

住宅の省エネ改修がもたらす社会経済効果の分析

—計量経済学的手法を用いて—

主査 鷲津 明由*¹

委員 中野 諭*², 平湯 直子*³

本研究の目的は、社会統計を用いて、住宅の省エネ改修がもたらす社会的な影響を予測的に分析することである。第 1 に、全国消費実態調査による需要関数の推定結果を用いて、先進エネルギー機器導入を含む住宅の省エネ改修が、消費者の満足度を向上させる効果を計測し、住宅の省エネ改修の費用便益分析を行った。第 2 に、地域間次世代エネルギーシステム分析用産業連関表を用いて、省エネ改修による光熱費削減が各地域の消費構造を変えることによりもたらす影響をマクロ的に分析した。第 3 に、社会生活基本調査を用いて、時間帯別節電ポテンシャルの推定を行い、先進的なエネルギーマネジメントシステム構築に資する情報提供を目指した。

キーワード：1) 省エネ住宅改修, 2) 節電ポテンシャルカーブ, 3) 需要関数, 4) 等価変分, 5) 費用便益分析, 6) 時間帯別節電ポテンシャル, 7) 次世代エネルギーシステム分析用産業連関表, 8) 全国消費実態調査, 9) 社会生活基本調査

ANALYSIS OF SOCIOECONOMIC EFFECTS FROM SPREAD OF SMART HOUSE

-Using econometric methods -

Ch. Ayu Washizu

Mem. Satoshi Nakano, Naoko Hirayu

The purpose of this research is to predictively analyze the social impact of diffusion of smart house using social statistics. First, we conducted a cost-benefit analysis of smart house renovation using estimation results of demand function based on consumption statistics. Secondly, we analyzed the effects of regional consumption structure changes caused by the renovations on the regional economies from a macro viewpoint using an interregional input-output table with renewable energy sectors. Finally, using statistics on living time, we estimated house power saving potential by time zone. These results will be helpful for building a smart house energy management system.

1. はじめに

本研究の目的は、住宅の省エネ改修が居住者や消費者の行動変化を通じて、社会にもたらす影響を、予測的に分析することである。具体的には、住宅のエネルギー効率改善が便益の増大と光熱費の削減をもたらす効果、および、将来、家庭用エネルギーマネジメントシステム (HEMS) が普及して、消費者サイドの電力需給調整への参加 (ディマンドレスポンス (DR)) が実施に移された場合の効果について分析する。

省エネ改修による住宅のエネルギー効率の改善は、消費者に“快適さ”の増大と光熱費の削減という便益をもたらす。その一方、エネルギー効率の改善のための省エネ改修は費用を伴うことから、補助金事業なども実施されているものの、住宅ストックの省エネ化はなかなか進んでいない。また、住宅のエネルギー効率が改善すると、

消費者が前よりも多くの“快適さ”を需要するようになる結果、かえってエネルギー消費が増えてしまうことも考えられる。そこで、住宅のエネルギー効率改善に対する消費者の反応を正確に把握する必要があるが、そのような効果についての先行研究が見られない。

また一方、再生可能エネルギー導入後の電力システムを効率的に運用するためには、従来、供給サイドだけが担って来た電力需給の調整機能を、消費者サイドにも分担してもらうという仕組み (DR) が必要との考え方が定着している。近年、DR が望ましい実施効果をもたらすかどうかについて多くの研究がなされているものの、それらから消費者の行動予測の難しさが窺える¹⁾。

スマート化された先進住宅や DR などに対する消費者の反応についての先行研究は、モデルハウスの居住者など社会実験の参加者に対する、アンケート調査に基づい

*¹ 早稲田大学 教授, *² 労働政策研究・研修機構 副主任研究員, *³ 武蔵野大学 准教授

てなされることが多い。しかし、アンケート調査には、サンプルサイズが大きくない、サンプルに代表性があるとは言い切れない、などの欠点がある。一方、社会統計には、統計法に基づく調査によりサンプルサイズが大きい、理論に基づく標本設計により、サンプルの代表性が確保されている、などのアンケート調査にはない利点がある。本研究の目的は、このような社会統計に基づいて、住宅の省エネ改修に対する消費者の反応を予測的に検討し、エネルギー基本計画でもうたわれるゼロエネルギーを含む住宅の省エネ化の推進に資する情報提供を行うことにある。

本研究では、以下の3つの分析を行う。第2章では、全国消費実態調査を利用した需要関数の推定結果を用いて、省エネ住宅改修による光熱価格の低下（相対的な割安感）がもたらす消費者の満足度向上効果、光熱費支出の削減効果（その際、光熱価格の割安感がもたらすエネルギー消費増大効果も考慮する）について検討し、省エネ住宅改修の費用便益分析を行う。第3章では、第2章で考察した省エネ住宅改修が、ある程度のレベルで全国的に普及した場合の、マクロ経済効果を、筆者らが開発した地域間次世代エネルギーシステム分析用産業連関表（地域間 IONGES）²⁾を用いて分析する。地域間 IONGES とは、総務省が公表する2005年産業連関表に再生可能エネルギー部門を付け加えた全国の IONGES を、経済産業省が公表する地域間産業連関表に従って地域分割した表である。省エネ住宅改修で光熱費が削減される結果、他の消費支出が代替的に増加するが、その代替の仕方には地域ごとの特徴がある。このような各地域の特徴が自地域や他地域経済構造にもたらす影響を確認する。第4章では、社会生活基本調査を用いて、消費者の属性別に時間帯別生活行動を確認し、「節電ポテンシャルカーブ」の導出を行う。これにより、DRが発令されやすい時間にどのような消費者がDRに応じられるか、DRが発令されやすい時間帯の節電ポテンシャルはどのくらいかなどの分析を行う。

2. 省エネ住宅改修の費用便益分析

2.1 問題の所在

本章では全国消費実態調査と経済学の伝統的消費者行動モデルを応用し、住宅の省エネ改修が消費者にもたらす効果を予測的に把握する。すなわち、省エネ改修投資による、住宅のエネルギー効率の改善が、いろいろなタイプの住まい手にもたらすであろう便益の増大効果を試算する。住宅の省エネ改修によるエネルギー効率の改善効果については、エネルギー消費性能計算プログラム（住宅版）Ver. 2.0.3（以下ウェブプログラム）³⁾を用いて想定値を作成した。ここで便益の増大効果とは、満足度の変化の金額指標である「等価変分」と光熱費の削減額を合計して定義した指標である。光熱費の削減額は、快適さ

の実質的な価格低下によるエネルギー需要の増大効果と、住宅のエネルギー効率改善によるエネルギーの削減効果の両方を加味した大きさとして計算される。省エネ改修が思うように進展しないという社会的課題が指摘される中で、全国一律の補助金政策を見直すなどの、メリハリをつけた省エネ住宅政策の実施も望まれる。本研究の成果により、そのような政策実施効果向上のために資する考察が可能になると考えられる。

2.2 研究の方法

住宅の省エネ改修がもたらす満足度の変化を、図1の無差別曲線図を用いて説明する。図の横軸には、光熱費でとらえられたエネルギー消費から得られる快適さの度合いが、縦軸にはエネルギー以外のその他の消費の数量が示されている。エネルギー消費から得る快適さの価格 p_{env} と、その他の消費の価格 p_{other} が与えられた時の最適消費点はA点である。住宅の省エネ改修によるエネルギー効率の改善は、住まい手にエネルギー価格の割安感を与え、エネルギー消費がもたらす快適さを得るための価格の低下 $p_{env} \rightarrow p'_{env}$ として考えることができ、最適消費点はB点に移動する。図ではエネルギー消費がもたらす快適さの価格低下により、快適さの需要量が以前よりも増加している様子が示されている。このとき変化後の効用水準（満足度の水準）を変化前の相対価格で評価したときの支出の増分は、等価変分と呼ばれ、価格変化がもたらす効用の変化の大きさの指標とされている⁴⁾。等価変分は、消費者向け環境政策の効果分析に有用な指標である⁵⁻⁸⁾。そこで本研究では、住宅の省エネ改修に対する投資がエネルギー効率の改善をもたらす結果、「エネルギー消費から得る快適さ」の価格が低下する場合の等価変分を試算する。

等価変分の計算のために必要な家計（住まい手）の需要関数のパラメータは、全国消費実態調査のマイクロデータを用いて推定した。需要関数の推定結果に、ウェブプログラムによる、住宅の省エネ改修によるエネルギー改善率をあてはめることにより、等価変分を試算した。

