

家庭部門の CO₂ 排出実態統計調査とエネルギー統計の階層的データ接続の検討

Examination of Hierarchical Data Connection for Energy Statistics and the Household CO₂ Emission Survey

井上 智弘*・加藤 悦史*・黒沢 厚志*

Toshihiro Inoue

Etsushi Kato

Atsushi Kurosawa

Abstract

To realize a carbon-neutral society, it is necessary to draw a picture of a society in which the future demand structure has changed significantly. Therefore, it is necessary to construct future energy demand scenarios that take regional characteristics into consideration. On the other hand, regional characteristics in statistical data have not been evaluated in detail. In this study, we compared the existing statistical data, connect the data according to regional strata, and examine the data that contribute to changes in the demand structure. For the data, we use individual data from the Household CO₂ Emissions Statistical Survey and general energy statistics.

Key words : Household, CO₂ emissions, Energy statistics

1. まえがき

カーボンニュートラル社会実現を目指して、将来需要構造が大きく変化した社会像を描く必要がある。2021年のエネルギー基本計画では、2030年のエネルギー見通しについて家庭部門のさらなる省エネが想定されているがその具体策は十分に示されていない。また、CO₂排出量削減に向けた再生可能エネルギーの普及が進むが、導入ポテンシャルの地域的偏在性や系統の問題から、地域の需要構造と合わせて評価していく必要がある。家庭部門のエネルギー需要には、省エネの効果に寄与する具体的な削減技術や地域特性を考慮した将来エネルギー需要のシナリオを構築することが求められる。将来のエネルギーシナリオはエネルギーシステムモデルなどを用いて統合的に評価される。ここでは、エネルギーシステム、個別技術、燃料などに関するコストや技術特性を考慮して分析されている。エネルギー供給技術や産業の技術は多く評価されているが、エネルギー需要については十分な評価がなされていない。また、エネルギーシステムモデルはマクロフレームからなるエネルギーフローと個別技術の積み上げによるエネルギー需給を評価する。ここで、マクロフレームではエネルギー統計などの対象地域、例えば日本全体のエネルギー統計データを用いるが、個別技術の特性、地域解像度を上げた分析などとの整合性を持たせる必要がある。一方で、統計データは調査数の制約から包括的に調査することが困難であり、それぞれ

の統計の目的に応じて標本抽出する基準が異なるため調査方法や調査数の偏りが異なるため、補正方法を検討する必要がある。本研究は、現状および将来のエネルギー需要の地域特性を評価することを目的とした予備的研究であり、統計データを地域階層別に接続する統計データの特徴を整理する。具体的には、エネルギー統計、家庭部門CO₂排出実態統計調査の10地域区分別と都道府県別のデータを比較し、その特徴をまとめる。

2. エネルギー需要の統計

エネルギー需要を把握するデータとして、統合エネルギー統計（エネルギーバランス表）、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などがあり、エネルギー需要の分析の多く用いられる。これらは、各種統計をもとに加工した二次加工統計データであり、データの取り扱いには注意を要する。2017年度からは、環境省が家庭部門CO₂排出実態統計調査を実施している。本稿では、地域別に区分することから、都道府県別エネルギー消費統計および家庭部門CO₂排出実態統計調査の都道府県別エネルギーデータの地域別の特徴について整理する。

2.1 都道府県別エネルギー消費統計

都道府県別エネルギー消費統計は、2007年度以降エネルギー消費統計調査を用いて、都道府県、業種別に推計されたものである。家庭部門については、電力、都市ガス、LPG、灯油、熱、その他（石炭等）についてまとめられている。なお、家庭の消費するガソリンは運輸部門に計上されている。家庭部門の都市月はガス事業年俵の販売量、熱は熱供

*エネルギー総合工学研究所

〒105-0003 東京都港区西新橋 1-14-2 新橋 SY ビル

E-mail: t-inoue@iae.or.jp

給事業便覧の販売量を元に、都道府県別に集計している。電力、プロパンガス及び灯油は家計調査の購入数量を元に推計している。家計調査を用いた推計には、各エネルギーの四半期ごとの支出金額と年平均単価を用い、世帯人員補正、消費支出補正、都道府県別案分を実施している。2016年より補正方法は精緻化されており、2人以上世帯と総世帯のデータを用いた近似式による世帯人員補正と、同じ年度内の年間収入階級別のデータを用いた近似式による消費支出補正を行っている¹⁾。次に、電力、LPG、灯油の一次データである家計調査について説明する。

2.2 家計調査（都道府県別エネルギー消費統計）

調査世帯は、全国の世帯の縮図となるよう、統計理論に基づいて世帯を選定して調査されている。家計調査では、母集団情報を直近の国政調査に基づき、「二人以上の世帯」に対して、地方、都市階級、産業的特徴、世帯主の年齢構成などに層化した、層化3段抽出法を用いている。全国168の層数に対し、各層1市町村を抽出しており、調査世帯数は8076世帯（平成30年度）である。都市階級は大都市（都道府県庁所在市と政令指定都市）、中都市（大都市を除く人口15万人以上）、小都市A（人口5万人以上15万人未満の市）、小都市B（人口5万人未満の市）・町村に区分されている。また、「単身世帯」は一般単位区673世帯、寮・寄宿舎単位区72世帯の計745世帯（平成30年度）である。地方区分は10区分¹⁾である。都道府県区分で標準誤差5%以下とするには4万件以上の調査が必要となるため、都道府県庁所在市に対する調査（各都市の調査対象90世帯以上）によって地域性を担保している。エネルギー消費統計では、10地方別の値を起点として、都道府県庁所在市データを按分指標としている。一方で都市階級には偏りが生じてしまうため、世帯人員・消費支出による補正がなされる。

2.3 家庭部門のCO₂排出実態統計調査

家庭部門のCO₂排出実態統計調査（以降、家庭CO₂調査）では、層化三段抽出法により、全国で13,000世帯を無作為に抽出して調査し、1万世帯弱の結果を得ている。調査項目は電気・ガス・灯油、ガソリン・軽油の使用量等12か月分と、属性事項であり、地方10区分、都市階級3区分の30層が設定されている。都道府県別に集計するとサンプル数が30~40の地域も多く標準誤差率は5%を超えることが見込まれ、都市階級にも偏りが生じることから適切ではないが、本稿では単純に集計した際のデータを比較し、その課題について検討する。

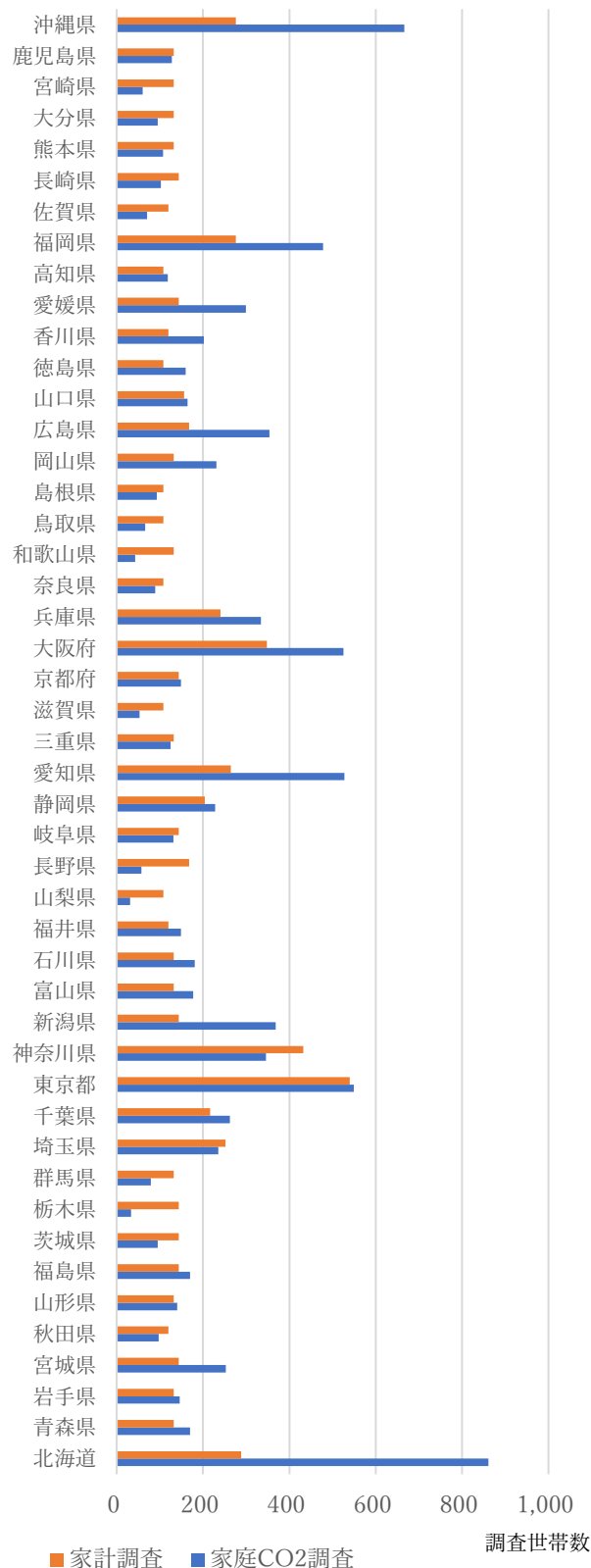


図1 H30年度 都道府県別の調査世帯数 (家計調査, 家庭CO₂調査)

¹⁾ 都道府県を、北海道、東北（青森・岩手・宮城・秋田・山形・福島）、関東（茨城・栃木・群馬・埼玉・千葉・東京・神奈川・山梨・長野）、北陸（新潟・富山・石川・福井）、東海（岐阜・静岡・愛知・三重）、近畿（滋賀・京

都・大阪・兵庫・奈良・和歌山）、中国（鳥取・島根・岡山・広島・山口）、四国（徳島・香川・愛媛・高知）、九州（福岡・佐賀・長崎・熊本・大分・宮崎・鹿児島）、沖縄とした10区分。

2.4 家計調査と家庭部門のCO₂排出実態統計調査の比較

家庭CO₂調査と家計調査の調査対象について比較する。地方区分は家庭調査の区分と同じであるが、都市階級は、家庭CO₂調査は家計調査の区分より少なく都市階級1：大都市、都市階級2：中都市、小都市A、都市階級3：小都市B・町村、がそれぞれ対応している。家庭CO₂調査は建て方、世帯・住宅属性が重要となり、集計区分数12～16程度とした場合の集計精度を標準誤差5%前後とするため、集計区分ごとに50～90世帯程度が必要となる。このため、標本サイズを地方ごとに600～1400世帯としている²⁾。沖縄、北海道はそれぞれ1地域区分であるため調査世帯数が多い。図1に平成30年度の都道府県別の調査世帯数を示す。家庭CO₂調査では地方別均等配分に世帯数の比例配分を加えているため、宮城、新潟、愛知、大阪、広島、愛知、福岡、では特に家計調査との調査世帯数の差が大きい。

3. 都道府県別のエネルギー需要データ

3.1 H30年度の家庭部門のエネルギー消費量比較

家庭CO₂調査は、エネルギー需要に焦点をあててデータを調査しているが、エネルギー統計は1990年以降の長期のデータが整備されている。ここで、家庭CO₂調査とエネルギー消費統計のデータについて比較する。

図2に、H30年度の家庭CO₂調査とエネルギー消費統計のエネルギー種別の家庭部門の年間エネルギー消費量を示す。エネルギー統計と比較し、家庭CO₂調査は電力では3%少ない。都市ガスは18%多く、これは都市ガスの契約エリアが部分的である影響が考えられる。LPガスは12%少ないが、エネルギー統計では簡易ガスが含まれる影響がある。灯油は7%多いが、これは、エネルギー統計が価格と単価から推計している誤差などが考えられる。図3に、H29～H31年の、家庭部門の各種エネルギー年間消費量データのエネルギー消費統計に対する家庭CO₂調査の比率を示す。各年の違いは数%であり、統計の傾向は概ね同じであることがわかる。

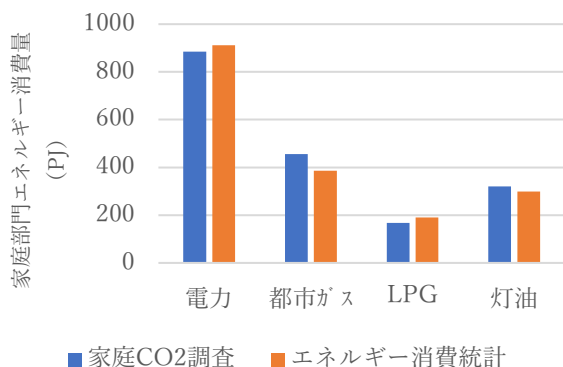


図2 H30年度 家庭CO₂調査とエネルギー消費統計のエネルギー種別の家庭部門の年間エネルギー消費量 (PJ)

