

消費者選好に基づく太陽光発電および太陽熱温水器の 技術普及予測と普及推進施策評価

Prediction of Photovoltaics and Solar thermal system diffusion and evaluation of
promotion policy based on consumer's choice

山口容平*・赤井研樹**・瀧俊毅***・藤村尚樹*
Yohei Yamaguchi Kenjyu Akai Junyi Shen Naoki Fujimura

下田吉之*・西條辰義****
Yoshiyuki Shimoda Tatsuyoshi Saijo
(原稿受付日 2009 年 7 月 2 日, 受理日 2009 年 12 月 9 日)

This paper evaluates policy measures implemented for diffusing photovoltaics and solar thermal system in terms of the contribution to CO₂ emission reduction from the residential sector. We investigated the preference of consumers to these technologies as well as the influence of the attributes of these technologies, such as installation cost, energy price, energy efficiency and perception, on the consumer's choice. Taking the influence into account, we developed a model estimating the diffusion of these technologies into the residential sector of Japan until 2025 and the resultant CO₂ emission reduction. We found that policy measures for diffusion of photovoltaics that reduces initial cost (e.g. subsidy program) is more cost effective for reducing CO₂ emission compared with those reducing operation expenditure of users (e.g. feed in tariff program), while the perception to solar thermal system must be improved so that the technology will deliver a considerable amount of reduction of CO₂ emission.

1. はじめに

家庭における省エネルギー技術, 再生可能エネルギー技術の普及には, 技術のエネルギー性能や経済性だけでなく, 消費者の選好が大きく影響する. 本研究が対象とする太陽熱温水器, 太陽光発電の普及過程には消費者選好の強い影響がみられる. 太陽熱温水器は 1979 年の石油危機を契機として設置台数を伸ばしたが, 近年の年間設置台数は 10 万台を下回る. 木村¹⁾は太陽熱温水器の普及が停滞した理由として, 必ずしも優れていない経済性, 便利で快適な給湯システムとしての開発の遅れ, 優れた競合技術の出現, 効果的な支援政策の不在をあげている. 一方, 太陽光発電は 1994 年より補助事業が開始され, システム価格の低下もあり, 設置台数を伸ばしている. しかし, 後述するように過去 10 年程度の購入者の総赤字額を算出すると 150 万円前後であり, その支払意志を持つ消費者によって普及が支えられてきたと考えることができる. 近年では普及支援策として補助金制度や発電電力の固定費買取制度が実施・検討され, 普及量の増加が期待されている. このような状況に対して, 1997 年から 2003 年の期間, 両技術によってもたら

された省エネルギー量を算出すると, 全体として原油換算 26 万キロリットルの減少となっている. したがって, 省エネルギー・二酸化炭素 (以下 CO₂) 排出量削減のために適切な技術選択がなされてきたとは言い難い. 家庭部門において省エネルギー技術, 再生可能エネルギー技術の普及を促進するためには, 技術選択にかかわる要因とその影響を明らかにし, 制度設計や技術開発といった普及支援策の実質的な効果を定量的に評価することは重要である.

以上の背景から, 本稿は太陽熱温水器, 太陽光発電をケースモデルとして①技術選択にかかわる消費者選好の調査, ②得られた消費者選好情報に基づく技術普及予測, ③技術普及によりもたらされるエネルギー・CO₂ 排出削減効果の推計を行うフローの確立を目的とする. ①②については, 松本ら²⁾によるクリーンエネルギー自動車を対象とする研究がある. 松本らは, 消費者選好調査のコンジョイント分析に基づいて, 価格や環境性能といった技術属性と技術選択率の関係をモデル化して技術進展や普及促進策による技術選択の変化を表現し, ロジスティック曲線により表現される普及予測モデルと統合して技術普及予測を行っている. 本稿は松本らが確立した方法論を応用し, 太陽熱温水器, 太陽光発電について消費者選好調査, 普及予測を行い, 下田ら³⁾が開発した家庭用エネルギーエンドユースモデルにより, 技術の普及によって得られる省エネルギー・CO₂ 排出量削減効果を定量化する.

*大阪大学大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻助教
〒565-0871 吹田市山田丘 2-1

e-mail yohei@see.eng.osaka-u.ac.jp

**日本学術振興会特別研究員

***広島市立大学国際学部

****大阪大学社会経済研究所

以下ではまず太陽熱温水器、太陽光発電の技術属性を整理する。次に、両技術に対する消費者選好を調査した結果を示し、結果に基づいて技術普及予測を行った結果を示す。最後に、大阪府を対象として両技術の普及により得られるCO₂排出量を推計し、補助金や太陽光発電の発電電力固定費買取制度などの導入効果、経済性を評価した結果を示す。

2. 太陽光発電・太陽熱温水器の技術属性の整理

本節では大阪府の戸建住宅において太陽熱温水器と太陽光発電を設置することを想定し、それぞれの償却年数を評価期間として購入者の費用収支、単純回収年数、CO₂排出量削減効果などを定量化する。