住宅の省エネ改修は、図2-1のような満足度の変化をもたらすことに加え、直接的に家計の光熱費の削減に貢献する。だが、図2-1に示唆されるように、エネルギー消費がもたらす快適さを得るための価格が省エネ改修によって相対的に下がることによって、快適さの消費水準が上がる。このことは、エネルギー消費量を増やす可能性がある。そこで、本研究では、観測された需要関数のパラメータを前提とすれば、このような効果を考慮に入れても全体的な光熱費の削減が省エネ改修によって期待できることを確認し、その期待削減額がどの程度になるかを計算した。そして、省エネ改修の総便益を、上記の二つの指標（等価変分と期待される光熱費の削減額）の合

計値で計測することとした。

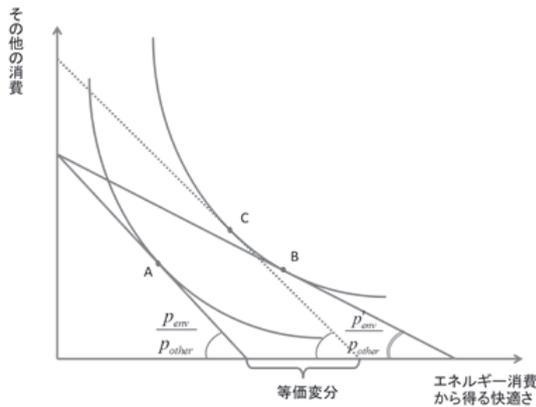


図 2-1 等価変分

2.3 需要関数の推定

本研究では、関数形を線形支出体系 (Linear Expenditure System (LES)) に定式化し、需要関数の推定を行った^{9,10)}。

$$p_{it}x_{it} = \alpha_i p_{it} + \beta_i (y_t - \sum \alpha_j p_{jt}) + u_{it}, i, j = 1, \dots, 18 \quad (1)$$

ただし、 x_i : 第 i 費目需要、 y : 支出総額、

p_i : 第 i 費目価格、 u_i : 誤差項、 t : 時間

需要関数の費目数は 10 大費目から食費と光熱費をさらに分割した 18 である。

表 2-1 需要関数の推定を行った世帯属性の区分

大都市(三大都市圏 ^{注1)} に居住している)	子供(18歳未満の構成員がいる) 高齢者(65歳以上の構成員がいる) 一般(18歳未満および65歳以上の構成員がいない)
中小都市(三大都市圏に居住していない)	子供 高齢者 一般
寒冷地(寒冷地 ^{注2)} に居住している)	子供 高齢者 一般
寒冷地以外(寒冷地に居住していない)	子供 高齢者 一般

注1) 関東・中部・近畿の三大都市圏

注2) 省エネ法に基づく住宅事業建築主の判断基準¹¹⁾における地域区分が Ia, Ib, II, III 地域に該当する都道府県を「寒冷地」とする。

推定に用いたデータは総務省『全国消費実態調査』¹²⁾のマイクロデータ(2人以上世帯、2004年と2009年分をプールし、それぞれ月平均にしたもの)、総務省『消費者物価指数』¹³⁾の都道府県庁所在市別中分類指数(月次)及び地域差指数(年次)、並びに住環境計画研究所『家庭用エネルギー統計年報』¹⁴⁾の地域別エネルギー価格(年次)である。LES に定式化された需要システムを、Full

Information Maximum Likelihood 法によって、表 2-1 のような世帯属性別に推定した。

2.4 住宅の省エネ改修によるエネルギー消費削減率の計算方法

住宅の断熱性能、暖房、冷房、給湯器に関する想定をウェブプログラム³⁾に与え、住宅の一次エネルギー消費量を次のように計算した。まず、地域として寒冷地の旭川を想定する地域区分 1(以下、寒冷地)と東京 23 区を想定する地域区分 6(以下、寒冷地以外)を選択し、表 2-2 のような住宅性能条件のもとでの一次エネルギー消費量を、同プログラムを用いて計算した。

表 2-2 計算の前提とした住宅性能条件

	寒冷地以外 (地域区分 6, 例: 東京 23 区)	寒冷地 (地域区分 1, 例: 旭川)
熱貫流率 ^{注1)} (W/m ² ・K)	旧基準 ^{注2)}	0.45
	新基準 ^{注2)}	0.40
	H25 省エネ基準	-
	ZEH 基準 次世代基準 ^{注2)}	0.30
暖房	FF 暖房機 エアコン 省エネエアコン	FF 暖房機
	冷房	エアコン 省エネエアコン
給湯器	ガス従来型給湯器	ガス従来型給湯器
	石油従来型温水器	石油従来型温水器
	潜熱回収型ガス給湯器	潜熱回収型ガス給湯器
	潜熱回収型石油給湯器	潜熱回収型石油給湯器
	ヒートポンプ	ヒートポンプ
	燃料電池 (PEFC)	燃料電池 (PEFC)

注1) 住宅の断熱性能を表す指標。室内外の空気温度に 1 度の差があるとき、1 時間に壁 1 m²を通過する熱量の大きさを表し、数値が小さいほど性能が良い。

注2) 旧基準、新基準、次世代基準に対応する熱貫流率は、下田ら¹⁵⁾の想定値を用いている。

このうち、燃料電池は PEFC4 タイプの「TM1-AG-LB / FCG-204-D / -」を選択した。また、太陽熱温水器は、集熱器面積が 6m²、方位が真南から東西 15 度未満、傾斜が 30 度と想定した。その他すべての入力値は、計算プログラムのデフォルトの値を使用している。さらに、「断熱性能が旧基準、FF 暖房機、冷房専用エアコン、ガス従来型給湯器を使用」の場合の計算結果を「現状」の一次エネルギー消費量とおき、「現状」からの何らかの省エネ改修で一次エネルギー消費が何%削減されるかを計算し、省エネ改修によるエネルギー消費削減率とした。また、各改修にかかる費用を、表 2-3 のように想定した。

省エネ改修によるエネルギー消費削減率の計算は、表 2-2 のすべての熱貫流率(断熱性能)の水準と暖房、冷房、給湯器の種類組み合わせについて実施したが、そのうち同じ改修費用の想定に対して、最も大きな削減効果の得られる組み合わせが、選択されるべき「合理的」改修方法である。このような合理的改修方法のみを抜き出し、

以下の分析を行った。

表 2-3 改修費用の想定値

改修項目	改修費用 万円	参照した項目	出典
断熱改修	新基準 (地域 6)	(1)天井断熱材敷込み 施工費用	文献 ¹⁶⁾ 119.24m ² の モデル住宅 改修費用
	H25 省エネ基準 (地域 6)	(1)+(2)外壁気止め 施工費用	
	ZEH 基準 (地域 6)	(1)+(2)+(3)居室内 窓交換費用	
	新基準 (地域 1)	全面解体断熱工事 費用	
次世代基準 (地域 1 と 6)	266		
エアコン 1台	エアコン	省エネ性能★の製 品	文献 ¹⁷⁾ 売れ 筋品のおおよ その価格、地 域 6 では 3 台、 地域 1 では 1 台設置と仮定
	省エネ エアコン	省エネ性能★★★ ★★の製品	
給湯器	潜熱回収型 給湯器	エコジョーズ	文献 ¹⁸⁾ 設置費込の 記載価格の 中間的な値
	ヒートポンプ	エコキュート	
	太陽熱温水器 システム ^{注 1)}	強制循環式*	
	燃料電池 (PEFC)	エネファーム	

注 1)「ソーラーシステム」とも呼ばれ、屋根に設置された集熱器が太陽の熱によって水を温め、地上のタンクに水を強制的に循環させることでお湯をためる。

前述したように、住宅の省エネ改修が各世帯にもたらす便益は、省エネ改修による満足度の増加効果と、エネルギー消費の節約効果を合わせたものと考えている。

住宅の省エネ改修がいろいろなタイプの世帯にもたらす満足度の増加効果(図 2-1 を参照)は、世帯属性別の等価変分の計測結果と、エネルギー消費削減率を用いて計算する。すなわち、エネルギー価格が一定とすれば、実質的にはエネルギー消費削減率と同率の光熱費の価格低下があったと考えられるため、等価変分(価格が 1%変化したときの効用の変化)にエネルギー消費削減率を乗ずることにより、省エネ改修の結果が各世帯にもたらす効用(満足度)変化の大きさを計算できる。なお電気代にも他の光熱にも同じエネルギー消費削減率を当てはめた。