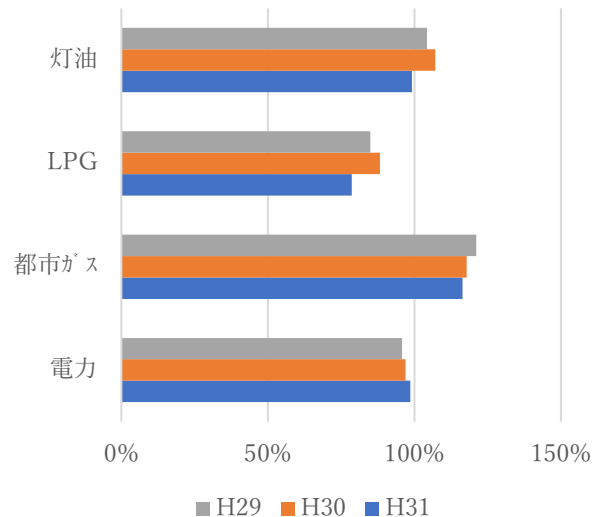


図3 家庭部門の各種エネルギー年間消費量データのエネルギー消費統計に対する家庭CO₂調査の比率

3.3 都道府県別のエネルギー消費量

図4に家庭CO₂統計の都道府県別のH30年度の世帯当たりのエネルギー消費量を、図5にエネルギー消費統計の都道府県別のH30年度の世帯当たりのエネルギー消費量を示す。エネルギー消費統計は都道府県別の総量であるため、住民基本台帳の総世帯数で除して世帯当たりのエネルギー消費量を算出した。

寒冷地域ほどエネルギー消費が大きく、灯油需要も大きい。北陸では特に電力需要が大きい。寒冷地域の暖房需要、住宅面積に加え、北陸電力の電気価格が廉価であることなどが要因として考えられる。エネルギー消費統計の福井県の電力消費量は34.3GJ/世帯と、他県と比較しても著しく大きい。福井では電気製品の普及率が高い、住宅面積が大きいなどの傾向はあるが、家計調査のデータをみると、福井市は他の北陸の都市と同等であり、特に電力消費量が大きいとは言えないため、エネルギー消費統計より家庭CO₂調査の方が実態を示している可能性もある。

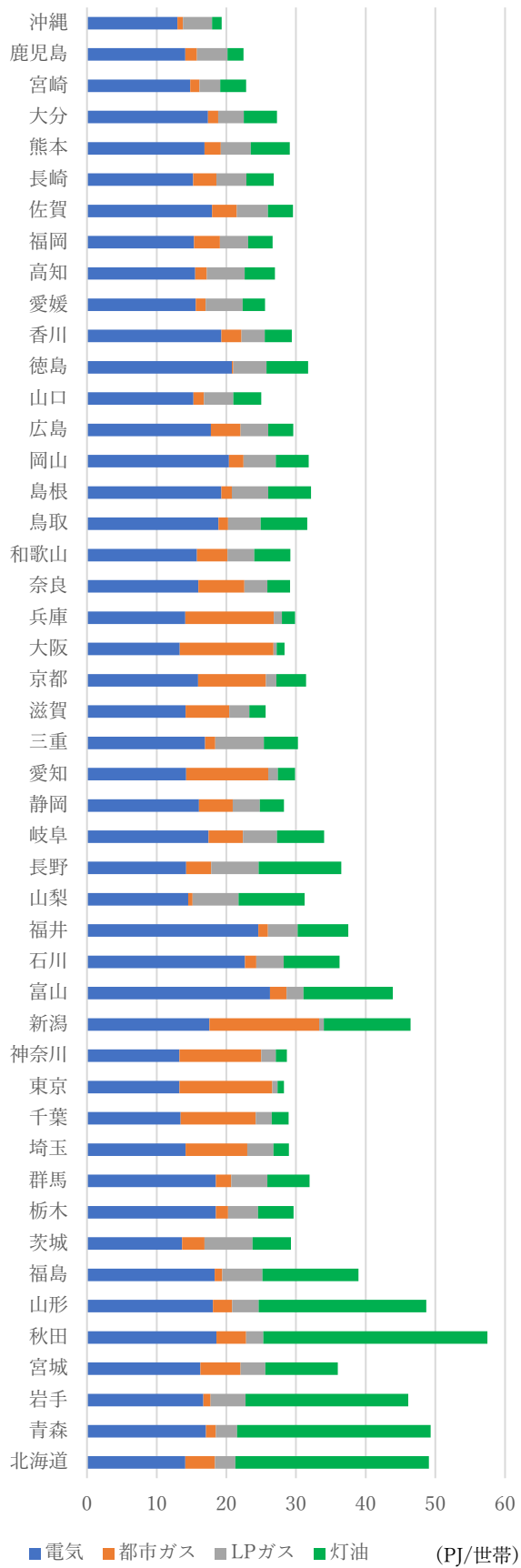


図4 家庭CO₂統計のH30年度
世帯当たりのエネルギー消費量（都道府県別）

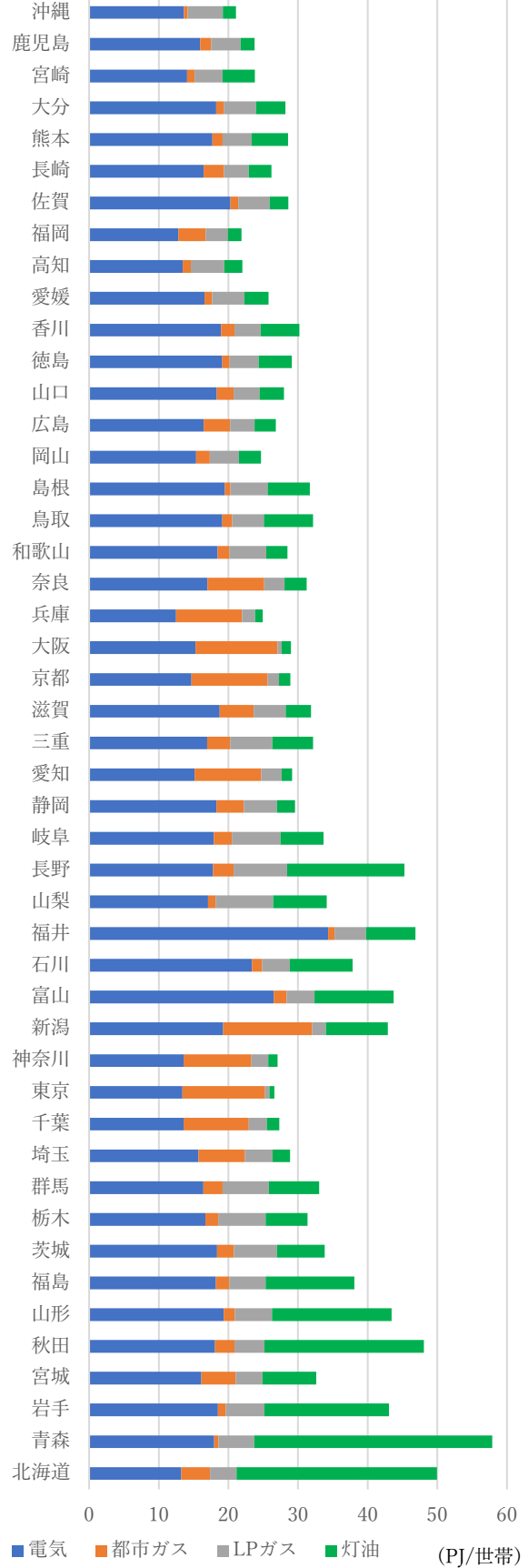


図5 エネルギー消費統計のH30年度
世帯当たりのエネルギー消費量（都道府県別）

3.2 家庭部門の CO₂ 排出実態統計調査の比較

図 6～9 に、エネルギー消費統計および家庭 CO₂ 統計の、各種エネルギーの都道府県別の H30 年度世帯当たりエネルギー消費量を散布図で示し、その相関係数を記した。電力（図 6）と LP ガス（図 8）の R² はそれぞれ 0.61、0.7 とやや低く、都市ガス（図 7）と灯油（図 9）の R² はそれぞれ 0.93 と 0.89 と高い値となっている。エネルギー消費統計では、都市ガスはガス事業生産動態統計調査の家庭用販売量が使用されているため正確性が高いが、都道府県庁所在地データを按分利用していることから、集合住宅が多く、LP ガスや灯油の使用量は実態に合わないことも考えられる。世帯、住宅、気象などの属性データを元に詳細な検討が必要となる。

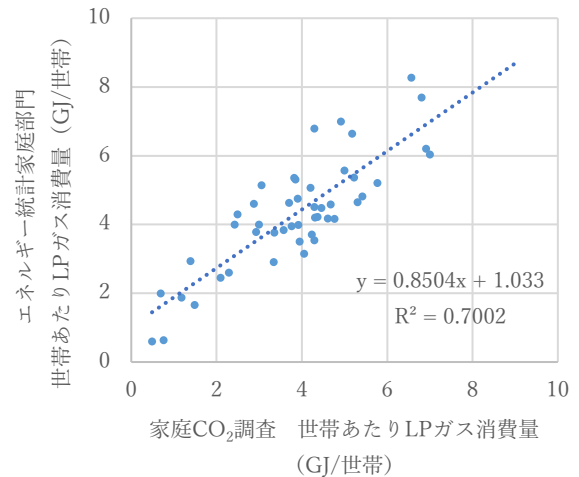


図 8 エネルギー統計および家庭 CO₂ 統計の H30 年度世帯当たり LP ガス消費量の比較（都道府県別）

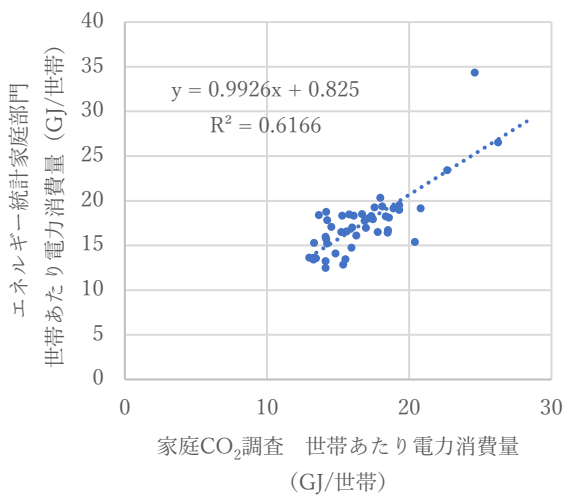


図 6 エネルギー統計および家庭 CO₂ 統計の H30 年度世帯当たり電力消費量の比較（都道府県別）

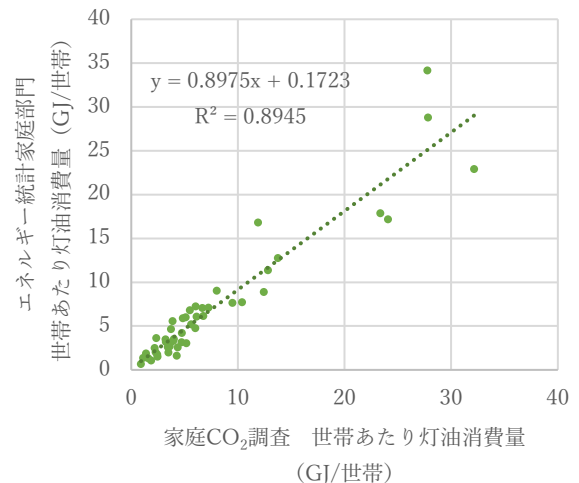


図 9 エネルギー統計および家庭 CO₂ 統計の H30 年度世帯当たり灯油消費量の比較（都道府県別）

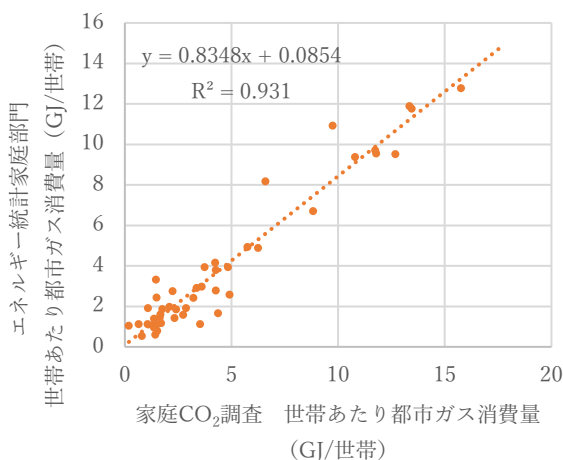


図 7 エネルギー統計および家庭 CO₂ 統計の H30 年度世帯当たり都市ガス消費量の比較（都道府県別）

4. まとめ

本稿では、地域別エネルギー需要構造を評価することを目的として、エネルギー消費統計データと家庭部門の CO₂ 排出実態統計調査（家庭 CO₂ 調査）のデータの特徴を整理し、都道府県別のデータについて比較し、考察した。エネルギー消費統計は電力、LPG、灯油については家計調査の統計を用いて推計しており、都道府県の区分では家庭 CO₂ 調査と大きく異なるデータがあった。標本の抽出条件や推計手法が異なるため、より詳細な推計について検討していく。

謝辞

本研究は、エネルギー・資源学会による「家庭部門のCO₂排出実態統計調査利用研究会」の取組の一環として実施したものであり、ここに付記し謝意を表す。

参考文献

- 1) “平成31年度エネルギー需給に関する統計整備等のための調査（都道府県別エネルギー消費統計の整備に関する調査）報告書”，資源エネルギー庁，(2020)
- 2) “平成27年度家庭部門における二酸化炭素排出構造詳細把握委託 業務報告書”，株式会社インテージ株式会社住環境計画研究所，(2016)
- 3) “令和3年度エネルギー需給に関する統計整備等のための調査（都道府県別エネルギー消費統計の整備に関する調査）報告書”，資源エネルギー庁，(2022)
- 4) “平成30年度家庭部門のCO₂排出実態統計調査事業委託業務（平成30年度調査分の実施等）報告書”，株式会社インテージ株式会社住環境計画研究所，(2019)

家庭 CO₂ 統計からみた 家庭の暖房におけるエネルギーレジリエンス

Analysis of Energy Resilience in Home Heating Based on Household CO₂ Statistics

星野 優子 *・小川 順子 **
Yuko Hoshino Junko Ogawa

Currently, there is not enough quantitative information on household energy resilience for discussion. In this study, we focused on the resilience of home heating energy, and clarified characteristics by house type, region, and energy use based on individual data from the “Statistical Survey of CO₂ Emissions from the Household Sector”. The results show that in northern Japan, where the energy demand for heating is large, it is clear that energy sources are being diversified. Sensitivity analysis also suggests that the impact of power outage is the largest in cold regions, and therefore, diversification of energy sources may contribute to risk mitigation. In promoting carbon neutrality in the residential sector, which is based on the de-carbonization of power sources and the promotion of electrification, it can be said that detailed policy based on regional characteristics will be necessary.

