家庭の CO_2 排出に及ぼす要因分析 ーペット所有と暖房需要についての考察

Analysis of Factors Affecting Household CO_2 Emissions -A Study of Pet Ownership and Heating Demand

齊藤天音[*]・ロンイン[**]・吉田好邦[**]
Amane Saito　Yin Long　Yoshikuni Yoshida

Abstract
Using household CO_2 statistics from the Ministry of the Environment (MOE), we quantitatively examined the impact of pet ownership and heating demand on household CO_2 emissions. First, we quantified the additional electricity consumption, mainly air conditioning use, due to pet ownership. Having a dog or cat pet indirectly increases more consumption of electricity by increasing the time spent on air-conditioning and heating than fish pets. In addition, CO_2 emissions by energy from heating were reproduced based on the method that MOE published. We confirmed that the correlation coefficient between the estimated values and the CO_2 emissions from heating published by MOE was approximately 0.95. After validating our calculation, simulations were conducted for three cases: replacing kerosene heating with air conditioning, replacing gas heating with air conditioning, and replacing air conditioners with the latest models. It was shown that implementing all cases would reduce CO_2 emissions by approximately about 47.7% in the country.

Key words *:* CO_2 statistics, Household, Pet ownership, Heating demand

１．はじめに

昨今，地球温暖化に対する対策が国際的に重要課題になっている．日本では，2021 年の地球温暖化対策計画において，2013 年に比べて温室効果ガスを 46%削減することを示している [1]．環境省は，家庭内での二酸化炭素(CO_2)実態の把握を目的として，「家庭部門の CO_2 排出実態統計調査」（以降は「家庭 CO_2 統計」と記す）を実施している [2]．一般的に世帯の電力消費に与える要因は，世帯規模や住宅の大きさ，立地などが挙げられる場合が多い [3]．本研究では家庭の電力消費という文脈でペット所有と暖房需要に着目した．従来ペットは殺処分問題や災害時の対応などの論点が取り上げられてきており [4]，家庭の電力消費の影響に着目しているケースは少ない．また日本の家庭部門のエネルギー消費においては，寒冷地において灯油によるエネルギー消費が大きく，特に暖房は，冷房に比べエネルギー消費が大きく [5]，省エネ対策の重要性は高い．また暖房需要は気候に依存するが，多くの世帯に対して包括的にその量を調査した例は多くなく，家庭 CO_2 統計の有用性の確認としても意義がある．

家庭のエネルギー消費については長年研究が盛んに行われてきた．Kavousian et. al.は，家庭の電力消費の要因分析を行っている [6]．この研究ではスマートメータを用いて米国の 1628 世帯に対する調査を行い分析している．家庭暖房ついても研究が進められており．石田ら（2013）は，中国電力の光熱費管理支援システムによるデータ 100 件を，数量化理論第 I 類を用いて分析している [7]．

家庭 CO_2 統計や，その前身である「家庭からの二酸化炭素排出量の推計に係る実態調査 試験調査」（以下，試験調査）を利用した研究も行われている．石河ら（2018）の研究はその一事例であり，この研究では，試験調査によるデータと AMeDAS データを組み合わせ，地域別の CO_2 排出要因分析と CO_2 排出量推計を行っている [8]．

先行研究における課題は２つある．１つの課題は研究で利用するデータである．家庭 CO_2 統計のような各世帯の個別の電力消費量のデータを入手することは容易でなく，母集団が数百～2000 世帯程度に留まっている．もう一つは分析手法である．特に家庭 CO_2 統計を活用した研究においても，暖房による影響効果を具体的な CO_2 排出量の数値で分析したものは未だ少ない．

本研究では，家庭 CO_2 統計を利用し，ペットの所有ならびに暖房による CO_2 排出構造を明らかにし，その削減シミュレーションを行うことを目的とする．まず家庭 CO_2 統計のペット所有の情報と電力消費の情報の関係を統計解析する．暖房需要については，環境省の推計手順に従って，暖房による CO_2 排出量からエネルギー別の CO_2 排出量を再現し，次にそれを元に CO_2 削減シミュレーションを行うことで，暖房における CO_2 削減ポテンシャルにつ

[*]東京大学工学部システム創成学科
〒113-8656 東京都文京区 7-3-1　工学部 3 号館
[**]東京大学大学院工学系研究科技術経営戦略学専攻
〒113-8656 東京都文京区 7-3-1　工学部 3 号館
Corresponding author; Yoshikuni Yoshida,
E -mail: y-yoshida@e.t.u-tokyo.ac.jp

いて考察する.

本研究では家庭 CO_2 統計のうち，今回は平成 31 年 4 月から令和 2 年 3 月までの 1 年間のデータを利用した. そのため, 新型コロナウイルス流行後の情報については含まれていない. また，調査世帯数は 13,000 世帯，集計世帯数は 9,600 世帯である.

2　ペットの所有による電力消費に対する影響

2.1　データ

本節では，電力に関するエネルギー消費量とペットの所有による相関関係を線形重回帰分析により明らかにする. 目的変数は年間の電気のエネルギー消費量(GJ)とし，説明変数には各世帯の属性や住宅属性，ペットの所有に関する情報を選択した．ペットの所有に関しては，ペットのための冷暖房利用の有無，ペットのために利用している設備・機器からダミー変数を作成している.

今回はモデルを２つ作成して比較することにした. ペットに関する情報として，犬や猫の所有有無，魚系ペットの所有有無を選択したものがモデル１，それら２変数にペットのための冷暖房の使用有無を追加したものがモデル 2 である.

2.2　結果

表 1 が２つのモデルの回帰分析の結果である． まずモデル１をみると,「犬猫持ち」と「魚持ち」の係数はそれぞれ 1.20， 1.24 とあまり大差ない．1.2GJ を kWh に換算すると約 333kWh であり，その分だけ年間の電気によるエネルギー消費量を高めていると考えられる．この 1.2GJ は，例えば居住人数と比較すると約 0.5 人分に相当する．これよりペットを所有することは電力消費量に小さくない影響を与えていることがわかる.

またモデル２の場合,「犬猫持ち」の p 値が 0.6 と，有意ではなくなっている. また「犬猫持ち」と「ペットの冷房」「ペットの暖房」それぞれとの相関係数を見ると，どちらも 0.3 程度と正の相関関係が読み取れる.

つまり，ここから２つのことが考えられる．まず，犬や猫のペットを持っていることで冷暖房の使用時間が長くなることにより，間接的に電気の消費量が高まると考えられる．一方で魚系のペットの所有は冷暖房の使用とは関係が薄いことがわかる. また, モデル１から読み取れるように，電力のエネルギー消費量に対して，犬猫持ちと魚持ちの影響力に大差はない.

魚系のペットを飼う際はそれ専用のガジェットが増えるため，一般的に電力消費量が高まるイメージがある．しかし，今回の結果からわかるように，犬や猫のペットを所有している場合も，魚系のペット所有者とほぼ同じだけ電力消費量を高めている．犬や猫の所有者に対しても，冷暖房での省エネを呼びかけることが効果的である可能性が高いと考えられる.

表 1 回帰分析の結果

	モデル 1	モデル 2
Const	7.898***	12.004***
都市階級(注 2)	0.734***	0.651***
建て方(1:戸建,2:集合)	-5.406***	-5.447***
北海道 D	-1.073*	0.202
東北 D	0.087	1.558***
関東甲信 D	-1.627***	-0.085
北陸 D	2.264***	4.387***
東海 D	-1.610***	-0.139
近畿 D	-1.150**	0.371
中国 D	2.127***	3.642***
四国 D	1.235**	2.524***
九州 D	0.170	1.689***
居住人数(人)	2.458***	2.659***
平日昼間の在宅者有無(注 3)	-0.345***	-0.622***
年間世帯収入別(注 4)	1.082***	1.101***
年間走行距離 1 台目(km)	5.647e-05***	5.211e-05***
冷房使用時間(注 5)	0.564***	
暖房使用時間(注 6)	0.938***	
犬猫持ち D	1.203**	-0.256
魚持ち D	1.242***	1.194***
ペットの冷房 D		2.107***
ペットの暖房 D		2.133***
N	9660	9660
R^2	0.341	0.319

注 1：*p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01.

注 2：①都道府県庁所在市（東京都は区部）及び政令指定都市 ②人口５万人以上の市 ③人口５万人未満の市及び町村.

注 3：①ほぼ毎日いる ②週3～4日いる ③週1～2日いる ④ほとんどいないまたは不明

注 4：①250万円未満 ②250～500万円未満 ③500～750万円未満 ④750～1000万円未満 ⑤1000～1500万円未満 ⑥1500～2000万円未満 ⑦2000万円以上または不明

注 5：①0時間または不明 ②2時間未満 ③2時間～4時間未満 ④4時間～8時間未満 ⑤8時間～12時間未満 ⑥12時間～16時間未満 ⑦16時間～24時間未満 ⑧24時間

注 6：①0時間または不明 ②2時間未満 ③2時間～4時間未満 ④4時間～8時間未

満 ⑤8時間～12時間未満 ⑥12時間～16時間未満 ⑦16時間～24時間未満 ⑧24時間

３．暖房需要の CO_2 排出への影響

3.1　暖房の利用実態

暖房における利用実態を大まかに把握するため，暖房機器の所有有無や最頻使用器具について集計を行った．所有世帯数について集計した結果，灯油ストーブ類が，北海道では 70%，東北では 75%，北陸では 60%と，寒冷な地域で降雪量が多い地域で値が大きくなっていることを確認した．また，最頻使用暖房器具の項目からはどの暖房器具を主軸に暖を取っているのかが分かるが，集計の結果，北海道・東北・北陸の３地域は灯油ストーブの割合が 40%以上と大きく，寒冷地の多くが灯油を暖房の主軸においた生活習慣であることを確認した．

3.2　暖房のエネルギー別 CO_2 排出量の推計

家庭 CO_2 統計にはエネルギー別，用途別，それぞれの CO_2 排出量は推計されているものの，暖房用途のエネルギー別の CO_2 排出量は推計されていない．そこで，環境省の推計手順に従って，エネルギー別の CO_2 排出量から暖房による排出量を再現することにした．

用途別エネルギー消費量の推計手順については，環境省によって公開されている（以下，当該資料をマニュアルと呼ぶ）[9]．主な再現の流れだが，基本的には，まずタイプ分類を行い，次に暖房以外の用途について CO_2 排出量を推計し，最後に全体の CO_2 排出量からそれを引くことで，暖房による CO_2 排出量を求める．なお，ここでいうタイプとはマニュアル中の「用途推計タイプ」を指しており，エネルギー消費機器の使用有無によって分類するものである．

3.3. 推計結果

エネルギー別の CO_2 排出量からそれぞれ暖房分を推計後，推計したものを合計し，環境省が公表している暖房による CO_2 排出量（以下，公表値と呼ぶ）とどれだけ一致するかを確認した（**図１**）．推計値と公表値との相関係数は 0.95 となっており，ほぼ公表値と一致していた．また全体的に推定値が公表値より小さくなった．誤差の原因は２点考えられる．1 点目は日平均気温のデータの違いである．2 点目はタイプ分類方法の違いである．どちらもマニュアルに具体的な記述がないため発生しており，本研究では改善が難しいと判断した．

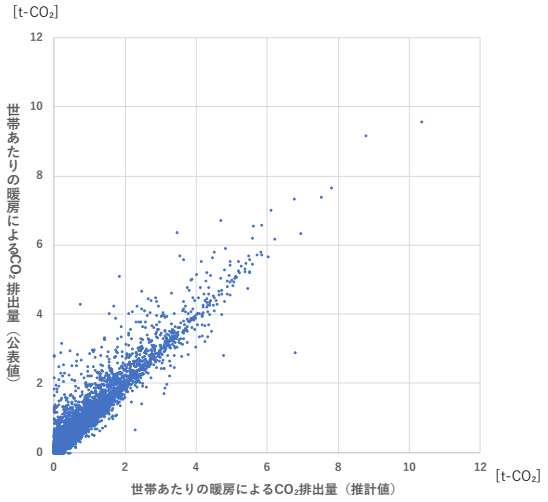

図１　暖房による CO_2 排出量の統計値と推定値の相関

3.3　CO_2 排出削減シミュレーション

前節で推計した暖房によるエネルギー別の CO_2 排出量を用いて，以下の３ケースの方針でシミュレーションを行った．

ケース１：灯油暖房を全てエアコンに代替

ケース２：ガス暖房を全てエアコンに代替

ケース３：エアコンを最新の省エネ性能に代替

シミュレーションの結果を**図 2** に示す．ケース１の灯油暖房をエアコンに替えた場合が最も削減割合が大きい．また全ケースを合わせて CO_2 削減量を計算した場合，元の CO_2 排出量から 47.70%削減できることが分かった．

また地域別に削減効果を比較する．灯油からエアコンへの代替のケース 1 では**図 3** のように寒冷地での削減効果が高い．ガスからエアコンへの代替のケース 2 では**図 4** のように寒冷地とともに都市部での削減効果が見られる．エアコンの買い替えのケース 3 では**図 5** のように大きな削減効果はないものの，地域差なく概ね 5%程度の削減が見込まれる．またすべてのケースを実施した場合の**図 6** より，東北においては 1200MJ 前後，北海道では 2000MJ 前後の CO_2 排出削減量が見込まれており，これらの地域の削減ポテンシャルが高い．また，**図 6** より，どの地域でも約 40%，東北・北海道においては約 60%の CO_2 排出量が削減されることがわかる．寒冷地における灯油暖房の電化はもちろんだが，全国的に電化やエアコンの性能向上を図っていく重要性があるといえるだろう．

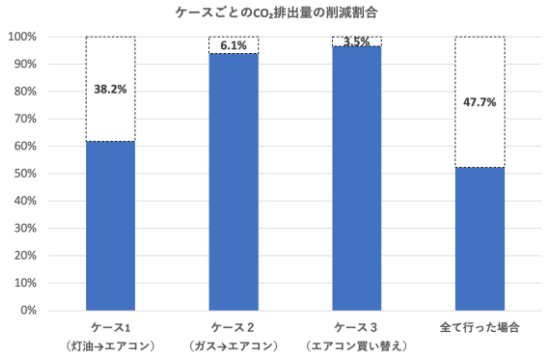

図 2　シミュレーションでの CO_2 排出削減率

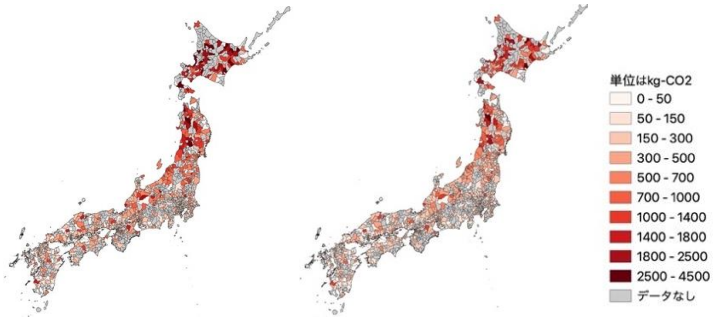

図 3　ケース 1 の実行前の CO_2 排出量（左）と実行後の CO_2 排出量（右）

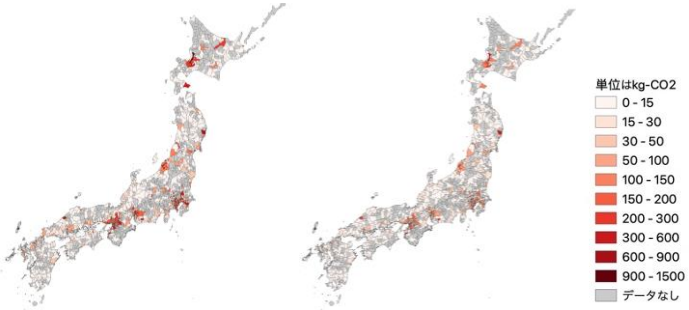

図 4　ケース 2 の実行前の CO_2 排出量（左）と実行後（右）の CO_2 削減量

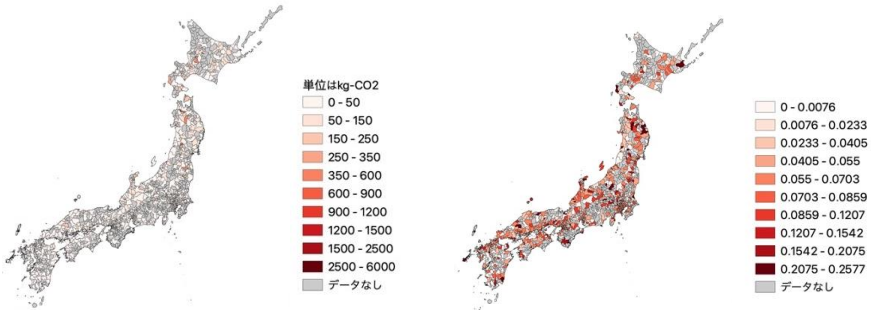

図 5　ケース 3 の実行前の CO_2 排出削減量（左）と削減割合（右）

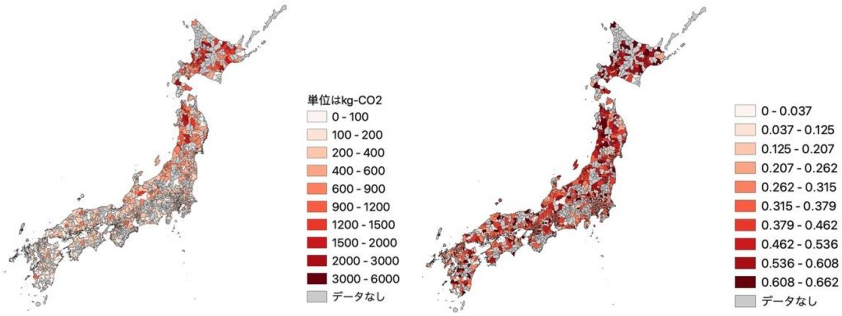

図 6　全ケースの実行時の CO_2 排出削減量（左）と削減割合（右）

4. おわりに

本研究では，「家庭部門の CO_2 排出実態統計調査」の２次データを利用して，ペットが家庭の電力消費に与える影響を調べた．結果，ペットを所有することで家庭のエネルギー消費は約 1.2GJ 増えることが分かった．また犬や猫のペットを所有していることは，冷暖房の使用時間を高めることで間接的に電気の消費量を高めていると考えられる．今後は犬猫の所有者に対して，無意識的な増加が懸念される冷暖房使用時間の節約を呼びかけていくことが効果的である可能性が高い．今後ペット所有者の節電対策の動向に着目したい．

また暖房によるエネルギー別の CO_2 排出量を再現した．結果，環境省が公表している暖房による CO_2 排出量と推計値との相関係数は約 0.95 となり，ほぼ一致していることを確認した．次に，灯油暖房をエアコンに置き換えるケース，ガス暖房を置き換えるケース，エアコンを最新のものに買い換えるケースの３つのケースでシミュレーションを行った．全ケースを実行することで，全国で約 47.7% の CO_2 排出量を削減できることが示され，日本が掲げる 46%の削減目標に向けて，その実現可能性が示唆された．