次に、価格が 1%変化したときの光熱費(電気代と他の光熱代)の実質消費変化額を用いて、省エネ改修後に各世帯に期待される、エネルギー消費金額の節約効果を、次のように計算した。ここでも、電気代にも他の光熱にも同じ削減率を当てはめた。

$$Fuel_{after} = \left(\underbrace{\varepsilon \cdot \Delta Fuel}_{\substack{\text{エネルギー効率改善による} \\ \text{光熱費の低下がもたらす} \\ \text{光熱費の実質消費増分}}} + Fuel_{before} \right) \left(\underbrace{1 - \varepsilon}_{\substack{\text{エネルギー効率改善} \\ \text{によるエネルギー} \\ \text{消費削減効果}}} \right) \quad (2)$$

ここで、 $Fuel_{after}$: 省エネ改修後の 1 か月の光熱費、
 $Fuel_{before}$: 省エネ改修前の 1 か月の光熱費、
 ε : エネルギー消費削減率、
 $\Delta Fuel$: 価格 1% の変化に対する 1 か月あたり光熱費の実質消費変化額

(2)式は、住宅の省エネ改修に伴う実質的な光熱費価格の低下により $\varepsilon \cdot \Delta Fuel$ だけ以前より光熱費が増えるものの、省エネ改修に伴う物理的なエネルギー効率の改善によって $(1 - \varepsilon)$ に相当する分だけ、光熱費が削減されるという関係を示す。 $(Fuel_{before} - Fuel_{after})$ が、省エネ改修がもたらす光熱費の削減額である。

ここで、住宅の省エネ改修に伴う 1 年あたりの便益を、図 2-1 で説明した(1 か月あたりの)等価変分(EV)と上記の光熱費削減額の合計として(3)式のように計算する。

$$Benefit = 12 \cdot \left[\underbrace{EV}_{\substack{\text{光熱費価格の実質的な低下} \\ \text{による消費構成比の変化が} \\ \text{もたらす効用の増分}}} + \underbrace{(Fuel_{before} - Fuel_{after})}_{\substack{\text{省エネ改修がもたらす} \\ \text{光熱費の削減額}}} \right] \quad (3)$$

改修後の住宅の耐用年数を τ 年とすると、 τ 年間の便益の現在価値は(4)式ようになる。

$$PV_{benefit} = \left(\frac{1}{1+r} \right)^{\tau} Benefit \quad (4)$$

計算では、 τ には国税庁¹⁹⁾が定める木造・合成樹脂造の事務所用建物の耐用年数 24 年を用いた。また、時間割引率 r には、赤尾他²⁰⁾を参考にした 5%、3%、2.5%に加え、現在の国債の長期利回りに近い 0.06%を用いたケースを計算した。

2.5 需要関数の推定結果

図 2-2 は、需要関数のパラメータから推定された価格弾力性を用いて計算した、電気代の 1% の価格低下に伴う実質消費の変化額である。電気代の価格低下に伴い、価格の下がった電気をより消費し、相対的に価格の上がった他の消費財に対する支出を抑制するという理論通りの代替効果が観測されている。高齢者のいる世帯での代替効果が大きく、中小都市の高齢者のいる世帯で特に大きい。消費が特に大きく抑制される費目は、交通・通信費、教養娯楽、その他の消費支出であり、子供のいる世帯では教育費への影響もみられる。食費への影響はほとんど見られなかった。他の光熱の価格低下に伴う変化もほぼ同様の傾向である。

電気代および他の光熱の価格が 1% 低下した場合の等価変分を世帯属性別に整理したものが図 2-3 である。他の光熱の等価変分の方が電気代のそれよりも大きく、特に寒冷地に居住する世帯では差が大きい。図 2-2 で、大きな代替効果が観測された中小都市の高齢者のいる世帯では、等価変分が小さくなる。

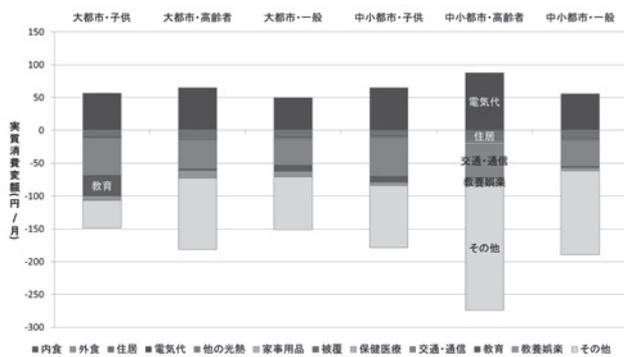


図 2-2 電気代 1%の価格低下に伴う実質消費の変化月額

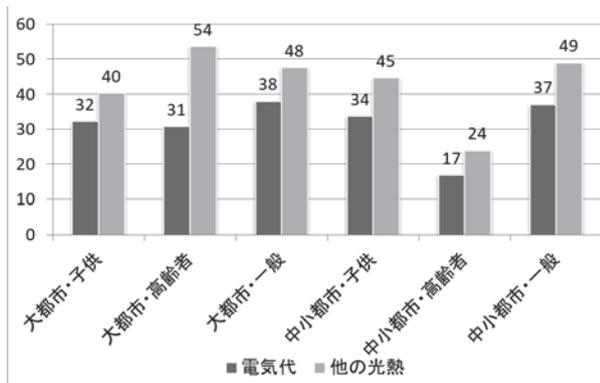


図 2-3 価格 1%低下時の等価変分
(世帯属性別, 単位: 円 (2010 年価格))

2.6 省エネ住宅改修の費用便益分析

ウェブプログラムに基づいて計算された、いろいろなレベルの省エネ改修に対する、改修費用とエネルギー削減効果を確認してみる。すると、寒冷地ではすでに断熱性能の高い住宅が普及しているため、同レベルの省エネ改修費用で得られるエネルギー削減効果が、寒冷地以外の場合より小さい。寒冷地以外では、住宅の性能改善により最大 43%ものエネルギー削減効果が得られるが、寒冷地での削減最大値は 22.9%である。先端的な給湯器(太陽熱温水器システム, 燃料電池)の導入を想定する場合にエネルギー削減効果が大きくなるが、改修費用も大きい。寒冷地以外では、住宅の断熱基準を 1 ランク改善し、給湯器を潜熱回収型に置き換えるだけという比較的簡単な方法によってだけでも、最大ケースの約 7 分の 1 の改修費用(474 万円に対して 68 万円)でその半分程度(43%に対して 21.5%)のエネルギー削減効果を得ることができる。

(4)式から、各省エネ改修に対する世帯属性別の便益の現在価値を計算した。そして、大都市の高齢者世帯における改修費用と便益の現在価値との関係が、割引率によってどのような影響を受けるのかを図示したのが図 2-4 である。また、各属性を持つ世帯について、時間割引率を 2.5%とした場合の、改修費用と便益の現在価値との関係を図示したのが、図 2-5 と図 2-6 である。

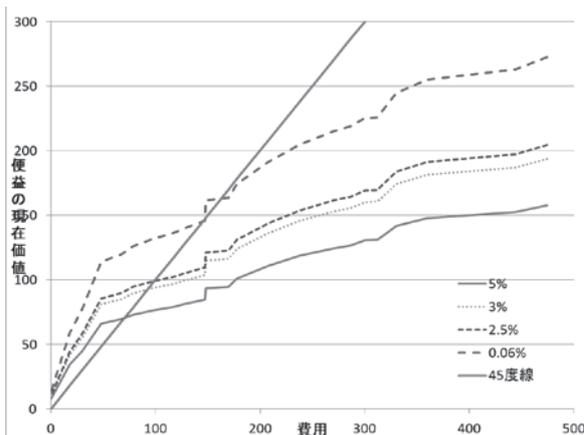


図 2-4 住宅の省エネ改修の費用と便益の現在価値との関係
(時間割引率に対する感度分析)

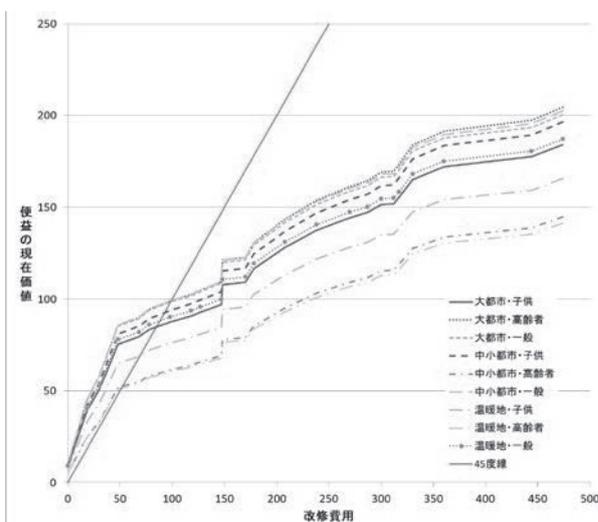


図 2-5 住宅の省エネ改修の費用と便益の現在価値との関係
(寒冷地以外)

