

自然災害に起因する停電発生時の住宅のレジリエンス性に関する研究：
太陽光パネルと蓄電池の利用と効果に着目して

Potential of Photovoltaic Panels and Batteries for Housing Resilience in the Case of Natural Hazard Triggering Blackout

京都大学 助教 小谷 仁務

(研究計画ないし研究手法の概略)

1. 研究背景と目的

地震や台風などの大規模な自然災害が発生すると、発電所の停止や電線路の損傷により、住宅への電力供給が途絶する場合がある。この問題の低減に向けた自助的アプローチの一つとして、住宅への太陽光パネルや蓄電池といった創エネルギー・蓄エネルギー設備（以下、「創エネ・蓄エネ設備」）の設置が挙げられる。これら設備により、停電時でも自立的に電力を創り、蓄えられるため、住宅の災害レジリエンス性を高められると期待されている。だが、創エネ・蓄エネ設備の保有が、停電時にも、被災前と同様に電気機器の使用を保障するわけではない。例えば、保有者は、停電時に太陽光パネルを自立運転モード（非常時電源機能）に切り替える必要があるが、それを実行できず、自家発電電力を使えないなどが考えられる。創エネ・蓄エネ設備の「保有」から「利用」、そして「利用」による「効果」発現は段階的なものと考えられる。だが、実際の災害で、創エネ・蓄エネ設備を利用する際に何が障害となったか（保有→利用）、利用できた場合にどの電気機器が使用可能となったか（利用→効果）に関する知見の蓄積は十分でない。

よって、本研究の目的は、過去の災害において、創エネ設備である太陽光パネルの設置世帯を対象に、(1) 災害直後にその設備の利用を阻害あるいは促進した要因は何か、(2) 利用できた場合にどのような電気機器を使用できたか、を示すことである。後者の問いでは、近年普及が進む、蓄電池を含む蓄エネ設備によって、電気機器の使用可能性がどう変化するかも検討する。これまで、創エネ・蓄エネ設備の普及過程や日常生活での便益（e.g., 電気代抑制や環境負荷低減）は、国内外で広く研究済である一方、それら設備の災害時の利用過程や便益はそれほど着目されてこなかった。これらに着目し、住宅の災害レジリエンス性を高める基礎的知見の獲得を目指す点が本研究の特色である。

2. 研究手法

本研究では、近年の大規模な停電を経験した事例として、次の2つの事例を取り上げた：2019年9月の台風15号（以下「2019年台風15号」）と2018年9月の北海道胆振東部地震（以下、「2018年北海道胆振東部地震」）。そして、主に2つの手法を用いた：(I) 多数のサンプルを広く収集するアンケート調査と (II) 少数のサンプルを深く探求するインタビュー調査。

2.1 アンケート調査・データセット

分析に用いるデータセットは、アンケート調査によるものである。サンプルは、災害で停電を経験した戸建てに住む世帯の内、被災当時、太陽光パネル、蓄電池などの創エネ・蓄エ

ネ設備を有していた世帯で構成されている（建物の被害が大きい場合の影響を除くために、一部損壊以下の世帯を対象は限定されている）。データセットには、各世帯の停電時の創エネ・蓄エネ設備の利用状況や、太陽光発電を利用しなかった理由、太陽光発電を利用するに当たり役に立った事前の準備や対応、太陽光電力を利用して使用を試みた電気機器（e.g., 洗濯機、冷蔵庫、エアコン、携帯電話充電、テレビ）、その中で実際に使った電気機器などが含まれる。2019年台風15号と2018年北海道胆振東部地震について、それぞれ350サンプル、500サンプルが存在する

これらのサンプルを基に、記述統計と統計モデルによって、(1) 災害直後にその設備の利用を阻害あるいは促進した要因は何か、(2) 利用できた場合にどのような電気機器を使用できたかを分析した。