謝辞

本学会の家庭 CO_2 統計利用研究会のメンバーとして，環境省の家庭部門の CO_2 排出実態統計調査の統計データを利用した．関係各位に謝意を表する．なお，生データを取扱いは，本研究会のメンバーでない著者の齊藤を除いた共著者でおこなった．

参考文献

1) 環境省， “地球温暖化対策計画（令和 3 年 10 月 22 日閣議決定）”, 2021, : https://www.env.go.jp/earth/ondanka/keikaku/211022.html.
2) 環境省_家庭部門の CO_2 排出実態統計調査（家庭 CO_2 統計）. http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/kateiCO2tokei.html （2022 年 5 月 22 日閲覧）
3) Iwafune, Y., & Yagita, Y. (2016). High-resolution determinant analysis of Japanese residential electricity consumption using home energy management system data. *Energy and Buildings*.
4) 家庭動物等の飼養及び保管に関する基準（平成 14 年環境省告示第 37 号）. https://www.env.go.jp/nature/dobutsu/aigo/2_data/laws/nt_r02_21_1.pdf（2022 年 5 月 27 日閲覧）
5) 資源エネルギー庁, “「令和 3 年度エネルギーに関する年次報告」（エネルギー白書 2022）”, 2021, : https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2022/html/.
6) Kavousian,A, Rajagopal,R, and Fischer,M, “Determinants of residential electricity consumption: Using smart meter data to examine the effect of climate, building characteristics, appliance stock, and occupants' behavior”, ENERGY, 55, pp. 184-194, 2013.
7) 石田正樹, 安藤元気, 村川三郎, 西名大作, “広島地域の全電化住宅を対象とした冷暖房電力消費量の影響要因に関する研究”, 日本建築学会環境系論文集, 78 巻 687 号, pp. 427-435, 2013.
8) 石河正寛, 松橋啓介, 金森有子, 有賀敏典, “家庭 CO_2 統計に基づく全国 10 地方別の排出要因分析と市町村別世帯あたり排出量の推計 ―全国試験調査結果を用いて―”， 土木学会論文集 G（環境）， 74 巻 6 号, pp. 193-201， 2018.
9) 環境省， “平成 31 年度 家庭部門の CO_2 排出実態統計調査 用途別エネルギー消費量の推計手順”， : https://www.env.go.jp/content/900440781.pdf

家庭 CO_2 排出実態統計調査を用いた電力会社選択に影響を及ぼす要因分析

Analysis of Factors Affecting the Selection of Electricity Providers using Survey Data on Household Carbon Dioxide Emissions

姜 凱 耀 *・ 川 浦 脩 弥 *
Kaiyao Jiang　　Shuya Kawaura

Abstract
The deregulation of the electricity retail market in Japan has led to a transformation in the landscape of consumer choice, enabling customers to select between the former general electricity utilities and the new power producer suppliers (PPS). This has led to increased switching between electricity providers, making the electricity retail market more competitive. Understanding the factors that influence consumer decision-making in electricity company selection is vital for electricity retailers aiming to optimize their marketing strategies and enhance customer satisfaction. In this paper, we present a study that conducts a logistic regression model to predict power company choices between the former general electricity utilities and the new power producer suppliers (PPS) and uncover underlying dimensions of consumer behavior, using survey data of about 10,000 households in Japan. By using variables and interpreting the model from perspective of demographic attributes, home appliance ownership, and lifestyle behaviors, this study provides valuable insights for electricity retail companies, enabling them to develop effective strategies.

Key words *:* Electricity Retail Market, Consumer Behavior, Power Company Selection, PPS

1．はじめに

2016 年 4 月から始まった電力の小売全面自由化により，電力小売業界への参入が全面的に緩和され，全国各地にある大手電力会社が発電から小売までを独占した局面が変わった．これにより，すべての消費者が電力会社及びメニューを自由に選択できるようになり，日本の電力小売業界は劇的な変化を遂げてきた．このような市場構造の変化は，日本における小売電気事業者に新たな機会や課題をもたらしている．

電力自由化で新しく小売事業に参入してきた新規参入者（以下略称：新電力）は，革新的な料金メニュー，付加価値サービス等を提供して顧客を惹きつけている．その一方，旧一般電気事業者（以下略称：旧一電）は，これまで長時間をかけて築き上げたてきた発電や供給のインフラストラクチャー，及びブランド認知度を通じて，多くの既存顧客の維持に成功した．**図 1** は小売電気事業者の登録，休止，廃止等件数の推移であり，2022 年 1 月まで登録件数は増加傾向にあったが，その後減少に転じた．その一方，足元では事業休止・廃止等の件数は増加しつつある．電力自由化以来，電力契約先のスイッチング件数（**図 2**）は増加し，月間約 30 万件で安定している．その中，旧一電から新電力への変更だけではなく，新電力から旧一電への変更や新電力から新電力への変更の割合にも増加傾向が見られる．小売電気事業者数の変動やそれに伴うスイッチングの活発は，日本における電力小売市場のダイナミックな変化や競争の激しさを反映している．

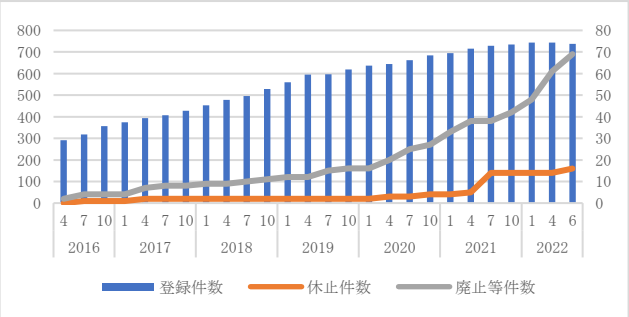

図 1　小売電気事業者登録，休止，廃止等件数の推移 [1)]

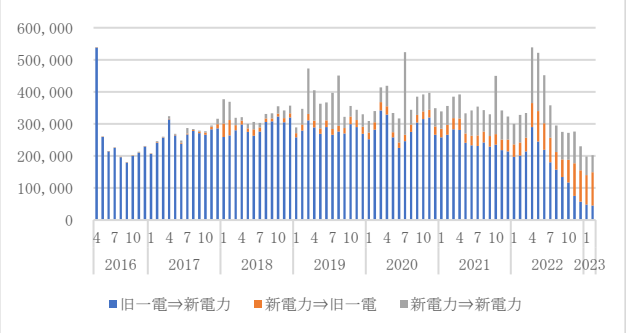

図 2　電力契約先スイッチング数の推移 [2)]

このような背景の下で，電力会社選択における消費者の意思決定に影響を与える要因を理解することは，マーケティング戦略の最適化や顧客満足度の向上を目指す小売電気事業者にとって極めて重要である．本研究は，環境省が実

*Corresponding author; Kaiyao Jiang,
E -mail: k.jiang@looop.co.jp
株式会社 Looop 戦略本部 GX 推進部
〒110-0005 東京都台東区上野 3-24-6（上野フロンティアタワー）

施している「家庭部門の CO_2 排出実態統計調査」（以下略称:家庭 CO_2 統計）[3]の令和 2 年度データを用いて，旧一電と新電力の間の消費者の選択を予測し，電力会社選択（旧一電と新電力の間）における消費者の意思決定を促す要因を明らかにすることを目的としている．家庭 CO_2 統計を活用した CO_2 排出量・エネルギー消費量に関する一連の研究の蓄積 [4~5]があり，本研究は新電力に新たな焦点を当てたことを通じて，小売電気事業者に，顧客をより深く理解し，顧客満足度を向上させ，競争的市場でのマーケティング戦略を最適化するための洞察を提供することを目指す．

なお，本稿では 2 章で本研究の分析手法を説明し，3~4 章では分析結果を示し，5 章で考察や今後の課題を述べる．

２．分析手法

2.1 分析データ

家庭 CO_2 統計は全国における 13,000 世帯（店舗併用住宅等を除く世帯）を無作為に抽出した調査であり，調査項目にはデモグラフィック属性，住宅形態，エネルギー使用量，家電・機器の保有及び利用状況等が含まれている．本研究は令和 2 年度の調査の個票データを用いて分析を実施した．

2.2 分析モデル

先行研究 [4~5]には，家庭 CO_2 統計データを活用した CO_2 排出量・エネルギー消費量や機器保有状況・製造時期の予測及び影響を及ぼす要因を考察した研究がある．その中で，重回帰モデルや多項ロジスティック回帰モデルが良く活用され，要因分析についてはモデルの係数やその有意性に焦点が置かれている．

本研究では，あるイベントの起こる確率 p（新電力と契約）を予測する二値ロジスティック回帰モデル(式(1))を採用し，同様に偏回帰係数の数値や有意性を用いて電力会社選択に影響を与える要因を分析した．なお，本研究では python を用いてモデルを構築した．

$$\log\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_n x_n \quad (1)$$

一連の欠損処理や説明変数設計を実施した上で，最終的にモデル投入されるサンプルは，旧一電サンプルが 6,763 件，新電力サンプルが 1,305 件であり，不均衡サンプルデータである．不均衡サンプルを用いてモデルを構築した場合，すべてのデータを負例（旧一電）と予測して，正答率を上げることができるが，本来研究目的である正例（新電力）を精度よく予測することが困難である．この課題を解決するために，誤差関数にクラスの重みづけを加えて，正例を誤分類した場合のペナルティを重くする手法が良く使われている．式(2)(3)にて python の機械学習ライブラリである scikit-learn のデフォルトの重みづけアルゴリズムを示している．本研究では，まずこのアルゴリズムを用いて両クラスの重みを計算した上で，算出された重みの比を縮小・拡大しつつ，複数パターンの重みを作成して，GridSearch を活用して適切な重みを決めた．

$$w_0 = \frac{n\ of\ all\ samples}{2 \times n\ of\ negatibe\ class} \quad (2)$$

$$w_1 = \frac{n\ of\ all\ samples}{2 \times n\ of\ positive\ class} \quad (3)$$

2.3 説明変数の選択

多数の調査項目から選択した説明変数，及びその変数設計の違いによってモデルの予測精度が大きく変わることがある．また，多変量解析において，説明変数同士に強い相関があった場合，モデルの信頼性が低くなる可能性もあり，説明変数間に多重共線性が存在すると言われる．多重共線性を排除するために，良く利用される指標としては，変数間の相関係数や VIF（分散拡大係数）がある．分散拡大係数は説明変数のうち 1 つを目的変数とし，その他の説明変数を説明変数とした重回帰分析の決定係数を用いて計算され，一般的に 10 を超えると多重共線性の問題が生じると判断される．本研究では先行研究で利用されるアプローチ [6]に倣いつつ，統計検定や多重共線性判定の組み合わせで最終的に利用する説明変数の選定を行った．

具体的には，まず回答が欠損・不明の数が全体の 1 割を超える項目を除外した．その次に，数値項目に対して 2 群の母平均の差の検定を行い，5%水準で有意性がある項目を抽出した．カテゴリー変数に対して独立性の検定を実施し，同様に 5%水準で有意性がある項目を抽出した．ここではダミー変数の増加につれて多重共線性のリスクも上がるため，選択肢に大小関係があるカテゴリー変数を数値変数として扱った．最後に多重共線性の判定を行い，相関係数の絶対値が 0.7 以上となる説明変数の間に，欠損・不明の数が多い片方を除外した．そして VIF が 10 を超える変数を除外した．

統計検定の対象及び採用した説明変数の一覧を**表 1** に整理する．説明変数列の×は，当項目は統計検定で 5%水準での有意性が確認されたが多重共線性が生じるため最終的にロジスティック回帰モデルに投入されなかったことを意味している．

後続の章ではデモグラフィック属性，住宅形態，エネルギー消費，機器・家電設備の保有，行動といった 5 つの分類の視点から統計検定結果（一部抜粋）及びモデルに関する分析結果を説明していく．

表 1　統計検定対象及び説明変数採用状況

（有意水準:** < 0.01, * < 0.05）

分類	要因	補足	統計検定	説明変数
デモグラ	地方区分		**	○
	都市階級		**	○
	世帯高齢者比率	64歳以上人数が世帯人数に占める比率	**	○
	年間世帯年収		**	○
住宅形態	建て方	0:集合，1:戸建て	**	○
	建築時期		**	○
	所有関係	0:持ち家ではない，1:持ち家	*	×
	延べ床面積		**	×
	居室数		**	×
消費	年間使用最大エネルギー種別	電気/都市ガス/LPガス/灯油	**	○
	年間最大使用用途	暖房/冷房/給湯/台所/照明その他/車	**	○
設備	PV設備	0:使用していない，1:使用している	**	○
	テレビ台数		**	○
	テレビ画面サイズ	平均	**	×
	冷蔵庫台数		**	○
	冷蔵庫内容積	平均	**	○
	冷凍冷蔵庫の比率		**	×
	洗濯・衣類関連家電	使用種類数	*	×
	トイレ・浴室関連家電	使用種類数	**	○
	リビング関連家電	使用種類数	**	○
	インターネット関連家電	使用種類数	**	×
	LED照明の数		**	○
	最も使用時間の長い照明	居間	**	×
	自動車の使用有無	0:使用なし，1:使用あり	**	×
	ガソリン車の使用台数	ハイブリッド含む	**	○
	家庭用蓄電システム	0:使用なし，1:使用あり	**	○
	オール電化フラグ	0:オール電化ではない 1:オール電化	**	○
行動	省エネ行動実施数	1:実施数の分布の75%ile以上	**	○
	省エネ行動実施の理由数	1:理由数の分布の75%ile以上	**	○
	1台目エアコンの使用時間	夏季平日	**	×
	居間の照明使用時間	平日	*	○
	暖房温度の設定有無	0:しない，1:温度設定する	**	○
	1週間の平均的な入浴状況	浴槽に湯をはる日数	**	○
	1週間の平均的な入浴状況	シャワーだけを使用する日数	**	×
	今冬の台所のお湯の使い方		**	○

3．統計検定結果

3.1 デモグラフィック属性

デモグラフィック属性については，都市階級と世帯の高齢者比率を抜粋して母平均の差の検定の結果を**表 2** に示す．

表 2　都市階級と高齢者比率の母平均の差の検定

	新電力	旧一電	有意確率p値
都市階級	1.61	1.83	0.000
高齢者比率	0.29	0.34	0.000

都市階級は 1~3 の選択肢からなる設問であり，数値が大きくなるにつれて都市規模が小さくなる．都市規模が小さいほど消費者は旧一電を選択する傾向が見られた．高齢者比率は世帯毎の 64 歳以上の人数と居住人数の割り算で算出し，**表 2** で確認した通り，新電力群の高齢者比率の平均が低く，2 群による高齢者比率の平均の差が認められた．

3.2 住宅形態

表 3 に示しているように，旧一電群のうち，戸建ての消費者の割合が比較的に多い．そして，旧一電群の住宅延べ床面積や居室数が比較的に高い水準にあることは**表 4** から確認できる．建築時期は数値が大きくなるにつれて建築年数が短くなるように設定され(1:1970 年以前~9:2016 年以降)，建築時期が短いほど新電力を選ぶ傾向を示している．

延べ床面積, 居室数については多重共線性が生じるため，最終的にモデルに投入しなかったが，建築時期や建て方と強く相関しているという見方ができる．

表 3　建て方の独立性検定

度数(比率)	新電力	旧一電	有意確率p値
戸建て	833(53.2%)	5563(65.8%)	0.000
集合	732(46.8%)	2887(34.2%)	

表 4　建築時期・面積・居室数の母平均の差の検定

	新電力	旧一電	有意確率p値
建築時期	4.73	4.5	0.000
延べ床面積	97.48	110.03	0.000
居室数	4.55	4.93	0.000

3.3 エネルギー消費

図 3 は，新電力と旧一電群別の年間電力使用量(GJ)の箱ひげ図であり，新電力群の年間電力使用量が旧一電群に比べて少ない傾向が見られる．その差は，戸建てのほど，もしくは世帯人数が多いほど顕著になりつつある．

なお，本研究ではエネルギー使用全体における電力の相対的な消費状況に着目し，年間電力使用量の絶対値ではなく，「年間使用量が最大のエネルギー源種別」というカテゴリー変数を作成した上でモデルに投入した．

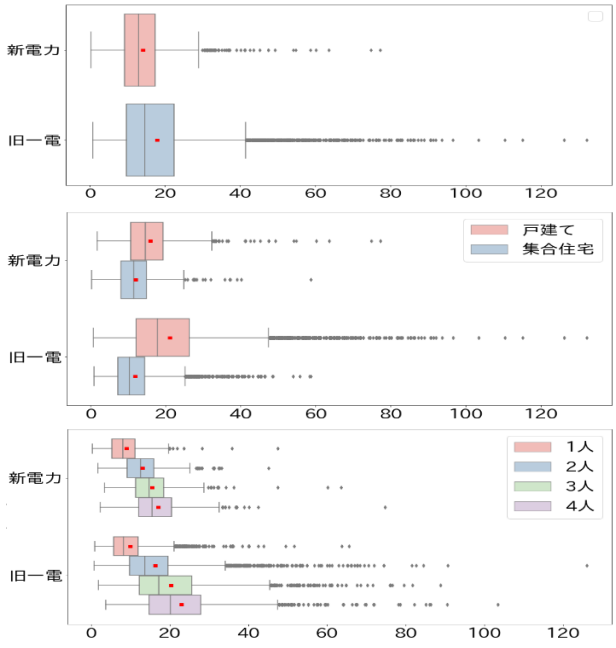

図 3　年間電力使用量(GJ)の箱ひげ図

3.4 機器・家電設備の保有状況

表 5 からは，旧一電群における PV 所有やオール電化需要家比率が比較的に高いことを確認できる．なお，本研究では電力以外(ガス・灯油等)のエネルギー源の家電製品を利用していない場合は，オール電化世帯として判断した．

表 5　PV 機器保有，オール電化に関する独立性の検定

度数(比率)	新電力	旧一電	有意確率p値
PV使用あり	45(2.9%)	771(9.1%)	0.000
PV使用なし	1520(97.1%)	7679(90.9%)	
度数(比率)	新電力	旧一電	有意確率p値
オール電化	17(1.1%)	1346(15.9%)	0.000
オール電化ではない	1548(98.9%)	7104(84.1%)	

生活関連家電製品については，洗濯・衣類関連，トイレ・浴室関連，キッチン関連，リビング関連，インターネット関連といった 5 つのカテゴリーに分けて，各カテゴリーにおいて使用する家電種類の数に対して母平均の差の検定を行い，その結果を**表 6** に示している．キッチン関連(食器乾燥機，電子レンジ，電気炊飯器等)については，新電力群と旧一電群による平均使用種類数の相違が認められなかった．洗濯・衣類関連(洗濯機，衣類乾燥機等)については，旧一電群の平均使用種類数が軽微に多く，5%有意水準で有意性を確認できた．その一方，トイレ・浴室関連(暖房便座，温水洗浄便座等)，リビング関連(電気ポット，加湿器，空気清浄機等)及びインターネット関連(パソコン，インターネット関連モデム等)については，新電力群の平均使用種類数が比較的に多く，1%有意水準で有意性が認められた．

