

Estimation of Conserved Energy Amounts Using Solar Energy Systems
in a House住宅用太陽エネルギー利用設備の
省エネルギー効果に関する研究Akio TANAKA
田中 昭雄*Osamu ISHIHARA
石原 修**

Abstract

The main objective of this study is to estimate the amount of energy conserved by a solar energy system in a Japanese house. To achieve that goal, the author produced some statistical models using a data-driven style. Target facilities were a photovoltaic system (PV) and a solar water heating (SW) system. The fundamental data used to produce the PV model were 231 measurement data. The data used for analyses were produced by resampling the measurement data. This model can calculate the annual generated power self-consumption by solar generation capacity. The calculated range of capacity is between 0 kWp – 12 kWp. The SW model has the function of calculating a yearly amount of energy conservation for hot water supply according to weather and other attributes. The model was produced from multiple regression analysis of data created from official statistical data. These are two types of data; hot water energy consumption by prefecture and diffusion rate of SW by prefecture during 2000 - 2013. The following are salient conclusions from this study. 1. The average upper limit to solar generated power self-consumption. It is about 1,500 kWh/Y. 2. Solar water heater energy conservation capability is at least 20 - 30%.

Keywords : Solar water heater, Photovoltaic system, Energy saving

キーワード : 太陽熱温水器, 太陽光発電, 省エネルギー

1. はじめに

我が国の省エネルギー推進と地球温暖化防止のため、住宅における太陽エネルギー利用拡大が期待されている。

我が国の太陽エネルギー利用は、戦後に農村部中心に普及した簡易太陽熱温水器に始まり¹⁾、その後二度の石油危機を経て1980年代前半にピークを迎える。当時の太陽熱温水システム（以下"SW"）の年間出荷台数は、貯湯タンクと集熱パネル一体型の「太陽熱温水器」が約80万台、集熱パネルと貯湯タンク分離型の「ソーラーシステム」が約6万台であった。しかし現在は普及が停滞しており、年間出荷

台数は3万台まで減少し、普及率も減少傾向にある²⁾。

これに対し住宅用太陽光発電システム（以下"PV"）は、1992年初めて電力系統に連系されて以来、堅実に増加しており、特に2009年11月の余剰電力買い取り制度がスタートしてからは、普及が加速している³⁾。

しかし今後より太陽エネルギー設備を普及させるには、実運用モードでの省エネルギー効果を正確に把握し、情報を公開する事が重要である。

既存研究によると、SWの省エネルギー効果は、室内実験やコンピュータシミュレーションで、給湯用エネルギーの20~30%⁴⁾と期待されている。秋澤等⁵⁾は、東京の住宅の屋根方位から集熱板面積別に選択される確率をもとめ、さらに給湯の平均的な熱需要パターンを考慮して、省エネ効果が給湯需要の29~34%であるとした。筆者等は日本エネルギー経済研究所との共同調査⁶⁾で、SWによる給湯エネルギーの省エネルギー効果は、少なくとも10~20%であると推定した。しかし地域性を検討した実証研究は少ない。

* 熊本大学工学部 特定事業教員

(〒860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪2-39-1)

e-mail:a-tanaka@kumamoto.ac.jp

** 熊本大学 名誉教授

(株)住環境計画研究所 客員首席研究員

(原稿受付: 2015年6月15日, 受理日: 2015年11月10日)

PV の状況を見ると、発電量は物理モデルから容易に計算できる。しかし自家消費量は、家庭のライフスタイルに依存するので推定は難しい。しかし今後は、自家消費量と逆潮流分を予測し、最適制御する技術が必須となる。

このように太陽エネルギー設備の普及促進のため、省エネルギー効果等を正確に推定し制御する技術の研究が必要であり、これまで行われてきた設備の運用パターンを想定した室内実験やコンピュータシミュレーションにおいても多様なライフスタイルを考慮して、想定パターンの妥当性の検証も必要になってきた。

そこで本研究では、PV や SW の運用データ、もしくはそれに準じるデータベースから、各設備導入による効果として、PV の場合は自家消費量、SW は給湯エネルギーの省エネルギー効果などが推定可能な統計モデルを作成することを目的とする。それにより室内実験やコンピュータシミュレーション研究の補間が可能となると考える。