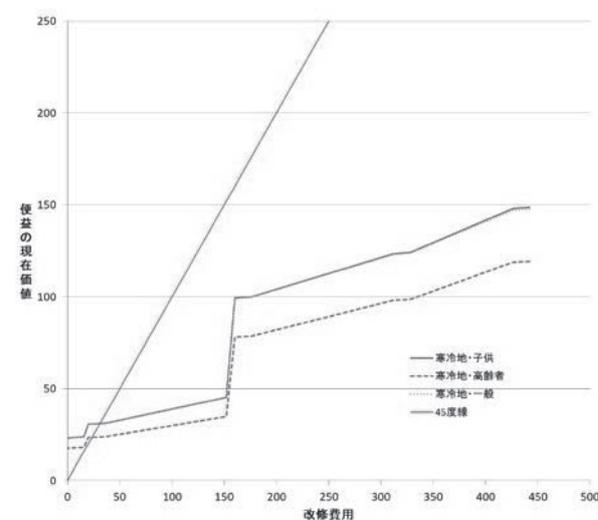


図 2-6 住宅の省エネ改修の費用と便益の現在価値との関係
(寒冷地)

これらの図中の45度線は、その線上で改修費用と便益の現在価値が等しくなることを示す。図から、改修費用が大きくなれば便益の現在価値も増加するが、改修費用がかさむにつれて、費用を上回る便益の現在価値は得られにくくなる。費用を上回る便益の現在価値が期待できる最大の改修費用は、大きな時間割引率の想定の下では小さくなる(図2-4)。森田ら²¹⁾が考察するように、時間割引率の想定を下げるための政策(消費者理解の向上やラベリング制度など)が有効である。

時間割引率を一定(2.5%)としたとき、同じ改修費用に対する便益の現在価値は、世帯属性ごとに異なる(図2-5と図2-6)。費用を上回る便益の現在価値が期待できる最大の改修費用は、大都市の高齢者世帯で大きく、中小都市の高齢者世帯では小さい。住宅の省エネ改修は、前者において進む可能性が高いといえる。また、大都市の一般世帯では98万円程度の改修費用が合理性を持つのに対し、寒冷地の一般世帯では20万円程度にとどまる。

大都市の高齢者世帯は、光熱費への支出構成比が大きく、さらに図2-3で光熱費に対する等価変分が大きかったため、省エネ改修によって得られる便益の現在価値が大きくなったと考えられる。一方中小都市の高齢者世帯では、図2-2の代替効果が大きく、住宅のエネルギー効率改善に伴う実質的な光熱費価格の低下が光熱費の消費を大きく増やす一方、その他の消費を抑制する効果が大きくなり、便益の現在価値が小さくなると解釈できる。

同レベルの改修費用で達成できる省エネ改修が、いろいろな属性の家計にもたらす便益の現在価値の大きさを比較すると、寒冷地以外で18万円の改修費用をかけた場合、便益の現在価値は24万円(寒冷地以外の高齢者世帯)から45万円(中小都市の一般世帯)である(時間割引率を2.5%とする)。一方、寒冷地で20万円の改修費用をかけた場合の便益の現在価値は、24万円(高齢者世帯)から31万円(子供のいる世帯と一般世帯)である。もし、20万円程度の省エネ改修補助金を交付するという政策を行う場合、世帯ごとに期待される便益が大きく異なることになる。すると、補助金政策が実施されると、省エネ改修に高い満足を感じ、便益の現在価値が大きい世帯から順に補助金に応じ、補助金政策が始まって一定の時間がたった時点では、改修未実施者に占める「省エネ改修による便益の現在価値が低い世帯」の割合が増加すると予測される。政策効果を持続させるための工夫が必要である。

3. 光熱エネルギー削減効果の地域間産業連関分析

3.1 問題の所在

前章では、個々の家計レベル(ミクロレベル)の分析視点から、住宅の省エネ改修の費用便益分析を行ったが、本章では住宅の省エネ改修がもたらすマクロ的な経済効果の分析を行う。すなわち、全国的な省エネ改修によっ

て多くの家計で光熱費が削減され、その分の金額でその他の消費項目の支出構成比が増した場合に、経済全体にどのような影響がもたらされるかを、産業連関分析の手法を用いて試算した。分析に用いたのは、筆者らが開発した地域間 IONGES である。

3.2 地域間 IONGES について

産業連関表はレオンティエフによって開発された経済統計表である。表では、経済がいくつかの部門に分割され、それらの部門間で財がどのように取引されたかが記述されている。この表を用いた産業連関分析によれば、ある財の需要1単位当たりがもたらす、部品とその原材料の生産過程(サプライチェーン)を通じた、経済全体への波及効果を計算することができる。現在、日本では、総務省が中心となり10府省庁の共同作業による産業連関表が5年ごとに作成されている²²⁾が、ここでは、再生可能エネルギー部門が明示されていなかった。そこで、われわれは、それらを明示した次世代エネルギーシステム分析用産業連関表(IONGES)を作成してきた²³⁾。IONGESでは、「2005年組込表」(2005年の再生可能エネルギーの発電実績を総務省表に付け加えた表)と「2030年想定表」(2005年の電力の総生産額は変えずに、発電構成比を2030年の想定²⁴⁾とした表)を作成している。これらの表をさらに、経済産業省の「2005年地域間産業連関表²⁵⁾」に基づいて、地域間表として展開したのが地域間 IONGES である。図3-1に地域間 IONGES の概念図を示す。これによれば、北海道の再生可能エネルギー利用がまわりまわって九州の諸産業にもたらす効果などを分析することができる。なお、地域間 IONGES の部門分類は65部門(再生可能エネルギー部門を含む)×9地域である。

	地域n1		地域2	地域9	最終需要	総生産額
	部門1...部門n	部門1...部門n	部門1...部門n				
地域1 北海道	部門1 ...	部門n					
地域n2 東北	部門1 ...	部門n					
...							
地域9 沖縄	部門1 ...	部門n					
付加価値							
総生産額							

図3-1 地域間 IONGES の概念図

地域間 IONGES における再生可能エネルギー発電部門の総生産額(CT)の地域間分布は、2005年組込表では実績値、2030年想定表では、主として環境省ゾーニング基礎情報^{26,27)}における発電ポテンシャルに基づく。再生可能エネルギー発電部門の電力は原則として地産地消されるが、太陽光発電(住宅用以外)、陸上および洋上風力発電、

フラッシュ型地熱発電の比較的大規模な再生可能エネルギー電力は、最近の電力融通状況に準じて、地域間融通されると仮定している。図 3-2 は地域間 IONGES の 2030 年想定表における、再生可能エネルギー発電部門の生産額の、地域構成比を示している。再生可能エネルギー資源は東日本に相対的に多く賦存し、北海道、東北、関東の各地域のシェアが、約 20% ずつとなっている²⁸⁾。

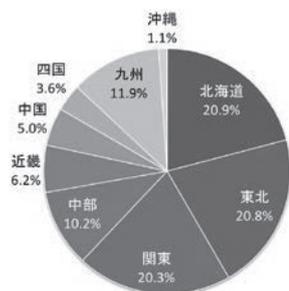


図 3-2 地域間 IONGES の 2030 年想定表における再生可能エネルギー発電部門の生産額構成比

3.3 分析モデル

(5)式が、各地域の消費がもたらす波及効果の計算式である。 f は各地域における光熱費削減前後の家計消費の変化分を示す列ベクトルである。2005 年組込表と 2030 年想定表の地域間投入係数行列 A を用いて (5) 式を計算し、結果を比較した。

$$x = \{I - (A - \hat{M}A^*)\}^{-1} (I - \hat{M})f \quad (5)$$

ただし、 x : 生産誘発額ベクトル

I : 単位行列

A : 組込表または想定表の地域間投入係数行列

M : 輸入係数行列,

A^* : A のうち自地域の取引のみ計上し、他地域との取引をゼロにした行列

f : 地域別の家計消費の変化を示すベクトル

光熱費削減後の家計消費の変化を示すベクトル f は、次のような想定の下で作成した。まず光熱費の削減率には、前章 2.6 節の分析結果を踏まえ、割引率を 2.5%とした場合に、省エネ改修による便益が費用を上回る最大削減率の、寒冷地 5.0%、寒冷地以外 23.3%の想定を置いた。そして各地域の光熱費支出の同割合に相当する金額を電力、ガスなどの光熱費関連部門にマイナス表示し、同じ金額をその地域の (a) 光熱費以外のすべての消費財・サービスに現状と同じ比率で配分 (全商品代替ケース)、または (b) 対個人サービスだけに配分 (サービス財代替ケース) して (プラスの値で) 表示したベクトル (したがってベクトルの全要素の和はゼロになる) を作成した。

