として実施した。本調査の目標について、当初から明らかだったものと、研究を進める中で明らかにしていったものがあるが、以下に併せて示す。

本調査は環境製品の普及予測・分析を目標とした。分析対象製品は次のとおりであった。

- (1) 温暖化対策(CO<sub>2</sub>排出削減)に寄与する製品
- (2) 一般消費者が購入者である製品

具体的には、省エネ自動車(ハイブリッド車等)、省エネ家電(省エネエアコン・冷蔵庫等)、高効率給湯器、高効率照明、家庭用太陽光発電システム等である。

また、誰の視点に立つ分析かという点については、

- (3) 「政策決定者」として有用な普及分析とした。次のような問いに答えることが調査の目標であった。

- 分析対象の環境製品が今後どれくらいの早さでどこまで普及が進むか?
- その環境製品に補助金を付与したときに、その普及への影響はどの程度か?
- その環境製品の省エネ性能が今後さらに向上すれば普及への影響はどの程度か?

最初の問いを基本分析と呼び、後の2つを変化影響の分析あるいは感度分析と呼ぶ。要件として、

- (4) 基本分析、感度分析の実施を可能にする

また、

- (5) 分析を容易に行えるよう「分析ツール」を作成する

最後に普及分析の期間について、

- (6) 「数十年の長期」を対象とした分析

とした。

最初の2点(対象製品)は調査開始当初から決定していたが、後の4点は自明ではなかった。後の4点を明確化することが、分析に適するモデルを選択・決定するのに必要であることが研究を進める中で明らかになってきた。4節で再度触れる。

## 3 既存モデルの調査

製品の普及分析のモデルは大きく2つに分類できる。

1つはロジスティック曲線モデル(Bassモデル)であり、も

う1つは消費者選好モデルである。以下で概要と特性を示す。また技術・生産革新のモデルとして良く取り上げられるのが、新技術の長期の価格低下の推移を記述する学習曲線モデルである。併せて記す。

### 3.1 Bassモデル<sup>[4]・[6]</sup>

製品の普及曲線はS字型の形状を示すことが多い。図1に過去の代表的な製品の普及曲線を示す。Frank Bassは、元々物理学や生物学で用いられてきたロジスティック曲線モデルに購買行動の解釈を与えて普及モデルとして定式化した<sup>[4]</sup>。

数学的な定式化は次のとおりである。 $X_t$ を $t$ 期の新規購入者数、 $N$ を最終的な普及数(率)、 $n_t$ を $t$ 期の普及率( $N$ に対する割合)とすると、

$$X_t = (p+r \cdot n_t) \cdot (1-n_t) \cdot N \quad (1)$$

で定式化される。 $p$ が革新係数、 $r$ が模倣係数と呼ばれる。図1では $N \cdot n_t$ が縦軸、 $X_t$ が曲線の傾きに相当する。式(1)は

$$\frac{dn_t}{dt} = (p+r \cdot n_t) \cdot (1-n_t) \quad (2)$$

とも表せる。境界条件を $n_{t=0}=0$ とすると、 $n_t$ は次式である<sup>[2][6]</sup>。

$$n_t = \frac{1-e^{-(p+r)t}}{1+r/p \cdot e^{-(p+r)t}} \quad (3)$$

式(1)、(2)、(3)より、3つのパラメータ $p, r, N$ が決定されれば、 $X_t, n_t$ の時間推移が決まる。

環境製品の普及分析への応用では、1980年代に欧州のIIASA(国際応用システム研究所)が新エネルギー技術の普及予測に用いた。Bassモデルは普及の長期の時間推移を近似することができる一方、変化要因があったときの影響分析が困難である。例えば補助金政策によって製品価格が変化したときの普及への影響の分析や消費者選好の

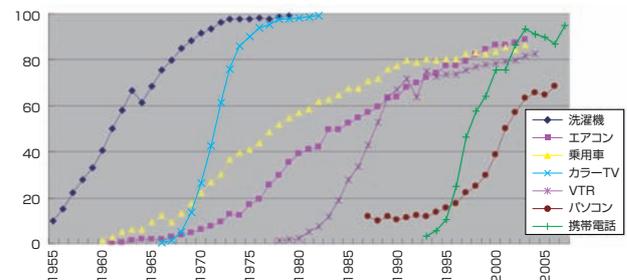


図1 過去の主な製品の普及推移曲線

縦軸は世帯普及率。出典：携帯電話以外は内閣府経済社会総合研究所「家計消費の動向-消費動向調査年報」、携帯電話は総務省「通信利用同行調査報告書世帯編」。

変化が普及に及ぼす影響の分析が困難である。これまで Bass モデルを拡張して価格変化や製品広告の影響をモデルに組み入れようとした試みもなされてきたが<sup>[5][6]</sup>、十分な実績統計データがあることが前提であり、実際の適用は困難であった。

### 3.2 消費者選好モデル

消費者の製品選好モデルを構成して、それに基づき普及を分析するアプローチがある<sup>注1)</sup>。消費者選好モデルの単純な形としては、消費者が最も経済的に合理的な技術・製品を選択するという仮定を置くものがある。また消費者の選好と意思決定をさらに精緻にモデル化するものもあり、精緻なモデル化には後述のコンジョイント分析が良く用いられる<sup>[7][8]</sup>。こうしたアプローチは価格や性能等の変化が消費者選好に及ぼす影響を精緻に分析できるため、その変化が普及に及ぼす影響を分析できることが長所であるが、原則として時間項を持たないため、普及の時間推移、特に長期推移を分析するのが困難である。

