

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, quantitative information on energy resilience in households is not necessarily sufficient to serve as a basis for discussion. In this study, we focused on the resilience of home heating energy, and clarified characteristics by house construction method, region, and energy use based on individual data from the "Survey on CO2 Emissions from Households. As a result, we confirmed that in cold regions, people tend to diversify energy for heating from the viewpoint of resilience, and that heating only with electricity is less likely to be chosen from the viewpoint of economic efficiency. 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 responses based on regional characteristics will be necessary.

Keywords : Household Energy Demand, Price Elasticity, 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（正味現在価値）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、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

*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°C を下回る日の日平均気温と 14°C 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。

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。

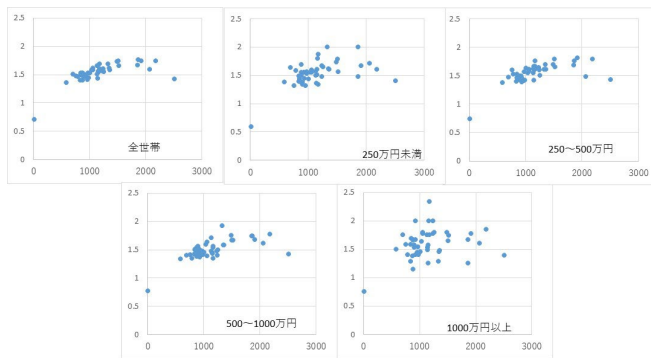
1.2 レジリエンスについての先行研究

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。

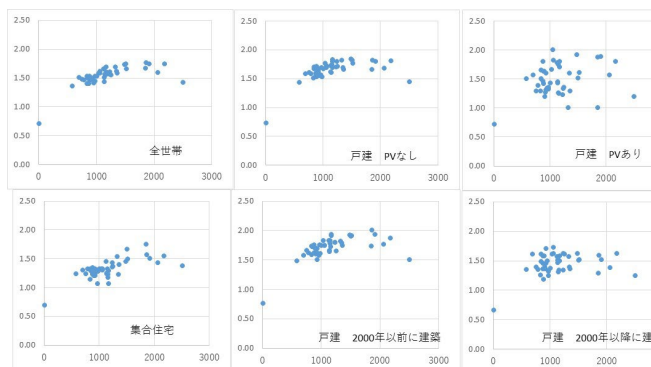
Aki^[8]は、東日本大震災の経験から、日本におけるエネルギーレジリエンスを考えると、地震も含めた自然災害を念頭に置いた備えが重要になること、その影響は長期にわたる可能性があることを指摘している。

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



データ出所: 「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)



データ出所: 「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

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、暖房度日が高いほど、暖房用エネルギーは多種類を用いる右上がりの関係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、暖房度日が高いほど、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。

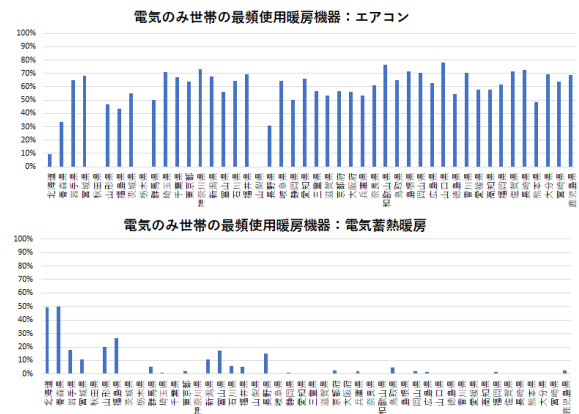
2.2 暖房用エネルギー源による差異

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。

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 PVなし	戸建 PVあり	集合住宅	戸建 2000年以前建築	戸建 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	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	中日本	36.4%	31.4%	30.8%	34.4%	47.6%	26.4%	42.6%
	西日本	5.6%	2.5%	2.6%	-	10.6%	-	8.0%
	北日本	-	-	-	-	-	-	-
	東北	-	-	-	-	-	-	-
灯油のみ使用世帯の比率	北信越	1.6%	1.2%	1.4%	0.3%	2.2%	0.9%	1.9%
	中日本	-	-	-	-	-	-	-
	西日本	-	-	-	-	-	-	-
	北海道	37.2%	35.4%	36.4%	-	40.0%	40.1%	21.0%
灯油のみ使用世帯の比率	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%	-
	北信越	2.5%	2.9%	3.0%	-	2.0%	3.3%	2.0%
	中日本	2.7%	2.5%	2.6%	-	3.2%	2.7%	2.1%
西日本	-	-	-	-	-	-	-	

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
データ出所：「家庭の CO₂ 排出実態調査」^[1]



データ出所：「家庭の CO₂ 排出実態調査」^[1]
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

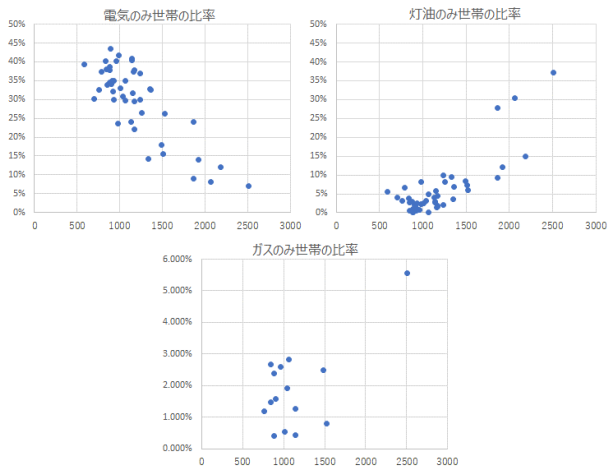
図 3 最頻使用暖房機器別の世帯比率 (暖房に電気のみ使用の全世帯対象、都道府県平均)

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見られる。これに対して、2000 年以降建築の戸建て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



データ出所：「家庭の CO₂ 排出実態調査」^[1]

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)

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、逆に灯油のみ世帯の比率は高くなることわかる。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、

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	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
	灯油のみ	13.0	9.8	0.2	2.3
北信越	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
	灯油のみ	15.1	9.1	0.2	2.2
中日本	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
	灯油のみ	8.3	3.9	0.2	0.9
西日本	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

西日本と比べて、より暖房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

図 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
北日本	北海道	118	40
	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

て電気のみの方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
のみ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、電気のみ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、寒冷地に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.

お問い合わせ: report@tky.ieej.or.jp