Keywords : Household Energy Demand, Heating Energy, Energy Resilience, Survey Data

1. はじめに

日本においては、2050年までのカーボンニュートラルの実現に向けて、民生部門でのCO₂削減が急がれている。家庭におけるCO₂排出量の削減対策として、電化による省エネと電力の脱炭素化の重要性が指摘されている。他方で、レジリエンスの観点からは、多様なエネルギー源を持つことの重要性も指摘されている。しかし、家庭におけるエネルギーレジリエンスに関しては、考え方の整理に加えて、議論のベースとなる定量的な情報は必ずしも十分とは言えない。そこで以下では、家庭の電化、およびエネルギーレジリエンスに関するこれまでの議論を整理したうえで、暖房用エネルギーに焦点をあて、環境省の家庭CO₂統計^[1]の2019年の個票データから、家庭の属性別に暖房用エネルギーの使われ方、暖房用エネルギー支出について比較する。最後に、暖房用エネルギーのレジリエンスについて、厳寒期の暖房需要に焦点をあてた感度分析を行い考察したい。

1.1 電化についての先行研究

Pallonetto et. al.^[2]は、アイルランドの既築戸建住宅を対象に、オール電化住宅への改修による省エネ、CO₂削減効果を調査し、太陽光発電設備、地中熱ヒートポンプ、電気自動車用充電器、建物構造の改善とあわせることで、最大45%の省エネと約29%のCO₂削減を達成できたとしている。

Khezri et al.^[3]は、オーストラリアにおけるオール電化の世帯と、ガスと電気の併用世帯について、PVと蓄電池を所有している世帯、PVのみ所有している世帯、いずれも所有していないモデル世帯を想定し、それぞれのNPVを比較している。その結果、オール電化住宅ではPV、蓄電池システムがより経済的であり、PVや蓄電池を設置しない場合はガス・電気併用住宅の方がNPVは高いことを指摘している。

Padovani et. al.^[4]は、米国中西部の天然ガスが供給されない寒冷地における典型的な住宅を想定し、電化のポテンシャルを分析している。ヒートポンプと太陽光発電を併用することで、寒冷地の暖房需要においても電化のメリットがあることを確認している。

Hoshino and Ogawa^[5]では、岩船他^[6]の手法を参考に、家庭のエネルギー需要をすべて電力で賄うオール電化世帯に焦点をあて、日本の家庭部門におけるオール電化の決定要因について、以下のバイナリロジスティック回帰モデルを用いて地域別・所得別の特徴を明らかにしている。

$$P(y_i = j) = F_{ij}(x'_{ij}\beta), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 0 \\ P(y_i = 1) + P(y_i = 0) = 1$$

ここで、 x'_{ij} は説明変数ベクトル、 β はモデルの推定パラメータベクトルである。 $P(y_i = 1)$ 、 $P(y_i = 0)$ はそれぞれ、オール電化か否かの確率を示す。

表1はその分析結果の主なものを示したものであるが、戸建で、PVを設置し、世帯収入が高く、建築年が新しいほどオール電化になる確率が高まることがわかる。また、

*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

表 1 オール電化の選択要因に関する先行研究

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
定数項	-4.9371	-4.9073	-5.3024	-3.8906	-4.9032
戸建か否か	1.4114	1.3882	1.3693	1.3827	1.3678
PV設置の有無	1.2548	1.2617	1.2959	1.2869	1.3034
世帯収入	0.1917	0.3187	0.2404	0.2080	0.2971
建築年	0.3628	0.3714	0.3669	0.3648	0.3701
暖房度日	-0.2329				
電気料金 (オール電化) /その他 エネルギー価 格(都道府 県平均)	ガス料金	-1.4966			
	LPG料金		-0.5740		
	灯油価格			-1.4275	
	平均エネルギー価格				-1.5044
AIC	-17246	-16851	-17205	-17259	-17043
標本総数(2017~19年)	29161				
オール電化世帯数	3492				

出所：Hoshino, Ogawa^[5] の表から著者ら再構成。

注：暖房度日は、日平均気温が14℃を下回る日の日平均気温と14℃の差を一年間合計した値とし、県庁所在地データから都道府県別に推計している。

競合するエネルギー源に対して電力単価が相対的に安価になると、オール電化に転換する確率が高まることも示されている。加えて暖房度日のパラメータはマイナスで有意な説明力を持っており、より寒冷地ほど、オール電化住宅を選択する確率が低くなることを意味している。

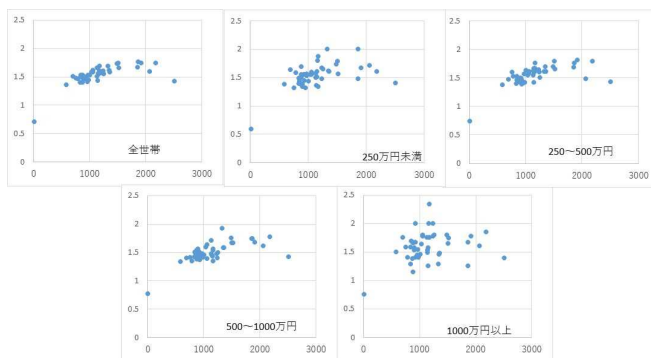
1.2 レジリエンスについての先行研究

Hasselqvist et. al.^[7]は、家庭におけるエネルギーレジリエンスに関する文献レビューを行っている。再エネの拡大に伴う電力供給の不安定化などを背景にエネルギーレジリエンスへの関心が高まっているものの、電力をいかに確保するかが論点になりがちだと指摘する。これに対して、代替的なエネルギー源、エネルギー効率、需要側の柔軟性、エネルギー節約などの多様な視点を提示している。

Aki^[8]は、東日本大震災の経験から、日本におけるエネルギーレジリエンスを考えると、地震も含めた自然災害を念頭に置いた備えが重要になること、その影響は長期にわたる可能性があることを指摘している。

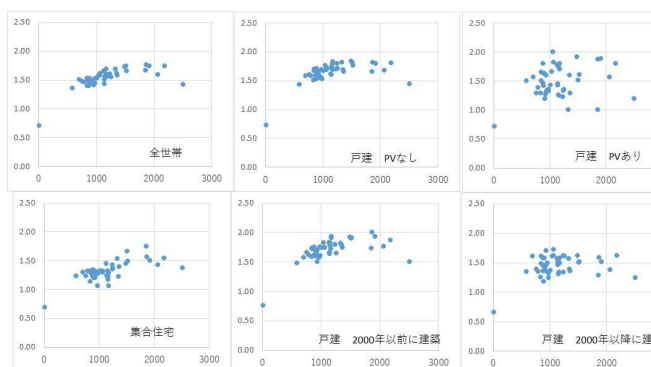
Jasiunas et. al.^[9]は、エネルギーシステムのレジリエンスに関する需給両面からの包括的な文献レビューを行っている。需要側のレジリエンスに対する主要な脅威の一つとしては、最終エネルギー消費形態の多様性の減少をあげている。例えば暖房と輸送部門の電化によって、電力供給途絶のコストが大きくなることを指摘している。

2020年に経済産業省で、「エネルギーレジリエンスの定量評価に向けた専門家委員会」^[10]が立ち上げられ、エネルギーレジリエンスについて「平時には需要家を含む社会に対して所要のエネルギーを安定的に供給するとともに、有事には自然・人為的災害等によるエネルギー供給支障（エネルギーの供給の途絶）が、人命・資産や経済活動及び社



出所：「家庭のCO₂排出実態調査」^[1]より著者ら作図

図 1 暖房度日(横軸)と暖房用エネルギー数(縦軸) 世帯収入別(都道府県平均)



出所：「家庭のCO₂排出実態調査」^[1]より著者ら作図

図 2 暖房度日(横軸)と暖房用エネルギー数(縦軸) 住宅種別(都道府県平均)

会にもたらす影響を低減するための、災害等の発生前後における、ハード・ソフト面での安全性・堅牢性及び迅速な停止復旧能力である」と定義している。半年後にまとめられた中間整理では、需要家視点からのレジリエンス評価における重要項目の一つとして代替性のあるエネルギー調達を取り上げられ、その指標として「調達の多様性」があげられている。

2. 家庭用CO₂調査の個票データの整理

2.1 エネルギーの多様性

需要家視点でのエネルギーレジリエンスの指標として挙げられているエネルギーの多様性の実態について、以下では環境省の家庭CO₂統計の個票データでみていきたい。ここでは世帯属性別に、暖房用エネルギーの多様性に違いがあるかを確認する。

図1は、個票データを都道府県別平均値に集計したうえで、横軸に暖房度日、縦軸に暖房用エネルギーの種類数をとって世帯収入別にプロットしたものである。おおまかな傾向として、暖房度日が多いほど、多種類の暖房用エネルギーを用いる傾向(右上がりの関係)とを確認することができる。他方で、世帯年収が1000万円以上の高所得世帯では、暖房度日と使用する暖房用エネルギーの数には関係性

は見られない。

同じく図2は、住宅種別にプロットしたものである。図の結果から、戸建てでPVを設置した世帯、戸建てで2000年以降に建築した世帯を除けば、暖房度日が大きいほど、暖房用エネルギーは多種類を用いる傾向がみられる。

以上から、暖房用エネルギーに関しては、暖房期のエネルギー確保について、レジリエンスに対する優先度が高い寒冷地において、エネルギー源を多様化していると言える。

他方で、PV設置世帯、高所得世帯や建築年数が比較的新しい世帯では、暖房度日との間に明確な関係性はみられなかった。これらの世帯では、暖房用エネルギー源の多様化以外の方法でレジリエンスを確保している可能性があることから、詳細な分析は今後の課題である。

2.2 暖房用エネルギー源による差異

次に、暖房の電化の有無を中心に、暖房用のエネルギー源別の利用実態をみていきたい。以下では、エネルギー源による差異を比較可能にするために、暖房に単一のエネルギー源のみを使用している世帯を対象に分析する。

表2は、電力のみ、ガスのみ(都市ガス、LPガス問わず)、灯油のみで暖房している世帯が、地域別全世帯に占める割合を世帯属性別に比較したものである。ここで北日本は、北海道、東北、北信越の12道県、中日本は関東及び山梨県、東海、中部、近畿の18都府県、西日本は四国、中国、九州の17県とする。北日本については、寒冷地としての特性の違いを分析するために、北海道、東北、北信越に分割している。各セグメントにおいて、該当する標本数が10未満の場合は、十分な信頼性が得られないと考え集計から除外している。

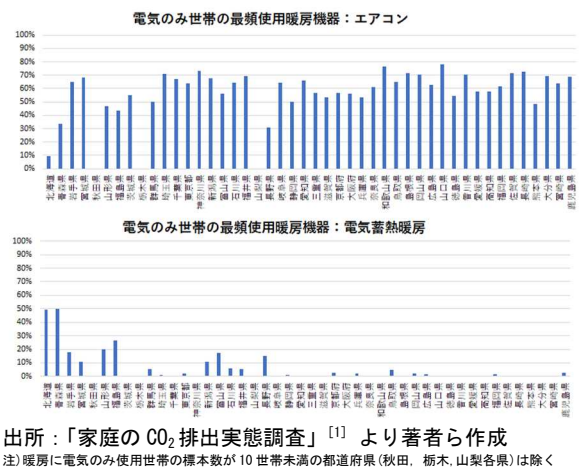
まず、暖房に電気のみを使用している世帯の比率は、全世帯では、北日本で7~27.1%にとどまるのに対し、中日本、西日本の比率はいずれも3割を超える。同様の傾向は、戸建PV非保有、集合住宅、2000年以前建築の戸建てでみられる。これに対して、2000年以降建築の戸建てでの電気のみ世帯比率は、北日本と中日本の差は小さくなっている。2000年以前に建築した住宅との比較では、2000年以降に建築した住宅では、中日本、西日本と同様に北日本においても暖房に電気のみを使用する世帯の比率が急上昇していることを確認できる。特に北陸・長野では47.4%と、中日本の35.3%、西日本の42.6%均より高い比率になっている。Hoshino and Ogawa^[5]で指摘しているように、北陸では電気料金が安価であることも要因の一つとして考えられる。

