

人口変化と集合住宅と戸建て住宅間の世帯移動を考慮した家庭部門 CO₂ 排出調査に基づく CO₂ 排出の地域別予測

A Projection of Future CO₂ Emissions of Household Sector Considering Population and Residential Building Choices due to Family Types

森 俊介
Shunsuke Mori

The CO₂ emission of household sector is one of the key issues in future Japan decarbonization policy. It is because carbon emissions depend on life style and residential building choices as well as regional weather conditions. Ministry of Environment Japan provides annual survey of household CO₂ emissions covering 10,000 samples including appliances and transportation fuel consumptions. The author has estimated the potential carbon emission reductions since 2020 by region. One remaining issue is the projection of future residential building stock and number of habitats which affect the energy demands of household sector. In this report, the author gives regional energy demands and carbon emissions of household sector considering the population changes and building types, i.e., detached house or apartment house considering the move from conventional detached houses in rural or suburbs area to apartment houses in urban areas. Scenarios on other household appliance technologies and EVs are also included.

Keywords : households, rural and urban rea, detached and apartment houses, population and habitats per household

1. 背景と目的

日本政府が公約した 2050 年以降の「ゼロエミッション目標」において、家庭部門の排出削減は大きな課題となっている。を掲げている。環境省 2019 年度（令和元年度）の温室効果ガス排出量（速報値）によれば、電力・熱配分後の家庭部門からの CO₂ 排出は日本全体の 15.4%を占める。

家庭部門の課題は、①生活活動と密着した排出のため、排出源は広く薄く分布していること、②暖房用、冷房用、輸送用などのエネルギー需要に気候や地理的条件など、またライフスタイルや住まい方など多様性があること、③短期的なトップダウン的対策オプションは限られること、が挙げられる。同時に、日本の社会全般の課題として、④人口減少は、排出の減少と新たな対策導入の制約の両側面があること、⑤人口減少は村落部だけでなく郊外ベッドタウンの「スポンジ化」への対策も重要となること、⑥人口減少のもとで、地域社会が今後どのように維持されるか、という経済問題との相互作用が重要になること、も同時に検討が必要である。

また、これまでは別部門であった輸送部門との統合化では、太陽電池（PV）の急速な価格低下、民生用建物の大幅な省エネ化を実現する ZEH/ZEB や、電気自動車（EV）に

よる乗用車部門の低炭素化、地域の統合的なエネルギー管理など、縦割りを脱却したエネルギーシステムへの移行や、コンパクトシティに表されるよう、地域全体を一つのシステムとして再構築する構想も以前から提案されている。

LCS では、温暖化対策を実装するうえで、地域の人口減少と世帯構成変化(単身世帯が増加)を取り上げ、①戸建て住宅から集合住宅への移動はどれほど起こるのか、②新築住宅需要はどのように変化するのかに特に着目し、さらに、③エネルギー消費、住宅建築需要変化による資材需要の変化、④郊外/戸建住宅から都市部/集合住宅移動で輸送需要・CO₂ 排出は減るのか、という問題と、断熱化、PV 設置、EV 導入やさらに電源構成にの変化によって日本全体でどの程度の家庭からの CO₂ 排出削減が期待できるか、という問題を取り上げてきた。このベースとなる基本データとして、環境省が提供する家庭部門の CO₂ 排出実態統計調査¹⁾ は、地域別エネルギー消費量/(世帯・月)のアンケート調査データがあり、これによりミクロレベルの詳細な分析が可能となっている。

本研究は、科学技術振興機構 低炭素社会戦略センターにおけるこれまでの活動^{2) 3)}の延長上にあるが、本報告にありうる誤りはすべて筆者の責に帰すものである。

2. 家庭部門エネルギー需要分析

2.1 家庭部門エネルギー消費量の地域と住宅の分析

*科学技術振興機構低炭素社会戦略センター研究統括/上席研究員
〒102-8666 東京都千代田区四番町 5-3 サイエンスプラザ
E-mail : mori@jst-lcs.jp

本報告では、「脱炭素社会」への道筋を、可能な限り市町村レベルの実データに基づき分析し、エネルギー消費データの地域性、住宅形態(戸建てか集合住宅か)、居住人数の影響に焦点を置く。上記環境省調査では、平成29年及び平成30年における各全国約9,999件のデータが集計されている。本報告では、アンケート結果を①都市部及び郊外部、②集合住宅世帯及び戸建て住宅世帯、で4群に分けた。各県の都市部と郊外部を、県庁所在地の可住地人口密度により分類した。ただし政令都市においては区部の平均可住地人口密度を用いた。結果の一部を以下の図に示す。

まず、世帯当たりのエネルギー消費(自動車を除く)の地域と住宅別比較を示す。

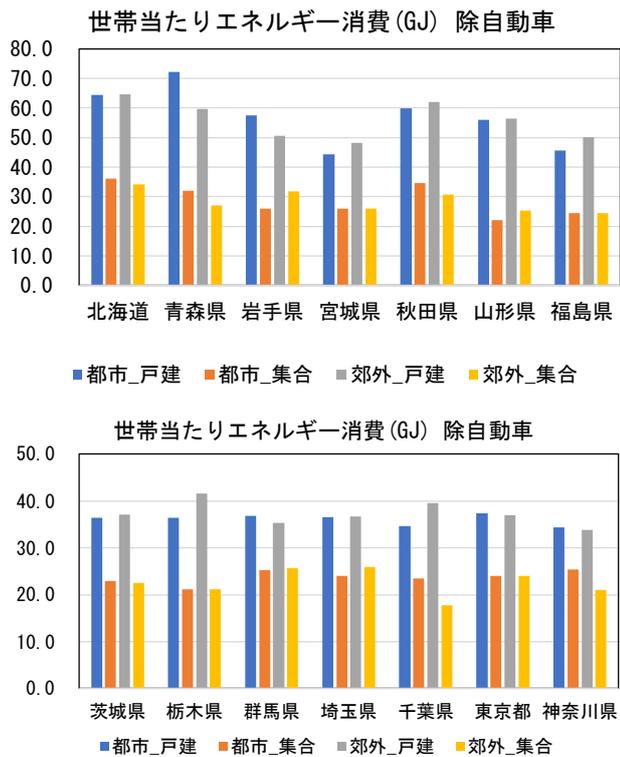


図1 世帯当たり地域・住宅種別エネルギー消費

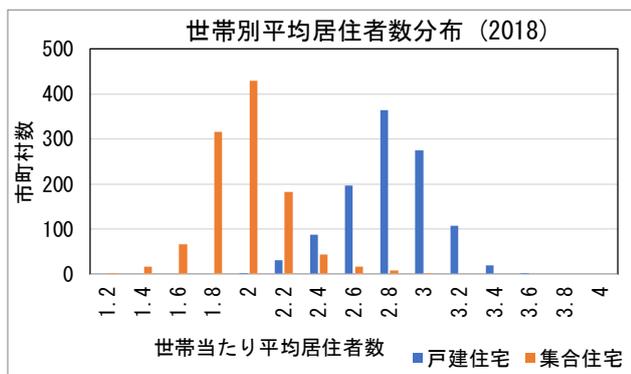


図2 世帯当たり平均居住者数⁴⁾

気候の差による地域差と、住宅種別による差は比較的明瞭であるが、都市部と郊外部の差はあまり明確ではない。しかし、集合住宅と戸建て住宅では居住者人数、住宅面積

とも異なる点を念頭に置く必要がある。

国土交通省の住宅地域別世帯人員統計⁴⁾は、図2のように集合住宅で平均1.8人、戸建て住宅では平均2.8人の差を示す。一人当たりで見ると、図3のように地域差はなお残るものの、県内では戸建て住宅と集合住宅、都市部と郊外部の差は明確でなくなる。このことは、同じ県内で戸建て住宅から集合住宅に移動があっても、それ自体ではエネルギー消費節減を直ちにはもたらさないことを示唆する。

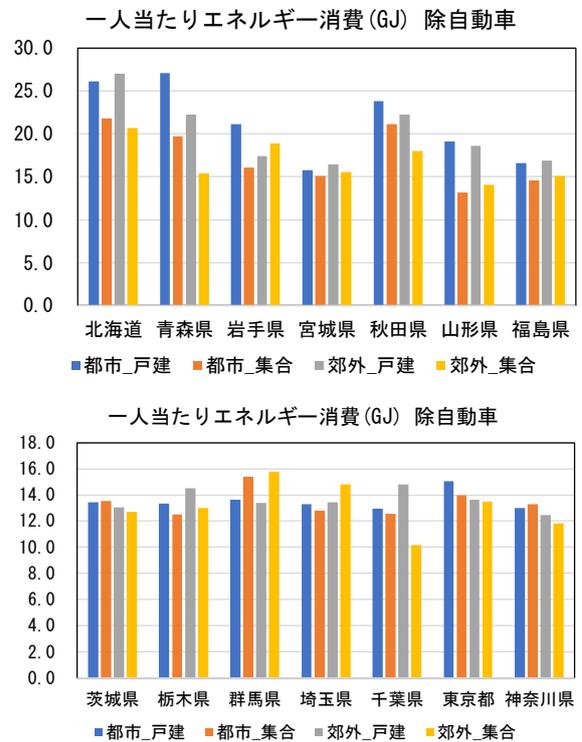


図3 一人当たり地域・住宅種別エネルギー消費

次に自動車用エネルギー消費について同様の分析を行う。自動車用エネルギー消費も地域差が大きく、特に東京、神奈川では明らかに自動車用エネルギー需要は小さい。全体的には郊外部・戸建よりも都市部・集合住宅の方がエネルギー消費は小さい傾向はみられる。しかし東京、神奈川、大阪を除き、差はあまり明確でない。特に、サンプル数の限られる地域では、傾向に偏りが見られる。

もし、一人当たりでは家庭用エネルギー需要に差がないとすると、同じ県内では郊外部戸建て住宅から都市部集合住宅への移動によるエネルギー消費節減の寄与は小さい、という結論になる。そこで、一人当たりエネルギー需要の傾向をより明確化するため、この調査の全市町村を可住地人口密度をhaあたり10人単位でグループ化し、自動車用エネルギー消費の関係をプロットしたものが図6である。

人口密度100人/haまでは低下傾向があるが、その後はほぼ飽和する。可住地人口密度と人口の関係は図7のようになる。このように人口密度100人/ha以下の市町村に居住する人口割合が圧倒的に高い。

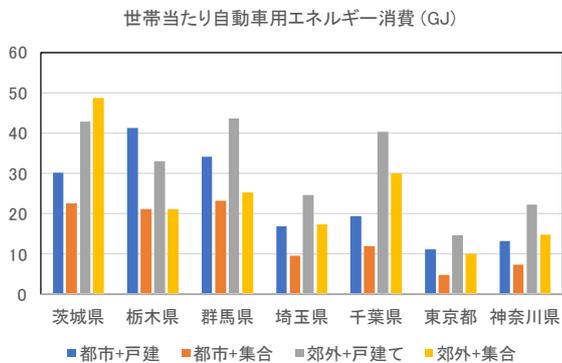
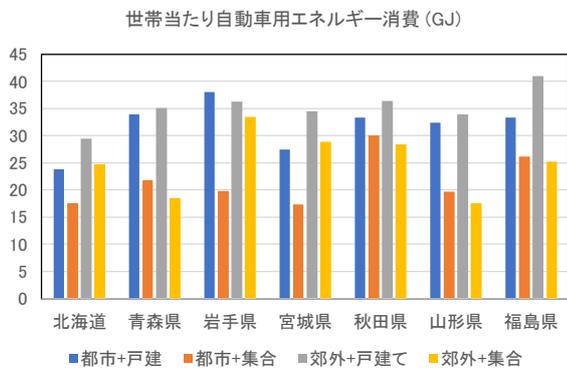


図4 世帯当たり地域・住宅種別エネルギー消費

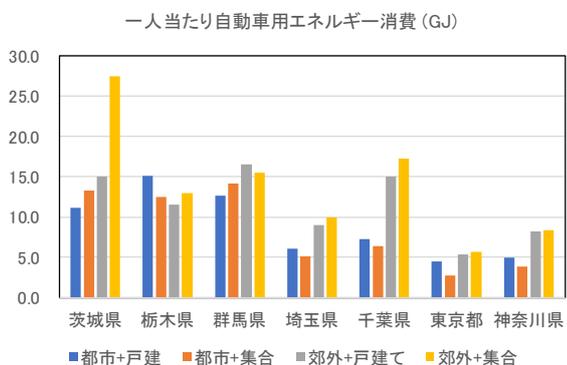
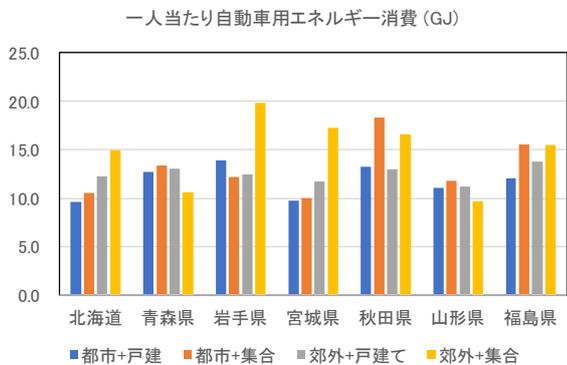


図5 一人当たり地域・住宅種別エネルギー消費

これらの図は、人口の都市部への移行により家庭用自動車用エネルギー需要を潜在的に約 1/2 にできるが、日本の大多数の人口の移動を必要とすることが示唆している。

2.2 将来の人口及び世帯数推移と住宅ストックの予測

次いで、住宅自体の断熱化や PV 設置、さらに EV 導入による CO2 排出削減ポテンシャルの推計を行う。本報告の目

的は、日本全体の CO2 排出削減評価にあるので、技術導入の効果は将来の導入住宅数の予測評価と一体である。そのためには、将来の住宅数推移が必要となる。将来的には、住宅ストックは世帯数はほぼ一致するとされているので、世帯数予測と住宅の残存分布が与えられれば、新築住宅需要が得られる。将来人口予測は厚労省人口問題研究所が市町村別に 2045 年までを与えている⁵⁾。一方、将来世帯数は同研究所が県単位でのみ与えているが、その導出手順は公開されていない。

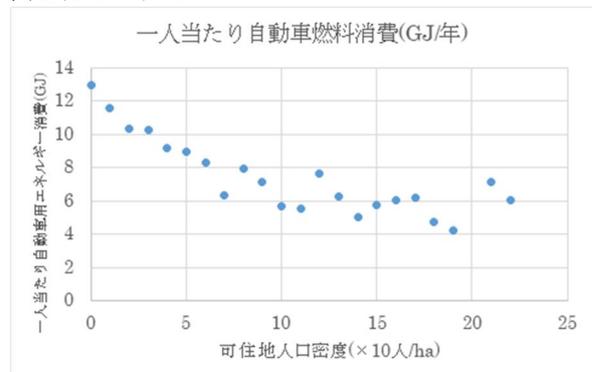


図6 市町村の可住地人口密度グループ化と一人当たり自動車用エネルギー消費の関係



図7 市町村華潤地人口密度グループと居住者総数の関係

ここでは、以下のようにして将来世帯数を市町村別に推計した。まず、各市町村の集合住宅および戸建て住宅の居住者数と世帯当たり居住者数 2018 年初期値を与えておく。世帯当たり居住者数は図 8 のように、低下傾向が著しい。

この世帯当たり人口の市町村別減少率推移を将来に延長し、人口予測値と合わせることで世帯数を推計する。この場合、平均居住者数が 1.2 を下回らないよう住宅ストック将来予測の調整を行った。この値のままでは当然ながら厚労省の将来世帯数予測値と乖離するので、両者が一致するよう、戸建て住宅から集合住宅に移動が発生するものとして基準となるシナリオを構成した。ただし、宮古島やさいたま市の一部など市町村によっては戸建て住宅居住者数より集合住宅居住者数が多いケースでは、この手順は適用できないので、そのような市町村は外した。また、基準ケースでは移動人口上限を住民の 20%とする制約を与えた。

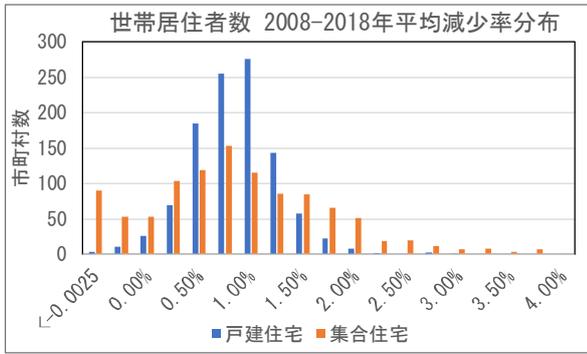


図8 世帯当たり居住者数の2008-2018年間平均減少率

ここから、集合住宅への移動人口割合について5種類のシナリオを与えた。例えば、住宅移動無では集合住宅への移動が起こらず、戸建て住宅の平均居住者が1.2を下回る地域では、住宅そのものが除却されるものとしている。表1に基準ケース(厚労省近似ケースと表記)を中心に、世帯数予測を示す。

表1 人口移動と世帯数将来予測

| (千世帯) | 住宅移動無 | 低移動 | 厚労省近似 | 高移動 | 移動加速 |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 戸建住宅世帯数(2030) | 27,156 | 27,137 | 23,971 | 22,423 | 20,322 |
| 集合住宅世帯数(2030) | 25,069 | 25,089 | 29,553 | 31,787 | 34,885 |
| 世帯数計(2030) | 52,225 | 52,225 | 53,524 | 54,210 | 55,207 |
| 戸建-集合移動人数 | 0 | 49 | 8,032 | 11,966 | 17,335 |

2.3 将来の世帯数推移と新築住宅需要の予測

表1の世帯数は将来住宅ストック予測となる。国土交通省は、5年ごとの「住宅土地統計調査」で建物のストックを工法別・種類別に公表しており、「建築物ストック統計」では調査年における住宅の年齢構成を公表している。また、新築建物の件数と床面積は毎年公表されている。

新築建物需要の推計には、建物の残存曲線が必要である。ここでは、簡単のため「一定期間は除却なし、その後指数関数的に減少」とする近似を行った。過去の新築件数系列にワイブル曲線、対数正規分布曲線などを適用した推計と比較を行ったが、2030年では差は小さいことを確認した。

さらに、これら新築住宅需要に対して発生する建設資材からのCO2排出の推計には、新築件数だけでなく床面積が必要である。床面積に建設資材・労働力需要実態調査⁶⁾あるいは産業連関表などからえられる原単位を乗じることで、新築建物に対する資材需要の推計が可能となる。これらは日本全体のゼロエミッション化に対する負荷要因となる。

そこで、新築住宅床面積の推移であるが、減少傾向にあることが指摘されている。しかし集合住宅においてははっ

きりしない。そこで、県別に新築戸建て住宅および集合住宅の床面積の推移をプロットすると、図9のような傾向を見ることができた。

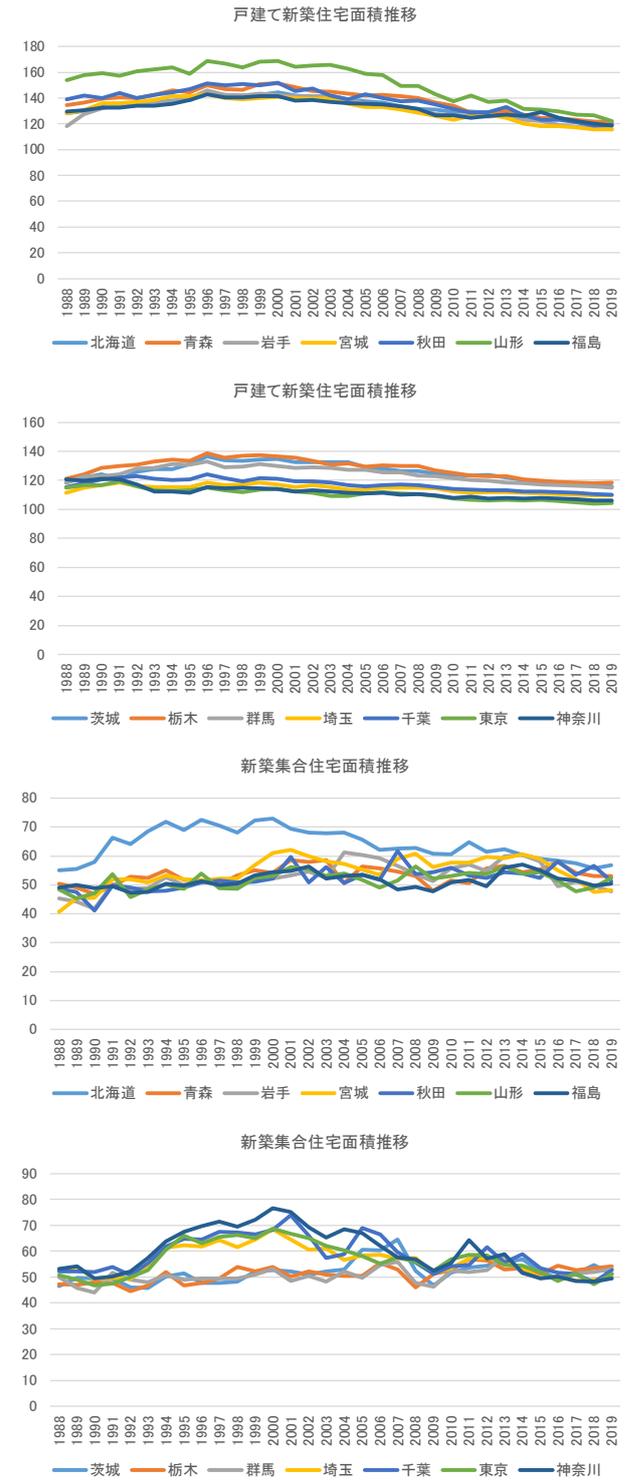


図9 新築戸建て住宅および集合住宅の床面積推移

これらの図から、戸建て住宅では2000年以降床面積の減少傾向が比較的明瞭にみられること、集合住宅では趨勢の地域差が大きいものの、いずれの県も約52-55m²に収束している様子をうかがえる。戸建住宅も、現在約120m²付近に集まる趨勢をうかがえる。この理由に考えられることが、2016年に閣議決定された次の「住生活基本計画」であり、

