

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

Estimation of Users' Preference and Adoption of Solar Water Heaters based on Questionnaire Survey

秋澤 淳^{*1} 佐藤 大幸^{*2} 宮崎 隆彦^{*3} 柏木 孝夫^{*4}
Atsushi AKISAWA Takayuki SATO Takahiko MIYAZAKI Takao KASHIWAGI

Abstract

Solar water heaters are one of the effective measures to utilize solar energy. Although they were installed very much just after the oil crises, the adoption decreased in recent years nevertheless of the requirement to use renewable energy. This study aimed at surveying the user preference of solar water heaters from 22 prefectures in Japan, totally 1200 samples. The survey shows that only 10% people will pay for the cost of typical solar water heaters, and that half of the people don't adopt the facility. It is observed that the preference depends mainly on the saving cost, not on mitigating global warming. On the other hand, it is also revealed that 20% of those who are interested in solar water heaters will accept the current cost. Conjoint analysis was carried out in order to investigate willingness to pay for the facility cost by region. The result indicates the payback year should be 3 years, which suggests significant reduction of the cost of solar water heaters to encourage the installation. Based on the estimated users' preference, the collector area of approximately 2 m² is evaluated to give maximum acceptance.

キーワード： 太陽熱温水器, ユーザ選好, 支払意思額, コンジョイント分析

Key Words: Solar water heaters, User preference, Willingness to pay, Conjoint analysis

1. はじめに

太陽熱温水器は再生可能エネルギーを身近に使う代表的な手段の一つであり、太陽電池が普及する以前より広く使われてきた実績がある。太陽熱温水器が急速に普及したのは石油ショックによる燃料費の高騰が原因である。逆に、その裏返しで石油価格が1980年代後半に低下した時期には、太陽熱温水器の新規設置は低迷し、現在でも低位安定状態が続いている。木村⁽¹⁾はこの状況を分析し、技術的な停滞、マーケティングにおける問題点やヒートポンプ給湯器との競合を指摘するとともに、快適で便利な給湯システムに向けた開発が遅れていると述べている。

燃料費の高低が太陽熱温水器導入の駆動力となっていることは理解できるが、具体的にどの程度の設備コストであればユーザに受け入れられるかはこれまで明らかにされていない。そこで、本研究では太陽熱温水器の導入に関わる特性を把握するため、実際に導入の意思決定をする立場であるユーザの意識を実態調査することとした。全国的に消費者にアンケート調査を行い、太陽熱温水器導入に関する関心や支払意思などを調べた。さらに、その回答結果にコンジョイント分析を適用することによって、設備費と節約

金額を要因とする選好関数を推定し、支払い意思額を地域別に算出した。

さらに、この選好関数に基づき太陽熱温水器の選択確率を定式化する。太陽集熱器面積に対する選択確率を求め、確率を最大化する最適な集熱器面積を導いた。

2. アンケート調査の概要

2.1 アンケート調査のサンプル数

太陽エネルギー利用には地域性があることから、対象地域は都道府県単位とし、住宅の「次世代省エネルギー基準の地域区分」に規定された地域区分⁽²⁾からできるだけ3都道府県以上を選定した。選定にあたって太平洋側、日本海側が混在するように配慮した。最終的に表1に示すように22都道府県を対象地域に選定してアンケート調査会社の保有するリストから約1200世帯を抽出した。各県50サンプルを基本としたが、地域区分あたり最低でも100サンプルになるよう北海道、沖縄はサンプル数を確保した。

Table 1. Sampling for the questionnaire survey.

