

戸建住宅に対する太陽熱温水器と太陽光発電の 市区町村別普及データを用いた普及要因分析

Study on the diffusion factor of Solar Water Heaters and Photovoltaic Systems
based on municipal statistics.

関 知道*¹
Tomomichi SEKI

田中 秀雄*²
Hideo TANAKA

秋澤 淳*³
Atsushi AKISAWA

Abstract

Solar energy such as solar heat and photovoltaic is one of the most important renewable energy resources which contribute to establishing the sustainable society. This paper aims to find determining factors of adopting solar energy devices such as Solar Water Heater (SWH) and Photovoltaic System (PV). In analyzing the factors, the statistical data of diffusion rate of the devices in each city, ward, town and village were classified by dividing the regional areas based on climate zones and fuel supply types. As a result, two key variables were found, namely "average of highest temperature" and "average of diffusion rate within 30km-distant locations", which enable to estimate the diffusion rate of SWH efficiently. On the other hand, no significant determining factor was found for estimating the diffusion rate of PV because the device has not yet been sufficiently installed locally at this early stage.

キーワード：太陽熱温水器，太陽光発電，普及率，普及要因，情報伝達

Key Words : solar water heater, photovoltaic system, diffusion rate, diffusion factor, information propagation

1. はじめに

現代社会の市民生活や経済活動において、エネルギーは必要不可欠な財となっている。一方、国内に供給されている一次エネルギーのほとんどは海外から輸入され、エネルギー安全保障の観点から大きな課題となっており、政府は再生可能エネルギーの導入拡大や化石燃料の高度利用等の施策を推進している¹⁾。

太陽、風力、バイオマス等の再生可能エネルギーのうち、市民生活において身近な再生可能エネルギーは太陽エネルギーである。特に太陽光発電は、余剰電力買取制度や政府技術開発支援もあり、普及への期待が高まっている。以前から太陽の熱エネルギーを利用した給湯システムがあるが、現在は政府による積極的な普及支援対象とはなっていない。そこで、歴史と実績がありエネルギー変換効率の高い太陽熱温水器と普及への期待が高い太陽光発電の普及促進による持続可能な社会実現への貢献を目指し、太陽エネルギー利用機器の普及要因を明らかにすることを目的とする。

太陽エネルギー利用機器の普及促進に資する研究では、

機器の設置方向や気象条件による省エネ効果や設置面積の最適化により太陽エネルギーの効率的利用に関する研究²⁾³⁾がある。また、アンケートを利用した投資額に対する消費者嗜好や製品生産の習熟効果、補助金等による価格と普及量に関する研究⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾があり、日照時間等の気象条件や屋根面積などの物理的制約条件からの普及可能量の研究⁸⁾⁹⁾も行われている。

普及要因に関する研究では、太陽熱温水器の新規設置が低迷している国内市場全体をマクロ分析し、必ずしも優れていない経済性、技術停滞、競合機器の登場と支援政策の不在を指摘した研究¹⁰⁾がある。太陽光発電の都道府県普及率を年間発電電力量や投資回収期間により普及要因を分析した研究¹¹⁾では、分析対象である経済性以外の要因、情報伝達効果⁷⁾等の影響に言及している。そこで、太陽エネルギー利用機器の普及促進に向けて普及要因を体系的に解明することを本論文の目的とする。

本論文の普及要因分析には、2つの特徴がある。まず、市区町村別普及率に着目していること、次に、気象条件や経済性だけでなく、ロコミ等による製品情報を購入手機とした情報伝達効果の視点からの普及要因分析を特徴としている。市区町村別に機器普及率、気象条件として日照時間・気温、経済性として光熱費を利用する。さらに、情報伝達効果の詳細は後述するが、ロコミ等の伝搬力としての市区町村間距離と市区町村間の機器普及率差を利用する。また市区町村別属性として、気候帯・燃料供給・日照条件や建

*1 東京農工大学大学院生物システム応用科学府博士後期課程
東京電力(株) (〒100-8560 東京都千代田区千代田 1-1-3)
e-mail : seki.tomomichi@tepcoco.jp

*2 東京農工大学大学院生物システム応用科学府客員教授

*3 東京農工大学大学院工学研究院教授
(原稿受付：2012年8月13日)

物密集度などの住宅建築環境等で分類した地点区分を設定した。そして、地点区分別に太陽エネルギー利用機器の普及率を被説明変数として、日照時間や気温、情報伝達効果等の説明変数による相関や回帰モデルの説明力により普及要因を評価し、有効な説明要因を導いた。

2. データおよび分析方法

2.1 分析対象データ

(1) **普及データ** 被説明変数となる機器普及データは、機器普及数量のストックデータを使用する。太陽熱温水器の普及数量実績では、全国消費実態調査¹²⁾が昭和59年から調査対象とし、住宅・土地統計調査¹³⁾が平成15年から調査対象としている。太陽光発電の普及数量実績では、住宅・土地統計調査が平成15年から調査対象としている。また、太陽エネルギー利用機器の戸建住宅と集合住宅の普及率は、機器設置環境等の要因から大きく異なっている。太陽熱温水器普及率では、戸建住宅9.1%に対して集合住宅0.5%、太陽光発電普及率も戸建住宅1.8%に対して集合住宅0.2%となっている¹³⁾。

そこで本論文では、普及率が高い戸建住宅を分析対象とし、市区町村別、また、戸建住宅と集合住宅の区分が可能で、かつ、最新の普及数量実績である平成20年住宅・土地統計調査を使用した。

(2) **気象データ等** 太陽エネルギー利用機器の普及要因には、日照時間、気温等の気象の影響が予想される。そこで、地上気象観測所観測データ¹⁴⁾の日照時間と気温情報の平年値を使用する。家計支出における光熱費との関係では、平成21年全国消費実態調査の市区町村別光熱費支出を使用する。

情報伝達効果の分析には、ロコミ等は距離に依存すると考え、普及データの市区町村間の距離は市区町村役場間の距離とした。役場間の距離は、役場の住所から緯度経度情報を取得し、計算により算出した。