表 6　生活家電使用種類数の母平均の差の検定

	新電力	旧一電	有意確率p値
洗濯・衣類関連使用家電種類数	1.05	1.07	0.015
トイレ・浴室関連使用家電種類数	1.17	1.06	0.000
キッチン関連使用家電種類数	2.37	2.34	×
リビング関連使用家電種類数	1.57	1.44	0.000
インターネット関連使用家電種類数	2.52	2.27	0.000

なお，トイレ・浴室関連及びインターネット関連使用種類数について多重共線性が生じ，電力消費量や世帯構成(高齢者比率)と強く相関している可能性が示唆される．

3.5 行動

省エネ行動の実施状況に関する設問(設問例:テレビの明るさを抑えている)に焦点を当てて，「実施している」という回答の合計数を「省エネ行動の実施数」として扱い，その分布を**図 4** に示す．新電力群が旧一電群に比べて省エネ行動の実施数が比較的に多く，両群における差異が認められた．

その一方，省エネの意識(設問例:地球温暖化対策のため，省エネを心がけている方)については，「いる」という回答の合計数を「省エネ行動実施の理由数」として扱い，その分布を**図 5** にて表す．旧一電群の平均が軽微に高い傾向にあったが，母平均の差の検定で有意な差が認められなかった．本研究では，省エネ行動の実施数と省エネ行動実施の理由数について，それぞれの分布の 75%ile 点によってカテゴリー変数に変換した上でモデルに投入した(独立性の検定で有意差が認められた)．

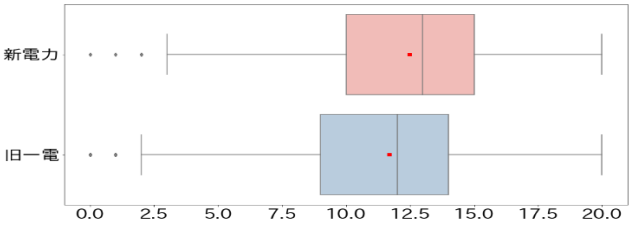

図 4　省エネ行動の実施数の箱ひげ図

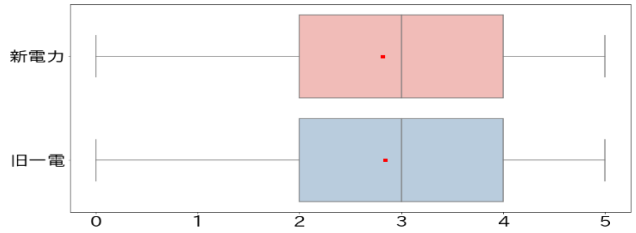

図 5　省エネ行動実施の理由数の箱ひげ図

4．分析結果

この章では，ロジスティック回帰モデルの結果に基づいて各変数の影響度や電力会社選択に影響を及ぼす要因について考察する(有意水準:***<0.001，** < 0.01，* < 0.05)．ロジスティック回帰モデルの構築にあたっては，対象サンプルの 80%をランダムに抽出してモデルの学習を行い，その後残りの 20%のデータを用いてテストを実施した．正例(新電力)予測の再現率が 75%，適合率が 36%，モデル全体の正解率が 74%，AUC 値が 0.81 であった．

4.1 デモグラフィック属性

表 7 はデモグラフィック属性に関する説明変数の係数及び有意性を示している．地方区分については，関東及び近畿の偏回帰係数が正の値であり，その他地域の偏回帰係数が負の値であった．かつ都市階級の偏回帰係数が負の値であるから，都市規模が小さいほど，需要家が旧一電を選びやすくなると言える．その理由は，関東や近畿の大都市を中心に，新電力の選択肢が多い，その他エリアにおいては，都市規模が小さくなるにつれて電力会社の選択肢が限られていることに起因していると推測される(**図 6**)．

また，世帯高齢者比率の偏回帰係数が負の値であり，高齢者のほど，旧一電を選ぶ傾向を示している．そして，**表 6** でも示したように，インターネット関連の設備への関心が高い層が新電力を選ぶ傾向が見られたため，新電力の多くは，インターネット等の媒体を通じて若者消費者を比較的に惹きつけていると推察される．なお，世帯年間年収に

よる電力会社選好の違いは認められなかった．

表 7　デモグラフィック属性関連変数の偏回帰係数

説明変数	補足	係数	有意性
地方区分	北海道	0	－
	東北	−0.37	***
	関東甲信	0.09	×
	北陸	−0.45	***
	東海	−0.16	***
	近畿	0.13	**
	中国	−0.34	***
	四国	−0.37	***
	九州	−0.19	***
	沖縄	−0.29	***
都市階級		−0.13	***
世帯高齢者比率	64歳以上人数が世帯人数に占める比率	−0.09	**
世帯年間年収		−0.05	×

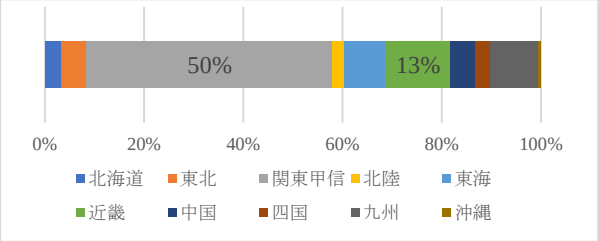

図 6　エリア別の小売電気事業者登録数 [7)]

4.2 住宅形態

住宅形態(**表 8**)については，建て方の偏回帰係数が負の値であり，比較的に電力消費量が多い戸建て需要家等が旧一電を選択しやすい傾向にあると推測できる．また，建築時期の偏回帰係数が正の値となり，建築年数が短いほど，新電力を選ぶ傾向が示唆された．この一因として，転居のタイミングが近年であればあるほど，新電力の選択肢が多くなることが挙げられる．旧一電を選ぶ需要家ほど，建築された時点がまだ電力自由化されていなかった時期のため，そのまま旧一電を選び続けていると考えられる．また，このことは建築年数が居住年数とみなせると考えると，居住年数が長いほど高齢の需要家である可能性が高いと考えられ，先述の結果とも整合する．

表 8　住宅形態関連変数の偏回帰係数

説明変数	補足	係数	有意性
建て方	0:集合，1:戸建て	−0.08	*
建築時期		0.15	***

4.3 エネルギー消費

エネルギー消費(**表 9**)については，年間使用量の最大エネルギー種別が電気以外の灯油/都市ガス/LP ガスであれば，偏回帰係数が正の値であり，新電力を選びやすい傾向が認められた．これは新電力群の電力消費量が旧一電群に比べて低いことによってもたらされた可能性がある．また，エネルギーの使用用途(**表 9**)については，年間最大使用用途が給湯/車/台所であれば，偏回帰係数が負の値であり，旧一電を選びやすい傾向にある．旧一電群の多くは，家族人数が多い等の影響で年間通して給湯等によるエネルギー消費が多いことを意味している．

旧一電群の多くは電力消費量が多い世帯であり，消費量が低い世帯にとっては新電力のサービスがより魅力的，もしくは価格優位性が出やすい可能性があると考えられる．

表 9　エネルギー消費関連変数の偏回帰係数

説明変数	補足	係数	有意性
年間使用最大エネルギー種別	電気	0	－
	灯油	0.14	***
	都市ガス	0.31	***
	LPガス	0.14	***
年間最大使用用途	照明家電製品他	0	－
	暖房	−0.06	×
	給湯	−0.14	***
	車	−0.09	*
	台所	−0.07	*
	冷房	−0.11	×

4.4 機器・家電設備の保有状況

表 10 に機器･家電設備の保有状況に関する説明変数の偏回帰係数及びその有意性を整理する．

表 10　機器・家電設備関連変数の偏回帰係数

説明変数	補足	係数	有意性
PV設備	0:使用なし，1:使用あり	−0.21	***
テレビ台数		−0.07	×
冷蔵庫台数		0.1	**
冷蔵庫内容積	平均	0.1	**
トイレ・浴室関連家電	使用種類数	0.08	*
リビング関連家電	使用種類数	0.08	**
LED照明の数		0.13	***
ガソリン車の使用台数	ハイブリッド含む	−0.09	*
家庭用蓄電システム	0:使用なし，1:使用あり	0.02	×
オール電化フラグ	0:オール電化ではない 1:オール電化	−0.92	***

オール電化フラグの偏回帰係数が負の値であり，電力消費量が多いオール電化需要家が旧一電を選ぶ傾向が見られた．太陽光発電設備については，PV 保有が旧一電を選択しやすく，偏回帰係数が負の値であった．これは，旧一電群が新電力群に比べて，電力消費量が多い戸建て(**表 8**)の家庭が多く，比較的に太陽光発電設備の導入を検討しやすいことを意味し，前述のデモグラフィック属性，住宅形態とエネルギー消費関連の考察とも一致している．

同様に，ガソリン車の使用台数の偏回帰係数も負の値となり，係数の絶対値が低い水準であり，比較的に影響度が低いと示唆された．その一方，トイレ・浴室関連とリビング関連家電製品使用種類数，LED 照明数の偏回帰係数が小さい正の値であった．

以上を踏まえて，旧一電群に世帯人数が多く電力消費が多い核家族や大家族世帯の割合が高く，逆に新電力は電力消費が低い若者世帯を惹きつけていると推測できる．

冷蔵庫については，冷蔵庫台数や内容積の偏回帰係数が想定とは逆に正の値となるが，いずれも変数の絶対値が小さく，影響が限定的と考えられる．

4.5 行動

行動については，偏回帰係数が有意にかつ大きく影響を与えるのは省エネ行動の実施数である．省エネ行動実施の理由数については，偏回帰係数の有意性が認められなかった(**表 11**)．これは旧一電群における省エネ行動実施の理由数の平均が軽微に高いが，新電力群が積極的に省エネ行動

を実施していることを示している．そして，**表 10** の結果とあわせると，新電力群が比較的に電力消費量の低い生活家電を利用することや省エネ製品を意識していることが推察できる．

表 11 行動関連変数の偏回帰係数

説明変数	補足	係数	有意性
省エネ行動	1:実施数の分布の75ile以上	0.11	***
省エネ行動実施の理由数	1:理由数の分布の75%ile以上	-0.02	×
居間の照明使用時間	平日	-0.04	×
暖房温度の設定有無	0:しない, 1:温度設定する	0	×
1週間の平均的な入浴状況	浴槽に湯をはる日数	0	×
今冬の台所のお湯の使い方		×	*

５．おわりに

5.1 まとめと考察

変動が激しい競争的な電力小売業界における，需要家の属性とエネルギー消費等データを用いた顧客の選好や行動に関する分析と議論がまだ不十分な状況である．そこで本研究は，旧一電と新電力の選択に焦点を当てて，影響を及ぼす要因を解明することを目的とした上で分析を実施した．

分析では，令和 2 年度家庭 CO_2 統計の調査データを用いて，統計検定による実態調査及び説明変数の設定と選定を行い，電力会社(旧一電か新電力)を予測するロジスティック回帰モデルを構築することで，各説明変数の影響及びその有意性について分析した．統計検定及び回帰モデルの分析結果から得られた考察を以下に示す．

(1)電力会社の選択がその際の選択肢の多さに左右され，関東や近畿エリア，もしくは新電力が積極的に事業を展開している都市部においては，新電力のシェアも高い．かつ，建築時期が短いほど新電力を選びやすい傾向にあった．

(2)新電力の多くは，インターネット等を通じて事業戦略を展開し，比較的に若者を惹きつけていると推察された．その一方，高齢者が旧一電を選びやすい傾向にあった．

(3)旧一電群の特徴としては，戸建て住宅，PV 設備所有，オール電化住宅等が上げられる．この一因として，旧一電が過去にオール電化向けに料金が安いメニューを提供したことが考えられる．一方，新電力群は比較的に消費が小さい生活家電や省エネ製品等を利用している．

(4)電力消費量が多いほど，旧一電を選ぶ傾向が見られた．電力消費量が少ない需要家にとっては，新電力の料金プランやサービスが旧一電に比べてより魅力的と考えられる．

(5)省エネの意識状況にもかかわらず，実際に省エネ行動を積極的に取り組んでいる需要家が新電力を選びやすいと示唆された．省エネ行動が新電力の料金プランやサービスとの相性が良い，もしくは新電力のサービスコンセプトが省エネ重視の需要家を惹きつけている可能性が考えられる．

5.2 今後の課題

今後の課題としては，交絡要因等の説明変数の設計やその他分類モデルによる予測精度の向上が挙げられる．また，各種説明変数の影響による要因分析だけではなく，電力会社選択やエネルギー消費に関する一連の要素間の因果関係の推論が顧客行動の理解にとって不可欠である．そして，新電力または旧一電の中でも多様な料金メニューが増えてきたため，メニューの選好に関する調査や議論も望まれる．

家庭 CO_2 統計は顧客属性やエネルギー消費等の項目を網羅した，顧客分析にとって貴重なデータである．個票データを活用したより詳細な分析をこれからも検討していく．

謝辞

本研究は，環境省が実施している「家庭部門の CO_2 排出実態統計調査」を活用して実施しました．環境省，及びエネルギー・資源学会の「家庭部門の CO_2 排出実態統計調査利用研究会」の皆様に，謝意を申し上げます．

参考文献

1) 資源エネルギー庁；電力・ガス小売全面自由化の進捗と最近の動向について, (2023.1), p.8.

2) 電力・ガス取引監視等委員会；電力取引の状況. https://www.emsc.meti.go.jp/info/business/report/results.html (アクセス日 2023.6.5)

3) 環境省；家庭部門の CO2 排出実態統計調査(家庭 CO2 統計). https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/kateiCO2tokei.html (アクセス日 2023.6.5)

4) 石河正寛，松橋啓介，金森有子，有賀敏典；家庭 CO_2 統計に基づく全国 10 地方別の排出要因分析と市町村別世帯あたり排出量の推計−全国試験調査結果を用いて−，土木学会論文集 G(環境), 74(6), (2018), II_193-II_201.

5) 的場晴香，杉山みなみ，松岡綾子，下田吉之，山口容平；家庭 CO_2 統計とエネルギー最終需要モデルを用いた世帯間エネルギー消費差異の成因に関する研究，エネルギー・資源学会論文誌, 41(5), (2020), pp.209-218.

6) 羽原宏美；ロジスティック回帰分析による居間におけるエアコン・窓操作の生起要因に関する分析，日本建築学会環境系論文集, 80(715), (2015), pp.827-837

7) 資源エネルギー庁；登録小売電気事業者一覧. https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/summary/retailers_list/ (アクセス日 2023.6.12)

ロックイン問題を考慮に入れた 給湯分野の経済合理的な CO_2 削減可能性 ―地域性・世帯特性に着目した特徴分析―

Economically Rational CO_2 Reduction Potential in the Hot Water Sector considering Lock-in Issues: Feature Analysis Focusing on Regional and Household Characteristics

山田愛花*・西尾健一郎*
Manaka Yamada Ken-ichiro Nishio

Abstract
In this paper, we analyze the changes in water heater share necessary for achieving economical CO_2 emissions reduction while considering regional and household characteristics, then identify the required measures. To conduct a more realistic analysis, we consider not only the unit prices and running costs of water heaters but also the installation and replacement costs, as well as practical constraints during replacement. In addition, we take into account the variations in household hot water usage by utilizing individual data from household CO_2 statistics. As a result, we found that (1) the total cost associated with water heater decreased even when achieving significant CO_2 reduction compared to the current practice of water heater replacement. Furthermore, in the case of achieving significant CO_2 reduction, (2) for single-family homes, it is necessary to adopt economically viable water heater steadily and implement CO_2 reduction measures considering equipment lifespan. Additionally, (3) for multi-family homes, it is crucial to accelerate CO_2 reduction measures in new constructions, considering the building's lifespan. While the direction of necessary measures is the same, variations in regional characteristics are observed in terms of the required intensity and impact on costs.

Key words : Water heating, Electrification, Decarbonization, Energy cost, Residential sector

1．はじめに

1.1 背景

2050 年のカーボンニュートラルに向けて，需要側の各部門でも脱炭素化を進める必要がある．環境省(2023)[1]によると，給湯は家庭部門の CO_2 排出量のうち 24.8%を占め，照明・家電製品等に次いで 2 番目に多い．ヒートポンプ・蓄熱センター／日本エレクトロヒートセンター(2022)[2]の分析では，電力の脱炭素化が進む場合，ヒートポンプ給湯機等の電化給湯機器の導入を増やしていくことで CO_2 削減が可能としている．

一方，CO_2 削減を進めるうえで経済合理性の視点は欠かせない．特に，給湯のようなサービスを差別化しづらい機器では重要である．山田・西尾(2023)[3]では，一度採用された機器が交換時も再び採用されて長期にわたり固定化するロックイン問題を考慮し，費用を抑えた CO_2 削減可能性を分析した．使えるエネルギー源により道筋は異なる可能性があるため，本稿では山田・西尾(2023)[3]と同様の分析前提を用い，特に都市ガス地域と非都市ガス地域に着目して分析結果を確認する．

1.2 目的

本稿では，都市ガス地域と非都市ガス地域で，費用を抑えた家庭用給湯分野の CO_2 削減可能性を分析する．元・西尾(2011)[4]の分析枠組みをベースに，機器単価だけでなく新築設置や既築交換の工事費用も考慮した．加えて，環境省が平成 29 年度より実施している「家庭部門の CO_2 排出実態統計調査」(家庭 CO_2 統計)[5]を活用して実態に即した分析を行い，地域性や世帯特性ごとの違いも把握できるようにした．具体的には，平成 31 年度家庭 CO_2 統計の中から 8,075 世帯分の調査票情報(個票データ)を抽出して用い，建物種別・建築時期・地域・世帯人数によって機器シェアに違いが見られる現状や，同じ世帯人数でもそれぞれの給湯需要の大きさに応じて適した機器は異なる実態を考慮できるようにした．

分析では，下記 3 ケースで機器シェアを導出し，CO_2 排出量や費用を算出する．

- 機器採用の傾向が今後も変わらないとする「現状維持ケース」
- 費用最小となる機器が採用される「経済性重視ケース」
- 費用をできるだけ抑えながら 2050 年に 2020 年比で

*電力中央研究所　社会経済研究所
〒100-8126 東京都千代田区大手町 1-6-1（大手町ビル 7 階）
E-mail：omura3902@criepi.denken.or.jp

CO_2排出量を 80%削減する「80%削減ケース」

各ケースの比較により，必要な対策と費用を明らかにしていく．

2．分析手法

2.1 分析の全体像

分析の全体像を図 1 に示す．家庭 CO_2統計の個票データから，各世帯サンプルで給湯機器の設置や交換が必要となる機会(給湯機器設置・交換イベント，以下「イベント」と称する)を定義し，各世帯サンプルの情報，給湯機器の情報，エネルギーの情報と共に入力値として用いる．これらの入力値から，給湯機器関連費用や CO_2排出量を算出し，CO_2排出上限などの制約を満たすように 2020 年から 2070 年までの期間の総費用最小化問題を解き，イベントごとの機器シェアを決定する．