2つ目の問いでは、教育学や心理学の分野で広く使われる統計モデル「項目反応理論モデル」(item response theory modeling) [1] を援用した。項目反応理論モデルは、被験者の評価項目に対する反応から、被験者の特性だけでなく、評価項目の難易度や識別力を推定するものである。本研究では、被災家計の発電容量や日頃の備えで構成される一次元の総合的能力（以下、「総合的能力」）によって、各電気機器の使用の有無が左右されたと考え、各電気機器の使用の難易度や識別性を検証した。ただし、各電気機器の使用の有無は、それらの保有と停電時のニーズに依存する。そのため、各電気製品の保有がニーズの有無をネストし、そして、ニーズの存在が電気製品の使用有無をネストする階層構造を仮定した[2]。さらに、柔軟なモデル作成が可能であり、また、小サンプルでも安定した推定結果が得られる、ベイジアン項目反応理論モデル (Bayesian item response theory modeling) [3] を利用した。

2.2 インタビュー調査

2018年北海道胆振東部地震において、居住地域が停電をしていても、太陽光パネル、蓄電池などの創エネ・蓄エネ設備を有していたために電力を利用できた世帯の代表者を対象とした。発災から復電までの期間での行動の詳細を質問した。アンケート調査の情報を補完すると共に、統計モデルの仮定などの検証につながる知見を得ることを目指した。

(実験調査によって得られた新しい知見)

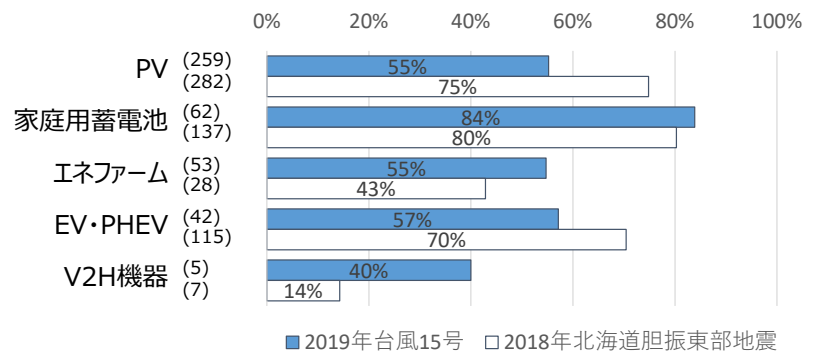
3. 結果

3.1 太陽光パネルの保有→利用

アンケート調査データから、まず、保有する創エネ・蓄エネ設備の中で、停電発生から復電までの間に利用した設備の詳細を示す(図1)。2019年台風15号では、太陽光発電(PV)、エネファーム、EV・PHEV、V2H機器等の代替エネルギー設備を保有している世帯でも、半数は、実際の停電時に利用していなかったことが分かる。比較的利用できた比率が高い設備として、家庭用蓄電池は保有世帯の8割が利用できた。2018年北海道胆振東部地震では太陽光発電を利用した世帯の比率が若干高い等の特徴があるが、やはり一定程度は利用していない。

次いで、停電時に太陽光発電による電力を利用しなかった世帯を対象に、太陽光電力を利用しなかった理由を質問した結果を示す(図2)。「自立運転のやり方が分からなかった」との回答が最も多かった。

最後に、停電時に太陽光発電を利用した世帯を対象に、太陽光電力を利用するのに当たり役に立った事前の準備や対応を質問した結果を示す(図3)。図から「停電時の利用方法についての業者からの事前説明」(4割程)、「日頃からの停電時利用マニュアルの確認」(3割程)が多いことが分かる。設置時の説明だけでなく、日頃の取り組みにより、知識を定着させることにつながり、災害時にも役立つことが推察される。「以前の停電経験」も15%程度が選択しており、経験を通じて機器の使い方等の知識が蓄積されたことを示唆している。さらに、「停電時の業者・営業によるサポート対応」も1割程である。日頃の取り組みだけでなく、災害時のサポートの重要性も推察される。なお、「停電時の業者・営業によるサポート対応」の重要性はインタビュー調査でも確認できた。



注：各設備を保有していた世帯に占める、停電発生から復旧の間に利用した世帯の比率。()内は各設備を保有しているサンプルの数。

図1 停電発生から復旧の間に代替エネルギー手段を利用した世帯の比率 ([I]より抜粋)