また (5) 式の結果に、労働係数をかけて雇用誘発を計

算したが、その係数には、総務省「平成 17 年産業連関表」「雇用表²²⁾」の部門別従業者数で想定される従業者数を、対応する部門別国内生産額で除して求めた値を使用した。同様に (5) 式の結果に CO_2 排出原単位をかけて誘発 CO_2 排出量を計算したが、その原単位は、国立環境研究所「産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID) 2005 年版²⁹⁾」の部門別 CO_2 排出量を、対応する部門別国内生産額で除して求めた値を使用した。なお、これらの係数および原単位は地域間で同一の値 (全国値) を使用した。

3.3 光熱費の削減がもたらす産業連関効果

前節の想定によれば、住宅の省エネ改修により、家計における光熱費支出を全国でおよそ 2.1 兆円削減することができ、その地域別内訳は図 3-3 のとおりである。寒冷地とした北海道、東北では、光熱費削減率の想定値が低いので構成比が小さい。光熱費削減のポテンシャルは関東地域で大きい。

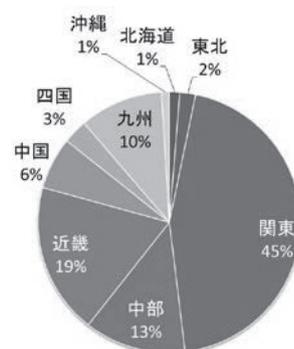


図 3-3 光熱費削減額の構成比

(5)式で 2030 年想定表を用いて、各地域の光熱費削減がもたらす波及効果を計算し、地域別に結果をまとめたのが表 3-1 (全商品代替ケース) と表 3-2 (サービス財代替ケース) である。たとえば表 3-1 の「関東」を示す列で、関東地域で光熱費が削減され、削減分の金額が全商品の消費増に向けられた場合の波及効果を見ると、関東に再生可能エネルギーを多く供給している東北地域と自地域内の生産誘発額が大きく減少し、全体で 1629.7 億円の生産減少を引き起こしている。同じ効果を、削減分の金額がサービス財のみの消費拡大に向けられたケースでみると、生産誘発額の減少幅は全体で 466.6 億円と小さくなる (表 3-2 の「関東」を示す列)。他の地域においてもサービス財代替ケースでは、全商品代替ケースよりも生産誘発額の減少幅が小さくなるか、正の誘発に転じている。

こうした変化の背景を示すのが、図 3-4 である。ここでは各地域の光熱費削減額 100 万円当たりの輸入消費財の変化額を示している。関東ではどの想定においても光熱費が削減され、それが別の消費に向けられれば消費財

輸入が増加している。特に全商品代替ケースにおいて大きく増加する。一方、北海道、東北ではサービス財代替ケースにおいては輸入額の減少がみられるが、これはサービス財の国産比率が高いためと考えられる。関東では、光熱費が削減され、その金額が他の消費に向けられると、輸入財の消費が増えて国産財の消費が大きく減少し、国内への生産波及効果が減少するという現象が起きていると理解される。

表 3-1 光熱費削減がもたらす地域間波及効果
(2030年想定表, 全商品代替, 単位: 百万円)

		需要発生地域								
		北海道	東北	関東	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄
財供給地域	北海道	-1,748	-4,407	-11,544	-1,458	-13,650	1,666	518	-693	160
	東北	917	-1,885	-100,252	4,174	7,624	2,054	1,113	3,311	332
	関東	-466	356	-90,513	48,684	46,463	19,964	8,786	23,747	2,212
	中部	-973	-436	-18,228	-121,085	6,833	4,635	2,269	4,268	302
	近畿	412	1,172	36,416	13,322	-137,058	5,945	-1,061	3,857	837
	中国	-133	292	7,446	144	-371	-41,609	-774	-20,353	-295
	四国	129	203	1,068	1,906	-6,526	-42	-21,024	-1,650	122
	九州	328	649	10,816	6,358	8,521	-11,595	446	-44,364	1,098
	沖縄	20	33	1,817	542	698	157	68	447	-6,148
	地域計	-1,513	-4,024	-162,974	-47,412	-87,466	-18,825	-9,658	-31,430	-1,380

表 3-2 光熱費削減がもたらす地域間波及効果
(2030年想定表, サービス代替, 単位: 百万円)

		需要発生地域								
		北海道	東北	関東	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄
財供給地域	北海道	6,498	-4,234	-10,363	-2,327	-13,844	1,128	464	-862	186
	東北	513	10,318	-99,304	1,173	4,779	904	707	1,919	292
	関東	-1,690	-1,343	-59,822	35,645	35,541	12,948	5,861	14,621	2,059
	中部	-1,492	-1,366	-28,317	-62,458	7,742	430	777	-982	94
	近畿	-80	292	22,203	17,448	-69,214	6,077	-283	-653	723
	中国	-342	-26	-581	-3,603	-2,210	-11,618	197	-21,559	-373
	四国	60	96	-1,104	793	-5,695	737	-6,139	-2,251	107
	九州	184	352	7,735	3,768	8,106	-6,484	180	16,306	1,349
	沖縄	33	45	3,252	819	1,500	197	116	949	-2,244
	地域計	3,685	4,133	-46,657	-8,741	-33,295	4,320	1,881	7,489	2,194

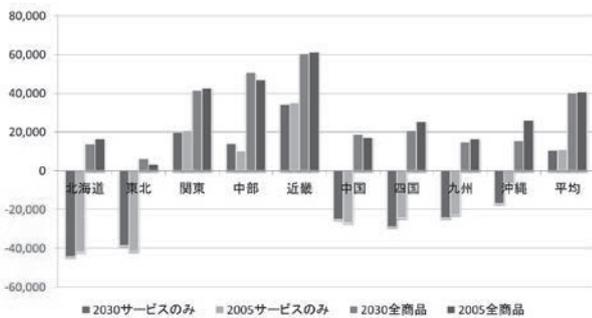


図 3-4 光熱費削減額 100 万円当たり輸入消費財の変化額(円)

光熱費削減に伴う波及効果を、削減された光熱費の単位金額(100万円)当たりの大きさを比較したのが、図 3-5 ~ 3-7 である。図 3-5 をみると、光熱費 100 万円の削減は全商品代替ケースでは、すべての地域の生産誘発額を減少させている。しかし図 3-6 を見ると、光熱費 100 万円の削減はすべてのケースで雇用を増やしており、特にサービス財代替ケースでその効果が顕著である。また、図 3-7 を見ると、光熱費 100 万円の削減はすべてのケースで CO₂ 削減効果をもたらしており、とくに、再生可能エネルギーの普及が十分でない 2005 年においてその削減効果が顕著である。最後に図 3-8 に、2030 年想定表の

下で光熱費がもたらす波及効果がどの産業部門に及ぶかを示す。負の波及効果は、北海道では石油・石炭製品に、関東では事業用電力に特に大きく及んでいる。全商品代替ケースでは正の波及効果が及ぶ部門が多くなり、それらの取引マージン(商業)への波及も大きくなる。しかし、基本的な波及構造に、地域間でそれほど大きな差は見られない。

以上では、各地域で省エネ改修の費用が消費者の便益の現在価値に見合う程度まで住宅の省エネ改修が普及した場合に、光熱費の削減が他の消費に向けられることを通じてもたらす波及効果をマクロ的に分析した。その結果、光熱費の削減額が輸入消費財の消費に向けられる結果、国内の生産誘発が減少する可能性が示唆された。しかし、雇用誘発の増加と CO₂ 誘発の削減効果は顕著に確認された。