2.2 入力情報

分析に用いた入力情報を説明する．

(1)給湯機器設置・交換イベント

各世帯サンプルで給湯機器の設置や交換が必要となる機会であるイベント情報は，家庭 CO_2統計の個票データの建設時期情報をもとに作成した．具体的には，給湯機器の交換は 12 年ごと，家の建て替えは 48 年ごととして，各世帯サンプルで次に給湯機器が交換される時期と家が建て替えられる時期を与えた．個票データが約 8 千世帯分あるなかで，各世帯の建築年の候補が 5～50 あり，各建築年の前提ごとに 2020 年から 2070 年の間で 4～5 回の設置・交換イベントが発生するため，イベント数は約 40 万となる．イベント情報により，新築時に採用した機器がその後の機器選択の範囲を狭める，交換前後の機器の組み合わせにより機器交換の工事費用が変化するといった状況の反映が可能となる．

(2)世帯サンプル情報

家庭 CO_2統計の個票データから，世帯人数(1 人・2 人・3 人・4 人・5 人以上)や建物種別(戸建て住宅・集合住宅)，サンプルが日本全体の世帯のどれだけを包含するかの重みであるサンプル包含世帯数，給湯サービス需要を与えた．

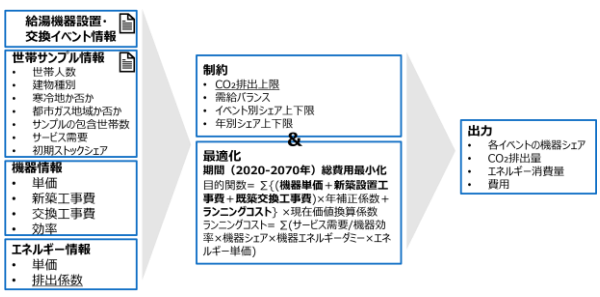

図 1　分析の全体像

本稿では，サンプル包含世帯数に追加して人口減少や単身世帯比率の増加を反映した重みも掛けて将来的な人口動態の変化を考慮し，調査回答時から世帯構成が変化する点に対応した．北海道と東北地方は寒冷地，そのほかは非寒冷地とした．都市ガス供給エリアの情報をもとに，都市ガスエリアか否かを特定した．初期ストックシェアは，各世帯サンプルの利用エネルギーと設置されている給湯機器の回答から，西尾・中野(2020)[6]の分類方法に基づき決定した．なお，太陽熱温水器は 0.93%，コージェネレーションは 0.72%と設置率が低いため，本分析対象からは除外した．家庭 CO_2統計では都市ガス給湯器，LPG 給湯器，石油給湯器が省エネ型(潜熱回収型)か従来型かのデータがないため，日本ガス石油機器工業会のガス石油機器の販売実績と予測データより，2009～2020 年の合計販売台数から省エネ型比率が都市ガスで 0.377，LPG で 0.237，石油で 0.111 と推計し，按分して初期ストックシェアとした．

(3)機器情報

分析では 4 つのエネルギー源(電気・都市ガス・LPG・石油)と 2 つの効率レベル(従来型・省エネ型)の組み合わせにより，8 種類の給湯機器を想定する．

給湯機器の単価は，8 種類の給湯機器で世帯人員数(1 人・2 人・3 人・4 人・5 人以上)ごとに与える．例えば，4 人用(460L)の電気省エネ型は 574,200 円である．なお，単価や以降で紹介する工事費用は税込み価格を用いた．

新築工事費用は，8 種類の給湯機器で建物種別(戸建て住宅・集合住宅)ごとに与える．新しく設置する機器の単価は含まず，機器搬入取り付け費のみとした．例えば，戸建て住宅への電気省エネ型の新築設置工事費は，134,200 円である．都市ガス給湯器に関しては，戸建て住宅と集合住宅それぞれの新築でのガス工事費用の 74.65%(世帯において主にガスが用いられると考えられる厨房と給湯のうち，給湯が占めるエネルギー消費から算出)を設置工事費用に加算した．

既築交換工事費用は，8 種類の給湯機器の交換前後の組み合わせごとに与える．例えば，電気式以外から電気省エネ型への交換は 321,200 円，電気従来型から電気省エネ型への交換は 280,500 円，電気省エネ型から電気省エネ型への交換は 235,730 円である．なお，既築時の交換の組み合わせとして，戸建て住宅の場合は，同じネルギー源の従来型から従来型，従来型から省エネ型，省エネ型から省エネ型への交換と，電気以外から電気省エネ型への交換(電化)を想定した．集合住宅の場合，後から基礎工事などを行うのが難しいため，電気従来型から電気省エネ型への交換や電化は想定しないものとした．つまり，集合住宅では，電気省エネ型は新築時に採用されなければその後も使われないと仮定した．

各給湯機器の効率は，ガス給湯器や石油給湯器はトップランナー値を採用した．電気省エネ型は省エネ性能カタログの値を採用し,寒冷地においては効率が低下するとした．例えば，2020 年の電気省エネ型の効率は非寒冷地で 3.2 ，寒冷地で 2.634 である．ヒートポンプ・蓄熱センター／日本エレクトロヒートセンター(2022)[2]にならい，電気省エネ型の効率は 2050 年まで線形に向上するとし，非寒冷地で 5.0，寒冷地で 4.434 を仮定した．

(4)エネルギー情報

エネルギー単価は，統一省エネラベルの目安光熱費の単価前提を用い,分析期間で一定とした.例えば電気単価は，寒冷地で 20 円/kWh，非寒冷地で 23 円/kWh である．この価格は電気給湯機器利用者の加入が想定される料金プラン(深夜電力が安価なプランやオール電化プラン)をもとに決められている．

各エネルギーの 2020 年の CO_2排出係数は，電気は電気事業者別排出係数(特定排出者の温室効果ガス排出量算定用)を，そのほかのエネルギー源は温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度の値を用いた．分析では，電気の CO_2排出係数の変化に着目し 2 つのシナリオを置いた．1 つ目の電気 BAU シナリオでは，2020 年の 0.126kgCO_2/MJ から 2030 年に 0.069kgCO_2/MJ まで削減し，以降は変化なしとした．2 つ目の電気 CN シナリオでは,2030 年に 0.069kgCO_2/MJ まで削減し，その後 2050 年 0kgCO_2/MJ へ向けて線形に減少するものとした．なお，電気が排出係数ゼロを達成する場合においても単価は変化しないものとした.都市ガス,LPG,石油についてはCO_2排出係数が 2020 年の値(0.050kgCO_2/MJ,0.059kgCO_2/MJ，0.068kgCO_2/MJ)のまま一定であるとした．他方で，参考として，電気は BAU シナリオで，都市ガスの排出係数を 2030 年に 2020 年比で 5%低減させ,その後 2050 年にゼロとなるように線形に減少する都市ガス CN シナリオの結果も算出し，結果にて考察を行った．

2.3 制約

分析では，機器シェアに対して制約を設けている．

(1)イベント別の機器シェア上下限

各世帯サンプルの給湯機器設置・交換イベントの機器シェアに対して満たすべき上下限制約を与える.具体的には,機器シェアの合計は 1，2020 年の機器シェアは初期ストックシェアと一致，都市ガス地域でない場合は都市ガス給湯器のシェアが 0 という制約である．また，イベントごとの交換前後の機器の組み合わせ(スイッチシェア)に対しても制約を設けている．例えば，既築集合住宅においては交換が容易ではないケースが多いため，本分析では集合住宅での電化や電気従来型から電気省エネ型へのスイッチシェアを 0 に制約している．

(2)年別の機器シェア上下限

各年の機器のストックシェアや，新たにその年から採用される機器のシェア(フローシェア)の前年との比率に対して制約を与えることで，従来型機器や石油給湯器の採用が今後増加しないことを反映する．

2.4 機器シェアの導出ケース

本分析では，現状維持ケース・経済性重視ケース・80%削減ケースの 3 つの方法で給湯機器シェアを求めた．

現状維持ケースでは，総費用最小化問題を解かずに現状の機器交換シェアで固定し，機器交換が現状維持ペースで進んだ場合の結果を算出する．具体的には，既築交換時は交換前と同様の機器を設置し，機器が固定化するロックインを考慮する．一方で，新築設置時には当該サンプルと同様のセグメント(世帯人数×建物種別×地域×都市ガス供給)の近年の機器交換シェアを代入し,既築交換時のロックインと同時に，建物ストックの入れ替わりに伴って近年の電気省エネ型給湯機器の採用が増加する傾向を反映する．

経済性重視ケースは,CO_2排出制約を与えずに,割引率 6%で期間の総費用を最小化し，機器交換が経済性重視で進んだ場合の結果を算出する．期間の総費用とは，2020 年から 2070 年までにかかった機器単価・新築設置工事費用・既築交換工事費用・ランニングコストの合計である．終端効果の影響を考慮するため，2070 年までで計算を行い，結果は 2050 年までをみている．

80%削減ケースは，2020 年の CO_2排出量を基準として，2050 年に 80%減となるよう，排出量に対して線形的(2030 年に 26.7%減，2040 年に 53.3%減)に強める制約を与えたうえで，割引率 6%で期間の総費用を最小化した．制約以下のCO_2排出量を条件としながら,できるだけ費用を抑えて機器交換が進んだ場合の結果を算出する．

現状維持ケースと経済性重視ケースは，機器シェアがCO_2排出係数に影響されずに 1 通りだけ求まる．よって，CO_2排出係数の想定が異なる場合の結果は CO_2排出量のみ再計算する．一方で，80%削減ケースは，機器シェアが CO_2排出係数の影響を受けて変化する可能性があるため,CO_2排出係数の想定ごとに機器シェアを求める必要がある．

３．結果

3.1 CO_2排出量

電気 BAU シナリオでの，都市ガス地域と非都市ガス地域に分けた CO_2排出量の結果を図 2(上)に示す．黒の実線は,地域内の CO_2排出量を 2020 年比で 80%削減した値を示す．電気 BAU シナリオでは,80%削減ケースの解はない.2020 年の全体の CO_2排出量のうち約 85%を都市ガス地域が占めており，家庭 CO_2統計より求めた都市ガス世帯数の比率である 88%とほぼ等しい．なお，全体の 12%と世帯数の少ない非都市ガス地域では，細かなセグメントでは限られた個票デ

ータからの影響が大きくなる点に留意が必要である．両地域とも現状維持ケースより経済性重視ケースで CO_2排出量が少なく，経済性の高い機器の採用が CO_2削減にも寄与するとわかる．

電気 CN シナリオでの結果を図 2(下)に示す．電気 BAU シナリオと同様に，両地域とも現状維持ケースより経済性重視ケースで CO_2排出量が少ない．なお，非都市ガス地域は，経済性重視ケースの段階で，地域内の CO_2排出量を 2020 年比で 2050 年に 80%以上削減している．

3.3 ストックシェア構成

以降では，機器シェア構成の違いに着目し，現状維持ケース・経済性重視ケース・80%削減ケース(電気 CN シナリオのとき)の 3 つの結果を比較する．

はじめに，2030 年のストックシェア構成を図 3(上)に示す．両地域とも，経済性重視ケースと 80%削減ケースの構成はほぼ同じで，現状維持ケースと比較して電気省エネ型のシェアが拡大し，エネルギー源に関わらず従来型のシェアが縮小する．

次に，2050 年のストックシェア構成を図 3(下)に示す．両地域とも，80%削減ケースでは経済性重視ケースよりもさらに電気省エネ型のシェアが拡大する．CO_2大幅削減には，経済性だけでなく，排出削減効果も考慮して電気省エネ型の採用世帯を増やす必要がある．2050 年に 80%削減する場合，都市ガス地域で約 50%，非都市ガス地域で約 60%を電気省エネ型が占める．

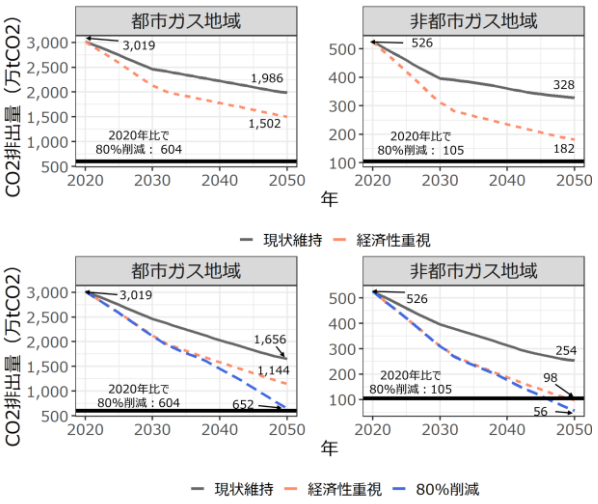

図 2　CO_2排出量（上は電気 BAU シナリオ，下は電気 CN シナリオでの結果）

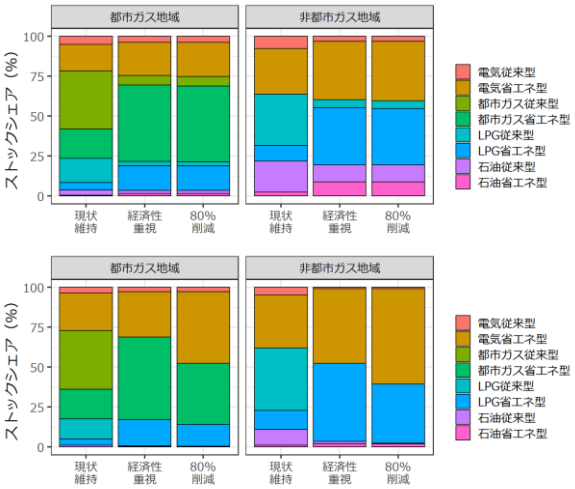

図 3　ストックシェア構成
（上は 2030 年，下は 2050 年の結果）

3.4 経済性向上に必要な対策

2030 年断面の経済性重視ケースと 80%削減ケースのストックシェアはほぼ一致しており，経済性の高い機器の採用は CO_2の大幅削減に向けても重要と考えられる．そこで，現状維持ケースと経済性重視ケースの比較により，機器交換の経済性を高めるために必要な対策を明らかにする．

(1)従来型の採用減少

図 3 からもわかる通り，地域によらず，経済性の向上には従来型から省エネ型への置き換えが必要である．

(2)経済合理性の高いセグメントにおける電気省エネ型の採用増加

2030 年の地域別，新築・既築別の電気省エネ型フローシェアを図 4 に示す．はじめに，図 4(上)で建物種別を内訳に示す．図より，都市ガス地域では既築戸建て住宅で，非都市ガス地域では新築戸建て住宅，新築集合住宅，既築戸建て住宅で電気省エネ型のフローシェアが増加している．都市ガス地域では既築戸建て住宅に，非都市ガス地域では戸建て住宅と新築集合住宅に，電気省エネ型採用による経

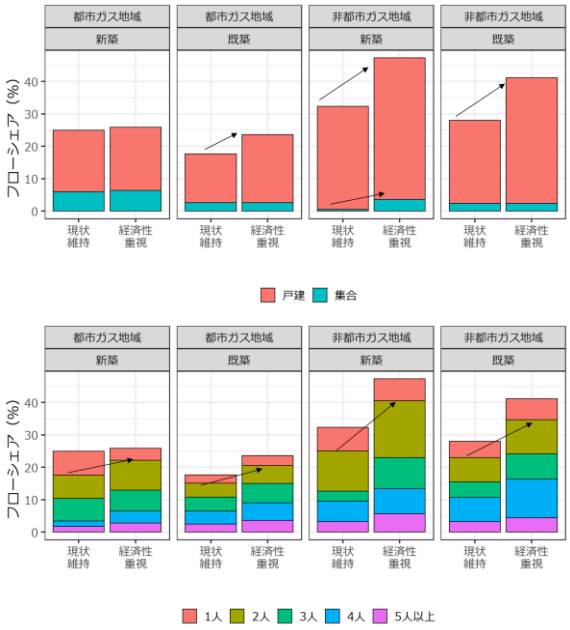

図 4　2030 年の新築・既築別の電気省エネ型フローシェア（上は建物種別，下は世帯人数別の結果）

済性向上の余地があるとわかる．続いて，図 4(下)で世帯人数を内訳に示す．両地域とも，新築・既築を問わず，特に多人数世帯に電気省エネ型のフローシェアの拡大余地がある．

3.5 CO_2大幅削減に必要な対策

2050 年のストックシェア構成では，経済性重視ケースよりも 80%削減ケースの電気省エネ型のシェアが大きい．本節では，80%削減のために，経済性の高い機器の採用に加えて必要な対策を明らかにしていく．

(1)機器寿命を考慮した加速度的な戸建て住宅での電気省エネ型の普及拡大

経済性重視ケースと 80%削減ケースの戸建て住宅の電気省エネ型ストックシェア推移を図 5(上)に示す．両地域とも，2 ケースは 2040 年頃まではほぼ一致しており，以降に差が開いていく．これより，戸建て住宅に関しては，当面は経済性重視の機器採用を行い，2050 年に向けて最後の機器交換の機会となる 2040 年頃から，急激に電気省エネ型のシェアを拡大する必要があるといえる．

(2)早期からの集合住宅における電気省エネ型の普及拡大

経済性重視ケースと 80%削減ケースの集合住宅の電気省エネ型のストックシェア推移を図 5(下)に示す．両地域とも，2 ケースの差が足元から開いていくため，早期から電気省エネ型のシェアを拡大させる必要がある．なお，集合住宅ではランニングコスト削減メリットの出にくい少人数世帯が多く，既築の電化も困難なため，2050 年の電気省エネ型のストックシェアの水準は戸建て住宅より小さい．

3.6 費用

機器単価・新築設置工事費用・既築交換工事費用・ランニングコストの合計費用である総費用(以降も費用はすべて名目で算出)を各年で算出して図 6 に示す．両地域とも，期間の総費用は，現状維持ケースよりも 80%削減ケースで抑えられる．CO_2排出削減対策の加速により，両地域とも 2040 年頃から経済性重視ケースと 80%削減ケースの差が拡大していく．この時の 2 ケースの差は，非都市ガス地域の方が小さい．非都市ガス地域は都市ガス地域と比較して戸建て住宅と複数人世帯の占める割合が多く，電気省エネ型の経済性が高い世帯が多かったと考えられる．なお，3 ケースとも 2030 年頃まで総費用が増加するのは，分析の開始年である 2020 年以降に既築で機器交換を経験する世帯が積み重なり，既築交換工事費用が増加するためである．

次に，建物種別・世帯人数別に経済性重視ケースと 80%削減ケースの平均費用を確認する。まず，戸建て住宅の結果を図 7(上)に示す．都市ガス地域では 3 人世帯のとき，非都市ガス地域では 2 人世帯のときに 2 ケースの差が最大となる．この差は非都市ガス地域の方が小さく，経済性重視ケースと近い費用で CO_2削減を進められる．続いて集合住宅の結果を図 7(下)に示す．都市ガス地域では 4 人世帯のとき，非都市ガス地域では 2 人世帯のときに 2 ケースの差が最大となる．この差は非都市ガス地域の方が小さく，集合住宅に関しても戸建て住宅と同様に，非都市ガス地域の方が経済性重視ケースと近い費用で CO_2削減を進められ