図3は、暖房に電気のみを使用している全世帯を対象に、最も頻繁に使用されている暖房機器のうち、エアコンと電気蓄熱暖房機器の割合を都道府県別に比較したものである。北日本ではエアコンの比率が低い一方で、電気蓄熱暖房機

表2 暖房に単一のエネルギー源を使用している世帯の比率

		全世帯		戸建て	戸建	戸建	戸建	戸建
				PVなし	PVあり	集合住宅	2000年以前建築	2000年以降建築
電気のみ使用世帯の比率	北海道	7.0%	7.7%	6.8%	-	5.9%	3.3%	21.0%
	北日本	15.9%	12.8%	11.1%	24.1%	24.4%	4.5%	30.8%
	東北	27.1%	23.1%	22.2%	35.6%	38.8%	13.2%	47.4%
	北信越							
	中日本	33.9%	26.6%	27.3%	21.7%	44.8%	21.9%	35.3%
ガスのみ使用世帯の比率	西日本	36.4%	31.4%	30.8%	34.4%	47.6%	26.4%	42.6%
	北海道	5.6%	2.5%	2.6%	-	10.6%	-	8.0%
	北日本	-	-	-	-	-	-	-
	東北	-	-	-	-	-	-	-
	北信越	-	-	-	-	-	-	-
灯油のみ使用世帯の比率	中日本	1.6%	1.2%	1.4%	0.3%	2.2%	0.9%	1.9%
	西日本	-	-	-	-	-	-	-
	北海道	37.2%	35.4%	36.4%	-	40.0%	40.1%	21.0%
	北日本	14.3%	12.9%	14.3%	-	18.0%	13.9%	10.7%
	東北	6.2%	5.6%	6.0%	-	7.9%	7.0%	-
灯油のみ使用世帯の比率	北信越							
	中日本	2.5%	2.9%	3.0%	-	2.0%	3.3%	2.0%
	西日本	2.7%	2.5%	2.6%	-	3.2%	2.7%	2.1%

注：分子の値が度数10未満のカテゴリーは集計対象から除外
出所：「家庭のCO₂排出実態調査」^[1]より著者ら作成



出所：「家庭のCO₂排出実態調査」^[1]より著者ら作成
注)暖房に電気のみ使用世帯の標本数が10世帯未満の都道府県(秋田、栃木、山梨各県)は除く

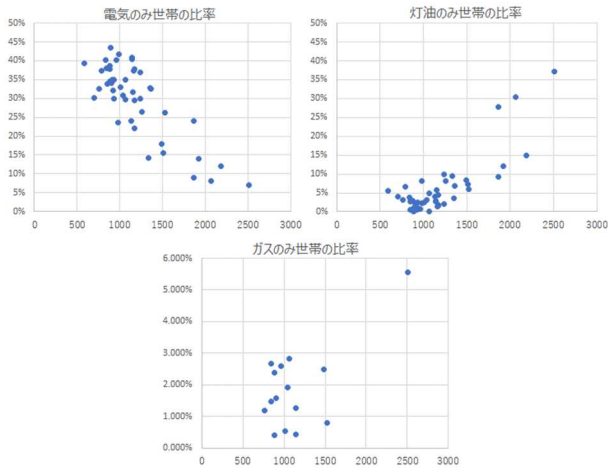
図3 最頻使用暖房機器別の世帯比率
(暖房に電気のみ使用の全世帯対象、都道府県平均)

器の比率が比較的高いことが確認できる。

ガスのみを使用している世帯については十分な標本数を得られていないが、比較可能な北海道と中日本についてみると、集合住宅のほか2000年以降に建築された戸建て住宅において、ガスのみで暖房している世帯の比率が高めになっている。

暖房に灯油のみを使用している世帯の比率は、戸建てPV保有世帯以外では、北日本で際立って高い。また、2000年以前に建築した戸建て住宅では灯油のみ世帯が多いのに対し、2000年以降に建築した戸建て住宅では電気のみ世帯が多い。ともにオール電化住宅、オールガス住宅の普及を背景にしたものと考えられる。

図4は、個票データを都道府県別平均値に集計したうえで、横軸に暖房度日をとって、それぞれ暖房用のエネルギーとして電気、灯油、ガスのみを用いている世帯の比率を縦軸にとってプロットしたものである。その結果、暖房度日が大きくなるほど電気のみ世帯の比率は低く、逆に灯油



出所：「家庭のCO₂排出実態調査」^[1]より著者ら作成
図4 暖房度日(横軸)と電気/灯油/ガスのみ世帯の比率(都道府県平均)

のみ世帯の比率は高くなるのがわかる。ガスのみ世帯については十分な標本が得られていない都道府県もあることから、はっきりした傾向は読み取れないが、灯油と同じく暖房度日が高いほどその比率も高くなる傾向は読み取れる。

2.3 戸建て世帯での暖房用エネルギーの経済性比較

Hoshino and Ogawa^[5]では、戸建てか否か、PV設置世帯か否かが家庭の電化に大きな影響を与えていることを確認している。以下では戸建て世帯を対象を絞って、属性別に暖房用エネルギーの経済性を比較する。表2でみたように、暖房用のエネルギーとしてガスのみを使用している世帯では十分な標本数が得られないため、電気のみ、灯油のみを使用する世帯に絞って、暖房用エネルギー消費量、エネルギー価格、エネルギー支払額を地域別に比較したのが表3である。

暖房用エネルギー需要は、暖房度日と強い相関があることが予想されるが、暖房度日は、北日本、中日本、西日本で大きく異なることから、暖房用エネルギー需要を暖房度日で除すことで、気温による影響をそろえたうえで、暖房度日当たり暖房用エネルギー消費量を比較したのが表3の第1列目である。この結果、北日本の3つの地域(北海道、東北、北信越)では、気温による影響を除いても、中日本、西日本と比べて、より暖房に多くのエネルギーを使う傾向にあることがわかる。霜取りが必要なこと、外気温が低く断熱が難しいことなどから、寒冷地では電気暖房の暖房効率が相対的に低いこと、補助的により効率の低い電気ストーブ等が多く用いられている可能性を指摘することができる。また、表3には示していないが北海道、中日本、西日本では、2000年以前に建築した住宅より、2000年以降に建

表3 戸建て世帯の暖房用エネルギーの消費と支出
 電気/灯油のみ使用世帯

		暖房度日 当たりエネルギー 消費量 (MJ/度日)	一人当たり エネルギー 消費量 (GJ/人)	暖房用 エネルギー 価格 (万円/GJ)	一人当たり 暖房用エネルギー 支出 (万円)	
北海道	電気のみ(PV無)	7.9	7.3	0.9	6.4	
	電気のみ(PV有)	7.3	6.9	0.6	4.4	
	灯油のみ	15.8	16.8	0.2	4.1	
北日本	東北	電気のみ(PV無)	7.6	4.2	0.8	3.3
	電気のみ(PV有)	9.2	4.6	0.6	2.8	
北信越	灯油のみ	13.0	9.8	0.2	2.3	
	電気のみ(PV無)	5.9	2.6	0.7	1.9	
	電気のみ(PV有)	5.4	2.4	0.6	1.6	
中日本	灯油のみ	15.1	9.1	0.2	2.2	
	電気のみ(PV無)	3.2	1.1	0.8	0.8	
	電気のみ(PV有)	4.5	1.1	0.7	0.8	
西日本	灯油のみ	8.3	3.9	0.2	0.9	
	電気のみ(PV無)	3.5	1.2	0.7	0.8	
	電気のみ(PV有)	4.5	1.3	0.6	0.8	
	灯油のみ	9.3	3.2	0.2	0.9	

出所：「家庭のCO₂排出実態調査」^[1]より著者ら作成

築した住宅において暖房用の電力消費量が少ない傾向がみられることから、断熱や暖房機器の性能向上が影響していると考えられる。

次に、世帯規模による影響を除くために、戸建て世帯について、世帯人員で除した世帯当たり暖房用エネルギー需要を地域別に比較したのが表3の第2列目である。暖房度日当たりの暖房用エネルギー消費量と同様に、北日本に比べて、中日本、西日本では一人当たりの暖房用エネルギー消費量が小さくなることを確認できる。また、エネルギー源別に比較すると、灯油のみ世帯に比べて電気のみ世帯のエネルギー消費量は概ね1/2~1/3になる。これは、ヒートポンプエアコンのエネルギー効率が高いためである。

表3の第3列目は、暖房用エネルギーの熱量当たりの平均価格を比較したものである。2次エネルギーである電力価格は、灯油価格よりも高くなる。また、PV設置世帯では、非設置世帯よりも電力コストは低いことが確認できる。最後に表3の第4列目は、エネルギー消費量とエネルギー価格から求められる暖房用のエネルギー支出額を比較している。地域による世帯規模の違いを考慮して、世帯人数で除した一人当たりの暖房用のエネルギー支出額を比較している。その結果、中日本、西日本では、電気のみ世帯よりも灯油のみの世帯のほうがエネルギー支出は大きくなるが、北日本のうち、北海道、東北では、灯油のみの世帯に比べて電気のみ世帯の方が大きくなることを確認できる。

3. 感度分析(停電の影響)

ここまで見てきたように、北日本においても暖房を電気だけに頼る世帯は一定以上あり、また戸建て住宅のうち建築年数が新しい世帯のほうが電気のみ世帯の比率が増加する傾向にある。以下では家庭の暖房用エネルギーのレジリエン

表4 厳寒日の停電が3日間継続した場合に
戸建世帯の暖房に必要なエネルギー量
電気/灯油のみ使用世帯

	3日分の暖房用 蓄電必要量 kWh	3日分の暖房用 灯油必要量 ℓ
北海道	118	40
北日本		
東北	89	34
北信越	60	21
中日本	29	6
西日本	34	7

出所：「家庭のCO₂排出実態調査」^[1]より著者ら作成

スに与える影響をみるために、電気のみ・灯油のみを使用している世帯を対象に稀頻度重大事象を想定した感度分析を行う。

仮に一年で最も寒い日に停電が発生し、復旧までに3日間を要する稀頻度重大事象の発生を想定する。47都道府県の各県庁所在地について、それぞれ一年間の日平均気温データから最寒日を特定し、暖房度日の定義に従って14℃との差を求める。その値に、表3で示した戸建て世帯の暖房度日当たりのエネルギー消費量の都道府県別平均値を乗ずることで3日分の暖房用に必要なエネルギー量を求めた。表4は都道府県別の該当世帯数で加重平均して求めた地域別の世帯平均である。

表4から、厳寒日の停電が3日間継続した場合に、電気のみで暖房する戸建て世帯で3日分の暖房用に必要な蓄電量は北海道で118kWhとなる。これは某EV自動車メーカーのロングレンジのEVバッテリー容量なみの電池に匹敵する。これに対して、中日本では29kWhと北海道の1/4の蓄電池容量で済む。ここで2019年度の家庭CO₂統計から、太陽光発電を保有する世帯の平均発電量を求めると一日当たり14.3kWh、3日間で43kWhとなる。中日本では、ここで想定した稀頻度重大リスクの場合でも、仮にPVを設置した世帯でEV蓄電池があれば、電気のための暖房世帯であっても、厳冬期3日間の暖房需要には備えることが可能な計算となる。表4では、比較のために灯油のみで暖房する戸建て世帯で3日間の暖房に必要な灯油の量も試算している。3日分の暖房用に必要な灯油量は北海道でも40ℓであり、18ℓのポリタンク約2個分に相当することがわかる。

4. おわりに

家庭におけるエネルギーレジリエンスに関しては、現状では議論のベースとなる定量的な情報は必ずしも十分とは言えない。「家庭のCO₂排出実態調査」は、家庭の属性と紐づいたエネルギー消費に関する個票データとして貴重な情報源である。そこで本研究では、このデータを用いて家庭の暖房用エネルギーに着目し、住宅の建て方別、地域別、

使用エネルギー別にレジリエンスの実態を明らかにした。

その結果、エネルギーレジリエンスの指標でもある使用エネルギーの多様性は、高所得世帯、PV設置世帯、築浅世帯以外では、寒冷地でより大きくなる傾向がみられた。

次に、エネルギー源間の比較を可能にするために、単一のエネルギー源に依存している世帯を対象に、使用エネルギー種別ごとの特徴を分析した。その結果、暖房度日が高くなるほど電気暖房の比率が低下することを確認した。また、一人当たりの暖房用エネルギー支出を比較すると、北信越、中日本、西日本では電気のみで暖房する世帯の方が灯油のみで暖房する世帯に比べて経済的負担が小さいのに対して、北海道、東北では、電気のみで暖房する世帯でより負担が大きくなることを確認した。さらに厳寒期に3日間の暖房用エネルギーの供給途絶を想定した感度分析の結果から、北海道で暖房用エネルギーを確保するためには、100kWhを超える大容量の蓄電容量が必要なことがわかった。