Region	Climate	Prefectures	Samples
I	Most cold	1	100
II	Cold with snow	3	50 each
III	Cold	3	50 each
IV	Middle	12	50 each
V	Warm	2	50 each
VI	Semi tropical	1	100

*1 東京農工大学大学院共生科学技術研究院教授
(〒184-8588 東京都小金井市中町2-24-16)
e-mail: akisawa@cc.tuat.ac.jp

*2 石川島播磨重工業

*3 東京農工大学大学院共生科学技術研究院助教

*4 東京工業大学大学院統合研究院教授
(原稿受付：2008年7月3日)

アンケートの実施方法は質問票を郵送で配布し、郵送で回収した。実施時期は2005年9月である。回収数は1209、回収率はほぼ100%であった。

2.2 アンケート調査の内容

アンケートは太陽熱温水器だけでなく太陽電池、廃棄物リサイクル等についても、それぞれの分野の専門家が参加して調査票を設計し、同時に調査した。回答者属性、太陽熱温水器に関する調査項目は次の通りである。

【回答者属性】

- ・住居の形態
- ・年齢、性別、居住地
- ・世帯人数（大人、子供）
- ・自宅延べ床面積、階数、建築時期、屋根の向き
- ・世帯年収
- ・使用燃料（厨房、給湯、暖房用）
- ・グリーン電力基金への加入状況

【太陽熱温水器】

- ・太陽熱温水器の保有状況、集熱器面積
- ・設置年、現在の稼働状況、停止年
- ・太陽熱温水器の導入への関心・意向
- ・関心がある理由／ない理由
- ・投資可能な金額と条件
- ・導入において重視する点

3. アンケート調査結果

3.1 太陽熱温水器の保有

1200サンプルの中で既に太陽熱温水器を保有している割合は5%であった。県別でみると宮崎県が最大で20%、次いで鹿児島県、佐賀県、福岡県が10-12%と多く、九州地方での保有率が高い。集熱器面積は2m²または4m²が多いが、最大は30m²であった。平成16年度全国消費実態調査によれば全国平均の太陽熱温水器普及率は9%である⁽³⁾。今回のサンプルの平均値は若干低めとなっている。

3.2 太陽熱温水器に対する関心度

関心ありの回答は45%、関心なしは48%でほぼ同程度であった。世帯のほぼ半数は関心を持っていることを示唆している。県別の回答比率をみると関心ありは40~60%程度の範囲に分布している。愛知県、滋賀県、佐賀県、山口県の関心ありとの回答比率が高い。保有率が高い九州地方の関心が必ずしも高いとは限らず、また、温熱負荷が多い東北・北海道地方が高いともいえない。一部の県が大きく異なる傾向を示すこともなく、アンケート調査として全体像を掴めていると考えられる。

関心ありの回答者の中で実際に導入しようと考えている比率は62%であった。4割は関心があっても導入には踏み切れないと解釈される。総数から見れば約2割の世帯が関心どまりになっていることから、このグループは導入予備

軍と考えられるので、太陽熱温水器の利用を呼びかけることが導入拡大に有効と予想される。

3.3 関心あり／なしの理由

関心ありの理由についての回答結果を図2に示す。理由の第一位は「光熱費の削減」であり、第二位は「地球温暖化防止」であった。第三位が「非常時の温水供給」となっている。地球環境問題に配慮する意識よりも経済的理由が若干高い。災害時に対する意識は近年発生した大型地震の影響と考えられるが、太陽熱温水器の有用性の一つと位置づけてよいことを示唆している。

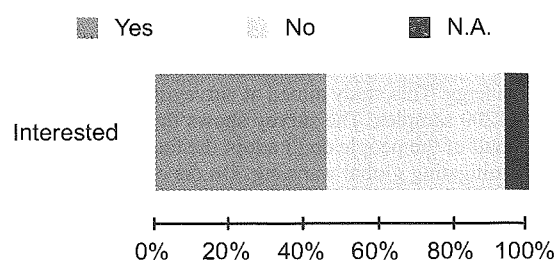


Fig. 1. Share of people interested in SWH.

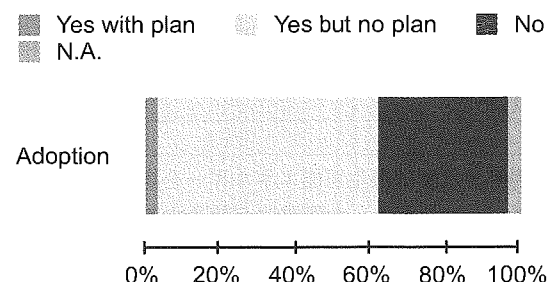


Fig. 2. Share of people going to adopt SWH.