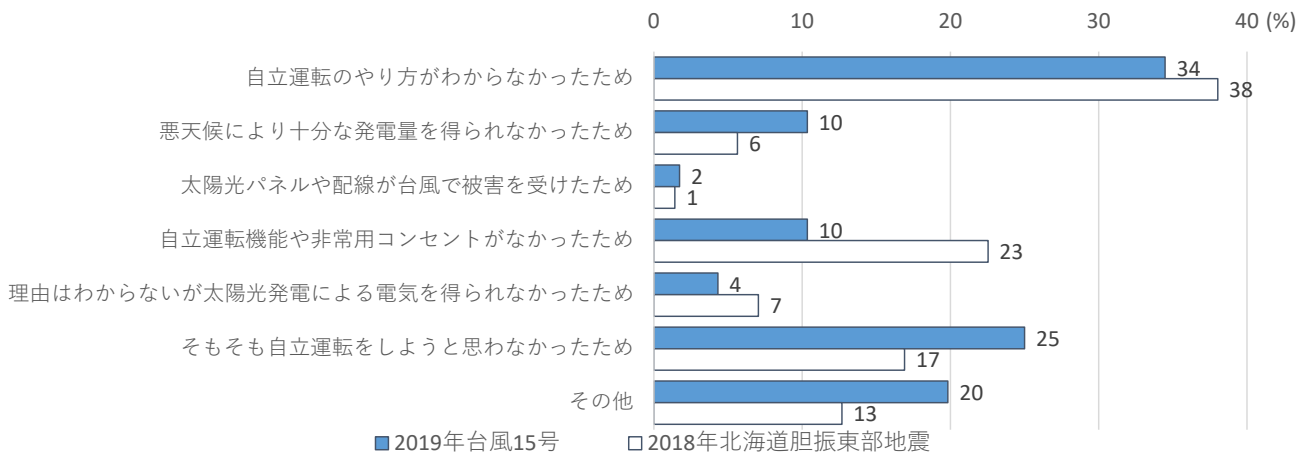


図2 太陽光発電による電気を利用しなかった理由(複数回答可) ([I]より抜粋)

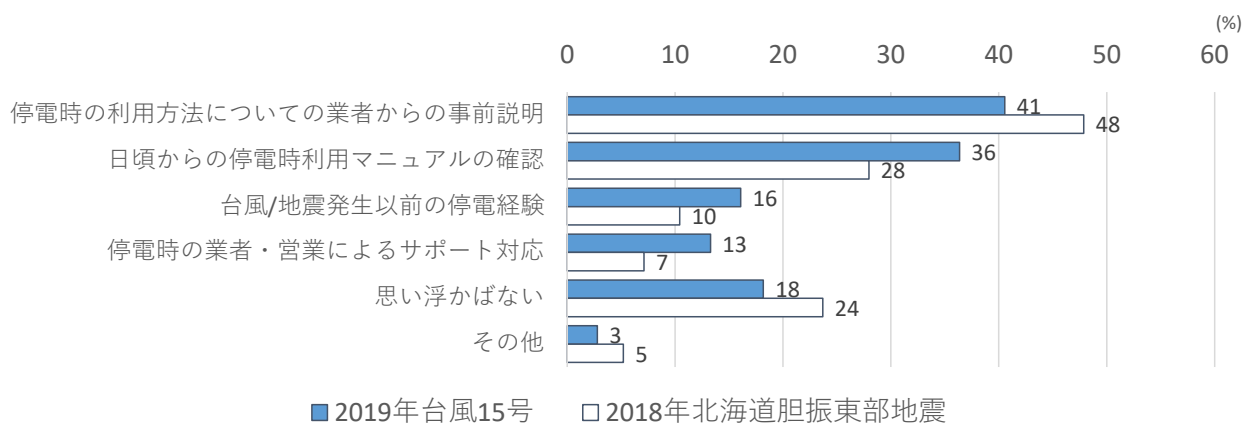


図3 停電時に太陽光発電を利用するに当たり役に立った事前の準備や対応(複数回答可) ([I]より抜粋)