豊かな住生活の実現の前提として「多様なライフスタイルを想定した場合に必要なと考えられる住宅の面積に関する水準」を決定

最低居住面積水準 単身世帯 25m²、2人世帯 30 m²、一人増えるごとに+10m²

誘導居住面積水準(都市) 単身世帯 40m²、2人世帯 55m² +20m²/追加人

誘導居住面積水準(一般) 単身世帯 55m²、2人世帯 75m² +25m² /追加人

とした。55m²は、都市二人世帯、一般単身世帯の市場への対応と推測できる。

以上から新築住宅需要は表2のように得られた。

表2 新築住宅需要評価結果まとめ

| (千件) | | 移動無し | 低移動 | 厚労省推計を近似 | 高移動 | 移動加速 |
|---|------|-------|-------|----------|--------|--------|
| 戸建住宅 2018-2030 | 都市部 | 2,907 | 2,906 | 1,289 | 802 | 380 |
| | 郊外部 | 1,222 | 1,218 | 465 | 239 | 89 |
| | 合計 | 4,129 | 4,124 | 1,754 | 1,041 | 469 |
| 集合住宅 2018-2030 | 都市部 | 3,798 | 3,801 | 6,618 | 8,015 | 9,940 |
| | 郊外部 | 706 | 723 | 2,364 | 3,202 | 4,374 |
| | 合計 | 4,504 | 4,524 | 8,982 | 11,216 | 14,314 |
| 2018-2030 新築住宅延べ床面積 (百万m ²) | 戸建住宅 | 562 | 549 | 234 | 143 | 66 |
| | 集合住宅 | 231 | 232 | 466 | 582 | 744 |
| | 合計 | 793 | 782 | 700 | 725 | 810 |

3. 家庭部門におけるエネルギー需要変化の推計

以上の世帯数変化と人口変化シナリオをもとに、2030年の家庭部門からのCO₂排出量のシミュレーションを行う。ケースとしては表1の集合住宅への移動5シナリオであるが、ここでさらに以下のような技術導入ケースを想定する。

ケース1：人口と移動による変化のみ

ケース2：新築戸建住宅のZEH化・既存戸建住宅へのPV設置、全電化等の想定。新築集合住宅の断熱化、全電化シナリオの導入

ケース3：乗用車の一部EV化

ケース4：電気事業者のCO₂排出原単位の70%削減

ここでは、戸建て住宅と集合住宅の省エネルギー化について次のような想定を与えた。集合住宅の場合、電化や断熱化は新築時においてのみ導入される。現状ではZEH-MするだけのPV設置場所を敷地内に確保することが難しいため、PV化は考慮しない。戸建住宅でも断熱化やZEH化は新築住宅に対してのみ与えられるが、PV導入や全電化は既存の建物に対しても一定割合は導入可能である。

結果を以下に比較する。図10は住宅の選択によるCO₂排出量の推移である。一人当たりのCO₂排出量の影響が小さいため、ケース間の差はあまり明確ではない。図11は省エネルギー技術導入別変化であり、特にEVと電力排出

原単位の差の寄与は大きい。

さらに、人口移動の際、居住者数に対応して世帯数が増えるのではなく、世帯ごと集合住宅に移転としたシナリオでは、表3のようになった。

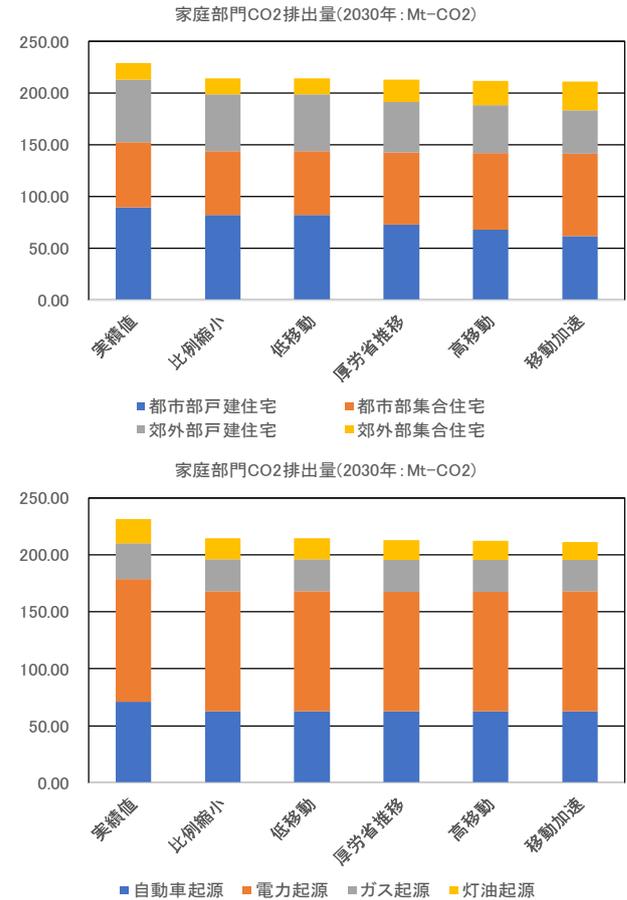


図10 家庭部門の人口移動別CO₂排出量の変化

4. 資材需要の推計

本報告の最後に、このような推計式とマクロなCO₂排出評価の関係の試算結果を紹介する。新築建物に必要なセメントや鉄材は、CO₂排出削減政策のボトルネックとなっている。もし、これらの資材のゼロエミッション化が難しいとするなら、DACやBECCSなどの削減技術が必要となる。

ここでは、住宅需要と同様のストック需要と残存分布曲線から新築需要を推計する天順を、非住宅建物にも適用し、建築資材・労働力需要実態調査⁶⁾を適用することで必要資材の推計を試みた。結果を表4に示す。非住宅建物は、寿命が長いので、もしストック需要が人口に比例すると仮定すると、新築需要は将来に向かって減少せざるを得ない。他方、国土維持のためのインフラは人口に依存する部分は小さいと思われるので、この分の推計は別途必要になる。

5. 結論

本報告では、家庭部門のCO₂排出について、環境省の調査をもとに、日本全体の影響評価を求め、地域差と人口移

動に着目した分析と評価を行った。人口移動は原単位変化と新築住宅需要への影響を経てCO2排出に影響した。なお、本研究は、エネルギー・資源学会による「環境省 家庭部門のCO2排出実態統計調査及び家庭からの二酸化炭素排出量の推計に係る実態調査 全国試験調査の調査票情報を用いて行う研究」の一環であることを付記する。

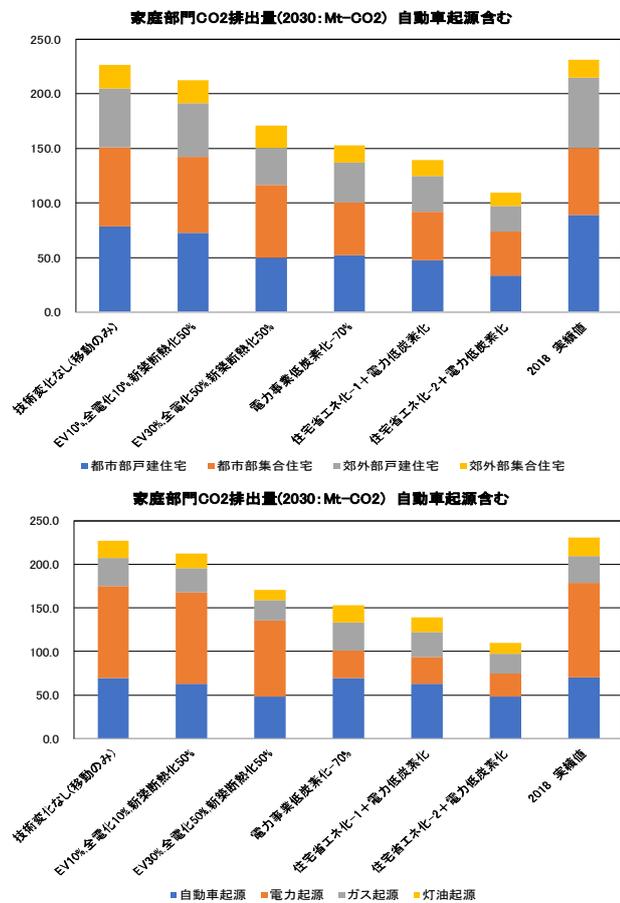


図11 家庭部門の技術導入別 CO2 排出量の変化

表3 戸建て住宅からの移動シナリオによるCO2排出変化

| 人口移動 | 戸建て住宅の移動シナリオ | 都市部戸建住宅 | 都市部集合住宅 | 郊外部戸建住宅 | 郊外部集合住宅 | 総計 |
|-------|--------------------------|---------|---------|---------|---------|-------|
| 基準ケース | 2030-0 戸建て住宅世帯集合住宅に分散移動 | 11.3% | -17.5% | 16.5% | -34.3% | 1.8% |
| | 2030-d 戸建て住宅世帯100%そのまま移動 | 11.3% | -15.8% | 16.5% | -30.0% | 2.6% |
| 基準ケース | 2030-0 戸建て住宅世帯集合住宅に分散移動 | 18.2% | -13.0% | 23.1% | -27.7% | 7.9% |
| | 2030-d 戸建て住宅世帯100%そのまま移動 | 18.2% | -11.5% | 23.1% | -23.8% | 8.6% |
| 移動加速 | 2030-0 戸建て住宅世帯集合住宅に分散移動 | 25.0% | -35.5% | 28.8% | -78.6% | 2.5% |
| | 2030-d 戸建て住宅世帯100%そのまま移動 | 25.0% | -31.6% | 28.8% | -68.6% | 4.3% |
| 移動加速 | 2030-0 戸建て住宅世帯集合住宅に分散移動 | 30.7% | -29.4% | 34.3% | -68.1% | 8.6% |
| | 2030-d 戸建て住宅世帯100%そのまま移動 | 30.7% | -25.8% | 34.3% | -59.0% | 10.2% |

参考文献

- [1] 環境省, “家庭部門のCO2排出実態統計調査(家庭CO2統計)” .
<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/kateiCO2tokei.html>
- [2] 科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター政策提案書, “建物と輸送エネルギーシステムのスマート統合がもたらす地域民生部門炭素排出削減の定量評価”(LCS-FY2019-PP-19), 2020年3月
- [3] 森, “需要側構造変化に着目した日本の産業連関分析モデルの開発”, 第40回エネルギー・資源学会研究発表会, 2021年8月
- [4] 国土交通省, 住宅経済関連データ, https://www.mlit.go.jp/statistics/details/t-jutaku-2_tk_000002.html
- [5] 国立社会保障・人口問題研究所, “日本の世帯数の将来推計(都道府県別推計)”
- [6] 令和元年度 国土交通省, 「建築資材・労働力需要実態調査」

表4 住宅および非住宅建物の新築需要に対する資材需要

| | 住宅建物 新築着工面積建材需要 | | | 非住宅建物 新築着工面積建材需要 | | |
|------------|-----------------|-------------|------------|------------------|------------|-----------|
| | 2018 | 2030 | 2050 | 2018 | 2030 | 2050 |
| セメント(t) | 9,996,743 | 7,123,329 | 3,248,206 | 11,147,600 | 2,913,912 | 266,588 |
| 生コン(m3) | 28,144,011 | 20,084,755 | 9,158,559 | 30,323,797 | 5,520,098 | 243,096 |
| 石材・骨材(m3) | 44,549,248 | 31,710,452 | 14,459,825 | 50,969,788 | 13,044,723 | 1,199,882 |
| 木材(m3) | 10,207,970 | 7,370,332 | 3,360,839 | 8,118,013 | 545,765 | 49,345 |
| 鋼材(t) | 4,456,982 | 3,119,939 | 1,422,678 | 6,914,770 | 2,356,956 | 218,824 |
| 従業者(人日) | 153,708,925 | 109,949,702 | 50,136,573 | | | |
| セメント起源 | 8,130 | 5,793 | 2,642 | 9,066 | 2,370 | 217 |
| 生コン起源 | 259 | 185 | 84 | 279 | 51 | 2 |
| 石材・骨材起源 | 1,042 | 742 | 338 | 1,195 | 306 | 28 |
| 木材起源 | 2,175 | 1,571 | 716 | 1,730 | 116 | 11 |
| 鋼材起源 | 8,647 | 6,053 | 2,760 | 13,415 | 4,572 | 425 |
| CO2排出計 | 20,254 | 14,344 | 6,541 | 25,685 | 7,415 | 682 |
| エネルギー起源CO2 | 16,792 | 11,877 | 5,416 | 20,476 | 6,054 | 558 |

家庭 CO₂ 統計に基づく 戸建て住宅の電力消費と太陽光発電の実態

Status of Electricity Consumption and PV Generation in Detached Houses Using Survey on Carbon Dioxide Emissions from Residential Sector

山田 洋行 *
Hiroyuki Yamada

Abstract

For expanding the installation of solar power systems in detached houses, it is important to understand the status of power consumption and solar power generation based on their characteristics. Therefore, we surveyed the electricity consumption, PV capacity, power generation, power sales, and self-consumption rate of detached houses in each year of PV installation, using micro data of survey on carbon dioxide emissions from residential sector. The results show that the average capacity of PV installed before 2010 was 3.9 kW, while the capacity of PV installed in 2013-2014 was 5.5 kW, an increase of more than 30%. On the other hand, it was found that the total floor area of houses has not changed that much. Thus the increase in average PV capacity can be attributed to lowered economic constraints such as reduced PV system costs and the popularity of overloading. In addition, there has been no increase in average capacity of PV installed after 2015, which can be due to new constraints related to the location of PV installations, such as the total floor space of houses.

Key words : Electricity consumption, Photovoltaics, Self-consumption rate, Detached houses, Micro data

1. はじめに

2021年8月に国土交通省、経済産業省及び環境省は「脱炭素社会に向けた住宅・建築物の省エネ対策等のあり方・進め方」をとりまとめた¹⁾。そこでは2030年の目指すべき姿として新規戸建て住宅の6割が太陽光発電(PV)を導入すること、将来的にPV設置義務化も選択肢の一つとして検討すること、が明記され、住宅への更なるPV導入促進が求められている。

住宅の電力消費量やPV発電量は気候など地域の特性によって変化することが知られており、普及を促進するためにもそれらの実態を把握することは重要である。これまでも、住宅のPV発電量や電力消費量の実態について調査がなされてきた²⁻⁷⁾。鶴崎ら²⁾は、製造年度の新しい設備の発電性能は優れている傾向があることや、発電を開始してから発電性能が低下していく低下率を実績から示した。田中らは住宅PVの発電実態を首都圏³⁾や九州地方⁴⁾を対象に評価し、PVが設置される住宅の延べ床面積が異なるなど、地方によって設置状況や発電実態が異なることを示した。福代⁵⁾はPV導入世帯と非導入世帯の電力消費実態(買電量)を調査し、夏季にはPV導入世帯の買電量が相対的に小さく、年平均や冬季の買電量では有意な差がみられないことを示した。鶴崎ら⁶⁾はPV導入者の発電実態を調査し、平均の設備容量は4.8kWで1kW当たりの発電量の最

頻値は1200-1300kWh/kW/年であることを示した。また、環境省は家庭部門のCO₂排出実態統計調査⁷⁾(以降、家庭CO₂統計)において、2017年より全国を対象に毎年調査しており、電力消費量やPV発電量などの各種の統計値を公表している。

しかし、既往研究では調査時期が2000年よりも前であること、調査時期が比較的近年(2015年まで)の実態に基づいていたとしても地方別に調査がされていないこと、調査の内容が買電量に限定していることから不十分である。技術進歩によって発電性能の向上したパネルや過積載が一般的となった近年の実態に基づき、複数の地方を対象に買電量、PVの発電量、売電量などを総合的に調査した例は家庭CO₂統計を除いてみられない。また、家庭CO₂統計においても、この統計調査は世帯属性に基づくエネルギー消費や保有機器、省エネ行動といったものに焦点が当てられているため、PV導入世帯への調査件数は単年でみると限定的である。そのため家庭CO₂統計でPVに関する統計値として公表されている値は少なく、ばらつきなどの実態は個票データに含まれているものの、統計値としてまとめられており読み取ることができない。

上記のように、複数地方を対象とした近年の住宅の電力消費量とPV発電量について、ばらつきなどを含めた実態把握は十分にできていない。そこで本研究では、家庭CO₂統計の個票データを3年分用いて、全国の複数地方を対象

Corresponding author; Hiroyuki Yamada,

E-mail: e1581@mosk.tytlabs.co.jp

*株式会社 豊田中央研究所 社会システム研究領域

〒480-1192 愛知県長久手市横道41-1

に住宅の電力消費量と PV の発電量，売電量，自家消費率について調査する．また，PV 導入年度によって世帯属性や各値がどのように移り変わっているのか把握する．

2. 方法

家庭 CO₂ 統計の個票データを用いて，住宅の地方別・PV 導入年度別における買電量，PV の容量，発電量，売電量，自家消費率を調査した．なお，自家消費率は発電量と売電量の差を発電量で除することで算出した値である．買電量と売電量が大きく，自家消費率が低いということは，蓄電池など電気を貯蔵する設備の導入によって，買電量の低下や自家消費率の向上といった効果が期待できるということである．また，買電量が大きくて自家消費率が高い場合（買電量に対して PV 容量が小さいときなど）や，買電量が小さくて自家消費率が低い場合（買電量に対して PV 容量が大きいときなど）もあるため，これらの値を総合的に把握することが重要である．

地方区分は家庭 CO₂ 統計が採用する 10 区分とし，PV 導入年度は売電によって得られた収入（円）を売電量（kWh）で除した売電単価（円/kWh）から推定した．売電単価と PV 導入年の関係は FIT（固定価格買取制度）の買取価格⁸⁾を参考に表 1 のように定めた．個票データの各値に対して，地方別であれば地方別に，月別であれば月別に集計したものを対象にして，平均値及び標準偏差の算出や，最大値，最小値，値のばらつき具合に関する箱ひげ図による可視化などの手法で評価した．また，PV の容量によって戸建てあたりの発電量，売電量は大きくばらつくため，PV 容量 1kW 当たりの値にすることで規格化し，買電量についても同様に規格化した．

表 1 PV 導入年度と売電単価

| PV導入年 | 売電単価(円/kWh) | |
|-----------|--------------|--------------|
| | 10kW未満 | 10kW以上 |
| -2010 | 47.5以上 | 47.5以上 |
| 2011-2012 | 41.5以上47.5未満 | 39.5以上47.5未満 |
| 2013-2014 | 36.5以上41.5未満 | 31.5以上39.5未満 |
| 2015- | 36.5未満 | 31.5未満 |

2.1 使用するデータ

家庭 CO₂ 統計において 2014 年 10 月から 2015 年 9 月に実施された全国試験調査および 2017 年度（平成 29 年度）と 2018 年度（平成 30 年度）に実施された本調査（以降，表中，図中にて各調査を 2015，2017，2018 と記す）の 3 年分の個票データを用いた．調査年度の気象によって PV の発電実態にばらつきが生じると考えられるが，それもその地方の発電実態を表しているため，3 年分のデータを区別することなく用いることとした．

使用する個票データは予めデータ審査が行われており，

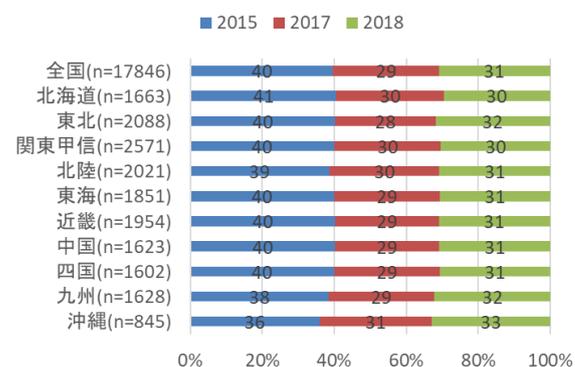
設問間・調査票間で齟齬のある回答や蓋然性の低い回答に対してデータの除去や修正が実施されている．具体的には，使用量と金額の相関関係，地方内の平均単価値からのずれ，キリのよい金額の連続回答などを除外，不明値化，補完することで修正するなどしている．本研究で用いる PV 導入世帯の個票データを詳細に観察したところ，PV の設備容量や発電量などで欠損があるもの，月間の発電量よりも売電量の方が大きいもの，明らかに屋根上に設置されていないと推測できるもの，1kW 当たりの発電量が異常に高いものが散見された．人為的な記入ミスや，各値の指針日や期間のずれ等があるため生じていると考えられ，月別の発電実態の評価にこれらの個票データがあるとばらつきが大きくなるため，PV 導入世帯のデータはこれらを審査し，該当するものは除外した．また，住宅の建て方区分は「戸建て」と「集合」の 2 種類存在するが，戸建てを対象とするため「集合」のものは除外した．

2.2 データの構成

家庭 CO₂ 統計 3 年分の個票データについて，調査年別構成比を図 1 に示す．なお，PV 導入世帯は審査後の結果となる．全国ではいずれも 2015 年度で約 4 割，2017 年度で約 3 割，2018 年度で約 3 割と 2015 年度が他の年度に比べて若干データ数が多い構成となった．PV 導入世帯の北海道と沖縄はその傾向が顕著となり，2015 年度で半数以上を占めていた．

図 2 に地方別の構成比を示す．比較のために併記した住

PV非導入(戸建て)



PV導入(戸建て)

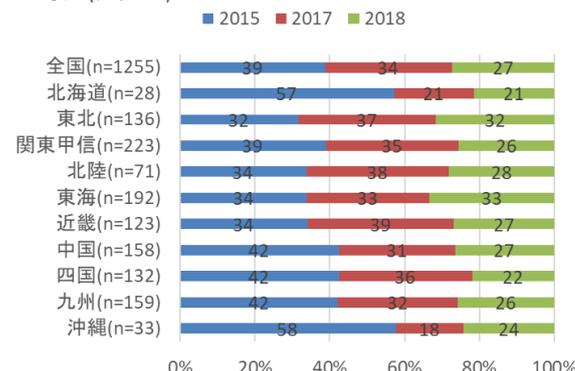


図 1 家庭 CO₂ 統計個票データの調査年別構成比

宅土地統計⁹⁾の結果は、専用住宅の戸建てを対象に世帯数を集計したものとなっている。住宅土地統計と比較すると、北海道、東北、北陸、中国、四国、沖縄など比較的都市部が少ない地方の構成比は住宅土地統計よりも大きく、関東甲信、東海、近畿、九州など比較的都市部が多い地方の構成比は小さい。また、家庭CO₂統計は都市階級3区分(都道府県庁所在市(東京都は区部)及び政令指定都市、人口5万人以上の市、5万人未満の市及び町村)で調査世帯数を調整しており、概ね全国で4:4:2の割合となるように調査しており、実態(2.9:5.5:1.6)¹⁰⁾に比べて人口の多い都市部の調査数が少ない。以上のことから、個票データを利用した評価結果は、2015年度の影響、および都市部の少ない地方の影響が強く出ること留意する必要がある。