なお本報告でエネルギー消費量とは全て最終エネルギー消費量の事である。

2. 使用記号及び統計モデルの説明

2.1 使用記号及び用語

以下に本報告で用いる主要な記号を示す。

G_t :	PV総発電電力量	[kWh/Y]
G_c :	発電電力の自家消費量	[kWh/Y]
G_r :	発電電力の逆潮流量	[kWh/Y]
	($G_t = G_c + G_r$)	
P_v :	PVの定格容量	[kWp]
E :	住宅内の電力消費量 (給湯分除く)	[kWh/Y]
	(PVの発電電力は含まない)	
E' :	PV発電電力の自家消費分を含む電力消費量	[kWh/Y]
	(給湯分除く)	
	($E' = E + G_c$)	
H :	SWの自家消費量 (給湯省エネルギー)	[MJ/Y]
	(回収太陽熱の内、給湯利用分)	
W :	給湯エネルギー消費量	[MJ/Y]
	(太陽熱エネルギー分は含まない)	
W' :	太陽熱利用分も含む給湯エネルギー消費量	[MJ/Y]
	(太陽熱エネルギーを含む)	
	($W' = W + H$)	
F :	家族人数	[人]
A :	住宅延床面積	[m^2]
T :	年平均外気温	[$^{\circ}C$]
HDD :	暖房度日	[$^{\circ}C \cdot 日/Y$]
I :	年間全天日射量	[$kWh / (m^2 \cdot Y)$]
D_p :	太陽光発電設備の世帯普及率	[%]
D_s :	太陽熱温水器の世帯普及率	[%]

2.2 統計モデルの説明

本研究ではPVにおいては自家消費量 G_c 、SW においては給湯エネルギーの省エネルギー量 H を推定する統計モデルを開発する。全体の作業フローを Fig.1 に示す。

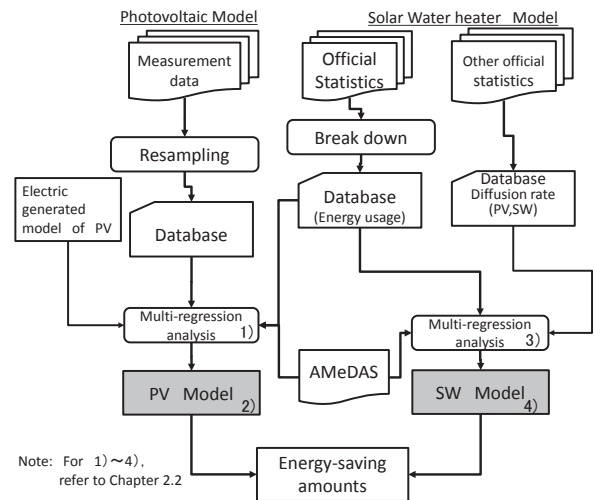


Fig.1 Flow chart of this report

各作業は大きく以下の3つに分かれる

(1) 家庭エネルギーデータベースの整備

公的統計データなどのオープンデータを用いて、都道府県別の世帯属性平均用途別エネルギー消費量と設備機器の普及率を推定し、データベースとして整備する。

(2) 太陽電池自家消費量推定モデル (PV モデル)

① E' 推定モデル [Fig.1-1], ② G_c 推定モデル [Fig.1-2], ③ G_r 推定モデル [Fig.1-2] から構成される。

①は(1)のデータベースから $D_p = 0\%$ と近似できるデータを抽出し、気象要因も変数に加えて重回帰分析により作成する。②は既存研究を参考とする。③は筆者等が行った太陽電池実測データを計算統計学の”リサンプリング”手法を用いて作成する。

(3) 太陽熱温水器熱回収量モデル (SW モデル)

① W' 推定モデル [Fig.1-3], ② H 推定モデル [Fig.1-3] の2モデルからなる。①はSWの運用データ収集が困難なことから、(1)のデータベースの W から、 $D_s = 0\%$ と近似できるデータを抽出することで重回帰分析により作成する。なおSWの種類(「太陽熱温水器」、「ソーラーシステム」等)や設備容量等については区別しない。これはそれらの普及率や平均的な設備容量の推定が困難なためである。

3. 基礎データの収集及び作成

本章ではPV及びSWモデル作成用の基礎データの作成方法と、データの特性について記す。

3.1 家庭エネルギーデータベース

本データベースは2種類のデータよりなる。1つは各地のエネルギー消費量の平均データで、2000年~2013年の各年値である。都道府県別・世帯人員別・使用用途別・エネルギー種別の値を有する。これらは総務省の「家計消費調査」⁷⁾、「小売物価統計調査」⁸⁾などから既報⁹⁾・¹⁰⁾で提案した手法により作成する。