(3) **分析対象地点** 被説明変数の普及データと説明変数の気象データ等の両方が存在する市区町村を分析対象地点とする。市区町村別普及データは1,318箇所、気象データは782箇所、光熱費データは1,330箇所となる。異なる統計データを関連づけるために、地上気象観測所の名称と普及データの市区町村名が明確に一致すると判断できるデータを一つの分析対象地点データとした。また沖縄地方は、本州の各地方と浴槽への湯張り等の生活習慣が異なっていることもあり対象から除外した。

その結果、普及データと気象データが関連づけられた地点は330箇所、光熱費データも存在する地点は303箇所となる。なお各地点の地域分布は、分析・評価に支障となるような偏在性はなかった。

2.2 普及要因分析方法

普及要因分析では、普及率を被説明変数とし、説明力の

高い説明変数や地点区分を見出すことが求められる。太陽エネルギー機器構成等から、以下に示す説明変数、区分を設定し要因分析を実施した。

(1) **被説明変数と説明変数** 被説明変数は、太陽熱温水器戸建住宅普及率（以後「太陽熱温水器普及率」）と太陽光発電戸建住宅普及率（以後「太陽光発電普及率」）とする。普及率は、市区町村単位に太陽エネルギー利用機器を設置している戸建住宅数を戸建住宅総数で除したものとした。

説明変数の日照時間では、年間日照時間のほか、7月から9月の夏期日照時間、12月から3月の冬期日照時間を設定し、降雪地帯など地域の影響も評価する。気温では、平均気温の年平均（以後「平均気温」）、最高気温の年平均（以後「最高気温平均」）、最低気温の年平均（以後「最低気温平均」）を設定し、太陽エネルギー量や機器の熱損失や変換効率の影響を評価する。電気代やガス代合計の光熱費では、光熱費支払額と光熱費を消費支出で除した光熱費支払率の影響も評価する。

(2) **地点区分** 太陽エネルギー利用機器の普及率は、市区町村により比較的大きな差があり、普及率の説明力が高い地点属性を求めることが重要となる。市区町村別属性には、都道府県や地方などの行政区分、気候帯や燃料供給種別、人口密度や建物密集度などの属性が考えられる。

本論文では、先行事例である地域性を考慮した日本のエネルギー需給分析モデル¹⁵⁾と同様の区分を設定した。気候区分として、政府の省エネルギー基準で定められている断熱性能地域区分のI地域を寒冷地（Cold）、II・III地域を中間地（Medium）、IV～VIを温暖地（Warm）とした3区分を気候区分とする（Fig.1）。

燃料区分では、都市ガスとLPガスの熱量当たり単価が異なり、太陽エネルギー利用機器経済効果に影響を与えるため、一般ガス事業者供給区域エリアマップ¹⁶⁾から都市ガス供給区域を都市ガス区分、それ以外をLPガス区分とする。灯油を給湯に利用している住宅も多いが、灯油の供給体制は全国に整備されているとし区分しない。さらに、都市ガス区分のうち人口密度が高い地域は、高層建築による日照条件の悪化、狭隘な土地での片流れ屋根といった住宅建築環境となり、太陽エネルギー利用機器設置への悪影響が大きい。そこで、総務省定義による2000年三大都市圏人口密度を参考に約3,500人/km²を上回るか、人口集中区域が市域の概ね半分以上を占めている地域を大都市周辺区分とし、LPガス（LP gas）・都市ガス（City gas）・大都市周辺（Metropolis）の3つを燃料区分とする（Fig.2）。

Table 1は、沖縄地方を除いた気候区分、燃料区分毎の地

Table 1 Sample size of climate zones and fuel supply types

	LP gas	City gas	Metropolis	Total
Cold	23 (17)	14 (14)	0 (0)	37 (31)
Medium	46 (37)	32 (32)	0 (0)	78 (69)
Warm	90 (81)	108 (105)	17 (17)	215 (203)
Total	159 (135)	154 (151)	17 (17)	330 (303)