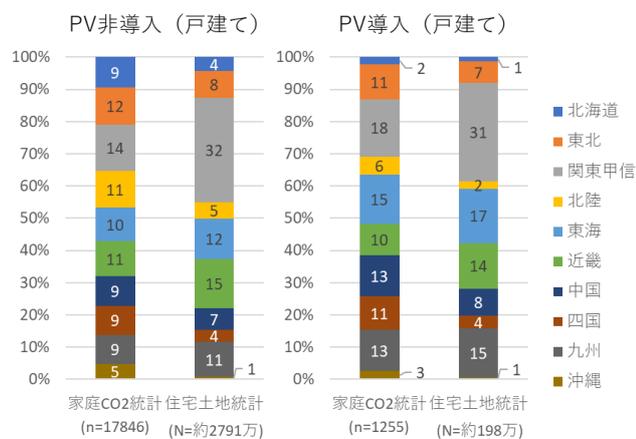


図2 家庭CO₂統計個票データの地方別構成比

3. 結果

3.1 使用した個票データの属性

PV導入世帯と非導入世帯についてその属性を比較するために、それぞれ世帯人員数、世帯年収、住宅の建築年度、延べ床面積について集計した結果を図3に示す。

世帯人員数について、PV非導入世帯の最頻値はいずれの地方も2人であるのに対して、PV導入世帯は2~4人と、最頻値の世帯人員数は多い。しかし、PV導入世帯と非導入世帯の割合の分布形を χ^2 検定によって評価したところ、全国を対象に評価すると有意な差はみられなかった($p>0.05$)。ただし、地方別では中国、九州、沖縄では有意な差がみられた($p<0.05$)。福代⁵⁾は全国を対象に世帯人員数で有意な差がみられた($p<0.001$)と報告しているが、本調査では一部の地方で有意差がみられるものの、全国を対象に評価した結果では有意差がみられなかった。

世帯年収について、北海道、北陸、沖縄の地方はPV導入世帯でも500万円未満の世帯が40%以上を占めるなど、他の地方に比べると世帯年収の低い世帯にもPVが導入されていた。PV非導入世帯ではいずれの地方も世帯年収500万円未満の世帯が多い一方で、PV導入世帯では世帯年収

500万円以上の世帯の割合が多い傾向があるようにみられる。しかし、PV導入世帯と非導入世帯の割合の分布形を χ^2 検定によって評価したところ、全国を対象に評価すると有意な差はみられなかった($p>0.05$)。ただし、地方別では東北、東海、近畿、四国、九州、沖縄では有意な差がみられた($p<0.05$)。同様に、福代⁵⁾は全国を対象に世帯年収について有意な差がみられた($p<0.001$)と報告しているが、本調査では一部の地方で有意差がみられるものの、全国を対象に評価した結果では有意差がみられなかった。

住宅の建築年度について、PV非導入世帯に比べてPV導入世帯のほうが建築年度の新しい世帯の割合が多かった。

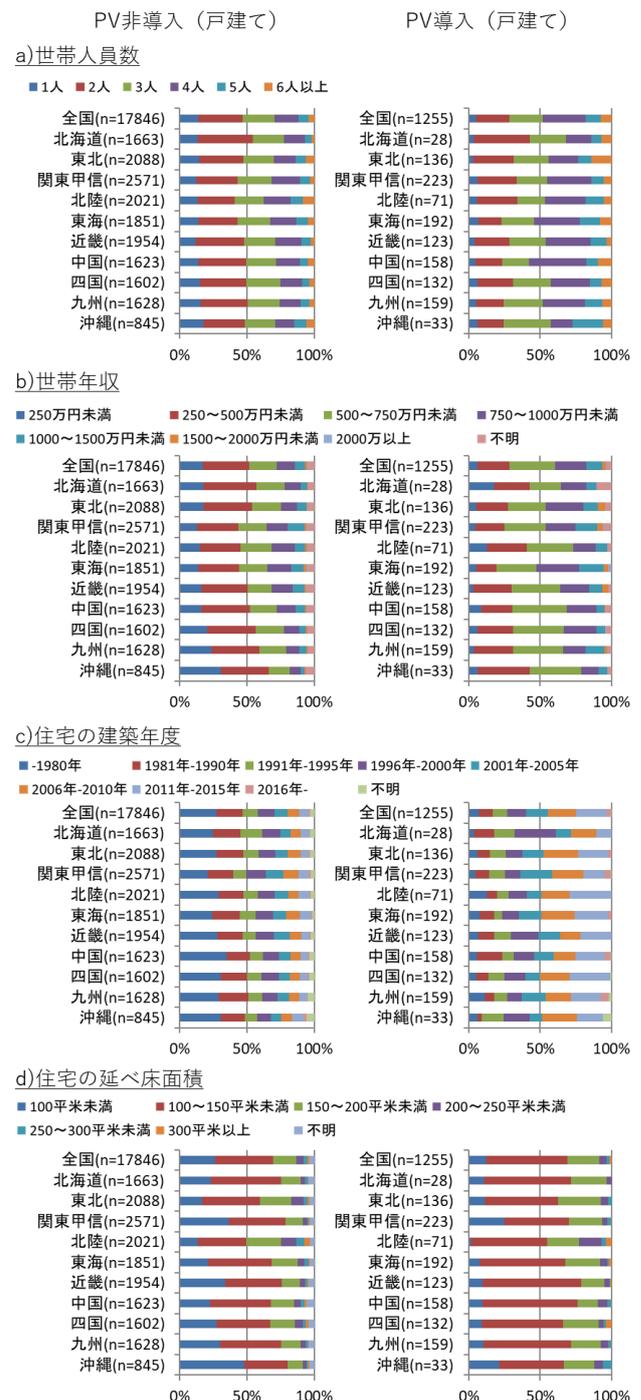


図3 PV導入、非導入世帯の属性

PV 導入世帯の北海道は建築年度 2000 年以前の割合が約 60% を占め、他の地方に比べて古い住宅の割合が多かった。 χ^2 検定によって評価した結果、全国およびいずれの地方においても有意差がみられた ($p < 0.05$)。

延べ床面積について、PV 非導入世帯の最頻値は 100 m² 未満もしくは 100~150 m² 未満である一方、PV 導入世帯の最頻値は 100~150 m² 未満となり、PV 導入世帯のほうが延べ床面積の広い世帯の割合が多かった。 χ^2 検定によって評価した結果、全国、東北、関東甲信、東海では有意差がみられず ($p > 0.05$)、その他の地方では有意差がみられた ($p < 0.05$)。

福代の研究における調査時期は 2010 年と、本報で使用した家庭 CO₂ 統計の調査時期より 5 年以上前となっている。福代の研究では、調査時期が PV の余剰電力買取制度 (2009 年 11 月) の開始後であるものの、FIT (2012 年 7 月) の開始前となっているため、PV 導入件数は 2010 年で約 75 万件と 2015 年の約 208 万件に比べて少なく、PV 導入は進んでいない状況となっている。余剰買取制度開始直後の福代の研究では、PV 導入世帯と非導入世帯の割合の分布形について世帯人員数と世帯年収で有意な差がみられたが、PV 導入が進んだ 2015 年以降では、地方によっては有意差がみられるものの、全国では有意差がみられなくなった。つまり、この 5 年の時間経過によって、世帯人員数や世帯年収の属性でみると PV 導入がより一般的な世帯にまで広がってきたことが示唆される。

3.2 PV 容量と延べ床面積

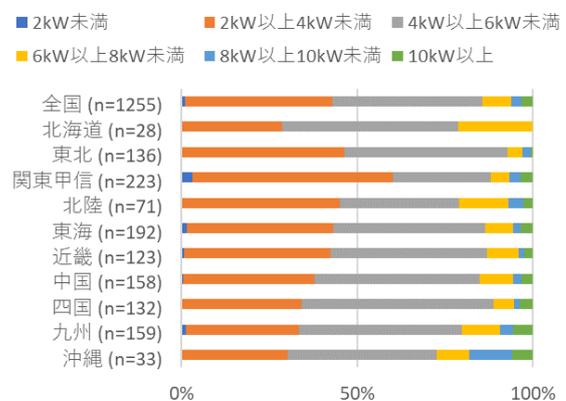
PV 導入世帯の PV 容量について、その構成比と平均容量を図 4 に示す。都市部が多い関東甲信では、4kW 未満の設備の割合が 60%以上と比較的小型のものが多く、また、北海道、中国、四国、九州、沖縄では 4kW 以上の設備の割合が 60%以上と比較的大型のものが多かった。また、10kW 以上の設備を持つ世帯が全国で 3%程度確認された。平均 PV 容量は全国で 4.5kW、最も大きいのは沖縄の 5.6kW、次いで九州の 4.9kW、北海道の 4.7kW となった。一方、最も小さいのは東北と関東甲信の 4.1 kW だった。

PV 容量の大きさと関係が大きいと考えられる延べ床面積について、個票データから求めた PV 導入世帯と非導入世帯の延べ床面積の平均値と、比較のために住宅土地統計¹⁾から求めた戸建て住宅の延べ床面積を図 5 に示す。PV 導入世帯の全国平均は 141 m²であったのに対し、非導入世帯は 134m²、戸建て住宅は 127m²と、PV 導入世帯は非導入世帯や戸建て住宅の全国平均より 5~10%程度大きかった。ただし、東北、北陸、中国においては、PV 導入世帯と非導入世帯でほとんど差がみられなかった。戸建て住宅と PV 非導入世帯の平均延べ床面積は同等か PV 非導入世帯の方が若干広がった。個票データは実態に比べて地方部のデー

タ数の割合が多いことから、実態を表す戸建て住宅の平均値よりも延べ床面積が広がったと考えられる。

調査時期が 2015 年と比較的近年である鶴崎ら²⁾の既往研究の全国平均は 4.8kW であり、本調査結果でもこれと近い値を得ることが出来た。また、調査時期が 2000 年以前である田中ら^{3,4)}の既往研究における九州の平均容量 3.6 kW に対し、本結果では 4.9kW と 1kW 以上増加した。また、延べ床面積の平均値は首都圏で 136m²、九州で 173 m²であったのに対し、本結果においては、関東甲信で 133 m²、九州で 141 m²となり、関東甲信では同等の結果となったものの、九州では既往研究より 30m²以上狭くなった。PV 容量は増加したのに対して、住宅の延べ床面積は同等もしくは狭くなっていった。

a) PV容量の構成比



b) 平均PV容量

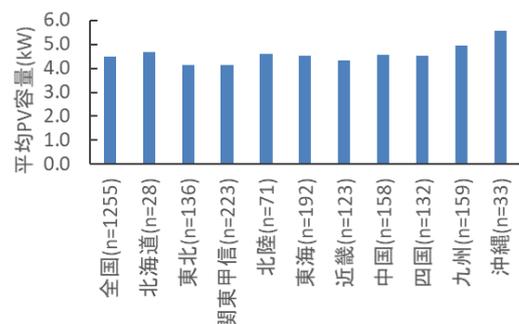


図 4 PV 容量の構成比と平均 PV 容量

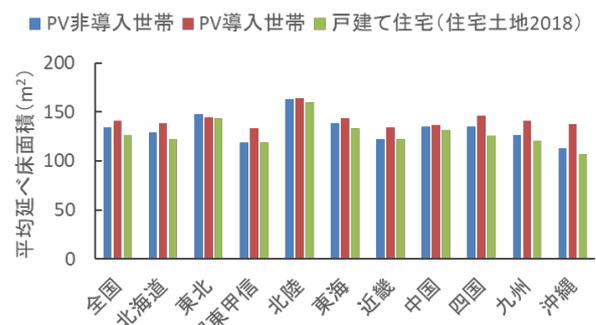


図 5 地方別の平均延べ床面積 (PV 住宅と戸建て住宅)

3.3 買電量, 発電量, 売電量, 自家消費率の年間値

(1) 全国

審査後の個票データを用いて, 年間の買電量, PV の発電量, 売電量, 1kW 当たりの買電量, 発電量, 売電量および自家消費率の基本統計量を算出した結果を表 2 に, 箱ひげ図で表示した結果を図 6 に示す. PV 発電量と売電量は 1kW 当たりの量に規格化することで, 住宅に導入されている PV 容量の大きさの影響を抑えて評価することができ, 平均値に対する標準偏差の値が小さくなった. 同様に, 中央値に対する四分位範囲 (75 パーセンタイル値と 25 パーセンタイル値の差) も小さくなり, これは箱ひげ図の箱の幅からもその様子を見ることができる. なお, PV 発電量は 1kW 当たりの平均値 1096kWh/kW/年に対し, 標準偏差は 222kWh/kW/年と平均値の 2 割程度の大きさであった. また, PV 売電量は 1kW 当たりの平均値 760kWh/kW/年に対し, 標準偏差は 218kWh/kW/年と平均値の 3 割程度の大きさであった. 1kW 当たりの発電量と売電量の平均値の差は約 300kWh/kW/年ある一方で, それぞれの標準偏差は同程度で差はほとんどみられなかった.

表 2 個票データにおける年間の基本統計値

| | 買電量 (kWh/年) | PV 発電量 (kWh/年) | PV 売電量 (kWh/年) | 1kW 当たりの | | | 自家消費率 - |
|------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------|----------------------|------------|
| | | | | 買電量 (kWh/kW/年) | PV 発電量 (kWh/kW/年) | PV 売電量 (kWh/kW/年) | |
| サンプル数 | 1255 | | | | | | |
| 平均値 | 6665 | 4902 | 3519 | 1671 | 1096 | 760 | 0.3 |
| 標準偏差 | 3756 | 2375 | 2256 | 1077 | 222 | 218 | 0.16 |
| 最大値 | 28968 | 22028 | 22028 | 7780 | 1831 | 1604 | 0.91 |
| 75パーセンタイル値 | 8420 | 5692 | 4223 | 2163 | 1233 | 906 | 0.4 |
| 中央値 | 5991 | 4431 | 3035 | 1423 | 1116 | 769 | 0.3 |
| 25パーセンタイル値 | 4046 | 3370 | 2175 | 904 | 970 | 622 | 0.22 |
| 最小値 | 526 | 612 | 172 | 107 | 202 | 93 | 0 |

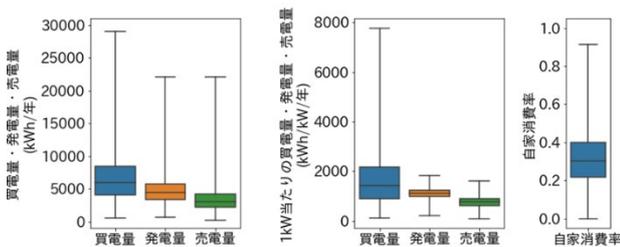


図 6 年間値の箱ひげ図

(左から, 買電量・発電量・売電量, 1kW 当たりの買電量・発電量・売電量, 自家消費率)

(2) 10 地方

10 地方別の 1kW 当たりの買電量, 発電量, 売電量, 自家消費率の平均値と標準偏差を比較するために, それぞれの値をプロットした結果を図 7 に示す. また, それらを箱ひげ図で表示した結果を図 8 に示す. 図 7 と図 8 より, 以下のことがそれぞれ観察できた.

- 買電量について, 北海道, 東北, 北陸は他の地方に比べて平均値や中央値が高かった. また, 標準偏差や箱の幅から, これらの地方は他の地方に比べてばらつきが大きかった.

- PV 発電量の平均値や中央値は北海道や北陸で低かった. また, PV 売電量は地方による差がみられなかった.
- PV 発電量と売電量の平均値や中央値の大きさはそれぞれの地方で異なるものの, いずれの地方も発電量と売電量で 300kWh/kW/年程度の差がみられた. 一方, 標準偏差や箱の幅の大きさは地方で異なるものの, いずれの地方も発電量と売電量でほぼ同じ大きさであった.
- 自家消費率は, 平均値や中央値に対して標準偏差や箱の幅が大きく, ばらつきが大きいことがわかった.

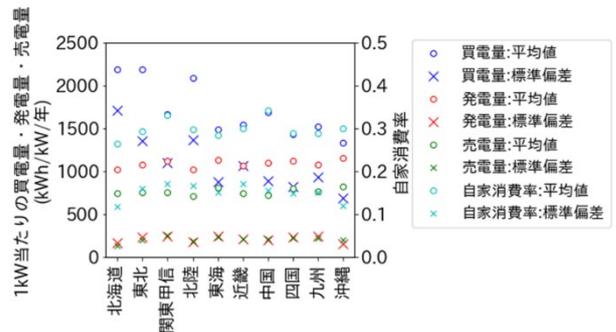


図 7 10 地方別の年間の実態

(1kW 当たりの買電量・発電量・売電量, 自家消費率の平均値と標準偏差)

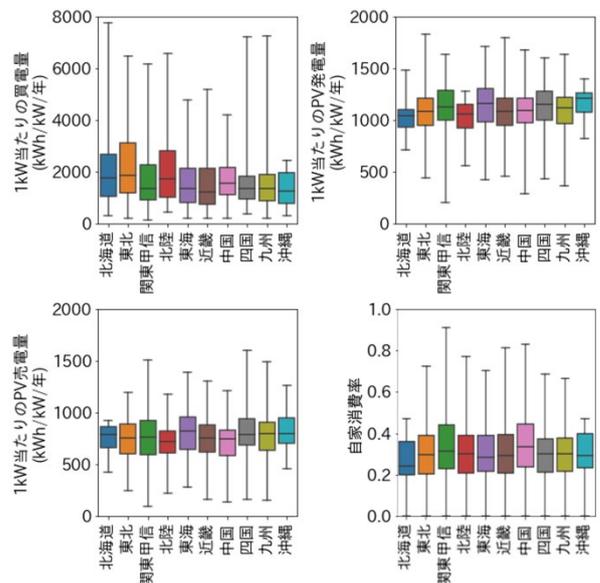


図 8 10 地方別の年間値の箱ひげ図

(1kW 当たりの買電量・発電量・売電量, 自家消費率)

3.4 買電量, 発電量, 売電量, 自家消費率の月間値

全国および 10 地方別の買電量, PV 発電量, PV 売電量, 自家消費率について, 平均値と標準偏差をそれぞれ月別に算出した結果を図 9 に示す.

(1) 全国

全国を対象に観察された結果を以下に挙げる.

- 買電量の平均値の月別の推移は冬 (12, 1, 2, 3 月) に高く, 初夏から夏 (6, 7, 8, 9 月) に低かった. ま

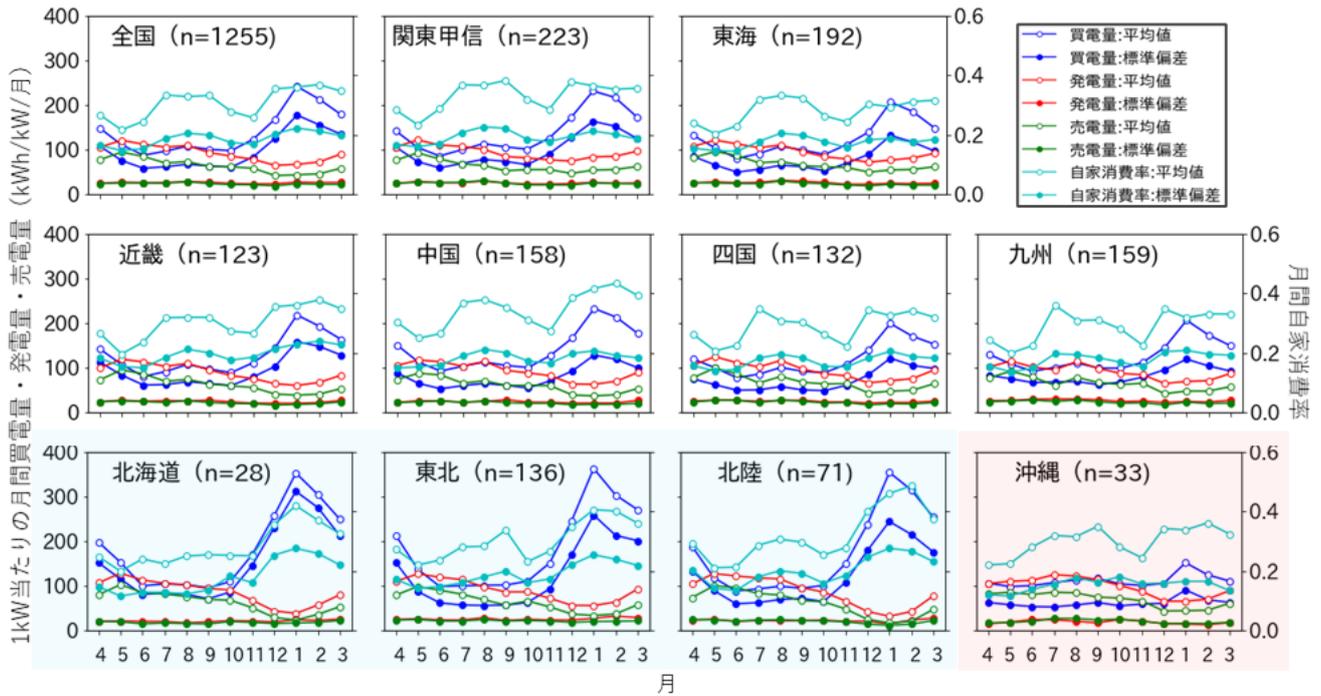


図9 全国と10地方における月別の実態（1kW当たりの買電量・発電量・売電量，自家消費率の平均値と標準偏差）

た，標準偏差も平均値と同様の傾向を示し，平均値の大きさに伴って変化した。

- 発電量と売電量の平均値の月別の推移は同じような傾向を示し，春夏（5，6，7，8月）に高く，秋冬（11，12，1，2，3月）に低かった。一方，発電量と売電量の標準偏差の月別の推移は平均値と異なり，月によらずほぼ一定で推移した。また，発電量の平均値より売電量の平均値は低くなるものの，発電量と売電量の標準偏差は同程度であった。
- 自家消費率の平均値の月別の推移は夏（7，8，9月）と冬（12，1，2，3月）に高く，春（4，5，6月）と秋（10，11月）に低かった。また，自家消費率の標準偏差も平均値と同様の傾向を示し，平均値の大きさに伴って変化した。買電量，発電量，売電量は，季節の移ろいで1回のピークが観察されるのに対し，自家消費率は2回のピークが観察された。