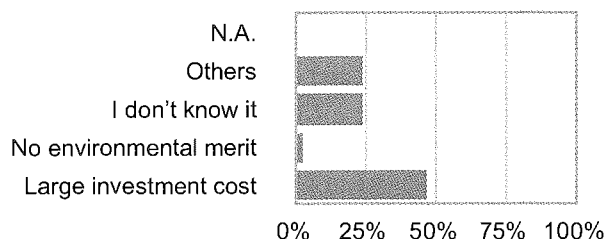


Fig. 3. Reasons to be interested in SWH. (Multi-answer)

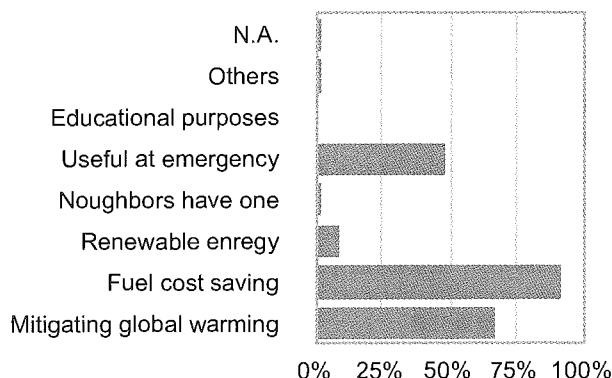


Fig. 4. Reasons not to be interested in SWH. (Multi-answer)

一方、関心なしの理由を図3に示す。「設備費が高い」が第二位を大きく引き離して第一位の理由である。注目すべきは第二位の理由が「太陽熱温水器を知らない」であったことである。これは新エネルギーとしての認知度を高める広報活動が不十分であることを示している。

3.4 設備投資に対する選好

太陽熱温水器に対する投資可能金額の回答を集計した結果を図5に示した。「出費しない」回答が第一位で42%を占める。前述の関心なしが48%だったので、その集団が出費しないと回答したと考えられる。20万円を超えて出費可能との回答比率は10%程度あり、30万円を超えて出費可能は1%に満たない。現行の太陽熱温水器が20~30万円することを考慮すると、この結果から導入を選択する比率は1割程度と予想される。各県における出費可能30万円超比率の分布を図6に示す。最も頻度が高いのは8~10%であり、1/3の都道府県が当てはまる。分布形状は高位側に裾が広がっており、最小で4%、最大で18%である。2割程度の世帯が支出に肯定的な地域は青森県、宮城県、山形県、東京都であった。

全地域を対象とする回答データに正規分布を当てはめて、平均値、標準偏差を推定したところ、正規分布が非常によく当てはまり、次の値を得た。

平均値： 1.6 万円
標準偏差： 12.7 万円

図7に示すように、設備費ゼロ付近にピークがあり、約半分は負の領域に分布する（すなわち、選択しないことを意味する）。太陽熱温水器に対する経済的受容性は非常に厳しいことを表している。

同じように各都道府県別に回答データに正規分布を当てはめて平均値、標準偏差を推定した。いずれも概ね正規分布に適合した。各県ごとに平均値+標準偏差（SD）を比較した結果を図8に示す。この指標は2割程度の世帯が太陽熱温水器を選択する場合のコストを意味しているので、地域の受容性を表す指標になると考えられる。平均値は最低が愛知県の3万円、最高が東京都と秋田県の4万円である。平均値がマイナスということは50%以上の世帯が全く投資するつもりがないことを意味する。現実の太陽熱温水器の設備費からすると高くても4万円の平均値は非常に低い。

一方、平均値+標準偏差は最大で19万円、最小で9万円、全国平均では14万円である。この結果は、2割の世帯

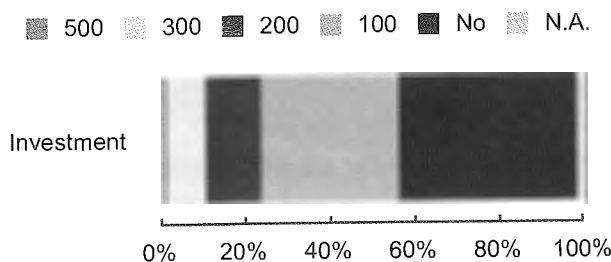


Fig. 5. Willingness to pay for SWH. (thousand yen)

