

■ 研究論文 ■

家庭部門の電力需要における価格効果

— 一首都圏のアンケート調査にもとづく冬季の家庭用電力需要分析 —

Price Effects on Residential Electricity Consumption : A Study of Winter Electricity Demand Using Survey Data in the Tokyo Metropolitan Area

松川 勇*・真殿 誠志*・伊藤 成康**

Isamu Matsukawa Seishi Madono Nariyasu Ito

(1992年7月9日 原稿受理)

1. はじめに

電力の需給逼迫を背景とし、DSM (Demand-Side Management) に対する関心が高まっている。DSMには負荷管理、省エネルギー、電力化などが含まれるが¹⁾、負荷管理についてはわが国では従来産業部門が中心であった。しかし、近年民生部門における電力需要が急増するなかで、家庭や業務部門についても負荷管理の重要性が増大している。

民生部門の消費構造は多様であり、負荷管理を効果的に行うためには需要家のタイプ・電力用途別に詳細に消費構造を分析する必要がある。本研究では家庭部門に焦点を当て、電力を中心にエネルギー消費構造の分析を行う。分析においては、消費構造の多様性を考慮してアンケート調査にもとづく個票データを用い、また、料金に対する需要家の反応を把握するため価格弾力性の計測を行う。需要家の価格に対する反応は用途によって異なることが指摘されており、本研究ではヒートポンプ式冷暖房兼用電気エアコンを使用する家庭を対象として冬季における電力需要の価格弾力性計測を行う。冬季電力需要の価格弾力性には空調における価格効果が反映されており、価格弾力性の計測は家庭部門の空調電力消費に対するDSMを検討するうえで重要である。

2. モデル

空調需要は季節性が著しく、家庭部門の負荷管理の主要な対象である。本研究では、空調のうち暖房を取り上げ、電力需要を対象に価格に対する需要家の反応を分析する。

家計は、暖房による快適さを最大化する室温の保持を目的としてエアコンの温度設定を行うものと仮定する (Dubin=Miedema=Chandran²⁾).

$$\text{Max. } U[(t^* - t), Z]$$

$$t, Z$$

$$\text{s.t. } (p/\theta)Q(t, T) + Z \leq Y$$

ただし、

$U[(t^* - t), Z]$: 最も快適な温度 t^* に対して室温が t にあるときの効用

(他の財、サービスの消費 Z を価値尺度財とする)

$Q(t, T)$: 外気温が T のときに室温を t にするのに必要な熱量 (Mcal)

Y : 家計の所得

P : 電気料金単価 (円/kWh)

θ : エアコンの電力消費効率 (Mcal/kWh)

である。冷房では $U[(t - t^*), Z]$ である。効用極大化の1階条件より、

$$-U_t/U_z = p(dQ/dt)/\theta = p_c$$

が導出される。ここで、 p_c は「快適さの価格」を表し、このモデルではエアコンの電力需要を左右する価格要因として、電気料金、機器効率及び住宅特性 (床面積、断熱など) を取り上げる。冷暖房機器の燃料コストは電気料金だけではなく機器効率、空調利用面積、住宅の断熱特性等の要因にも依存するため、電力需要の分析に際しては、通常用いられる電気料金に加えて機器効率や住宅特性等も考慮した指標である快適さの価格 p_c をコスト要因として取り上げた。空調を使用する部屋の数・面積、住宅の断熱特性については家庭によって比較的大きな差がみられるため、分散の小さい電気料金のみをコスト要因に用いた場合に比べ、快適さの価格の利用は電力消費に与える燃料コストの影響を定量的に解析する際に有効である。