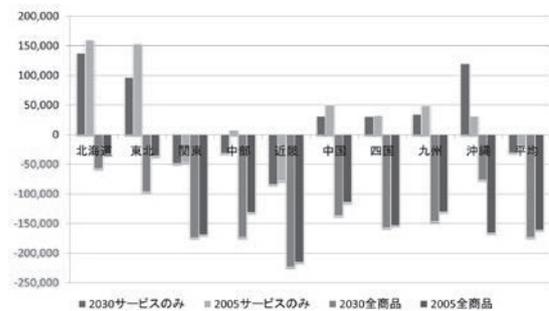


図 3-5 光熱費削減がもたらす波及効果
(光熱費削減額 100 万円あたり誘発金額(円))

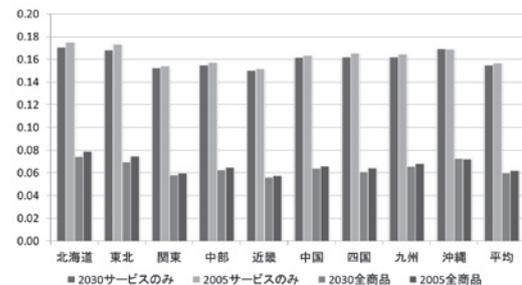


図 3-6 光熱費削減がもたらす波及効果
(光熱費削減額 100 万円あたり雇用誘発(従業者人))

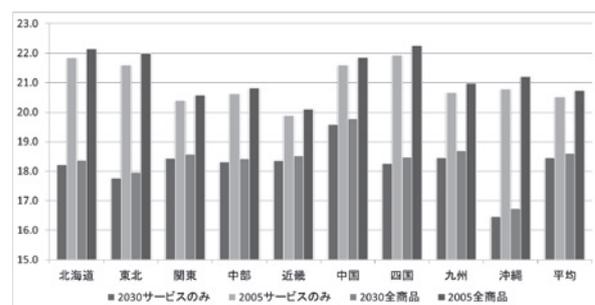


図 3-7 光熱費削減がもたらす波及効果
(光熱費削減額 100 万円あたり CO₂ 誘発削減量(kg-CO₂))

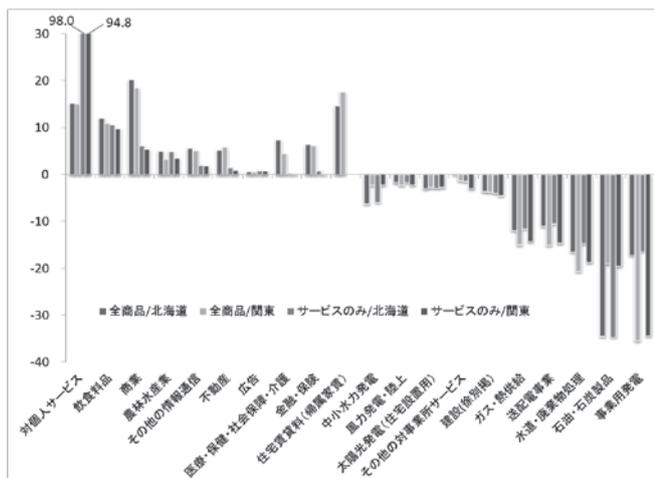


図 3-8 光熱費削減がもたらす効果の波及先
(2030 : 光熱費削減額 100 万円あたり誘発金額(万円))

4. 節電ポテンシャルカーブの推計

4.1 問題の所在

本章では社会生活基本調査を用いて消費者の属性別に時間帯別節電ポテンシャルカーブの算出を行い、DR が発令される時間帯に、家庭にはどの程度の節電ポテンシャルがあるかについて推定を行う。社会生活基本調査によれば、個人の属性別 15 分ごとの行動パターンが分かる。たとえば掃除をしているとき、掃除機の使い方を少し工夫すれば節電が可能であるが、このような少しの工夫による節電ポテンシャルが、各時間帯にどのくらいあるのかを社会統計を用いて試算することが本章の目的である。

4.2 研究の方法

社会生活基本調査³⁰⁾に「家庭の省エネ百科³¹⁾」の情報を加えて、消費者の属性別、時間帯別節電ポテンシャルの算出を行う。算出手順は以下の通りである³²⁾。

- 1) 家電機器別の使い方の工夫による 15 分ごとの節電可能量の特定
- 2) 家電機器別の季節ごとの使い方を考慮し、季節別、家電機器別の 15 分ごとの節電ポテンシャル量(原単位)の特定
- 3) 2) を社会生活基本調査で得られる個人の属性別、行動別行動者率に乘じ、節電ポテンシャルを算出

社会生活基本調査では、個人の 15 分ごとの行動パターンが把握できる。「家庭の省エネ百科」では、生活の各場面で想定されるエネルギー使用機器の使い方の工夫と、期待される節電量が、家電機器別に、年間の使用時間に対して算出されている。そこで各機器の年間の節電量/使用時間の値から、使用時間 15 分当たりの節電可能量を算出する。次に、各機器が社会生活基本調査(調査票 B)の、どの分類の行動を行う際に利用されるかについて対応付けを行う。そして、各機器の 15 分あたり節電可能量

を、対応する分類の行動を 15 分継続する場合の節電可能量(節電原単位)とみなす。社会生活基本調査から行動分類別に得られる行動者率に、この原単位を乗じることにより、15 分ごとの節電ポテンシャルを算出する。表 4-1 に家電の機器別 15 分当たりの節電ポテンシャル原単位を示す。照明の原単位は、主たる居室の広さを 18 畳と仮定し、18 畳用 LED 照明 81w による節電ポテンシャルとした。このうち、暖房機器と便座は冬季のみ、冷房は夏季のみに、計算に使用する。

表 4-1 節電ポテンシャル原単位^{注1)} (kWh/15 分)

掃除機	0.2267	電気ポット	0.0123
照明 LED	0.1215	洗濯機	0.0067
衣類乾燥機	0.1121	パソコン(ノート)	0.0060
電気カーペット	0.0816	石油ファンヒーター	0.0058
エアコン暖房	0.0721	ガスファンヒーター	0.0055
エアコン冷房	0.0526	電気冷蔵庫	0.0048
こたつ	0.0241	温水洗浄便座(ふた, 便座, 洗浄水)	0.0030
テレビ	0.0165	ジャー炊飯器	0.0003

注 1) 家庭の省エネ百科³¹⁾に基づいて計算したものの。

節電ポテンシャルは、家電機器の使い方を工夫することによる家事節電ポテンシャルと、在宅時にエアコンや照明の使い方の工夫で可能となる在宅節電ポテンシャルの合計で算出される。まず、社会生活基本調査(調査票 B)の行動分類の内容を検討し、自宅で行われる行動分類を「在宅行動」、自宅外で行われる行動分類を「非在宅行動」と定義した。家事節電ポテンシャルは「在宅行動」のうち、各家電機器に対応する行動分類の行動者率を用いて計算した。表 4-1 の家電のうち、炊飯器、洗濯機・乾燥機については、機器作動継続時間を考慮して(炊飯器等を使い始めた最初の 15 分の後も一定時間、機器を使い続けると仮定して)節電ポテンシャルを算出している。在宅節電ポテンシャルは睡眠を除くすべての「在宅行動」の行動者率を用いて算出した。温水洗浄便座と電気冷蔵庫の 2 機器は、在宅の有無によらず終日作動しているものとして節電ポテンシャルを算出した。

4.3 節電ポテンシャルの推定結果

代表的個人の、15 分ごとの家電機器別の節電ポテンシャル(夏季の全国平均値)を示したのが図 4-1 である。横軸は 15 分ごとの時間区分を、縦軸は各時間帯の節電可能量を示す。縦軸の単位は(4)式で示すように総人口一人当たり節電量である。

$$\frac{\text{節電量}(kWh)}{\text{行動者数}(人)} \times \frac{\text{行動者数}(人)}{\text{総人口}(人)} = \frac{\text{節電量}(kWh)}{\text{総人口}(人)} \quad (4)$$

節電ポテンシャルのピークは朝7時台と夜8時台の2回あり、機器別にみるとエアコンや照明に伴うものが多く、この2つの機器で1日の節電ポテンシャルの約65%を占める。しかし時間帯によってはテレビ、掃除機のポテンシャル比率が増加する。電力使用の少ない時間帯では、終日作動する電気冷蔵庫のポテンシャル比率が高い。