家庭CO₂排出実態調査を用いた分析からは、以上のように、特に暖房用のエネルギー需要が大きい北日本において、エネルギー源が多様化されている実態が明らかになった。また、感度分析の結果からは、停電時の影響が寒冷地で最も大きく、このためエネルギー源を多様化していくことが、リスク緩和に資する可能性があることが示唆された。電力需給ひっ迫や災害発生時におけるエネルギー供給途絶が重大なリスクになる地域においては、レジリエンス確保のためにエネルギー源の多様化が重要であると言えるだろう。これに対して、都市部や非寒冷地では一つのエネルギー源に集約することによる経済性や効率性が重視される傾向にあることも分かった。

これらから、電源の低炭素化と電化推進を柱とする家庭部門でのカーボンニュートラルの推進にあたっては、地域特性を踏まえたきめ細かな政策対応が必要になるといえる。

謝辞

本研究は、環境省が実施する一般統計調査である「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実施しました。関係者の皆様に感謝申し上げます。

参考引用文献

- 1) 環境省；家庭部門のCO₂排出実態統計調査 平成29年度版, 2019.
- 2) Pallonetto, Fabiano, Mattia De Rosa & Donal P. Finn; Environmental and economic benefits of building retrofit measures for the residential sector by utilizing sensor data and advanced

- calibrated models, *Advances in Building Energy Research*, 16:1, 89-117, 2022.
- 3) Khezri, Rahmat, Amin Mahmoudi, David Whaley; Optimal sizing and comparative analysis of rooftop PV and battery for grid-connected households with all-electric and gas-electricity utility, *Energy*, Vol251, 2022.
 - 4) Padovani, Filippo, Nelson Sommerfeldt, Francesca Longobardi, Joshua M. Pearce; Decarbonizing rural residential buildings in cold climates: A techno-economic analysis of heating electrification, *Energy and Buildings*, Volume 250, 2021.
 - 5) Hoshino, Yuko, Junko Ogawa; Energy expenditure and electrification progress by household heterogeneity in Japan, *The 43rd IAEE International Conference in Tokyo*, 2022.
 - 6) 岩船由美子, 河合俊明, 森裕子 ; 家庭 CO₂ 統計を用いた住設機器・自家用車の電化ポテンシャルおよび CO₂ 排出削減効果の推計, 第 39 回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集, 2020.
 - 7) Hanna Hasselqvist, Sara Renström, Helena Strömberg, Maria Håkansson; Household energy resilience: Shifting perspectives to reveal opportunities for renewable energy futures in affluent contexts, *Energy Research & Social Science*, Volume 88, 2022.
 - 8) H. Aki; "Demand-Side Resiliency and Electricity Continuity: Experiences and Lessons Learned in Japan," in *Proceedings of the IEEE*, vol. 105, no. 7, pp. 1443-1455, July 2017.
 - 9) Justinas Jasiūnas, Peter D. Lund, Jani Mikkola; Energy system resilience – A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 150, 2021
 - 10) エネルギーレジリエンスの定量評価に向けた専門委員会; 中間論点整理, 2020.

家庭部門の CO₂ 排出量の地域性とその影響要因

その 2 都道府県別の CO₂ 排出量に着目した統計分析

Regional Characteristics and Influencing Factors to CO₂ Emission from Residential Buildings Part 2 Statistical Analysis on CO₂ Emissions in Each Prefecture

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 related to indoor environmental performance and annual CO₂ emissions from residential buildings using the data of “Statistical Survey of CO₂ Emissions in Private Households Sector”.

This paper presented that there are the regional characteristics of annual CO₂ emission from detached houses. Annual CO₂ emission from detached housing in Hokkaido was 5.4 t-CO₂ and CO₂ emission for space heating was half of the annual amount. On the other hand, the annual amount in Tokyo was 2.9 t-CO₂, and it is about half of that in Hokkaido and that for space heating was about 20% of the total at most. It is important to give the housing envelopes the high thermal insulation performance for increasing heating efficiency.

Keywords: CO₂ emission from residential buildings, Space heating, thermal insulation performance

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。筆者らは目的外利用申請を経て、調査により得られたオリジナル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¹⁾²⁾。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。

調査での質問項目のうち、住宅の断熱性能を反映しているのは「二重窓・複層ガラスの設置状況」が該当する。筆者らのこれまでの分析では、暖房用のエネルギー消費量や CO₂ 排出量のばらつきに窓の設置状況が与える影響が小さいことが示されており、現時点では、住宅の断熱性能を向上させる効果を明確に示すことができていない。本報では、平成 31 年度の家庭 CO₂ 統計を用い、都道府県別の用途別 CO₂ 排出量と窓の設置状況に着目して考察を深め、今後の分析方針を探ることとする。

2. 分析に用いる調査データの概要

本調査は以前の調査プロトコルと同様に、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つ

ている。調査は、2019 年 8 月に夏季調査、2020 年 2 月に冬季調査が実施されており、2019 年 4 月から 2020 年 3 月までの 12 ヶ月の熱源別のエネルギー使用量が把握され、それらを用いて用途別に分類している。

有効回答数は 9,990 世帯(回答率は 74.3%)であった。調査の詳細は文献 3)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。

3. 各地域(10 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、地方 10 区分別の主な居住環境要因の集計結果を示す。

住宅形式では、関東甲信越、近畿や沖縄県にて「集合住宅」の割合が高く、それぞれ 44.5%、44.1%、53.0%となっている。次いで、北海道、九州となり 37%前後である。「戸建住宅」は東北、北陸、四国において割合が高く、70%台である。建設時期では、「1981-1990 年」の割合が高い地域

*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	北海道 (n=899)	東北 (n=932)	関東甲信越 (n=1625)	北陸 (n=835)	東海 (n=977)	近畿 (1087)	中国 (n=889)	四国 (n=797)	九州 (n=981)	沖縄 (n=638)	
住宅形式	戸建住宅	559 (62.2)	682 (73.2)	902 (55.5)	622 (74.5)	667 (68.3)	636 (58.5)	628 (70.6)	590 (74.0)	615 (62.7)	300 (47.0)
	集合住宅	340 (37.8)	250 (26.8)	723 (44.5)	213 (25.5)	310 (31.7)	451 (41.5)	261 (29.4)	207 (26.0)	366 (37.3)	338 (53.0)
建設時期	1970以前	46 (5.1)	91 (9.8)	90 (5.5)	104 (12.5)	86 (8.8)	98 (9.0)	113 (12.7)	78 (9.8)	76 (7.7)	58 (9.1)
	1971-1980年	127 (14.1)	109 (11.7)	187 (11.5)	111 (13.3)	101 (10.3)	126 (11.6)	110 (12.4)	130 (16.3)	126 (12.8)	58 (9.1)
	1981-1990年	199 (22.1)	179 (19.2)	305 (18.8)	128 (15.3)	197 (20.2)	211 (19.4)	146 (16.4)	144 (18.1)	188 (19.2)	80 (12.5)
	1991-1995年	108 (12.0)	86 (8.2)	171 (10.5)	78 (9.3)	98 (10.0)	121 (11.1)	87 (9.8)	90 (11.3)	98 (10.0)	56 (8.8)
	1996-2000年	116 (12.9)	145 (15.6)	212 (13.0)	107 (12.8)	112 (11.5)	149 (13.7)	95 (10.7)	101 (12.7)	107 (10.9)	72 (11.3)
	2001-2005年	86 (9.6)	95 (10.2)	182 (11.2)	88 (10.5)	105 (10.7)	103 (9.5)	75 (8.4)	62 (7.8)	91 (9.3)	62 (9.7)
	2006-2010年	70 (7.8)	80 (8.6)	190 (11.7)	71 (8.5)	92 (9.4)	94 (8.6)	90 (10.1)	64 (8.0)	82 (8.4)	50 (7.8)
	2011-2015年	51 (5.7)	79 (8.5)	134 (8.2)	63 (7.5)	93 (9.5)	77 (7.1)	71 (8.0)	53 (6.6)	83 (8.5)	74 (11.6)
2016年以降	25 (2.8)	23 (2.5)	65 (4.0)	30 (3.6)	44 (4.5)	29 (2.7)	31 (3.5)	20 (2.5)	46 (4.7)	31 (4.9)	
床面積	60㎡未満	172 (19.6)	166 (18.4)	382 (24.1)	155 (19.6)	169 (17.8)	247 (23.7)	167 (19.4)	151 (19.7)	202 (21.4)	253 (42.5)
	60-100㎡未満	276 (31.5)	197 (21.9)	638 (40.3)	139 (17.6)	269 (28.3)	367 (35.2)	239 (27.7)	208 (27.2)	287 (30.4)	192 (32.3)
	100-140㎡未満	253 (28.8)	239 (26.6)	350 (22.1)	207 (26.2)	273 (28.7)	231 (22.2)	254 (29.5)	224 (29.3)	258 (27.3)	89 (15.0)
	140-180㎡未満	117 (13.3)	161 (17.9)	142 (9.0)	123 (15.5)	142 (14.9)	103 (9.9)	100 (11.6)	99 (12.9)	134 (14.2)	36 (6.1)
	180㎡以上	59 (6.7)	137 (15.2)	70 (4.4)	167 (21.1)	97 (10.2)	94 (9.0)	102 (11.8)	83 (10.8)	64 (6.7)	25 (4.2)
二重窓・ 複層ガラス	全ての窓	729 (81.1)	410 (44.0)	387 (23.8)	237 (28.4)	221 (22.6)	184 (16.9)	187 (21.0)	135 (16.9)	180 (18.3)	50 (7.8)
	一部の窓	105 (11.7)	235 (25.2)	264 (16.2)	238 (28.5)	156 (16.0)	182 (16.7)	154 (17.3)	96 (12.0)	127 (12.9)	30 (4.7)
	なし	44 (4.9)	271 (29.1)	913 (56.2)	335 (40.1)	553 (56.6)	679 (62.5)	533 (60.0)	537 (67.4)	646 (65.9)	519 (81.3)
よく使う暖房機器	エアコン	16 (1.8)	165 (17.7)	640 (39.4)	282 (33.8)	337 (34.5)	372 (34.2)	364 (40.9)	304 (38.1)	406 (41.1)	205 (32.1)
	電気暖房	87 (9.7)	163 (17.5)	415 (25.6)	148 (17.8)	235 (24.1)	326 (30.1)	227 (25.5)	253 (31.7)	292 (29.7)	220 (34.5)
	ガスストーブ	54 (6.0)	16 (1.7)	128 (7.9)	40 (4.8)	89 (9.1)	118 (10.9)	31 (3.5)	10 (1.3)	18 (1.8)	0 (0.0)
	灯油ストーブ	536 (59.6)	516 (55.4)	285 (17.5)	332 (39.8)	258 (26.4)	175 (16.1)	243 (27.3)	208 (26.1)	229 (23.3)	12 (1.9)
	床暖房	31 (3.4)	26 (2.8)	126 (7.7)	20 (2.4)	39 (4.0)	74 (6.8)	13 (1.5)	7 (0.9)	18 (1.8)	0 (0.0)
	中央式暖房	164 (18.2)	27 (2.9)	8 (0.5)	7 (0.8)	4 (0.4)	1 (0.1)	0 (0.0)	2 (0.3)	0 (0.0)	0 (0.0)
	その他	5 (0.6)	15 (1.6)	6 (0.4)	3 (0.4)	2 (0.2)	1 (0.1)	6 (0.7)	3 (0.4)	5 (0.5)	0 (0.0)
	暖房なし	4 (0.4)	2 (0.2)	15 (0.9)	0 (0.0)	9 (0.9)	18 (1.7)	4 (0.4)	9 (1.1)	10 (1.0)	194 (30.4)
暖房の仕方	24時間暖房	309 (34.4)	86 (9.2)	55 (3.4)	45 (5.4)	26 (2.7)	28 (2.6)	33 (3.7)	17 (2.1)	34 (3.5)	2 (0.3)
	在室時に暖房	410 (45.6)	505 (54.2)	500 (30.8)	541 (64.8)	324 (33.2)	371 (34.1)	358 (40.3)	251 (31.5)	272 (27.7)	9 (1.4)
	寒い時のみ暖房	174 (19.4)	332 (35.6)	1016 (62.5)	244 (29.2)	594 (60.8)	638 (58.7)	487 (54.8)	494 (62.0)	632 (64.4)	283 (44.4)
	暖房しない	6 (0.7)	9 (1.0)	54 (3.3)	4 (0.5)	33 (3.4)	49 (4.5)	11 (1.2)	35 (4.4)	42 (4.3)	343 (53.8)
冷房用エアコン の使用台数	なし	626 (70.3)	157 (16.9)	64 (3.9)	36 (4.3)	23 (2.4)	29 (2.7)	35 (3.9)	27 (3.4)	35 (3.6)	37 (5.8)
	1台	203 (22.8)	316 (34.0)	422 (26.0)	189 (22.6)	213 (21.8)	245 (22.6)	187 (21.0)	172 (21.6)	273 (27.8)	261 (40.9)
	2台	48 (5.4)	217 (23.3)	419 (25.8)	211 (25.3)	287 (29.4)	296 (27.3)	237 (26.7)	189 (27.3)	268 (27.3)	182 (28.5)
	3台以上	13 (1.5)	240 (25.8)	718 (44.2)	399 (47.8)	452 (46.4)	516 (47.5)	430 (48.4)	408 (51.3)	405 (41.3)	158 (24.8)
年間収入	250万円未満	201 (22.4)	201 (21.6)	224 (13.8)	131 (15.7)	151 (15.5)	205 (18.9)	167 (18.8)	208 (26.1)	214 (21.8)	175 (27.4)
	250-500万円未満	377 (41.9)	356 (38.2)	531 (32.7)	302 (36.2)	330 (33.8)	381 (35.1)	365 (41.1)	296 (37.1)	378 (38.5)	245 (38.4)
	500-750万円未満	168 (18.7)	182 (19.5)	356 (21.9)	202 (24.2)	235 (24.1)	242 (22.3)	185 (20.8)	151 (18.9)	195 (19.9)	118 (18.5)
	750-1000万円未満	96 (10.7)	118 (12.7)	259 (15.9)	119 (14.3)	143 (14.6)	147 (13.5)	99 (11.1)	87 (10.9)	110 (11.2)	50 (7.8)
	1000-1500万円未満	43 (4.8)	53 (5.7)	168 (10.3)	62 (7.4)	89 (9.1)	78 (7.2)	54 (6.1)	40 (5.0)	59 (6.0)	25 (3.9)
	1500万円以上	6 (0.6)	18 (1.9)	75 (4.6)	15 (1.8)	22 (2.2)	25 (2.3)	12 (1.3)	11 (1.4)	16 (1.6)	4 (0.7)
年間CO ₂ 排出量 (戸建) [t-CO ₂ /a]	暖房	2.56 (47.7)	1.37 (33.2)	0.49 (17.3)	1.10 (26.0)	0.45 (16.4)	0.44 (18.8)	0.61 (16.4)	0.32 (13.2)	0.33 (15.4)	0.00 (0.0)
	冷房	0.00 (0.0)	0.04 (1.0)	0.08 (2.8)	0.10 (2.4)	0.10 (3.6)	0.08 (3.4)	0.10 (2.7)	0.07 (2.9)	0.06 (2.8)	0.39 (10.5)
	給湯	0.99 (18.4)	0.95 (23.0)	0.71 (25.1)	1.00 (23.6)	0.70 (25.5)	0.63 (26.9)	0.86 (23.1)	0.64 (26.3)	0.48 (22.3)	0.44 (11.8)
	台所 照明・家電	0.11 (2.0)	0.71 (2.9)	0.13 (4.6)	0.13 (3.1)	0.12 (4.4)	0.11 (4.7)	0.13 (3.5)	0.11 (4.5)	0.10 (4.7)	0.14 (3.8)
年間CO ₂ 排出量 (集合) [t-CO ₂ /a]	暖房	1.03 (35.2)	0.55 (24.6)	0.15 (7.8)	0.35 (16.7)	0.15 (8.2)	0.12 (7.7)	0.19 (8.5)	0.13 (7.9)	0.09 (5.9)	0.00 (0.0)
	冷房	0.00 (0.0)	0.03 (1.3)	0.07 (3.6)	0.06 (2.9)	0.09 (4.9)	0.07 (4.5)	0.09 (4.0)	0.06 (3.7)	0.06 (4.0)	0.37 (14.8)
	給湯	0.60 (20.5)	0.56 (25.0)	0.56 (29.0)	0.53 (25.4)	0.51 (28.0)	0.46 (29.5)	0.53 (23.8)	0.44 (26.8)	0.43 (28.3)	0.26 (10.4)
	台所 照明・家電	0.11 (3.8)	0.11 (4.9)	0.11 (5.7)	0.11 (5.3)	0.11 (6.0)	0.10 (6.4)	0.12 (5.4)	0.10 (6.1)	0.11 (7.2)	0.13 (5.2)
	1.19 (40.6)	0.99 (44.2)	1.04 (53.9)	1.04 (49.8)	0.96 (52.7)	0.81 (51.9)	1.30 (58.3)	0.91 (55.5)	0.83 (5.2)	1.74 (69.6)	