太陽熱温水器は集熱面積3m²、初期費用を24万円、年間集熱量を6,530MJ/年とした⁴⁾。金利を2007年の住宅金融公庫の基準金利として償却年数15年とし、年間償却費を算出した。初期費用の1%を保守費として考慮し、エネルギー費用の削減額を引き、償却年での費用収支を算出した。なお、給湯用のエネルギーとして都市ガス(CO₂排出係数51.3[kg-CO₂/MJ])、LPG(58.6[kg-CO₂/MJ])を想定した。

太陽光発電の容量は3kWとし、設置費用を財団法人新エネルギー財団の住宅用太陽光発電システム設置価格⁵⁾から1994年～2005年に実施された助成制度による補助金⁴⁾を差し引いて初期費用とした。容量1kWあたりの発電量は1000kWh/年とした⁴⁾。電気料金を一律23円/kWhとし、毎年の金利を住宅金融公庫の基準金利、保守費を太陽熱温水器と同様の条件で償却年数20年として収支を算出した。なお、発電された電力が代替する電源のCO₂排出係数として、全電源平均原単位(0.366kg-CO₂/kWh、関西電力2005年の数値)、火力平均原単位(0.69kg-CO₂/kWh)の二つを用いた。

表1および図1に結果を示す。太陽熱温水器の費用収支は都市ガスで4.4万円の赤字、LPGで約34万円の黒字となった。一方、図1に示すように太陽光発電は20年間の総赤字額が1996年以降140万円から200万円で推移している。CO₂排出削減量は想定する電源により異なるが、年間1.10～2.07 t-CO₂の削減となり、全電源平均原単位では太陽熱温水器の3倍の削減量となった。

表1 太陽熱温水器、太陽光発電の技術属性

機器/条件		指標	結果
太陽熱温水器	都市ガス	償却年費用収支	4.4万円の赤字
		単純回収年数	11.6年
		CO ₂ 削減量	0.34 t-CO ₂ /年
LPG	償却年費用収支	33.9万円の黒字	
	単純回収年数	6.0年	
	CO ₂ 削減量	0.38 t-CO ₂ /年	
太陽光発電	共通	償却年費用収支	図1に示す
		単純回収年数	30.3年(2007年)
	全電源	CO ₂ 削減量	1.10 t-CO ₂ /年
	火力平均	CO ₂ 削減量	2.07 t-CO ₂ /年

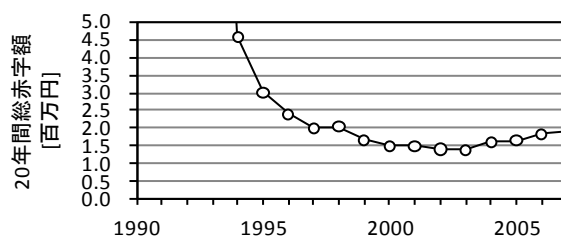


図1 太陽光発電購入者の20年費用収支(総赤字額)

3. 太陽光発電・太陽熱温水器の消費者選好調査

3.1 消費者選好の調査方法

本節では、技術選択にかかわる要因として初期費用、購入時の補助金の金額、発電電力の販売単価、光熱費削減額、設置によるCO₂削減量、世帯への普及率(隣人効果を測る代理指標)を挙げ、選択型コンジョイント分析により各因子が技術の選択に及ぼす影響を明らかにする。

選択型コンジョイント分析では回答者に対して選択肢を提示し、回答者はそのうち最も望ましい選択肢を選択する。本分析では、回答者には戸建住宅の新築・改修を実施することを想定するように依頼し、回答者は太陽熱温水器を設置する、太陽光発電を設置する、いずれも設置しないという3つの選択肢から一つを選択するものとした。選択結果の分析にはコンディショナル・ロジットモデルを用いた。

このモデルでは、回答者 n が3つの選択肢から選択肢 i を選択する確率 Pr_{in} を以下の式によって与える。

$$Pr_{in} = \frac{\exp(V_{in})}{\exp(V_{1n}) + \exp(V_{2n}) + \exp(V_{3n})} \quad (1)$$

ここで V_{in} ($i=1\sim 3$)は回答者 n が選択肢 i を選択することで得られる効用を表す。効用は(2)式のように、想定した因子の線形関数により与えられると仮定する。

$$V_{in} = \sum \beta_k X_{ik} \quad (2)$$

ここで k は考慮した因子を表し、 X_{ik} は選択型コンジョイントで選択肢 i に与えられた因子 k の数値、 β_k は因子 k の係数である。ただし、太陽熱温水器および太陽光発電の追加購入はダミー変数で与えた。選択型コンジョイントの結果に基づいて係数 β_k を推計する(最尤法により推計)ことで(2)式の効用関数を得ることができる。

選択型コンジョイントでの調査は大阪府内の住宅展示場の来場者375人(夫婦・家族で被験者となる場合もひとりとカウントした)を対象として以下の手順で実施した。

- (1) 回答者は、太陽熱温水器と太陽光発電の名称と写真(図2)を提示され、3つの選択肢から一つを選択する。本設問で意図したのは、外観と被験者の過去の経験に基づく技術への主観的な判断を把握することである。
- (2) 次に、回答者は各因子の水準について組み合わせの異なる8つのチョイスセットを与えられ、3つの選択肢