### 3.3 学習曲線モデル

学習曲線モデルは工業製品のコスト低下の分析に用いられる<sup>[9][10]</sup>。新しい製品は量産とともにコストが低下する傾向がある。学習曲線はその傾向を記述するモデルである。図2は太陽電池の生産量と価格の推移実績である。過去の実測からは「累積生産が2倍になると生産コストや生産に要する時間が一定割合だけ低下する」という経験則がある。低下の割合は半導体産業で15～30%、機械組立産業で5～20%とされる<sup>[10]</sup>。

### 3.4 既存モデルの特性

以上のモデルの特性を表1にまとめる。

## 4 モデルの決定

### 4.1 モデル決定までの過程

前節で3つの既存モデルを示した。これらをいかに用いるか（あるいは用いないか）、いかに統合するかについては長い試行錯誤が必要であった。この過程で研究目標を明確化し、説得性の高さを基準にモデルを構成した。本研究

で依拠した説得性は3種ある。①結果の説得性、②論理の説得性、③類推の説得性、である。①はモデルの結果と現実が一致することによる説得性であり、本来最も説得力がある。しかし予測の場合現実の結果が得られないことが多く（例えば「20年後の普及」は現時点で分からない）、この基準は使えないことが多い。しかしモデルが普及実績を説明できない際に、反証、つまりモデルの非妥当性を知るのに使える。②はモデルの前提と論理が妥当であることによる説得性であり、③は現実と類似のケースをモデルが参照することによる説得性である。

これらを踏まえ本研究のモデル決定の過程を示すと図3のとおりである。当初消費者選好の把握が第一と考え、消費者選好モデルベースの普及モデルを構築した。しかし現実と符合する普及曲線を描けず（①が×）、そこでいくつかの補正を加えて現実と符合するものとしたが、結局は予測値に対する十分な説得性が得られなかった（②が×）。ここでモデルを再考した。再考の中で鍵になったのは、普及分析の対象が長期間（数十年）か短期間（数年）かという点であった。短期に対しては消費者選好モデルが、長期には Bass モデルが有効であることに気づいた。これは既存文献にも記載がなかった点である。本研究が長期を対象とすることを確認し、Bass モデルベースのモデルとした。Bass モデルでは類似製品の普及係数を参照することができる（3.1節）。これにより例えばハイブリッド車の普及には過去の他の自動車製品（AT車等）と同様に40年から50年を要することや、省エネ型家電の普及には関連製品と同程度の年数を要すること等を参照することができる。これは③の類推の説得性である。

次に Bass モデルで困難な感度分析を可能にするために、消費者選好モデルを組み入れることを図った。統合の方法は次節で示す。検討した統合方法の中で最善の説得性を持つと判断した（②が最良）。ただしこの統合方法はまだ議論の余地があると考えている。

### 4.2 モデルの定式化

本研究では Bass モデルの元の式（1）を修正して次のモデル式でモデルを定式化した。

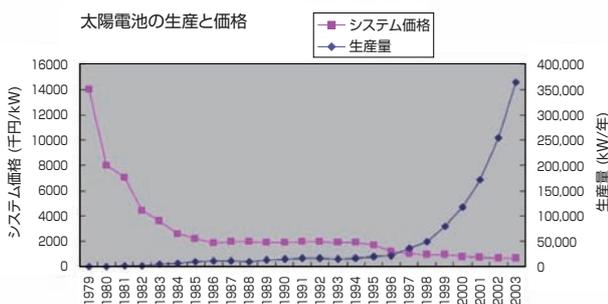


図2 太陽電池の生産量と価格の推移

表1 既存モデルの特性

モデル	特性
Bass モデル	普及推移を総体で見えるマクロモデル。長期の普及推移分析に適する。感度分析が困難。
消費者選好モデル	普及を消費者選好から見るミクロモデル。短期の普及推移分析と感度分析に適する。長期の普及分析は困難。
学習曲線モデル	工業製品のコスト低下の推移のモデル。

$$X_t = (p+r \cdot n_t) \cdot (1-n_t) \cdot N \cdot \frac{H_t}{H^0} \quad (4)$$

$$U_{ik} = \sum_j w_{ij} \cdot s_{kj} \quad (5)$$

式(1)に $H_t/H^0$ を乗じた形である。 $H_t, H^0$ は消費者選好モデルを反映して算出される値であり次の定義とする。消費者は環境製品(EC)と従来製品(TR)の2つの選択肢を持つとし、消費者( $i$ )の環境製品と従来製品に対する選好の差( $U_{i,EC} - U_{i,TR}$ )の分布を求める。 $U$ の定義は4.4節で示す。 $H$ を従来製品よりも環境製品を選好する消費者の割合( $U_{i,EC} - U_{i,TR} > 0$ を満たす消費者 $i$ の割合)とする。現状の水準( $s$ 値)で求めた $H$ 値を $H^0$ 、 $t$ 期の $H$ 値を $H_t$ とする。 $H$ 値は補助金や性能向上等により変化するので、式(4)は、環境製品を選好する消費者の割合 $H_t$ が $t$ 期に変化すると、その変化率分だけ $t$ 期の新規購入者 $X_t$ が変化するとしたものである。 $H_t$ が $t$ 全体を通して $H^0$ と同値であればBassモデル曲線と同一になる。

$j$ は選好要素項目(属性)であり、 $s_{kj}$ は製品 $k$ の属性 $j$ の値水準である。7章で示す省エネ型エアコンの例では、  
 $k = \{ \text{通常型エアコン, 省エネ型エアコン} \}$   
 $j = \{ \text{初期価格, 年間電気代, 環境イメージ, その他} \}$   
 とした。設定の1例である。 $w_{ij}$ は各要素の選好の重みであり、定量化にはコンジョイント分析を用いる。以上より $U_{ik}$ を定量化し、それを元に式(4)の $H$ 値を算出する。5.2節と7.2節で例を示す。