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2.0~5.0%となっている。延べ床面積は、東北、北陸で大きく、「140-180㎡未満」「180㎡以上」の割合が高くなっており、ストックに規模が大きな戸建住宅が多いことを反映している。北海道、関東甲信越、近畿、九州では「60-100㎡未満」の割合が高く、30~40%である。また、沖縄では「60㎡未満」が42.5%と非常に高い。これらの地域では集合住宅の割合も高い。

二重窓・複層ガラスの有無では、北海道において「全ての窓」が81.1%、東北では44.0%である。一方、近畿以南の地域では10%台が多い。これまでの調査同様、「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。暖房機器を複数所有する世帯が多いが、主に使用している暖房機器として、北海道と東北では「灯油ストーブ」の割合が高く59.6%と55.4%と半数を占めている。また、「中央式」は北海道で高く、それぞれ18.2%である。関東

甲信越以南の地域では「エアコン」の割合が高く、30～40%の世帯が使用している。それに対して、北海道では1.8% 低いが、東北や北陸で18.4%、33.8%の世帯で使用されている。寒冷な地域の「エアコン」の使用割合は低い傾向にある。暖房の仕方では、「24時間暖房」の割合は北海道で高く、34.4%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。東北や北陸では、「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、沖縄では「暖房しない」の割合が高く53.8%と半数を占め、地域性が明確に表れている。

冷房用エアコンの使用台数にも地域性が確認でき、北海道では「なし」の割合が最も高く70.3%である。次いで、東北の16.9%である。北陸も含めてその他の地域では90%以上の世帯でエアコンを所有している。「3台以上」使用する世帯は四国で51.3%と最も割合が高い。北陸では47.8%となっているが、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。また、「250万円未満」の低所得な世帯は各地域とも20%前後見られる。欧州では、低所得な世帯では十分なエネルギーを消費することができずに室内環境の質が低下し、結果として健康を害することを懸念し、このような世帯をEnergy Poverty^{d)}として行政サービスの充実を図ろうとしている。我が国ではこのような認識は必ずしも浸透している訳ではないが、注視する必要がある。

3.2 戸建住宅と集合住宅の用途別年間CO₂排出量

表1に、各地域における年間(2019年4月～2020年3月)の用途別CO₂排出量の中央値を、戸建・集合別に示す。

寒冷な地域では、「暖房」用CO₂排出用の割合が高く、南下するほどその割合は低下している。「給湯」「台所」「照明・家電」には、沖縄を除く地域による大きな差は見られず、それぞれ、「給湯」で500kg-CO₂/a前後、「台所」「照明・家電」で100kg-CO₂/a前後になっている。

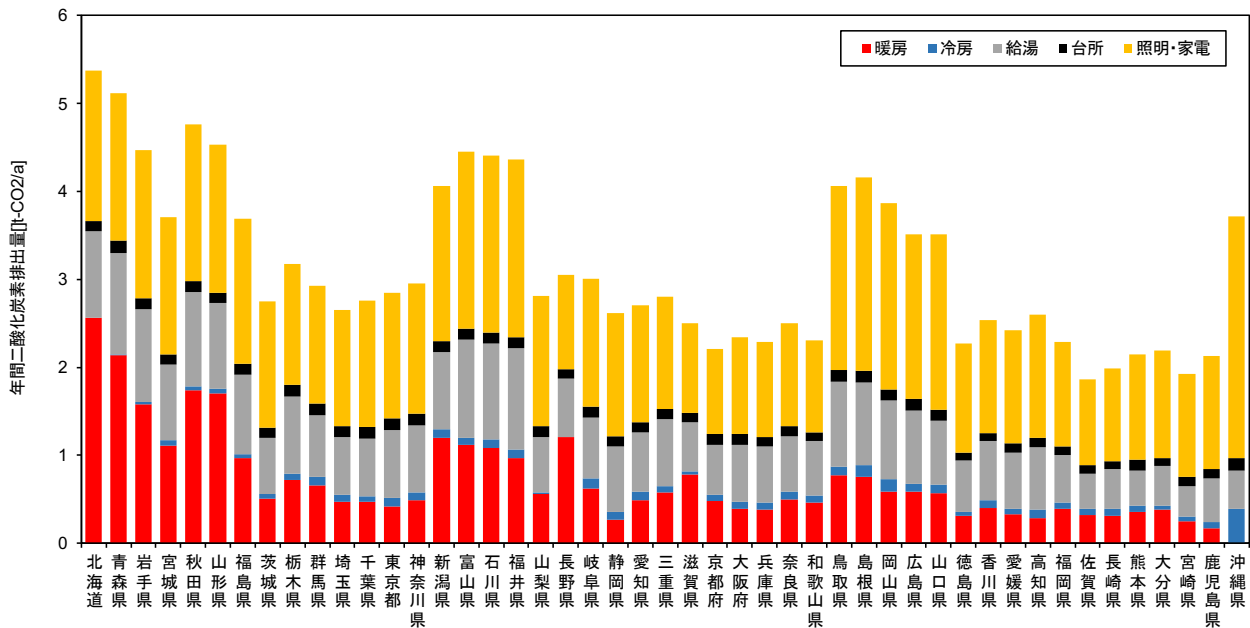


図1 各都道府県の戸建住宅における用途別の年間CO₂排出量

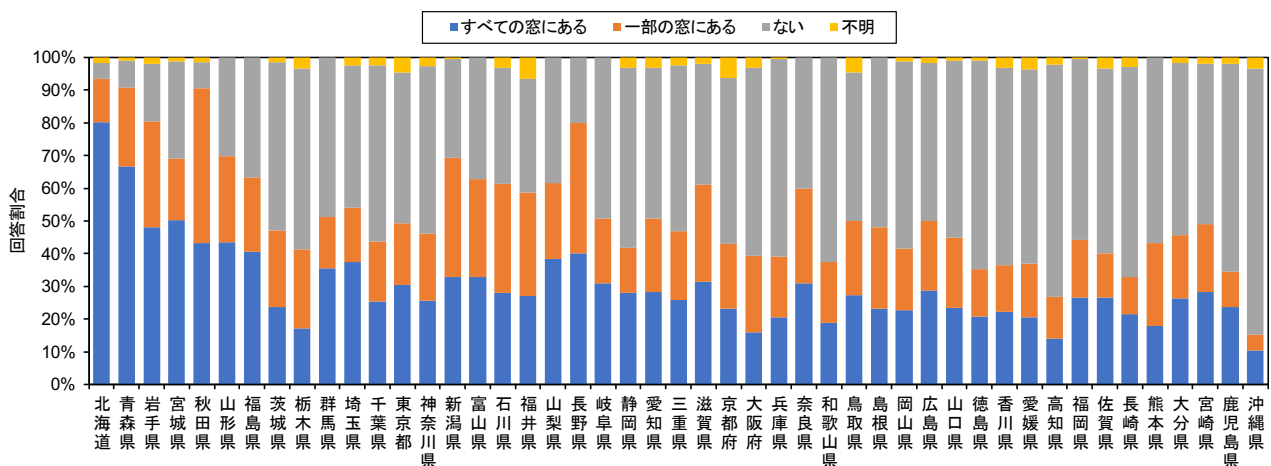


図2 各都道府県の戸建住宅における二重サッシまたは複層ガラスの有無

4. 窓の熱性能と年間 CO₂ 排出量に関する考察

4.1 都道府県別の用途別 CO₂ 排出量

図 1 に、都道府県別の戸建住宅における用途別の年間 CO₂ 排出量を示す。図では、各都道府県別の住宅の中央値を用いている。各都道府県の CO₂ 排出量には地域性が見られるが、これには暖房用が影響している。すなわち、寒冷な地域ほど暖房用の CO₂ 排出量が大きく、年間の CO₂ 排出量の大小関係を決定している。北海道では、年間 5.4t-CO₂ を排出しているが、その半分は暖房用である。それに対して、例えば、東京では年間 2.9t-CO₂ と北海道の半分程度であり、暖房用は全体の 2 割程度である。

住宅の断熱性能を高めることによる効果は暖房用の削減につながることである。寒冷な地域ではその効果は大きく、優先的に高断熱化を図ることが CO₂ 削減に貢献できることは容易に判断できる。一方、暖房用が占める割合が低い温暖な地域では、断熱性能を高めることが全体の CO₂ 削減に大きく貢献できる訳ではない。むしろ、給湯用や照明・家電用が占める割合が高い地域が多いため、住宅設備や家電機器の省エネ化を図ることも優先させる必要がある。