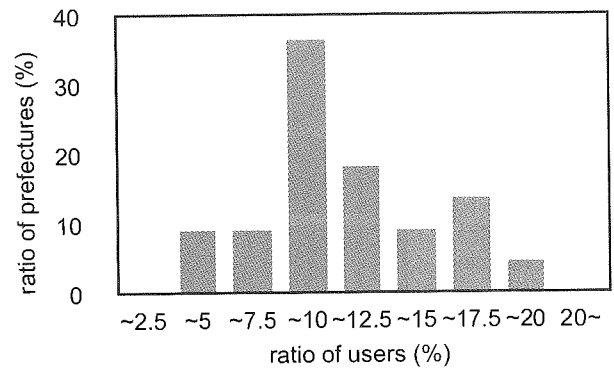


Fig. 6. Distribution of user ratio to pay more than 200 thousand yen for SWH.

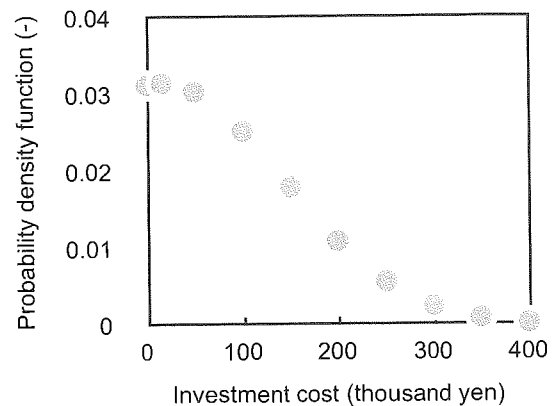


Fig. 7. Probability density function of SWH investment.

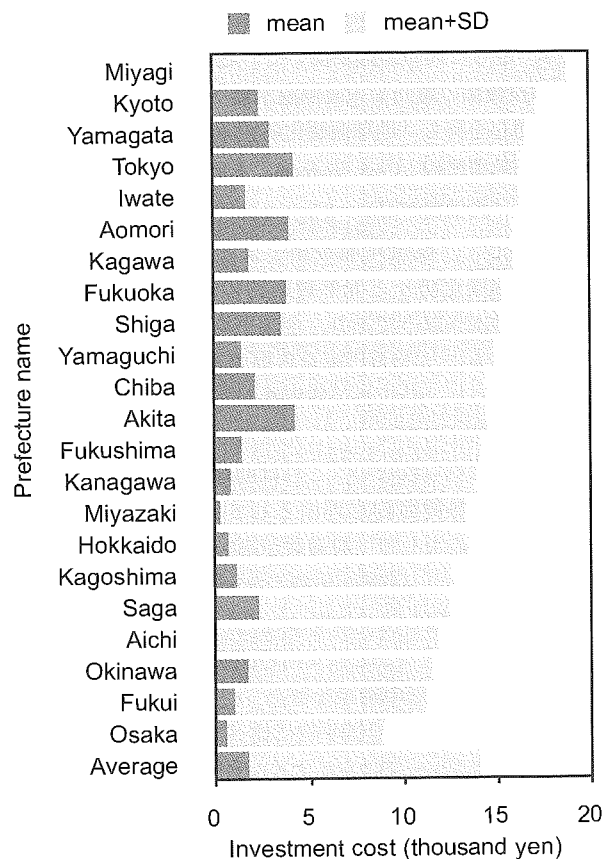


Fig. 8. Regional deviation of the cost allowance.