2 つめは PV 及び SW の都道府県別世帯普及率データである。基本は総務省「住宅・土地統計調査」¹¹⁾ によるが、非調査期間の値は、毎年の製品出荷統計^{2), 12)} で補間する。普及率算定のための母数（世帯数）は「国勢調査」¹³⁾ と、その補間値である。

3.2 PVモデル基礎データの作成

(1) 運用実績データの収集

収集したデータは、筆者等が実施した3地域の実測データである^{14)~16)}。対象地域は関東、広島県、九州の3地区で、総計231世帯である。この中に電気温水給湯器を使用する世帯は含まない。

これら計測対象の諸属性を Table.1 に、計測ポイントを Fig.2 に示す。計測期間は1998年～2001年、パネル容量の平均は3.2kWpである。世帯構成は、単身世帯から8人世帯まで多様であるが、1世帯平均人数は3.86人、住宅面積は140m²である。

実測した住宅内の電力需要 E' 及び G_c と G_r について、その基礎統計量を、家族人数別に Fig.3 に示す。 E' は世帯人数に比例し増加し、分散も大きくなっていることがわかる。 G_c と G_r は世帯人数にほとんど相関していない。ただしこれは P_v が3～4kWp とほぼ一定であるためと考えられるので、より多様な容量の G_c と G_r の関係については、データのリサンプリングで対応する。

(2) データのリサンプリング

多様な P_v における G_c や G_r の運用データを得るため、実測データを利用して P_v が0kWp～12kWpと変化したときの G_t 、 G_c 、 G_r を今回独自に開発したリサンプリング法^{註1)} により計算する。

リサンプリングとは、計算統計学の手法の1つで、ある標本点系列でサンプリングされた値を、別の標本点系列でサンプリングされた値に変換することをいう。ブーツストラップ法やジャックナイフ法など多くの手法がある¹⁷⁾。これにより、実測231世帯の生活パターンにおいて、異なる容量のPVを設置した場合のデータ（異なる標本系列）がリサンプリングされる。以下このデータを「リサンプリングデータ」と記す。

なお P_v の変化により PV の日照条件や、実測231世帯の生活パターンは変化しないものとする。

(3) 住宅の電力需要データの収集

家庭エネルギーデータベースから、都道府県別・世帯人員別の E を抽出する。この値は G_c を含まない値である。

3.3 SWモデル基礎データの作成

(1) 地域別給湯需要データ

家庭用エネルギーデータベースから、各地の W データを抽出する。抜粋して2000年と2013年の各地 W を Fig.4 に示す。 W の最大は東北・北海道の寒冷地域で約30GJ/Yと、温暖な九州・四国と比べると2～3倍大きい。しかし近年では寒冷地域の W は減少傾向にあり¹⁰⁾、2000年 W が32GJ/Y以上の地域が4県であったものが、2013年には1県に減少している。

Table 1 PV Survey profiles of each area

Area	Kanto	Hiroshima	Kyushu	Total
Samples	191	33	7	231
Capacity [KWp/syst.]	3.1	3.5	3.6	3.2
Persons	3.8	4.0	4.9	3.86
Total floor area [m ²]	135	166	140	140
Period	1998 to 2000	2001	1999,2000	1998 to 2001