から一つを選択する。因子の水準は表 2 に示す 3 水準を設定し、直交表を用いて 24 個のチョイスセットを作成した。これらのチョイスセットをランダムに 3 種類の調査票に分けた。その 3 種類の調査票から 1 種類をランダムに回答者に配布し、回答を得た。

- (3) この選択実験より得られた結果を集計し、上記の選択型コンジョイント分析により各因子が回答者の効用に及ぼす影響を分析した。



図 2 被験者に提示された写真 (左：太陽光、右：太陽熱)

表 2 因子の水準の設定

因子	太陽光発電			太陽熱温水器		
追加購入費用(万円)	180	200	220	20	25	30
購入時の補助金(万円)	0	5	10	0	2	4
発電電力販売単価(円/kWh)	23	33	43			
年間光熱費削減額(万円/年) [†]	7	9	11	1	2	3
年間世帯当たりの CO ₂ 削減量 (t-CO ₂ /年) [†]	1.2	1.6	2.0	0.3	0.4	0.5
世帯普及率 (保有世帯数: 万人)	34	49	64	245	368	491

[†]年間値として因子の情報を提示したが、耐用年数は提示しなかった。

3.2 結果

名称・写真のみによる選択では被験者の 91%が太陽光発電 (太陽熱温水器 9%) を選択した。著者らの意図の通りこの結果が被験者の主観的判断を反映していると考えられるならば、両技術にこれだけの差異が生じた原因を理解することは技術普及を促進するうえで重要であると考えられる。表 3 に選択型コンジョイント分析の結果を示す。係数が正である場合、その項目値の増加に正の効用があることを示す。また、追加購入費用の係数と各因子の係数の比は各因子の一単位の変化に対する支払意志額と解釈することができる。表は各因子の支払意志額を併せて示す。

太陽光発電の追加購入には正の効用があり、123 万円の支払意志額が存在する。一方、太陽熱温水器の追加購入の支払意志額は -25 万円であり、負の効用がある。ここで定量化された効用は本稿の分析で調査されていない要因に起因するもので、被験者の経験に基づく主観的判断によるものであると考えられる。以降では、この追加購入に伴う効用を説明する要因を「技術イメージ」と記述する。

追加購入費用の係数はマイナスとなり、追加購入費用が安価であるほど選択率が高くなることが示された。この結果は技術の習熟による製品費用の低減が製品の普及につながることを示唆する。また、購入時の補助金の支払意志額を算出すると 1.8 (万円/万円) となり、補助金は追加購入費用よりも 1.8 倍の効用を持つことが示された。年間光熱費節約額の係数は正となり削減額が大きいほど効用が高く

なるが、年間節約額の支払意志額を両技術の耐用年数で割ると、太陽熱温水器 0.67, 太陽光発電 0.5[万円/耐用年数]/[万円/初期費用]となり、同じ金額であれば、燃料費節約額の削減よりも初期費用の減少のほうが効用を高めることが分かった。また、発電電力販売単価に対する支払意志額は 0.7 万円/ (円/kWh) となったが、ここで、20 年間すべての電力を販売したと想定すると (チョイスセットにはすべての発電電力を販売できることを明記した)、販売額合計値は発電電力 3000kWh/年×20 年×1 円/kWh で 6 万円となり、初期費用 0.7 万円と発電電力販売額 6 万円が同等と判断されていることを意味する。この結果は運用時の収支に影響を及ぼす施策よりも補助金のような初期費用の補助策が経済的に効率的であることを示唆する。しかし、このような結果となった原因として、被験者が因子の意味や水準の程度を正しく理解しなかった、実験であり実際の購入選択の場面よりも長期的収支を考慮しなかったなどの理由が考えられる。この点については注意が必要である。一世帯当たり CO₂ 削減量は係数が負となり、削減量の増加が効用を下げた結果となった。これは著者らの想定と異なるものであったが、CO₂ 削減量の意味が正しく解釈されなかった可能性がある。保有世帯数は有意な影響が見られなかった。

最後に、(2) 式に従って効用値を算出した。選択型コンジョイントの結果、得られた効用値と各技術の選択率の関係を図 3 に示す。各プロットは直交表に基づいて作成した各因子の組み合わせ (24 種) に対応する効用値と各技術の選択率の関係を示す。選択率を効用値により線形回帰すると図中の数式が得られる。

表 3 選択型コンジョイント分析結果

属性	係数	有意性	支払意志額・単位
3kW 太陽光発電の追加購入	1.97	***	123.3 万円/購入
太陽熱温水器の追加購入	-0.41	*	-25.6 万円/購入
追加購入費用 (万円)	-0.016	***	1.00 万円/万円
購入時の補助金 (万円)	0.029	**	1.80 万円/万円
発電電力販売単価 (円/kWh)	0.011	**	0.69 万円/(円/kWh) (販売単価)
年間光熱費節約額 (万円/年)	0.159	***	10 万円/万円
年間世帯当たり CO ₂ 削減量	-0.065	*	4.07 万円/t-CO ₂
世帯普及率	-0.001		0.03 万円/%