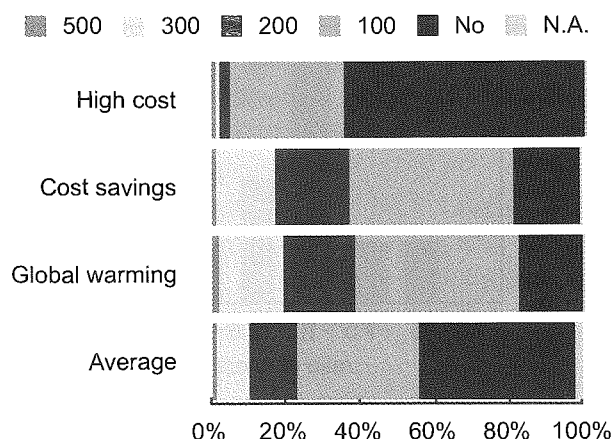


Fig. 9. Willingness to pay by interest on SWH. (thousand yen)

Table 2. Mean and SD of willingness to pay for SWH by interest groups.

Group	Cost savings	High cost	Average
Mean (1000 yen)	83	-29	16
SD (1000 yen)	105	80	127

SD: Standard deviation

に太陽熱温水器を受け入れてもらうためには、現状より半分程度までコストを低減しなければならないと解釈される。なお、最大の宮城県と最小の大阪府では2倍の違いがあり、地域性の影響が強く表れている。実際の県別太陽熱温水器普及率⁽³⁾とこの平均値+標準偏差の間には相関は見えず、さらに別の要因が働いていると考えられる。

設備投資額の意向を太陽熱温水器への関心の回答別に調べた。関心を持ち「地球温暖化防止 (Global warming)」あるいは「光熱費節約 (Cost savings)」と回答したグループと関心がなく「設備費が高い (High cost)」と回答したグループを抜き出して、投資可能金額をまとめた結果を図9に示す。地球温暖化防止と光熱費節約のいずれも「出費しない」回答は20%以下であり、全国平均に比べて半分に減っているとともに、20万円超を負担できる割合が20%と2倍に拡大しており、受入れの積極性が見て取れる。ただし、地球温暖化防止のグループと光熱費節約のグループの間に大きな差異は見られない。これは地球温暖化防止のグループの9割が光熱費節約も理由としてあげていることによる。一方、関心なしで「設備費が高い」と回答したグループは全く逆であり、6割が出費しないと回答し、20万円以上を負担する意向を持つ比率はわずかに4%に過ぎない。

これらのグループごとに支出可能金額分布の平均と標準偏差を推定し、表2の結果を得た。「光熱費節約」グループは平均値が8万円と全国平均に比べて5倍高い一方、「設備費が高い」グループはマイナス3万円となっている。いずれのグループの標準偏差も全国平均よりも小さく、分布が比較的集まっていることがわかる。これは図10に示す確率密度関数の推定結果に表れている。ただし、積極的に受け

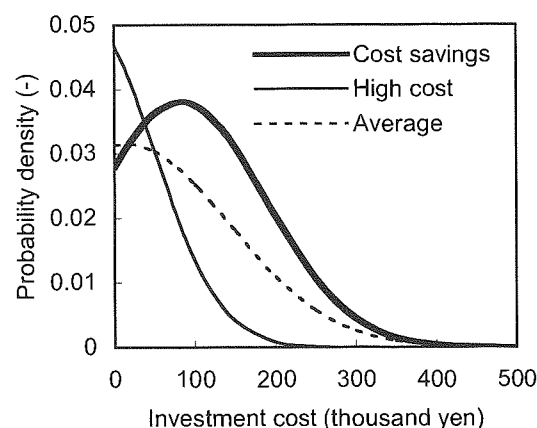


Fig. 10. Probability density function of investment cost for positive or negative interest groups.

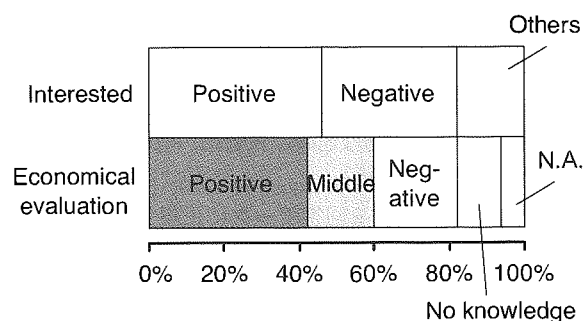


Fig. 11. User groups by positive or negative interest on the economy of SWH.