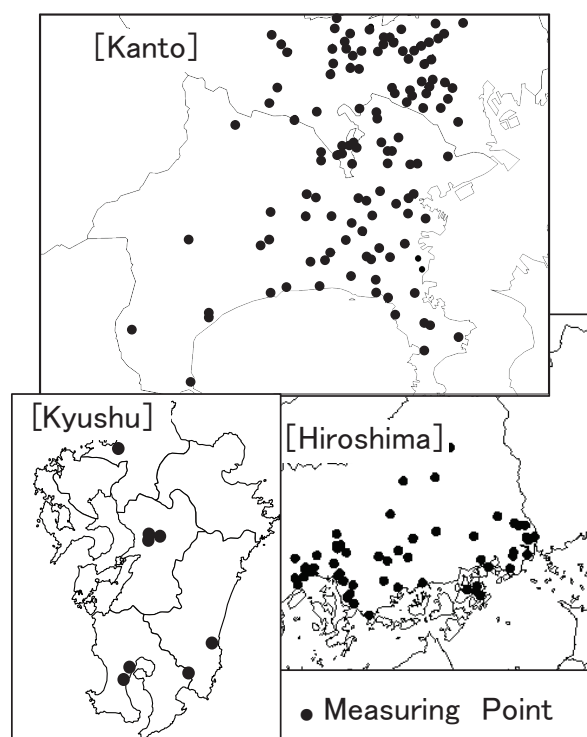


Fig.2 Distribution of PV systems surveyed

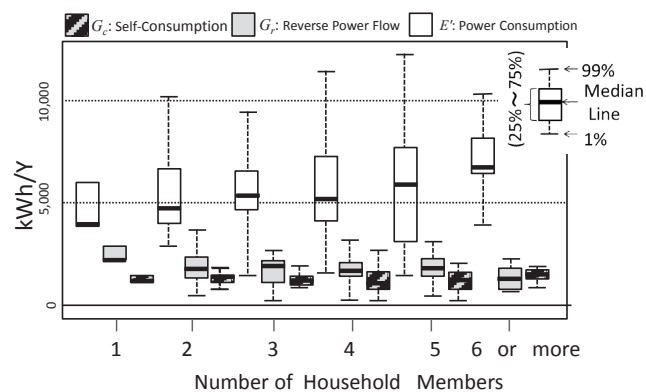


Fig.3 Power demand and amount of PV generated power self-consumption and reverse power flow by number of household members

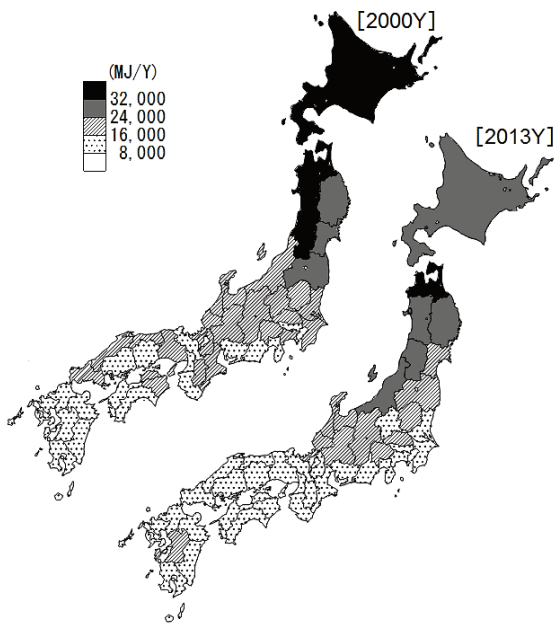


Fig.4 Hot water energy consumption by region

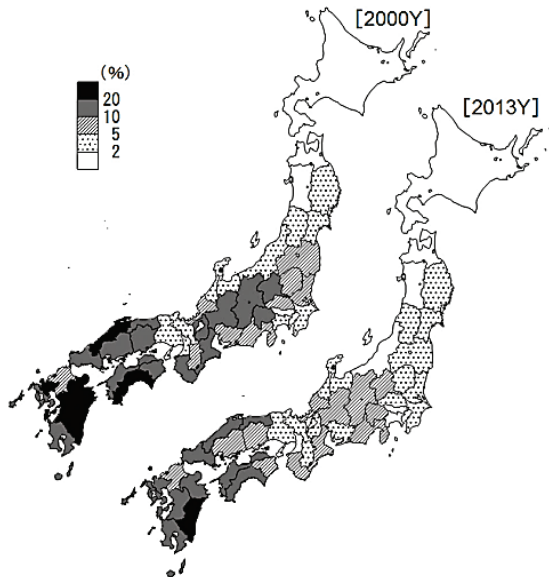


Fig.5 Diffusion rate of solar water heater by region

(2) 世帯普及率

各地の D_s の変化を Fig.5 に示す。 D_s は全国的に減少傾向に有り、2000年時点で D_s が10%以上の地域は22県であったが、2013年には12県と半減する。熊本県の場合も22%から19%と3ポイント減少し、 W (給湯用熱需要、ただし太陽熱利用分は含まない) は14.3GJから16.1Jと約10%増加している。 W は経年変化しないと仮定すると、 W が増加したのは、 D_s の減少により給湯の自然エネルギー利用が減少し、その分を既存エネルギーが代替したためと考えられる。