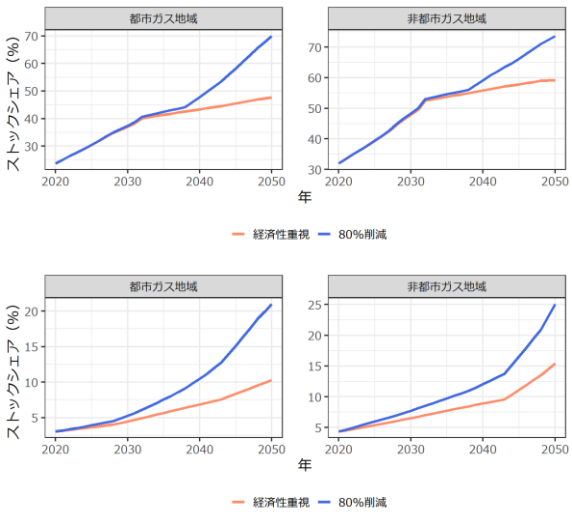

図 5　電気省エネ型ストックシェアの推移

（上は戸建て住宅，下は集合住宅の結果）

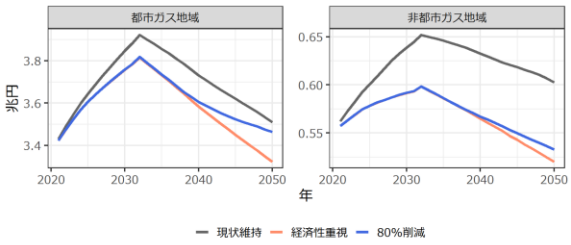

図 6　総費用の推移

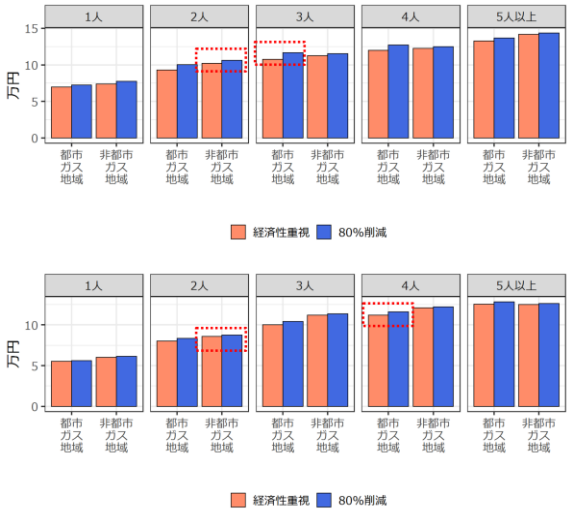

図 7　世帯人数別平均費用

（上は戸建て住宅，下は集合住宅の結果）

る．

3.7 都市ガスの CO_2 排出係数に関する感度分析

参考として，都市ガスのみ CN シナリオで，電気は BAU シナリオでの 2050 年のストックシェアを図 8 に示す．この時，都市ガスの単価は 2020 年から変わらないものとした．図 8 より，都市ガスのみ CN シナリオであっても，両地域ともに 80%削減ケースで現状維持ケースよりも電気省エネ型のシェアが拡大している．

地域別に確認すると，都市ガス地域に関しては，経済性重視ケースと同程度まで電気省エネ型が増加する．これは，経済性重視の機器採用で十分な CO_2 削減効果を得られるためで，80%削減ケースで経済性重視ケースより都市ガス省エネ型のストックシェアが増加することにはならない．一方，非都市ガス地域では，80%削減ケースで経済性重視ケースよりも電気省エネ型のシェアが増加する．

4．まとめ

本稿では，都市ガス地域と非都市ガス地域の費用を抑えた家庭用給湯分野の CO_2 削減可能性を分析した．両地域とも，2020 年から 2050 年の給湯関連費用の合計は，現状の機器採用を続ける場合よりも CO_2 を大幅削減する場合で減少する結果となった．このためには，(1)経済性向上と CO_2 排出削減の両方に寄与する，従来型機器の採用減少と電気省エネ型(エコキュートをはじめとするヒートポンプ給湯機)の採用増加が必要である．そのうえで，更なる排出削減のため，CO_2 削減効果を前提としたうえで経済合理性のある機器の選択が必要である．具体的には，(2)戸建て住宅での 2040 年頃からの加速度的な電気省エネ型の採用増加と，(3)集合住宅での足元からの電気省エネ型の採用増加が必要である．特に，集合住宅には既築で電気省エネ型に交換できないという特有のロックイン問題があるため，早期の対策が必要である．

地域差にも着目すると，都市ガス地域では既築戸建て住宅と多人数世帯向けの新築住宅で，非都市ガス地域では戸建て住宅と新築集合住宅で，電気省エネ型の採用による経済性向上の余地があり，情報提供等で採用を促すことが望まれる．

今後の分析の展望は大きく 2 つある。1 つ目は，実態の更なる反映である．例えば，寒冷地仕様などの給湯機器の多様性の考慮や，電気省エネ型の設置スペース分の費用や分電盤などの増強が必要になった場合の費用の上乗せが挙げられる．2 つ目は，脱炭素に向けた政策など，将来的に起こり得る要因が与える影響の分析である．本稿のような分析は，地域性や世帯特性を踏まえて費用を抑えた脱炭素に必要な対策を明らかにするうえで有益である．

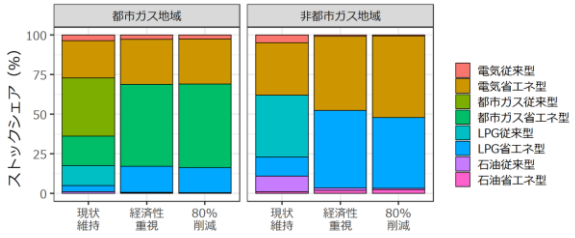

図 8　都市ガスのみカーボンニュートラルシナリオでの 2050 年のストックシェア構成

謝辞

本研究は，エネルギー・資源学会の「家庭部門の CO_2 排出実態統計調査利用研究会」のメンバーとして実施した．関係者の皆様に御礼申し上げる．なお，本分析の結果にかかる責任は筆者が負う．

参考文献

1）環境省，令和 3 年度 家庭部門の CO2 排出実態統計調査 資料編（確報値）, (2023.3).

2）ヒートポンプ・蓄熱センター／日本エレクトロヒートセンター，令和 4 年度 電化普及見通し調査報告書, (2022.9).

3）山田愛花・西尾健一郎，ロックイン問題を考慮に入れた給湯分野の経済合理的な CO2 削減可能性―家庭 CO2 統計の個票データを用いた将来分析―，電力経済研究, 69, (2023.2), pp.39-60.

4）元アンナ・西尾健一郎，家庭用給湯分野における温室効果ガス削減の可能性，電力中央研究所報告, (2011.5).

5）環境省，家庭部門の CO2 排出実態統計調査（家庭 CO2 統計), https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/kateiCO2tokei.html (アクセス日 2023.5.12)

6）西尾健一郎・中野一慶，家庭 CO2 統計の個票データを用いた給湯機器の保有実態などに関する基礎検討，第 39 回エネルギー・資源学会研究発表会 講演論文集, pp.136-144.

地方区分別夫婦と子世帯当たり住宅エネルギー消費量推計と家庭 CO_2 排出実態統計調査の照合に関する研究

Comparison on Residential Energy Consumption and Household CO_2 Emissions: Analysis of Regional Disparities in Family types, Married Couple and Child

吉田友紀子 *・平野勇二郎 **
Yukiko Yoshida　　Yujiro Hirano

Abstract
Japan's decarbonization roadmap predicts a significant decline in energy demand in the building sector. We utilized the Architectural Institute of Japan's standard house model of a typical family type (couple and children) and used BEST-H software to estimate the energy consumption of different areas of the house. It was calculated the average energy consumption per total floor area in each region. These calculations represent residential energy consumption due to electrification. Monthly energy consumption (GJ conversion, electricity + city gas + LP gas + kerosene) data was extracted for each region. Analysis of the Ministry of the Environment's CO2 emissions statistical survey data revealed regional characteristics such as cold areas, urban areas, and warm areas. In cold regions, fuels other than electricity may be used for heating, so highly efficient heating equipment is required. Kinki and Okinawa will have their own problems. In the future, we would like to proceed with the analysis so that it will lead to further energy-saving measures for existing houses.

Key words *:* Residential energy consumption, CO_2 emission, Regional disparities, Married Couple and Child, BEST-H

1．はじめに

建築分野の大幅なエネルギー需要削減が，国の地域脱炭素ロードマップ[1]にて期待されている．都道府県別家庭部門 C02 排出量推計は，三浦[2]が 1991 年から 1995 年の京都議定書基準年における住宅エネルギー消費量内訳を推計してからはや 25 年が経過した．その後，村上ら[3]が全国の住宅 80 戸を対象としたエネルギー消費量の長期詳細調査を行い，井上[4]はアンケートにより家庭エネルギー消費量の実態を報告した．下田ら[5]は家庭用エネルギーエンドユースモデルを開発し，世帯類型別に家庭エネルギー消費の推計を行うことで,国内で最も精密で省エネ行動と建物性能,家電機器の挙動の関係を結び付けた．現在まで，建物性能向上を中心に省エネルギー対策が実施されてきた．本研究では，日本の平均世帯人数が 2 人台であることから代表的な 3 人世帯である夫婦と子世帯に着目し，標準住宅モデル[6]（**図 1**）を用い，BEST―H を用いて，対策なしの基準建物性能（**表 1**），1 日の行動スケジュール（**表 2**）を設定したうえで，住宅エネルギー消費の推計を地域別に行った．

*Corresponding author; Yukiko Yoshida,
E -mail: yukiko.yoshida.uz27@vc.ibaraki.ac.jp
*茨城大学大学院理工学研究科都市システム工学専攻
〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1
**国立環境研究所社会システム領域

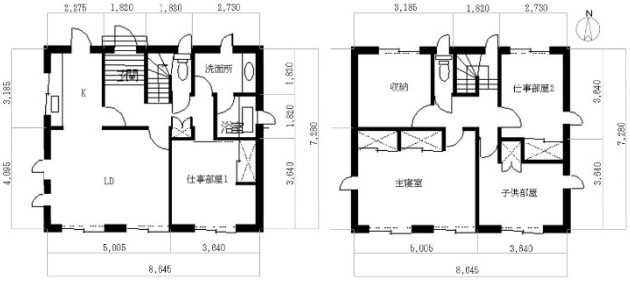

図 1　標準住宅モデル（平面図）[6]

表 1　建物性能入力条件

外壁熱貫流率 [W/㎡]	内壁熱貫流率 [W/㎡]	窓熱貫流率 [W/㎡]	庇	屋根熱貫流率 [W/㎡]	床熱貫流率 [W/㎡]	ルームエアコ	照明 [W/㎡]	換気 (K)	給湯	コンセント
0.52	2.49	単板ガラス 3mm，アルミニウムサッシ 5.95	無し	0.2	0.3	COP 4.3	蛍光灯 9	風量300㎥/h，消費電力 0.02kW	ガス給湯器24号	LD:12W/㎡，在宅時：仕事部屋:5W/㎡

表 2　夫婦と子世帯の行動スケジュール

時間	勤め人1	勤め人2	小学生
0:00-6:30	睡眠（主寝室）	睡眠（主寝室）	睡眠（子供部屋）
6:30-7:00	身のまわりの用事（洗面所）	炊事・掃除・洗濯（K）	食事（LD）
7:00-7:30	食事（LD）	身のまわりの用事（洗面所）	身のまわりの用事（洗面所）
7:30-8:00	通勤	食事（LD）	通学
8:00-8:15		テレビ（LD）	
8:15-8:30	仕事		授業・学内の活動
8:30-9:00		通勤	
9:00-15:45		仕事	
15:45-16:30			通学
16:30-17:00			スポーツ
17:00-17:30		通勤	
17:30-18:00	通勤	炊事・掃除・洗濯（K）	学校外の学習（LD）
18:00-19:00	テレビ（LD）		
19:00-20:00	食事（LD）	食事	食事（LD）
20:00-20:45	身のまわりの用事（浴室）	テレビ（LD）	スポーツ（LD）
20:45-21:30	テレビ（LD）	身のまわりの用事（浴室）	身のまわりの用事（浴室）
21:30-22:30	趣味・娯楽・教養のインターネット（動画除く）（LD）	テレビ（LD）	趣味・娯楽・教養（インターネット除く）（LD）
22:30-23:00	趣味・娯楽・教養（インターネット除く）（LD）		睡眠（子供部屋）
23:00-23:30		睡眠（主寝室）	
23:30-24:00	睡眠（主寝室）		

環境省家庭 CO_2 排出実態統計データに基づく同世帯類型の調査データと比較することで，地域差の実態を把握する．

２．家庭ＣＯ₂排出統計におけるデータ抽出方法

全国 10 地域に分類された地方区分を選定した．夫婦と子世帯は，世帯主が勤務している条件とし，子供は 30 歳未満のみとした．また，住宅の延床面積 30 ㎡未満と 300 ㎡以上は特異値とみなしデータ削除を行ったうえで，月別エネルギー消費量（GJ 換算）電気＋都市ガス＋LP ガス＋灯油）のデータを，地域ごとに抽出した．そのうえで，各地方の延床面積あたりエネルギー消費量の平均値を算出した．

３．BEST-H 計算結果と家庭ＣＯ₂排出統計の比較

前述の夫婦と子世帯における BEST-H 計算と統計調査の単位面積あたり月別エネルギー消費量を，**図 2～図 12** に示す．北海道は，11 月から 5 月の暖房時期において計算と統計調査の差が最も大きい．これは，BEST-H は家庭用エアコンの計算結果であるため，燃料種は電気のみであることから暖房の燃料種類別が，電気以外を使用されている影響と考えられ，暖房器具の高効率化が求められる．冷房期にあたる 6 月から 9 月にかけて計算と統計差が小さくなっており，空調以外の照明，コンセント電力の設定は妥当性があると考えられる．よって，BEST―H 計算結果は電化を推進した場合における住宅エネルギー消費量と考えられることができ，既存建物の建物性能向上によらず家電機器更新によるエネルギー削減可能性を示す目安としての機能を果たすと考えられた．北海道と同様の傾向を示す東北，北陸は寒冷地の共通点を有し，暖房器具の高効率化が求められる．関東甲信越，近畿の都市部では，冷房期の電力量が計算結果より統計値が大きく，コンセントや照明電力が多いと考えられ，ライフスタイルの行動に関連する家電多利用の影響が考えられる．計算と統計調査が比較的類似する東海，中国，四国では，設定条件のとおり精度よく推定できている．温暖な九州や沖縄では，冷房期の電力量が多く，空調の使用時間や室内設定条件の違いなどが考えられる．年間の値を地方区分ごとに比較すると，近畿の統計調査値が多く，沖縄が少ないため特有の問題が存在する可能性がある．

４．まとめ

平均的な住宅として夫婦と子（3 人）世帯の日本建築学会標準住宅モデルにて，BEST-H ソフトウェアを用いた住宅エネルギー消費量を地域区分別に推計した．環境省家庭部門 CO_2 排出実態統計調査データの差分から寒冷地，都市部，温暖地特有の地域特性を把握した．さらなる既存住宅の省エネルギー対策に結びつけられるように，解析を進める予定である．

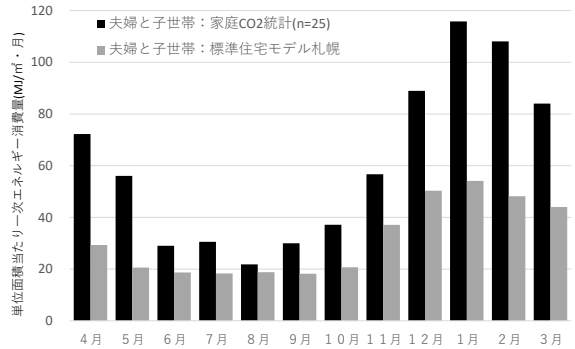

図 2　単位面積当たり月別エネルギー消費量（北海道）

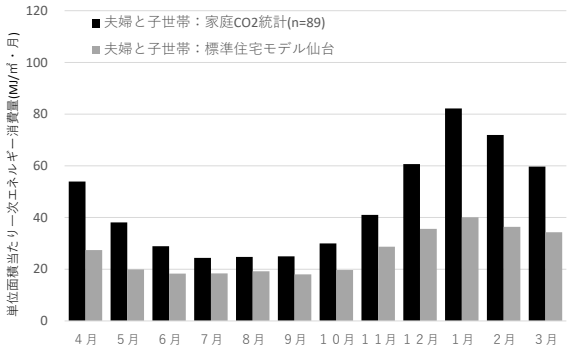

図 3　単位面積当たり月別エネルギー消費量（東北）

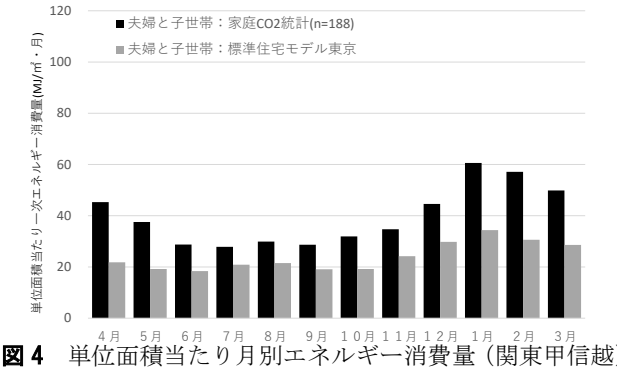

図 4　単位面積当たり月別エネルギー消費量（関東甲信越）

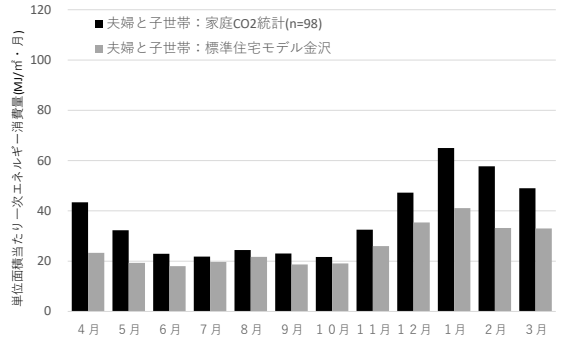

図 5　単位面積当たり月別エネルギー消費量（北陸）

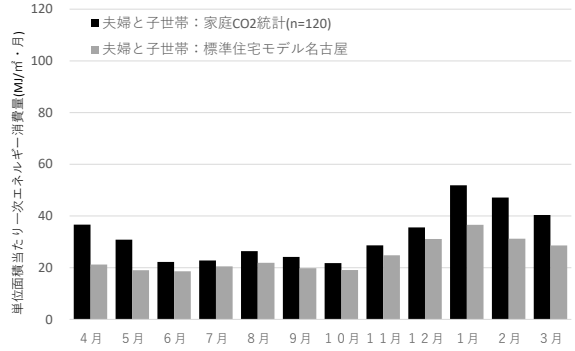

図 6　単位面積当たり月別エネルギー消費量（東海）

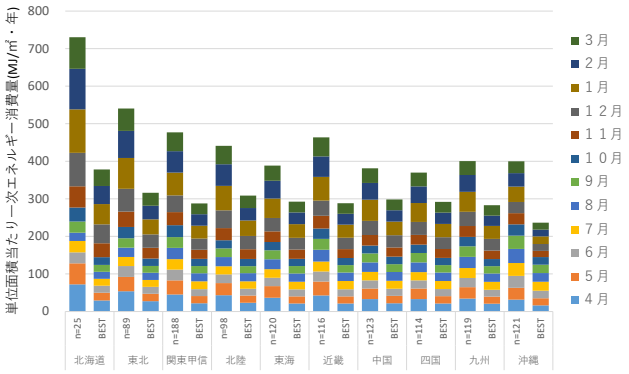

図 12　単位面積当たり月別エネルギー消費量（全国）

謝辞

本研究は，修士学生の田村光里さんが住宅モデル開発に協力した．日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究（B）課題番号 23H01546（代表者：平野勇二郎）「再生可能エネルギー買取制度を併用した地産地消型エネルギー事業の計画・評価手法」の支援によって実施されたものである．関係各位に対して謝意を表する．