発電量の平均値は概ね $90 \pm 30 \text{ kWh/kW}$ 程度と鶴崎ら²⁾の既往研究と同程度の結果が得られた。一方，発電量の標準偏差について，既往研究では，冬に発電量が低くなるにも関わらず標準偏差は高くなる傾向であることが示されているが，本結果の標準偏差は多少の変動こそみられるものの季節によらずほぼ一定となっていた。本結果で一定となっていた理由は不明であるが，既往研究では標準偏差が高くなる理由として，冬季の太陽高度が低いことから設置条件によるアレイ面日射量差が大きくなること，積雪や周辺建築物による日陰などの影響を受けやすいことが挙げられている。

(2) 10地方

10地方別の結果について比較したところ，10地方は概ね全国と同じような傾向を示す地方（関東甲信，東海，近畿，四国，中国，九州），北部地方（北海道，東北，北陸），沖縄の3つの傾向に分けられると考えられる。以下に観察された結果を挙げる。

- 買電量について，最も高い冬の月と最も低い夏の月の差は全国で 150 kWh/kW /月程度あったのに対し，北部地方は 250 kWh/kW /月程度，沖縄は 50 kWh/kW /月程度と，地方によって差が大きく異なった。
- 発電量と売電量について，全国に比べて北部地方の夏は同程度であるのに対して冬は半分程度に低下した。沖縄は全国と同じような値であった。
- 自家消費率について，全国と沖縄は夏と冬に同程度のピークが2つ観察されたのに対し，北部地方の夏は全国に比べて若干低く，冬は全国に比べて高かった。
- 買電量と自家消費率の標準偏差は平均値の大きさに伴って変化したのに対し，発電量と売電量の標準偏差は月別の平均値の変動に依らず概ね一定に推移した。北部地方（特に北海道）は，夏の冷房など昼間の買電量が少ないため，それに伴って自家消費率は低くなったと考えられる。また，冬の発電量・売電量の低下および自家消費率の向上は，冬型の気圧配置によって昼間に晴天となる時間が少なくなり，かつ暖房などの需要増加によって自家消費する電力が増えたことの影響と考えられる。

冷房需要がなく晴天となる時間の多い5,6月の買電量と売電量は同程度であるため，この時期限定で考えれば，新

たに省エネ・創エネすることなく、貯蔵設備の導入のみで買電量を低下させつつ自家消費率も向上させることができると考えられる。一方、冬はそもそも売電量が少なく買電量が大きいため、昼の余剰を貯めることで自家消費率は向上するものの買電量は大きく減らせないと考えられる。

自家消費率の向上は、昼の余剰である売電量が最も大きくなる月（厳密には日）の余剰分を吸収できる設備の導入で十分に効果があると考えられる。夏と冬で大きな差がみられない沖縄であれば、省エネ・創エネで買電量を半減しつつ昼の余剰を貯蔵する設備を導入することで年間を通して電力的に自立することが可能であるが、冬の買電量の多い北部地方ではより大きな省エネ・創エネが必要で、地方によって電力的に自立するための施策の効果は異なると考えられる。

3.5 PV 導入年別の実態

(1) データの属性別構成比

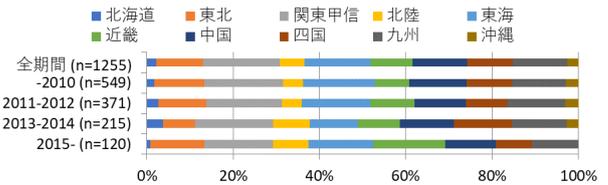
PV 導入年別のデータ属性について、属性別の構成比を **図 10** に示す。地方別構成について、PV 導入年が 2010 年以前から 2015 年以降になるにつれ、北陸や近畿における構成比は増加構成となった。また、2015 年以降は沖縄と北海道のデータがほぼ無く、四国も他の年に比べると減少傾向となった。容量別構成比について、2010 年以前から 2013-2014 年に向けて 4kW 未満の構成比は減少した。2010 年以前の平均値は 3.9kW であるのに対し、2013-2014 年は 5.5kW と 4 年程度で 30%以上増加するなど、PV 導入年が新しくなるにつれて PV 容量は増加する傾向にあった。ただし、2015 年以降は PV 容量の平均値が 5kW と、容量の増加は頭打ちとなっていた。人員数別構成比は PV 導入年度による差があまりみられなかった。世帯年収別構成比は、750 万円未満の世帯の割合が増加していた。延べ床面積別構成比は PV 導入年度による差があまりみられなかった。住宅建築年別構成について、PV 導入年が 2010 年以前から 2015 年以降になるにつれ、2011 年以降のデータの割合が増加する構成となった。

延べ床面積 100m² 以上は PV 容量 5 kW を設置するには十分な住宅であるとすると、これらの住宅で 8 割以上を占めていた。PV 容量は 5kW 程度まで増加傾向にあったものの、延べ床面積に大きな差がみられなかった。つまり、2010 年以前では PV 容量に対して十分に広い屋根上面積を持っていた住宅に対して PV が設置され、近年では同程度の屋根上面積の住宅に対してより大きな容量の PV が設置される傾向にあった。

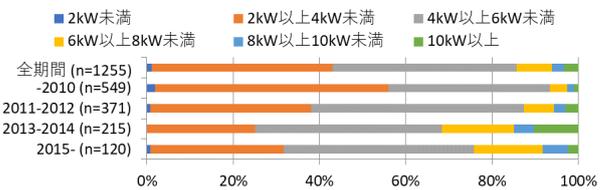
(2) PV 導入年別の PV 容量、買電量、自家消費率

PV 導入年別の PV 容量、買電量、1kW 当たりの買電量・発電量・売電量、自家消費率の箱ひげ図を **図 11** に示す。PV 容量の中央値は 2015 年以降を除けば、年度が新しくなるに

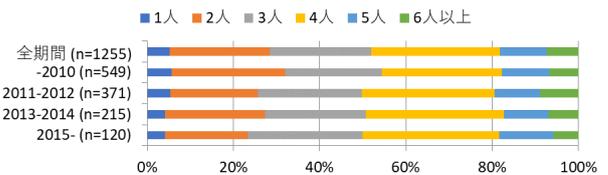
a) 地方



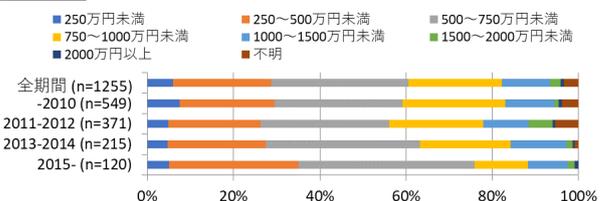
b) PV 容量



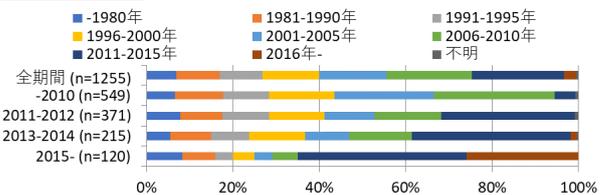
c) 世帯人員数



d) 世帯年収



e) 住宅の建築年度



f) 住宅の延べ床面積

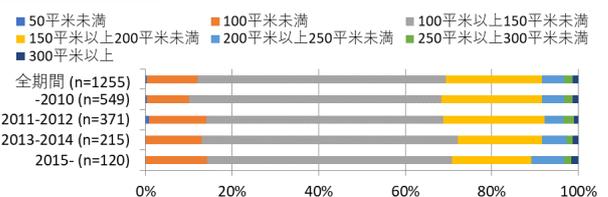


図 10 PV 導入年別データの属性別構成比

つれて増加した。PV 容量が増加した理由として、PV の費用が低減したことや過積載の考えが浸透したことなどからこれまで以上に大きな容量のパネルの設置が可能になったことが考えられる。また、2015 年以降は PV 容量の大きな地方の構成比（北海道、沖縄）が低かったこと、経済的な制約よりも設置できる環境の制約によって頭打ちになったことが考えられる。

買電量および 1kW 当たりの買電量の中央値は、年度が新しくなるにつれて減少した。一方、発電量および売電量の中央値は年度が新しくなるにつれて増加し、自家消費率の中央値は年度が新しくなるにつれて減少した。買電量の減少は、建築年度の新しい住宅の割合が増えていることから、

住宅の省エネ水準が高くなっていることの影響が考えられる。また、発電量および売電量が増加した理由として、PV設置年度が新しいほど使用しているPVシステムの初期の発電性能が向上していること、経過時間が短いためPVシステムの発電性能の低下が少ないこと、が考えられる。このように、買電量は減少しつつも発電量が増加したことにより、売電量の増加傾向は発電量に比べて大きくなり、その結果として自家消費率が減少したと考えられる。

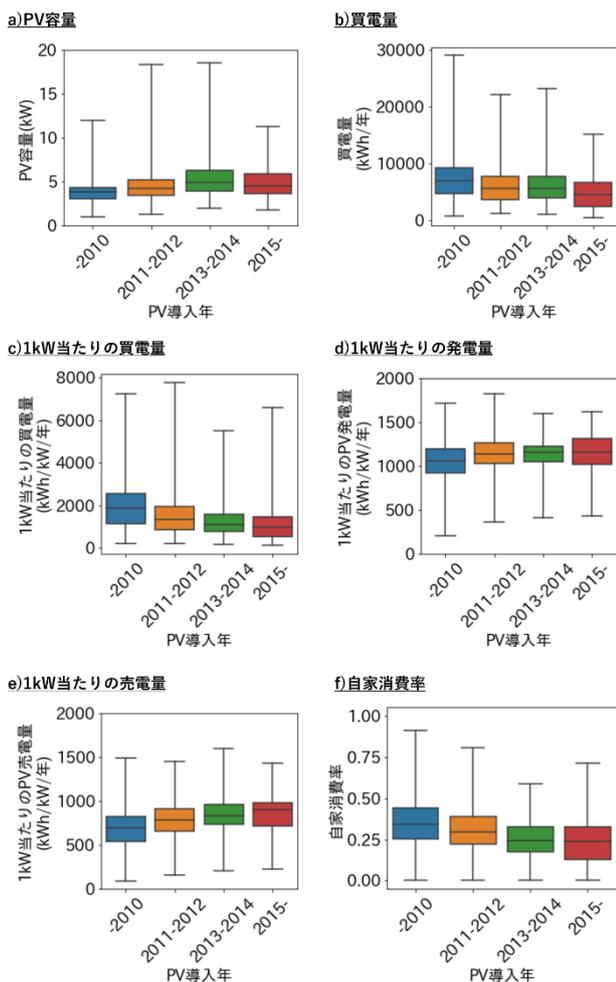


図 11 PV 導入年別の実態

4. まとめ

家庭 CO₂ 統計の個票データを用いて 10 地方別の住宅の電力消費量と PV の発電量などを調査した結果、月別・地方別・PV 導入年度別にそれらの実態を把握することができた。以下に主要な結果をまとめる。

(1) 全国の実態

- 月別の買電量と自家消費率の標準偏差は平均値の大きさに伴って変化したのに対し、発電量と売電量の標準偏差は月別の平均値の変動に依らず概ね一定に推移した。
- 発電量は売電量に比べて値は大きいものの、両者の標

準偏差は同程度であった。

(2) 地方別の実態

- 概ね全国と同じような傾向を示す地方（関東甲信、東海、近畿、四国、中国、九州）、北部地方（北海道、東北、北陸）、沖縄の 3 つの傾向に分けられた。
- 買電量について、最も高い冬の月と最も低い夏の月の差は全国で 150kWh/kW/月程度あったのに対し、北部地方は 250kWh/kW/月程度、沖縄は 50kWh/kW/月程度と、地方によって差が大きく異なった。
- 発電量と売電量について、全国に比べて北部地方の夏は同程度であるのに対して冬は半分程度に低下した。沖縄は全国と同じような値であった。
- 自家消費率について、全国は夏と冬に同程度のピークが 2 つ観察されたのに対し、北部地方の夏は全国に比べて若干低く、冬は全国に比べて高かった。沖縄は全国と同じような値であった。

(3) PV 導入年別の実態

- 2010 年以前の平均値は 3.9kW であるのに対し、2013-2014 年は 5.5kW と 4 年程度で 40%以上増加するなど、PV 導入年が新しくなるにつれて PV 容量は増加する傾向にあった。PV のシステムコストの低減や過積載が浸透したことなど経済的な制約が低くなったためと考えられる。ただし、2015 年以降は PV 容量の平均値が 5kW と、容量の増加は頭打ちとなっており、住宅の屋根面積などの環境制約が新たに生じていると考えられる。

個票データを用いた実態把握の課題として、具体的な PV 設置状況が不明であること、時間分解能が月単位であること、まだデータ数が不十分であることが挙げられる。もし調査の設定に、パネルの設置場所（居住している住宅の屋根上かそうでないか）、方位、傾斜角、インバーター出力、設置年度（本報では推計）、住居の階数、屋根の形状などがあれば、より詳細に分析し実態把握することが可能となる。時間分解能の課題を解決することは難しいと思われるが、データ数については今後も家庭 CO₂ 統計の調査が継続的に実施されることでサンプル数は蓄積されるため、今後は地方別に加えて属性別など、より細やかな実態把握が可能になると期待される。

謝辞

本研究は、エネルギー・資源学会主催の「家庭部門の CO₂ 排出実態統計調査利用研究会」における取組の一環として行ったものであり、分析に使用した「家庭部門の CO₂ 排出実態統計調査」の個票データも同研究会を通じて提供いただいたものである。統計の実施に尽力された環境省や学会・研究会の関係者の皆様にこの場を借りて御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 脱炭素社会に向けた住宅・建築物の省エネ対策等のあり方検討会. とりまとめ (令和3年8月23日公表) . https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/jutakukentiku_house_tk4_000188.html. (アクセス日 2021.8.26)
- 2) 鶴崎敬大, 湯浅和博, 中上英俊;長期発電実績に基づく住宅用太陽光発電システムの性能評価, エネルギー・資源学会論文誌, 37-3 (2016), pp.1-9.
- 3) 田中 昭雄, 酒井 孝司, 中上 英俊, 石原 修; 首都圏に設置された住宅用太陽光発電システムの計測・解析結果 太陽光発電システムの住宅への応用に関する研究 その2, 日本建築学会計画系論文集, 66-544, (2001), pp.39-46.
- 4) 田中 昭雄, 酒井 孝司, 中上 英俊, 石原 修; 九州地域に設置された住宅用太陽光発電システムの計測・解析結果 太陽光発電システムの住宅への応用に関する研究 その3, 日本建築学会計画系論文集,67-551, (2002), pp.61-68.
- 5) 福代和宏; 太陽光発電システム導入世帯の属性と電力消費実態, 日本建築学会環境系論文集, 76-666, (2011), pp.741-750.
- 6) 鶴崎 敬大, 湯浅 和博, 潮 梨紗, 中上 英俊; 戸建住宅における太陽光発電システムの導入者意識と発電実態, 日本建築学会環境系論文集, 82-735, (2017), pp.463-470.
- 7) 環境省. 家庭部門のCO₂排出実態統計調査. <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/kateiCO2tokei.html>. (アクセス日 2020.10.1)
- 8) 経済産業省 資源エネルギー庁. なっとく!再生可能エネルギー. 買取価格・期間等 (2012-2020) . https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/kakaku.html. (アクセス日 2020.8.1)
- 9) 総務省統計局. 平成30年住宅・土地統計調査 住宅及び世帯に関する基本集計 第30-1表. (2018).
- 10) 総務省統計局. 平成27国勢調査 都道府県・市区町村別主要統計表 (2015).
- 11) 総務省統計局. 平成30年住宅・土地統計調査 住宅及び世帯に関する基本集 第11-1表. (2018).

市町村別 CO₂ 排出量表のためのベイズ的アプローチ (その 1) 一階層データの整理

A Bayesian Approach for make to CO₂ Emission Table at the Municipal Level Part 1.

- Aggregation of Hierarchical Data -

田中 昭雄 *

Akio Tanaka

Abstract

As of 2015, there are 1719 municipalities in Japan. Most municipalities want to know the emissions of CO₂ in their household sector. Though, since the scale of the survey is small, traditional statistics, frequentism, will not be satisfactory.

I discuss methodology in applying Bayesian statistics to the construction of a CO₂ emission table for small areas at the municipal level. Then, I also report the summary results of statistical raw data for that.

Keywords: Hierarchical data, Bayesian statistics, CO₂ emissions

1. はじめに

環境省では、家庭からの二酸化炭素 (CO₂) 排出量やエネルギー消費量の実態を把握するため、全国を対象に「家庭部門の CO₂ 排出実態統計調査」¹⁾ (家庭 CO₂ 統計) の試験調査を 2013 年から開始し、現在では統計法に基づく政府の一般統計調査として毎年実施されている。その規模は毎年約 1 万世帯で、わが国の家庭の CO₂ 排出の平均像をあきらかにするうえで最も貴重なデータのひとつとなっている。

この調査で我が国の家庭の CO₂ 排出の平均像は明らかになりつつあるが、より小規模である市町村レベルでも家庭の CO₂ 排出量に関する情報のニーズは高い。これは 2021 年以降全国の多くの市町村が「2050 年カーボンニュートラル」宣言を行っており、その最重要課題として、家庭部門対策を挙げているからである。全国の特別区及び市町村 (以下まとめて”市町村”) は 2015 年現在 1719 市町村 (特別区は 1 市とカウント) 存在²⁾ し、これらすべてについて情報の提供が期待される。

図 1 に家庭 CO₂ 統計の H30 年調査での市町村別調査世帯数を示す。調査世帯数 n が 50 件未満の市町村が 98% であり、そのうち $n=0$ の自治体数が 44% で最も多い。これに対し n が 100 以上の市町村数は 1% 以下で、調査対象の地域別アンバランスが大きい。これは本調査のサンプリングが無作為抽出によるためである。この抽出法では、母数が小さい市町村は、十分なサンプル数が得られず、大規模市町村では必要以上にサンプルが集まる傾向があり、古くから統計学では“小地域”問題として知られている。

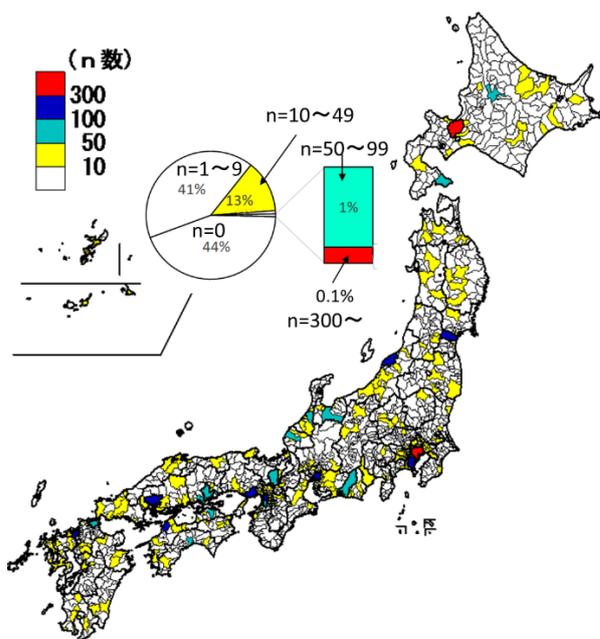


図 1 市町村別調査世帯数 (H30 年調査)

家庭 CO₂ 排出量の統計構造の大枠は多くの先行研究で判明しており、このような場合は無作為抽出ではなくターゲット毎に層別抽出が効率的である。正規分布データの必要標本数は母集団の規模に無関係³⁾で、平均値と分散の予測値、期待する信頼水準と許容する誤差範囲をあたえれば必要サンプル数は計算できるからである。

しかし母集団が小さすぎて、必要標本数の確保が困難な場合もある。厚生省統計情報部では生命表における市区町村別死亡率の推定にあたり、観測死亡データが少なく死亡率の推定が困難な地域においては、この対象を含

む上位地域の情報もちいたベイズ的アプローチにより小地域の地域死亡率表を作成している⁴⁾。筆者も小地域のCO₂排出原単位の推定方法としてベイズ的アプローチを提案してきた^{5),6)}。

家庭CO₂統計においてもCO₂排出構造に基づく層別抽出が有効と考えるが、大幅な調査手法の変更や規模の拡大が期待できない現状ではベイズ的アプローチの導入が有効と考える。

本研究で提案するベイズ的アプローチは、2段階からなり、最初にデータ統計値の信頼性が確認された広域データと階層内の自己相似性がある要素から第一近似値を推定し、次のステップで小地域データや周辺情報を用いて経験ベイズ値として更新する手法で、本研究ではその手法の提案と、その手法で用いる統計データの整理を行う。

なお本研究において電力のCO₂換算値は、1kWh=0.3765kg-CO₂/kWhに統一する。これはCO₂換算値が、排出構造と異なる要因（電力会社要因）で変動し、真の構造が不明瞭になる事を回避するためである。

2. 統計データの階層性と小地域値の推定

本報では統計データを収集した地域、住宅構造、居住者数を階層と考えることで地域毎のCO₂排出原単位を推定する。

ここで階層とは、共通の事前統計分布（小集団を含む大地域に共通する統計構造）をもつ全体と、その内部をカテゴリで分類された小集団のことで、この小集団はさらに小集団独自の事前統計分布を持つ。統計モデルにおいてこの関係は“階層”とよばれる。全体像と階層との関係が、階層内でも維持されることを自己相似性（SS: Self-Similarity）があると記す。SSはMandelbrot⁹⁾により部分と全体が相似となる性質と定義され図形、形、自然現象などにおいてその存在が知られている。