*** 1%有意, ** 5%有意, * 10%有意

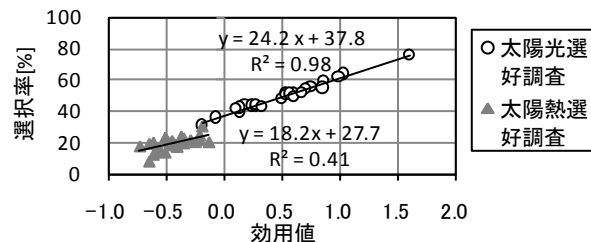


図 3 効用値と選択率の関係

4. 技術普及予測

本節では前節で得られた技術選択要因と技術選択率の関

係を用いて 2025 年までの技術普及を予測する。加えて、補助金制度や太陽光発電に対する発電電力の固定費買取制度などの技術普及施策の導入による普及数の変化を推計する。

4.1 技術普及予測方法

本研究では前述の松本ら²⁾と同様にロジスティック曲線による技術普及予測モデル、Generalized Bass Model⁶⁾(以下 Bass モデルとする)を使用して両技術の普及予測を行う。Bass モデルはマーケティングサイエンスの分野で確立されたモデルであり、新製品の普及予測などに用いられている。基本式を (3) 式 (4) 式に示す。

$$n(t) = p(m - N(t-1)) + q \frac{N(t-1)}{m} (m - N(t-1))$$

$$= (p + qn_{t-1})(1 - n_{t-1})m \quad (3)$$

$$N(t) = N(t-1) + n(t) \quad (4)$$

ここで、 $n(t)$: t 期の新規購入者、 p : 革新者係数、 q : 模倣者係数、 m : 潜在的な最終購入者数、 $N(t-1)$: $t-1$ 期の累積購入者数、 $N(t)$: t 期の累積購入者数、 n_{t-1} : $t-1$ 期の普及率である。この中で、革新者係数 p 、模倣者係数 q 、潜在普及規模 m がモデルのパラメータとなる。(3) 式には、マーケティングや補助金等の普及政策のように外部的な条件の変化を示す変数が含まれていない。そこで、Bass モデルでは (3) 式右辺にマーケティングミックス変数 $X(t)$ を乗じること、このような条件変化を表現している (5) 式。

$$n(t) = (p + qn_{t-1})(1 - n_{t-1})m \cdot X(t) \quad (5)$$

4.2 太陽熱温水器技術普及予測

(1) Bass モデルのパラメータ同定

1975 年から 2006 年までの太陽熱温水器販売台数実績値⁷⁾に基づいて (3) 式の各パラメータを推定した。推計された各パラメータを表 4 に示す (推計①)。また、年間の太陽熱温水器設置台数実績値と推計値を図 4 に示す (推計値の凡例は①)。また、太陽熱温水器は設置から 15 年間で寿命をむかえるものとし、累積設置台数から 15 年前の設置台数を差し引いた数値を保有台数と定義し、図 5 に示す。図からわかるように Bass モデルは図 4 のような短期間での単年の設置台数の変化を表現することはできないが、図 5 に示すように、保有台数ではおおむね良好な推計結果を示した。

図 4 において 1999 年以降の推計結果を見ると、実績値と推計結果①の差異が徐々に大きくなっている。これは 1998 年には累積設置台数が潜在普及規模の 94% に達するなど、モデル上で市場がほぼ飽和したためである。そこで、①による推計を第 1 世代とし、1999 年以降の設置台数実績値と第 1 世代設置台数の差を、買替えによる第 2 世代と想定し、再度 Bass モデルのパラメータを推計した。同様に、第 2 世代の温水器は 15 年後には寿命を迎えることから、2015 年から第 3 世代の買替え需要が生じるものとした。第 2 世代、

第 3 世代の革新者係数、模倣者係数、潜在市場規模は同じとした。各パラメータの推計結果を表 4 に示す (推計②)。潜在市場規模は第 1 世代 (推計①) と比較して大きく落ち込んでいる。この理由としては前述のように木村¹⁾が指摘する様々な理由が考えられる。第 2 世代、第 3 世代の設置台数を考慮した年間設置台数、保有台数推計結果を図 4、図 5 に示す。2025 年における保有台数は 57 万台となった。本稿では本ケースを 2025 年の BAU ケースとする。

表 4 太陽熱温水器の普及予測パラメータ

推計	計算期間	革新者係数	模倣者係数	潜在普及規模(万世帯)
①	1975 年～2006 年	0.029	0.160	703
② [†]	1999 年～2006 年	0.029	0.265	53

[†] ①における推計を第 1 世代、1999 年以降の②のパラメータによる推計を第 2 世代、2020 年以降の同パラメータによる推計を第 3 世代の需要とし、年間設置台数はその合計として算出する。