入れる「光熱費節約」グループであっても、実際の太陽熱温水器のコストを十分受容できる状態とはいえないことに注意が必要である。

1200サンプルの中で「光熱費節約」との回答は約500サンプル、「設備費が高い」が約280サンプルであり、同じ太陽熱温水器に正反対の意見を持っている。地球温暖化防止を指摘しながらも、結局は太陽熱温水器の経済性によってユーザ集団が分類できることがわかった。その結果を図11に示す。関心があるグループが46%、関心がないグループが36%、太陽熱温水器を知らないを含むそれ以外が18%に分けられる。さらにその内訳を区分すると、関心あるグループの中で設備費よりも光熱費節約を重視する集団が42%、中間層が4%に分けられる。一方、関心がないグループについてはコスト負担を重視する集団が23%、中間層が13%である。図11では中間層を合わせて17%と表示している。したがって、積極的に節約額を評価する集団が全体の約4割存在している一方で、不経済と評価する集団が約2割を占めている。すなわち、太陽熱温水器の経済性を評価する集団の方が2倍程度大きいことがわかった。

4. コンジョイント分析による支払い意思額の推定

4.1 コンジョイント分析の定式

投資金額と太陽熱温水器によって節約できる金額（燃料

費)の多数の組合せを与えて、回答者に選択するか否かをきいた。これに対する回答結果にコンジョイント分析を適用し、投資金額と節約金額それぞれの重み係数を推定した。コンジョイント分析では構成する要因の重みづけ加重和によって選択者にとっての効用を表現する⁽⁴⁾。

$$U_i = \alpha x_i + \beta y_i + \varepsilon \quad (1)$$

ただし、 i : 組合せの添字、 x : 設備費 (万円)、 y : 節約金額 (万円/年)、 α : 設備費の重み係数、 β : 節約金額の重み係数、 ε : 誤差項。

この時、誤差項がガンベル分布に従うとすれば、複数の選択肢の中からある一つを選ぶ確率は次の通り表される。

$$P(k) = \frac{\exp[\alpha x_k + \beta y_k]}{\sum_i \exp[\alpha x_i + \beta y_i]} \quad (2)$$

本手法は環境的価値の評価などに応用され、太陽光発電について評価した研究例⁽⁵⁾がある。

4.2 支払い意思額の推定

全サンプルを対象としてパラメータを推定した結果、次の重み係数を得た。

設備費 : $\alpha = 0.146$

節約金額 : $\beta = 0.431$

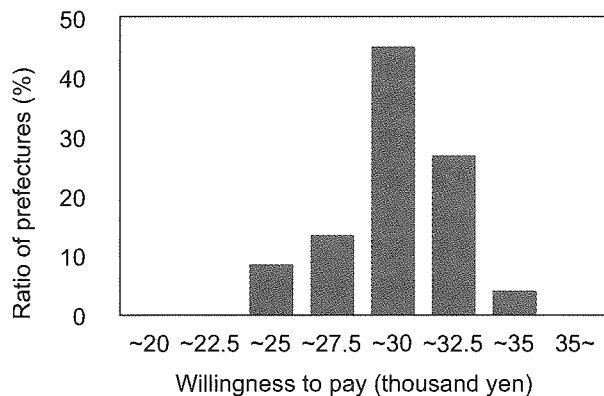


Fig. 12. Distribution of willingness to pay for SWH.