2.1 使用記号および用語

表1に本報告で用いる主要な用語と記号を示す。本報では、信頼水準95%以上、誤差5%以内のデータが得られた地域を「大地域」、その地域に内包される市町村や集落を「小地域」と記す。大地域Z、小地域zの統計分布はそれぞれ

$$G \sim N(\mu, \sigma^2), \quad g \sim N(u, s^2)$$

である。

Corresponding author; Akio Tanaka, e-mail : a-tanaka@pu-kumamoto.ac.jp

* 熊本県立大学環境共生学部居住環境学専攻
〒862-8502 熊本県熊本市東区月出3-1-100

表1 主な使用記号と用語の定義

| | |
|----------------------|---|
| 階層 R | 背後に共通の事前分布を想定できる母集団とその要素群。本報で想定する階層は、地域、住宅、居住者数である。階層の順序は可変である |
| カテゴリ r | 1つの階層を別階層で区分した階層 |
| 大地域 Z | 小地域zを含む地域で、信頼水準95%以上、誤差率5%以内のデータ精度が得られている地域 |
| 小地域 z | Z内の一部地域 |
| $N(\bar{x}, y^2)$ | 正規分布、 \bar{x} は平均値、 y^2 は標準偏差 |
| CV | 変動係数 $CV = y/\bar{x}$ |
| BE | 経験ベイズ推定値 |
| SS | 自己相似係数 (3)式参照 |
| 地域データの統計分布 | 大地域 $G \sim N(\mu, \sigma^2)$ 小地域 $g \sim N(u, s^2)$ |
| 階層係数 k_R | $k_R = \text{階層R平均値} / \text{全国平均値}$ 階層R平均値：階層RCO ₂ 原単位 全国平均値：H30年度は2.88 t-CO ₂ /世帯・年 |
| 地域別階層係数 $k_{a^*, r}$ | $K_{a^*, r} = a^* \text{のカテゴリ平均値} / \text{地域} a^* \text{平均値}$ |
| 階層係数kの添字 | |
| 地域係数 略記 k_a | 無し：全国 ac ：I～VIII 省エネ8地域区分 ae ：e1～e10 電力会社10地域区分 |
| 住宅係数 略記 k_h | hd ：戸建住宅、 ha ：集合住宅 |
| 員数係数 略記 k_t | 1, 2, ~5+：居住者数1人, 2人, 3人, 4人, ~5人以上 |

2.2 ベイズ的アプローチによる小地域値推定法

小地域統計値の推定は、次の2段階からなる。

[1] 第一近似値uの推定

小地域zの平均値uと大地域Zの平均値μとの階層性を考慮し

$$\left. \begin{aligned} u &= \mu k_h k_t = X \\ \mu &: \text{大地域平均値又は} \mu = k_{a^*} U \\ & (U: \text{全国平均値}) \\ k_h &: \text{住宅係数, } k_t: \text{居住人数係数,} \\ X &\sim N(\mu k_h k_t, \sigma_X), \sigma_X \approx s \approx \mu k_h k_t CV \end{aligned} \right\} (1)$$

として推定する。表1にこの際用いるH30年調査から作成した全国値(2.88 t-CO₂/年)に対する階層係数k、変動係数CVと、統計値の信頼性(「大地域判定結果」)を示す。

[2] 経験ベイズ推定値 u^{BE} への更新

小地域zで回収データが無く、他に同地域の統計情報も得られない場合は作業は[1]で終了するが、回収デー

タが存在する場合は(2)式により経験ベイズ推定値

u^{BE} , s^{BE} として更新される.

$$\left. \begin{aligned} u^{BE} &= X + p/P \cdot \Delta\mu \\ s^{BE} &= \sigma^2 s^2 / (s^2 + \sigma^2) \\ \text{但し } \Delta u &= u - X, P = \frac{x}{\sqrt{2\pi\sigma_x^2}}, p = \frac{u}{\sqrt{2\pi s^2}} \end{aligned} \right\} (2)$$

さらに同地域において、他の統計値が得られる場合は、旧 BE 値を u, s 値として、新情報を用いて経験ベイズ推定値が繰り返し更新される.

2.3 階層係数の自己相似性について

大地域から小地域を推定するに当たり、本報では大地域と小地域での統計データに高い自己相似性 (SS) があることを前提としている.

階層係数ベクトル **A** と地域別階層ベクトル **B** との自己相似性 SS は (3) 式で定義する. この式はデータ群間の相関性を求める式と同形で、SS=1 は完全な相似性、SS=0.5 は相似性が弱い、SS=0 は相似性が無いことを示す.

$$SS = \frac{\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}}{|\mathbf{A}| |\mathbf{B}|} \quad (3)$$

ここで階層係数ベクトルの各要素は、カテゴリ原単位/階層平均値 である

階層係数の全体とその内包地域との自己相似性については、別章で検証する.

表 1 階層係数(H30年調査より)と大地域判定

| 階層 | 階層係数 k | | CV | 大地域相当※ |
|----------------------|--------|------------|------|--------|
| | - | 1.00 | | |
| 全住宅 | - | 1.00 | 0.45 | ○ |
| 住宅 k_h | 戸建 | k_{hd} | 1.18 | ○ |
| | 集合 | k_{ha} | 0.69 | ○ |
| 居住人数 kt | 1人 | k_1 | 0.55 | ○ |
| | 2人 | k_2 | 0.92 | ○ |
| | 3人 | k_3 | 1.13 | ○ |
| | 4人 | k_4 | 1.23 | ○ |
| | 5人以上 | k_{5+} | 1.58 | ○ |
| 省エネ法区分 k_{ac} | I | k_I | 1.66 | × |
| | II | k_{II} | 1.42 | ○ |
| | III | k_{III} | 1.50 | ○ |
| | IV | k_{IV} | 1.33 | ○ |
| | V | k_V | 1.16 | ○ |
| | VI | k_{VI} | 0.90 | ○ |
| | VII | k_{VII} | 0.83 | ○ |
| | VIII | k_{VIII} | 0.65 | ○ |
| 電力会社地域区分 k_{ae} | E1 | k_{E1} | 1.43 | ○ |
| | E2 | k_{E2} | 1.33 | ○ |
| | E3 | k_{E3} | 0.88 | ○ |
| | E4 | k_{E4} | 1.26 | ○ |
| | E5 | k_{E5} | 0.90 | ○ |
| | E6 | k_{E6} | 0.87 | ○ |
| | E7 | k_{E7} | 0.96 | ○ |
| | E8 | k_{E8} | 0.93 | ○ |
| | E9 | k_{E9} | 0.85 | ○ |
| | E10 | k_{E10} | 0.65 | ○ |

※平均値の信頼水準95%以上、誤差5%以内

× 基準を満たさない

表 2 母集団の階層別基本統計量^{2),7)}と気象情報⁸⁾

| 省エネ法地域区分※ | 都市分類※2 | H30調査 | | 母集団統計情報(自治体数、住民情報は2015年度、気象情報は2018年度値) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------|-------|-------------|--|--------|----------|--------|-----|-----------|-----|-----|-----|------|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| | | n数 | CO2[t/世帯・年] | | 母集団統計値 | | 住宅タイプ | | 居住員数別住宅構成 | | | | | 気象 単位: °C, DD/年 | | | | | | |
| | | | 平均 | 分散 | 市町村数 | 世帯数: 千世帯 | 戸建 | 集合 | 1人 | 2人 | 3人 | 4人 | 5人以上 | 平均気温 | CDD22-24 | HDD14-14 | HDD18-18 | HDD20-14 | WDD40-40 | |
| 1 | 3 | 27 | 4.79 | 5.04 | 33 | 192 | 86 | 27% | 15% | 36% | 35% | 15% | 9% | 3% | 7.0 | 0 | 2,956 | 4,057 | 4,494 | 12,030 |
| 2 | 1 | 315 | 3.74 | 4.08 | 1 | 1,952 | 922 | 33% | 66% | 41% | 29% | 16% | 10% | 3% | 9.6 | 25 | 2,300 | 3,295 | 3,692 | 11,078 |
| | 2 | 250 | 4.21 | 3.95 | 12 | 1,587 | 709 | 58% | 40% | 35% | 33% | 17% | 11% | 3% | 9.6 | 25 | 2,300 | 3,295 | 3,692 | 11,078 |
| | 3 | 192 | 4.50 | 3.91 | 139 | 1,358 | 582 | 39% | 19% | 33% | 34% | 16% | 10% | 4% | 9.6 | 23 | 2,314 | 3,319 | 3,704 | 11,105 |
| 3 | 1 | 79 | 4.38 | 5.99 | 2 | 585 | 248 | 56% | 39% | 36% | 28% | 18% | 12% | 4% | 11.3 | 64 | 1,942 | 2,873 | 3,184 | 10,473 |
| | 2 | 210 | 4.21 | 4.93 | 15 | 1,548 | 626 | 67% | 29% | 32% | 30% | 18% | 12% | 5% | 10.9 | 54 | 2,040 | 2,988 | 3,296 | 10,636 |
| | 3 | 146 | 4.51 | 6.75 | 136 | 1,508 | 538 | 52% | 9% | 25% | 29% | 19% | 13% | 7% | 11.3 | 93 | 1,950 | 2,882 | 3,194 | 10,479 |
| 4 | 1 | 75 | 3.79 | 4.51 | 3 | 947 | 386 | 63% | 36% | 32% | 28% | 18% | 13% | 5% | 12.9 | 227 | 1,648 | 2,500 | 2,800 | 9,885 |
| | 2 | 244 | 4.09 | 5.19 | 36 | 3,125 | 1,161 | 72% | 25% | 27% | 27% | 19% | 14% | 6% | 12.4 | 169 | 1,696 | 2,582 | 2,910 | 10,056 |
| | 3 | 180 | 3.54 | 3.66 | 153 | 2,256 | 798 | 54% | 13% | 24% | 28% | 19% | 14% | 7% | 12.8 | 190 | 1,634 | 2,503 | 2,826 | 9,943 |
| 5 | 1 | 404 | 3.23 | 2.72 | 7 | 3,736 | 1,578 | 54% | 46% | 36% | 26% | 18% | 13% | 4% | 15.1 | 347 | 1,141 | 1,913 | 2,108 | 9,102 |
| | 2 | 511 | 3.31 | 3.34 | 75 | 7,256 | 2,741 | 71% | 27% | 27% | 28% | 19% | 15% | 6% | 15.1 | 350 | 1,140 | 1,911 | 2,108 | 9,104 |
| | 3 | 330 | 3.50 | 3.89 | 236 | 4,715 | 1,722 | 67% | 14% | 25% | 29% | 19% | 15% | 7% | 14.9 | 326 | 1,152 | 1,936 | 2,158 | 9,161 |
| 6 | 1 | 2,151 | 2.57 | 1.72 | 28 | 33,762 | 15,737 | 34% | 66% | 42% | 26% | 16% | 12% | 3% | 16.9 | 490 | 791 | 1,462 | 1,631 | 8,418 |
| | 2 | 2,538 | 2.57 | 1.56 | 295 | 41,182 | 16,884 | 55% | 44% | 31% | 28% | 19% | 15% | 5% | 17.0 | 489 | 788 | 1,453 | 1,618 | 8,405 |
| | 3 | 655 | 2.88 | 2.19 | 340 | 7,331 | 2,788 | 62% | 20% | 26% | 31% | 19% | 14% | 6% | 16.9 | 475 | 767 | 1,449 | 1,608 | 8,417 |
| 7 | 1 | 577 | 2.38 | 1.41 | 10 | 6,109 | 2,742 | 43% | 56% | 40% | 27% | 16% | 12% | 4% | 18.1 | 527 | 527 | 1,143 | 1,318 | 8,009 |
| | 2 | 282 | 2.39 | 1.30 | 29 | 4,215 | 1,701 | 64% | 34% | 30% | 31% | 18% | 13% | 5% | 18.1 | 508 | 504 | 1,112 | 1,269 | 7,998 |
| | 3 | 163 | 2.47 | 1.72 | 115 | 2,183 | 889 | 63% | 17% | 30% | 33% | 17% | 12% | 5% | 18.2 | 515 | 490 | 1,092 | 1,238 | 7,967 |
| 8 | 1 | 164 | 1.97 | 1.60 | 1 | 319 | 136 | 20% | 81% | 38% | 25% | 17% | 12% | 6% | 23.8 | 890 | 0 | 12 | 0 | 5,904 |
| | 2 | 314 | 1.84 | 0.85 | 8 | 701 | 270 | 40% | 63% | 31% | 25% | 18% | 14% | 7% | 23.8 | 890 | 0 | 12 | 0 | 5,904 |
| | 3 | 189 | 1.85 | 0.61 | 45 | 526 | 206 | 35% | 33% | 32% | 28% | 18% | 13% | 7% | 23.4 | 857 | 0 | 41 | 0 | 6,061 |
| 計 | 全国 | 9,996 | 2.88 | 1.66 | 1719 | 127,095 | 53,449 | 50% | 53% | 34% | 28% | 18% | 13% | 4% | - | - | - | - | - | - |
| | 1 | 3,765 | 2.74 | 2.36 | 52 | 47,411 | 21,748 | 37% | 62% | 41% | 26% | 16% | 12% | 3% | 15.4 | 367 | 1,193 | 1,886 | 2,105 | 8,981 |
| | 2 | 4,349 | 2.85 | 2.64 | 470 | 59,614 | 24,091 | 59% | 40% | 31% | 29% | 19% | 14% | 5% | 18.4 | 311 | 1,059 | 1,669 | 1,862 | 7,898 |
| | 3 | 1,882 | 3.23 | 3.62 | 1197 | 20,070 | 7,609 | 59% | 17% | 27% | 30% | 18% | 14% | 6% | 14.3 | 310 | 1,395 | 2,160 | 2,403 | 9,395 |

※ 複数の地域にまたがる自市町村は、人口重心地域で代表させた

※2 都市分類: 1: 都道府県庁所在地都市と政令指定都市, 2: 1以外で人口5万人以上の都市, 3: その他

3. 階層データの整理

3.1 母集団の基本統計量と回収データ

(1) 母集団と家庭 CO₂ 統計

表 2 に母集団像として 2015 年国勢調査²⁾ と住宅・土地統計⁷⁾ を用い、省エネ法 8 地域区分と都市 3 分類の人口や世帯構成、住宅構成を整理し、気象情報⁸⁾ から冷房度日 1 種、暖房度日 3 種、給湯度日 1 種¹⁰⁾ を示した結果を示す。市町村の省エネ法地域区分への振り分けは、1 市町村が複数地域に属する場合があるため、人口集中地区で代表させた。図 2 は回収データを、地域別・員数別にし、更に住宅建て方別に四分位箱ひげ図で示したものである。

3.2 回収データの地域別信頼性

(1) 都道府県別回収データ

H30 年度調査において各県回収データの信頼性を図 3 に示す。都道府県別データの信頼性は、平均して信頼水準 90%以上、誤差 10%以内であり、都道府県単位をそれぞれ「大地域」とするには、信頼性が不十分である。

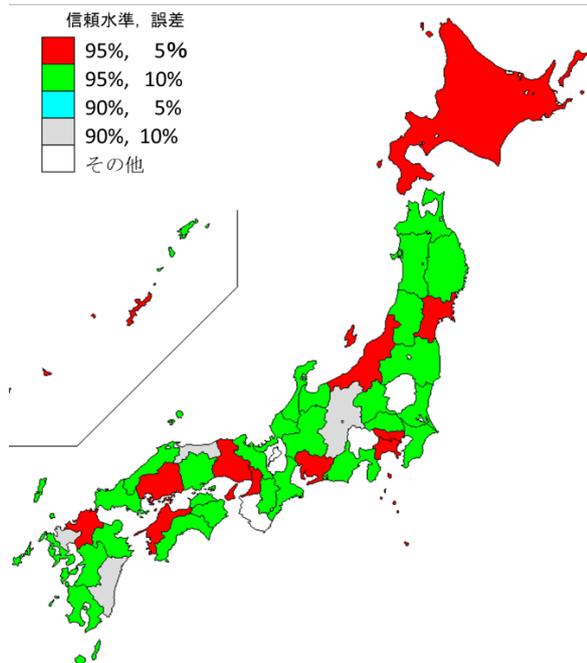


図 3 都道府県別回収データ (H30 年度) の信頼性

大地域の基準を満たす都道府県も 11 地区あるが、これはその都道府県内すべての市町村の信頼性ではなく、人口集中都市の信頼性である。

(2) 大地域の決定

全国 1 地域、省エネ法区分 VIII 地域、電力会社エリア 10 区分を大地域とみなし、そのデータの信頼性、階層

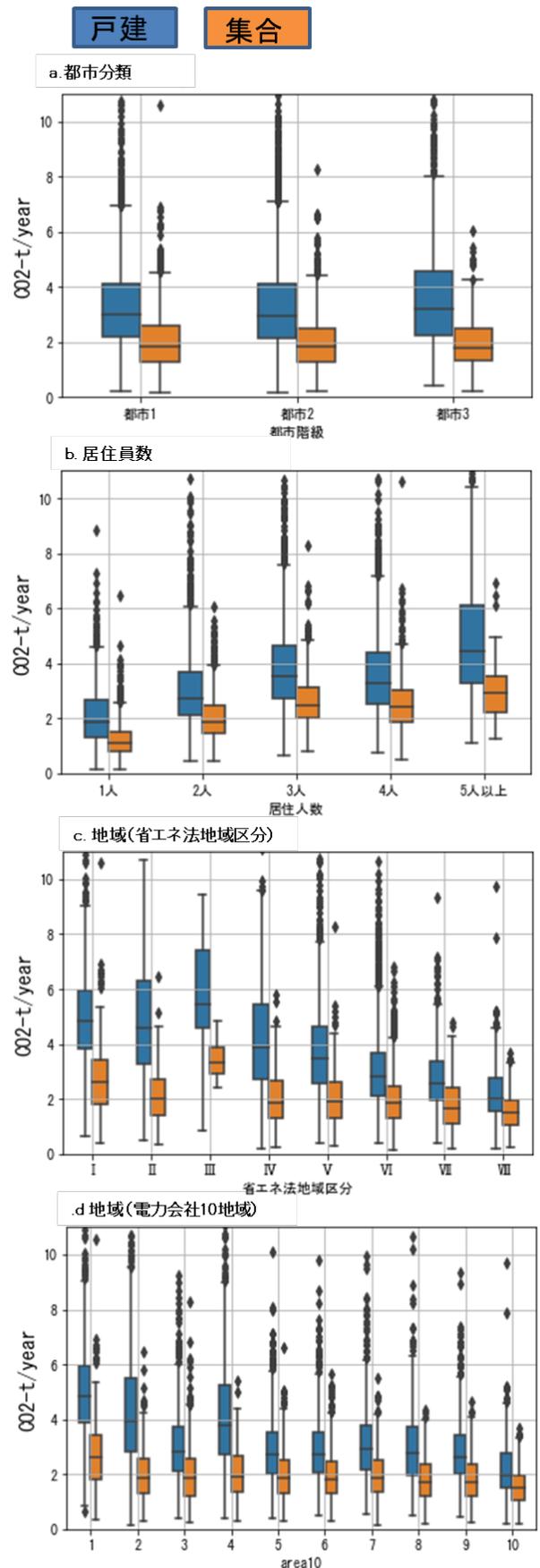


図 2 階層別 CO₂ 排出量の頻度分布

係数等の値を表1に示した。サンプル数の少ない省エネ法I地区以外は「大地域」の基準を満たしている。

3.3 大地域の階層係数の自己相似性

表1で全国値に対する階層係数を示したが、この係数と、大地域を基準とした階層係数が高い自己相似性があれば、小地域においても同様に自己相似性が維持されるものと考えられる。

図4に、全国の住宅係数 k_h と地域階層別の住宅係数 $k_{a*,h*}$ とをレーダーチャートで示す。全国地のレーダーチャートは正多角形で、地域階層別の係数が正多角形であれば自己相似性が高いといえる。

表3は全国員数係数 k_t と地域階層別、住宅別の員数係数 $k_{a*,h*,r*}$ との自己相似性係数である。全国員数係数係数 k_t と地域階層別係数 $k_{a*,ts}$ とはSSが大きく、ほとんどが0.99以上である。SSが0.9未満と小さい地域階層は、階層内カテゴリで回収数が小さい地域に限られる。

4. まとめと今後の課題

家庭用CO2統計回収データは、調査規模約10,000世帯と大規模調査であるが、十分は精度とは言い難く市町村CO2排出量表作成には、提案した2段階ベイズ的アプローチが有効であり、データの階層性と自己相似性の活用が有効であることを示した。

提案したベイズ的アプローチによる市町村CO2推定法は次の2段階からなる。

[1] 第一近似値 u の推定

$$u = \mu k_p k_t = X \quad \text{再掲 (2) 式}$$

[2] 経験ベイズ推定値 u^{BE} への更新

小地域 z で回収データが無く、他の調査情報も得られない場合は $u = X$ とするが、回収データが小数でも存在する場合は経験ベイズ推定値 u^{BE} 、 s^{BE} として(3)式で更新される。

$$u^{BE} = X + p/P \cdot \Delta\mu$$

$$s^{BE} = \sigma^2 s^2 / (s^2 + \sigma^2) \quad \text{再掲 (3) 式}$$

さらに同地域において、その他の原単位の統計値が得られる場合は、この経験ベイズ推定値が繰り返し更新される。

またこの手法により市町村推定CO2排出量表を作成可能か確認のため、階層別基礎統計表の整理と、基準となる統計範囲（「大地域」）とその階層係数の自己相似性の確認を行い、地域階層内の階層係数も全国値の階層係数と高い自己相似性を有することが確認された。

