

## 論 文 の 要 旨

題 目 戸建て住宅のエネルギー消費量に及ぼす世帯間変動と世帯内変化の影響に関する研究  
(Study on the Effect on the Energy Consumption of Detached Houses  
by the Factors Among the Households and the Factors Changed in the Household)

氏 名 安藤 元気

本論文では、中国電力㈱が広島県広島市と廿日市市の全電化住宅 100 件を対象として実施した「光熱費管理支援システム」のモニター試験により得られる 2008 年 10 月から 2011 年 9 月までの 3 年間にわたる住宅内の電力消費量をもとに、全電化住宅におけるエネルギー消費の実態を把握したうえで、これら実測に基づく精緻な電力消費量データを用いて、住宅の建物特性や居住者の世帯特性などといった各世帯の住宅属性が電力消費量の多寡に及ぼす影響について、住宅全体のエネルギー消費量（全電力消費量）に加えて『給湯』『冷暖房』『その他』の各用途において明らかにすることを第一の目的とする。さらに、影響要因によってはそれ自体の質や量が時間の経過とともに変化し、これに伴ってエネルギー消費量も変化することが予想されるため、第一の目的で検討するある時点における各世帯の差異（世帯間の変動：横断的側面）による影響とともに、各世帯における月単位の経時変化（世帯内の変化：縦断的側面）に起因する影響を併せ、両者の比較を可能とする新たな分析手法を導入することにより、それぞれの影響の程度を明らかにすることを第二の目的とする。

それぞれの目的を遂行するための分析手法として、第一の目的では『数量化理論第 I 類』を、第二の目的では『マルチレベルモデル』を適用する。マルチレベルモデルとは、階層的に異なった水準のデータを扱う計量モデルの総称であり、個人とその集まりといった階層データのほか、パネルデータのような同一個人反復測定データに対して異なる階層を考慮しつつ、全てのデータを活用し、一度の分析に適用できる分析手法である。このため、階層線形モデル、個体成長モデル、ランダム係数モデル、線形混合モデルなど様々な名称で呼ばれているが、いずれも固定効果と変量効果の混ざった『混合モデル』のひとつである。本論文では、複数の世帯を対象として経時的に計測された電力消費量である反復測定データ（もしくは、世帯ごとに各月の電力消費量がネストされた階層データ）を扱うことから、建築分野では未だ研究例の乏しい新たな分析手法であるマルチレベルモデルを適用することで、第二の目的である「世帯間の変動」と「世帯内の変化」のそれぞれの影響要因について適切に検討することができる。

まず、測定精度の高い 1 年間のデータに基づき、消費実態について整理した結果、全電力消費量における世帯平均年積算値は、約 10,400kWh/(世帯・年)であり、既往の文献値と比較して小さくなった。また、月積算値は 1 月で最大 (1,300kWh/(世帯・月))、9 月で最小 (620kWh/(世帯・月)) となり、冬期において文献値を下回り、厳寒月においてその差が拡大する傾向が認められたことから、使用エネルギー種別の違いなどによる影響が反映されたものと予想された。給湯用途における世帯平均年積算値は、電気温水器設置世帯で 5,200kWh/(世帯・年)、CO<sub>2</sub>HP 給湯機設置世帯で 2,100kWh/(世帯・年)であり、前者が後者の約 2.5 倍となった。また、月積算値は機器種別に関わらず 1 月で最大 (電気温水器:620kWh/(世帯・月)、CO<sub>2</sub>HP 給湯機:320kWh/(世帯・月))、8 月で最小 (電気温水器:240kWh/(世帯・月)、CO<sub>2</sub>HP 給湯機:80kWh/(世帯・月)) となるが、全ての月において電気温水器が CO<sub>2</sub>HP 給湯機を上回り、夏期において両者の差が拡大する傾向にあることから、機器効率の差が反映されたものと考えられた。冷暖房用途における世帯平均年積算値は、暖房用途が 1,276 kWh/(世帯・年)で世帯

全体の 12.5%を占める一方で、冷房用途は 258 kWh/(世帯・年)と前者の 1/5 程度で、全体に占める割合も 2.5%と非常に少ない結果となった。また、暖房用途と冷房用途の電力消費量の関係では、決定係数が約 0.26 と、両用途間であまり関連がみられないことから、それぞれの電力消費量に影響を及ぼす要因に違いがある可能性が示唆された。その他用途における世帯平均年積算値は、4,530kWh/(世帯・年)で全体の 44%を占めており、年積算値における世帯間の差異は給湯・冷暖房用途と比較して小さいことを確認した。月積算値は 400kWh/(世帯・月)前後で推移しており、最大月は 1 月(427kWh(世帯・月))、最小月は 9 月(362kWh(世帯・月))に現れ、冬期において若干の増加傾向が認められた。また、その他用途の占有率の月変動をみると、冬期に低下し、夏期に上昇する傾向が顕著であった。消費量が最大となる 1 月では、給湯・冷暖房・その他の各用途が全体の 1/3 ずつを占めていたが、中間期や夏期では、その他用途が 6 割近くにのぼることを把握した。