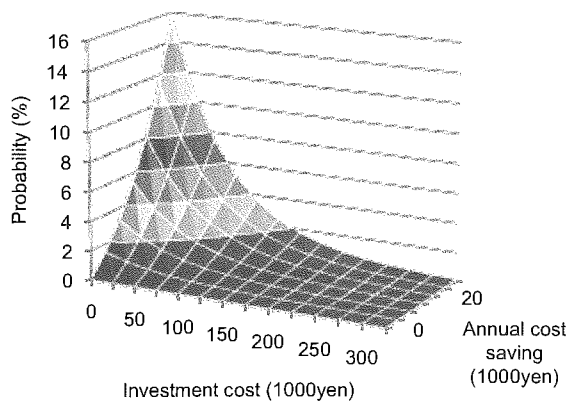


Fig. 13. Probability to select SWH. ($Y_0 = 67$ thousand yen/year)

推定されたパラメータの比 β/α をとることによって、節約金額年間1万円に対する設備費の支払い意思額を求めることができる。上記の値より具体的には約3万円と推定された。単純回収年数に言い換えれば3年に相当する。

都道府県別に求めた支払い意思額の分布を図12に示す。2.4万円~3.3万円の範囲に分布しており、3万円にピークが表れている。すなわち、地域によらず太陽熱温水器に対する経済的評価は厳しく、3年程度で設備投資を回収できることがユーザの立場から求められる条件である。なお、3万円を越える支払い意思額を示した地域は宮城県、岩手県、福島県、福井県、青森県、山形県、鹿児島県であり、東北・北陸地方において比較的高い傾向がある。これは寒冷地で燃料費支払い負担が相対的に重いことに起因すると推測される。

5. ユーザ選好による太陽熱温水器導入への影響

5.1 太陽熱温水器の規模別選択確率

推定された(1)式の効用に基づき、節約金額 Y (万円/年)をもたらし設備費 X (万円)の太陽熱温水器が選択される確率を求める。今、同じ設備費 X に対して $y < Y$ となる場合でも選択する意志を持つユーザはこの設備の方がよりメリットが高いので選択すると考えられる。一方、同じ節約金額 Y に対して $X < x$ となる設備を選択してもよいと考えるユーザにとって、この設備はより低コストであるため選択すると考えられる。したがって、この設備を選択する確率は次式で表される。

$$P(X, Y) = \frac{\int_X^\infty \int_0^Y \exp[\alpha x + \beta y] dx dy}{\int_0^\infty \int_0^{Y_0} \exp[\alpha x + \beta y] dx dy} \quad (3)$$

ただし、 Y_0 : 現状での燃料費。

この確率のグラフを図13に示す。ただし、現状の燃料費負担金額を東京の平均的な規模の戸建住宅に関する値として $Y_0 = 6.7$ 万円/年とした。設備費が上昇するに連れて急速に選択確率が低下する様子が見て取れる。

筆者らによる分析⁽⁶⁾によれば、南向きに最適な角度で設置した太陽熱温水器による年間節約金額 (万円/年) は、集熱器面積の関数として次式の通り推定されている (日射の条件は東京)。

$$Y(A) = 3.35(1 - \exp[-0.570A]) \quad (4)$$

ただし、 A : 集熱器面積 (m^2)。

一方、一般的な太陽熱温水器の設備費 (万円) は次式で表現される。

$$X(A) = 10 + 5A \quad (5)$$

これらを(3)式に代入することによって、ある面積 A の太陽熱温水器が選択される確率を計算できる。すなわち、(6)式となる。

$$P(A) = e^{\alpha X(A)} \frac{e^{\beta Y(A)} - 1}{e^{\beta Y_0} - 1} \quad (6)$$

この式に(4)、(5)式を代入することによって算出した選択確率を図14に示す。グラフは集熱面積1.5m²でピークをとり、急速に確率が低下する傾向を示している。その面積よりも小規模では相対的に節約金額が小さくて受け入れられない一方、大規模になるほど節約金額は飽和傾向を示すため、設備費が過剰となりユーザに許容されなくなる。最もユーザに受け入れられる太陽熱温水器の規模は、集熱面積1.5m²の設備であることが導かれた（ただし、この結果は集熱面積が一種類のみの場合を仮定している点に注意）。実際に市場で販売されている太陽熱温水器は4m²前後であるので、この結果からより小型の太陽熱温水器を供給することが導入拡大を図る上で有効と解釈できる。