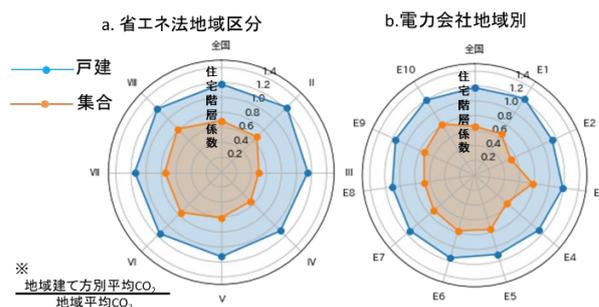


図4 住宅係数 k_h と地域別住宅係数 $k_{a*,h*}$

表3 全国員数 k_t と他地域員数 $k_{a,h,t}$ との自己相似係数SS

| 地域 | 全住宅 | 戸建 | 集合 | |
|--------|------|------|------|------|
| 省エネ法 | I | 0.43 | 0.98 | 0.71 |
| | II | 0.99 | 0.98 | 0.98 |
| | III | 1.00 | 0.99 | 0.93 |
| | IV | 1.00 | 1.00 | 0.81 |
| | V | 1.00 | 1.00 | 0.93 |
| | VI | 1.00 | 1.00 | 0.99 |
| | VII | 0.99 | 0.99 | 0.96 |
| | VIII | 1.00 | 0.98 | 0.96 |
| 電力10地域 | E1 | 0.99 | 0.99 | 0.99 |
| | E2 | 1.00 | 1.00 | 0.95 |
| | E3 | 1.00 | 1.00 | 0.99 |
| | E4 | 1.00 | 1.00 | 0.92 |
| | E5 | 1.00 | 1.00 | 0.97 |
| | E6 | 1.00 | 1.00 | 0.94 |
| | E7 | 1.00 | 0.99 | 0.99 |
| | E8 | 1.00 | 1.00 | 0.95 |
| | E9 | 1.00 | 1.00 | 0.98 |
| | E10 | 1.00 | 0.98 | 1.00 |

SS<0.90

1719 市町

村のCO2原単位表を作成する予定である。

謝辞

本研究は、エネルギー・資源学会 家庭部門のCO2排出実態統計調査利用研究会に環境省様より提供いただいた平成30年度家庭CO2統計マイクロデータの解析による研究成果です。貴重なデータを提供いただいた環境省様に謝意を申し上げます。

参考文献

- 1) 環境省：家庭部門のCO2排出実態統計調査（家庭CO2統計），<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/kateiCO2tokei.html>，（アクセス日2021.4.2）
- 2) 総務省統計局；平成27年国勢調査，総務省。
- 3) 松井博：標本調査法入門，（財）日本統計協会

- (2005), 126p
- 4) 府川哲夫, 清水時彦: 小地域生命表のベイジアン・アプローチ, 人口学研究(第 13 号), (1990), pp. 37-48
 - 5) 田中昭雄: 単身・高齢者世帯地域別 CO2 排出原単位の経験ベイズ推定, 第 39 回エネルギー資源学会研究発表会講演論文集, (2020), pp. 354-359
 - 6) 田中昭雄, 外岡豊, 市町村別住宅エネルギー消費原単位の推定ー住宅の環境負荷とその地域性に関する研究 その 1 -, 日本建築学会環境系論文集, 79-3, 2014, pp. 305-312.
 - 7) 総務省統計局; 平成 30 年住宅・土地統計調査, 総務省.
 - 8) 気象庁: <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>. (アクセス日 2021. 4. 1)
 - 9) Mandelbrot, Benoit B. (1983). The fractal geometry of nature. Macmillan.
 - 10) 田中昭雄: 住宅エネルギー消費の 6 用途分解と再生可能エネルギー利用量の推定, 第 40 回エネルギー資源学会研究発表会講演論文集, (2021), pp. 443-449

家庭のライフスタイル変化を考慮した CO₂ 排出量将来推計に関する研究

Research on estimation of CO₂ emissions considering lifestyle changes in households

磐田 朋子^{*}
Tomoko Iwata

Lifestyle changes have a major impact on residential sector CO₂ emission estimates. This study aims to predict the energy load associated with lifestyle changes that could occur in the future. It was estimated future energy consumption in the residential sector in 2030 and 2050, including future scenarios regarding equipment efficiency improvement and energy source selection. As a result, the final energy consumption was estimated to be 1,575~1,767 PJ in 2030 and 812~1,411 PJ in 2050. Since 89% of the final energy consumption in 2050 is derived from electricity, it was suggested that the selection of a CO₂ zero power source would enable significant CO₂ reduction. In order to achieve the CO₂ reduction target for the residential sector, it was suggested that it could be possible to significantly reduce CO₂ even if the future estimates are based on the past trends, therefore, it is important to steadily implement countermeasures.

Keywords : Residential Sector, Forecasting, Energy Consumption, Simulation

1. 背景と目的

民生家庭部門における CO₂ 排出量の将来予測については、これまでも数多くの定量モデルに基づく検討が行われてきた。世帯のエネルギー需要量予測を生活行動調査に基づいてより精緻に設定して将来のエネルギー消費量を予測した事例もある。しかしながらこれら既往の研究では、エネルギー消費量予測の礎となる世帯エネルギー需要量について、過去の傾向を維持するかもしくは現状を将来に渡り固定するという条件下での検討しか行われていない。

一方で、私たちの将来の生活行動は現状と大きく異なる可能性も高い。コロナ禍を経て在宅勤務者が増加し、新たなワークスタイルが定着する可能性や、共働き世帯の増加によって外出時間の増加や家事の簡易化が進む可能性も示唆されている。このようなライフスタイルの変化は、世帯のエネルギー消費量に大きな変化をもたらすと考えられる。そのため、将来起こり得るライフスタイル変化について複数のシナリオを設定し、各シナリオが世帯の生活行動やエネルギー消費量に及ぼす変化を論理的かつ定量的に示すことが重要であると考えられる。そのため本研究では、従来モデル¹⁾をライフスタイルの変化を反映できるモデルに改

良し、民生家庭部門の脱炭素化に向けて必要な対策を再考することを目的とした。

2. 民生家庭部門におけるサービス量の将来推計

本報におけるサービス量とは、機器のエネルギー効率などを考慮する前の、人が生活する際に真に必要なエネルギー負荷量を指しており、ライフスタイルに応じて変動する。本報では文献²⁾にて同様の手法で推計したサービス量データを最新統計 (EDMC2021 等) に基づき更新し、図 1 における 2019 年度以前値を得た。ただし、動力他については機器エネルギー効率の把握が困難であったため、最終エネルギー消費量を表示している。サービス量で見ると、冷暖房需要は継続して増加傾向にあることが明らかとなった。

冷暖房用サービス需要が増加している要因として、空調面積の増加や空調時間の増加などが考えられる。一層の高齢化が進む将来の住宅では、宅内ヒートショックの緩和や快適性の向上を目的とした全館連続空調運転が普及する可能性があり、冷暖房用サービス需要が加速度的に増加する可能性も否定できない。そこで本報では、過去 10 年間の傾向を維持する「傾向維持ケース」と、2050 年の住宅は全て全館連続空調運転をしていると仮定した「空調拡大ケース」を設定し、図 1 における 2020 年度以降に示す将来の用途別

^{*} 芝浦工業大学システム理工学部環境システム学科
〒337-8570 埼玉県さいたま市見沼区深作 307
E-mail : t-iwata@shibaura-it.ac.jp

サービス量推移シナリオを作成した。なお、空調以外の用途は、過去 10 年間の傾向を維持するものとした。また、冷房用サービス量については、空調拡大時に想定された将来サービス量が、傾向維持ケースを下回ったことから、過去 10 年間のサービス量増加率が既に空調拡大ケースを表している」と判断し、両ケースとも傾向維持ケース値を用いることとした。

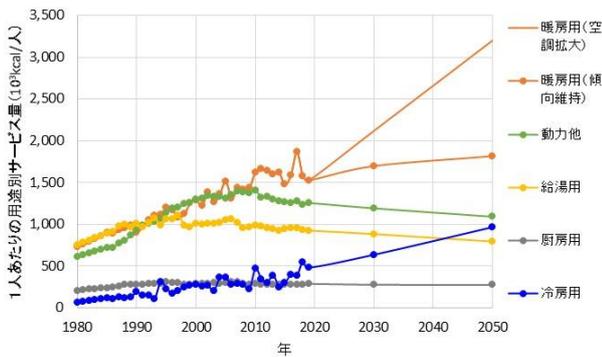


図1 1人あたりの用途別サービス量の推移と推計

3. 燃料別サービス量将来推計結果

省エネ対策を講じる場合を想定し、文献²⁾同様に以下の対策シナリオを設定した。

3.1 空調の対策シナリオ

2025年以降の新築を全て次世代基準レベルとする断熱強化対策を適用した上で、空調用燃料源における過去の電化傾向を維持する「電化傾向維持」シナリオおよびガス・灯油を燃料源とする傾向が変わらない「ガス灯油不変」シナリオの2パターンを設定した。

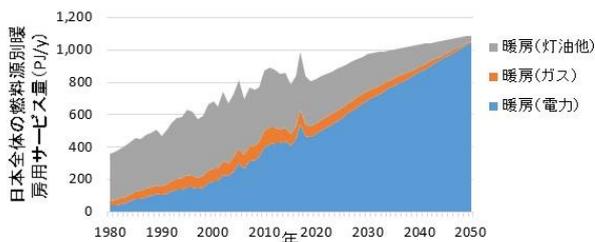


図2 「空調・電化_傾向維持」推計結果事例

3.2 給湯の対策シナリオ

太陽熱が太陽光発電と同程度の速度で今後普及する「太陽熱普及」シナリオに加えて、燃料源について「傾向維持」「電気・ガス均等普及」「ヒートポンプ優先普及」の3通りのシナリオを設定した。

4. 民生家庭部門の最終エネルギー消費量将来推計結果

最終エネルギー消費量が最小となったのは、空調が「サ

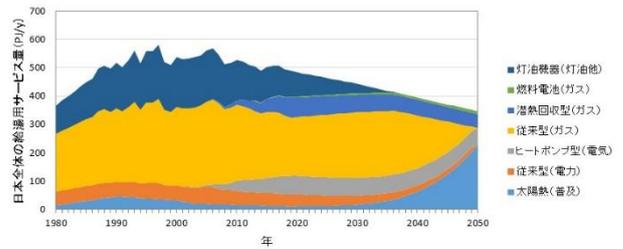


図3 「太陽熱普及_電気・ガス均等普及」推計結果事例

ービス量傾向維持+電化傾向維持」、給湯が「太陽熱普及+ヒートポンプ優先」のシナリオであり、2030年時は1,575PJ、2050年時は812PJと推計された(図4)。2050年時における最終エネルギー消費量の89%は電気由来であるため、CO₂ゼロ電源の選択により大幅なCO₂削減が可能になることが示唆された。

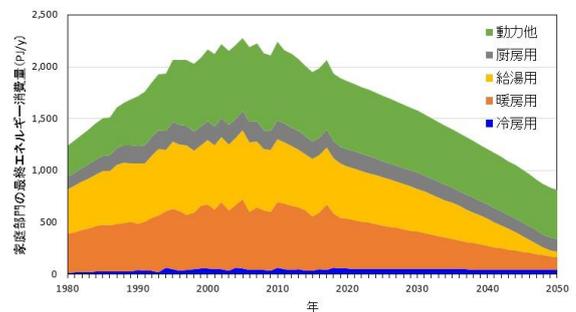


図4 最小シナリオ時最終エネルギー消費量推移予測

5. 結論

ライフスタイルの変化を反映した将来エネルギー推計を行うために、サービス量に着目したマクロモデルを構築した。様々なシナリオで将来の民生家庭部門最終エネルギー消費量を推計した結果、2030年時は1,575~1,767PJ、2050年時は812~1,411PJと推計された。家庭部門の2030年時CO₂削減目標および2050年時カーボンニュートラル社会を実現するために、過去の傾向から推測される範囲内での将来推計を行った場合でも大幅なCO₂削減が可能になることが示唆されたことから、着実に対策を実施することが肝要である。一方、本モデルは日本全体の平均値を用いていることから、今後は地域別・住宅種別に改良することで予測精度を向上させたい。

参考文献

- 1) 磐田朋子, 桑沢保夫, 村上周三, 伊香賀俊治; 民生家庭部門の低炭素化シナリオに関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 76巻667号(2011), pp. 839-846.
- 2) 磐田朋子; 民生家庭部門におけるCO₂排出量の中長期予測モデル構築に向けた検討, JST-LCSイノベーション政策立案のための提案書(2018)

家庭部門の CO₂ 排出量の地域性とその影響要因

その 1 影響要因の地域特性に関する統計分析

Regional Characteristics and Influencing Factors to CO₂ Emission from Residential Buildings Part 1 Statistical Analysis on Influencing Factors for Space Heating

長谷川 兼一 *・外岡 豊 **
Kenichi Hasegawa Yutaka Tonooka

Home energy saving strategies are essential to prevent global warming and achieve carbon neutral society. This paper describes the regional characteristic of indoor environmental performance and annual CO₂ emissions from residential buildings using the data of “Statistical Survey of CO₂ Emissions in Private Households Sector”. A multi-regression analysis method was applied in order to clarify the association between CO₂ emissions for space heating, and its influencing factors such as location, family type, building thermal envelope and so on. In warm climatic regions, the factors which influence the dispersion of CO₂ emissions for space heating are location, operating patterns of space heating equipment and numbers of window panes.

Keywords: CO₂ emission from residential buildings, Space heating, Statistical analysis

1. はじめに

「家庭部門の CO₂ 排出実態統計調査(家庭 CO₂ 統計)」は我が国の地球温暖化対策の企画・立案に資する基礎資料を得ることを目的として、環境省により実施されている。筆者らは、調査により得られたデータを用いて各地域における家庭部門のエネルギー消費量や CO₂ 排出量に影響する要因を探り、特に建築的要因による低炭素化の貢献の程度を明らかにすることを試みている(例えば1)。さらには、家庭部門の CO₂ 排出量を推計するための簡易なモデルを構築することを目指している。

本報では、平成 30 年度の家庭 CO₂ 統計を用い、年間の暖房 CO₂ 排出量に着目して、居住環境要因の地域性を把握するとともに、CO₂ 排出量のばらつきに関連している要因を統計分析(数量化理論 I 類)により明らかにする。

2. 分析に用いる調査データの概要

本調査は、住民基本台帳から抽出された 6,500 世帯を対象とした調査員調査と、6,500 世帯を対象としたインターネット調査から成り立っている。調査は、平成 30 年 8 月に夏季調査、平成 31 年 2 月に冬季調査が実施されており、平成 30 年 4 月から平成 31 年 3 月までの 12 ヶ月のエネルギー使用量が把握されている。

有効回答数は 9,996 世帯(回答率は 76.9%)であった。調査の詳細は文献 2)を参照されたい。

調査項目を大別すると、世帯属性(家族構成、年収など)、住宅属性(住宅形式、建設時期、延べ床面積、窓の構成など)、暖冷房(保有機器、使用状況など)、給湯・調理(保有機器、入浴状況、省エネ行動など)、家電機器(機器の使用状況、省エネ行動など)、車両(自動車・二輪車の使用状況、燃料種類、走行距離など)、太陽光発電(発電量、売電量、総容量)、月別のエネルギー使用量(電気、ガス、灯油、ガソリン、軽油)である。CO₂ 排出量は、エネルギー使用量に基づいて熱源毎の排出係数を乗じて算出されている。調査の詳細は文献 2)を参照されたい。

3. 各地域の居住環境要因の状況

3.1 家族属性・住宅属性・暖冷房機器

表 1 に各地域の主な居住環境要因の集計結果を示す。ここでは、所在地の市町村をもとに省エネルギー基準の地域区分(1 地域～8 地域)に割り付けた。

住宅形式では、2 地域(主に南北海道)や 8 地域(沖縄県)にて「集合住宅」の割合が高く、それぞれ 42.7%、52.0%となっている。次いで、6 地域(西日本沿岸部)、7 地域(西日本の太平洋側)となり、38%前後である。「戸建住宅」は 4 地域(主に東北地方沿岸部、北陸地方、関東甲信越地方の内陸部)において割合が高く、80.3%である。建設時期では、「1981-1990 年」の割合が高い地域が多く、これらは築 30-40 年に該当する。「2016 年以降」の新しい住宅は 2.0%前後となっている。延べ床面積は、3 地域(北東北、東北地方・上信越地方の内陸部)や 4 地域で大きく、「140-180m² 未満」「180m² 以上」の割合が高くなっており、ストックに規模

*秋田県立大学システム科学技術学部建築環境システム学科教授
〒015-0076 秋田県由利本荘市土谷字海老ノ口 84-4
E-mail : haseken@akita-pu.ac.jp

**埼玉大学名誉教授

表1 各地域の主な居住環境要因の集計結果

| 要因 | 1地域(n=52) | 2地域(731) | 3地域(428) | 4地域(507) | 5地域(1265) | 6地域(5339) | 7地域(1007) | 8地域(667) | |
|--------------|--------------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|
| 住宅形式 | 戸建住宅 | 37 (71.2) | 419 (57.3) | 330 (77.1) | 407 (80.3) | 946 (74.8) | 3266 (61.2) | 626 (62.2) | 320 (48.0) |
| | 集合住宅 | 15 (28.8) | 312 (42.7) | 98 (22.9) | 100 (19.7) | 319 (25.2) | 2073 (38.8) | 381 (37.8) | 347 (52.0) |
| 建設時期 | 1970以前 | 5 (9.6) | 29 (4.0) | 51 (11.9) | 47 (9.3) | 131 (10.4) | 460 (8.6) | 84 (8.3) | 46 (6.9) |
| | 1971-1980年 | 6 (11.5) | 85 (11.6) | 70 (16.4) | 62 (12.2) | 131 (10.4) | 632 (11.8) | 129 (12.8) | 71 (10.6) |
| | 1981-1990年 | 6 (11.5) | 153 (20.9) | 77 (18.0) | 68 (13.4) | 201 (15.9) | 944 (17.7) | 190 (18.9) | 97 (14.5) |
| | 1991-1995年 | 7 (13.5) | 106 (14.5) | 33 (7.7) | 53 (10.5) | 147 (11.6) | 554 (10.4) | 95 (9.4) | 38 (5.7) |
| | 1996-2000年 | 11 (21.2) | 114 (15.6) | 41 9.6 | 82 (16.2) | 163 (12.9) | 737 (13.8) | 115 (11.4) | 74 (11.1) |
| | 2001-2005年 | 1 (1.9) | 63 (8.6) | 34 (7.9) | 61 (12.0) | 139 (11.0) | 584 (10.9) | 92 (9.1) | 63 (9.4) |
| | 2006-2010年 | 7 (13.5) | 64 (8.8) | 50 (11.7) | 56 (11.0) | 125 (9.9) | 510 (9.6) | 102 (10.1) | 76 (11.4) |
| | 2011-2015年 | 5 (9.6) | 44 (6.0) | 29 (6.8) | 42 (8.3) | 105 (8.3) | 449 (8.4) | 80 (7.9) | 89 (13.3) |
| 2016年以降 | 2 (3.8) | 12 (1.6) | 11 (2.6) | 9 (1.8) | 39 (3.1) | 148 (2.8) | 24 (2.4) | 30 (4.5) | |
| 床面積 | 60m ² 未満 | 13 (25.0) | 185 (25.3) | 85 (19.9) | 90 (17.9) | 227 (19.3) | 821 (20.9) | 122 (20.7) | 93 (24.5) |
| | 60-100m ² 未満 | 13 (25.0) | 253 (34.6) | 80 (18.7) | 122 (24.3) | 329 (28.0) | 1249 (31.8) | 184 (31.2) | 124 (32.6) |
| | 100-140m ² 未満 | 12 (23.1) | 198 (27.1) | 104 (24.3) | 136 (27.0) | 324 (27.6) | 1037 (26.4) | 152 (25.8) | 84 (22.1) |
| | 140-180m ² 未満 | 6 (11.5) | 61 (8.3) | 67 (15.7) | 70 (13.9) | 158 (13.5) | 481 (12.2) | 85 (14.4) | 45 (11.8) |
| | 180m ² 以上 | 8 (15.4) | 34 (4.7) | 92 (21.5) | 85 (16.9) | 136 (11.6) | 344 (8.7) | 46 (7.8) | 34 (8.9) |
| 二重窓・複層ガラス | 全ての窓 | 41 (78.8) | 591 (80.8) | 245 (57.2) | 215 (42.4) | 384 (30.4) | 1112 (20.8) | 193 (19.2) | 52 (7.8) |
| | 一部の窓 | 4 (7.7) | 85 (11.6) | 105 (24.5) | 125 (24.7) | 312 (24.7) | 829 (15.5) | 98 (9.7) | 38 (5.7) |
| | なし | 4 (7.7) | 35 (4.8) | 72 (16.8) | 160 (31.6) | 539 (42.6) | 3198 (59.9) | 679 (67.4) | 535 (80.2) |
| よく使う暖房機器 | エアコン | 1 (1.9) | 9 (1.2) | 19 (4.4) | 82 (16.2) | 378 (29.9) | 2100 (39.3) | 400 (39.7) | 226 (33.9) |
| | 電気暖房 | 5 (9.6) | 77 (10.5) | 73 (17.1) | 96 (18.9) | 252 (19.9) | 1368 (25.6) | 300 (29.8) | 257 (38.5) |
| | ガスストーブ | 0 (0.0) | 48 (6.6) | 6 (1.4) | 6 (1.2) | 53 (4.2) | 377 (7.1) | 36 (3.6) | 0 (0.0) |
| | 灯油ストーブ | 31 (59.6) | 408 (55.8) | 263 (61.4) | 289 (57.0) | 512 (40.5) | 1147 (21.5) | 234 (23.2) | 14 (2.1) |
| | 床暖房 | 3 (5.8) | 26 (3.6) | 23 (5.4) | 12 (2.4) | 40 (3.2) | 255 (4.8) | 16 (1.6) | 2 (0.3) |
| | 中央式暖房 | 9 (17.3) | 145 (19.8) | 37 (8.6) | 16 (3.2) | 7 (0.6) | 10 (0.2) | 1 (0.1) | 0 (0.0) |
| | その他 | 1 (1.9) | 6 (0.8) | 5 (1.2) | 4 (0.8) | 13 (1.0) | 12 (0.2) | 2 (0.2) | 0 (0.0) |
| | 暖房なし | 0 (0.0) | 1 (0.1) | 1 (0.2) | 1 (0.2) | 2 (0.2) | 49 (0.9) | 17 (1.7) | 155 (23.2) |
| 暖房の仕方 | 24時間暖房 | 22 (42.3) | 250 (34.2) | 77 (18.0) | 43 (8.5) | 78 (6.2) | 210 (3.9) | 31 (3.1) | 2 (0.3) |
| | 在室時に暖房 | 15 (28.8) | 333 (45.6) | 262 (61.2) | 313 (61.7) | 687 (54.3) | 2047 (28.3) | 325 (32.3) | 10 (1.5) |
| | 寒い時のみ暖房 | 15 (28.8) | 146 (20.0) | 86 (20.1) | 146 (28.8) | 486 (38.4) | 2914 (54.6) | 600 (59.6) | 294 (44.1) |
| | 暖房しない | 0 (0.0) | 2 (0.3) | 2 (0.5) | 4 (0.8) | 9 (0.7) | 161 (3.0) | 50 (5.0) | 359 (53.8) |
| 冷暖房エアコンの使用台数 | なし | 35 (67.3) | 539 (73.8) | 164 (38.6) | 60 (11.9) | 68 (5.4) | 143 (2.7) | 32 (3.2) | 39 (5.8) |
| | 1台 | 13 (25.0) | 158 (21.6) | 140 (32.9) | 159 (31.4) | 331 (26.2) | 1285 (24.1) | 284 (28.2) | 254 (38.1) |
| | 2台 | 3 (5.8) | 27 (3.7) | 60 (14.1) | 119 (23.5) | 306 (24.2) | 1403 (26.3) | 287 (28.5) | 201 (30.1) |
| | 3台以上 | 1 (1.9) | 6 (0.8) | 61 (14.4) | 168 (33.2) | 560 (44.3) | 2504 (46.9) | 404 (40.1) | 173 (25.9) |
| 年間収入 | 250万円未満 | 12 (23.1) | 132 (18.1) | 85 (19.9) | 95 (18.9) | 230 (17.3) | 794 (20.2) | 109 (18.5) | 39 (10.3) |
| | 250-500万円未満 | 21 (40.4) | 276 (37.8) | 148 (34.6) | 160 (31.8) | 407 (34.7) | 1350 (34.3) | 220 (37.4) | 122 (32.1) |
| | 500-750万円未満 | 11 (21.2) | 144 (19.7) | 82 (19.2) | 123 (24.5) | 274 (23.3) | 833 (21.2) | 152 (25.8) | 94 (24.7) |
| | 750-1000万円未満 | 5 (9.6) | 94 (12.9) | 55 (12.9) | 71 (14.1) | 179 (15.2) | 546 (13.9) | 75 (12.7) | 72 (18.9) |
| | 1000-1500万円未満 | 3 (5.8) | 70 (9.6) | 46 (10.7) | 40 (8.0) | 92 (7.8) | 297 (7.6) | 25 (4.2) | 43 (11.3) |
| | 1500万円以上 | 0 (0.0) | 15 (2.1) | 13 (2.8) | 14 (2.8) | 19 (1.6) | 112 (2.8) | 8 (1.3) | 10 (2.6) |