(3) その他要因

W の変動要因としては気象要因の影響も大きい。 W と D_s 及び気象要素との相関性を Table 2 に示す。 Fig.6 はその

Table 2 Correlation matrix between variables

	W	D_s	T	I
W	1			
D_s	-0.35	1		
T	-0.86	0.32	1	
I	-0.58	0.40	0.58	1

W = Hot water energy use excluding SW recovery energy
 D_s = Diffusion rate of SW
 T = Annual mean temperature
 I = Annual global irradiance

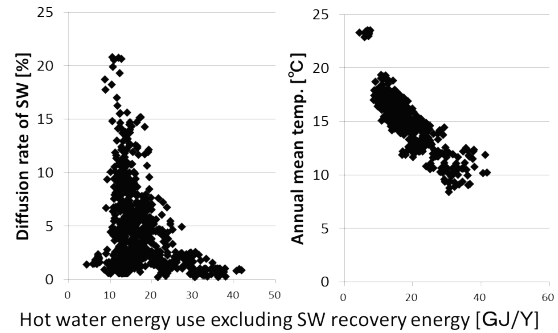


Fig.6 Correlation between W and variables

うち普及率 D_s と年間平均気温との関係である (2000年～2013年の各都道府県各年値をプロット)。

Fig.6 から W が、温暖な地域や日射量の多い地域は W が小さくなる傾向が認められ、それらの相関性は Table 2 から $r = -0.6 \sim -0.8$ である。また D_s と日射量との相関性もやや認められる。 D_s は経年減少傾向にあり、14年分のデータをまとめて分析すると、最も普及していた頃より相関性が弱く現れるものと推定される。

4. 太陽エネルギー導入効果モデル

4.1 PVモデル

(1) モデルの説明

PVモデルでは、 G_c を E' と G_t の関数と考える。 E' が地域平均の場合、 D_p が小さい時 (ここでは D_p 2%未満) $E' \approx E$ と見なすと、重回帰分析から(1)式が得られる。

$$E' = 771.8F + 94.6T + 0.28HDD, \quad \bar{R}^2 = 0.98 \quad (1)$$

($E' \approx E$ とみなす根拠については、註2) 参照)

なお(1)式の E' は、統計データの平均値から作成されるため、該当母集団平均の期待値と考える事ができる。ライフスタイルが異なり、 E' が(1)式と大きくかけ離れる世帯については、その値を用いる。PVを既築住宅に設置する場合の E' は、設置前の購入電力量と考えられる。また筆者等の既研究¹⁸⁾によっても、推定可能である。

G_t は (2) 式で記される。

$$G_t = k_s P_v \quad (2)$$

k_s は太陽電池のシステム出力係数^{14)~16)}である。 G_t が判明している場合は、その値を用いる。

次に G_c についてリサンプリングデータを重回帰分析す

ることで、2種類の推定モデルA法とB法を作成する。推定値はそれぞれ G_{ca} , G_{cb} と記す。

(A法)

A法は、 G_c を、住宅のライフスタイルによる電力需要カーブと G_t の関数であり(3)式で求める。なお F と A はライフスタイルの説明変数である。

$$G_{ca} = k_{Fa}F + k_{Aa}A + k_{Ea}E' + k_{Ga}G_t \quad (3)$$

$$s.t. G_{ca} \leq G_t$$

ここで

$$k_{Fa} = -0.0677P_v^2 + 1.3007P_v - 16.3, \bar{R}^2 = 0.98 \quad (4)$$

$$k_{Aa} = -0.0141P_v^2 + 0.234P_v + 0.415, \bar{R}^2 = 0.85 \quad (5)$$

$$k_{Ea} = -0.0018P_v^2 + 0.0385P_v + 0.01, \bar{R}^2 = 0.99 \quad (6)$$

$$k_{Ga} = 0.6238P_v^{-1.231}, \bar{R}^2 = 0.997 \quad (7)$$

(B法)

B法はパネル容量 P_v と G_t の関数である。

$$G_{cb} = k_{Eb}E' + k_{Gb}G_t \quad (8)$$

$$s.t. G_{cb} \leq G_t$$

B法の各係数はTable 3により求める。

(2) モデルの精度

Fig.7にA法、B法の推定精度を示す。2つの手法の精度は $\bar{R}^2=0.78$ 以上とほぼ同等で、A法は家族構成や住宅規模など詳細な属性を考慮する場合、B法は太陽電池の容量を検討する場合の簡便法としての利用が想定される。