電力需要 E については、推定の便宜上各用途に関して加法的関数を仮定し、また、用途をエアコン及

* 財団法人経済研究所 経済部エネルギー研究室担当研究員
〒100 東京都千代田区大手町1-6-1

** 武蔵大学経済学部助教授

〒176 東京都練馬区豊玉上1-26-1

びその他の2つに区分する。

(1) $E = \sum_i E_i = UEC_c f_i(p_c, Y, D, \epsilon) + UEC_o f_o$
 ただし、 D 及び ϵ は、それぞれ観察可能な世帯属性及び観察不能な要因(省エネ意識など)を表す。また、 UEC_i は i 用途における「標準消費量」を表し、 UEC_c 、 UEC_o はそれぞれエアコン、その他用途における標準消費量を表す。標準消費量とは、住宅(広さ・構造・断熱等)・気温・機器保有の3要因によって決定される電力消費量である。実消費量 E_i との比率 $f_i(\cdot)$ は、快適さの価格・所得・世帯属性・観測不能な要因によって決定されるものと仮定する。たとえば、価格が高水準にある場合には設定温度の低下及びエアコン稼働時間の減少などによって電気料金を抑制する需要家の対応が考えられる。エアコン以外の用途については、①快適さの価格に相当する要因を取り扱うのが困難であり価格変数として電力単価等の指標を用いる必要があるが、本研究では12-3月の時系列及びクロスセクション・データを用いているため価格変数の分散がゼロに近く、価格弾力性の計測は困難である(快適さの価格には住宅工法・暖房面積の差が反映されており、サンプル間の分散は大きい)、②過去の研究(米国電力研究所: EPRI³⁾)では空調以外の用途における価格弾力性はゼロに近く非常に低い水準にある、の2点から電力需要の価格効果を無視するものとする。また、エアコン以外の用途について便宜的に f_o を一定の係数と仮定し、住宅特性、気温、機器保有以外の要因がエアコンを除く用途の電力消費に与える影響はサンプル間で同一であるとした。

線形の関数 $f_i(\cdot)$ を仮定し(1)式の電力需要関数の両辺を UEC_c で除すことにより、次式の推定可能な電力需要関数が導出される。 UEC_c で除すことによって、より推定が容易な形の電力需要関数が得られる。

$$(2) (E/UEC_c)_{im} = \alpha + \beta_1 P_{cim} + \beta_2 Y_i$$

$$+ \beta_3 (UEC_o/UEC_c)_{im} + \sum_k \gamma_k D_{ki} + \epsilon_{im}$$

ただし、 i 及び m はそれぞれ需要家及び月を表す。また、 ϵ については平均0、分散 σ^2 の正規分布にしたがうと仮定した。世帯属性としては、世帯人数・乳幼児ダミー・小学生ダミー・中高生ダミー・大学生ダミー・65歳以上ダミーをそれぞれ取り上げた。

(2)式の需要関数において、電力消費 E の料金単価 p に関する弾力性 $\eta_{E,p}$ は、

$$(3) \eta_{E,p} = (dE/dp)(p/E) = (dE/dp_c)(dp_c/dp)(p/E) \\ = (\beta_1 UEC_c)[(dQ/dt)/\theta](p/E) \\ = \beta_1 UEC_c p_c / E$$

であり、快適さの価格を用いて算定することが可能である。

3. データ

3.1 家庭用エネルギー消費実態調査

分析に用いたデータは、1991年7-8月において首都圏を対象に行ったアンケート調査から得たものである。アンケートは、東京都を中心に一部神奈川県・埼玉県・千葉県の主要都市の1戸建て住宅に居住する家

表1 主なアンケート調査項目

エネルギー消費関連
・1990年4月-1991年4月における各月エネルギー消費量及び支出額(電気、都市ガス、LPG、灯油)
エネルギー利用機器関連
・空調・給湯・厨房関連機器及び主要家電機器の保有台数及び利用頻度
・空調機器利用室数(面積)
住居関連
・延べ床面積、階数、部屋数、工法
生活状況
・換気状況、風通し、日当たり
世帯属性
・世帯構成、人数、所得

表2 需要家属性の分布

世帯人数		延べ床面積		住宅工法	
1人	11	30㎡未満	3	木造在来	250
2	71	30㎡~	15	木造工業化住宅	29
3	65	50㎡~	34	鉄骨	34
4	113	70㎡~	85	鉄骨工業化住宅	8
5	56	100㎡~	103	コンクリート	27
6	39	150㎡~	40	コンクリート工業化	3
7	7	200㎡~	15	その他	7
8	1	250㎡~	8	不明	5
		300㎡以上	6		
		不明	54		
平均	3.8人	平均	120.7㎡		

