

世帯消費電力構造と所有電気機器 および節電意識との関連性

寺崎 康博, 橋本 泰広, 菅 幹雄, 降籬 徹馬

1. はじめに

我が国における消費電力量は年々増加する傾向にあり、地球環境保護の観点から省エネルギーが提唱されている。最近では、原子力発電所の稼働停止による電力不足の回避もその要因の一つとなっている。家庭用消費電力の伸びも様々な家庭用電気機器が市場に投入され普及した現在では特に増加する傾向にあり、節電意識の向上とともに効果的な省エネルギー方策が求められている。そのため、家庭用消費電力の実態や構造の変遷および将来の消費電力予測など、多岐にわたって調査・研究[5, 7, 9~11]が進められてきた。

一方、海外でも我が国と同様に、地球温暖化や異常気象との関係から消費電力に関する多くの研究が進められてきている。例えば、家庭用エネルギー消費の構造についてモデル化を行った研究[2]や気温と消費電力の関係を取り上げた研究[1, 3, 12~14]など多くの研究の蓄積がある。

しかし、世帯ごとの属性や所有機器および節電意識、さらには世帯を取り巻く環境から電力消費の決定要因を明らかにし、具体的な節電方策を立案しようとするとき、消費電力の変動は気温変動によりほぼ説明できるため、所有機器や節電意識との関係を明確に示せないという問題が残されている。また、先行研究では、どちらかという地域が限定され、電力消費計測期間が短く、世帯属性や所有電気機器の調査項目が少ない

てらさき やすひろ, ふりはた てつま
東京理科大学 経営学部
〒346-8512 久喜市下清久 500
はしもと やすひろ
東京理科大学 経営学研究科
〒346-8512 久喜市下清久 500
すが みきお
東京国際大学 経済学部
〒350-1197 川越市市場北 1-13-1
受付 04.7.29 採択 04.10.9

など、調査やデータ入手の制約を受けている。そのため、気温との関係も日単位ではなく月単位のデータを前提にモデル化が行われている。

本稿では、このような問題解決に向け、日単位の電力消費データから直接的に気温との関係を分析するモデルを提案し、世帯電力消費構造を明らかにする。そして、所有機器および節電意識との関係を分析し、電力消費低減方策について具体的に効果的な節電行動を明らかにする。

以降、節2では分析に用いるデータの概要を述べ、節3では気温と電力消費の関係を分析するモデルを提案し、実際の世帯別電力消費測定値データを用いてモデルを検証する。次の節4では世帯ごとの個別パラメータ推定を行い、世帯消費電力構造を明らかにする。続く、節5では所有機器との関連から、節6では節電意識との関連から、それぞれ電力消費との関連を調べ、具体的な節電方策を特定する。最後の節7にて本稿のまとめと今後の課題を述べる。

2. 分析データの概要

分析対象のデータは、平成15年度データ解析コンペティションより提供されたもので、このデータ提供により本稿の分析が可能となった。データは、大きく、世帯別電力消費の測定値データ、モニタ属性データ、モニタアンケート結果データから構成されている。測定値データには計測器[8]を設置したモニタの平成14年4月から平成15年3月までの日別時間別の消費電力量計測値が格納されている。モニタ属性データには、主に、モニタの属性(都道府県、家族それぞれの続柄・年齢・性別・職業、住居の形態・所有関係・構造・部屋数・面積など)、所有機器(灯油製品8種類、ガス製品12種類、電化製品34種類、その他製品15種類)、および、節電意識についてのアンケート結果が含まれている。

モニタは、宮城、大阪、福岡の世帯が多数を占めているものの、モニタ属性を国勢調査結果と比較したところ、家族人数では単身者の世帯が少なく子供を持つ30代・40代の世帯が相対的に多いことや、中規模の比較的新しい住居に暮らしているモニタが多いなどの特徴を有しているものの、特に偏りがあると問題にするほどではなく、概ね標準的な世帯がモニタになっている。

ただし、測定値データは測定開始がモニタによって異なり、測定の欠損が含まれているため、データ数もモニタによって異なる。表1には、この概略を示すため月別にデータの記録有無を集計した結果と記録のある月数ごとに日平均消費電力量を示した。モニタによって測定開始時期およびデータ数が大きく異なることが分かる。記録月数別に日平均消費電力量の推移を調べると、記録月数6か月以内にはばらつきがあり、記録月数7か月以上で12kWh程度で安定している。これは、夏季と冬季に電力消費が特に増大するためである。よって、少なくとも7か月以上の記録月数が含まれるデータを分析対象にすべきと考えられる。

3. 消費電力と気温の関係

気温の変化が消費電力に大きく影響することは明らかである。特に、夏季における日中の電力需要は総供給量を上回るほどであり、気温の変動に伴う電力需要の予測は電力供給側の最重要課題になっている[6]。