#### 4.5 分析のフロー

図4に分析の流れを示す。最初に基本設定を行う。まず分析の開始年と終了年を設定する。次に対象製品の普及係数 $p, r, N$ を設定する(4.3節の方法)。次に消費者選好モデルを設定する。式(5)を消費者選好モデルの形式と

#### 4.3 普及係数の設定(式(4)の $p, r, N$ )

分析対象製品に対する普及係数( $p, r, N$ )の設定は、一般に製品の普及状況に応じて次のように設定する<sup>[6]</sup>。

- (1) 製品がすでにある程度普及している場合：それまでの普及推移( $X_t, n_t$ の実績値)から $p, r, N$ 値を推定する。
- (2) 製品が市場に投入されたばかりであるか、まだ投入されていない場合：過去の類似製品の普及における $p, r, N$ の値を適用する。

本研究では原則として(2)の方法で過去の製品の普及係数値を参照して設定する。

#### 4.4 消費者選好モデルの設定(式(4)の $H$ )

消費者層 $i$ の製品 $k$ に対する選好 $U_{ik}$ は、次のように選好の要素 $j$ の項の和で定義する。

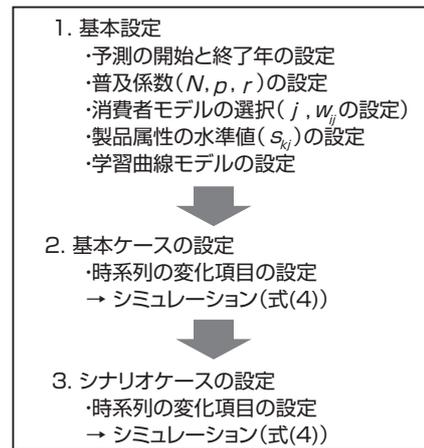


図4 分析の流れ

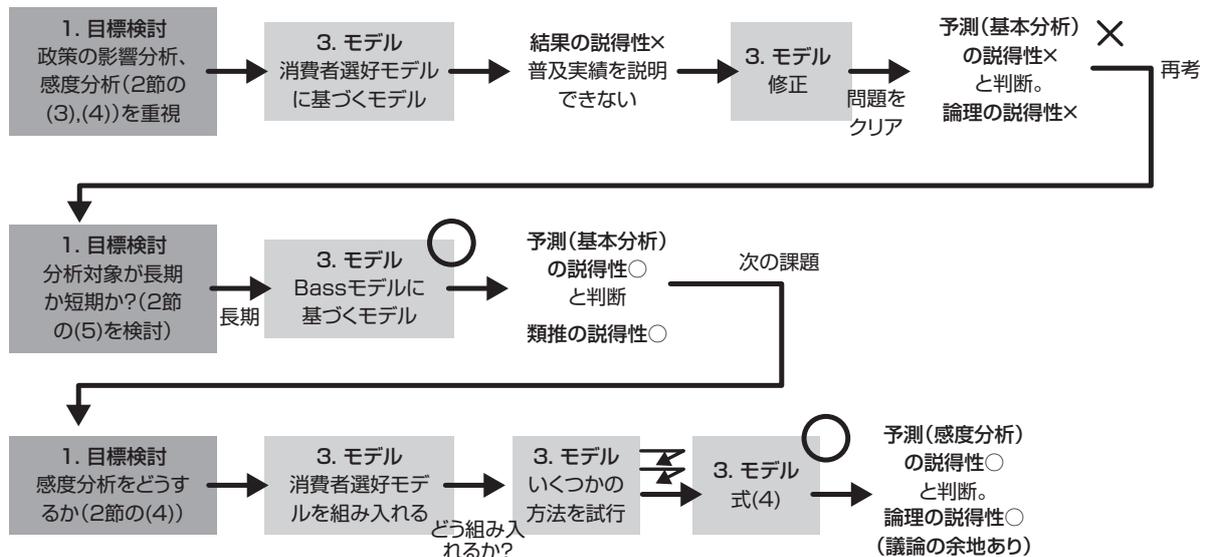


図3 モデル作成の過程

して、同式の属性の項目  $j$  を決定し、コンジョイント分析の結果に基づき選好重み係数  $w_{ij}$  を設定する。製品属性の水準値  $s_{kj}$  を設定する。また学習曲線モデルを設定し、基本ケースにおける環境製品の価格低下推移を設定する。また基本ケースにおける属性の水準値の変化を設定する。学習曲線以外の要因による価格変化要因（例えば補助金）等があれば設定する。基本設定と併せた以上の設定に基づき、式 (4) により普及をシミュレートする。これが基本ケースの普及予測である。

次にシナリオケースを設定し、シナリオ分析を行う。基本ケースとは異なる属性の水準値の変化を設定する。例えば補助金や炭素税等の政策的措置や技術進歩による属性水準値の将来変化をシナリオとして設定する。基本ケースと同様に式 (4) に基づき普及をシミュレートする。

## 5 データの収集

### 5.1 過去の製品の普及係数値

過去の製品の普及係数を参照するために、過去の製品の普及曲線を収集し、普及係数を抽出した。図5は洗濯機の普及推移実績と Bass モデルによる近似曲線である。本研究では28の製品の普及曲線を収集した。表2はこのうち20製品の普及係数値である。表の最右列には、普及率が10%から50%に至る年数を普及の早さの目安として示している。販売開始から飽和までは概ねこの4倍から5倍の年数を要する。自動車関連では40年から50年、60年代のテレビなど家電で普及の早いものでは10年程度である。