参考文献

1) 地域脱炭素ロードマップ（2021.6），国・地方脱炭素実現会議
2) 三浦秀一，外岡豊；日本の住宅における地域別エネルギー需要構造とその増加要因に関する研究（2002.12），pp.105－112，第 562 号，日本建築学会計画系論文集
3) 村上周三，坊垣和明ら；全国の住宅 80 戸を対象としたエネルギー消費量の長期詳細調査：対象住宅の属性と用途別エネルギー消費量，（2006.5），pp93-100，第 603 号，日本建築学会環境系論文集
4) 井上隆;アンケートによる住宅内エネルギー消費の実態と住まい方等に関する調査，日本建築学会第 4 回住宅エネルギーシンポジウム住宅用エネルギー消費と温暖化対策，pp.37-56，日本建築学会（2005）
5) 下田吉之ら；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，（2009）pp.1－9，第 30 巻 3 号，エネルギー・資源学会論文誌
6) 宇田川光弘；標準問題の提案 -住宅用標準問題，（1985），pp.23-33，日本建築学会環境工学委員会熱分科会第 15 回熱シンポジウム
7) 一般財団法人　住宅・建築 SDGs 推進センター　https://www.ibec.or.jp/best/index.html
8) NHK 国民生活時間調査（2022），NHK 放送文化研究所，世論調部，https://www.nhk.or.jp/bunken/yoron-jikan/　(アクセス日 2023.6.15)

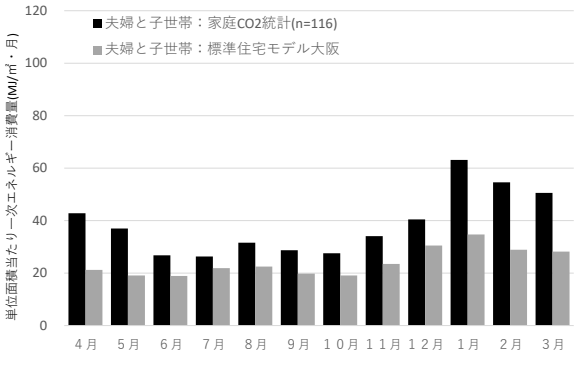

図 7　単位面積当たり月別エネルギー消費量（近畿）

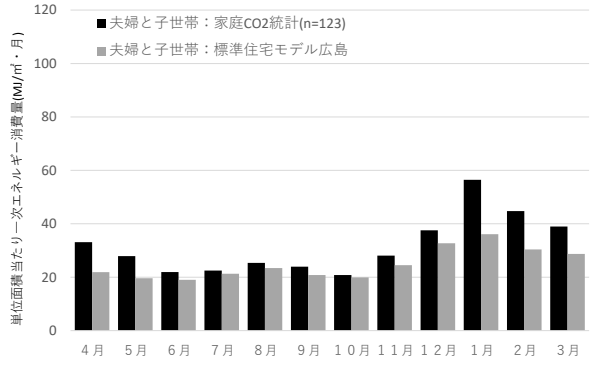

図 8　単位面積当たり月別エネルギー消費量（中国）

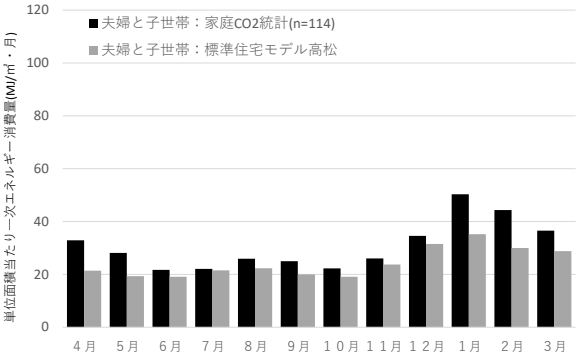

図 9　単位面積当たり月別エネルギー消費量（四国）

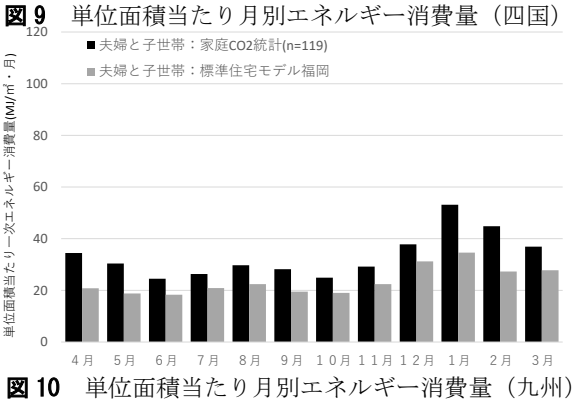

図 10　単位面積当たり月別エネルギー消費量（九州）

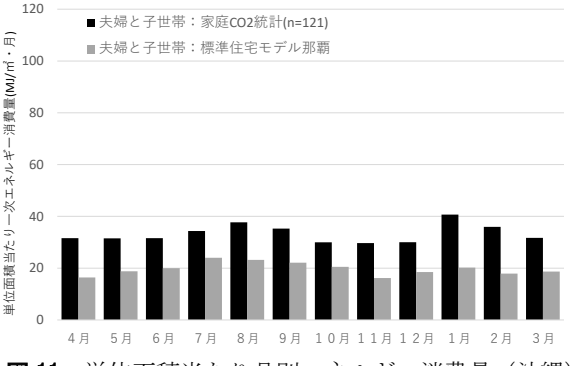

図 11　単位面積当たり月別エネルギー消費量（沖縄）

家庭 CO_2 統計を用いた 世帯属性別のエネルギー需要の価格弾力性

Estimation of Price Elasticity of Energy Demand by Household Type Using Household CO_2 Statistics

星 野 優 子 *・ 小 川 順 子 **
Yuko Hoshino Junko Ogawa

Previous studies have pointed out that the price elasticity of energy demand in the household sector varies depending on household attributes. However, it is difficult to directly compare the price elasticity value derived from different analysis methods and assumptions, as the estimated value of price elasticity is affected by differences in the type of data used, the targeted time period, and the estimation model. Therefore, in this study, we estimated price elasticities based on individual household CO_2 statistics data using the same estimation method. Our analysis is unique in that it includes differences in the price elasticity of energy demand due to differences in household attributes. Subsequently, we confirmed that the estimation results of price elasticity differed depending on the type of housing construction, whether the household comprises a single person/non-single person, the intensity of energy conservation efforts, and the per capita household income.

Keywords : Price Elasticity, Energy Demand, Residential sector, Survey data

１．はじめに

産業と電力部門を対象とした GX リーグが始まるなか,家庭部門においても省エネや CO_2 排出量削減の取り組みのインセンティブを高める手段として，カーボンプライシングの効果に期待が高まっている．特に，脱炭素成長型経済構造への円滑な移行の推進に関する法律（以下，GX 推進法）においては， 2028 年度から化石燃料の輸入事業者等に対して，化石燃料に由来する二酸化炭素の量に応じて化石燃料賦課金を徴収，2033 年度から発電事業者に対し一部有償で二酸化炭素の排出枠を割り当て，その量に応じた特定事業者負担金を徴収することが決定した．これらのカーボンプライシングはエネルギー供給事業者に課せられるものの,その負担は最終的には消費者に転嫁していく.そして,この効果のあり方を左右するのが，エネルギー需要の価格弾力性である．

家庭のエネルギー需要の価格弾力性の推計は，例えば Tanishita[1]のほかこれまでも様々な推定が試みられてきた．一方で,カーボンプライシングによるマクロでみた CO_2 削減効果ではなく，ミクロな家計負担への影響を評価するためには,世帯属性の多様性を踏まえた分析が必要になる．そのためには，家庭の属性と紐づいたエネルギー需要に関する個票データを活用した分析が有効である．そこで本稿では，環境省の家庭部門の CO_2 排出実態統計調査[2](以下では「家庭 CO_2 統計」)の個票データを用いて,日本の家庭部門に焦点を当て，エネルギー需要の価格弾力性が，世帯属性の違いによってどのような影響を受けるのかを分析する．

*ENEOS 株式会社中央技術研究所技術戦略室
〒100-0003 東京都千代田区大手町 1-1-2,
E-mail：hoshino.yuko@eneos.com
**一般財団法人日本エネルギー経済研究所地球環境ユニット
〒104-0054 東京都中央区勝どき 1-13-1 イヌイビル・カチドキ

２．分析の枠組み

2.1 分析に用いたモデル

家庭のエネルギー支出をトランスログ型費用関数として(1)式で近似できるものとする．

$$logC = \alpha_0 + logY + \sum \alpha_i logP_i + 1/2 \sum\sum logP_i logP_j \quad (1)$$

ここでCはエネルギー支出,Yは家計の規模(所得),Pはエネルギー価格，ただしi = 電力,都市ガス,LP ガス,灯油とする．

(1)式の両辺を$logP_i$で偏微分することで，以下のコストシェア関数を得ることができる．

$$\begin{aligned} S_i &= \partial C/\partial P_i \cdot P_i/C = \partial logC/\partial logP_i \\ &= \alpha_i + \sum \beta_{ij} logP_j \quad (2) \\ i,j &= \text{電力,都市ガス,LP ガス,灯油} \end{aligned}$$

ここでコストシェアS_iは以下で定義される．

$$S_i = (P_i \cdot X_i)/\sum(P_i \cdot X_i) \quad (3)$$

ところで，要素投入に関する一次同次性を仮定するため以下(4)が成立する．

$$\sum \alpha_i = 1, \quad \beta_{ij} = \beta_{ji}, \quad \sum_j \beta_{ij} = 0 \quad (4)$$

分析は，地域および対象の違いを考慮するために，(2)式に年変数と地域ダミー(関東地域を除く)を加えた以下のモデルを推定する．定義より，$\sum S_i = 1$となるため，(5)式で示すコストシェア関数を，電力，都市ガス，灯油の 3 本について Zellner の SUR(Seemingly Unrelated Regressions の方法を用いて同時推定する．

$$S_i = \alpha_i + \sum \beta_{ij} log P_j + \gamma_i T + \sum_k \delta_{ik} \text{地域ダミー} \quad (5)$$

ただし $i, j =$ 電力,都市ガス,LP ガス,灯油，$k =$北海道，東北,北陸，東海，近畿，中国，四国，九州，沖縄，Tは年ダミーで 2017～2020 のいずれかをとる．

推定パラメータから，以下の(6),(7)式を用いて自己価格弾力性と森嶋の代替弾力性を推定する．

自己価格弾力性 $\eta_{ii} = (\beta_{ii} + S_i^2 - S_i)/S_i \quad (6)$

森嶋の代替弾力性 $\sigma_{ij} = (\beta_{ii} + S_i \cdot S_j)/S_i - \eta_{jj} \quad (7)$

2.2　分析に用いたデータ

分析にあたっては,「家庭 CO_2 統計」の 2017 年度から 2020 年度の 4 年分の個票データ 39176 サンプルを用いた．

以下の分析では，世帯属性の違いとして，住宅の建て方別(戸建/集合)，世帯人員別(単身/非単身)，省エネ意識の強度，世帯収入，一人当たり世帯収入に着目する．省エネ意識については，個票データにある省エネ関連の 13 項目(①照明の省エネ(照度調整)，②照明の省エネ(消灯)，③炊飯器の保温使用しない，④調理の下ごしらえに電子レンジ使用，⑤調理時のガスコンロの火加減省エネ，⑥食器洗い時の省エネ，⑦給湯器の省エネ，⑧シャワー使用時の省エネ，⑨家族で続けて入浴，⑩暖房の温度設定あり，⑪温水洗浄便座の設定温度，⑫温水洗浄便座の使用冬季のみ，⑬PC の省エネ)の取り組みのうち，世帯ごとに取り組む対策数を集計した．その数に応じて，取り組み度合いの低い世帯(取り組んでいる省エネ対策の数が 4 項目以下の世帯)11%を低，取り組み度合の高い世帯(取り組んでいる省エネ対策の数が 11 項目以上の世帯)12%を高，残りの世帯を中として分類した．

表 1 は，分析に用いた個票データについて，着目する属性について地域別の分布（全サンプルに占める属性別のシェア）をみたものである．エリア別にみると関東甲信，近畿など人口集中地域のサンプルは若干多めではあるが，概

表 1　分析に用いた個票データの属性別の分布（2017-2020 年）

	全世帯	戸建世帯	集合世帯	単身	非単身	省エネ低	省エネ中	省エネ高		
北海道	9.0%	5.5%	3.5%	1.8%	7.2%	0.8%	7.1%	1.1%		
東北	9.7%	7.2%	2.5%	1.9%	7.8%	0.9%	7.6%	1.2%		
関東甲信	16.8%	9.3%	7.5%	3.2%	13.6%	1.4%	12.9%	2.5%		
北陸	8.8%	6.6%	2.1%	1.6%	7.1%	0.9%	6.9%	1.0%		
東海	10.1%	6.8%	3.2%	2.0%	8.1%	0.9%	7.9%	1.3%		
近畿	11.5%	6.6%	4.9%	2.2%	9.3%	1.1%	8.8%	1.6%		
中国	9.1%	6.2%	2.9%	1.8%	7.4%	1.0%	7.2%	1.0%		
四国	8.2%	6.0%	2.2%	1.7%	6.5%	1.1%	6.4%	0.7%		
九州	10.3%	6.3%	3.9%	2.0%	8.3%	1.1%	8.0%	1.1%		
沖縄	6.6%	3.1%	3.5%	1.4%	5.2%	1.3%	5.0%	0.3%		
全国計		63.7%	36.3%	19.5%	80.5%	10.5%	77.8%	11.7%		
	250 万円未満	250-500 万円	500-750 万円	750-1000 万円	1000-1500 万円	1 人当り100 万円未満	1 人当り 100-200 万円	1 人当り 200-300 万円	一人当り 300-400 万円	一人当り 400 万円以上
北海道	2.0%	3.6%	1.8%	1.0%	0.4%	1.6%	4.1%	1.1%	1.3%	0.9%
東北	2.0%	3.6%	2.1%	1.2%	0.6%	1.6%	4.4%	1.3%	1.3%	1.0%
関東甲信	2.3%	5.4%	3.8%	2.7%	1.9%	1.8%	6.3%	2.8%	3.0%	2.9%
北陸	1.5%	3.0%	2.1%	1.4%	0.6%	1.3%	3.9%	1.5%	1.3%	0.8%
東海	1.6%	3.3%	2.3%	1.7%	0.9%	1.3%	4.0%	1.8%	1.6%	1.4%
近畿	2.2%	4.0%	2.4%	1.6%	0.9%	1.7%	5.0%	1.7%	1.8%	1.4%
中国	1.7%	3.5%	2.0%	1.1%	0.6%	1.4%	4.3%	1.3%	1.3%	0.9%
四国	1.9%	3.0%	1.8%	0.9%	0.4%	1.5%	3.8%	1.2%	1.0%	0.7%
九州	2.4%	3.8%	2.1%	1.1%	0.6%	1.9%	4.7%	1.3%	1.3%	0.9%
沖縄	1.9%	2.6%	1.1%	0.5%	0.2%	2.1%	2.7%	0.6%	0.8%	0.4%
全国計	19.6%	35.9%	21.4%	13.2%	7.1%	16.1%	43.2%	14.7%	14.6%	11.4%

出所：家庭 CO2 統計[2]より著者ら作成

ね各エリアとも全サンプルの 10%前後を有することが確認できる.

全国計で各属性別の分布をみると，住宅の建て方別では戸建世帯が 6 割以上，世帯人員別では非単身世帯が 8 割以上を占めている．世帯収入では，250～500 万円の世帯が全体の 35.9%を占めて最も多くの世帯が含まれているほか，250 万円未満，500～750 万円未満の世帯もそれぞれ 2 割前後のシェアを持つ．これに対して，世帯人員一人当たりの世帯収入を 100 万円ずつ区切ってみると，一人当たり 100～200 万円の世帯が最も多く，そのシェアも 4 割を超えることがわかる.

個票データには，オール電化世帯やオールガス世帯も含まれ，世帯によって使用するエネルギー源が異なり，欠値も存在することから，個票データをそのまま用いて(5)式を推定することはできない．そこで本分析では 10 地域(北海道，東北，関東甲信，北陸，東海，近畿，中国，四国，九州. 沖縄)別の世帯平均値を 4 年分プーリングしたデータを用いた．価格データは 2019 年度の関東の電気料金の水準を 1 として指数化して用いた.

3．分析結果

3.1　シェア関数の推定

表 1 で整理した属性別に，(5)式のモデルを推定した．表 2 は，そのうち全世帯のサンプルを対象にしたときの推定結果を示したものである． α_L, β_{KL},β_{GL},β_{EL},β_{LL} は，(4)式に示す条件から求めることができる．ここで添え字の K, G, E, L はそれぞれ灯油，都市ガス，電力，LP ガスを示す.

本分析では，表 1 に示した 18 種類の属性ごとに地域単位で世帯平均したデータセットを用いて，(5)式のモデルの推定を計 18 通り実施した．このうち表 2 は全世帯を対象としたシェア関数のパラメータの推定結果を示したものである．結果の比較を容易にするために，説明力の低い変数も含め 18 通りで全て同一のモデルを用いている．このため推定結果では t 値が有意でないものもあるが，後述する自己価格弾力性が理論値どおりマイナス値を持つことを，モデルの推定結果を用いるための条件とした．表 2 の下段に示すようにシェア関数の決定係数は，いずれも 0.99 と高い説明力を持つことを確認した.

3.2　価格弾力性の推計

3.2.1　自己価格弾力性

表 3 は表 2 で示した全世帯を対象とした場合の各パラメータの推定結果から，(6)式を用いで推計した 2017～2020 年度平均の自己価格弾力性の地域別の推計結果である.

電力，都市ガス，LP ガスについては，すべての地域で自己価格弾力性は理論的に期待されるマイナスの値をとることが確認できる．灯油については，北海道，東北，北陸以外ではマイナスの値をとらない．これは，全世帯を対象とした場合に限らず，他の 17 通りの推定でも同様の傾向がみられたことから，灯油については，本分析では北海道，東北，北陸の 3 地域の結果のみを参照する．これは灯油が主に寒冷地の暖房用途に使われており，それ以外の地域での使用は限られているためと考えられる.

灯油を除いてエネルギー源別にみると，すべての地域において，都市ガス，LP ガスに比べて電力の自己価格弾力性が低くなっている．電力需要には，暖房，給湯需要以外に，家電や照明など電力以外で代替することのできない需要が含まれるため，価格上昇によっても需要を減らしにくく，より非弾力的になることがわかる.