一方、需要家側の分析も、省エネルギーの観点からその電力消費構造をつかむ上で関心が高まっている。しかし、多くは月単位に集計した電力消費データの分析モデルであり、日単位で分析可能なより精緻なモデルが求められている。そこで、本稿ではデグリーデイ・

アプローチに基づいた分析モデルを提案し、その有効性を示す。多くの先行研究で取り上げられている重回帰モデルに基づかないのは、後述する気温と消費電力の時系列的な推移を正確に表現しきれないと判断したからである。

3.1 モデル

デグリーデイとは1日の平均気温の華氏65度(18.33°C)からの乖離度数である[4]。寒暖分岐の基準気温18.33°Cを起点として、冬はこれをどれだけ下回ったかを計るのがHeating Degree Day (HDD)であり、夏はこれをどれだけ上回ったかを計るのがCooling Degree Day (CDD)である。このHDDとCDDにより冷暖房需要の必要度を計ることができる。一般的に、HDDおよびCDDは、

$$HDD = \max(0, 18.33^{\circ}\text{C} - t_d)$$

$$CDD = \max(0, t_d - 18.33^{\circ}\text{C})$$

と定義され、一定の月あるいは期間を対象に累積計算し、その対象期間内の気温度合いの尺度とする。ここで、 t_d は日 d における平均気温(°C)を表す。

これまで、消費電力と気温との関係を分析するために用いられてきたデグリーデイ・アプローチでは、HDDおよびCDDの累積度数を重回帰モデルの説明変数とし、月単位で消費電力量を推定している。このため、気温と消費電力量の月当たりの平均的な関係を取り扱っていることになる。世帯消費電力量の所有機器との関係を明らかにするためには、気温変動に影響される冷暖房利用の消費とそうでない消費に分離する必要があるため、日単位で気温と消費電力量の関係を扱う必要がある。また、地域ごと、世帯ごとに寒暖の感じ方や反応が違ふと考えられるため、寒暖分岐の基準値18.33°Cは定数ではなく変数として扱った方

表1 モニタ別測定値属性

モニタ数	欠損値無しの月数												日平均消費電力量 (kWh)	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		計
記録のある月数	1	2	4										6	9.37
	2	3	6										9	8.74
	3	2	9	13	7								31	11.35
	4			3	7	8							18	12.10
	5			1	4	10	10						25	9.98
	6		1	3	5	9	20	6					44	11.29
	7			2	3	9	16	22	5				54	12.44
	8			1		6	11	14	24	37			89	12.08
	9					2	7	11	35	77	45		178	12.11
	10					3	2	9	21	39	141	130	343	12.28
	11					1	1	1	3	31	74	188	411	12.23
	12								1	10	22	108	358	499
計	7	20	73	26	39	67	63	89	194	282	426	471	1707	-

が現実的であろう。さらには、暖房機器を使い始める気温と冷房機器を使い始める気温は一つの基準温度で分岐するのではなく、二つの基準値が存在すると考えた方が自然である。

したがって、本稿では日単位でHDDとCDDを用い、基準温度は一つの定数18.33℃ではなく、二つの変数であると想定して気温との関係を捉える。つまり、日 d のHDDを $H_d(T_h)$ 、CDDを $C_d(T_c)$ のように表記し、

$$E_d = hH_d(T_h) + cC_d(T_c) + f$$

$$H_d(T_h) = \max(0, T_h - t_d)$$

$$C_d(T_c) = \max(0, t_d - T_c)$$

のように考える。ここで、 E_d は日 d における消費電力量(kWh)を表し、 T_h は暖房機器を使い始める気温であり、 T_c ($\geq T_h$)は冷房機器を使い始める気温とする。 h は気温の暖房電力消費への効果を表すパラメータ(気温が1℃下がったときの消費電力量の伸び)を、 c は気温の冷房電力消費への効果を表すパラメータ(気温が1℃上がったときの消費電力量の伸び)をそれぞれ表す。したがって、 $hH_d(T_h) + cC_d(T_c)$ は冷暖房用途の消費電力量となり、これを本稿では変動消費電力量と呼ぶ。 f は冷暖房以外の用途に用いられる消費電力量を表し、本稿では、これを固定消費電力量と呼ぶ。