庭を対象に留置方式で行った。調査項目を表1に示す。なお、363件の有効回答が得られた。

表2に、調査対象の家庭における世帯人数・延べ床面積・住居の工法の分布を示す。サンプル平均で世帯人数は3.8人、また、床面積は120㎡であり、住宅は木造建築が約8割を占めている。冷房及び暖房対象床面積の平均はそれぞれ35㎡、40㎡であり、延べ床面積のおよそ1/3であった。

表3 年間燃料消費量

	平均 (Mcal/世帯)	構成比 (%)
電気	3985	30.6
都市ガス	6550	50.3
LPG	828	6.4
灯油	1650	12.7
合計	13013	100.0

表3に年間のエネルギー別消費量(発熱量換算)を示す。年間エネルギー消費量は関東平均(1989年で9.5Gcal;住環境計画研究所⁴⁾)に比べて13Gcalと高い水準にあり、また、都市ガスのシェアが高いのが特徴である。

3.2 電力標準消費量推計

分析に用いる電力の標準消費量推計を、冷暖房兼用ヒートポンプ式エアコン・エアコン以外の用途に区分して行った。まず、ヒートポンプ式エアコンについては単純な月間熱負荷計算を行い、エネルギー消費効率を用いてkWh換算を行った。具体的には、次式によって標準消費量を計算した。

$$(4) \quad UEC_{sim} = Q_i \cdot (\text{月間日数}) / \theta$$

$$Q_i = 8 \phi A_i \{K_i (t - T) - I_i\} / 1000$$

ただし、

Q: 日平均暖房熱負荷 (Mcal/日)

φ: 換気を考慮した暖房補正係数 (1.4に仮定)

K: 単位床面積あたりの熱損失係数 (kcal/㎡・h・℃)

A: 暖房床面積 (㎡)

I: 室内発生熱量 (kcal/㎡・h)

θ: エアコンのエネルギー消費効率 (1.8Mcal/kWhに仮定)

である。ヒートポンプ式エアコンのエネルギー消費効率については、石田⁵⁾の実測値をもとに設定した。熱損失係数については、2階建て・50mm断熱材・1重窓の場合をもとに以下のように想定した。

- ・木造在来、鉄骨住宅: 4.0kcal/㎡・h・℃
- ・木造・鉄骨工業化住宅: 3.1kcal/㎡・h・℃
- ・コンクリート: 3.6kcal/㎡・h・℃

快適さの価格 p_c は、 $p(dUEC_c/dt)$ より算定される。分析対象の家庭については従量電灯乙に該当し3段階のブロック逦増料金制が適用されており電力単価(円/kWh)は家庭によって多少の分布がみられるが、電力支出データに欠損値が多く家庭ごとに電力単価を求めることが困難であるため、ここでは便宜的に電力単価 p については一律30円/kWhとした。また、室内発生熱量については一律に20kcal/㎡・hとした。室内設定温度は設計標準値を考慮して22℃とし、また、外気温は東京の月間平均値を用いた。

次に、ヒートポンプ式エアコン以外の暖房用途における電力標準消費量についてはストーブ、パネルヒータ、こたつ、カーペット、温風ヒータ、冷温風ファン、床暖房別に、夫婦及び就学中の子供2人のモデル家庭における冬季平日の行動をもとにして(科学技術庁⁶⁾以下のように算定した。

- ・電気カーペット、床暖房(17畳のLDK、通電率50%を想定)
600W * 0.5 * 8.5h * 台数 * 日数
- ・こたつ(強度「中」で運転)
400W * 0.313 * 8.5h * 台数 * 日数
- ・電気ストーブ、パネルヒータ
400W * 4.5h * 台数 * 日数
- ・電気温風ヒータ、冷温風ファン
800W * 4.5h * 台数 * 日数

最後に、暖房以外の用途における電力標準消費量については、次のようにして算定した。

- ・厨房: 電磁調理器は、1.68kWh/日 * 日数 * 保有の有無、また、炊飯器は、25kWh/月から30kWh/月(月によって多少の差がある)かつ全家庭1台所有を想定
- ・家電: カラーテレビは25kWh/月から30kWh/月かつ全家庭1台所有(VTR付き)を想定、また、冷蔵庫は、1.06kWh/日 * 日数(400リットル)、全家庭1台保有を想定、乾燥機は9kWh/月から12kWh/月、洗濯機は4kWh/月から5kWh/月とし、乾燥機及び洗濯機は台数をかけて算定