(3) 自家消費量と逆潮流量の関係

Fig.8にA法により、東京地域、4人家族、住宅延床面積150 m²の住宅における G_c と G_r の推定結果を示す。このときは G_t が0~10,000 kWh/Yである場合を想定している。

A法で、東京地域の4人家族について計算すると、発電量が900kWh/Yまでは全量自家消費され、 G_r は発電量900kWh/Y以上から発生し、その後 G_r の増大分とほぼ正比例で増加する。 G_c は G_t が増大し続けても約1,500kWh/Yで収束する。

このように住宅用PVの総発電量が増加しても、ライフスタイルによって G_c に上限が存在するので、今後より普及した場合は、電力系統安定のために、一定規模以上の蓄電池や余剰電力の融通システムなども必要となつてこよう。

4.2 太陽熱温水器効果モデル

(1) モデルの説明

D_s が2%未満の地域の $W \approx W$ (註2) と見なし、重回帰分析により(9)式を得る。

$$W' = 9,420F + 219A - 1,357T, \bar{R}^2 = 0.95 \quad (9)$$

続いて、 D_s が2%以上の地域について、(9)式で計算した W' と W との差分を省エネルギー量と見なし重回帰分析すると(10)式が得られる。

$$H = -27,979 + 0.666W' + 858T + 3.95I + 40.8D_s, \quad (10)$$

$$s.t. \max(H) = W', \bar{R}^2 = 0.57$$

Table 3 Multiple Regression Coefficients of B method

Coeffi cient	P_v Capacity of PV [kWp]		
	0.5~2	2~5	5~12
k_{Eb}	0.041	0.132	0.205
k_{Gb}	0.467	0.166	0.055
\bar{R}^2	0.947	0.949	0.951

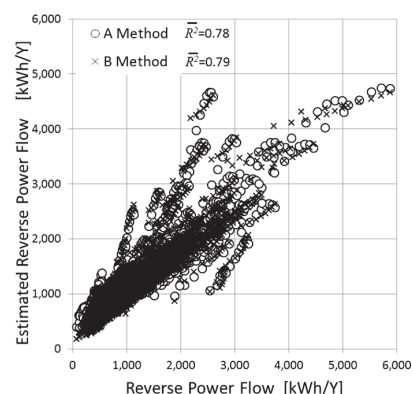


Fig.7 Estimate accuracy of PV model A method and B method

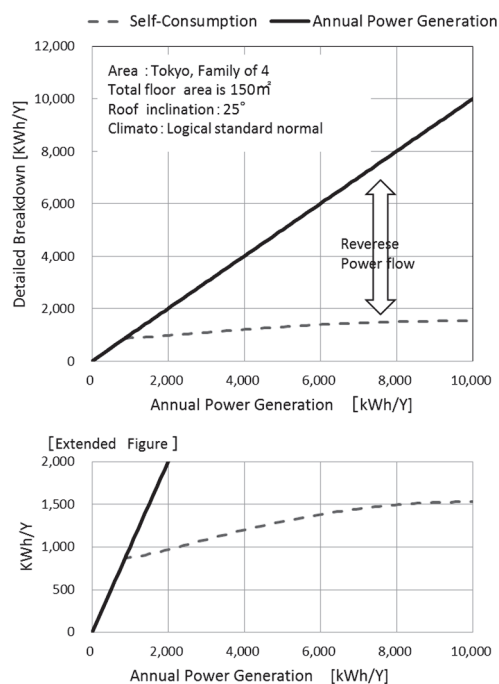


Fig.8 Estimated power balance of generated electricity (based on A method)

(2) 省エネルギー効果の地域別推計と精度確認

Fig.9に次世代省エネルギー基準の地域区分に基づき、本研究による地域別 W' と H の推定値及び既存文献⁴⁾ 推定値との比較を示す。図左は本研究SWモデルによる W' と H の平均値で4人家族、住宅面積150 m²である。図右の棒グラフは、判断基準解説書⁴⁾ によるもので4人家族(両親と子供2人)、住戸セントラル方式の給湯設備を有する戸建新築住宅の W' と H である。SWの集光面積は3 m²、傾斜角0~30°、方位角南面0~45°、気象条件は平年値である。