() : Available of energy bill data, written again

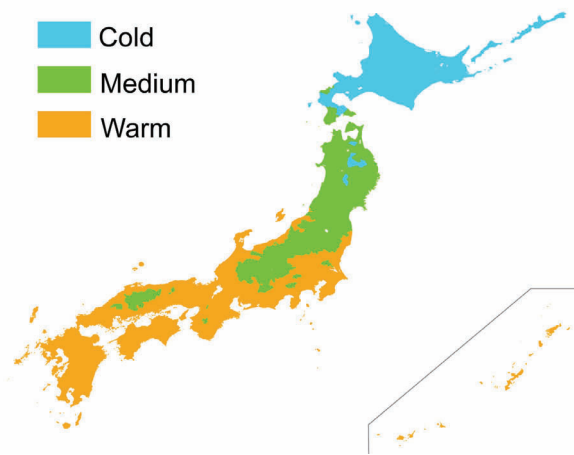


Fig.1 Regional division of climate zones

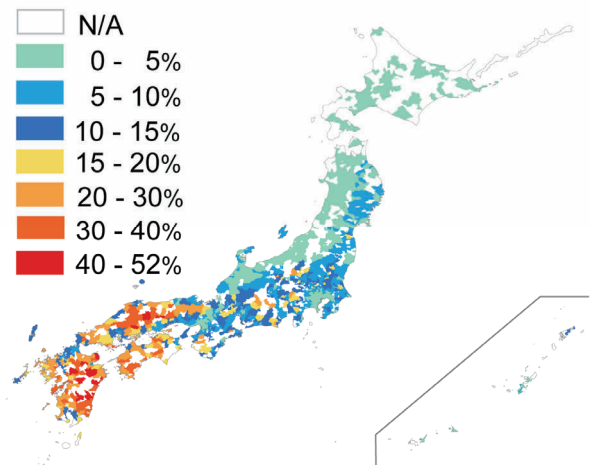


Fig.3 Diffusion rate of SWH

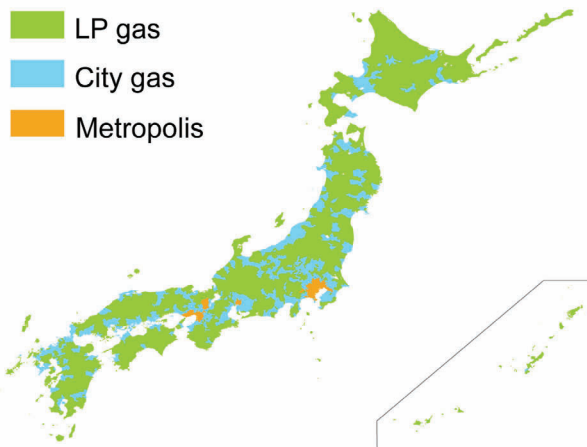


Fig.2 Regional division of fuel supply types

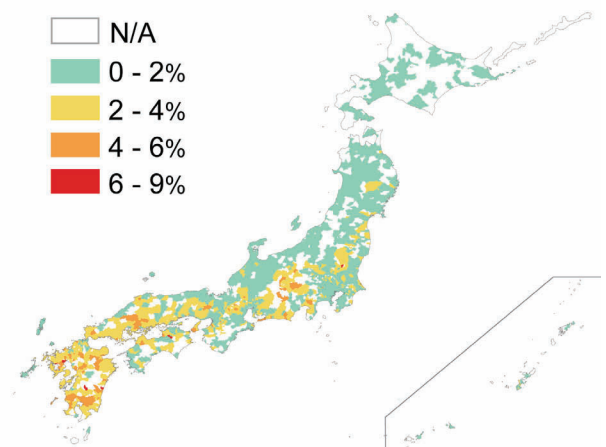


Fig.4 Diffusion rate of PV

点数をまとめたものである。以後の分析では、光熱費データの有無に依存しない 330 地点データによる分析を基本とし、光熱費が関係する分析のみ 303 地点データを使用した。気候区分と燃料区分の両区分を指定した区分を複数区分指定とする。

(3) 要因分析手順 区別に被説明変数と説明変数との単相関分析を行い、日照時間・気温・光熱費の指標毎に説明変数の相関の強さを判定する。指標毎に相関の強い説明変数を使用した重回帰分析、最も相関の強い一つの説明変数による非線形重回帰分析を実施し、決定係数と有意判定により普及要因の妥当性を評価する。

また情報伝達効果分析では、口コミ等を購入動機とした普及の指標化から実施する。耐久消費財の基本的普及理論である Bass モデル¹⁷⁾では、未購入消費者に製品情報が伝達されると、その消費者の一定比率は製品を購入するとしている。そこで本論文では、環境条件・社会条件が同様なローカルな範囲内で普及率は同程度になるとし、また、口コミ等が社会条件に与える影響は距離に比例して減少すると仮定し、地点間距離と地点間普及率差から情報伝達効果の存在と口コミ等が普及に影響を及ぼす距離（以後「情報伝達距離」）を統計データから検証した。次に、情報伝達距

離における平均普及率を説明変数とした重回帰分析を実施した。

3. 太陽エネルギー利用機器普及実態

3.1 太陽熱温水器戸建住宅普及実態

市区町村別太陽熱温水器普及率を Fig.3 に示す。九州・中国・四国地方が他の地域より普及率が高く、太平洋側は日本海側より普及率が高く、日照時間や気温等の気象条件の影響が予想される。そして、東京・大阪・名古屋・福岡等の都市部は近隣地域に比べて普及率が低く住宅建築環境の影響、また、鹿児島市付近は桜島の火山灰の影響により普及率が低いとも予想できる。

Table 2 に、普及率の区分別記述統計量を示す。気候区分では、普及率平均値が 3 区分毎に異なるのに対し、標準偏差は寒冷地のみ低い値である。燃料区分では、平均値、標準偏差とも 3 区分で異なっている。気象区分と燃料区分の複数区分指定では、寒冷地は燃料区分の違いによる平均値と標準偏差、標準偏差を平均値で除した変動係数 (CV) の差が小さいことから、気象条件の影響で普及が説明できる可能性が高いことを示唆している。

3.2 太陽光発電戸建住宅普及実態

市区町村別太陽光発電普及率を Fig.4 に示す。太陽光発電は太陽熱温水器に比べ普及率は低い。地域的な傾向は太陽熱温水器との類似性がある。一方、高普及地点が単独して点在していること、日照時間が短い日本海側でも太平洋側とほぼ同程度の普及率となっていることが異なる。

Table 3 に、区分別記述統計量を示す。気候区分による普及率平均値に違いはあるが、その差は非常に小さい。燃料区分では、大きな差は見受けられず、気候区分と燃料区分の複数区分指定では、気候区分の差がそのまま表われている。太陽光発電の全地点普及率 1.72%は、太陽熱温水器の全地点普及率 10.85%に比べ小さく、標準偏差も小さい。また、区分による差も小さいため、太陽光発電の普及要因を明確に求めることは難しい状況にある。

4. 普及要因分析結果

4.1 太陽熱温水器

(1) 相関分析 太陽熱温水器普及率に対して、8つの説明変数との単相関分析を実施した。Table 4 は、全地点と区分毎の相関係数である。

全地点では、日照時間よりも気温、特に最高気温平均の相関が強くなっている。気候区分では、寒冷地の最低気温平均のみが負の相関となっており、中間地、温暖地は最高気温平均が強い相関を示している。燃料区分では、LP ガス、都市ガスとも最高気温平均が強い相関であるが、大都市周辺は統計上有意となる相関係数がなかった。気候区分と燃料区分の複数区分指定では、前述した気候と燃料の各区分と同様の傾向となった。