パラメータ T_h, T_c, h, c, f を推定することで、世帯消費電力量を冷暖房用途の変動消費電力量と固定消費電力量に分けることができ、気温の消費電力に与える影響を把握することができる。本稿では、次の最小化問題を解くことによって、これらパラメータ値を得る。

$$\min_{T_h, T_c, h, c, f} \sum_d \{E_d - hH_d(T_h) - cC_d(T_c) - f\}^2$$

$$\text{s. t. } T_c \geq T_h$$

$$T_h, T_c, h, c, f \geq 0$$

3.1 モデルの評価

提案する分析モデルの電力消費データへの当てはまりを確認するため、24時間連続計測日数が350日以上ある世帯を抽出した。該当する世帯は210世帯であり、これら世帯が居住する都道府県の県庁所在地の日平均気温データを用いて世帯別にパラメータ推定を行った。

パラメータ推定に当たっては、本稿で提案する基準温度を2軸設ける分析モデルとの比較のため、基準温度を18.33℃に固定した従来からの方法(1軸固定)と基準温度を変数 T として1軸で扱う方法(1軸変動)について、それぞれ世帯別にパラメータ推定を行った。各世帯の電力消費データへのモデルの当てはまりを評価するために、推定値と実測値との平均二乗誤差(MSE)およびAICを算出した。その結果の一部を表2に示す。表中、下線が引かれている数値は各世帯ごとのMSEおよびAICの最小値であり、この三つのモデルの中でその世帯の電力消費データに最も当てはまるモデルを表している。これをまとめたのが表3である。

MSEを評価基準とした場合、基準温度を18.33℃

表3 モデルの採択

基準	モデル	世帯数	割合(%)
MSE	従来モデル(1軸固定)	0	0.0
	提案モデル(1軸変動)	71	33.8
	提案モデル(2軸変動)	139	66.2
AIC	従来モデル(1軸固定)	17	8.1
	提案モデル(1軸変動)	76	36.2
	提案モデル(2軸変動)	117	55.7

表2 世帯別パラメータ推定結果の評価

No.	モニタID	都道府県	MSE			AIC		
			1軸固定	1軸変動	2軸変動	1軸固定	1軸変動	2軸変動
1	11532893913	北海道	7.435	7.192	<u>7.079</u>	1700.575	1690.962	<u>1687.439</u>
2	11615327313	北海道	1.529	1.519	<u>1.500</u>	1148.654	1148.387	<u>1145.916</u>
3	11663990513	北海道	6.305	<u>5.299</u>	5.444	1671.135	<u>1611.419</u>	1623.010
4	11682176313	北海道	0.817	0.809	<u>0.806</u>	929.854	<u>928.365</u>	929.270
5	11741637413	北海道	2.983	2.947	<u>2.921</u>	1381.898	1379.646	<u>1378.507</u>
6	11787078213	北海道	1.618	<u>1.570</u>	1.603	1191.625	<u>1182.929</u>	1192.195
7	11865579413	北海道	6.849	<u>6.849</u>	6.936	<u>1676.688</u>	1678.677	1685.096
8	17238591511	青森県	3.189	3.132	<u>3.128</u>	1405.144	<u>1400.901</u>	1402.450
:	:	:	:	:	:	:	:	:
206	98554723111	宮崎県	1.419	<u>1.384</u>	1.394	1125.651	<u>1119.052</u>	1123.450
207	98652289811	宮崎県	3.448	3.446	<u>3.398</u>	1432.391	1434.237	<u>1431.315</u>
208	99252172011	鹿児島県	5.767	5.582	<u>5.299</u>	1611.890	1602.558	<u>1586.359</u>
209	99256603111	鹿児島県	7.390	6.363	<u>6.141</u>	1698.472	1648.265	<u>1637.871</u>
210	99638083111	鹿児島県	3.576	2.170	<u>2.160</u>	1461.565	<u>1287.231</u>	1287.679

に固定した従来モデル(1軸固定)が採択された世帯はなく、基準温度を変数として扱った方が予測精度が高いことが分かる。また、基準温度を1軸設けて変動させたモデルの予測精度が最も高くなる世帯が71世帯あるが、これは次節で述べるとおりに、基準温度を2軸設けるモデルにおいても $T_h = T_c$ として推定され、1軸のモデルと同様の結果となる世帯が含まれているためである。概ね、基準温度を2軸設けるモデルの方が予測精度が高いといえるであろう。

AICを評価基準にした場合、基準温度を2軸設けるモデルのデータへの当てはまりが最も良い世帯は117世帯(55.7%)に減少するが、それでも半数以上の世帯で当てはまりが最も良くなっている。

4. 世帯消費電力構造の分析

以上のように世帯消費電力量と気温との関係を明らかにし、変動消費電力量と固定消費電力量に分離するモデルの有効性を確認できたので、次に、基準温度を2軸設けるモデルのパラメータ推定結果から世帯消費電力構造を把握する。