また，電力の自己価格弾力性の地域別の違いをみると，

表 2　シェア関数の推定結果(全世帯の場合)

	推定値	t 値		推定値	t 値		推定値	t 値
α_k	4.779	2.68	β_{LL}	$(\alpha_k+\alpha_G+\alpha_E+2*\beta_{KG}+2*\beta_{KE}+2*\beta_{GE}+S_L*S_L-S_L)/(S_L*S_L)$				
α_G	2.055	0.92	γ_K	-2E-03	-2.58	$\delta_{G北海道}$	-0.186	-18.35
α_E	-2.944	-1.14	γ_G	-9E-04	-0.82	$\delta_{G東北}$	-0.186	-10.68
α_L	1-αk-α_G-α_E		γ_E	2E-03	1.34	$\delta_{G北陸}$	-0.130	-11.25
β_{kk}	0.101	3.07	$\delta_{K北海道}$	0.281	38.74	$\delta_{G東海}$	-0.052	-4.84
β_{KL}	-β_{KK}-β_{KG}-β_{KE}		$\delta_{K東北}$	0.179	14.84	$\delta_{G近畿}$	0.035	5.34
β_{KG}	-0.028	-0.90	$\delta_{K北陸}$	0.084	9.25	$\delta_{G中国}$	-0.158	-6.39
β_{KE}	-0.062	-1.79	$\delta_{K東海}$	0.011	1.55	$\delta_{G四国}$	-0.198	-7.08
β_{GG}	0.024	0.51	$\delta_{K近畿}$	-0.010	-2.03	$\delta_{G九州}$	-0.146	-5.58
β_{GK}	β_{KG}		$\delta_{K中国}$	0.026	1.60	$\delta_{G沖縄}$	-0.222	-6.80
β_{GL}	-β_{GG}-β_{GK}-β_{KE}		$\delta_{K四国}$	0.030	1.67	$\delta_{E北海道}$	-0.140	-12.73
β_{GE}	-0.028	-0.64	$\delta_{K九州}$	0.020	1.19	$\delta_{E東北}$	-0.047	-2.37
β_{EE}	2.055	0.92	$\delta_{K沖縄}$	-0.002	-0.10	$\delta_{E北陸}$	0.040	2.45
β_{EL}	-β_{EE}-β_{EG}-β_{EK}					$\delta_{E東海}$	0.007	0.64
β_{EG}	β_{GE}					$\delta_{E近畿}$	0.022	2.57
β_{EK}	β_{KE}					$\delta_{E中国}$	0.071	2.69
β_{LE}	β_{EL}					$\delta_{E四国}$	0.087	3.15
β_{LG}	β_{GL}					$\delta_{E九州}$	0.056	2.00
β_{LK}	β_{KL}					$\delta_{E沖縄}$	0.070	2.05

シェア関数推定結果	決定係数
電力	0.985
都市ガス	0.992
灯油	0.996

注）ここで，添え字の K, G, E, L はそれぞれ灯油，都市ガス，電力，LP ガスを示す

表 3　各エネルギー源別の自己価格弾力性(全世帯対象)

	電力	灯油	都市ガス	LPガス
北海道	-0.33	-0.36	-0.60	-1.08
東北	-0.27	-0.31	-0.56	-0.99
関東甲信	-0.23	−	-0.66	-1.13
北陸	-0.21	-0.09	-0.67	-1.12
東海	-0.23	−	-0.68	-1.03
近畿	-0.22	−	-0.64	-1.39
中国	-0.19	−	-0.64	-0.96
四国	-0.18	−	-0.49	-0.92
九州	-0.20	−	-0.66	-0.95
沖縄	-0.20	−	-0.25	-0.82

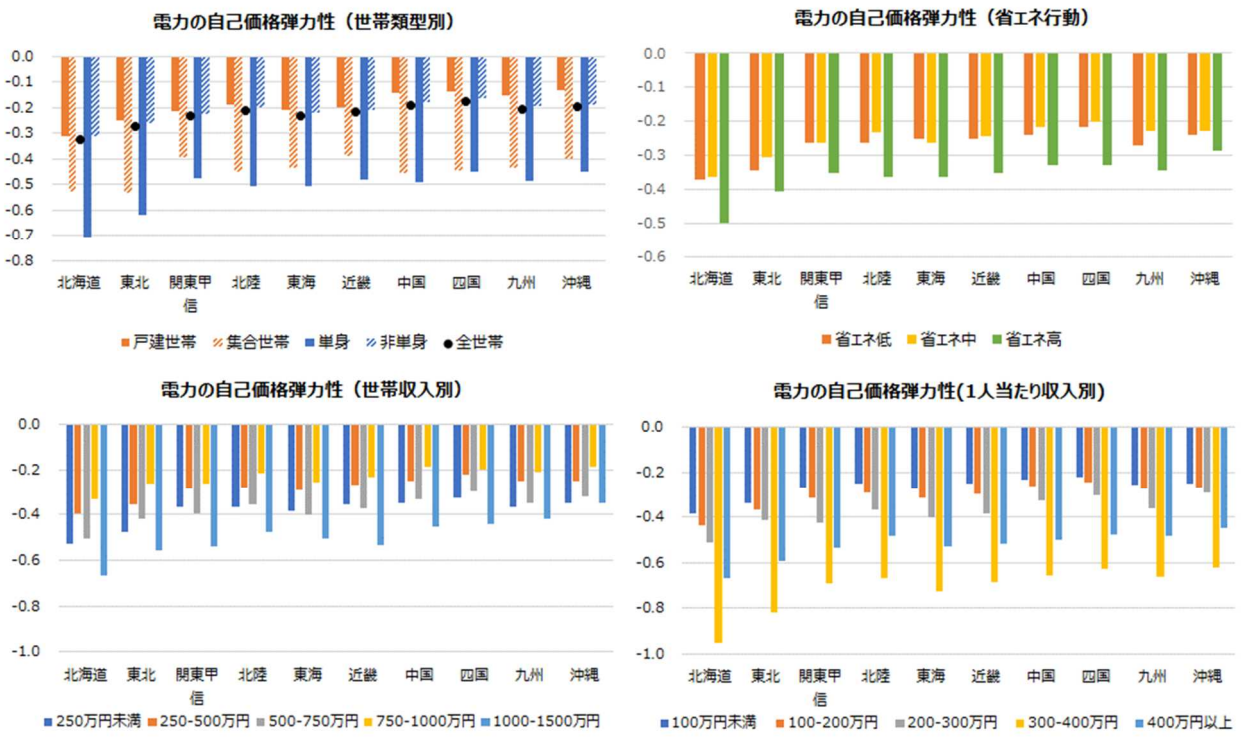

図 1　電力の自己価格弾力性

北海道，東北でより高い傾向にある．寒冷地では，暖房用途としても電力を使う機会が増加することから，非寒冷地に比べて需要が価格変化に対してより弾力的になる傾向を持つ傾向にあると考えられる．この傾向は，星野・小川[3]でも確認されている．

3.2.2　世帯属性別にみた電力の自己価格弾力性

図 1 は，自己価格弾力性のうち，電力の自己価格弾力性を対象に，18 通りの世帯属性別の地域別推定結果を比較したものである．ここで着目した世帯属性は，世帯類型別では，全世帯，戸建住宅，集合住宅，単身，非単身の 5 種類，省エネ意識としては，その取り組み強度によって，低・中・高の 3 種類，世帯収入として 5 種類，一人当たり収入として 5 種類の計 18 種類である．

まず世帯類型別にみると，戸建世帯に比べて集合世帯の自己価格弾力性が大きく，非単身世帯に比べて単身世帯の自己価格弾力性が大きいことが確認できる．戸建て住宅では，ほかに代替の利かない家電や照明用の電力需要の割合が大きくなりやすいこと，また単身世帯よりも非単身世帯の方が，より大きな住宅に住むため，同じく家電や照明用の電力需要の割合が大きくなりやすいことが要因として考えられる．

省エネ行動との関連についてみると，省エネ行動の強度が低いか中程度の場合には，両者に大きな違いは見られないものの，省エネ行動の強度が高い世帯では，自己価格弾力性が高いことが確認できる．これは省エネ行動という，具体的な省エネノウハウを実践していることで，価格変化に対しても，省エネで対応することができることを示唆している．

収入との関係では，世帯収入と自己価格弾力性の間には，明確な関係性を見ることができない．その理由として，先にみたように単身世帯と非単身世帯の違いによる影響が考えられることから，世帯収入ではなく，世帯収入を世帯人員数で除した，一人当たり収入水準別に価格弾力性を比較したのが図 1 の右下の結果である．図から一人当たり収入が少ないほど自己価格弾力性は小さくなる傾向を確認することができる．これは，一人当たり所得水準が低い世帯では，電力価格の上昇に対して他のエネルギーへの代替や省エネ機器の買い替えといった対策を行う余力が小さくなる可能性を示唆している．このことから世帯収入が 250 万円未満の世帯でも，単身世帯と非単身世帯では，電力価格高騰による影響が大きく異なることを意味している．

3.2.2　森嶋の代替弾力性

表 4 は，(7)式から求めた森嶋の代替弾力性である．いずれもプラス値をとり代替的な関係であることが確認できる．

表 4　森嶋の代替弾力性（全世帯対象）

	電力価格上昇時			都市ガス価格上昇時			LPガス価格上昇時			灯油価格上昇時		
	都市ガスへの代替	LPガスへの代替	灯油への代替	電力への代替	LPガスへの代替	灯油への代替	電力への代替	都市ガスへの代替	灯油への代替	電力への代替	都市ガスへの代替	LPガスへの代替
北海道	0.450	0.827	0.622	0.622	0.955	0.588	1.194	1.614	1.158	0.552	0.303	0.586
東北	0.412	0.850	0.549	0.575	0.832	0.488	1.146	1.638	1.093	0.410	0.081	0.449
関東甲信	0.737	0.867	−	0.850	1.223	−	1.229	1.366	−	−	−	−
北陸	0.618	0.873	0.383	0.743	1.105	0.564	1.223	1.503	1.138	0.120	-0.035	0.108
東海	0.708	0.865	−	0.825	1.108	−	1.167	1.337	−	−	−	−
近畿	0.759	0.879	−	0.867	1.544	−	1.442	1.558	−	−	−	−
中国	0.563	0.874	−	0.693	0.924	−	1.133	1.481	−	−	−	−
四国	0.348	0.877	−	0.504	0.711	−	1.117	1.715	−	−	−	−
九州	0.602	0.870	−	0.729	0.952	−	1.127	1.426	−	−	−	−
沖縄	0.044	0.871	−	0.243	0.405	−	1.085	2.024	−	−	−	−

表 4 から，電力とそれ以外のエネルギーとの代替弾力性として，電力と都市ガス，電力とＬＰガス間の代替弾力性についてみていきたい．すべての地域において，電力価格の上昇時における都市ガスあるいはＬＰガスへの代替弾力性は，都市ガスあるいはＬＰガス価格上昇時における電力への代替弾力性に比べて小さいことが確認できる．

本分析では，地域別の世帯平均値を用いた分析になっており，オール都市ガスやオール LP ガスの世帯に比べて，オール電化の世帯が多いことから，オール電化世帯で都市ガスや LP ガスへの代替が起こりにくいことを反映している可能性もある．いずれにしても，代替がききにくい電力価格の上昇は，都市ガスや LP ガス価格の上昇に比べて，家計への負担感も大きくなるといえる．

4. おわりに

家庭部門のエネルギー需要の価格弾力性が世帯属性によって異なることは，先行研究においても指摘されてきた．ただし，価格弾力性の推定値には，用いるデータの種類，期間や推定モデルの違いが影響することから，異なる分析結果の価格弾力性の水準を直接比較することは難しい．そこで本研究では家庭CO_2統計の個票データを基に，同一の推定手法を用いて価格弾力性を推定することで，世帯属性の違いによるエネルギー需要の価格弾力性の違いを明らかにした．その結果，住宅の建て方別，単身/非単身，省エネへの取り組み強度，一人当たり世帯収入の違いが，価格弾力性の推定結果に違いをもたらすことを確認した．

電力需要の自己価格弾力性についてみてみると，戸建ての非単身世帯，一人当たり収入が低い世帯においては，電力価格の上昇に対する需要の弾力性が低くなる傾向にあり，結果的にエネルギー支出の負担が高止まりしやすくなることが示唆される．生活に欠かせないエネルギーの価格上昇は，世帯属性によって家計への影響が大きく異なる．

また，省エネ行動を実践している世帯では，価格上昇に対して，より弾力的に対応していることが確認できた．エネルギー支出の負担増を和らげる対策としては，Boonekamp[4]が指摘するように，実効性のある省エネ対策に関する情報提供の有効性を示唆している．

謝辞

本研究にあたっては，資源エネルギー学会の「環境省家庭用 CO_2 排出実態調査研究会」を通して環境省からデータの提供を受けました．関係者の皆様に感謝申し上げます．

参考文献

1) Tanishita, Masayoshi, Price Elasticity of Residential E;ectricity Demand by Region in Japan: Have They Changes Since the Great East Japan Earthquake?, JSER Vol. 40, No.5, 2019

2) 環境省;『家庭部門の CO_2 排出量実態調査』，各年版

3) 星野優子・小川順子；家庭部門の CO2 排出実態統計調査の個票データに基づく地域別，エネルギー構成別，所得階層別のエネルギー源別価格と支出の分析，Journal of Japan Society of Energy and Resources, Vol. 42, No. 4, エネルギー・資源学会, 2021

4) Boonekamp, Piet G.M., Price elasticities, policy measures and actual developments in household energy consumption – A bottom up analysis for the Netherlands, Energy Economics, Volume 29, Issue 2, March 2007, Pages 133-157

居住者の省エネルギーシナリオに基づく家庭部門 CO_2 排出削減の可能性評価

Evaluating the Possibility of Reducing CO_2 Emissions in the Residential Sector Based on Resident Energy Saving Scenarios

平野勇二郎 *・吉田友紀子 **・吉田　崇紘 ***・山形　与志樹 ****

Yujiro Hirano　Yukiko Yoshida　Takahiro Yoshida　Yoshiki Yamagata

Abstract

In order to realize a decarbonized society, it is important to consider measures to reduce CO_2 in the residential sector. In this study, as a basic research for examining measures to reduce CO_2 emissions in the residential sector, we evaluated the effect of reducing CO_2 emissions based on an energy-saving scenario. Assuming an energy-saving action scenario and an energy-saving equipment introduction scenario, we calculated the CO_2 reduction effects of energy savings for cooling, heating, and hot water. In particular, based on the seasonal change pattern of CO_2 emissions at the individual sample level, we broke down energy use such as cooling and heating, and linked it to the equipment usage status to conduct a detailed analysis based on use and household attributes. As a result, the CO_2 reduction effect was quantified under the rough scenario setting. However, realistic evaluation based on the feasibility of the scenario is necessary in the future.

Key words *:* Residential Energy Consumption, CO_2 Reduction, Energy Saving Scenario, CO_2 Emission Statistical Survey

１．はじめに

近年は地球規模の気候変動の影響が顕在化しており，エネルギー起源の CO_2 排出量の削減が重要課題である. とくに家庭部門の CO_2 排出量は近年減少しつつあるが，今後の脱炭素社会の実現に向けてさらに大幅な削減努力が必要である. こうした状況において，著者らはこれまでに消費行動[1)]や世帯属性[2)]，地域条件[3)]などと CO_2 排出の関係を分析する研究を行なってきた. しかしながら，これらはいずれも家計調査や全国消費実態調査を利用したマクロ推計に基づき諸要因が平均化されているため，今後は地域や世帯ごとの住まい方やエネルギー利用状況を踏まえたより詳細な実態把握と削減策の検討を進める予定である. その基礎研究として，本研究は住宅の省エネルギーシナリオに基づいた CO_2 排出削減効果を評価した. とくに本研究では，家庭部門の CO_2 排出実態統計調査（以下，家庭 CO_2 統計）の個票データを利用し，CO_2 排出の季節変化パターンに基づいて冷房・暖房等のエネルギー用途に分解し，冷暖房利用状況と対応させる形でエネルギーの用途を踏まえた削減効果を算定した.

Corresponding author; Yujiro Hirano, E-mail: yhirano@nies.go.jp

*国立環境研究所社会システム領域

〒305-8506　茨城県つくば市小野川 16-2

**茨城大学大学院理工学研究科

***東京大学空間情報科学研究センター

****慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科

２．方法およびデータ

本研究では，省エネ行動シナリオと省エネ機器導入シナリオを想定し，冷房用，暖房用，給湯用のそれぞれの省エネルギーによる脱炭素効果を算定した. 家庭 CO_2 統計の個票データを分析する際，サンプル数を確保するため 2017～2019 年度のデータを統合的に用いた.

エネルギー消費を大まかな用途別に把握するため，家庭 CO_2 統計の個票データにより個別サンプルレベルでエネルギー用途に分解した. このため，まず各サンプルについて月別 CO_2 排出量が最小となる月の値をベース需要による排出とした. その上で，他の月の排出量とベース需要による排出の差を算出し，ベース需要となった月より気温が高ければ冷房，気温が低ければ暖房とした. また，給湯による CO_2 排出量はこの方法で分解することは難しいため，本研究では家庭 CO_2 統計のデータに含まれた給湯による CO_2 排出の推定値のデータを用いた. この精度等は今後検証する．また，ベース需要による排出と給湯による排出との差を照明・動力等とした. この結果得られた用途別 CO_2 排出の月別パターンを図 1，世帯属性別の集計値を図 2 に示す.