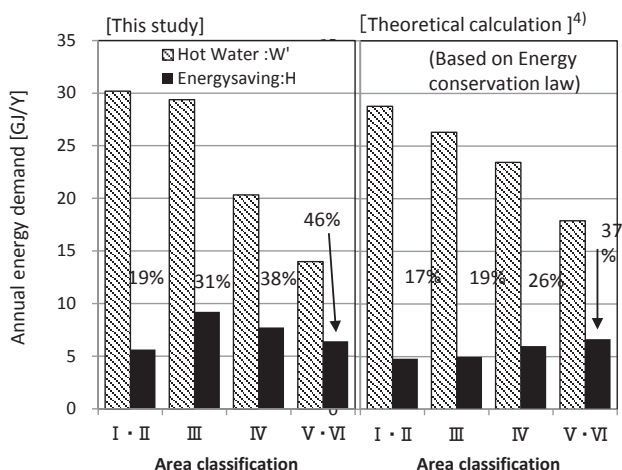


Fig.9 Inter-model comparison of estimated amounts of energy consumption and hot water heater energy savings from a solar water heater

両者の計算条件が完全に同一では無いので、単純比較は出来ないが、両者の計算結果はほぼ一致する。ともに W' の最大は I・II 地域で約 30GJ, その地域の H を約 5GJ と予測している。V・VI 地域では本研究が W' を 14.0GJ, 判断基準解説書は 17.9GJ と推定している。両者の W' 値はやや異なるが H はほぼ 6.5GJ と一致する。

異なる推定手法の計算結果がほぼ一致することから, SW の省エネ効果は,熱量割合では,全ての地域で 20%程度は期待できると考えられる。特に V・VI 地域では,その効果は約 40%と大きい。

5. まとめ

本研究では,住宅用太陽光発電及び太陽熱温水器について,その省エネルギー効果を推定するため,各設備の省エネ効果等を推定する統計モデルを作成した。モデルは太陽電池の運用データと,総務省「家計調査」等から作成した家庭エネルギーデータベースから作成した以下の2種類である。

1) 太陽電池発電電力の自家消費量推定モデル(PVモデル)

発電量の変化や,家族人数や住宅規模,気象条件や設備容量(または発電量)を考慮して,住宅内の総電力需要と自家消費量,逆潮流電力量を推定する統計モデル。

このモデルにより, PV 発電電力の自家消費量は,発電量に関わらずライフスタイルにより上限があることが予測された。東京地区の場合4人家族,延床面積 150 m²の住宅では,その上限は 1,500 kWh/Y である(ただしこの値は,地域平均の期待値であり,個別世帯の予測値ではない)。

2) 太陽熱温水器の省エネルギー量推定モデル(SWモデル)

家族人数や住宅規模,気象条件を考慮して太陽熱温水器の省エネ効果を推定する統計モデル。

このモデルにより,省エネルギー効果の平均は少なくとも 20%程度あり,温暖地域の効果は約 40%と予想された。これは既存研究⁴⁾(ラボ実験とコンピュータシミュレーションの複合)とも整合していることから,本研究の推計モデルの信頼性も高いと考えられる。

また今回は,太陽電池の運用データから統計モデルを作成するために新しいリサンプリング手法^{註1)}も開発した。

今後,太陽エネルギー利用は,家庭の省エネルギー推進に有効と考えられるが,住宅用太陽電池には,自家消費量に上限があり,いたずらな容量大型化は逆潮流量の増大を招き電力系統の不安定化の原因となる。より一層の普及には蓄電池利用や余剰電力の地域内融通システムとの共用などが必須である。

太陽熱温水器は低コストで大きな省エネルギー効果が期待されるが,各地で普及率が低下し続けており,太陽電池以上に普及拡大を推進する必要がある。

今後は,太陽電池と太陽熱温水器の両設備を設置する住宅も期待されるが,地域性や世帯特性ならびに設備容量も考慮した組み合わせ最適化についても,検討が期待される。

註記

1) 新リサンプリング法について

本研究では,リサンプリングデータとして,住宅用 PV の実運用データ 231 件分のデータ(それぞれ i と記す)(以下の時系列データ,住宅内総電力需要 E'_i ,日射量 I_i ,発電量 G_{ri} ,パネル容量 P_{ri})を標準標本点系列としている。