4.2 二重窓・複層ガラスの設置状況

図 2 に、都道府県別の戸建住宅における「二重サッシ、複層ガラスの有無」についての集計結果を示す。この質問は、この調査の中で住宅の断熱性能を反映している質問となっている。図を見ると、寒冷な地域の方が二重サッシまたは複層ガラスを用いている割合が高いことが確認できる。図 1 の結果と照らし合わせると「二重サッシ、複層ガラス」を用いている方が暖房用の CO₂ 排出量が多いことになる。しかしながら、本報では示していないが、同じ都道府県内では CO₂ 排出量のばらつきは大きいので、このばらつきに影響する要因に住宅の断熱性能の程度が関与していることが評価できるよう、指標が設定できることが望ましい。

4.3 暖冷房デグリデーと CO₂ 排出量

図 3 と図 4 に、暖冷房デグリデーと暖冷房用の CO₂ 排出量の関係を示す。各プロットの CO₂ 排出量は都道府県の中央値を示している。暖冷房デグリデーは、拡張アメダス気象データ⁵⁾の標準年を用い、各住宅が所在する気象観測所に近い外気温を用いて算出した。都道府県の代表値には中央値を用いた。図を見ると、暖冷房デグリデーと暖冷房用の CO₂ 排出量とは関連があり、暖冷房の要求が高い地域ほど CO₂ 排出量も多い傾向が確認できる。よって、地域の代表的な CO₂ 排出量を推定するには暖冷房デグリデーにて説明することができると考えられる。一方、地域内の CO₂ 排出量にはばらつきが大きく、家族人数や住宅規模、暖房時間の影響は無視できない²⁾。暖房効率を高めるために高い断熱性能を確保することは重要であり、この調査データを用いてその効果を示すことは意義あることである。

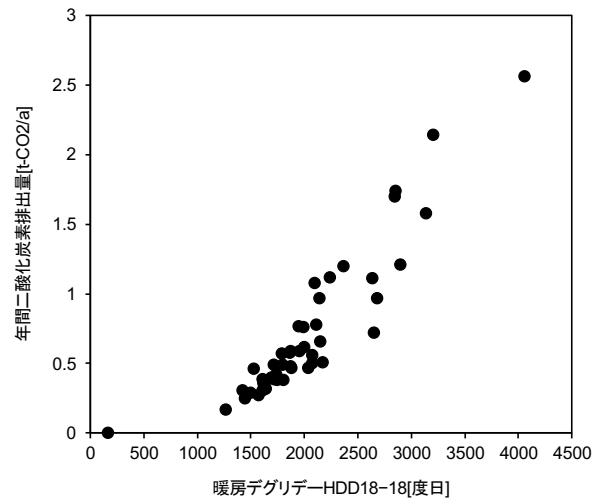


図 3 暖房デグリデーと都道府県別の暖房用 CO₂ 排出量

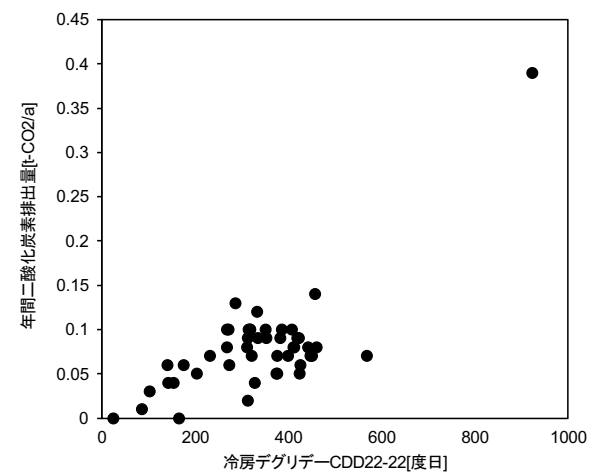


図 4 冷房デグリデーと都道府県別の冷房用 CO₂ 排出量

5. おわりに

平成 31 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した。CO₂ 排出量の地域性には暖房用の影響が相対的に大きいことを確認した。今後、有意義な結果を得るために、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) 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, 第 38 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 16-5, 2022 年 1 月.
- 3) 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>
- 4) European Commission, Introduction to the Energy Poverty Advisory Hub (EPAH) Handbooks: A Guide to Understanding and Addressing Energy Poverty, Energy Poverty Advisory Hub, 2022.
- 5) 日本建築学会: 拡張アメダス気象データ 1981-2000, 2005.8.

市町村別 CO₂ 排出量表のためのベイズ的アプローチ (その3) - 温熱源選択モデル -

A Bayesian Approach for make to CO₂ Emission Table at the Municipal Level Part 3. -
Statistical models of energy selection pattern -

田中昭雄*
Akio Tanaka

Abstract

This study proposes a statistical method for estimating household CO₂ emission intensity by each municipality in Japan. First, housing heats sources selection patterns in “Large Regions” were analyzed using path analysis method. Second, results of the above analysis were utilized to create statistical models of energy selection pattern for various energy types. Finally, the simulation was enlarged using Bayesian hierarchical model, thus allowing estimation of CO₂ emission intensity by region. Results of this study enabled calculation CO₂ emission intensity in each region average.

Keywords: Carbon Dioxide Emission Intensity, Municipality, Path Analysis, Bayesian Hierarchical Modeling

1. はじめに

住宅のエネルギー需要は、居住者の自由意志によるライフスタイルの選択と、外部要因として住宅属性、気候の影響が大きい。筆者等は既報¹⁾において、さらに地域のエネルギーインフラや、温熱負荷が大きい地域ではエネルギー価格の影響が大きくなり灯油が選択されやすくなる傾向がある事を示し、市町村のCO₂排出量推定には、エネルギー需要だけでなく、温熱源としてのエネルギーの選択の傾向を明らかにすることが必要と考え家計調査データを用いて、市町村別の温熱負荷のエネルギー種別シェアを推定する温熱源選択モデル η を示した¹⁾。このモデルでは、都市ガスインフラが古くから整備されている大都市では、住宅の電化が地方中小都市ほど進んでいないこと、温熱需要の大きな寒冷地では、エネルギー価格の安い灯油選択率が高くなることを示した。しかしこのモデルは都道府県庁所在都市と政令指定都市（以下“中核都市”）のデータから作成したもので、地方中小都市の実態を十分反映できていない可能性があった。さらにその後太陽電池の急速な普及、エコキュートや家庭用CGSの普及などにより、温熱源選択を取り巻く環境は大きく変化した。

その後、環境省は「家庭CO₂統計」²⁾を開始し、全国の全市町村を対象にアンケート調査を実施し、中核都市以外の中小都市についても家庭のエネルギー需要情報が得られるようになった。しかし回収データが地域で粗密

があることから、本研究ではそれらの情報に家計調査³⁾の結果も取り入れ、新たに回収データが不十分な市町村について、温熱源選択モデル η_2 を作成しその市町村のCO₂排出量を推定する。

なお本調査の市町村別エネルギーは、単身世帯も含む全世帯平均の最終エネルギーでありGJfと記す。一次エネルギー換算時はGJpと記す。また電力のCO₂換算値は1kWh=0.445 kg-CO₂（2019年度一般送配電事業者排出係数）⁴⁾に統一する。

2. 研究手法

2.1 温熱源選択モデル η_2 と用語および記号等の定義

本研究で用いるデータは、家庭CO₂統計4回分の回収データ（試験調査～H30年調査まで）と、家計調査の52の中核都市データである。データは回収データの精度によって大地域データと小地域データに分けられる。

表1 主な使用記号と用語の定義

大地域 M, Z	信頼水準95%以上、誤差率5%以内のデータ精度が得られる地域またはエネルギー消費の傾向が類似する地域の集合 M : 都道府県庁所在都市及び政令指定都市（51都市） Z : M 地域以外の市町村グループ(11グループ)、省エネルギー法地域区分と自治体人口規模に基づく
小地域 z	大地域 Z を構成する要素市町村(1,668市町村)、統計分布は $N(\bar{x}_z, y_z^2)$
変動係数 CV	$CV = y/\bar{x}$ \bar{x} : 正規分布の平均値 y : 標準偏差

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

用語の定義を表1に示す。大地域は、都市単独で大地域である M (52 地域) と、複数の都市の集合で大地域となる Z (14 地域) の計 66 に分けられる。大地域 M は都道府県所在都市と政令指定都市(以下“中核都市”)で、家庭CO₂統計²⁾と家計調査³⁾を用いて、用途別エネルギー原単位を確定する。大地域 Z は中小規模の市町村 z (1,668 市町村) を省エネルギー法地域区分と自治体人口規模に基づきグループ化したものである。

2.2 作業フロー

モデル $\eta 2$ は自治体 z の温熱源としてのエネルギー選択割合を推定するモデルである。 $\eta 2$ を作成し、全市町村CO₂原単位を求めるまでの作業フローを示す。作業は以下の6ステップからなる。

作業1: 家庭CO₂統計の個票データと家計調査の都市別データを用途別エネルギー需要に分解する。

作業2: 大地域 M , Z , 小地域 z についてそれぞれエネルギー種別、用途別平均値を集計し、既報⁵⁾により世帯構成人員及び戸建て率補正を行う。この結果から大地域 M , Z の用途別最終エネルギー需要を求める。

作業3: 作業2の大地域データから温熱負荷 L をパス解析し、温熱源選択モデル $\eta 2$ を作成する

作業4: 小地域 z の温熱源構成をモデル $\eta 2$ より推定する

作業5: 回収データのある小地域 z については実データにより $\eta 2$ 推定値をベイズ更新する。

作業6: 小地域 z のCO₂原単位を確定する

3. 温熱源選択モデル $\eta 2$

本章では、作業3の各種変数と温熱源選択率 R_x との相関性の確認とパス解析を行い、温熱源選択モデル $\eta 2$ を作成する。

4 調査期間中の全国エネルギー原単位の世帯加重平均値は 31.6 GJf/(世帯・年) (一次換算 57.0GJp/(世帯・年))、CO₂排出量は 2.84 t/(世帯・年) である。このうち温熱需要 L は 79% の 25.0 GJf/(世帯・年) である。CO₂排出量は全体の 71% の 2.02 t/(世帯・年) である。

温熱需要 L の熱源別内訳を表2に示す。暖房 h と給湯 w 需要が熱量とともに 40% 強である。厨房 (コンロ) b は 15% である。温熱源ではガス g が熱量で 42% と最大であるが、CO₂排出量では電力 e が 51% と最大である。

表3に住宅属性と各種エネルギー需要や気候との相関行列を示す。温熱負荷 L は灯油選択率 R_o と高い相関性を示し、 $r=0.90$ である。電力選択率 R_e とガス選択率 R_g は r が

-0.61 と -0.67 とともに逆相関性を示す。また人口密度 D と、ガスの世帯普及率が $r=0.63$ と高く、都市部ほどガス選択率が高いことがわかる。

表2 温熱源 L エネルギーマトリックスとCO₂排出比率
【単位: GJf/(世帯・年)】

全国平均	温熱負荷 L			計	熱源選択率 R_x (CO ₂ 比率)
	暖房 h	給湯 w	厨房 b		
電力 e	3,348	3,925	1,068	8,341	Re=33% (51%)
ガス g	2,362	5,297	2,723	10,386	Rg=42% (28%)
灯油 o	4,762	1,502	0	6,264	Ro=25% (21%)
計	10,472	10,724	3,791	24,987	100% (100%)
熱量比率 (CO ₂ 比率)	42% (43%)	43% (43%)	15% (14%)	100% (100%)	CO ₂ = 2.02t

表3 温熱負荷の熱源選択と地域属性

	人口密度 D	住宅面積 H	単身世帯割合 S	HDD18-18	WDD40-40	全エネ需要	全温熱負荷 L	温熱電力率 R_e	温熱ガス率 R_g	温熱灯油率 R_o	ガス世帯普及率 DF_g	都市G世帯普及率 $DF_{e,g}$
人口密度 D	1.00											
住宅面積 H	-0.58	1.00										
単身世帯割合 S	0.63	-0.65	1.00									
HDD18-18	-0.30	0.38	-0.25	1.00								
WDD40-40	-0.29	0.39	-0.25	0.99	1.00							
全エネ需要	-0.35	0.43	-0.40	0.93	0.92	1.00						
全温熱負荷 L	-0.33	0.39	-0.36	0.95	0.93	1.00	1.00					
温熱電力率 R_e	-0.25	0.15	-0.21	-0.58	-0.55	-0.58	-0.61	1.00				
温熱ガス率 R_g	0.66	-0.50	0.55	-0.61	-0.59	-0.68	-0.67	-0.08	1.00			
温熱灯油率 R_o	-0.49	0.39	-0.41	0.83	0.80	0.90	0.90	-0.40	-0.89	1.00		
ガス世帯普及率 DF_g	0.63	-0.52	0.46	-0.19	-0.21	-0.18	-0.16	-0.61	0.70	-0.36	1.00	
都市G世帯普及率 $DF_{e,g}$	0.63	-0.32	0.54	-0.14	-0.12	-0.22	-0.21	-0.42	0.78	-0.52	0.72	1.00