なお，本研究では，世帯人員数別の評価では「単身世帯」，「2 人世帯」，「3 人以上世帯」の 3 区分とする. 世帯規模の影響そのものを評価することは本研究の目的の一環ではないが，単身世帯や 2 人世帯に関しては年齢層や地域条件，住宅条件などについて，世帯人員数以外のバイアスを含む

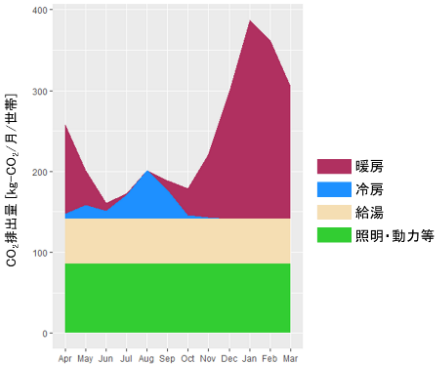

図 1　月別パターンによる用途分解

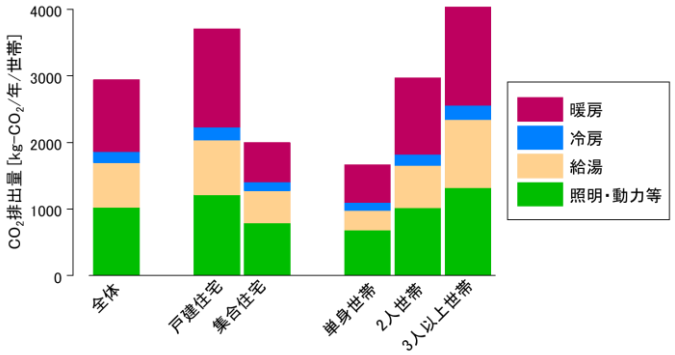

図 2　用途分解後の CO_2 排出量（世帯属性別）

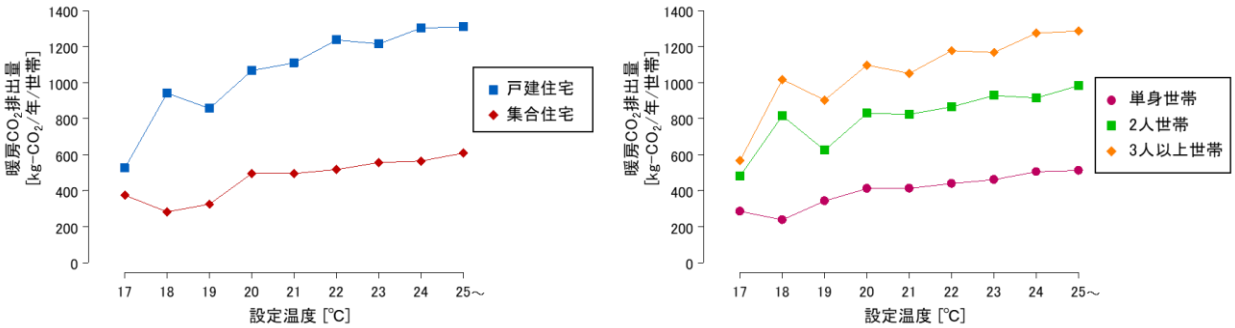

図 3　暖房設定温度と暖房 CO_2 排出の関係

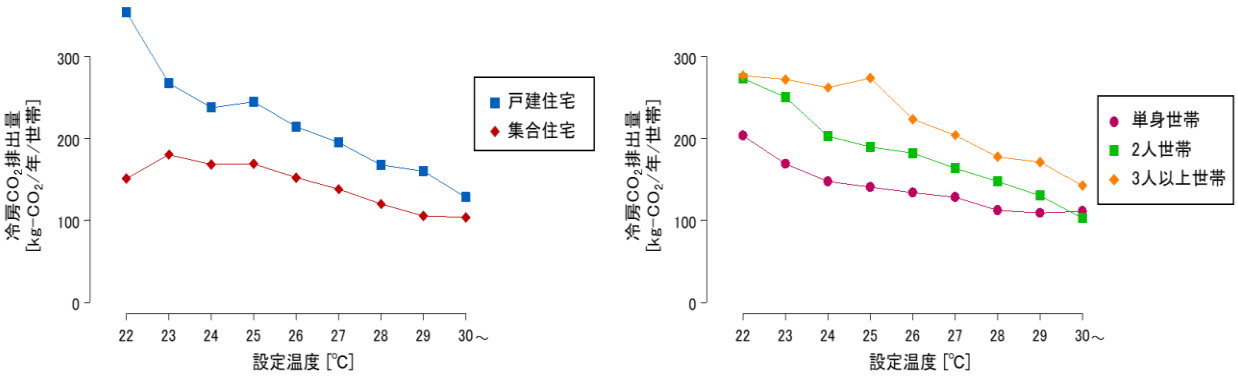

図 4　冷房設定温度と冷房 CO_2 排出の関係

可能性があるため区別した. 一方，サンプル数等も考慮し，3 人以上世帯は一括した. また，空調負荷の生じ方は住宅の建て方により異なるため，必要に応じて建て方別に算出した. その際は「戸建住宅」,「集合住宅」の 2 区分とし，長屋は集合住宅に含める.

3．省エネ行動シナリオ

暖房および冷房による CO_2 排出と各々の設定温度の関係を図 3，図 4 に示す. この結果，暖房の設定温度が低いほど CO_2 排出量が少ない傾向，および冷房の設定温度が高いほど CO_2 排出量が少ない傾向が明確に生じた. このため，ここでは暖房の設定温度を 1℃下げること，冷房の設定温度を 1℃上げることを省エネ行動シナリオとして設定した. 単回帰式により割り出した大まかな削減効果は，年間・世帯あたりで暖房では戸建住宅:95.2[kg-CO_2/℃]，集合住宅:39.0[kg-CO_2/℃]，冷房では戸建住宅:18.3[kg-CO_2/℃]，集合住宅:12.4[kg-CO_2/℃]となった. 全世帯で実施した場合は，暖房では暖房 CO_2 排出の 6.5%（家庭部門全体の 2.4%），冷房では冷房 CO_2 排出の 9.4%（家庭部門全体の 0.54%）の削減効果が得られるという結果となった.

給湯に関しては，入浴日数と給湯による CO_2 排出には強い相関が得られているものの，入浴日数を減らす対策は受容性が低いことが知られており，画一的なシナリオ設定では実現性が低い. そこで，家庭 CO_2 統計の調査項目に従い，「シャワーを使うときは，不必要に流したままにしない」，「家族が続けて入浴するようにしている」，「食器を手洗い

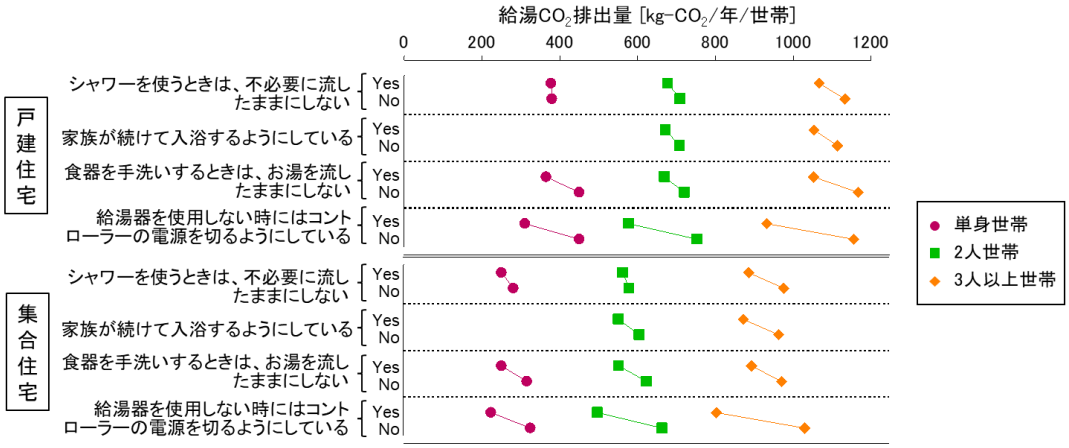

図 5　給湯の省エネ行動実施状況と給湯 CO_2 排出の関係

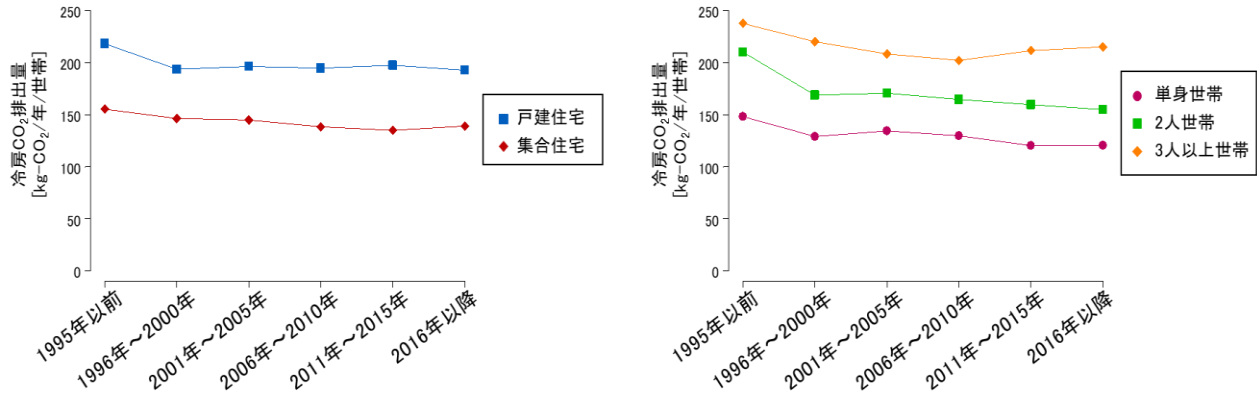

図 6　エアコンの製造時期と冷房 CO_2 排出の関係

するときは，お湯を流したままにしない」，「給湯器を使用しない時にはコントローラーの電源を切るようにしている」の 4 つの対策実施の有無による CO_2 排出の差を評価した. この結果，図 5 の通り，各々の対策がいずれも CO_2 排出が得られることが示唆された. ただし，省エネ意識が高い世帯では複数の対策を実施していると考えられるため，図 5 では各々の対策の効果を個別に定量化できているとは言えない. したがって，実施する対策の数を増やすシナリオを想定する際に，図 5 における各対策の効果をそのまま加算することは不適切である. そこで，ここでは 4 つの対策の全て（単身世帯では，「家族が続けて入浴するようにしている」を除く 3 つの対策）を実施している世帯のみを抽出し，CO_2 排出量を算定した. これらの世帯を他の世帯と比較したところ，建て方別・世帯人数別のいずれのカテゴリーも概ね 2 割程度の削減効果が見られた. そこで，この削減率を用いて全世帯がこれらの対策を全て実施した場合の CO_2 削減効果を算定したところ，給湯 CO_2 排出の 19.3%（家庭部門全体の 4.4%）の削減効果が得られるという結果となった.

4．省エネ機器導入シナリオ

省エネ機器導入シナリオでは，最新の高効率の機器の導

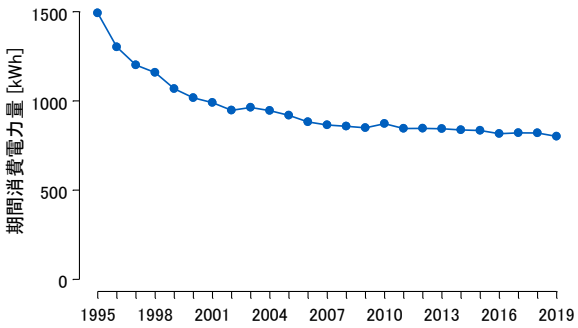

図 7　エアコンの期間消費電力量の推移

入による CO_2 の削減効果を評価した. まず，エアコンの製造時期と冷房 CO_2 排出の関係を調べたところ，わずかながら最近の機器の方が CO_2 排出量が少ないという結果となった（図 6）. しかしながら，エアコンの消費電力は 1995 年以降に大幅に減少しており（図 7），これと比較すると図 6 に示した実際の CO_2 削減の幅は小さいと言える. これは，主に高効率の機器の方が使用時間が長いことや，冷房負荷が発生しにくい賃貸の集合住宅において古い機器が用いられていることなどが影響していると考えられる. ここでは，同条件で比較するため，省エネ性能カタログ [4] などに示された期間消費電力（図 7 参照）の比に基づいて全ての機器を各

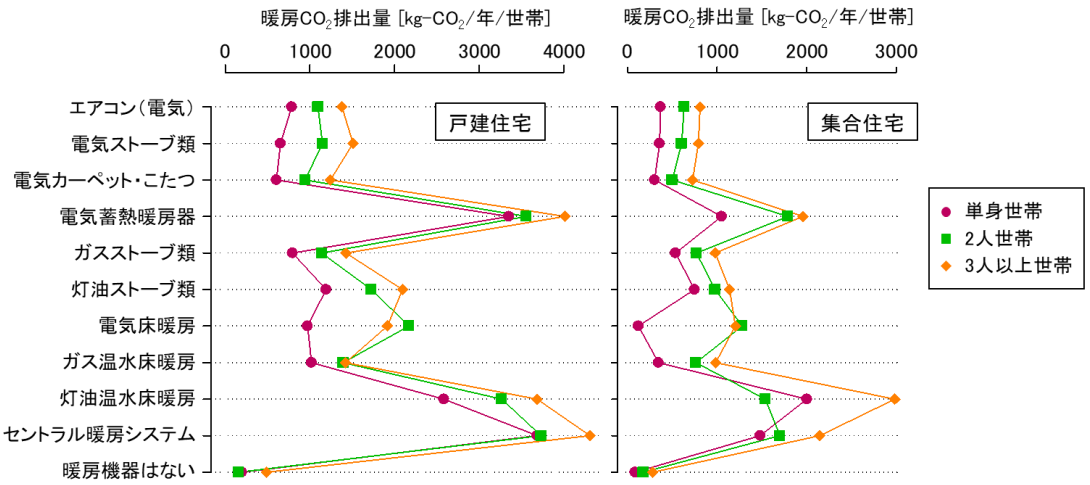

図 8　主要な暖房機器と暖房 CO_2 排出の関係

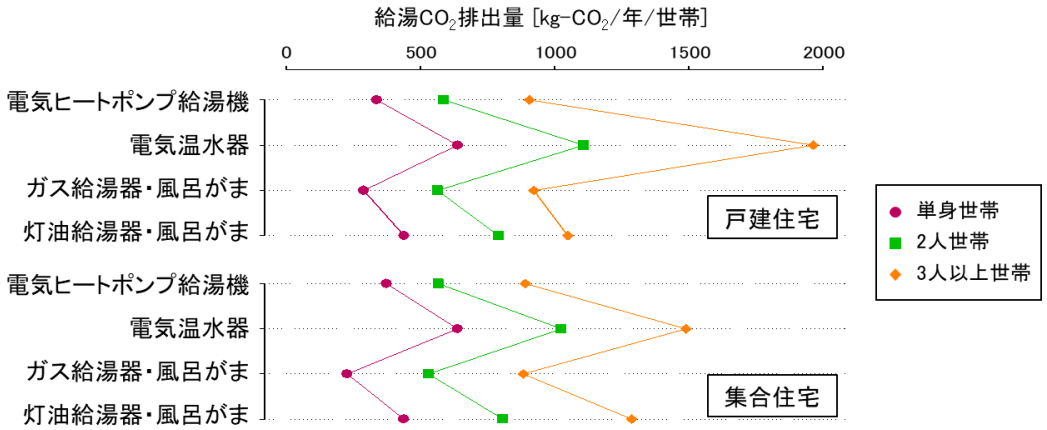

図 9　給湯機器と給湯 CO_2 排出の関係

年と 2019 年製造レベルの効率とした場合の CO_2 排出量を算定した. この結果，最新の機器への更新による CO_2 削減効果は冷房 CO_2 排出の 10.5%（家庭部門全体の 0.60%）となった.

次に，最もよく使う暖房機器と CO_2 排出の関係を調べたところ，電気蓄熱暖房やセントラル暖房システムなどの利用世帯で CO_2 排出量が多いという結果となった（図 8）. ただし，住宅規模の影響が除去しきれていない可能性が高いため，他の設備と対等に比較することが難しい. また，こうした住宅の付帯設備は最新の機器への更新は難しいため，一律にエアコンへの買い替えなどを想定したシナリオでは実現性が乏しい. このため，ここでは代替性があると考えられる「エアコン（電気）」,「電気ストーブ類」,「ガスストーブ類」,「石油ストーブ類」のみを検討の対象とした. なお，これらの 4 種および，より CO_2 排出が少ない「電気カーペット・こたつ」と「暖房機器なし」で全体の 90%以上の世帯をカバーしている. エアコン（電気）については，機器更新により前述した冷房と同等の効率改善が見込める想定で計算した. 加えて，電気ストーブ類，ガスストーブ類，石油ストーブ類を建て方別・世帯人員数別に同様のエアコンに入れ替える想定で計算した. この結果, 暖房機器更新により暖房 CO_2 排出の 19.7%（家庭部門全体の 7.2%）の削減効果が得られるという結果となった.

給湯の機器更新の効果を算定するため，給湯機器と給湯 CO_2 排出の関係を調べた（図 9）. この結果から，とくに電気温水器における CO_2 排出量が多いため，これらをヒートポンプ給湯機へ交換することにより大幅な CO_2 削減効果が期待できる. また, 図 9 ではガス給湯器はヒートポンプ給湯機より CO_2 排出が少ないが，住宅規模等の影響が除去しきれていない可能性がある. このため，冷房・暖房と同様に，省エネ性能カタログ等の値を用いて機器更新の効果を算定した. ここでは，ヒートポンプ給湯機の効率は 3.3（省エネ性能カタログ [4] の「フルオート 320L 以上 550L」を想定）とし，燃焼式の給湯器の効率は 0.9 とした. また，電力の CO_2 排出係数は東京電力による 0.457[kg-CO_2/kWh]とした. 燃料の排出係数は都市ガス : 14.04 [t-C/TJ], LP ガス : 16.38[t-C/TJ], 灯油 : 18.71[t-C/TJ]とした. 電気温水器からヒートポンプ給湯機への更新の効果は，現状の電気温水器の CO_2

排出量をヒートポンプ給湯機の効率により除すことにより算出した. 燃焼式の給湯器では, 上記のパラメータ設定に基づいて算定したところ，都市ガスでは 31%，LP ガスでは 41%，灯油では 48%の削減効果が得られるという結果となった. この想定に基づき全ての機器を更新した場合の CO_2 削減効果は給湯 CO_2 排出の 28.9%となり，これは家庭部門全体の 6.6%に相当する.

５．まとめ

本研究では，家庭 CO_2 統計の個票データを用い，省エネ行動シナリオと省エネ機器導入シナリオの 2 つのシナリオの想定に基づいて CO_2 削減効果を評価した． ただし本研究では，やや大胆なシナリオ設定のもとで CO_2 削減効果を算定しているものの, 多くのケースで家庭部門 CO_2 排出の数%程度の効果となっており，今後の脱炭素社会実現に向けて複合的な対策の必要性を示唆する結果となった.

本研究はあくまで今後さらに現実的かつ詳細な評価を行うための基礎研究と位置付けるものである. 本研究では削減シナリオとそれに伴う CO_2 削減効果の対応を把握するため，実現性よりも分かりやすさを優先した大まかなシナリオを設定した. この点について, 今後は生活者の受容性やコスト等を踏まえて，より現実的な想定に基づいて評価する必要がある. また, 本研究では各シナリオを対等に比較しうる条件設定となっているため，この結果ではどの対策がより良いかを明らかにするようなシナリオ間の比較評価はできない. この点も今後検討が必要である. 今後はさらに現実的なシナリオ設定を検討するとともに，それを実現するためのストラテジーの議論も併せて行う必要がある.

謝辞

本研究は，文部科学省 大学の力を結集した，地域の脱炭素化加速のための基盤研究開発 JPJ010039，日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究（B）課題番号 23H01546 の助成を受けたものです. ここに記して謝意を表します.

参考文献

1) Hirano Y., Ihara T. and Yoshida Y.; Estimating Residential CO_2 Emissions based on Daily Activities and Consideration of Methods to Reduce Emissions, Building and Environment, 103 (2016), pp.1-8.
2) 平野勇二郎，井原智彦，戸川卓哉，五味馨，奥岡桂次郎，小林元; 家庭における直接・間接 CO_2 推計に基づく低炭素型ライフスタイルの検討，環境科学会誌，30(4), (2017), pp.261-273.
3) Hirano Y., Ihara T., Hara M. and Honjo K.; Estimation of Direct and Indirect Household CO_2 Emissions in 49 Japanese Cities with Consideration of Regional Conditions, Sustainability, 12(11), (2020).
4) 省エネ性能カタログ; https://seihinjyoho.go.jp/frontguide/catdl.html (アクセス日 2023.2.28)