区分間を比較した場合、寒冷地と大都市周辺は全地点とは相関係数の傾向が異なっており、中間地・温暖地と LP ガス・都市ガスは、全地点とほぼ同じ傾向にあり相関の強さに違いがあるだけである。ただし、Table 1 に示したように寒冷地 37 地点、大都市周辺 17 地点と地点数が少ないことに対する留意が必要である。Fig.5 は、全地点における太陽熱温水器普及率と最高気温平均との散布図であり、最高

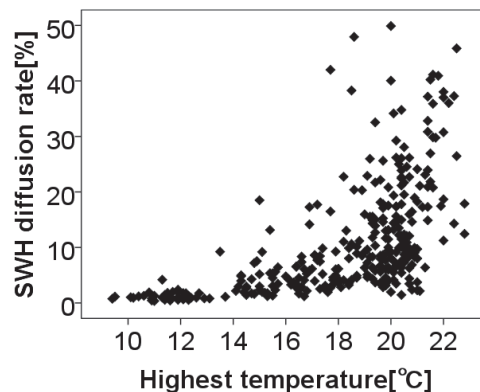


Fig.5 Scatter diagram of average highest temperature and SWH diffusion rate

気温平均が上昇するに従い普及率が上昇する一方で普及率の分散が拡大する傾向にある。

(2) 回帰分析 特定の説明変数に強い相関がない寒冷地と大都市周辺区分以外の中間地と温暖地区分、LP ガスと都市ガス区分に対して、日照時間・気温・光熱費の各指標で最も相関の強い説明変数を第一説明変数とし、順番に第三説明変数まで増加させた重回帰分析を実施した。Table 5 は、調整済み決定係数 R^2 の大きかった燃料区分の分析結果となる。普及率の説明力としては低い状態であり、説明変数間の多重共線性は確認できなかった。

さらに、相関分析で最も相関の強い一つの説明変数による非線形回帰分析を実施した。多くの非線形回帰モデルを候補にパラメータ推定と結果評価を実施し、説明力が最も高かった指数関数モデルの結果と係数項と定数項の F 検定有意水準を Fig.6 に示す。寒冷地と大都市周辺区分を除いた地域の太陽熱温水器普及率は、LP ガスと都市ガスの燃料供給体制で区分し、最高気温平均を説明変数とすることで約 70%を説明することができた。Table 6 にパラメータ推定結果を、Fig.7 に最高気温平均による太陽熱温水器普及率の予測モデルと 95%信頼区間を示す。最高気温平均が同じでも、供給される燃料種別が異なることによる経済効果の違いが、太陽熱温水器普及に影響を及ぼしていると推測される。

Table 2 Statistic results of SWH diffusion rate by climate zones and fuel supply types

Division		Average	Standard deviation	Minimum	Maximum	CV
All point		10.85%	10.03%	0.36%	49.89%	0.92
Climate	Cold	1.22%	0.71%	0.36%	4.19%	0.58
	Medium	7.66%	9.01%	0.81%	47.93%	1.18
	Warm	13.66%	9.88%	1.46%	49.89%	0.72
Fuel	LP gas	13.05%	11.92%	0.36%	49.89%	0.91
	City gas	9.38%	7.49%	0.45%	40.92%	0.80
	Metropolis	3.47%	1.39%	1.46%	7.56%	0.40
Climate / Fuel	Cold/ LP gas	1.31%	0.79%	0.36%	4.19%	0.60
	Cold/ City gas	1.08%	0.56%	0.45%	2.39%	0.52
Climate / Fuel	Medium/ LP gas	9.29%	10.76%	1.11%	47.93%	1.16
	Medium/ City gas	5.33%	4.92%	0.81%	20.39%	0.92
Climate / Fuel	Warm/ LP gas	17.98%	11.23%	3.10%	49.89%	0.62
	Warm/ City gas	11.66%	7.34%	1.96%	40.92%	0.63

Table 3 Statistic results of PV diffusion rate by climate zones and fuel supply types

Division		Average	Standard deviation	Minimum	Maximum	CV
All point		1.72%	1.14%	0%	6.91%	0.67
Climate	Cold	0.39%	0.35%	0%	1.40%	0.89
	Medium	1.46%	1.12%	0.15%	5.00%	0.77
	Warm	2.04%	1.05%	0.15%	6.91%	0.51
Fuel	LP gas	1.78%	1.35%	0%	6.91%	0.76
	City gas	1.71%	0.94%	0.08%	4.62%	0.55
	Metropolis	1.25%	0.41%	0.64%	1.95%	0.33
Climate / Fuel	Cold/ LP gas	0.36%	0.38%	0%	1.40%	1.06
	Cold/ City gas	0.45%	0.30%	0.08%	1.05%	0.66
Climate / Fuel	Medium/ LP gas	1.63%	1.24%	0.15%	5.00%	0.76
	Medium/ City gas	1.20%	0.87%	0.33%	4.10%	0.72
Climate / Fuel	Warm/ LP gas	2.22%	1.30%	0.15%	6.91%	0.58
	Warm/ City gas	2.02%	0.81%	0.35%	4.62%	0.40

(3) 情報伝達効果分析 環境条件・社会条件が同様なローカルな範囲内で普及率は同程度になるとし、ロコミ等が社会条件に与える影響は距離に比例して減少するとした仮説を検証するため、地点間の普及率差絶対値と地点間の距離との関係を検証した。まず、2 地点間の距離と普及率差絶対値を算出し、次に、地点間距離 10km 単位の地点間集合を地点間距離グループとした(補足 1)。

Fig.8 は、全地点区分における、横軸に地点間距離グループ、縦軸に地点間距離グループに所属する地点間の普及率差絶対値平均とその標準偏差、N は地点間距離グループの地点間数となる。地点間の相互距離が 50~60km のグループ以遠では普及率差絶対値の上昇が小さくなることから、0~50km が情報伝達距離と推測した。さらに 330 箇所の各