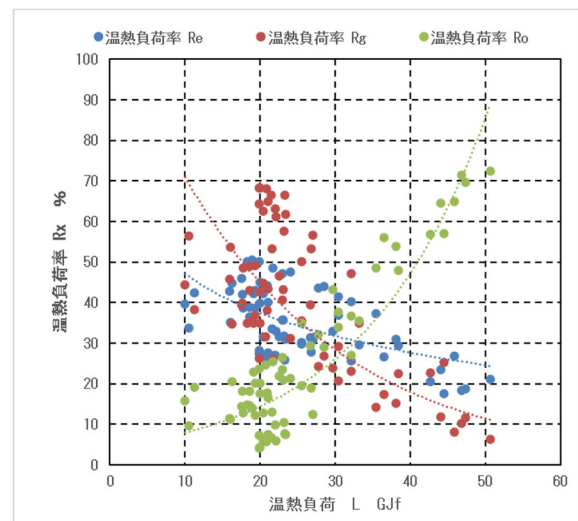


図1 熱源別構成 R_x と総温熱需要 L

図1に温熱負荷 L と温熱源選択率 R_x との関係を示す。灯油 R_o は L が大きくなると相関性が上昇し、電力 R_e 、ガス R_g とは逆相関性が強くなる。また L が小さい地域では R_e や R_g の選択傾向が強いが、 $L=30$ GJf/(世帯・年) 付近を境に、 R_o との関係が逆転し R_o 選択が優勢となる。これは温熱負荷が大きいと経済的負担が増大し安価な熱源を選択する傾向が強くなるためと考えられる。

図2に温熱負荷 L と人口密度 D との関係を示す。人口密度 D が小さい地域では温熱源の選択において有意な選択傾向は認められないが、 $D > 5$ 千人/ km^2 以上では、 L の占有率は R_g 、 R_o 、 R_e の順となり、その割合も安定する。

図3に温熱源選択率 R_x に対するパス解析の結果を示す。四角形は変数、矢印付近の数値はパス係数である。片矢印は標準偏回帰係数 β 、両矢印は相関係数 r を記す。 β は各変数の単位に依存しない係数なので、説明変数の目的変数への影響度合いを比較できる。誤差は回帰誤差のパス係数で、残差寄与率の平方根である。

温熱源の熱需要最大が42%のガスの選択率 R_g は、 L の β が最大で-0.504で、次いで D が0.475と大きい。このことからガスは大都市部で選択される傾向が強くなり、寒冷地域では、選択されなくなることがわかる。次いで選択率が33%と高い R_e の β は、全ての説明変数で小さく、最大でも L の0.010である。全電化住宅を除くと、電力を熱源として優先的に選択する理由付けは L の大きな地域では小さいことがわかる。灯油は R_o が全国平均では最低の25%であるが、全温熱負荷 L の β が0.868と高く、次いで高いのはガス世帯普及率の DF_g の-0.221である。 R_o と R_g の相関係数は-0.89であり、 R_e との相関係数-0.40より大きく、灯油は、電力よりもガスの代替となっていること

がわかる。これらの解析結果から、小地域 z の温熱源率を推定する温熱源選択モデル $\eta 2$ を表3に示す。

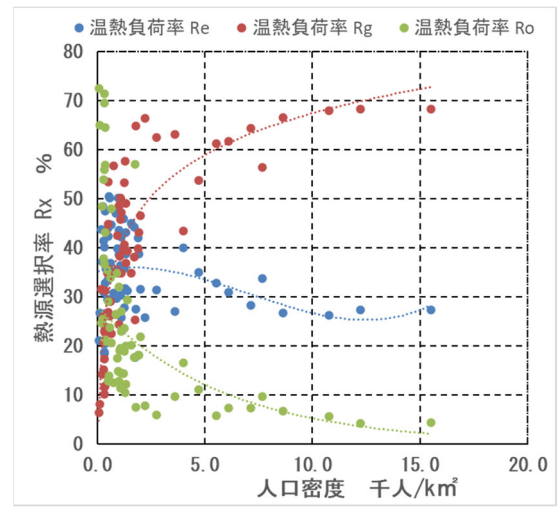


図2 熱源別構成 R_x と人口密度 D

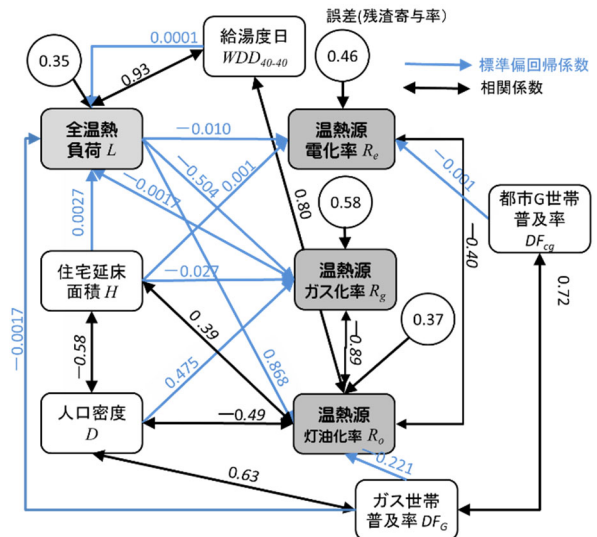


図3 パス解析図

表3 小地域 z の温熱負荷の熱源選択モデル $\eta 2$

<p>Step.1: 温熱総負荷 L の推定</p> <p>1) 既報⁵⁾ により、温熱総負荷 L を推定する または</p> <p>2) $L = 0.04H + 0.008WDD + 0.06 DF_g - 54.0$ ($r^2=0.87$)</p> <p>Step.2: R'_x の計算</p> <p>1) ガス普及率が判明している場合</p> <p>$R'_e = 0.17H - 0.77L - 0.16DF_{eg} + 45.3$ ($r^2=0.77$)</p> <p>$R'_g = 1.08D + 0.13H - 1.03L + 0.89DF_g - 17.0$ ($r^2=0.84$)</p> <p>$R'_o = 1.71L - 0.39DF_g + 12.1$ ($r^2=0.86$)</p> <p>2) ガス普及率が不明の場合</p> <p>$R'_e = -1.19L + 0.004WDD - 0.84S + 59.6$ ($r^2=0.62$)</p> <p>$R'_g = -0.89L + 2.38D + 0.34S + 44.6$ ($r^2=0.67$)</p> <p>$R'_o = 1.78L - 19.7$ ($r^2=0.81$)</p>	<p>Step.3: モデル誤差の調整: R_x の確定</p> <p>$R_e = R'_e / X$, $R_g = R'_g / X$, $R_o = R'_o / X$</p> <p>ただし $X = R'_e + R'_g + R'_o$</p> <p>ここで</p> <p>L : 全温熱負荷合計 [GJf/(世帯・年)]</p> <p>D : 人口密度 [千人/km^2]</p> <p>H : 住宅面積 [m^2]</p> <p>S : 単身世帯率 [%]</p> <p>DF_g : ガス世帯普及率 [%]</p> <p>DF_{eg} : 都市ガス世帯普及率 [%]</p> <p>HDD : 暖房度日 HDD18-18 [$^{\circ}\text{C} \cdot \text{Day}$]</p> <p>$WDD$: 給湯度日 WDD40-40 [$^{\circ}\text{C} \cdot \text{Day}$]</p>
--	--

4. 全国市町村別 CO₂ 原単位の推定

図4に市町村別最終エネルギー原単位とCO₂原単位の推定結果を示す。

エネルギー原単位の上位10地区の平均は、67.4GJfで、北海道が4自治体と最多で、次いで長野県と岩手県がともに3自治体である。下位10地区（原発避難地区除く、以下同じ）は全て沖縄県で平均は17.1GJfと、上位10地区とは4倍の違いがある。

エネルギー原単位を、一次エネルギー換算値 GJp で示すと、上位10地区の平均は97.9.4GJpで、地域最多は山

形県が3自治体で、次いで秋田県と長野県がともに2自治体、岩手県、群馬県、北海道がともに1自治体である。下位10地区は8自治体が沖縄県で、2自治体が東京都の離島で、平均は37.9GJpと最大値と2.6倍の違いがある。

CO₂排出量でみると上位10地区の平均は、5.51t-CO₂で、北海道と長野県が3自治体で最多で、岩手県、秋田県、山形県、群馬県が各1自治体である。下位10地区は9自治体が沖縄県、残りは東京都の離島1自治体である。CO₂排出量の平均は1.80t-CO₂で3倍の違いである。

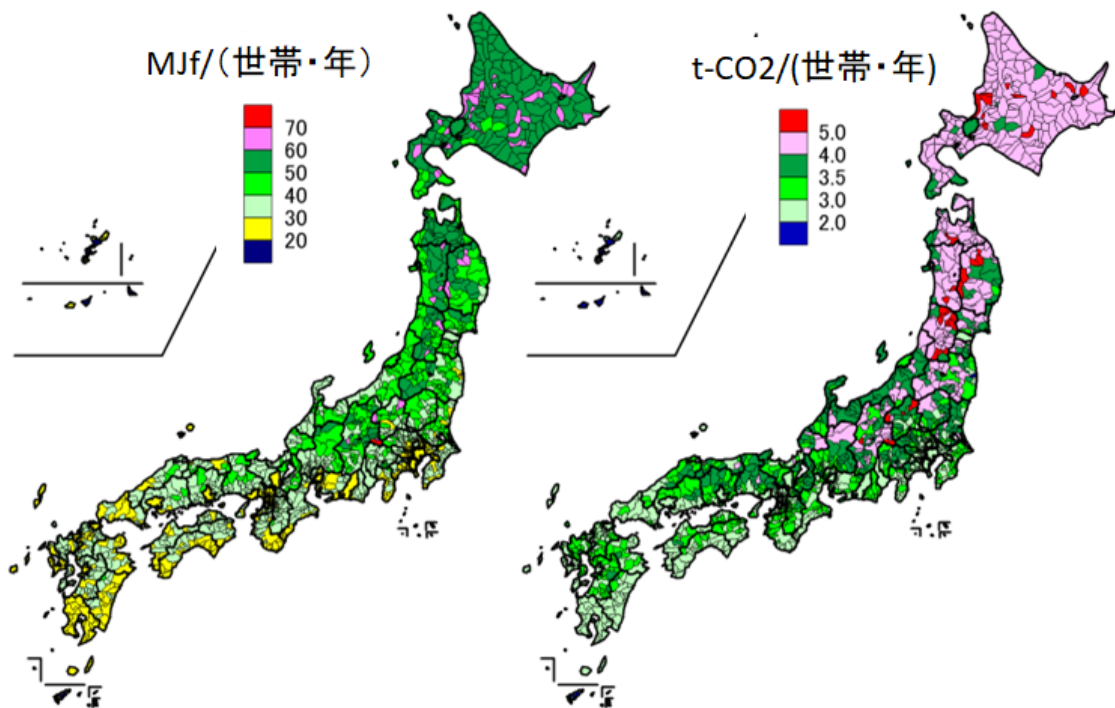


図4 市町村別最終エネルギー消費原単位とCO₂排出原単位

5. まとめ

全国市区町村レベルで、住宅のCO₂排出量原単位を推定するため、家庭CO₂統計と家計調査を用いて、全国1718の市町村別に2014年～2018年の平均CO₂排出原単位を推定した。市町村のうち回収データが少なく、データの信頼性が低い1668の小地域₂については、大地域Zの用途別エネルギー需要を推定し、実回収データを用いて、バイズ更新を行った後、温熱源の需要について温熱源選択モデル η 2から、温熱需要をエネルギー源別に分解し、CO₂原単位を推定した。

なおこのモデルは各地の平均的な住宅のCO₂原単位を推定するものであり、山間地や離島特有のライフスタイルや薪などバイオ燃料を使用する生活は想定していない。

今回の研究及びモデルによる地域別CO₂原単位推定で明らかになった点は以下のとおりである。

- 1.住宅のCO₂原単位算定には、エネルギー原単位だけでなく、温熱源の選択傾向を考慮する必要がある。
- 2.温熱負荷Lが大きい地域では、経済的負担感からエネルギー価格の安い灯油が選択される傾向がある。
- 3.温熱負荷Lが平均的かそれ以下の地域では、都市化（人口密度D）するほどガスの選択率が高まる傾向がある。これは古くから都市ガスのインフラが整備されていたためと考えられる。

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 24 年度～平成 30 年度家庭 CO₂ 統計マイクロデータの解析によるものです。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) 田中昭雄, 外岡豊;住宅におけるエネルギー選択と市区町村別 CO₂ 排出原単位の研究—住宅の環境負荷とその地域性に関する研究 その 2 -, 日本建築学会環境系論文集, 80-2, 2015, pp. 177-184.
- 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/>
- 3) 総務省 統計局 : 家計調査月報, <http://www.stat.go.jp/data/kakei/index.htm> (アクセス日 2022.10.1)
- 4) 環境省 ; 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) — R1 年度実績, <https://www.env.go.jp/press/files/jp/116530.pdf> (アクセス日 2022.4.1)
- 5) 田中昭雄 : 市町村別 CO₂ 排出量表のためのベイズ的アプローチ (その 2) — 市町村別用途別エネルギー原単位表の作成—第 41 回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集 (2022), 30-34.