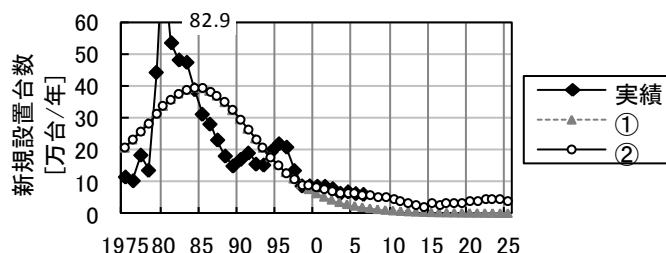


図 4 年間太陽熱温水器設置台数実績値と推計結果

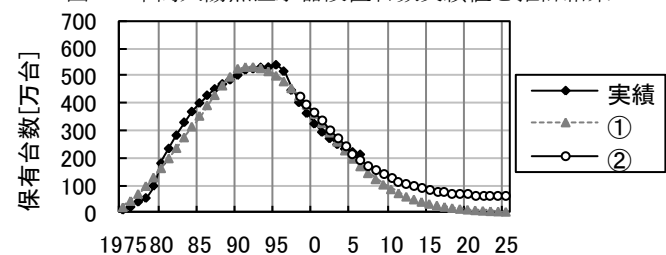


図 5 太陽熱温水器保有台数実績値と推計結果

表 5 太陽熱温水器の普及将来予測条件

条件	設定
燃料の高騰等により太陽熱温水器による年間光熱水費節約額の増加	1) 0.5 万円 2) 1 万円 3) 2 万円 4) 3 万円/年の増加
太陽熱温水器設置のための補助金の支給	1) 5 万円の補助 2) 20 万円の補助
太陽熱温水器に対する技術イメージの改善 (効用算出式(2)式の太陽熱温水器の追加購入の係数 (BAU は-0.41) の変化として表現する)	1) 現在の負のイメージがなくなる (0 に変更) 2) 太陽電池と同程度になる (1.965 に変更)

(2) 普及予測

対策等が行われぬ BAU ケースに加えて、表 5 のケースを想定し、普及台数を予測する。

太陽熱温水器の場合、すでに市場が定常状態にあると考えられることから、普及促進策の導入による選択率の変化は市場の拡大として解釈することができる。そこで、現在の効用値に対応する選択率 (図 3 に示した回帰式で与えられる) と普及促進策導入時の効用値に対応する選択率の比をとり、この比を市場規模の拡大比率とし、第 2 世代、第 3 世代の市場規模に掛け合わせ、設置台数を算出した。

結果を BAU ケースと合わせて図 6 に示す。図からわか

るように、補助金の実施は今後の設置数の減少を抑制する程度の効果は期待できるが、機器本体価格の大半をカバーする 20 万円の補助金においても、1990 年ごろの普及率（20%前後）に戻すことは不可能である。一方、太陽熱温水器の技術イメージの改善については大きな効果が期待できる。太陽光発電と同程度の技術イメージとなることで普及率 8%となる。ただし、この場合、太陽光発電や他の次世代型給湯器との競合を考える必要があるうえ、太陽熱温水器に対する選好も変化すると考えられ、普及予測は不確実なものとなる。また、太陽熱温水器の技術イメージが悪い原因には販売チャンネルの不足、利便性・快適性面の開発の遅れ等も含まれることから¹⁾、社会的・技術的課題も存在している。

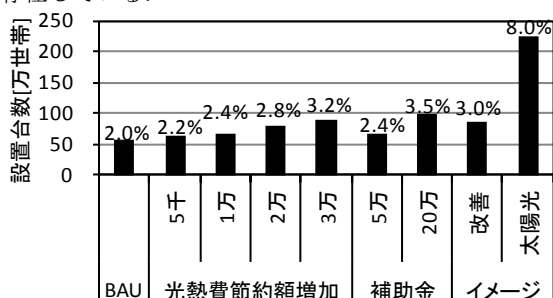


図6 太陽熱温水器の普及予測台数 (グラフ上の数字は普及率を表す)

4.3 太陽光発電技術普及予測

(1) Bass モデルの適用

太陽光発電については、(5)式におけるマーケティングミックス変数 $X(t)$ を考慮する。松本ら²⁾は、現時点で競合する製品の中から対象製品が選択される割合を H_0 、同じく t 期において選択される割合を H_t とした場合、 $X(t)$ を両者の比率 H_t/H_0 で表すものとした。本研究も同様に $X(t)$ を定義する。まず、2007 年および t 期における効用値を選択型コンジョイント分析の結果から算出する。次に、図3に示した回帰式から、2007 年、 t 期の効用値に対応する選択率を得る。これをそれぞれ H_0 、 H_t とし、この比を $X(t)$ とする。

次に、Bass モデルのパラメータの決定方法を説明する。太陽光発電のように年間出荷台数がピークを迎えていない製品に対して Bass モデルを適用する場合、市場規模を与件としてパラメータの推計を行う⁶⁾。太陽光発電はこの条件に当てはり、潜在市場規模を全国の戸建住宅 2814 万世帯の 76% (第3節の消費者選好調査で得られた選択率最大値) 2139 万世帯とした。革新者係数 p 、模倣者係数 q は、1996 年から 2007 年までの大阪府における販売台数実績⁸⁾、同データから算出される累積設置台数、加えて、日本の太陽光発電システム価格⁵⁾、補助金額の実績データ⁴⁾に基づいて算出した。まず、太陽光発電システム価格、補助金額の実績データを用いて、前述の方法で当該年のマーケティング