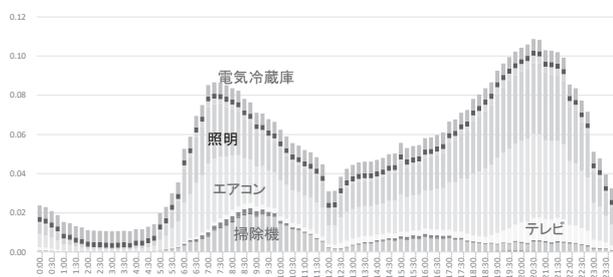


図4-1 家電機器別の節電ポテンシャルカーブ（全国・夏）
（kWh/総人口）

図4-2は1日の節電ポテンシャルの総計を個人の属性別にみたものである。全属性平均の1日の節電ポテンシャルは7.32kWhである。これを属性別にみると、性別では女性が男性を上回り（1.53倍）、就業では無業者が有業者を上回っている（1.74倍）。10歳刻みの年齢層別にみると、年齢上昇とともにポテンシャル総計が増え、75歳～は25～34歳の1.73倍となっている。節電ポテンシャルは属性別に差があり、特に年齢層でみると年齢が高いほどポテンシャルが多いことがわかる。

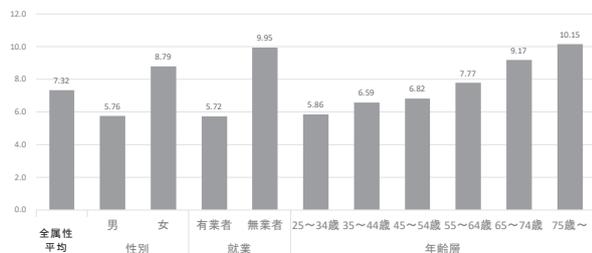


図4-2 個人の属性別節電ポテンシャル（全国・冬）全機器
（kWh）

バーチャルパワープラント構築実証事業³³⁾では、DR発令時間帯を、冬季は9～11時と17～19時、夏季は13～17時としている。図4-3は、冬季DR発令時間帯（17～19時）における節電ポテンシャルの総計を個人の属性別にみたものである。男女とも、有業者よりも無業者の節電ポテンシャルが多い。有業者は、男女とも年齢が上がるにつれて節電ポテンシャルが増加し、年齢層による差は、男性は2.97倍、女性は2.04倍である。この傾向はどのDR時間帯でも共通にみられるが、年齢層差が最も大きいのは冬季DR時間帯（17～19時）である。無業者も、年齢が上がるにつれて節電ポテンシャルが増加傾向

であるが、男性は45～54歳、女性は75歳～が最も節電ポテンシャルが多い。

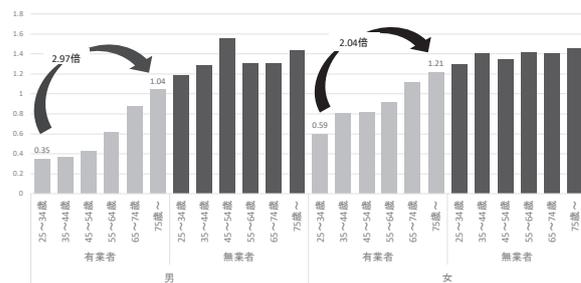


図4-3 冬季DR（17～19時）属性別の節電ポテンシャル総計
（全国）全機器（kWh）

冬季DR時間帯（17～19時）における1人当たり節電ポテンシャルに人口をかけて、日本全体の節電量を算出し、その1時間当たり平均値を計算すると43.24GWという結果になった。「電力統計情報³⁴⁾」及びTEPCO³⁵⁾の情報をもとにすると、夏季および冬季の最大電力はそれぞれ、154GWと138GWと想定される。すると冬季DR時間帯（17～19時）に見込まれる1時間当たり節電ポテンシャル43.24GWは冬季の最大電力の31.3%にあたる（図4-4の大幅）。図4-4の小図では、その平均ポテンシャルに対する、各年齢層の貢献度を示している。それによれば、最も貢献度が多いのは75歳～の21.1%、次いで65～74歳（20.5%）、55～64歳（20.1%）の順であり、25～34歳が10.2%と最も少ない。高齢者層の節電貢献度が大きいことが示された。

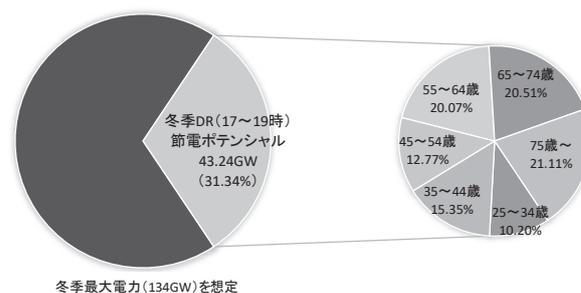


図4-4 冬季DR時間帯（17～19時）の1時間当たり
節電ポテンシャル（全国）全機器

図4-5は今後予測される人口の変化が節電ポテンシャルに与える影響を示したものである。2035年と2065年の予測人口と人口構成比³⁶⁾を用い、人口変化による日本全体の節電ポテンシャルの変化をシミュレーションした。結果として節電ポテンシャルは2035年に2.3%増加するものの2065年には18.8%減少となる。また、年齢層の内訳をみると、75歳～の比率が18.0%から38.5%に倍増と

なるが、それ以外のすべての年齢層では比率が低下する。今後の少子高齢化に伴い、1人当たり節電ポテンシャルの多い高齢者層(75歳～)の比率が増えることから2035年には日本全体の節電ポテンシャルは増えるが、それ以後は、人口減少により、節電ポテンシャルも減少すると見込まれた。

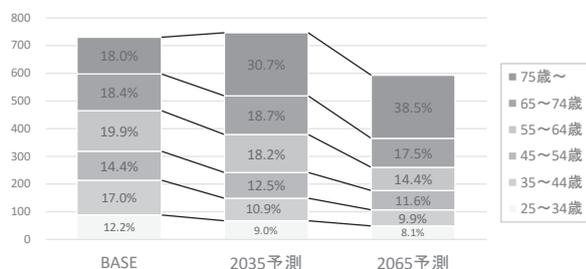


図 4-5 人口構成変化による節電ポテンシャルの変化
(全国・冬) 全機器 (GWh)

本章では、家電機器の使い方を工夫することによる節電量を個人の属性別、時間帯別に算定し DR 発令時間帯別にその効果を確認した。結果として、属性によって節電ポテンシャルに差があることが分かった。年齢層が高いほどより多くの節電ポテンシャルを持つといえ、なかでも高齢者層の節電貢献が期待される。節電ポテンシャルは、冬季 DR (17～19 時) の時間帯では、日本の最大電力の約 3 割を占めることが見込まれ、そのうち 75 歳～の貢献は 2 割を占めている。今後の高齢化に伴い、75 歳～の人口構成比が増加することから、日本全体ではより多くの節電ポテンシャルが期待される。しかし、ある時期をすぎると人口の減少がその効果を上回り、節電ポテンシャルは減少することが把握された。

5. おわりに

本研究では、住宅の省エネ改修が居住者や消費者の行動変化を通じて、社会にもたらす影響を、予測的に分析するために 3 つの分析を行った。すなわち、第 1 に全国消費実態調査を利用した需要関数の推定結果を用いて、省エネ住宅改修による光熱価格の低下(相対的な割安感)がもたらす消費者の満足度向上効果、光熱費支出の削減効果について検討し、省エネ住宅改修の費用便益分析を行った。第 2 に、省エネ住宅改修がある程度のレベルで全国的に普及した場合の光熱費削減によるマクロ経済効果を、筆者らが開発した地域間 IONGES を用いて分析した。また第 3 に、社会生活基本調査を用いて、消費者の属性別に時間帯別生活行動を確認し、「節電ポテンシャルカーブ」の導出を行った。

第 2 章で省エネ改修の費用便益分析を行った結果、大都市の高齢者世帯で住宅の省エネ改修が進む可能性が高

い一方、中小都市の高齢者世帯では、住宅の省エネ改修が進みにくい可能性のあることが分かった。また、寒冷地以外の一般世帯では 98 万円程度の改修費用が合理性を持つのに対し、寒冷地の一般世帯では 18 万円程度にとどまっていた。また、20 万円程度の省エネ改修補助金を交付するという政策を行われる場合、世帯ごとに期待される便益が大きく異なることが明らかになった。