3.2 太陽光パネルの利用→効果

2018年北海道胆振東部地震のサンプルの内、太陽光発電を利用したサンプル（n = 211）を用い、統計モデルによる分析を行った。ここでは、2パラメータ・ロジスティックモデルを用いた結果（i.e., 停電時の各電気機器のニーズ割合のパラメータ、難易度パラメータ、および識別力パラメータの事後分布の推定結果）を示す（表1）。なお、難易度パラメータが大きい程、各電気機器の使用確率を高めるためにはより大きな総合的能力が必要であることを意味する。識別力パラメータが大きい程、各電気機器の使用確率は総合的能力に鋭敏に反応することを意味する。

表1 パラメータの推定結果：事後平均と90%信用区間（各パラメータについて事後平均が比較的高い値を示す電気機器をオレンジ色、低い値を示す電気機器を青色に塗った）

電気機器	ニーズ割合		難易度パラメータ		識別力パラメータ	
	平均値	90%信用区間	平均値	90%信用区間	平均値	90%信用区間
洗濯機	0.208	[0.163, 0.256]	-1.128	[-1.636, -0.643]	2.035	[1.173, 2.944]
冷蔵庫	0.667	[0.615, 0.723]	-1.371	[-1.708, -0.986]	2.051	[1.276, 2.773]
電子レンジ	0.274	[0.222, 0.326]	-0.813	[-1.259, -0.322]	1.675	[0.884, 2.406]
トースター	0.122	[0.080, 0.168]	-0.764	[-1.589, -0.062]	1.561	[0.575, 2.473]
コンロ	0.333	[0.265, 0.410]	-1.484	[-2.101, -0.840]	1.481	[0.769, 2.194]
電気ポット	0.251	[0.187, 0.314]	-1.473	[-2.120, -0.865]	1.940	[1.038, 2.901]
その他調理器具	0.447	[0.364, 0.526]	-1.298	[-1.942, -0.672]	1.529	[0.705, 2.271]
照明	0.422	[0.364, 0.476]	-1.008	[-1.366, -0.598]	1.917	[1.176, 2.667]
エアコン	0.119	[0.072, 0.165]	-0.472	[-1.377, 0.358]	1.469	[0.360, 2.368]
冷房器具	0.126	[0.083, 0.170]	-0.681	[-1.444, 0.116]	1.354	[0.459, 2.269]
暖房器具	0.063	[0.025, 0.100]	-0.096	[-1.407, 1.220]	0.934	[0.001, 1.763]
風呂	0.279	[0.228, 0.333]	-1.354	[-1.807, -0.876]	1.837	[1.041, 2.669]
ドライヤー	0.184	[0.136, 0.228]	-1.188	[-1.676, -0.660]	2.061	[1.117, 2.979]
掃除機	0.152	[0.109, 0.192]	-0.837	[-1.414, -0.235]	1.690	[0.854, 2.571]
携帯電話充電	0.815	[0.771, 0.860]	-2.515	[-3.101, -2.007]	1.868	[1.181, 2.551]
テレビ	0.576	[0.518, 0.633]	-1.216	[-1.618, -0.821]	1.848	[1.116, 2.511]
固定電話	0.262	[0.211, 0.321]	-0.478	[-0.922, -0.062]	2.148	[1.182, 3.010]
インターネット	0.442	[0.378, 0.501]	-1.001	[-1.378, -0.623]	1.877	[1.108, 2.588]
パソコン	0.303	[0.244, 0.354]	-0.974	[-1.413, -0.511]	1.689	[0.927, 2.437]

まず、停電時の各電気機器のニーズ割合の推定結果によると、比較的ニーズの高かった電気機器は、「冷蔵庫」、「携帯電話充電」、「テレビ」であった。基本的な食事や通信に関する電気機器はニーズが高かったことが推察される。一方で、ニーズの低かったものは、「トースター」、「エアコン」、「冷房器具（エアコン以外。扇風機など）」、「暖房器具」、「ドライヤー」、「掃除機」であった。追加的な食事に関するものや冷暖房の必要がない季節であったことから、妥当な結果と判断できる。インタビュー調査においても、冷暖房が不要な季節であったこと、急を要さない掃除に関する電気機器は使用しなかったことが確認できた。