ミックス変数を算出した。次に、大阪府における販売台数実績、累積設置台数、加えて、大阪府の潜在市場規模 (大阪府戸建世帯数の 76%, 118 万世帯)、マーケティングミックス変数を (5) 式に入力する。ここでの未知数は p と q であるが、設置台数実績と Bass モデルによる推計結果の差の二乗和が最小となる p と q を算出した。この結果、推計された係数は $p=0.00013$ 、 $q=0.21$ である。これらを用いて得られた推計値と実績値を比較した結果を図7に示す。また、Bass モデルでは模倣者係数を類似製品の普及実績から得られた係数を用いることがあるが、参考として、エアコン ($q=0.148$)、水洗トイレ ($q=0.108$) を適用して設置台数を推計した結果を図に示す。図からわかるように、1996 年から 2007 年の範囲では上述の方法で算出したパラメータが最も精度よい推計結果を示した。

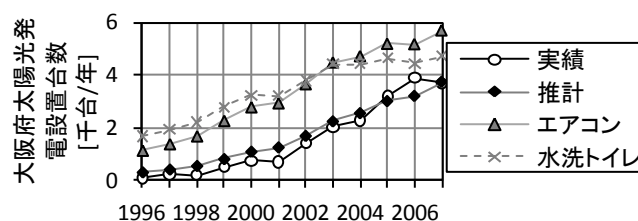


図7 大阪府の太陽光発電設置台数予測結果

表6 太陽熱温水器の普及将来予測条件

条件	設定
補助金の実施	1) 補助金 20 万円を支出 2) 習熟限界補助: 習熟曲線の限界 (後述する) に達するまで補助金を支出 (2008 年には 19 万円/kWh 支給だが価格の習熟によって徐々に減少する)
固定費買取制度の実施	発電された電力を全て家庭用買電価格より高い固定価格で買い取る (Feed-in Tariff). 買取価格は 1) 33 円, 2) 38 円, 3) 43 円/kWh とする。

(2) 普及予測

対策等が行われない BAU ケースに加えて、表6のケースを想定し、普及台数を予測する。普及予測では太陽光発電の累計生産量の増加に伴う価格の低下 (習熟効果) を考慮した ((6) 式)。

$$Y_t = A \cdot Q^\beta \quad (6)$$

ここで、 Y_t は t 年におけるコスト [円]、 A は初年度におけるコスト [円]、 Q は t 年までの累積生産量 [kW]、 β は定数である。本研究では過去の累計生産量と価格の関係より内田ら⁹⁾による推計から、 A を 909 万円、 $\beta=0.224$ 、 Q の初期値を 1993 年に 0.251 とした。ただし、現在ハウスメーカーが新築住宅を対象として提供している太陽光発電の最小価格が 45 万円/kWhであることを考慮し、習熟による価格低下の限界を 40 万円/kWh とした¹⁾。

¹⁾ このとき、発電単価は 30 円/kWh である。NEDO による開発目標は 2030 年における発電単価を 7 円/kWh とすることである。また、内田ら⁹⁾は習熟を考慮して 2030 年における太陽光発電単価予測値を推計しているが、発電単価は 34 円から 36 円/kWh 程度であると予測している。本研究の想定はその中間に位置する。

(3) 普及予測結果

各ケースの推計結果を BAU ケース、習熟を考慮しないケースと併せて図 8, 図 9 に示す。まず、BAU ケースでは技術の習熟による製品価格の減少により 2025 年において 67% まで普及量が増加する結果となった。前提とした技術の習熟による製品価格低下が想定したよりも高い価格水準で限界を迎える場合 BAU ケースにおける普及率はより小さくなり、逆の場合、普及率は大きくなる。

補助金の支給は普及速度の増加に寄与し、習熟限界補助ケースで 2025 年に 69%、20 万円の定額支給で 74% まで普及率が増加する。固定費買取制度は補助金と比較すると大きな変化が見られない。