図1には、冷暖房の基準温度である T_h と T_c の関係を示した。冷房機器を使用し始める基準温度である T_c のばらつきよりも、暖房を使用し始める基準温度 T_h の方がばらつきが大きいことが分かる。これは、冷房手段はほぼエアコンに限られるのに対し、暖房手段はガスや灯油のファンヒータなどエアコン以外も使用されることに影響していると考えられる。また、図中で原点から右上に向かって線形に並んでいる点分布が確認できる。これはパラメータの推定の結果、 $T_h = T_c$ と推定された世帯である。その右上は冬季における電力消費のピークがなくHDDに反応しない南国系であり、その左下は夏季に電力消費のピークがなくCDDに反応しない北国系の世帯である。この線形関係にある部分は、基準温度を一つだけ設けるモデルでも対応できる世帯である。また、線形関係にあり、その中間に布置する世帯には地域的傾向はなく、気温の変化に対して反応せず1年中消費電力量に変動がない世帯である。この部分は消費電力に気温変動が影響しない世帯であり、本モデルに当てはまらない世帯ということになる。

図2には、HDD基準温度 T_h と消費電力量の伸び h の関係を示した。気温が1°C上昇したときの消費電力量の伸び h は基準温度15°C前後をピークにばらついている。この15°Cが暖房を使い始める目安になる

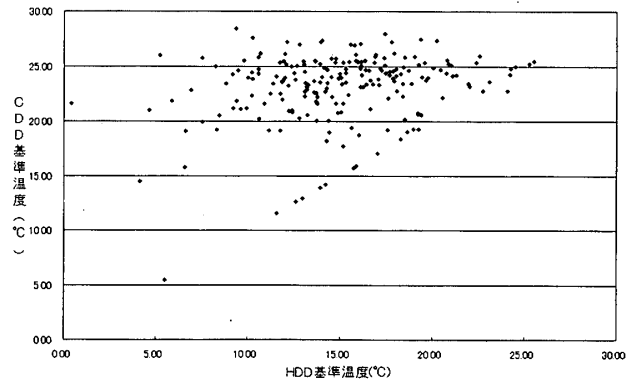


図1 HDD基準温度(T_h)とCDD基準温度(T_c)の関係

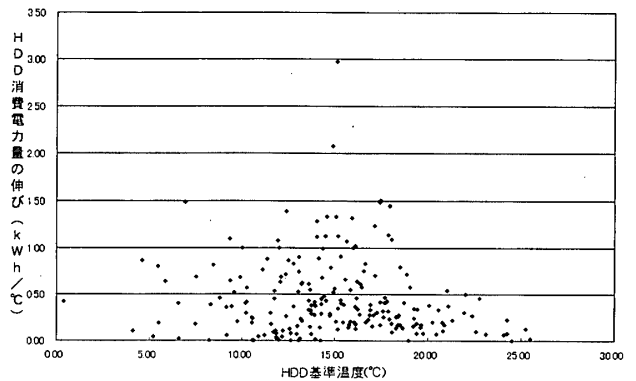


図2 HDD基準温度(T_h)と消費電力量の伸び(h)

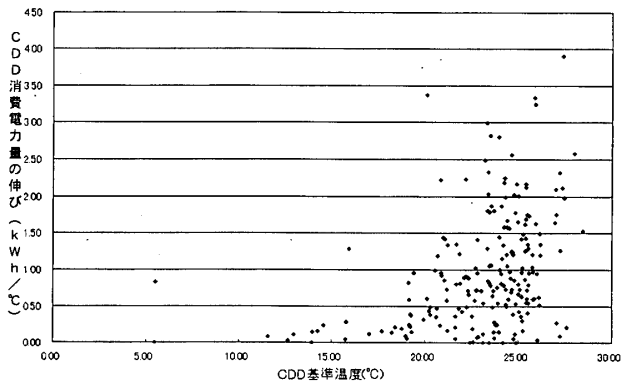


図3 CDD基準温度(T_c)と消費電力量の伸び(c)

ものの、そのばらつきも比較的大きい。消費電力量の伸びは住宅の広さや構造等に影響していると考えられるが、 T_h は暖房機器を使い始める日平均気温であり、世帯ごとの寒さに対する感度を反映していると考えられる。ちなみに、図中に消費電力量の伸び h が2 kWhを超える世帯がある。これら世帯の所有機器を調べたところ、ガスや灯油の暖房器具を所有していない世帯であった。エアコンのみで暖房を行っていると考えられる。

図3には、CDD基準温度 T_c と消費電力量の伸び c の関係を示した。図2の T_h のばらつきが大きいのに

対し、 T_c のばらつきは比較的小さいことが分かる。実際、CDDではほぼ25°Cに集中しており、多くの世帯は日平均気温が25°Cから冷房器具を使い始めると考えられる。省エネルギー対策として、冷房設定温度を28°Cにと提唱されているが、日平均気温が25°Cの日は、日中30°Cを超えるような夏日であり、決して無理な設定温度ではないと考えられる。その消費電力量の伸び c は25°C付近でばらつきがあり、世帯によって大きく異なる。CDD消費電力量の伸び c を小さくするような方策が採れば節電に有効となると考えられる。