次いで、難易度パラメータの推定結果によると、比較的利用難易度の高い電気機器は「エアコン」、「暖房器具」であった。難易度の低い電気機器は「携帯電話充電」であった。太陽光パネルを利用できた家庭では携帯電話充電は容易にできたことがうかがえる。

最後に、識別力パラメータの推定結果によると、識別力の高い電気機器は「洗濯機」、「冷蔵庫」、「ドライヤー」、「固定電話」であった。識別力の低い電気機器は「暖房器具」であった。太陽光パネルを利用できた家庭の内、その他の創エネ設備や蓄電池を利用できたり、事前の備えをできていたりした家庭は、洗濯機や冷蔵庫、固定電話などの使用確率を大きく高められたことを意味する。蓄電池に代表される蓄エネ設備や事前の備えにより、災害時にニーズの高まる基本的食事や通信に関する電気機器が利用できるようになることを示唆する結果を得た。インタビュー調査でも、回答者は自宅の太陽光発電にて、近隣住民の携帯電話充電や炊飯器使用の助けをしたことを確認できた。この情報は、統計分析結果の妥当性を補強する。

なお、上記の傾向は、識別力パラメータの事前分布を変更した場合、ないし難易度パラメータのみを考慮するモデル（1パラメータ・ロジスティックモデル）を用いた場合でも、ほとんど変わらなかった。そのため一定の頑健性をもつ結果と考えられる。

ただし、インタビューでは、発電・蓄電容量を気にしながら電気機器を使用した時間帯があったとの回答を得た。これはモデルの局所独立性（個人特性で条件付けられたとき、各電気機器間の使用確率は互いに独立であるという仮定）が満たされない場合の存在を示唆する。この点を踏まえたモデルの拡張が今後期待される。

4. まとめ

本研究では、2019年台風15号と2018年北海道胆振東部地震に着目し、創エネ設備である太陽光パネルの設置世帯を対象に、(1) 災害直後にその設備の利用を阻害あるいは促進した要因は何か、(2) 利用できた場合にどのような電気機器を使用できたか、を探索した。

(1) アンケート調査とインタビュー調査の結果、太陽光パネルの利用までの疎外要因として自立運転のやり方がわからないことが顕著であった。一方、促進要因として、停電時の利用方法に関する事前説明や日頃のマニュアルの確認、停電時の業者によるサポートなどが明らかとなった。これら促進要因を踏まえた取り組みが各家庭や販売・設置業者に今後求められる。

(2) 2018年北海道胆振東部地震の回答データとベイジアン項目反応理論モデルを用いた分析の結果、(i) 太陽光パネルを利用できた家庭では携帯電話充電は容易にできたこと、(ii) その他の創エネ設備や蓄電池を利用できたり、事前の備えができたりした家庭は、災害時にニーズの高まる基本的な食事や通信に関する電気機器が利用できたことを示唆する結果を得た。これら知見は、創エネ・蓄エネ設備や事前の備えにより利用が容易になる電気機器を明らかにすると共に、これら設備のメリットを示すことにつながる。今後の住宅の災害レジリエンス性を高める基礎的知見を提供できたと考える。

参考文献

- [1] 加藤健太郎, 山田剛史, & 川端一光. (2014). R による項目反応理論. オーム社.
- [2] Jeon, M., & De Boeck, P. (2016). A generalized item response tree model for psychological assessments. *Behavior Research Methods*, 48(3), 1070-1085.

[3] Fox, J. P. (2010). *Bayesian Item Response Modeling: Theory and Applications*. New York: Springer.

(発 表 論 文)

- [I] 中野一慶, & 小谷仁務. (2022). 自然災害に起因する停電時の家庭のエネルギー利用実態とレジリエンス, 第38回 エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集.
- [II] Kotani, H., & Nakano, K. (2022). Purchase decision process and information acquisition of zero-energy houses in Japan. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, accepted. <https://doi.org/10.1080/13467581.2022.2047057>