- ・照明: 4LDKを想定、6.6kWh/日 * 日数

なお、厨房、照明等は人数及び住宅の広さに依存するものと考えられるが、ここでは便宜的に全家庭一律の数値を用いた。

電力標準消費量と実際の消費量の比較を表4に示す。ヒートポンプ式エアコンの標準消費は電力消費合計の5割から7割を占めており、実際のエアコン消費よりも高めの数値であると思われる。エアコン以外の用途についても標準消費が実際の電力消費合計を上回っており、全般に高めの推計値が得られている。標準偏差の数値が大きく全体にかなりのばらつきがみられることから、実消費量を左右する要因については標準消費量の算定において考慮した住宅構造・広さ、気温、機器保有等のほかに、コストや所得などの存在が考えられる。

表4 用途別標準消費と実消費合計の比率：

エアコン		
	平均	標準偏差
12月	0.62	0.39
1月	0.76	0.50
2月	0.67	0.47
3月	0.54	0.37
エアコン以外		
	平均	標準偏差
12月	1.32	0.81
1月	0.95	0.58
2月	1.03	0.66
3月	1.21	0.70

4. 電力需要関数の推定結果

4.1 価格弾力性の計測

(3)式で定義される価格弾力性の計測を目的として、(2)式の電力需要関数の推定を行った。推定に際して、12—3月の時系列及びエアコン使用者のクロスセクションのプーリング・データを用いた。なお、欠損値を含むサンプルは除外した。所得は、カテゴリー・データとして調査したため、各カテゴリーの平均値を所得変数に用いた。また、世帯属性の変数のうち世帯人数以外の変数についてはダミー変数とした。推定は最小自乗法を用いた。

需要関数の推定結果を表5に示す。世帯属性、住居構造・広さ、気温、機器保有などの条件を一定とすると、一般的には燃料コストの上昇は電力消費を抑制し、また、所得の増加は電力消費を増加させるものと考えられる。価格及び所得の経済変数については、いずれもこのような符号条件を満足しかつ有意な結果が得ら

表5 需要関数推定結果(括弧内はt値)

定数項	1.32 (3.34)
価格(千円/℃)	-0.71 (-2.57)
所得(百万円)	0.07 (2.68)
空調以外標準消費/ 空調標準消費比率	0.42 (6.64)
世帯人数(人)	-0.03 (-0.47)
乳幼児ダミー	0.84 (3.75)
小学生ダミー	-0.30 (-1.51)
中・高生ダミー	-0.21 (-1.08)
大学生ダミー	0.36 (1.78)
65才以上ダミー	0.21 (1.24)
決定係数(自由度修正済み)	0.27
F値(F(9,374))	16.8

れた。空調以外の標準消費量と空調の標準消費の比率については符号条件を満たし有意であり、係数値は0.42であった。世帯属性については有意な変数は乳幼児ダミーのみであり、他のダミー変数及び世帯人数は有意なパラメータが得られなかった。特に世帯人数については、符号条件が満足されなかった。F値は16.8であり、推定式全体の有意性が確認された。快適さの価格に関するパラメータの信頼区間は95%の信頼区間において-1.25から-0.17であり、価格が電力消費に及ぼす影響は存在しないという帰無仮説を95%の信頼水準を持って棄却することができる。なお、他の有意なパラメータの信頼区間については、所得では0.02から0.12、空調以外標準消費量と空調標準消費量の比率では0.30から0.54、また乳幼児ダミーでは0.40から1.28であり、これらについても影響がないという帰無仮説を95%の信頼水準を持って棄却することができる。

需要関数のパラメータをもとに、(3)式にしたがって冬季電力需要の価格弾力性を計測した。サンプル平均では-0.47であり、わが国における機器選択を含む長期の電灯需要価格弾力性の計測例-0.37(松川・真殿・中島⁷⁾)を絶対値で上回る数値が得られた。この理由として、本研究では価格効果の比較的高いと思われる暖房用途のみを対象として価格弾力性の計測を行ったことがあげられる。