### 5.2 コンジョイント分析

本研究では3件のコンジョイント分析を実施した。それぞれ、1) 10万円前後の家電製品、2) 100万円程度の家屋の付帯設備、3) 自動車製品、に対して実施した。1) の10万円程度の家電製品を対象にしたコンジョイント分析の方法と結果を示す。

ウェブ上で統計的にサンプリングして選定した1,112名の

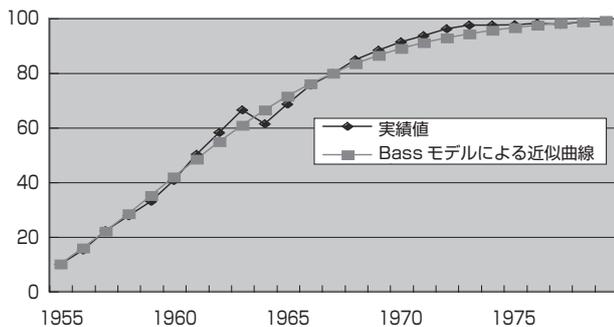


図5 洗濯機の世帯普及率の推移（実績）とBassモデルによる近似曲線（ $p=0.044$ ,  $r=0.165$ ,  $N=101.2$ ）

回答者に対して実施した。属性  $j$  は初期価格、年間電気代、製品信頼性、環境性能の4属性とした。図6はプロファイルの例である。図の2枚のプロファイルは「製品価格」と「環境性能」の水準が異なる。各回答者に12枚ずつのプロファイルを提示し、各プロファイルの望ましさを7段階で回答してもらい、回答をもとに各回答者  $i$  の各属性  $j$  に対する選好重み係数（式 (5) の  $w_{ij}$ ）を算出した。

各属性は製品価格に換算すると回答者平均で以下の価値を持つと算出された。

- ・年間電気代が1,000円安い → 製品価格が5,500円安いことと等価。
- ・製品信頼性が高い → 製品価格が10,000円安いことと等価。
- ・環境性能が良い → 製品価格が32,900円安いことと等価。

選択肢1			
製品価格	10万円	年間電気代	15,000円
製品信頼性	高い	環境性能	普通
全く魅力的でない (1)      どちらとも言えない (3)      非常に魅力的 (7)			

選択肢2			
製品価格	12万円	年間電気代	15,000円
製品信頼性	高い	環境性能	良い
全く魅力的でない (1)      どちらとも言えない (3)      非常に魅力的 (7)			

図6 コンジョイント分析のプロファイルの例

表2 過去の製品の普及係数値

製品	期間	$N$	$p$	$r$	早さ
水洗トイレ	1964-2003	118.1	0.12	0.133	17
AT車(軽を除く)	1958-2005	87.8	0.00042	0.182	14
AT車(軽)	1959-2005	87.8	0.00053	0.182	13
電子レンジ	1970-2004	100.5	0.0059	0.151	13
パソコン	1987-2006	76.5	0.011	0.190	13
蛍光灯	1953-2005	76	0.021	0.099	13
エアコン	1961-2003	92.3	0.0069	0.148	12
ステレオ	1961-2004	65.9	0.041	0.145	12
温水洗浄便座	1992-2006	112.2	0.023	0.067	12
乗用車	1960-2003	90	0.011	0.120	11
ファクシミリ	1964-2006	118.1	0.0095	0.142	10
全自動洗濯機	1983-2004	77.8	0.00014	0.313	9
ガス瞬間湯沸器	1966-1981	80	0.038	0.260	8
CDプレイヤー	1987-2004	62.3	0.012	0.530	6
洗濯機	1955-1979	101.2	0.044	0.165	6
VTR	1978-2004	84	0.0042	0.410	5
冷蔵庫	1955-1982	98.1	$3.6 \times 10^{-7}$	0.429	5
白黒TV	1955-1968	95.9	0.013	0.681	4
カラーTV	1967-1982	99.2	0.00023	0.638	3
携帯電話	1993-2007	92	0.00042	0.709	3

普及推移データの出典は主に内閣府経済社会総合研究所「家計消費の動向-消費動向調査年報」平成16年版、平成18年版。最右列は普及率が10%から50%に達するまでの年数。

この結果( $w_{ij}$ ) と製品スペック( $s_{kj}$ ) から選好関数(式(5)の  $U_{ik}$ ) を定式化し、式(4)の  $H$  値を計算し、普及分析に用いた。7.2 節で具体的に示す。

### 6 ツールの作成

以上のモデルとデータに基づき分析を簡易に行うツールを作成した。図7がツール画面である。画面の左上部分で基本設定と Bass モデルの設定を行う。普及係数は数値を直接入力するか、選択肢の過去製品から選択するとその係数值が設定される。右部分で消費者選好モデルの設定とシナリオケースの設定を行う。左中央・左下に結果が出力される。

### 7 分析

上節で示した方法とツールを用いて、省エネ型エアコン、省エネ型冷蔵庫、ハイブリッド自動車、高効率給湯器、電球型蛍光灯、太陽光発電システムの普及分析を行った。本節ではその中で省エネ型エアコンの普及分析を示す。

エアコンは家庭の電力消費の中で最も多い約 25 % を消費している<sup>注2)</sup>。エアコンは過去約 10 年でも省エネ性能が向上しており<sup>注3)</sup>、省エネ型エアコンの普及は温暖化対策に効果を持つことが期待されている。