これらを踏まえ、第一の目的について、調査対象住宅における年ならびに各月の電力消費量データに数量化理論第 I 類を適用することで、その影響要因について用途ごとに分析した。その結果、全電力消費量では特に「延べ床面積」「給湯機種別」が、給湯用途では「給湯機種別」「温水床暖房システム」が、冷暖房用途のうち暖房用途で「蓄熱設備」が、冷房用途で「エアコン使用台数」が、両用途を通して「全館空調システム」が、また、その他用途では「延べ床面積」が特に大きな要因として抽出された。このように、それぞれの用途の特徴を反映した影響要因が抽出され、いずれの用途においても影響要因やその度合いは、各要因の特性を反映して季節や月によって変動していた。例えば、全電力消費量では冬期に「延べ床面積」「世帯人数」「蓄熱設備」が、中間期に「給湯機種別」の影響度が強くなったが、前者については上述したように、月積算電力消費量は冷房期間の夏期の増加に比べ、暖房期間の冬期の増加の方が著しいことから、全電力消費量に占める暖房消費量の割合が大きい冬期において、暖房面積に比例する延べ床面積ならびに居住する人数、また、暖房を目的に稼働させる機器の影響が強く反映されたものと考えられた。一方、後者については、CO<sub>2</sub>HP 給湯機の機器効率が最大となる夏期において、その影響度が高い結果とはならなかった。これは、夏期におけるシャワーのみの使用など、入浴形態が変化することにより給湯量が減少すること、給水温度が高いため消費電力量も小となること、さらに冷房消費量が全電力消費量に加わることなどから、全電力消費量に占める給湯消費量の割合が低下するためであると考えられ、年間を通して全電力消費量が最も小さく、給湯消費量の割合が相対的に大となる中間期においてその影響が強く現れたものと推察された。

以上より、月積算電力消費量への影響要因を検討するにあたり、これまで対象としてきた「世帯レベル」とは異なる階層である「月レベル」の経時変化を説明する変数(本論文では月平均外気温など)をモデルに投入し、月変動の統制を図ることによって、全てのデータを対象としたより精緻な解析を 1 つのモデルによって行うことができる可能性が示唆された。

これを踏まえて、第二の目的について、3 年間にわたる月積算電力消費量データに対して、「世帯間の変動(世帯レベル)」と「世帯内の変化(月レベル)」の階層性を考慮したデータセットを作成し、マルチレベルモデルを適用することで、それぞれのレベルにおける電力消費量の影響要因とその影響度について用途ごとに解析した。その結果、第一の目的での分析結果においても言及してきた建物・世帯規模の拡大や使用機器台数の増加が消費量の増大を招くことが明らかとなった。同時に、これらの要因は世帯内における電力消費量の増減に対しても同様に影響を及ぼしており、例えば、同じ世帯であっても、加齢によって消費量が増す傾向にある一方で、世帯内における人数の減少による消費量の低下が認められた。

また、用途ごとの分析結果から各用途の特徴を反映した影響要因が抽出された。例えば、給湯用途では「湯張り回数」が選択され、年間を通して回数の少ない世帯ならびに回数が少なくなる月において消費量の低減がみられた。暖房その他用途では世帯内における電力消費量の変化の要因として「暖

房機器使用台数」が抽出され、台数の増加が消費量の増大に寄与しているものと考えられた。一方、冷房その他用途では、外気温が高い夏期のみを対象としたことから、冷蔵庫を買い替えた世帯の消費量が少なく、買い替え以降の消費量がそれまでより削減される傾向にあることが明らかとなった。また、全電力ならびに暖房その他用途では、光熱費が多いと実感している世帯の消費量が実際に多いことから、居住者が自身の世帯の消費量を感覚的に意識することが、消費量削減の一助となるものと考えられた。

全電力消費量で抽出された「行動得点の変化」から、3つの変革事象によって節電行動を実践した月の消費量が少なくなる傾向がみられた。特に、節電行動が反映されやすいと考えられる冷暖房・家電機器や照明器具で構成される暖房その他用途、冷房その他用途の両方において、東日本大震災以降に節電行動を実践した世帯の月の消費量が低減したことから、被災地から離れた広島地域においても、節電意識が喚起され実行に移した世帯については有意に削減されたことが明らかとなった。同様の検討はこれまでも幾つかみられるが、その多くは震災後の各月におけるエネルギー消費量を前年同月と比較した内容となっており、本論文のように、世帯人数や外気温度といった主要な影響要因を統制しつつ、節電行動による削減効果について言及している例は他にみられないことから、マルチレベルモデルの有用性を示すと同時に本研究における成果のひとつであるといえる。

以上のように、本論文では数量化理論第Ⅰ類とマルチレベルモデルのそれぞれによる分析結果を示すことで、エネルギー消費量の影響要因についてより多角的な検討を行い、世帯間の変動、世帯内の変化の影響をそれぞれ明らかにした。本論文で得られた成果は、今後の民生家庭部門のエネルギー消費量の削減やスマートグリッド構築に向けて有用な基礎的資料となる。