地点の普及率と各地点を中心に 10km 毎の全地点普及率平均との一次線形回帰分析を実施したところ、情報伝達距離 50km までの 5 つの R² は 70% 前後で推移し、60km 以降は R² が低下傾向となった。そこで本論文では、情報伝達距離は中間点である 30km とし、各地点から 30km 圏内の全地点普及率平均(以後「30km 圏内平均普及率」)を情報伝達効果の代表値として普及要因分析を実施した。Fig.9 は、太陽熱温水器普及率と 30km 圏内平均普及率との散布図となるが、Fig.5 と比較すると一次線形に近い関係となっており、一次線形関数で決定係数 R² が 72.2% の説明力がある。

次に、30km 圏内平均普及率を第一説明変数とし、最も関連の強い説明変数を第二説明変数とし、第三説明変数まで増加させた重回帰分析を実施した。Table 7 は、Table 5

Table 4 Correlation coefficients of SWH diffusion rate by climate zones and fuel supply types

Division	Hours of sunshine (HS)			Climatic normal temperature			Energy bill (EB)		
	Year	Jul.~Sept. (Summer)	Dec.~Mar. (Winter)	Average temperature	Highest temperature	Lowest temperature	Amount	Rate	
All point	0.356**	0.400**	0.209**	0.501**	<u>0.568**</u>	0.436**	-0.357**	-0.191**	
Climate	Cold	0.204	0.078	0.139	-0.342*	0.066	-0.432**	-0.167	-0.029
	Medium	0.260*	0.054	0.275*	0.383**	<u>0.580**</u>	0.162	-0.204	-0.023
	Warm	0.196**	0.322**	0.022	0.323**	<u>0.520**</u>	0.157*	-0.281**	0.119
Fuel	LP gas	0.465**	0.481**	0.308**	0.620**	<u>0.677**</u>	0.562**	-0.508**	-0.322**
	City gas	0.400**	0.431**	0.232**	0.577**	<u>0.623**</u>	0.519**	-0.371**	-0.232**
	Metropolis	0.153	0.019	0.219	-0.223	-0.159	-0.225	0.030	-0.298
Climate / Fuel	Cold / LP gas	0.183	0.217	0.046	-0.248	0.139	-0.357	-0.373	-0.336
	Cold / City gas	0.450	-0.166	0.452	-0.476	0.067	-0.548*	0.040	0.155
	Medium / LP gas	0.210	0.126	0.179	0.508**	<u>0.603**</u>	0.368	-0.372**	0.023
	Medium / City gas	0.680**	0.182	0.659**	0.243	<u>0.639**</u>	-0.086	0.065	-0.268
	Warm / LP gas	0.338*	0.361*	0.189	0.453**	<u>0.655**</u>	0.265*	-0.447**	-0.011
	Warm / City gas	0.181	0.324**	-0.009	0.416**	<u>0.529**</u>	0.288**	-0.385**	0.069

** . 1% Significance, * . 5% Significance, Underline . Top of division, Bold . Top of index

Table 5 Regression coefficients of SWH diffusion rate(1)

Division	Variable	Coefficient	Standard error	t-value	VIF	Adjusted R ²
LP gas	(Constant)	-1.665	8.483	-0.196		0.498**
	Highest temp.	1.978**	0.243	8.129	1.261	
	EB amount	-0.001**	0.000	-3.693	1.261	
City gas	(Constant)	-11.129	6.952	-1.601		0.422**
	Highest temp.	1.256**	0.196	6.397	1.475	
	HS summer	0.019*	0.009	2.173	1.349	
	EB amount	-0.001**	0.000	-2.660	1.134	

Units of variables . °C, yen, hour

VIF . Variance information factor

** . 1% Significance, * . 5% Significance

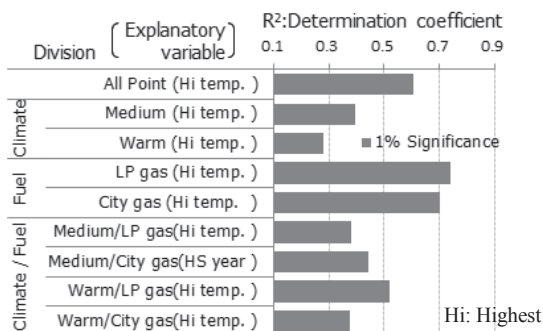


Fig.6 Regression results by exponential function

Table 6 Regression results by exponential function and fuel supply type

Division	Variable	Coefficient	Standard error	t-value	R ²
LP gas	(Constant)	0.045**	0.011	4.025	0.739**
	Highest temp.	0.291**	0.014	21.072	
City gas	(Constant)	0.036**	0.010	3.613	0.704**
	Highest temp.	0.282**	0.015	19.031	

Units of variables . °C

** . 1% Significance

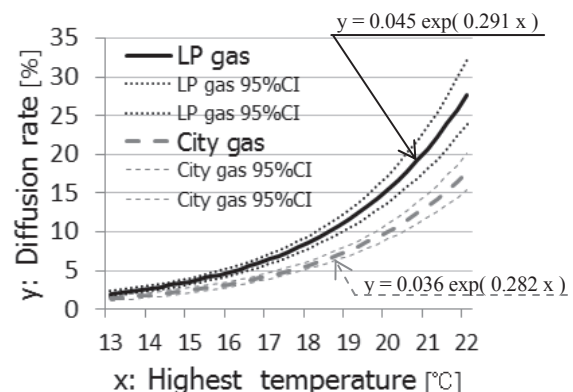


Fig.7 SWH diffusion model of average highest temperature

と同じ燃料区分における調整済み決定係数 R^2 が大きな分析結果である。Table 5 に比べて調整済み決定係数 R^2 が大きく改善している。他の区分である全地点区分、気候区分でもほぼ同様に改善し、中間地では 86% になるなど、30km 圏内平均普及率による大きな改善効果があった。

製品普及において距離が関係する要因には、口コミ等による情報伝達効果、販売店や工事店など販売・メンテナンスチャネルの活動範囲、気象・燃料供給・住環境条件等の類似性などが推定される。距離を指標とした本分析結果は、口コミや販売・メンテナンスチャネル等の要因による情報伝達が普及に影響していることを示唆するものと解釈でき