#### 7.1 設定

分析では、従来型のエアコン (TAC) と省エネ型のエアコン (EAC) の 2 種類があると仮定し、消費者はいずれかを選択する。省エネ型エアコンが 2000 年から普及開始すると仮定し、分析期間を 2000 年から 2040 年とした。消費者の選好関数を以下の形とした。

$$U_{i,EAC} = W_i \cdot \text{初期価格} \cdot t_{EAC} \cdot \text{初期価格}$$

$$+ W_i \cdot \text{年間電気代} \cdot t_{EAC} \cdot \text{年間電気代}$$

$$+ W_i \cdot \text{環境イメージ} \cdot t_{EAC} \cdot \text{環境イメージ}$$

$$+ W_i \cdot \text{その他} \cdot t_{EAC} \cdot \text{その他}$$

$$U_{i,TAC} = W_i \cdot \text{初期価格} \cdot t_{TAC} \cdot \text{初期価格}$$

$$+ W_i \cdot \text{年間電気代} \cdot t_{TAC} \cdot \text{年間電気代}$$

$$+ W_i \cdot \text{環境イメージ} \cdot t_{TAC} \cdot \text{環境イメージ}$$

$$+ W_i \cdot \text{その他} \cdot t_{TAC} \cdot \text{その他}$$

(6)

省エネ型エアコンと従来型エアコンの製品スペックは、省エネルギーセンターの HP 掲載のモデルケースを参照して設定した<sup>注4)</sup>。表3に示す。

省エネ型エアコンの最大普及数は家庭用エアコンの現在の普及数である約 1 億 3 千万台とした<sup>注5)</sup>。革新係数と模倣係数はともに過去のエアコンの普及曲線から抽出した係数值(表2)を用いた。省エネ製品の価格は学習曲線モデル

表3 省エネ型エアコンの普及分析の設定

項目	設定値
予測開始年	2000年
予測終了年	2040年
最終普及数	1億3千万台(今日の普及数)
革新係数 ( $p$ )	0.0069(エアコンの $p$ 値)
模倣係数 ( $r$ )	0.148(エアコンの $r$ 値)
初期価格	従来製品: 84,000円 省エネ製品: 134,000円
学習曲線に影響する価格分	50,000円
学習曲線定数	0.1
年間電気代	従来製品: 27,000円/年 省エネ製品: 19,000円/年
環境イメージ	従来製品: 0 省エネ製品: 1
CO <sub>2</sub> 削減効果	115 kg-CO <sub>2</sub> /台・年

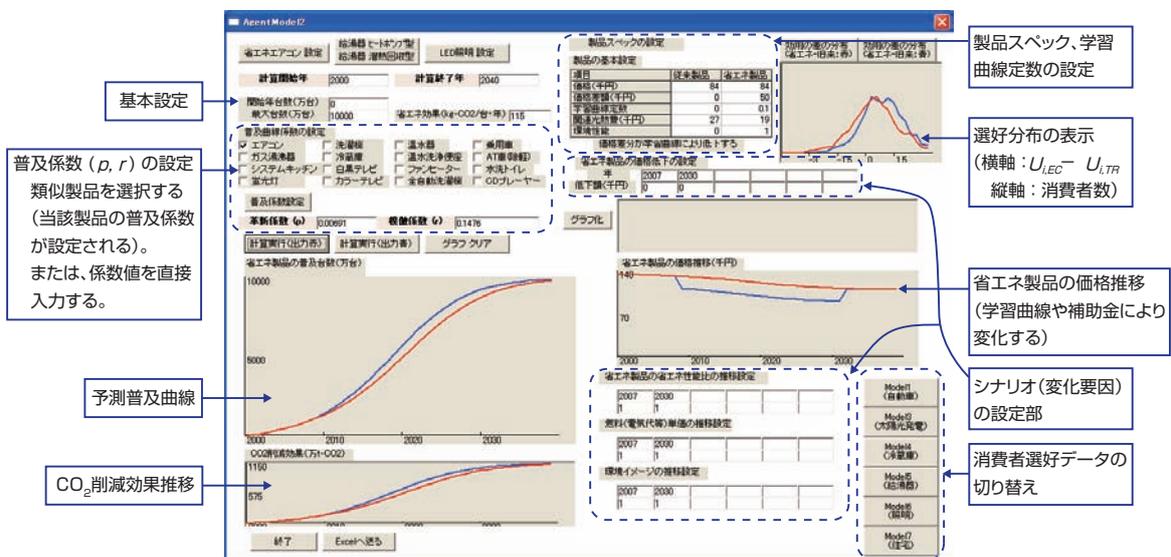


図7 普及分析ツール画面

により、省エネ製品と従来製品の価格差の5万円が学習曲線定数0.1で縮小して低下するとした。省エネ製品の普及1台あたりのCO<sub>2</sub>削減効果は電気代差8,000円を換算して115 kg-CO<sub>2</sub>/年とした。表3にまとめる。

シナリオケースとして、省エネ型エアコンに補助金を付与する3つのシナリオを設定した。1台あたり2万円の補助金を想定した。シナリオは、1つは2008年度から2030年度の間付与するものとし、基本ケースと比較して補助金の効果を検証する。第2と第3はそれぞれ補助金の付与期間を2008年度から2013年度、2015年度から2020年度とし、補助金付与の時期による効果を比較した。

## 7.2 結果

基本ケースと補助金付与ケースでの消費者選好の分布を図8に示す。基本ケースではサンプル消費者（コンジョイント分析対象者）1,112名のうち、従来型エアコンより省エネエアコンを選好する消費者 ( $U_{i,EAC} - U_{i,TAC} > 0$  を満たす消費者  $i$ ) が675名であった ( $H^0 = 675/1112 = 0.61$ )。約6割の消費者が省エネエアコンを選好する（図8）。補助金で2万円製品価格が安くなったときの選好分布では  $H_t = 751/1112 = 0.68$  であった（同図）。