5. 所有機器と消費電力の関連性

各電気機器を個別に調べれば、消費電力量を把握できることは当然である。しかし、消費電力量はその使用時間によって変わってくる上、個々の機器ごとにセンサを設定して、オン・オフの状態やその負荷を測定することは容易ではない。

本稿で対象としている測定データのように各世帯の給電線付近にセンサを設置し、消費電力量を測定する方が一般的であろう。したがって、各世帯の消費電力量の総量から、その消費の内訳を類推することは需要家側の分析を行うために重要となる。

このような目的もふまえ、本稿では、前節の世帯別パラメータ推定を行った。つまり、気温と消費電力の関係を把握するだけでなく、消費電力量を冷暖房機器の使用による変動消費電力量とそれ以外の電気機器での消費、すなわち、固定消費電力量に分離することを目的として推定を行ったのである。

本節では、所有機器の有無と消費電力量の関係を分析し、節電に向けた提言を行う。ここで、所有機器を取り上げるのは、事前分析により、世帯人員、住宅面積等の属性と消費電力量の間に顕著な関係を見出せなかったため、所有機器の影響が大きいと判断したからである。

5.1 固定消費電力量との関係

前節にて推定した210世帯の各世帯ごとの固定消費電力量を用いて所有機器と電力消費の関係を分析した。分析モデルは重回帰モデルを採用し、

$$f = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_{41} x_{41} + \varepsilon$$

とした。 x_i は冷暖房機器以外の機器 $i(i=1, 2, \dots, 41)$ の所有を表現するダミー変数である。これらの変数に

¹ これらの推計にはソフトウェアSASリリース8.02を使用した。

表4 固定消費電力量と所有機器との関係

説明変数	係数	t値
冷蔵庫 (140l以下)	2.561	3.230**
冷蔵庫 (140l以上)	4.416	4.240**
テレビ (20インチ台)	2.841	3.790**
テレビ (30インチ台)	1.759	2.440*
食器洗い乾燥機	2.284	2.890**
温水洗浄暖房便座	1.811	3.400**
[ガス] 給湯器・風呂釜	-1.909	-3.400**
照明 (白熱電球)	-2.545	-3.210**
その他保有機器	2.514	1.870*
パソコン・ワープロ	1.910	1.750
空気清浄機	0.957	1.670
炊飯器	-1.729	-1.720
掃除機	-4.468	-1.590
$R^2(\text{Adj } R^2)$	0.324	(0.277)

*: 5%有意 **: 1%有意

対し、変数増加法、変数減少法、変数増減法を用いて変数選択を行ったが、いずれも有意となった所有機器は同じであることが判明した¹。表4には変数増減法を用いて得られた推定結果を示す。

冷蔵庫、テレビ、食器洗い乾燥機、温水洗浄暖房便座の所有は固定消費電力量に正の影響を与えている。冷蔵庫は容量の大きい方が消費電力量が大きくなっているが、テレビは20インチ台の方が30インチ台よりも固定消費電力量に強く影響する結果となった。この結果の解釈は難しい面があるものの、多重共線性について調べたところ、変数間の相関はあまり高くなく共線関係の可能性は低いと考えられる。(ガス)給湯器・風呂釜はガスを利用するため、電力消費を減らす影響を与えていることが分かる。照明(白熱電球)も電力消費を減らす影響を与えていると推定されるが、これについても共線性の検討を行ったが、他の変数との相関は高くはなかった。固定消費電力量に負の影響を与える結果の解釈は現段階では困難であり、今後の課題である。

5.2 変動消費電力量との関係

変動消費電力量は前節にて推定されたパラメータ値を用いて、冷房用途の冷房変動消費電力量 E_c は $E_c = c \sum_a C_a(T_c)$ と、暖房用途の暖房変動消費電力量 E_h は $E_h = h \sum_d H_d(T_h)$ とそれぞれ求めることができる。しかし、これらの値は世帯別の基準温度からの差の累積という、気温と日数の影響を受けているため、所有機器や節電意識だけでこれらの値を説明することは難しいと考えられる。

節4において推定された暖房消費電力量の伸び h と冷房消費電力量の伸び c については、気温差の累積に影響を受けないものであり、これらのパラメータ

表5 冷房消費電力量の伸び c と所有機器との関係

説明変数	係数	t 値
エアコン (電気冷房式)	0.391	3.050**
エアコン (電気冷房専用式)	0.270	2.100**
R^2 (Adj R^2)	0.059	(0.050)