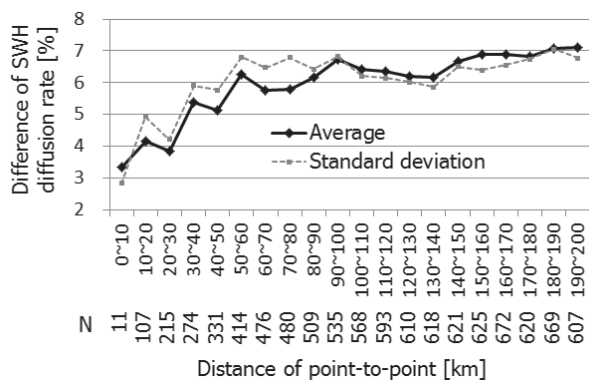


Fig.8 SWH diffusion rate difference and distance

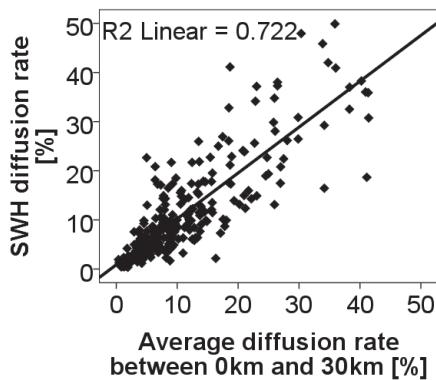


Fig.9 Scatter diagram of SWH diffusion rate and average diffusion rate between 0km and 30km

る。

4.2 太陽光発電

(1) 相関分析 Table 8 は、全地点と区分毎の相関係数である。全地点では、太陽熱温水器と同様に最高気温平均が最も強い相関を示した。気候区分では、寒冷地は年間日照時間、中間地は冬期日照時間、温暖地は最高気温平均と区分により相関の強い変数が変化している。燃料区分では、LP ガス、都市ガスとも最高気温平均が相関の強い変数であり、大都市周辺は有意な係数は存在しなかった。気候と燃料の複数区分指定では、中間地都市ガス区分において冬期

Table 7 Regression coefficients of SWH diffusion rate (2)

Division	Variable	Coefficient	Standard error	t-value	VIF	Adjusted R ²
LP gas	(Constant)	-1.145	6.092	-0.188		0.791**
	Avg. 30km	0.863**	0.070	12.393	1.929	
	Highest temp.	0.532*	0.225	2.368	1.762	
	EB amount	-0.000	0.000	-1.328	1.318	
City gas	(Constant)	-4.793	2.742	-1.748		0.681**
	Avg. 30km	0.655**	0.059	11.059	1.714	
	Highest temp.	-0.393*	0.166	-2.359	1.714	

Units of variables . %, °C, yen

Avg. 30km . Average diffusion rate between 0km and 30km

VIF . Variance information factor

** . 1% Significance, * . 5% Significance

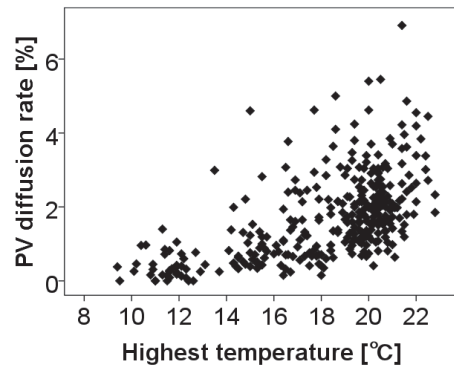


Fig.10 Scatter diagram of average highest temperature and PV diffusion rate

Table 8 Correlation coefficients of PV diffusion rate by climate zones and fuel supply types

Division	Hours of sunshine (HS)			Climatic normal temperature			Energy bill (EB)		
	Year	Jul.~Sept. (Summer)	Dec.~Mar. (Winter)	Average temperature	Highest temperature	Lowest temperature	Amount	Rate	
All point	0.468**	0.320**	0.370**	0.508**	0.570**	0.446**	-0.303**	-0.302**	
Climate	Cold	0.549**	-0.132	0.485**	-0.103	-0.042	-0.078	-0.288	-0.160
	Medium	0.480**	-0.040	0.537**	0.310**	0.515**	0.091	-0.105	-0.132
	Warm	0.287**	0.227**	0.161*	0.253**	0.416**	0.108	-0.240**	-0.007
Fuel	LP gas	0.510**	0.351**	0.412**	0.528**	0.582**	0.474**	-0.389**	-0.329**
	City gas	0.503**	0.318**	0.410**	0.599**	0.659**	0.532**	-0.294**	-0.387**
	Metropolis	0.288	0.307	-0.006	-0.024	-0.179	0.000	0.109	-0.199
Climate / Fuel	Cold / LP gas	0.582**	-0.087	0.494*	-0.151	-0.069	-0.121	-0.260	-0.054
	Cold / City gas	0.437	-0.266	0.446	-0.177	-0.134	-0.127	-0.204	-0.110
	Medium / LP gas	0.447**	-0.051	0.470**	0.351*	0.444**	0.220	-0.247	-0.034
	Medium / City gas	0.728**	0.146	0.736**	0.346	0.700**	0.029	0.052	-0.415*
	Warm / LP gas	0.380**	0.292**	0.256*	0.310**	0.476**	0.155	-0.362**	-0.067
Warm / City gas	0.256**	0.141	0.173	0.295**	0.418**	0.167	-0.271**	-0.090	

** . 1% Significance, * . 5% Significance, Underline . Top of division, Bold . Top of index

日照時間が強い相関を示している。

Fig.10 は、全地点の太陽光発電普及率と最高気温平均との散布図である。最高気温が上昇するに従い普及率も上昇しているが、Fig.5 太陽熱温水器に比較して低温の領域からすでに普及率の分散が大きいが分かる。