これらのデータを利用して式(4)で省エネ型エアコンの普及推移をシミュレートした。結果を図9に示す。基本ケースで省エネ型製品が2020年に49%（6,400万台）、2030年に87%（1億1千万台）に達し、2040年にほぼ飽和する。普及によるCO<sub>2</sub>削減効果は、2020年に740万t-CO<sub>2</sub>、2040年に1,400万t-CO<sub>2</sub>であった。補助金付与シナリオ（2008-2030）では、2020年、2030年に普及がそれぞれ57%（7,400万台）、92%（1億2千万台）に増加した。

補助金期間が2008-2013年と2015-2020年の場合では、2020年を過ぎるといずれの場合もほぼ同じ数の普及になった。しかし前者の方が普及の初期であるため、補助金を付与する台数は後者より少数で済む。付与数の合計は

前者は後者の約2/3であり、費用負担も2/3である。この結果は補助金の付与は普及の初期の方が効率的であることを示唆している。

## 8 結論と課題

本研究では温暖化対策に資する環境製品の社会受容モデルを構築した。本研究を発展させるとともに、本モデルを一つのコンポーネントにしたより大きな技術と社会の相互関係のモデル化の研究に発展させていくことを目指す。

本研究の課題としては1つは本研究で仮定したBassモデルと消費者選好モデルの統合の方法（式(4)）の妥当性の検証がある。統合法の妥当性を予測の精度という観点で、データに基づき検証する方法を検討する。第2は本研究の目標が長期の普及分析であったことから、本研究ではBassモデルをベースにしたモデルを構築し、普及係数（式(4)の  $p, r, N$ ）の設定は過去の類似の製品の普及係数値を参照することとした。本研究では類似の製品を分析者が設定することとしたが、類似であることの基準があることが望ましい。係数値を参照する製品を選択する指針を検討したい。

今後、本モデルでは明示的に取り扱わなかった企業の意思決定や、政府の産業技術政策の効果、公的研究の社会影響評価<sup>[1]</sup>等も併せて技術と社会の相互関係のモデルとして発展させていくことを目指す。

## 謝辞

本研究は経済産業省の平成18年度地球温暖化問題対策調査「温暖化対策の技術選択モデルに関する調査」で実施した内容に基づく。当調査研究で協働した東京大学藤本 淳教授、大阪大学梅田 靖教授、システム技術研究所 榎屋治紀所長に謝意を表す。

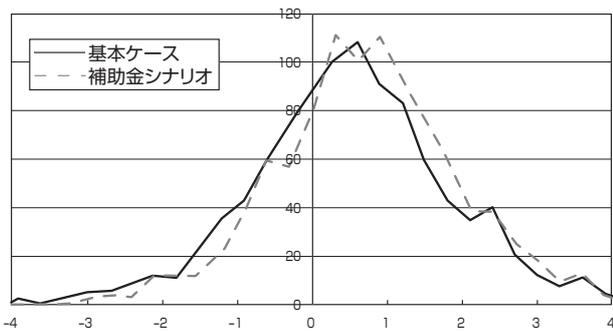


図8 消費者選好の分布  
横軸： $U_{i,EAC} - U_{i,TAC}$  縦軸：人数（計1,112名）

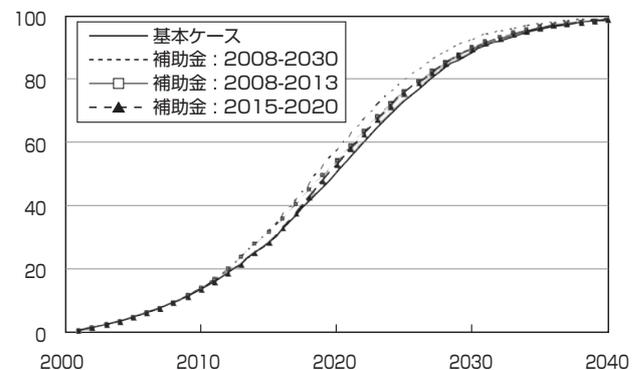


図9 省エネ型エアコンの普及分析結果  
縦軸：%（100%は1億3千万台、そのときのCO<sub>2</sub>削減効果は約1,500万t-CO<sub>2</sub>（日本の総CO<sub>2</sub>の1%強））

- 注1) 例としては森田他によるAIM End-use model 等。  
 注2) 出典：資源エネルギー庁「平成16年度電力需給の概要」直接の出典は省エネルギーセンターHP (<http://www.eccj.or.jp/catalog/2006s/memo/3.html>)  
 注3) 冷暖房兼用・壁掛け型・冷房能力2.8 kWクラス・省エネルギー型の代表機種の間年電力消費量の単純平均値は、1994年に412 kWh、2005年に227 kWhと半分近くに減った。出典：日本エネルギー経済研究所編「2006年版 エネルギー・経済統計要覧」p.101。  
 注4) 省エネルギーセンターHP (<http://www.eccj.or.jp/catalog/2006s/memo/13.html>)  
 注5) 普及台数は、100世帯あたりの保有台数255.5台（2007年3月、出典：内閣府「消費動向調査」）と、日本の世帯数5,171万世帯（2007年3月、出典：総務省「住民基本台帳」）とから約1億3000万台と推定した。