が大きな戸建住宅が多いことが推察される。1地域(北海道)、2地域や8地域では、「60m²未満」が25%前後となっており、他地域と比べて割合が高くなっている。「60-100m²未満」に割合のピークがある地域は2地域と5地域(北陸地方沿岸部、西日本内陸部)～8地域であり、寒冷地の中では2地域では住宅規模が比較的小さい。

二重窓・複層ガラスの有無では、1地域において「全ての窓」が78.8%、2地域では80.8%である。一方、8地域では高々7.8%である。「全ての窓」の割合は地域性が明確に表れており、寒冷な地域ほど高い。本論文での地域区分は暖房度日をもとに区分されており、これは住宅への断熱の必要度を代表しているため、各地域においてはそれらが反映されていると考えられる。暖房機器を複数所有する世帯が

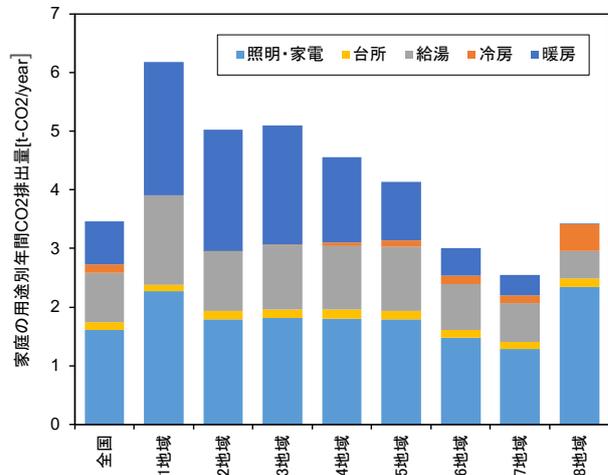


図1 各地域における用途別の年間CO₂排出量

多いが、主に使用している暖房機器として、1地域～5地域では「灯油ストーブ」の割合が高く40～60%である。また、「中央式」は1地域と2地域で高く、それぞれ17.3%、19.8%である。5地域～8地域では「エアコン」の割合が高く、30～40%の世帯が使用していることになる。それに対して、1地域～3地域のような寒冷な地域では「エアコン」の使用割合は低く、1.9～4.4%となっている。暖房の仕方では、「24時間暖房」の割合は1地域と2地域で高く、それぞれ42.3%、34.2%であり、南下するに従い暖房時間が短くなる傾向が読み取れる。3地域、4地域では「在室時に暖房」が、その他の地域では「寒い時のみ暖房」の割合が高い。また、8地域では「暖房なし」の割合が高く53.8%と半数を占め、地域性が反映されている。

冷房用エアコンの使用台数にも地域性が確認でき、1地域と2地域では「なし」の割合が最も高く70%前後である。次いで、3地域にて38.6%である。その他の地域では90%以上の世帯でエアコンを使用している。「3台以上」使用する世帯は4地域以南の地域で多く、6地域では46.9%である他、40%以上を示す地域が多い。一方、8地域では25.9%と割合が低い、エアコンの使用台数は住宅規模との関連性が推察される。

年間収入では、いずれの地域においても「250-500万円未満」の割合が高く、40%前後となっている。

3.2 年間CO₂排出量

図1に、各地域における年間(平成30年4月～平成31年3月)の用途別CO₂排出量の平均値を示す。

全国では、家庭部門の年間CO₂排出量が3.5 t-CO₂/yearとなる。図には示していないが、自家用車・二輪車によるCO₂排出量は1.6 t-CO₂/yearになり、自家用車等が全体の31.5%を占めることになる。住宅内では、照明・家電が全体の46.5%を占め、暖房、給湯は20%程度、冷房は高々4.0%を占める程度となる。

地域別では、1地域と8地域において「照明・家電」のCO₂排出量が多い。1地域では「給湯」についても他の地域と比べて多くなっている。「暖房」は1地域において最もCO₂排出量が多いが、2地域と3地域との差が小さい。特に、3地域のCO₂排出量が北海道南部の地域と同等であることは注目すべきであり、北海道の住宅に対する防寒対策が進んでいることを反映している可能性がある。3地域から8地域に行くにつれてCO₂排出量が小さくなり、妥当な傾向といえる。8地域では、「暖房」のCO₂排出量が極めて小さく、「冷房」が多いという特徴を確認できる。

4. 年間の暖房CO₂排出量に寄与する要因の分析

4.1 概要

年間の暖房CO₂排出量のばらつきに及ぼす要因を把握するために、数量化理論I類(量的データである目的変数を

カテゴリーデータから成る説明変数で予測するための手法)による分析を行った。目的変数は、年間のCO₂排出量とし、説明変数にはそれに関連が深いと考えられる因子を選んだ。サンプル数は図2に示す通りデータに欠落のない8,988世帯である。また、建築的要因のうち「二重サッシ、複層ガラスの有無」については、寒冷な地域と温暖な地域とで普及率に差が見られた(表1)。前者を1地域～3地域、後者を4地域～8地域にて代表させて、それぞれに対して暖房CO₂排出量に寄与する因子の影響度を評価した。

4.2 暖房CO₂排出量の分析結果

図2に分析結果を示す。重相関係数は0.74、決定係数は0.55である。暖房CO₂排出量に対する影響度は各因子の偏相関係数の大きさにより確認することができる。

図2の結果では、全ての偏相関係数が統計的に有意であり、CO₂排出量のばらつきに影響していると考えられる。特に、「地方区分」や「暖房の仕方」の偏相関係数は大きく、これらの寄与は強い。すなわち、寒冷な地域ほど、暖房時間が長いほどカテゴリー・ウェイトが大きくなり、妥当な傾向を示している。「住宅型式」「居住人数」「延べ床面積」の偏相関係数は同等の値を示しているが、住宅の断熱性能に関わる因子である「二重サッシ、複層ガラスの有無」の

目的変数：家庭の暖房CO₂排出量(平均：0.74 t-CO₂/year, 標準偏差：0.95 t-CO₂/year)
サンプル数：8,988世帯, 重相関係数：0.74, 決定係数：0.55

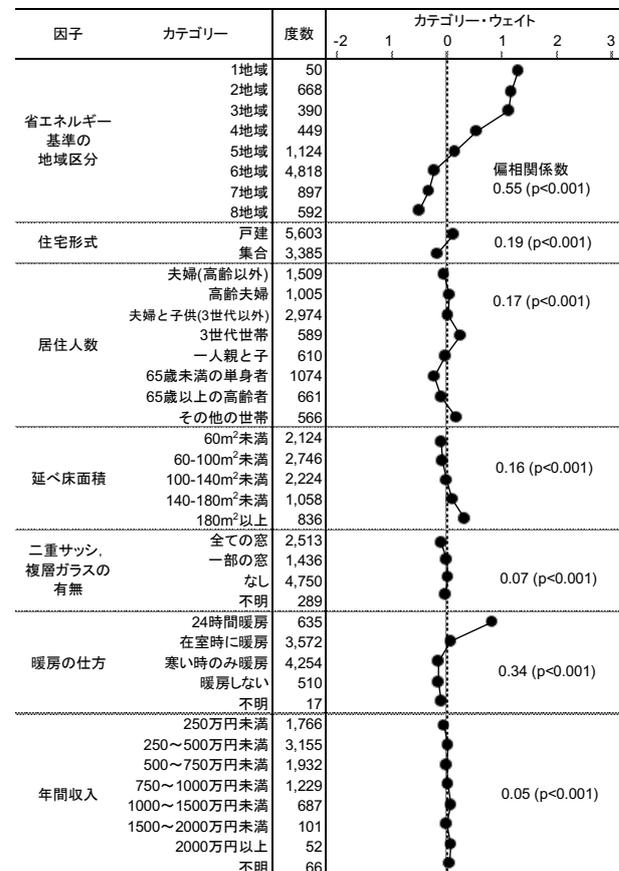


図2 暖房CO₂排出量に及ぼす居住環境要因に関する数量化理論Iによる分析結果

影響は小さく、偏相関係数は 0.07 である。‘なし’の方がカテゴリー・ウェイトは大きくなる傾向は若干見られるものの、その影響は極めて小さい。断熱性能の向上は住宅の低炭素化を進める上で重要な要素と考えられるが、暖房の仕方や住宅規模や家族人数の影響の方が大きく現れる結果となっている。

4.3 寒冷な地域と温暖な地域における暖房 CO₂ 排出量の分析結果

図 2 は全地域を含めた分析結果であるが、1 地域や 2 地域のような寒冷な地域では、二重サッシ、複層ガラスを使用する割合が高く、暖房 CO₂ 排出量も多い傾向が把握されている。このような地域では、住宅の断熱性能を二重サッシ、複層ガラスの使用のみで代表することにより実情が捉えられていない可能性がある。例えば、複層ガラスにも性能の差があるため、使用割合が高い地域において断熱性能の効果を適切に測ることが難しいと考えることができる。一方、温暖な地域においては、二重サッシ・複層ガラスの使用割合が低いため、それを採用することが住宅の断熱性能をある程度代表しているとの期待がある。よって、ここでは、1 地域～3 地域の寒冷な地域と、4 地域～8 地域の温暖な地域に分けて分析した。

図 3 と図 4 に分析結果を示す。図 3 の寒冷な地域の結果では、図 2 の結果と同様に「暖房の仕方」の偏相関係数が最も大きい、「地域区分」の影響は小さい。また、「二重サッシ、複層ガラスの有無」の影響は小さく、偏相関係数は有意ではない。この分析の範囲では、開口部の種類では暖房 CO₂ 排出量のばらつきを説明することができないことになる。

一方、図 4 の温暖な地域の結果では、「二重サッシ、複層ガラスの有無」の偏相関係数は有意であり、その値は、図 2 の結果と比べて大きくなっており、二重サッシ等の使用による断熱性能向上による効果には一定の期待ができると考えられる。しかしながら、暖房 CO₂ 排出量のばらつきは「地域区分」や「暖房の仕方」の影響度の方が大きい。

5. おわりに

平成 30 年の「家庭部門の CO₂ 排出実態統計調査(家庭 CO₂ 統計)」のデータを用いて、CO₂ 排出量の実態を把握するとともに、暖房用に着目してそのばらつきに関連する要因を数量化理論 I 類により分析した。その結果、地域区分や暖房の仕方の影響が相対的に大きいことが示された。温暖な地域に対しては、二重サッシ等の使用による低炭素化の効果が認められるものの相対的な影響度は小さい結果であるが、今後、分析精度を向上させるためには、調査項目に住宅の断熱性能を測る指標の追加が望まれる。

参考文献

1) 長谷川兼一, 外岡豊: 家庭部門のエネルギー消費量の地

目的変数: 家庭の暖房CO₂排出量 (平均: 2.64 t-CO₂/year, 標準偏差: 1.45 t-CO₂/year)
サンプル数: 699世帯, 重相関係数: 0.55, 決定係数: 0.31

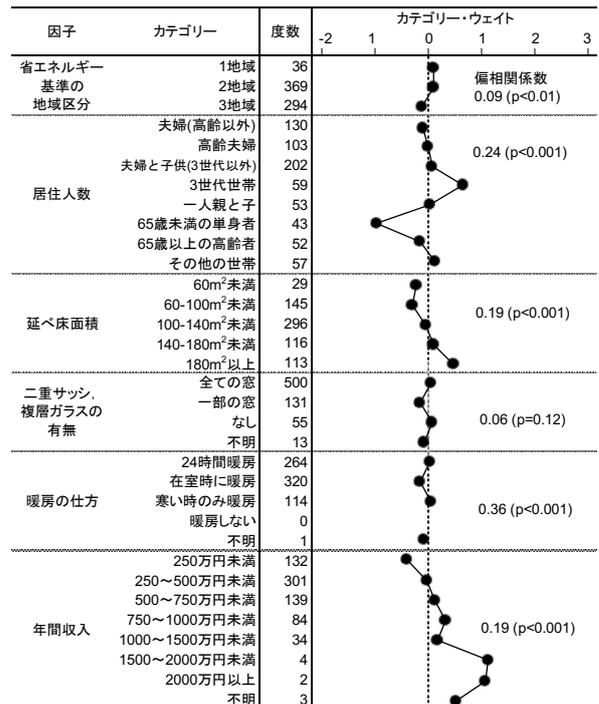


図 3 暖房 CO₂ 排出量に及ぼす居住環境要因に関する数量化理論 I による分析結果(1 地域～3 地域)

目的変数: 家庭の暖房CO₂排出量 (平均: 0.83 t-CO₂/year, 標準偏差: 0.78 t-CO₂/year)
サンプル数: 4,904世帯, 重相関係数: 0.62, 決定係数: 0.38

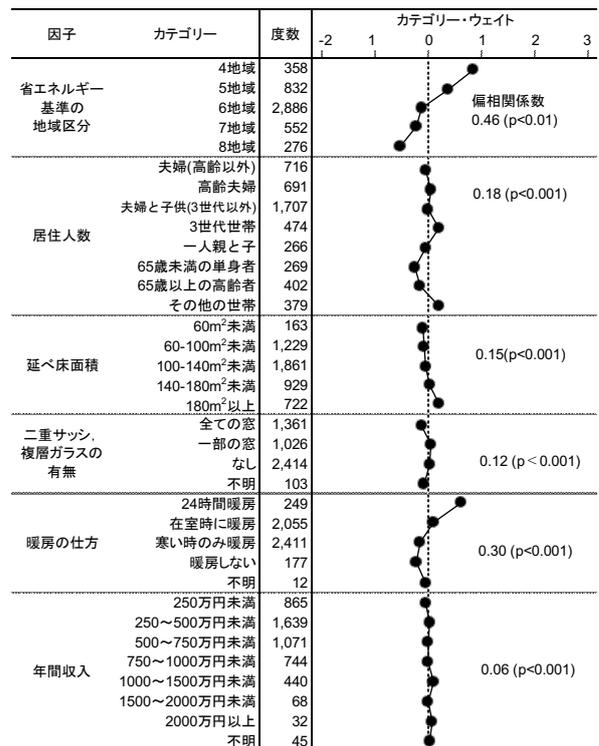


図 4 暖房 CO₂ 排出量に及ぼす居住環境要因に関する数量化理論 I による分析結果(4 地域～8 地域)

域特性に関する統計分析, 第 37 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 13-2, 2021 年 1 月.

2) 環境省: 家庭部門の CO₂ 排出実態統計調査(家庭 CO₂ 統計). <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/kateiCO2tokei.html>

日本における正確な温室効果ガス排出量算定と利用について その3－住宅エネルギー消費とCO₂排出量のマクロ推計

Accurate estimation and application of GHGs emissions in Japan Part-3 Macro Analysis on the Household energy consumption and CO₂ emissions

外岡 豊 * 長谷川兼一** 山崎政人 ***
Tonooka Yutaka Hasegawa Kenichi Yamazaki Masato

To promote GHGs emissions reduction options, for the evidence based policy making, reliable emissions inventory data with energy consumption data are important. In the previous two reports, I discuss on the key points to make the reliable emissions inventory data sets for trend analyses and emissions structure analysis in Japan. In this part three report, focusing on residential house sector, and especially on the utilization of the new survey on the household CO₂ emissions by JEA. The main topics are (1) harmonizing with the national emissions inventory and energy balance tables, (2) Application to the regional emission inventories, (3) the new trial of the Quantum-I regression modeling for the regional distribution analysis.

Keywords : Energy Consumption, CO₂ Emission, Emission Inventory, Climate Change, Household

1. はじめに

日本における正確な温室効果ガス排出量算定と利用について、連報で発表してきた1)2)が、今回は『家庭部門のCO₂排出実態統計調査利用研究会』(以下、家庭CO₂統計研究会)の一員として住宅エネルギー消費とCO₂排出量の正確な算定と分析について論じる。まずは家庭部門と住宅という発生源種類の定義の明確化を論じておきたい。次に既往の統計データ、推計データとの関係付けである。他の既往の統計値に加えてこの調査結果をどう組み合わせるのか、それぞれに値が異なるので統合的な利用手法を考えて置く必要がある。また住宅の特徴は北から南までどこにも存在し、気候条件の地域格差が大きいこと、世帯類型による違い、戸建と集合の違い、(さらには共同住宅と長屋建の違いもあるが、統計上の区分と俗称マンションとアパートの違いとのずれが不分明で正確な解析ができにくいものとして、分析に取り組んでいない)、住宅規模の格差、住宅様式の違い、個人的生活様式の違い、主要な利用エネルギー種類の違い、太陽光発電やバイオマス燃料の利用、HEMS(家庭エネルギー需給実態管理情報システム)等、エネルギー消費とCO₂排出量の実態において実に多様な姿がある。であるのに、なぜか世帯当で扱うことが多い。一様、均一である指

標が基礎単位として選択されるべきでありながら、家庭部門では多様な様態がある世帯当を基礎指標として用いることが多い。やみくもに世帯当で解析して、その背景にある幅がある分布を見ないようにして分析するのは如何なものか。この多様さの中にエネルギー需給における省エネルギーや排出削減への潜在可能性があるとともに、削減の困難さの要因にもなっている。

利用できる既往の統計値等として環境省家庭CO₂統計調査の他に、家計調査、消費実態調査、電気事業統計、ガス事業統計、LPガス資料年報(石油化学新聞社、民間推計資料)、日本LPガス協会統計情報、林野庁木質バイオマス利用動向調査、太陽光発電協会公開データ等があり、二次加工統計データとして、エネルギーバランス表(総合エネルギー統計)、都道府県別エネルギー消費統計、エネルギー経済統計要覧の各表等がある。それぞれの統計データに特有の偏り、データ取り扱い、分析上の注意点がある。これらにCO₂統計(以下環境省調査)を加え、総合して最も正確な実態データの作成と分析の手法を探索する。

環境省調査は抽出調査であるから、調査対象地域の世帯数を与えて地域排出量を算出した時にエネルギー種類別販売実績と一致する保証はない。エネルギーバランス表は二次加工統計で、エネルギー種類別に推計基礎データと推計手法が異なるので、それぞれ検討しないと比較検証できないが、都市ガスについてはガス事業統計から家庭用販売実績が得られ、エネバラ表でもそれを引用しているので、それ

*埼玉大学名誉教授
早稲田大学招聘研究員 一社エコステージ協会
E-mail: ytonooka@gmail.com
** 秋田県立大学
*** 日本環境技研・大阪

と比較すれば検証可能である。エネルギーバランス表は、電力、灯油については家計調査から各種の補正を経て推計されている³⁾ 4)。家計調査も抽出調査であり、エネルギー需給に特化した調査ではなく、県庁所在都市に偏った調査対象地域と月別の調査から年間値を求めていることからその信頼性に一定の限界があり、環境省調査との比較はどちらが実態に近いのか優劣は付け難いところであろう。

旧来は既往の統計データから住宅エネルギー消費量を推計して来たが、ここでは環境省調査の活用手法を中心に既往統計との整合性を持たせ、日本の住宅における正確な温室効果ガス排出量算定と分析手法について検討する。

主要な論点は、(1) 既往の温室効果ガス排出量算定データ、FCCC 事務局提出のNDC 排出削減計画書の基礎になる現況排出量の一部として、その算定体系と統合的な住宅の排出量とエネルギー消費量の推計手法、分析手法、(2) 地方自治体の地球温暖化防止対策地域計画策定における地域別排出実態解析への応用、(3) その際の分析手法として非集計(数量化 I 類モデル)解析手法の開発、の3点である。