(2) 回帰分析 相関分析で有意な相関係数がなかった大都市以外の区分に対して、太陽熱温水器と同様に重回帰分析と非線形回帰分析を実施した。Table 9 は、調整済み決定係数の大きい燃料区分の重回帰分析結果、Fig.11 は決定係数の大きい三次関数の回帰分析結果と係数項と定数項の F 検定有意水準を示す。両者とも、太陽熱温水器に比べ説明力は低く、中間地都市ガス複数区分指定のみ約 70%の説明力となった。中間地都市ガス複数区分指定は 32 地点データからの結果であり、偶然性によるものと考えられるが、明確な原因を推定することは出来なかった。

(3) 情報伝達効果分析 太陽熱温水器の分析と同様に、地点間距離グループの普及率差絶対値平均とその標準偏差、N は地点間距離グループの地点間数を Fig.12 に示す。90km 以遠で普及率差の上昇は少なくなるが、Fig.8 太陽熱温水器に比べ普及率差の変化幅が小さく明確な距離を推測することは難しい。そこで、太陽熱温水器と同様に 30km 圏内平均普及率を使用して普及要因分析を実施した。

Fig.13 に太陽光発電普及率と 30km 圏内平均普及率との散布図を示す。分布が一次線形に近くなっているが、Fig.9 太陽熱温水器に比べ分散が大きくなっている。Table 10 は 30km 圏内平均普及率を第一説明変数とし、最も相関の強い説明変数を第二説明変数、順に第三説明変数とした重回帰分析を実施し、調整済み決定係数の大きい燃料区分の結

果であり、説明変数に 30km 圏内平均普及率を使用することにより説明力は改善している。その他の区分は低い状態であるが、中間地都市ガス複数区分の説明力のみ 78%となった。結果として、中間地都市ガスの複数区分指定以外では、説明力の高い説明変数を発見することはできなかった。

5. おわりに

本論文では太陽熱温水器と太陽光発電の普及要因を、気候区分と燃料区分別に、日照時間、気温、光熱費、情報伝達距離平均普及率を説明変数に分析した。

その結果、太陽熱温水器は、寒冷地と大都市周辺を除い

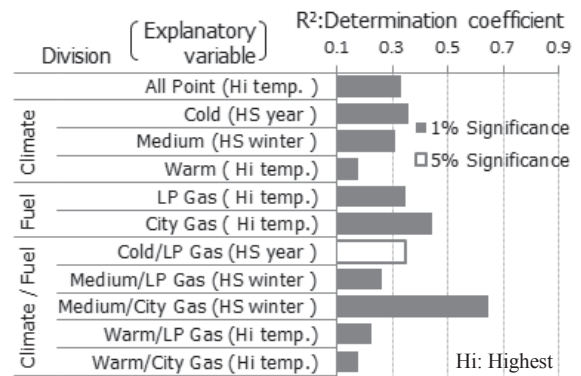


Fig.11 Regression results by cubic function

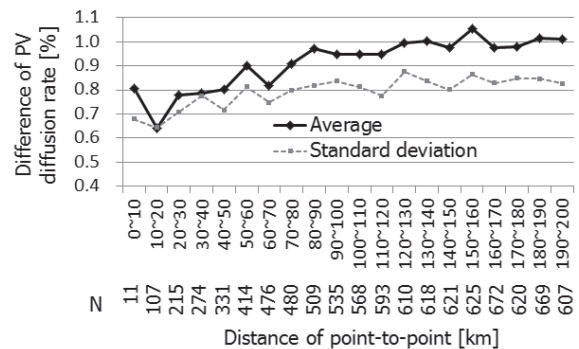


Fig.12 PV diffusion rate difference and distance

Table 9 Regression coefficients of PV diffusion rate (1)

Division	Variable	Coefficient	Standard error	t-value	VIF	Adjusted R ²
LP gas	(Constant)	-3.239*	1.339	-2.418		0.392**
	Highest temp.	0.140**	0.033	4.193	1.654	
	HS year	0.002**	0.001	3.379	1.700	
	EB amount	-0.000	0.000	-1.033	1.376	
City gas	(Constant)	-3.627*	0.541	-6.701		0.471**
	Highest temp.	0.178**	0.023	7.765	1.380	
	HS year	0.001*	0.000	3.302	1.380	

Units of variables . °C, hour, yen
 VIF . Variance information factor
 ** . 1% Significance, * . 5% Significance

Table 10 Regression coefficients of PV diffusion rate (2)

Division	Variable	Coefficient	Standard error	t-value	VIF	Adjusted R ²
LP gas	(Constant)	-1.402	0.804	-1.742		0.557**
	Avg. 30km	0.751**	0.105	7.153	1.944	
	Highest temp.	0.001	0.040	0.017	2.184	
	HS year	0.001*	0.001	2.076	1.724	
City gas	(Constant)	-1.502*	0.408	-3.681		0.544**
	Avg. 30km	0.343**	0.071	4.842	1.775	
	Highest temp.	0.141**	0.026	5.445	1.775	

Units of variables . %, °C, hour
 Avg. 30km . Average diffusion rate between 0km and 30km
 VIF . Variance information factor
 ** . 1% Significance, * . 5% Significance

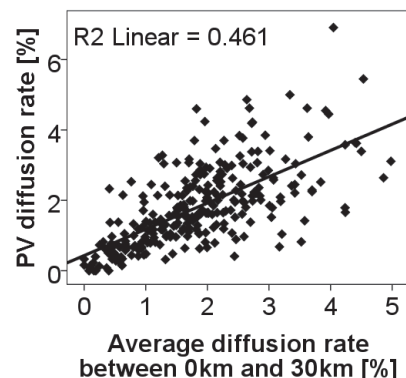


Fig.13 Scatter diagram of PV diffusion rate and average diffusion rate between 0km and 30km