リサンプリングしたデータ,つまり"別の標本点系列"とは,標準標本点系列を利用して,各時刻の E'_i (これは世帯 i 当該年固有の値で実測調査のまま変化しない)とパネル容量を x に変更したときの時刻の発電量 $G_{ri}(x)$, $G_{ci}(x)$, $G_{ni}(x)$ である。これを 231 件すべてについて行えば,多様な P_{ri} 容量における G_{ri} , G_{ci} , G_{ni} のリサンプリングデータ群が複数系列作成できる。

2) 設備普及率 2%以下を 0%と近似する根拠

設備普及率 D の母集団の平均値 X を考える。 X' は設備を導入していない場合の値,設備の省エネ効果平均を s % とすると,ある母集団平均値へ影響量期待値 ΔX は

$$\Delta X = X' \cdot D \cdot s \quad (11)$$

である。これより,設備普及率が 2%以下の地域では,平均値 X' と X の差分期待値は, PV 及び SW の場合は, s の値が既存研究^{4)~6),14)~16)}では 50%以下であることから,1%未満といえる。

さらに統計データの加工誤差の累積も無視できない。地域平均値の推定に用いた総務省「家計調査」のサンプル数は,1 県あたり 100 件前後と少なく,当該地域の設備普及率が 2%以下と小さい場合に,標本中の該当設備の所有率は 0%の可能性もある。また各地のエネルギー原単位は,一次統計の光熱費を平均単価で除して加工統計であり,さらにそれを用途分解したことによる誤差の累積も避けられない。

そのような点を総合的に判断し,普及率 2%以下の地域の E 及び W は, E' 及び W' とみなしても問題ないと判断した。

参考文献

- 1) 木村幸, 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)
- 2) 一般社団法人 新エネルギー導入促進協議会, <http://www.nepc.or.jp/>, (アクセス日 2014.8.1)
- 3) 田中昭雄, 大震災後の住宅エネルギー原単位3年間の変遷, 第31回エネルギーシステム経済・環境コンファレンス論文集, (2015), 231-234.
- 4) (財)建築環境・省エネルギー機構, 住宅事業建築主の判断の基準におけるエネルギー消費量計算方法の解説, (2009)
- 5) 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, 34-6 (2008), 59-65
- 6) (財)日本エネルギー経済研究所, 民生部門エネルギー消費実態調査(1992)
- 7) 総務省統計局, 家計調査月報(2000年1月-2013年12月版), 総務省, 東京
- 8) 総務省統計局, 小売物価統計調査(2000年1月-2013年12月版), 総務省, 東京
- 9) 田中昭雄, 久保隆太郎, 中上英俊, 石原修, 世帯属性を考慮した住宅用エネルギー消費原単位の推定と将来予測, 日本建築学会環境系論文集, 73-6, (2008), 823-830
- 10) 田中昭雄, 外岡豊, 市町村別住宅エネルギー消費原単位の推定ー住宅の環境負荷とその地域性に関する研究 その1ー, 日本建築学会環境系論文集, 79-3 (2014), 305-312.
- 11) 総務省統計局, 住宅・土地統計調査(平成15年, 20年, 25年版), 総務省, 東京
- 12) 社団法人ソーラーシステム振興協会, <http://www.ssda.or.jp/>, (アクセス日 2014.8.1)
- 13) 総務省統計局, 国勢調査(平成12年, 17年, 22年版), 総務省, 東京
- 14) 田中昭雄, 酒井孝司, 中上英俊, 石原修, 首都圏に設置された住宅用太陽光発電システムの計測・解析ー太陽光発電システムの住宅への応用に関する研究 その2ー, 544(2001), 39-46
- 15) 田中昭雄, 酒井孝司, 中上英俊, 石原修, 九州地域に設置された住宅用太陽光発電システムの計測・解析ー太陽光発電システムの住宅への応用に関する研究 その3ー, 551(2002), 61-68.
- 16) Hidetoshi Nakagami, Osamu Ishihara, Koji Sakai, Akio Tanaka, Performance of residential PV system under actual field conditions in western part of Japan, ISEC 2003INTERNATIONAL SOLAR ENERGY CONFERENCE, (2003), Hawaii, 4428
- 17) Chong Ho Yu, Resampling methods: Concepts, Applications, and Justification, <http://pareonline.net/getvn.asp?v=8&n=19> (アクセス日, 2015.6.10)
- 18) 田中昭雄, 外岡豊, 東日本大震災後の住宅エネルギー需要の変化と地域性, エネルギー・資源学会論文誌, 34-2 (2013), 17-24