2. 家庭と住宅一用語の使い分け

環境省調査では自家用車のエネルギー消費量を対象に含んでいる。郊外の住宅、あるいは地方都市や農山村における生活にあつては自家用車に依存した生活がなされているので自家用車のエネルギー消費はCO₂ 排出とその削減において大きな割合を占めていることは間違いない。住宅の場合は自家用車を含まない概念であることが十分社会にも共有されているであろうから家庭用とは通常は住宅と同義だが、自家用車を含む場合があり、住宅のエネルギー消費においてはいかなる場合でも自家用車² を含まないものと定義するのが妥当であると理解して使い分けている。

3. 統計データ間比較

3-1 エネルギー種類別比較

各データがどのような値であるのかは第一に確認しておかなければならない。環境省調査はあくまでも世帯当値を推計しているのであって、地域のエネルギー消費量やCO₂ 排出量には全く言及していない。エネルギーバランス表は全国消費量であつて世帯当値は示していない。しかし『#700000 家庭』の算出過程は都市ガス以外は世帯当エネルギー種類別消費量から計算している。総合エネルギー統計作成マニュアル³⁾ の記述から、そこで用いられている世帯数は住民基本台帳の世帯数であり、該当年度中の1月1日の値を用いているようである。エネルギー基本計画関連資料では2018年度の世帯数として2019年1月1日の住民基本台帳世帯数が掲示されており、それを裏付けるものになっている。表1で世帯当エネルギー(以下特記しない限

り2次エネルギー)消費量とエネ種類別構成%を比較して見た。エネルギー白書とエネルギーバランス表の構成比は同じであつたことと、エネバラ表の計算に用いた世帯数が住民基本台帳であることがわかっているので政府推計の世帯当エネルギー消費量はこのエネルギー白書の値と同じであることを確認した。

その構成比を比較すると、電力についてエネバラ表は49.8%、環境省調査は48.0%で近いように見えるが、電力消費量絶対値はエネバラ表15,343MJ/世帯で、環境省調査は14,570 MJ/世帯と小さく95.0%相当であつた。エネルギーバランス表の都市ガス消費量は販売統計を用いているので信頼性が高いが、それを世帯当に換算すると6,870MJ/世帯になる。環境省調査では7,810MJ/世帯と13.7%大きい。逆にLPGがかなり小さめで78.2%相当である。LPGは家庭用販売量の政府統計がないため民間の推計であるLPガス資料年報の県別消費量をLPG使用世帯割合や2人以上世帯と総世帯の支出水準の違い等で補正して用いている³⁾。LPガス協会の需要量は家庭業務用合計が示され、重複計上はないとされているが、エネルギーバランス表より大きな値になっている。エネルギーバランス表ではこの統計は取り込まれていない。都市ガス+LPGではエネバラ表10,321MJ、環境省調査10,510MJで101.8%相当になり大きな差はない。ただし、ここ数年、エネルギーバランス表の家庭部門におけるLPG消費量は不安定で異常な傾向にあつた経緯もあり、2021年4月の改訂で数年遡つて改訂されているので、入手できた2018年度版作成マニュアル³⁾ から、それ以降、推計手法が変更されている可能性もある。灯油については家計調査対象世帯が県庁所在都市に偏つていて、大都市市街地程、都市ガス普及率が高く、エネバラ表の灯油消費は低くなる傾向が予想されたが、環境省調査は5.2%大きく予想通りの傾向が示されている。

この全国世帯の平均値としてもかなり大きな割合を占めている灯油消費は寒冷地の戸建住宅において暖房用と給湯用に消費されており、その量が他の温暖な地域に比べて突出して大きいことは従来調査からも、環境省調査からもわかっている。次に検討する用途別エネルギー消費に関係するが、この寒冷地一戸建住宅の灯油を主とする暖房用エネルギー消費量が多いことは全国的に見ても2030年度に向けたCO₂ 排出削減の重点課題の一つである。

CO₂ 排出量について比較すると電力の排出係数に大きな違いがあり、その分、やや異なった比較になった。電力のCO₂ 排出量は99.6%とほぼ一致した。これは偶然であろう。都市ガスは大きく、LPGは小さいのは変らないが、ガス小計も98.8%であつた。相殺される傾向は妥当と考えられるが、ここまで一致するのは偶然であろう。

3—2 エネルギー用途別比較

エネルギー用途別は、もとよりあくまでも分解推計値であって正確な値は得られない。エネルギー白書と環境省調査を比較するとかなり異なった構成になっている。暖房用は環境省調査は低めで 88.4%相当、冷房用も同様に低いが、給湯用は環境省調査が大きく 14.3%も大きい。環境省調査では厨房用が調理用コンロだけなので定義が異なり、その分動力照明が大きくなっているはずであるが、絶対値は大差ない。エネルギー用途構成に関しては環境省調査は厨房用の定義の問題もあり、使いにくい面がある。

以上から、環境省調査による世帯当平均値とエネルギーバランス表と住民基本台帳世帯数から求めた世帯当値との乖離が確認された。ここで注意しなければならないのはいくつかの違った世帯数の値が併存していることである。エネルギーバランス表では住民基本台帳世帯数を用いてエネルギー消費量、CO₂ 排出量を計算しているが、次に検討する世帯類型別世帯数は国勢調査値であり、基礎になる世帯数が異なる。ちょうど昨年 10 月の国勢調査結果がまとまり公表された(2021. 11. 30)ところであるが、直近について比較すると、2020 年 10 月の国勢調査では世帯数は 5583 万世帯、うち一般世帯数は 5570 万 5 千世帯、一般世帯の 1 世帯当たり人員は 2.21 人である。住民基本台帳による 2021 年 1 月 1 日の全国の世帯数は、5,949 万 7,356 世帯で、6.6%大きく、1 世帯当たりの平均構成人員は 2.13 人である。この違いの扱い方次第で世帯当、1 人当エネルギー消費量あるいは環境省調査結果によるエネルギー消費量、CO₂ 排出量が違って来るので、既往のエネバラ表との整合性に配慮した扱いが求められる。

4. 各種統計の合成と統合

環境省調査は約 1 万サンプルの抽出調査であり、エネルギーバランス表は電力と灯油については家計調査の値をもとに各種の補正を加えて推計したものであるが、家計調査も抽出率は同程度で、どちらが、より信頼できる実態に近い値であるかを判断することは難しい。ここでは全国合計値はエネルギーバランス表を優先して用いる方針とする。それは環境省調査は家庭だけの調査であり、エネルギー需給部門との整合性において劣っているからである。住宅におけるエネルギー消費だけについて言えば、環境省調査の信頼性は家計調査より上である可能性も考えられるが、国の公式な排出量推計である国別報告書インベントリーがエネルギーバランス表を根拠に作成されていることもあり、それと異なる数値を用いない方が混乱が少なく、他の発生源との相対関係においても整合的であるので、環境省調査を用いる際にも全国値をエネルギーバランス表に合計調整す

ることで全体的な整合性を図る方針がよいと考え、今後はこの方針で分析を行い発表して行く予定である。

昨年に行った関連発表において 1 回の発表の中で全国値と世帯当エネルギー消費量、CO₂ 排出量について異なる値の図表を示したことがあった。聴講者からの指摘はなかったが、その統一の必要性に思い至ったことも、この発表を用意したきっかけであった。

5. 集計と非集計(数値化)モデル

環境省調査は約 1 万件が抽出調査されているが地域別(10 地域)、世帯種類別(8 類型)、建て方別(2 または 3)で多次元集計すると該当件数が小さくなり平均値が不安定になる場合がある。郵送留め置き訪問調査のような旧来型の調査手法時と変わらない、家計調査と大差ない抽出率、調査件数であり、ビッグデータの時代にそぐわない件数であるのは残念である。この問題点を克服するには数年分を同時解析する(Pooling)ことで数万件集計する手法があるが、それを超える手法として非集計解析を試行している。長谷川等(2020, 2021 今回)の数量化 I 類モデル分析がそれである。数量化 I 類モデルは定性的な要因指標に数値を与える多変量解析手法である。この推計では世帯当値が得られるがエネルギー種類別・用途別の内訳は得られない。図 1 はその解析例で、戸建住宅のエネルギー消費量について、地域格差を住宅省エネ基準の建築気候区 8 地域別、世帯類型 8 区分、戸建・集合別の 3 要因を説明変数にした。

図 1 の推計例を表 4 に集計値と比較した。世帯類型別に全国値と関東甲信地区について比較した。このモデル分析では建築気候区別分析のため関東甲信地区に対応する地域として建築気候区 6 地域と対比した。6 地域は東京都を含む関東平野と京都、大阪等から広島県、福岡県まで広域が該当する日本の代表的な気候区である。集計値の全世帯平均は 37.88GJ/年度、数量化モデル値は 40.71 GJ/年度とやや大きめであった。世帯類型により世帯人員も生活様式、生活時間も異なるので、差が大きい。数量化モデルでも集計値と同傾向が再現されている。地域格差は数量化モデルではやや小さ目であったが、大差ない。この結果から世帯類型、地域両面において相対的な大小の傾向は集計値も数量化モデルもかなり一致した同傾向を示すことが確認された。

この表 4 は地域の住宅における排出削減のベンチマークとして利用できる。図 1、表 4 の例ではあえて他の要因を説明変数から外して全体傾向を再現しやすいモデルにしているが、長谷川との共同研究 7) で説明要因に住宅の特徴を加えたモデルも取り上げているように、他の要因を加えたモデルによりベンチマークとしてのモデル推計も活用しやすくなる。モデル利用者が適宜説明変数を選択してモデ

ル解析できるような使いやすいソフトがあればよいが、そこまでの用意は現時点では容易ではない。どなたかが実用化していただけるとよい。

6. 地方自治体の排出削減計画への応用

日本では都道府県よりも市区町村が中心になり地域気候変動対策政策を推進する行政体系になっている。その基礎として市区町村別 CO2 排出量の推計が行われており、その地域按分等による推計手法について、最近は以前より様々な推計手法が記載された算定手法マニュアルが用意されている。単純な按分手法から実績データを活用する上級方法、それらを組み合わせて一部を実績値にする方法等、段階的に実態に近い値が得られる従来のマニュアルよりかなり充実したものが作成された⁸⁾。しかし、これを用いて地方自治体、とくに市区町村の職員が排出量の地域按分推計を行えるのかどうか、たまたま知っているある自治体では外注せず市の職員が実行計画書を策定しており、外注しない例もあったが、想像するに容易ではない。多くの自治体はこの排出量推計業務を含めて実行計画の策定に関して業者外注することが多いだろうと見ているが、委託された業者も適切な推計ができるのか、市の職員が業者の推計が適切なものかどうかの判断も難しい、というのが実態ではないか。この報告では家庭部門に限定して論述する表題にしているが、家庭部門に限らない問題があると見ている。とくに 2030 年度 46%削減をかかげた第 6 次エネルギー基本計画が策定(2021 年 10 月 22 日閣議決定)され、多くの自治体が非常事態宣言やゼロカーボン都市宣言を行う等しており、高い目標を掲げたもののどうやって本当に排出削減できるのか見通しも立っていない自治体がほとんどなのが実態であろう。今回は家庭部門に限定した表題にしたので、ここでは家庭部門について論じるが、環境省が用意した地域按分の算定手法はどれも世帯単位推計であり、わずかに世帯人員補正手法が示されていた。私は以前にも世帯類型別推計を地域別に行ったことがあったが、環境省調査結果に関しても世帯類型に注目した推計を行ってきた。ある自治体の家庭部門推計に際しても、各世帯類型別のエネルギー種類・エネルギー用途別 2 次エネルギー消費量と CO2 排出量を求め、国勢調査による市内の世帯類型別・戸建集合別世帯数を用いて加重平均した値を市の家庭部門値とした。この世帯類型別値を上記、数量化 I 類モデルで推計し、暖房、冷房用分を DD (デグリーデイ) 等の気候上限で補正しつつ、エネルギー消費量マトリクスをその値で合計調整してその地域固有の値を与える。それにより対策による排出削減の潜在可能性を詳しく予測分析することが可能になり、また最新の国勢調査結果を活かし、現況世帯類型構成とコーホート解析による将来世帯類型構成を想定予測し、

住宅の建築年数もコーホート解析により、空家発生予測を合わせて行い、それも踏まえて耐震性や断熱性と断熱改修対象になるかとか、PVC 設置対象になるか等も検討することができる。

7. 調査の改善と拡張

数年前になるがこの研究会開催以前に環境省の担当者に対して一研究者として意見具申したことがあった。

それは農山村における重点調査の実施と木質バイオマス燃料及び太陽光発電を調査対象に加えることであった。さらに遡って、この調査が開始される頃に環境省から試行調査の公募があった。2009 年前後のことであった。その時私はこの農山村重点調査の実施を提案し、特に灯油の消費実態を詳しく重点的に調査することと木質バイオマス燃料の普及可能性を探ることに力点を置いた企画であった。知られているように家計調査の対象が県庁所在都市に偏っていることから、どうしても灯油と LPG の消費世帯が多い地域の抽出率が低く、正確な実態を把握しにくい状態が続いていた。それ以前に灯油と LPG に関する全国調査が実施されていたが、それぞれの地域における両燃料の消費世帯率に関する情報が添えられていないため、消費世帯平均消費量が得られても地域全体の全世帯で平均した値に換算することができず、マクロ推計に活用できない難点があったまま、これらの調査は廃止され、その後の再開はないままである。この調査の一環として未だに把握が弱い部分、農山村、郊外、人口密度が低い地域での LPG、灯油と木質バイオマスに重点を置いた消費実態を重点調査する機会があってよい。これらの燃料は消費量または販売量に関して信頼できる統計調査が少ないので、この環境省調査を拡充して調査し、それをエネルギーバランス表の基礎統計データとして活用することを考えるべきであろう。まずは木質バイオマス燃料と太陽光発電を付け加えることを提案する。

8. まとめ替えて

当研究会では参加者が様々な分析を行っているが、環境省が用意した報告書の集計は概括的なものであり、上記地方自治体の行政目的や再生可能エネルギーの事業計画等、実務的な局面においても適宜、随時、特定目的の集計解析、データ分析ができることが望ましい。DX が叫ばれている時代に個票のビッグデータの扱いができるような試行が積極的に行われてしかるべきであろう。筆者は自分自身ではできないが、情報解析技術に長けた若手が更なるデータ活用法を試行開発しそれが幅広く利用されるようにしてくれることを希望して結論に替えたい。

表1 エネルギー(2次)消費量比較 エネルギー種類別 2019年度

| エネルギー種類 | エネバラ表 全国計 TJ/年度 | エネ白書 世帯当 MJ/世帯 | 環境省調査 世帯当 MJ/世帯 | 環境省調査 /エネ白書 相対比% | エネバラ表 構成比% | エネ白書 世帯当 構成比% | 環境省調査 世帯当 構成比% |
|---------|-----------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|---------------|---------------------|----------------------|
| 電気 | 906,959 | 15,343 | 14,570 | 95.0% | 49.8% | 49.8% | 48.0% |
| 都市ガス | 406,158 | 6,870 | 7,810 | 113.7% | 22.3% | 22.3% | 25.8% |
| LPガス | 204,428 | 3,451 | 2,700 | 78.2% | 11.2% | 11.2% | 8.9% |
| ガス小計 | 610,586 | 10,321 | 10,510 | 101.8% | 33.6% | 33.5% | 34.7% |
| 灯油 | 294,292 | 4,991 | 5,250 | 105.2% | 16.2% | 16.2% | 17.3% |
| 熱供給 | 1,104 | 0 | 0 | - | 0.1% | 0.0% | 0.0% |
| 石炭他 | 0 | 0 | 0 | - | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| 太陽熱他 | 6,970 | 0 | 0 | - | 0.4% | 0.0% | 0.0% |
| 計 | 1,819,911 | 30,809 | 30,330 | 98.4% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |

エネ白書エネルギー消費量はエネバラ表/住民基本台帳世帯数(2020.1.1) 58,527,117人

表2 エネルギー(2次)消費量比較 エネルギー用途別 2019年度

| エネルギー用途 | エネ白書 世帯当 MJ/世帯 | 環境省調査 世帯当 MJ/世帯 | 環境省調査 /エネ白書 相対比% | エネ白書 世帯当 構成比% | 環境省調査 世帯当 構成比% |
|---------|----------------------|-----------------------|------------------------|---------------------|----------------------|
| 暖房 | 7,610 | 6,730 | 88% | 24.7% | 22.3% |
| 冷房 | 832 | 730 | 88% | 2.7% | 2.4% |
| 給湯 | 8,873 | 10,140 | 114% | 28.8% | 33.5% |
| 厨房 | 3,050 | 2,080 | 68% | 9.9% | 6.9% |
| 動力照明他 | 10,444 | 10,550 | 101% | 33.9% | 34.9% |
| 計 | 30,809 | 30,230 | 98% | 100.0% | 100.0% |

表3 CO2排出量比較 エネルギー種類別 2019年度

| エネルギー種類 | エネバラ 世帯当 CO2排出量 t-CO2/世帯年度 | 環境省調査 世帯当 CO2排出量 t-CO2/世帯年度 | 環境省調査 /エネ白書 相対比 % | エネ白書 CO2 排出係数 kg-CO2/GJ | 環境省調査 CO2 排出係数 kg-CO2/GJ |
|---------|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 電気 | 1.81 | 1.80 | 99.6% | 116.7 | 123.5 |
| 都市ガス | 0.36 | 0.40 | 111.9% | 51.5 | 51.2 |
| LPガス | 0.21 | 0.16 | 76.4% | 60.0 | 59.3 |
| ガス小計 | 0.57 | 0.56 | 98.8% | 54.3 | 53.3 |
| 灯油 | 0.34 | 0.36 | 104.4% | 68.6 | 68.6 |
| 計 | 2.72 | 2.72 | 100.0% | 87.5 | 89.7 |

文献

- 1) 外岡豊：日本における正確な温室効果ガス排出量算定と利用について, 3-5, エネルギー・システム・経済・環境コンファレンス第 37 回, 2021. 1. 26-27 (オンライン)
- 2) 外岡豊：日本における正確な温室効果ガス排出量算定と利用について続報, 8-5 エネルギー・資源学会研究発表会第 40 回, 2021. 8. 02-03 (オンライン)
- 3) 経済産業省 資源エネルギー庁(長官官房総務課戦略企画室)：総合エネルギー統計作成マニュアル 2018 年度版
https://www.enecho.meti.go.jp/appli/public_offer/2020/06/20200610_001.html
- 4) 日本エネルギー経済研究所：平成 29 年度エネルギー需給に関する統計整備等のための調査(総合エネルギー統計関係の整備及び分析に関する調査)-経済産業省資源エネルギー庁委託調査報告書, 2018 年 3 月
- 5) 経済産業省 資源エネルギー庁 (長官官房 総務課)：総合エネルギー統計の解説 2018 年度改訂版 (案) 2020 年 4 月
- 6) 長谷川兼一, 外岡豊：家庭部門 CO2 排出量の地域性とその影響要因に関する統計分析, 16-7, エネルギー・資源学会研究発表会第 40 回, 2021. 8. 02-03 (オンライン)
- 7) 長谷川兼一, 外岡豊：家庭部門の CO2 排出量の地域性とその影響要因その 1 影響要因の地域特性に関する統計分析, 16-5, エネルギー・システム・経済・環境コンファレンス第 38 回, 2022. 1. 25-26(今回)
- 8) 地方公共団体実行計画 (区域施策編) 策定・実施マニュアル算定手法編 Ver. 1.1 令和 3 年 3 月 環境省大臣官房

環境計画課 https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/data/manual_santei_202103.pdf

9) 独立行政法人統計センター：オーダーメイド集計の利用、家庭部門の CO2 排出実態統計調査の集計の仕様
<https://www.nstac.go.jp/services/order-kateico2.html>

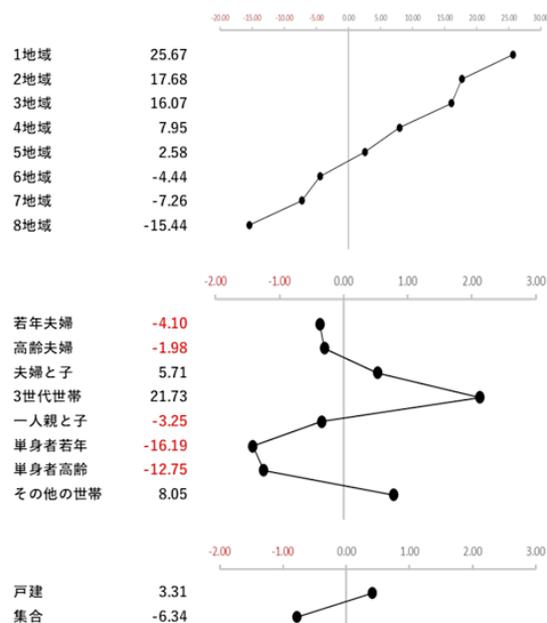


図1 数量化I類モデル

目的変数：家庭の年間エネルギー消費量
 平均：37.4 GJ/year, 標準偏差：21.0 GJ/year
 サンプル数：8,058 世帯,
 重相関係数：0.65, 決定係数：0.43

表4 世帯当エネルギー消費量 集計値と非集計(数量化)モデル比較 2019年度 GJ/世帯年度

| 世帯類型 | 集計 全国 | 数量化 全国 | 数量化/集計 全国 | 集計 関東 | 数量化 6地域 | 数量化/集計 6地域/関東 |
|----------|----------|-----------|--------------|----------|------------|------------------|
| 若年夫婦 | 32.96 | 36.61 | 111% | 29.51 | 32.17 | 109% |
| 高齢夫婦 | 35.54 | 38.73 | 109% | 31.01 | 34.30 | 111% |
| 夫婦と子 | 41.68 | 46.42 | 111% | 39.24 | 41.98 | 107% |
| 夫婦と子・高齢 | 46.38 | | | 41.80 | | |
| 夫婦と子・若中年 | 40.11 | | | 38.39 | | |
| 3世代世帯 | 59.05 | 62.45 | 106% | 55.31 | 58.01 | 105% |
| 一人親と子 | | 37.46 | | | 33.02 | |
| 単身者若年 | 21.13 | 24.52 | 116% | 18.65 | 20.08 | 108% |
| 単身者高齢 | 24.33 | 27.96 | 115% | 20.57 | 23.52 | 114% |
| その他の世帯A | | 48.76 | | | 44.32 | |
| その他の世帯B | 41.01 | | 119% | 36.71 | | 121% |
| 全世帯 | 37.88 | 40.71 | 107% | 34.54 | 36.27 | 105% |