第 3 章では、各地域で省エネ改修の費用が消費者の便益に見合う程度まで住宅の省エネ改修が普及した場合に、光熱費の削減が他の消費に向けられることを通じてもたらす波及効果を産業連関分析によって、マクロ的に検討した。その結果、光熱費の削減額が輸入消費財の消費に向けられる結果、国内の生産誘発が減少する可能性が示唆された。しかし、雇用誘発の増加と CO₂ 誘発の削減効果は顕著に確認された。

第 4 章では、家電機器の使い方を工夫することによる節電量を個人の属性別、時間帯別に算定し DR 発令時間帯別にその効果を確認した。その結果、年齢層が高いほどより多くの節電ポテンシャルを持ち、DR が発令されると見込まれる時間帯の最大電力の 2～3 割の節電ポテンシャルが見込まれることが分かった。

社会統計には、統計法に基づく調査によりサンプルサイズが大きい、理論に基づく標本設計によりサンプルの代表性が確保されている、などのアンケート調査にはない利点があり、先進的な住宅関連技術の普及効果の予測分析に積極的に利用されることが望まれる。さらに海外に見られるような³⁷⁾、住宅のエネルギー消費に焦点を絞った大規模な社会調査が実施されることはより望ましい。

<参考文献>

- 1) 西尾健一郎, 向井登志広: 省エネルギー・デマンドレスポンスの実証研究における実験計画や効果検証のあり方, 電力中央研究所報告, Y15009, 1-46, 2016, <http://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/report/detail/Y15009.html>
- 2) 次世代科学技術経済分析研究所ホームページ: <http://www.f.waseda.jp/washizu/table.html>
- 3) 一般社団法人日本サステナブル建築協会: エネルギー消費性能計算プログラム(住宅版)Ver2.0.3, <http://house.app.lowenergy.jp/>, (accessed 2016-8-20).
- 4) 伴金美: 環境政策と経済の関係を分析・評価するための経済モデルの作成, 環境経済・政策研究, 9(1), 1-13, 2016
- 5) Nakano, S. and Washizu, A. Changes in Consumer Behavior as a Result of the Home Appliance Eco-Point System-An Analysis based on Micro Data from the Family Income and Expenditure Survey-, Economics and Policy Studies, 19(3), 459-482, 2016
- 6) 中野諭, 篠崎美貴, 鷲津明由: 外食及び余暇サービス利用の環境影響評価: 産業連関的環境家計簿と LES 消費需要関数の接

- 合, 日本 LCA 学会誌, 3(3), 168-177, 2007
- 7) 中野論, 鈴木将之, 鷲津明由: 消費者行動変化の環境影響に関する考察 AIDS 需要関数と産業連関的環境家計簿を用いた分析, 日本 LCA 学会誌, 4(4), 367-376, 2008
- 8) 中野論, 高瀬卓弥, 清水裕之, 鷲津明由: 環境消費政策のシミュレーション分析 横浜市を事例として, 日本 LCA 学会誌, 7(1), 48-58, 2011
- 9) Deaton, A. and J. Muellbauer *Economics and Consumer Behavior*, Cambridge Univ. Press, London, U.K. 1980
- 10) Stone, R. *Linear expenditure systems and demand analysis an application to the pattern of British demand*, *Economic Journal*, 64, 511-527, 1954
- 11) 財団法人建築環境・省エネルギー機構: 省エネ法 住宅事業建築主の判断基準 地域区分, http://ees.ibec.or.jp/document/s/img/sheet1_chiikikubunzu.pdf, (accessed 2016-08-20)
- 12) 総務省: 平成 16・21 年全国消費実態調査, <http://www.stat.go.jp/data/zensho/2009/>, (accessed 2016-08-20)
- 13) 総務省: 消費者物価指数, <http://www.stat.go.jp/data/cpi/>, (accessed 2016-08-20)
- 14) 住環境計画研究所: 家庭用エネルギー統計年報, <http://www.jyuri.co.jp/research/field/household/>, (accessed 2016-08-20)
- 15) 下田吉之, 山口幸男, 岡村朋, 谷口綾子, 山口容平: 家庭用エネルギーエンドユースモデルを用いた我が国民生家庭部門の温室効果ガス削減ポテンシャル予測. *エネルギー・資源*, 30(3), 1-9, 2009
- 16) マグ・イゾバー株式会社: 断熱リフォーム概算費用, https://www.isover.co.jp/project/insulation-reform/cost#kani_reform, (accessed 2016-08-20)
- 17) 価格.com, <http://kakaku.com/kaden/aircon/itemlist.aspx>, (accessed 2016-08-20)
- 18) 一般財団法人経済調査会: すまいの建築費用, https://www.kentiku-hiyou.com/eco/thermal_insulation/index.html, (accessed 2016-08-20)
- 19) 国税庁ホームページ: 耐用年数 (木造・合成樹脂造の事務所用建物), https://www.keisan.nta.go.jp/survey/publish/34255/faq/34311/faq_34354.php, (accessed 2017-07-01)
- 20) 赤尾健一, 大沼あゆみ, 阪本浩章: 割引率は何を意味しどのように発展してきたか, *環境経済・政策研究*, 9(2), 1-20, 2016
- 21) 森田稔, 松本茂, 田崎智宏: 省エネレポートプログラムの主観的割引率への影響—ヘドニック価格法による家電エコポイント制度の評価—, *環境経済・政策研究*, 7(2), 24-36, 2014
- 22) 総務省: 平成 17 年 (2005 年) 産業連関表, <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001019588&cyclo=0>, (Last access 2016.08.01)
- 23) Nakano, S. Arai, S. and Washizu, A. *Economic impacts of Japan's renewable energy sector and the feed-in tariff system using an input-output table to analyze a next-generation energy system*, *Environmental Economics and Policy Studies*, 19(3), 555-580, 2016
- 24) エネルギー・環境会議: 再生可能エネルギー関連資料, <http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/npu/policy09/sentakushi/database/index.html> (Last access 2016.08.01)
- 25) 経済産業省: 2005 年地域間産業連関表, http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/tiikiio/result/result_02.html (Last access 2016.08.01)
- 26) 環境省地球環境局地球温暖化対策課: 平成 25 年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書, <http://www.env.go.jp/earth/report/h26-05/index.html> (Last access 2016.08.01)
- 27) 環境省地球環境局地球温暖化対策課: 平成 24 年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎整備報告書, <http://www.env.go.jp/earth/report/h25-03/> (Last access 2016.08.01)
- 28) 鷲津明由, 中野論, 新井園枝: 再生可能エネルギーの高度利用に向けて—地域間次世代エネルギーシステム分析用産業連関表の作成と応用—, *経済統計研究*, 第 44 巻 III 号, 21-38, 2016
- 29) 国立環境研究所: 産業連関表による環境負荷源単位データブック (3EID), http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/jpn/page/data_file.htm, (Last access 2016.05.21)
- 30) 総務省: 平成 23 年社会生活基本調査, <http://www.stat.go.jp/data/shakai/2011/index.htm>, (accessed 2017-6-13)
- 31) 財団法人省エネルギーセンター/経済産業省資源エネルギー庁: 家庭の省エネ百科, http://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/pdf/katei_hyakka.pdf, (accessed 2017-06-13)
- 32) 鷲津明由, 平湯直子: 家庭における時間帯別省エネポテンシャルデータベースの作成方法—『社会生活基本調査』と「家庭の省エネ百科」による—, 早稲田大学社会科学総合学術院, Working Paper Series, IASS WP 2017-J001, https://www.waseda.jp/fsss/iass/assets/uploads/2017/05/washizu_hirayu_2017_J001.pdf, 2017
- 33) 一般財団法人エネルギー総合工学研究所: パーチャルパワープラント構築事業補助金公募要領, <http://www.iae.or.jp/2016/05/19/vpp/>, (accessed 2017-06-13)
- 34) 電気事業連合会: 電力統計情報, <http://www.fepc.or.jp/library/data/tokei/index.html>, (accessed 20107-08-23)
- 35) TEPCO (東京電力ホールディングス): 数表でみる東京電力, <http://www.tepco.co.jp/corporateinfo/illustrated/power-demand/peal-demand-daily-j.html>, (accessed 2017-08-23)
- 36) 国立社会保障・人口問題研究所: 将来推計人口 日本の将来推計人口, <http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/newest04/sh2401smm.html>, (accessed 2017-08-04)
- 37) Hamilton, I. G., Steadman, P. J., Bruhns, H., Summerfield, A. J. and Lowe, R. *Energy efficiency in the British housing stock, Energy demand and the Homes Energy Efficiency Database*. *Energy Policy*, 60, 462-480, 2013