参考文献

[1] 吉川弘之, 内藤耕: 「産業科学技術」の哲学, 東京大学出版会, 東京 (2005).  
 [2] 東大先端研: 平成18年度 温暖化対策の技術選択モデルに関する調査報告書, (2007).  
 [3] 松本光崇, 近藤伸亮, 藤本淳, 梅田靖, 榎屋治紀, 増井慶次郎, 李賢映: クリーンエネルギー自動車の普及評価モデルの構築, エネルギー・資源, 29(3), 49-55 (2008).  
 [4] F. M. Bass: A new product growth model for consumer durables, *Management Science*, 15(1), 215-227 (1969).  
 [5] V. Mahajan, E. Muller and Y. Wind eds.: *New product diffusion models*, Kluwer Academic Publishers, New York (2000).  
 [6] 片平秀貴: マーケティング・サイエンス, 東京大学出版会, 東京 (1987).  
 [7] J. H. Roberts and G. L. Urban: Modeling multi attribute utility, risk and belief dynamics for new consumer durable brand choice, *Management Science*, 34(2), 167-185 (2000).  
 [8] 長谷川貴彦, 吉田好邦, 松橋隆治: 消費者の選好を考慮した燃料電池自動車の普及可能性評価, エネルギー・資源, 27(2), 46-52 (2006).  
 [9] R. Dolan and A. Jeuland: Experience curves and dynamic demand models: implications for optimal pricing strategies. *Journal of Marketing*, 45, 52-62 (1981).  
 [10] 榎屋治紀, 小林紀: 学習曲線による燃料電池コストの分析, エネルギー・資源, 24(4), 57-64 (2003).  
 [11] M. Matsumoto, S. Yokota, K. Naito and J. Itoh: Development of a calculation method estimating science-based innovation impact, *Proceedings of the R&D Management Conference 2008*, (2008).

執筆者略歴

松本 光崇 (まつもと みつたか)

1994年京都大学工学部卒業、1996年同修士課程修了。2002年東京工業大学博士課程修了、博士(学術)。NEC中央研究所勤務を経て、2006年産総研入所。修士課程までは人工知能分野で認知現象・言語現象のモデル化研究に従事。博士課程以降は社会現象のモデル化と応用の研究に従事。本論文ではモデル構築、ツール開発、普及分析を担当した。

近藤 伸亮 (こんどう しんすけ)

1999年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了、博士(工学)。東京大学人工物工学研究センター、東京都立大学大学院工学研究科を経て、2005年産総研入所。環境調和設計、循環型生産システムな

どの研究に従事。本論文では消費者選好モデルの構築とコンジョイント分析を担当した。

査読者との議論

議論1 研究目標の明確化とモデルの検討過程の記述について  
 質問・コメント (持丸 正明)

“構成学”としてみたとき、当該論文の特徴は、3つの技術(特にBassモデルと消費者選好モデルの2つ)を統合した点にあると理解しました。これは、アウフヘーベン型(図a)の構成学であると考えることができそうです。(小林: *Synthesiology*, 1(2), p.141 (2008))

本研究論文は、この2つ(もしくは3つ)の技術を統合したという点のみならず、研究目標の設定とモデルの検討を繰り返した工程にも構成学としての情報があるように思います。*Synthesiology* 誌の趣旨は「社会的に意味のある問題を解決するための技術統合に関する知識体系のアーカイブ」にあります。第1節の最後の段落に書かれている工程は、構成学としての知識のアーカイブに値すると思います。これを、単に「何度も繰り返した」と書くだけでなく、どのような目標設定をして、それに応じてどのようなモデルを検討し、それを評価した結果として、なぜ、それを断念したか、また、どのような理由で次の目標設定をしたのかという「技術統合(構成)の検討過程」を具体的に記載していただきたいのです。すべての検討過程を記載するのは冗長であるかも知れませんが、重要な検討過程をピックアップして記述することで、「なぜ、これらのモデルを選び、組み合わせたか」「このモデルの組合せによる(当面の)技術的限界がどこにあるか」などを明らかにできると考えます。

その場合、論文の章立てをどのようにするかも難しいところです。第2節(目標の明確化)の末尾に書かれているとおり目標のうち明確に決定されていたものと自由度を持っていたものがあり、これらの自由度のある目標の設定が、第3節のモデルの統合といかに関わったのか、どのような検討過程と評価を経て、目標設定とモデルとが収斂したのかを、第4節(冒頭、もしくは、末尾)に述べて頂くというのではどうでしょうか。

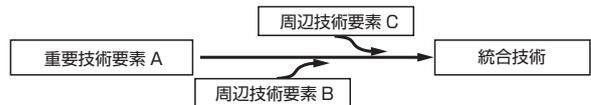
回答 (松本 光崇)

現象をモデル化する場合、特に自然現象よりも人間現象や社会現象をモデル化する場合には、現象の全側面をモデル化することはできませんから、常に「現象のどの側面に焦点を当てるのか(=目標設定)」を明確にしながらモデルを検討していくことが本質的に重要になると考えます。またその過程でモデルの良し悪しを判断する基準は最終的には「説得力」ということになるとは思います。自然現象の場合はモデルや理論がいかに正確に現象を説明し再現するかが説得力の拠り所になるのに対して、人間現象・社会現象の場合には実験が困難なため再現性を説得力にできないことが少なくありません。その場合に何をもってモデルの説得力とするかを考える必要があります。