を冷暖房所有機器により説明されると想定し、これら関係を節 5.1 と同様な重回帰モデルを用いて検討した。つまり、暖房用消費電力量の伸び h に対しては暖房機器 20 種類 (エアコンやファンヒータなど) の所有を表現するダミー変数を用い、冷房用消費電力量の伸び c に対しては冷房機器 4 種類 (電気冷房・ガス暖房式, 電気冷房・灯油暖房式, 電気冷房式, 電気冷房専用式) の所有を表現するダミー変数を用いた。その結果は表 5 の通りであり、 c に対して電気冷房式と電気冷房専用式のエアコンは有意に正の影響が存在することが判明した。しかし、 h に対する暖房機器との重回帰分析においては有意な結果が得られなかった。

また、これらのパラメータや T_h と T_c については世帯の節電意識の影響も受けると考えられるので節 6 にて再検討する。

6. 節電意識と消費電力の関連性

本節では、前節での結果を受け、固定消費電力量に強く影響する冷蔵庫やテレビなどの所有機器についての節電意識と電力の消費の関係を分析する。さらに、冷暖房の節電意識との関係も分析し、節電意識が消費電力に与える影響を明らかにする。

分析対象データには、意識に関する調査結果も含まれており、各機器ごとにいくつかの質問を設け、5 段階で評価している。5 段階評価のうち、「できていない」と「あまりできていない」を 0, 「まあまあできている」, 「かなりできている」と「よくできている」という評価を 1 としたダミー変数 S_j を質問項目分設け、節電意識の効果を検証した。

6.1 固定消費電力量への節電意識の効果

固定消費電力量への節電意識の効果を検証するために用いたモデルは次の二つである。モデル 1 は節電意識が固定消費電力量をシフトさせる効果を持つか否かを検証するものであり、モデル 2 は節電意識が所有機器に対する反応係数を変化させるか否かを検証するものである。

モデル 1:

$$f = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_9 x_9 + \beta_{10} S_1 + \beta_{11} S_2 + \dots + \beta_{23} S_{14} + \varepsilon$$

モデル 2:

$$f = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_9 x_9 + \beta_{10} x_1 S_1 + \beta_{11} x_1 S_2 + \dots + \beta_{16} x_1 S_7 + \beta_{17} x_2 S_1 + \beta_{18} x_2 S_2 + \dots + \beta_{23} x_2 S_7 + \beta_{24} x_3 S_8 + \beta_{25} x_3 S_9 + \dots + \beta_{27} x_3 S_{11} + \beta_{28} x_4 S_8 + \beta_{29} x_4 S_9 + \dots + \beta_{31} x_4 S_{11} + \beta_{32} x_5 S_{12} + \beta_{33} x_5 S_{13} + \beta_{34} x_5 S_{14} + \varepsilon$$

ここで、 $x_i (i=1, 2, \dots, 9)$ は所有機器の所有有無を表すダミー変数であり、 x_1 は冷蔵庫 (140 l 以下), x_2 は冷蔵庫 (140 l 以上), x_3 はテレビ (20 インチ台), x_4 はテレビ (30 インチ台), x_5 は食器洗い乾燥機, x_6 は温水洗浄暖房便座, x_7 は (ガス) 給湯器・風呂釜, x_8 は照明 (白熱電球), x_9 はその他保有機器の所有の有無をそれぞれ表す。これらは、節 5.1 において、固定消費電力量との関係が有意になった所有機器 (表 4) であり、これらのみを取り上げて、その機器に関する節電意識の質問項目を取り上げる。 $S_j (j=1, 2, \dots, 14)$ は先に定義した節電意識のダミー変数である。 $S_1 \sim S_7$ は冷蔵庫に関する節電意識に関するダミー変数であり、 S_1 は季節により温度調整, S_2 はものを詰め込みすぎない, S_3 は無駄な開閉を減らす, S_4 は開けている時間を短縮, S_5 は熱いものは冷ましてから入れる, S_6 は壁から間隔をあけて設置する, S_7 は直射日光の当たる場所に設置しない, をそれぞれ表す。 $S_8 \sim S_{11}$ はテレビに関する節電意識のダミー変数であり、 S_8 は見ないときは消す, S_9 は不要時は主電源 OFF, S_{10} は画面を不必要に明るくしない, S_{11} は音量を不必要に大きくしない, をそれぞれ表す。 $S_{12} \sim S_{14}$ は便座暖房等に関する節電意識のダミー変数であり、 S_{12} は使用後ふたを閉める, S_{13} は季節により温度調整, S_{14} は外出時に電源 OFF, をそれぞれ表す。