4.2 「rebound 効果」

一般に、エネルギー利用機器の効率を増加させることは省エネルギーの有効な手段の一つと考えられているが、その効果を議論する際には効率向上による燃料費の節約が必要増を引き起こす「rebound 効果」について検討する必要がある。機器効率及び断熱効率はそれぞれエネルギー消費効率・熱損失係数によって

(4)式の電力標準消費量 UEC_c において表されているため、仮に rebound 効果が存在せず燃料コストの影響がゼロならば f_c について

$$df_c/dp = (df_c/dp_c)(dp_c/dp) = 0 \cdot (dp_c/dp) = 0$$

である。したがって、エアコンにおける機器効率及び断熱効率の向上による電力需要の変化は(1)式より

$$\begin{aligned} d \ln E / d \ln UEC_c &= (dE/dUEC_c)(UEC_c/E) \\ &= [UEC_c(df_c/dUEC_c) + f_c](UEC_c/E) \\ &= [UEC_c(df_c/dp_c)(dp_c/dUEC_c) + f_c] \\ &\quad (UEC_c/E) \\ &= (0 + f_c)(UEC_c/E) = (E - f_c UEC_c)/E \end{aligned}$$

と表すことができる。ただし、エアコンの機器効率及び断熱効率は(4)式の形で電力標準消費量 UEC_c に含まれているため、これらの効率向上が標準消費量に与える効果(弾力性)は1である。現実には、効率向上によって実質燃料費が低下することによる需要増加の可能性が存在するため必ずしも df_c/dp_c はゼロではなく、

$$\begin{aligned} d \ln E / d \ln UEC_c &= [UEC_c(df_c/dp_c)(dp_c/dUEC_c) + f_c](UEC_c/E) \\ &= (dp_c/dUEC_c)(UEC_c/p_c) \\ &\quad (df_c/dp_c)(p_c UEC_c/E) + (E - f_c UEC_c)/E \\ &= \eta_{p,UEC_c} \eta_{f,p} + (E - f_c UEC_c)/E \end{aligned}$$

となる。ここで、 η_{p,UEC_c} は快適さの価格の標準消費弾力性(技術パラメータ)を表し、

$$\eta_{p,UEC_c} = (dp_c/dUEC_c)(UEC_c/p_c)$$

である。 η_{p,UEC_c} については UEC_c 及び p_c の水準に関わらず一定の数値をとるものと仮定すれば、 p_c を UEC_c の対数線形関数で表すことにより推計することが可能である。具体的には、次式を回帰して η_{p,UEC_c} の推計を行った。

$$\ln p_c = C + \eta_{p,UEC_c} \ln UEC_c + \varepsilon$$

推定した結果、 η_{p,UEC_c} の数値は0.78であった。したがって、rebound 効果は $-0.47 * 0.78 = -0.37$ である。 $(E - f_c UEC_c)/E$ については、 $f_c = \beta_3 = 0.42$ であり、また、本研究のアンケート調査における戸建て住宅居住世帯平均の冬季月平均実電力消費455kWh及びエアコン以外の用途における標準電力消費の推計値の冬季月平均513kWhをそれぞれ用いた場合、

$(E - f_c UEC_c)/E = 1 - 0.42 * 513/455 = 0.53$ である。以上から、機器効率1%の改善による省電力効果は $-0.37 + 0.53 = 0.16$ であり、サンプル平均において0.16%であることが明らかになった。ただし、

本研究ではヒートポンプ式エアコン利用家庭のみを対象とし、又、断熱効果については屋根や壁などの断熱材の差については一切考慮していないため、エネルギー消費効率の変化に対する需要家の反応を十分に反映しているとはいえない。また、機器効率が燃料費に与える影響についても(4)式のような簡単な熱負荷計算式にもとづいて分析している。省電力効果をよりの確に計測するためには、エネルギー消費効率の異なる機器・断熱材を設置する需要家について分析し、また、機器効率が燃料費に与える影響についても詳細に分析する必要がある。

5.まとめ

本研究では、首都圏の1戸建て住宅を対象としたアンケート調査によって得られたデータをもとに、冷暖房兼用ヒートポンプ式エアコン利用家庭を対象に冬季における電力需要の価格弾力性の計測を行った。推定に際してエアコン及びその他の用途の加法的需要関数を仮定し、1990年12月—1991年3月の毎月の時系列データ及びヒートポンプ式エアコン利用家庭のクロスセクションデータをプールして需要関数の推定を行った。説明要因として電力価格の他に所得、世帯人数などを用いた。推定した結果、電力需要の価格弾力性はサンプル平均において-0.47であり、わが国における機器保有を所与とした電力需要の価格効果としては比較的大きな数値が得られた。