また、最適集熱面積に対する選択確率は0.6%と推定された。この値は非常に小さく、現状の設備を前提とすれば将来的に導入はほとんど見込めないことを示唆している。なお、最も導入確率が高い面積は日射条件に依存するので、本結果は東京周辺について当てはまる。今後、地域ごとの日射条件およびユーザ選好関数を用いて評価することが課題である。

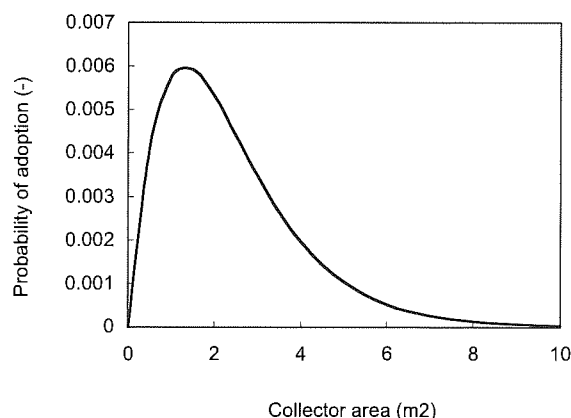


Fig. 14. Probability to adopt SWH of specific collector area.

6. おわりに

本研究では太陽熱温水器に関する消費者側の選択をアンケート調査により調査した。その結果、現状のコストを負担する意向を持つ比率は10%であり、ユーザは経済性に対する意識が強いことが判明した。ただし、光熱費節約の観点から太陽熱温水器に関心を持っているグループについては、現状コスト負担の意向は20%程度に増大する。地球温暖化への寄与をあげる回答も少なくなかったが、光熱費節約の回答と重なる比率が90%と多く、再生可能エネルギーであることを優先的に注目しているとはいえない。太陽熱温水器に関心ある集団でさえも経済性重視の傾向が見取れるので、コスト低減は大きな課題といえる。

また、回答結果からコンジョイント分析によって支払い

意思額を推定したところ、ユーザーの立場からみると太陽熱温水器は3年で投資を回収できることが求められており、設備費用の低減が極めて重要な課題であるといえる。得られた設備費と節約金額の重み係数を用いて選択確率を計算した結果、最も導入確率が高くなる太陽熱温水器の規模は集熱面積1.5m²と算出され、現状よりも小規模な太陽熱温水器が有用であることが示唆された。

なお、アンケート調査の中で「太陽熱温水器を知らない」との回答が全体の12%あったことは少なからず広報活動への課題を示している。再生可能エネルギーであり地球温暖化抑制に寄与する技術であることを強く訴え、太陽熱温水器の今日的な意味を広く喧伝する必要性が示唆されている。

今後は今回推定された選好関数に基づき東京都における太陽熱温水器の分析を進める計画である。さらに、都道府県別の日射条件、選好関数を用いて各地の導入可能性、日本全国の導入ポテンシャルを評価することが課題である。

謝辞

本研究は東京農工大学21世紀COEプログラム「エネルギー・物質代謝と『生存科学』の構築」の一環として実施された。また、アンケート調査に関しては住友財団の研究助成（研究題目「バイオマス・新エネルギー開発のためのエネルギー負荷・資源ポテンシャル分布図の作成とその活用に関する研究」、2003年度）を受けた。

アンケート票の設計において小林久茨城大学准教授、野田玲治群馬大学准教授、岩岡正博東京農工大学准教授、吉田好邦東京大学准教授に貴重な助言をいただいた。関係各位に感謝する次第である。

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, 電力中央研究所報告, Y08002 (2008)
- 2) 建築環境・省エネルギー機構ホームページ, 次世代省エネルギー基準の地域区分について, <http://www.ibec.or.jp/pdf/sjuutaku12.html> (2008年2月アクセス)
- 3) 総務省統計局ホームページ, <http://www.stat.go.jp/data/zensho/2004/taikyu/gaiyo1.htm> (2008年6月アクセス)
- 4) 栗山浩一, Excelでできるコンジョイント, 早稲田大学政治経済学部 環境経済学ワーキングペーパー#0302 (2003)。
- 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) 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.

略号 N.A.: Not Available (無回答), SD: 標準偏差, SWH: 太陽熱温水器。