有効な節電意識に対する回答が得られたサンプル数 138 世帯に対して、節 5.1 と同様の方法で分析を行った。変数増減法を用いて変数選択を行い得られた結果を表 6 に示す。

当てはまりは、サンプル数 138 で、寄与率 = 0.286 であり、F 値は 8.03 (分子の自由度 = 9, 分母の自由度 = 129) で有意な結果となった。表中、先頭に所有機器名が記されている説明変数が節電意識のダミー変数であり、テレビの「音量を不必要に大きくしない」と冷蔵庫の「季節により温度調整」に対する二つの節電意識が有意であり、この意識が高いと固定消費電力量を低減させることができるという結果になった。

モデル 2 の結果は表 7 に示す。

表6 節電意識の固定消費電力量への効果：モデル1

説明変数	係数	t 値
冷蔵庫 (140l 以上)	1.864	2.400*
テレビ (20 インチ台)	1.907	2.570*
食器洗い乾燥機	2.080	2.530*
温水洗浄暖房便座	1.792	3.330**
ガス：給湯器・風呂釜	-2.362	-4.260**
照明 (白熱電球)	-2.106	-2.650**
テレビ：音量を不必要に大きくしない	-2.161	-3.020**
冷蔵庫：季節により温度調整	-1.201	-2.100*
冷蔵庫：壁から間隔をあけて設置	-0.861	-1.350
R^2 (Adj R^2)	0.286	(0.252)

表7 節電意識の固定消費電力量への効果：モデル2

説明変数	係数	t 値
冷蔵庫 (140l 以上)	2.569	2.280*
テレビ (20 インチ台)	4.020	3.530**
食器洗い乾燥機	2.451	2.770**
温水洗浄暖房便座	2.605	3.390**
ガス：給湯器・風呂釜	-2.691	-4.190**
照明 (白熱電球)	-3.171	-3.140**
テレビ 20 インチ台： 音量を不必要に大きくしない	-2.938	-3.400**
大型冷蔵庫：季節により温度調整	-1.293	-1.820
大型冷蔵庫：壁から間隔をあけて設置	-1.270	-1.540
便座暖房：外出時に電源 OFF	-1.579	-1.820
R^2 (Adj R^2)	0.387	(0.339)

当てはまりは、サンプル数 138 で、寄与率=0.387 であり、F 値は 8.13 (分子の自由度=10, 分母の自由度=128) で有意な結果となった。テレビ 20 インチ台「音量を不必要に大きくしない」に対する節電意識が高いと固定消費電力量が低くなる結果となった。

6.2 変動消費電力量への節電意識の効果

節 5.2 で述べたように、変動消費電力量は気温差との累積の影響を受けているため、所有機器や節電意識だけで説明することには無理があるので、気温差との累積の影響を受けない T_h , T_c , h , c を利用して、節電意識との関係について重回帰モデルを用いて検討した。 T_c との関係は、

$$T_c = \beta_0 + \beta_1 S_1 + \beta_2 S_2 + \beta_3 S_3 + \beta_4 S_4 + \varepsilon$$

の重回帰モデルを用いた。ここで、 S_j ($j=1, 2, \dots, 4$) は、冷房機器に対する 4 種の質問項目の回答をダミー変数化したもので、 S_1 は冷房温度設定 28°C 以上、 S_2 は不必要な使用を避ける、 S_3 はこまめなフィルタ掃除、 S_4 は断熱管理、をそれぞれ表す。分析結果を表 8 に示す。

T_c と冷房機器に対する節電意識との関係から、エアコンの「フィルタ掃除」に対する節電意識が高いと冷房機器を使い始める温度が低くなるという結果が有意となった。

表8 節電意識の T_c に対する効果

説明変数	係数	t 値
冷房温度設定 28 °C 以上	-0.064	-0.110
不必要な使用を避ける	-0.583	-0.710
こまめなフィルタ掃除	-1.071	-2.080*
断熱管理	0.248	0.410
R^2 (Adj R^2)	0.028	(0.006)

表9 節電意識の c に対する効果

説明変数	係数	t 値
冷房温度設定 28 °C 以上	-0.425	-3.280**
不必要な使用を避ける	-0.173	-0.960
こまめなフィルタ掃除	0.029	0.260
断熱管理	-0.008	-0.060
R^2 (Adj R^2)	0.075	(0.053)

冷房消費電力量の伸び c と節電意識の関係を分析するモデルは、

$$c = \beta_0 + \beta_1 S_1 + \beta_2 S_2 + \beta_3 S_3 + \beta_4 S_4 + \varepsilon$$