空調需要は季節変動が激しく、また、電力ピークを左右する重要な要因である。このため、DSMの主要な適用対象としてこれまでアメリカを中心にさまざまな負荷制御の実験が試みられており、わが国でも、鹿児島市においてエアコンの直接負荷制御実験が行われている。季節別料金制は時間帯別料金制と同様料金を通じて負荷を間接的に制御するDSMの手法であるが、その効果は料金に対する需要家の反応に左右される。本研究ではヒートポンプ式エアコン利用家庭に限定して冬季における価格効果の計測を行ったが、ここで用いた手法は冷暖房用途の需要が大きい夏季及び冬季における電力消費の価格効果の計測に適用可能であり、今後さまざまなケースに適用して分析を精緻化する事によって、たとえば、季節別料金の導入が電力消費に及ぼす影響を検討する際に有用な情報を提供することが可能であろう。一方、本研究の手法では機器の普及が電力需要に及ぼす影響や燃料代替の分析を行うのは困難であり、また、ピーク需要(kW)の分析には適用

できない等、負荷管理の効果を分析するための手法としては不適切な面もある。季別料金制の効果をより的確に把握するためには、他の空調機器についても料金に対する反応を計測するとともに機器選択及び燃料代替についても分析する必要がある。今後は、クロスセクションと時系列データの整備を進めて価格弾力性の計測の精緻化を行うとともに、機器選択、燃料代替及びピーク需要の分析手法についても検討することが課題としてあげられる。特に、時間帯別料金の効果を分析する際には負荷形態に関するデータの整備が必要である。

本研究では斎藤雄志教授（専修大学）、藤井美文助教授（文教大学）、石田建一（積水ハウス）各氏から多大な協力を得た。また、本誌のレフリーからは有益なコメントをいただいた。ここに感謝の意を表す。

文 献

- 1) Gellings, C. W., and J. H. Chamberlin, Demand - Side Management: Concepts and Methods. The Fairmont Press (1988).
- 2) Dubin, J. A., A. K. Miedema and R. V. Chandran, "Price Effects of Energy - Efficient Technologies : A Study of Residential Demand for Heating and Cooling," Rand Journal of Economics 17 (1986), 310-325.
- 3) EPRI, "Residential End - Use Energy Consumption: A Survey of Conditional Demand Estimates," EPRI Report CU-6487 (1989).
- 4) 住環境計画研究所; 家庭用エネルギー統計年報(1989).
- 5) 石田建一; 内部資料(1991).
- 6) 科学技術庁, 将来の家庭生活におけるエネルギー消費(1984).
- 7) 松川勇, 真殿誠志, 中島孝子, 電気事業におけるラムゼー料金の適用電力中央研究所研究報告, Y90013 (1991).

協賛行事ごあんない 「CO₂と海洋のかかわりに関する 国際ワークショップ」開催について

1. 主 催 : 財団法人電力中央研究所
2. 組織委員会 : 名古屋大学教授 半田暢彦
(委員長)
東京大学教授 石谷 久
山形大学教授 酒井 均
東京大学助教授 高橋正征
3. 期 日 : 平成5年6月1日(火)・2日(水)
4. 場 所 : 筑波研究交流センター
5. 使用言語 : 英 語
6. 参加申込締切 : 平成5年4月30日(金)
7. おもなトピック
 - ①回収CO₂の輸送と注入の技術的検討
 - ②液体CO₂と海水との間の物理・化学過程
 - ③溶解による希釈方式と海底への一時貯留方式を比較した得失およびそれぞれの方式に対する海域による応答特性
 - ④海洋への注入方式選定および環境影響評価のために必要とされる実験的研究

■ 問い合わせ・連絡先

〒270-11 千葉県我孫子市我孫子1646 財団法人電力中央研究所 我孫子研究所 大隅多加志
TEL 0471-82-1181 FAX 0471-83-2966