1. アウフヘーベン型



2. ブレークスルー型



3. 戦略的選択型

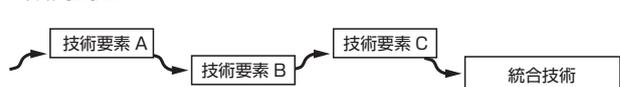


図 a 構成方法のタイプ

いただいたご指摘を踏まえ、本稿では4.1節を新たに設け、目標設定とモデル検討の過程を記述して(図3)、本研究で拠り所にした説得性についての記述を加えました。要点は、目標設定については「普及予測の対象が短期(数年スパン)か長期(数十年スパン)か」がモデル選択の判断基準になり、説得性については「類推の説得性」、この場合は、環境製品の普及速度を評価するのに、「なぜこの予測結果か?」と問われたときに、「過去の類似製品の普及速度もこれくらいであった」と回答する論理にしたという点を強調しました。

## 議論2 研究の目指す究極のゴール(夢)について

質問・コメント(持丸 正明)

産業技術が社会に受容されていく工程を研究対象とし、その計算論的なモデルを構築するのは意義のあることだと理解します。今回は具体的事例として経済産業省の調査事業を取り上げてありますが、そもそも、このような社会受容モデルが行き着く先(研究者の夢と社会的価値)を冒頭で示して下さい。たとえば、本論文の末尾に書かれてあるようなことです。通常の学術論文では、当該論文で解決する具体的課題の意義と困難性を冒頭に書き、末尾に今後の展望と展開を記載するのが一般的です。*Synthesiology* 誌では、あえて研究者の夢(当該論文では解決し切れていないが、将来実現したい社会像)を冒頭に描き出し、それを具体化していくステップとして、どうして当該論文のような課題設定を選んだかということを書くように推奨しております。それは、大きな夢をステップを踏んで実現していく考え方(知識体系)もまた「構成学」であると考えためです。

回答(松本 光崇)

夢として、技術と社会の相互関係をより深く理解したいという思いがあります。昨今企業では技術経営(MOT)やイノベーション経営といったことが、政策でも Science of Science Policy といったことが言われます。いずれも技術と社会の関係の理解の追求と言えます。そうした内容と密接に関連します。本研究はその中でマーケットに近い部分を扱ったものと言えます。またその夢を追求するアプローチとしては、研究テーマを一つ一つ実施しながらそれらがその大きな目標に向かって積み重なっていくという形になれば理想的であると考えています。目標につきまして本稿の冒頭に記述を加えました。

## 議論3 消費者選好モデルの時代依存性について

質問・コメント(持丸 正明)

消費者選好モデルの表現とそのパラメータ取得方法は有効なものであると理解しています。その上での質問です。このような消費者選好モデルは、時代依存性(社会的コンセンサスの影響)があるように思います。たとえば、「環境意識の高まり」というような社会的な時代変化が  $H_t$  の値に影響するのではないのでしょうか。

回答(松本 光崇)

ご指摘のとおり消費者選好の時代依存性は多分にあると考えます。回答1のモデル選択にもそのことが深く関係しました。ベースのモデルを消費者選好モデルから Bass モデルに変えたのも、消費者選

好が時代とともに変化するため前者をモデルのベースにするのは困難と判断したためでした。この研究では消費者選好の時代依存性についてはシナリオとして扱うことにしました。具体的には、例えば環境意識の高まりについては、消費者の製品の環境イメージに対する重要度(モデルでは式(6)の“ $W_i$ 環境イメージ”)が高まるとして、本稿の補助金シナリオと同様の形で評価をしました。現実世界で消費者の環境意識がどの程度変化しているかという点は興味深いところです。

## 議論4 モデルの検証について

質問・コメント(持丸 正明)

実社会での人間集団的行動のモデルですから、その検証が難しいことはよく理解できます。まず、基本的な検証としてパラメータ感度の確認というのは、現時点でも可能な検証方法ではないでしょうか。統合モデルにおいて必要なパラメータを類似現象や実験データによって決定していますが、これらのうちどのパラメータが予測に強く影響するのか、パラメータの同定にどの程度の慎重さが必要となるのかは、シミュレーション解析できるかと思います。

もう1つの方策として、実社会ですでに実施した社会政策介入と技術普及の度合いが、本手法のモデルによってどの程度再現できるかを検証するという方法が考えられます。たとえば、カリフォルニア州で実施したハイブリッド車の道路優遇が、技術普及にどの程度影響したかを、近縁他州と比較しながら、本手法のモデルによって再現を試みるという方策です。実際に検証する(そのデータを得る)のは困難性を伴うようにも思いますが、その場合には、どういう困難性があるかを示していただけると助かります。

回答(松本 光崇)

検証については苦慮しているところです。過去の製品の普及推移と、物価統計から得た価格変化データを使って、製品価格と普及率変化の関係を統計的に抽出することも試みましたが、統計的に有意な結果が得られませんでした。パラメータ感度という点では、製品価格、ランニングコスト(電気代/ガソリン代)、環境性能向上、環境意識、の変化が製品普及に及ぼす影響を探索する作業をしました。相対的な感度は基本的にコンジョイント分析の結果に依存します。想定される変化範囲内で感度分析をした結果では、環境性能の向上が普及促進に有効であるという結果を得ました。絶対的な感度については、感覚的には本モデルは感度が鈍目なモデルであるかもしれません。結果(図9)でシナリオによってあまり変化がないことからもうかがえるかと思います。そこでご示唆をいただいたもう1つの方策です。カリフォルニア州の施策の検討は非常に興味深いものです。現在そうした政策評価の既存研究を調査しています。検証材料としては、例えば家庭用太陽光発電システムは自治体によって補助金金額が異なっていますので、その普及との関係性であるとか、また環境製品ではありませんが、自動車のETCなどは高速料金割引によって相当に強力な普及促進策を取っています。普及促進策の効果を見るには面白い事例です。検証についてはいくつかの観点から現在取り組んでいる課題です。