を用いた。このモデルを用いて分析した結果が表 9 である。

c と冷房機器に対する節電意識との関係から、エアコンの「冷房温度設定 28°C 以上」に対する節電意識が高いと冷房消費電力量の伸び c を低くすることができることを意味する。

T_h と h についても T_c や c と同様のモデルを適用し、節電意識の効果を検証したが、暖房手段は電気機器だけに依存していないため変動が大きく有意な結果が得られなかった。

7. おわりに

本稿では、家庭用消費電力の低減方を模索するために、世帯レベルにおいて電力消費のいくつかの性質を明らかにした。

まず、基本集計により電力消費の測定値と属性の性質を把握し、次に、気温との関係をモデル化し、有効性を既存モデルとの対比で検討した。その結果、十分な予測精度とデータへの当てはまりを確認できた。このモデルは、世帯消費電力量を気温に影響される変動消費電力量と気温に影響されない固定消費電力量に分けることができるため、これを活用し、所有機器との関連性を明確に指摘することができた。冷蔵庫、テレビ、温水洗浄暖房便座、食器洗い乾燥機の所有は固定消費電力量に顕著に反応している。節電意識との関係では、テレビの音量を不必要に大きくしない、冷蔵庫では季節により温度調整するという行動が効果的であることを明らかにすることができた。さらに、冷房で

は28℃の設定温度を守ることが節電に効果的であるという知見を得た。

しかし、20インチ台のテレビの方が30インチ台のテレビよりも固定消費電力量に強く影響することや照明（白熱電球）の所有が電力消費に負の影響を与えることの解釈ができないという問題が残された。

今後の課題としては、分析対象の測定値は時間単位で与えられているので時間の日累積型モデルを検討すると冷暖房を使い始める温度を推計することができると考えられるので、これを今後進めていく。

謝辞 匿名の査読者からは有益なご意見を頂戴した。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] J. Al-Zeyer and A. A. Al-Ibrahim: "Modelling the Impact of Temperature on Electricity Consumption in the Eastern Province of Saudi Arabia," *Journal of Forecasting*, Vol. 15, pp. 97-106, 1996.
- [2] M. Aydinalp, V. I. Ugursal, and A. S. Fung: "Modelling of Residential Energy Consumption at the National Level," *International Journal of Energy Research*, Vol. 27, pp. 441-453, 2003.
- [3] E. A. Badr and G. E. Nasr: "On the Relationship Between Electrical Energy Consumption and Climate Factors in Lebanon: Co-Integration and Error-Correction Models," *International Journal of Energy Research*, Vol. 25, pp. 1033-1042, 2001.
- [4] W. Bach: *Our Threatened Climate*, D. Reidel Publishing Company, Boston, 1984.
- [5] 源城かほり, 田辺新一, 松本真一, 長谷川兼一, 吉野博: "住宅における電気機器の所有状況と照明・動力他用電力消費量に関する調査", 日本建築学会計画系論文集, Vol. 565, pp. 113-120, 2003.
- [6] 灰田武史, 武藤昭一, 高橋芳雄, 石井康貴: "多年度データのトレンド処理に基づいた最大電力予測", 電気学会論文誌 B, Vol. 117, pp. 1101-1107, 1997.
- [7] 石田健一: "戸建住宅のエネルギー消費量", 日本建築学会計画系論文集, Vol. 501, pp. 29-36, 1997.
- [8] 工藤博之: "家庭用エネルギーマネジメント最適制御システムの開発", 日本エネルギー学会誌, Vol. 82, pp. 642-648, 2003.
- [9] 三浦秀一: "全国における住宅の用途別エネルギー消費と地域特性に関する研究", 日本建築学会計画系論文集, Vol. 510, pp. 77-83, 1998.
- [10] 中上英俊, 田中昭雄, 村越千春, 石原修: "我が国の家庭用エネルギー消費構造の変遷と将来予測", 日本建築学会計画系論文集, Vol. 555, pp. 53-60, 2002.
- [11] 尾島俊雄, 増田康広: "住宅におけるエネルギー消費の実態調査—エネルギー消費実態に関する調査(1)~(2)", 空気調和・衛生工学会論文集, Vol. 12, pp. 53-80, 1980.
- [12] D. J. Sailor and R. Muñoz: "Sensitivity of Electricity and Natural Gas Consumption to Climate in the U. S. A—Methodology and Results for Eight States," *Energy*, Vol. 22, pp. 987-998, 1997.
- [13] D. J. Sailor and A. A. Pavlova: "Air Conditioning Market Saturation and Long-Term Response of Residential Cooling Energy Demand to Climate Change," *Energy*, Vol. 28, pp. 941-951, 2003.
- [14] Y. Y. Yan: "Climate and Residential Electricity Consumption in Hong Kong," *Energy*, Vol. 23, pp. 17-20, 1998.