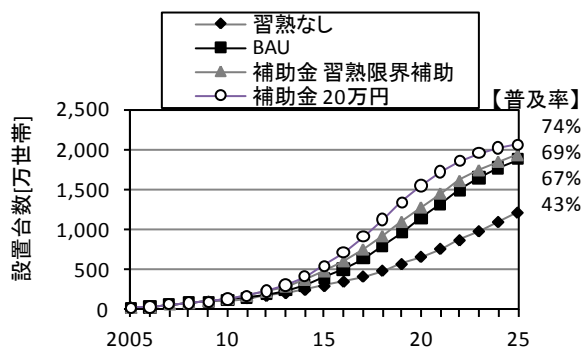


図 8 太陽光発電普及予測：補助金制度の実施

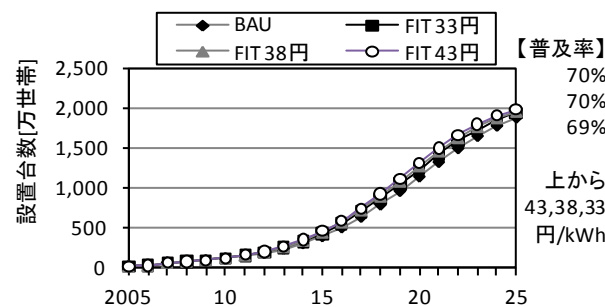


図 9 太陽光発電普及予測：固定費買取制度

5. 家庭用エネルギーエンドユースモデルによる大阪府における二酸化炭素削減効果の推計

前節では全国を対象として技術普及予測を行ったが、本節では前節で得られた両技術の普及率と大阪府の戸建住宅世帯数(2025年 155 万世帯)を掛け合わせて普及台数とし、技術普及によって大阪府家庭部門より削減される CO₂ 排出量を推計する。削減量の予測には下田ら³⁾が開発したエネルギー需要モデルを用いる。本モデルは住宅ストックを世帯構成 19 区分、住宅構成 12 区分、断熱性 4 区分の 912 類型に分類し、各類型の住宅モデルを入力条件としてシミュレーションを行い、得られた結果に類型別ストック(世帯数)をかけて結果を積み上げ、都市・国家スケールで最終エネルギー需要を定量化する。本モデルは居住者や住宅の属性を考慮して家庭の熱・電力需要を詳細に算出している

ことから、太陽熱温水器や太陽光発電等の技術の普及が、家庭部門最終エネルギー需要に及ぼす影響を精度良く評価することができる。太陽熱温水器の場合、同じ 1 世帯の普及であっても技術の導入効果は世帯の給湯需要によって異なることから、平均的に普及が進む場合(「線形普及」とする)と、上記世帯類型のうち最も CO₂ 削減効果の大きい世帯から技術の普及が進む理想的な条件(「最適普及」)を考え、エネルギー消費・CO₂ 削減効果を試算した。なお、各種燃料の CO₂ 排出係数は第 2 章で用いた数値を用いた。

太陽熱温水器について、2025 年における CO₂ 削減効果推計結果を図 10 に示す。筆者らの予測では、2025 年の大阪府家庭部門の CO₂ 排出量は 8.77 百万 t-CO₂/年であり、太陽熱温水器を戸建住宅全てに普及させた場合の排出削減量 0.55 百万 t-CO₂/年はその 6% に相当する。光熱水費削減額の増加・補助金対策では BAU ケースから大きな削減は得られないが、太陽熱温水器に対する技術イメージを太陽光発電の技術イメージまで向上させた場合、線形普及で 4.4 万 t-CO₂/年、最適普及で 6.8 万 t-CO₂/年の削減量が期待できる。

線形普及と最適普及の差異は線形普及の 40% 強である。この差異は購入者の世帯構成(つまり給湯需要)の違いによるものである。

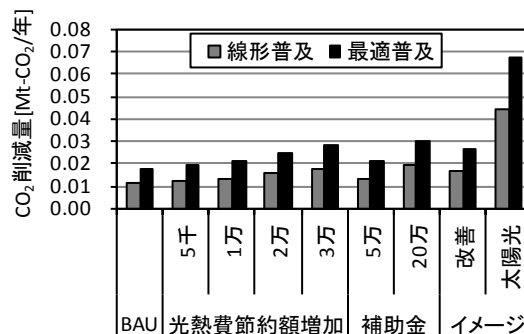


図 10 太陽熱温水器による大阪府の年間 CO₂ 削減量

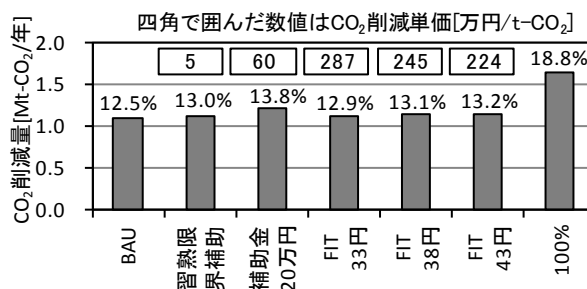


図 11 太陽光発電による大阪府の年間 CO₂ 削減量

太陽光発電について、2025 年大阪府における CO₂ 削減効果の推計結果を図 11 に示す。戸建住宅全てに太陽光発電が普及した場合の CO₂ 削減量は 1.65 百万 t-CO₂/年であり、大阪府家庭部門 CO₂ 排出量の 19% 弱に相当する。2025 年には BAU ケースでも 1.1 百万 t-CO₂/年の削減が予想されるが、習熟限界補助ケース、FIT38 円/kWh ケースではいずれも 1.15 百万 t-CO₂/年の削減が期待できる。図の棒グラフの上

の数値は 2025 年の排出量に対する削減率を示す。また、図上部の四角の中の数字は CO₂ 排出量 1t あたりの排出削減コストを示す。固定費買取制度と補助金制度の CO₂ 排出量削減コストを比較すると、補助金制度の削減単価が低い結果となった。