た地域を LP ガスと都市ガスの燃料供給区域により区分することで、最高気温平均を説明変数とした普及モデル式を導き出し、機器設置の判断において経済性の影響があることを示すことができた。さらに、情報伝達距離は約 50km であり、30km 圏内平均普及率による普及要因の説明力が高いことが分かった。ただし、情報伝達距離 50km は、口コミだけでなく販売店の営業範囲等の要因の影響も示唆するものと解釈できる。一方、地点数が少なく留意が必要であるが、寒冷地区と大都市周辺区分では、普及率が日照や気温等の気象条件の影響を受けていない可能性が高かった。つまり、太陽熱温水器の普及は、気候区分と燃料区分による地域を判別し、最高気温平均と周辺地域の普及率平均から普及率をある程度説明できることを明らかにした。

太陽光発電では、初期普及期で普及率が低いこともあり、中間地都市ガスの複数区分指定以外では、普及率を説明することができなかつた。太陽光発電普及率の 1.7% は、製品普及理論¹⁸⁾において市場における革新者の領域であり、太陽熱温水器普及率の 10.9% は利点を評価した初期採用者の領域となっている。太陽光発電の普及率が初期採用者の領域である 5% 程度に達する時期になると、普及要因が解明できる可能性もあり、普及状況の進展を注視してゆきたい。

太陽エネルギー利用機器の普及要因は、日照時間の影響が強いと考え多様な区分で分析したが明確な関係を得ることは出来なかつた。一方で、消費者の購買行動には最高気温の影響が強いことが見出された。相関分析からは、大都市における住宅建築環境を原因とした、地方と大都市との地域により普及構造が異なることが推測できる。重回帰分析においては、説明変数として設定した日照条件と気温条件には多重共線性の可能性があつたが確認できず、説明変数を増やすことによる説明力の改善は得ることはできなかつた。そして、光熱費の普及要因への影響は相対的に弱かつた。情報伝達効果では、太陽熱温水器と太陽光発電との違いを明確化することはできなかつた。

今後は、過去から現在までの時間経過による普及状況の変化、製品価格や補助金の影響、環境意識変化と将来の普及量予測との関係、情報伝達効果と地域特性が普及構造に与える影響等について研究することが課題である。

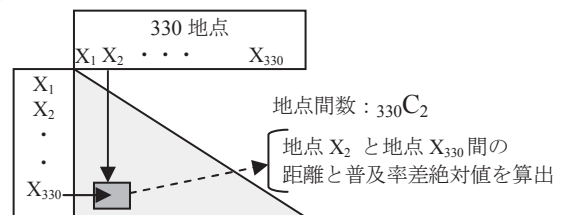
参考文献

- 1) 経済産業省, エネルギー白書 2011 年度版 (2012), 74.
- 2) 秋澤淳・佐藤大幸・宮崎隆彦・柏木孝夫, 太陽熱温水器の屋根方位に対する導入確率と省エネルギー効果の期待値, 太陽エネルギー, 34-6(2008), 59-65.
- 3) 大蔵将史・森俊介・大塚薫, 家庭部門エネルギー需要削減効果に与える太陽光発電および太陽熱温水器設置面積の影響, エネルギー・資源, 31-2 (2010), 10-17.
- 4) 秋澤淳・佐藤大幸・宮崎隆彦・柏木孝夫, 太陽熱温水器に対するユーザ意識のアンケート調査および選好特性の推定, 太陽エネルギー, 34-6(2008), 67-72.
- 5) 吉田好邦・金山真之・松橋隆治, 選好分析による住宅用太陽

- 光発電の普及可能性評価, 太陽エネルギー, 34-1(2008), 47-53.
- 6) 山口容平・赤井研樹・瀧俊毅・藤村尚樹・下田吉之・西條辰義, 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, エネルギー・資源, 31-1(2010), 38-44.
- 7) 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, 29-3(2008), 15-21.
- 8) 亀嶋庸介・杉原弘恭・宮崎隆彦・上田祐樹・秋澤淳, 家庭用太陽熱温水器の地域別ポテンシャル評価, エネルギー・資源研究会講演論文集, 16-3(2011), 197-200.
- 9) 杉原弘恭・山下潤・生駒依子・秋澤淳・柏木孝夫, メッシュ気候値を用いた全国住宅の太陽光発電のポテンシャルに関する研究, 太陽エネルギー, 37-1(2011), 41-48.
- 10) 木村宰, 太陽熱温水器の普及はなぜ停滞しているのか, 電力中央研究所報告, Y08002 (2008)
- 11) 遠藤栄一, 都道府県別データを用いた住宅用太陽光発電の普及に関する分析, 電気学会全国大会, 7-044(2012), 67-68
- 12) 総務省統計局, 全国消費実態調査報告 (平成 21 年), 総務省 (2011)
- 13) 総務省統計局, 住宅・土地統計報告 (平成 20 年), 総務省(2010)
- 14) 気象庁ホームページ <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2012 年 5 月アクセス)
- 15) 永田豊, 地域性を考慮した日本のエネルギー需給分析モデル (J-REM) の開発, 電力中央研究所報告, Y10015 (2011)
- 16) 資源エネルギー庁ホームページ, <http://www.enecho.meti.go.jp/gasHP/index.html> (2012 年 5 月アクセス)
- 17) Bass・Frank M., A New Product Growth for Model Consumer Durables, Management Science, 15-5 (1969), 215-227
- 18) Everett M. Rogers, Diffusion of Innovations -5th Edition-(2003), Free Press, New York.

補足 1：地点間距離グループ

1) 地点間情報の算出



2) 地点間距離グループの生成

地点間距離 10km 単位 (0~10km, 10~20km, ...) に地点間情報を集合としたもの。

例) $X_1 \sim X_3$ の 3 地点の場合

- 地点 $X_1 \cdot X_2$ 間：距離 10.3km
- 地点 $X_1 \cdot X_3$ 間：距離 19.3km
- 地点 $X_2 \cdot X_3$ 間：距離 20.1km

・地点間距離グループと地点間数 N

- 10~20km 地点間距離グループ： X_1X_2, X_1X_3 (N=2)
- 20~30km 地点間距離グループ： X_2X_3 (N=1)