6. まとめ

本稿は①技術選択にかかわる消費者選好の調査、②得られた消費者選好情報に基づく技術普及の将来予測、③技術普及によって得られるエネルギー・CO₂ 排出削減効果推計を行うフローの確立を目的とした。①から③の統合によって経済性や効率などの技術属性の改善から、当該技術の普及施策の実施、需要家における技術利用の最適化といった、各段階での対策効果を一つの枠組みで評価することが可能となった。本稿は次にまとめるように太陽熱温水器、太陽光発電をケースモデルとしてその有用性を示した。

太陽熱温水器は経済性や環境性能は優れているものの、それ以外の技術属性により敬遠されている（購入に対して負の効用が存在する）。太陽熱温水器が地球温暖化緩和技術として貢献するためには、この点の改善が不可欠である。太陽熱温水器の所有に対して太陽光発電と同程度の効用を付与できた場合、太陽熱温水器の普及率は BAU ケースの 2%から 9%まで増加し、大阪府における CO₂ 排出量の削減率は 2025 年の排出量の 0.1%（BAU ケース）から 0.5%まで増加する。また、給湯需要の多い世帯ほど導入効果が高く、技術の配置の最適化により 40%程度削減量が増加する可能性がある。ただし、製品に対する消費者選好が大きく変化した場合、太陽光発電や他の次世代型給湯器との競合関係を考慮する必要がある。また、太陽熱温水器の普及には販路の確保などの社会的・技術的課題も残されている¹⁾。

太陽光発電は太陽熱温水器と対照的に、技術特性や経済性能以上に、消費者による製品への高い支払意志によってこれまでの普及が支えられてきた。今後の普及については、技術の習熟による初期費用の減少によって普及量が大きく伸びる可能性があることが示唆された。太陽光発電技術の普及支援策については、本稿の検討の範囲では運用時の支援策である固定費買取制度よりも、初期費用に対する補助策も費用対効果の面で優れている結果が得られた。

以上のように、本稿が提案する①から③の統合は有用であると考えられるが、②の技術普及予測において重要な課題が残された。技術普及予測では Bass モデルを用いたが、Bass モデルは潜在市場規模によって最終的な技術普及量を、革新者係数、模倣者係数によって普及の過程を与えるモデルである。技術の普及実績データが長期的に利用可能な製

品であればある程度妥当な推計ができるが⁹⁾、それが利用可能ではない製品については各パラメータを与件として与える必要が生じる。本稿で示した太陽光発電はそれに該当する。したがって、本稿で示した普及予測結果は将来の普及に関する一つの可能性を示したにすぎない。実社会においては、技術の属性をはじめ、技術生産、流通、利用の各種システム、技術に対する需要家の選好など、技術の普及を決定づける各種の要因が共進化的に変化し、最終的な普及量や普及過程が決定する。この過程は複雑かつ不確実であり、Bass モデルによる予測結果は不確実性を伴う¹⁰⁾。不確実性を位置づける一つの方法は、上述のような技術普及に伴う社会的・技術的变化を複数想定したうえで、それらに対応する潜在市場規模、普及過程を想定し、本稿で示したような普及予測を行うことが考えられる。この点の検討を今後の課題とする。

謝辞

本研究は環境省地球環境研究推進費(H-062)「制度と技術が連携した持続可能な発展シナリオの設計と到達度の評価に関する研究」(平成 18 年度～20 年度:代表、西條辰義大阪大学社会経済研究所教授)によるものである。また、技術普及予測モデルの構築に当たっては、大阪大学梅田靖教授にご指導いただいた。関係各位に記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 木村宰; 太陽熱温水器の普及はなぜ停滞しているのか, 電力中央研究所研究報告, Y08002 (2008).
- 2) 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・資源学会論文誌, 29-3 (2008).
- 3) 下田吉之, 山口幸男, 岡村朋, 谷口綾子, 山口容平; 家庭用エネルギーエンドユースモデルを用いた我が国民生家庭部門の温室効果ガス削減ポテンシャル予測, エネルギー・資源学会論文誌, 30-3 (2009).
- 4) NEDO; 新エネルギー関連データ集, <http://www.nedo.go.jp/nedata/index.html>. (アクセス日 2008.1.30)
- 5) 財団法人新エネルギー財団; <http://www.solar.nef.or.jp/josei/zissi.htm> (アクセス日 2008.1.30)
- 6) Bass, FM, T. V. Krishnan, D. C. Jain; Why the Bass Model Fits Without Decision Variables, *Marketing Science*, 13 (1994), pp.203-223.
- 7) 社団法人ソーラーシステム振興協会; 太陽熱利用機器販売台数推移, <http://www.sdda.or.jp/energy/result.html> (アクセス日 2008.1.30)
- 8) 財団法人新エネルギー財団; http://www.solar.nef.or.jp/system/html/taiyou_sys080421.pdf (アクセス日 2009.8.30)
- 9) 内田晋, 氷鮑揚四郎; 習熟と環境価値を考慮した再生可能エネルギーの普及モデル, エネルギー・資源学会論文誌, 29-3 (2008), pp.15-21.
- 10) Van den Bulte, C., Lilien, G. L.; Biased and systematic change in the parameter estimates of macro-level diffusion models, *Marketing Science*, 16 (1997), pp.338-353.