

サステナビリティ研究所
研究成果報告書

Sustainability Research Institute
Business Report 2023

2023年度

巻 頭 言

2023年度の研究成果報告書の発刊に際しまして、一言ご挨拶を述べさせていただきます。

本研究所の年間活動を考えるに、ここ数年、コロナ禍の影響に触れざるを得なかったところ、昨年度は5類感染症に移行したことで、ほぼ通年我々の活動に影響を及ぼすことは無くなった感があります。むしろ、コロナ禍でオンライン授業、Web会議を余儀なくされたことで、これら技法に精通でき、最近では以前の対面授業、あるいは会議を前提としながらも遠隔でのシステムを併用したハイブリッド型の会合等が出現していることは、コロナ禍の残した効用と思います。海外に目をやれば、2022年2月に開始されたロシアのウクライナ侵攻による戦禍は終着の目途が立たないまま、中東地区ではイスラエル・パレスチナ紛争が激化することで、人的、物的被害拡大のほか、SDGsや本学が目指す社会のサステナビリティ・持続可能性に対する危機的な状況が増大しています。

このような背景の中、サステナビリティ研究所の活動として、SDGs関連では昨年度から開始した学生への「SDGs活動推進助成制度」を継続させる他、学生のEMS委員会からの提案によって新たに開始された「TUES Sustainability Week」活動に、サステナビリティ研究所として監修、協賛し、平井鳥取県知事の講演を含めて学生活動への支援を積極的に行いました。鳥取商工会議所工業部会とともに実施してきたSDGs活動はひとまず終焉とした後、鳥取県の産官学連携のSDGs事業として発展的に拡大することで、本年度からは、本学からより多くのゼミが参画して展開しています。

このような継続的なSDGs活動の他に、本学は、「GX (Green Transformation)」あるいは「脱炭素化」に対する新たな方向性を、令和6年度からの中期計画に盛り込んでおり、この分野に関しても我々サステナビリティ研究所が主導的役割を担うことになっております。この動きは、昨年、本学と鳥取市らが共同提案して採択された環境省の「脱炭素先行地域プロジェクト」への積極的参画に示されており、本報告に収めた「プロジェクト型研究助成」により本学も学術的にサポートしています。更には脱炭素への取り組みとして、昨年11月に「水素特別シンポジウム」を開催し、九州大学水素エネルギー国際研究センター長、副学長の佐々木先生、一般社団法人クリーン燃料アンモニア協会の村木会長のご講演およびパネルディスカッションを開催、200名を越す学生や内外関係者の参加を得ました。

前述のごとく、サステナビリティ研究所を取り巻く環境は大きく変化しつつある中、本学内及び鳥取県、鳥取市、鳥取商工会等、本学のSDGs並びに脱炭素化の諸活動に対する関係各所、関係諸氏のご協力に改めて感謝致すとともに、今後も変わらぬご支援をお願いして、私の本報告書の巻頭言に代えさせていただきます。

2024年6月吉日

サステナビリティ研究所長

田島 正喜

目 次

サステナビリティプロジェクト型研究のプロジェクト総括……………	2
環境学部環境学科	田島 正喜
木質バイオマス発電に伴い発生するバイオ炭の農業用途への再利用に関する研究……………	4
環境学部環境学科	金 相烈
	福永こひろ
説明可能な AI を用いたエネルギーマネジメントシステム構築とグリーンインフラの評価……………	11
人間形成教育センター	堀 磨伊也
環境学部環境学科	小林 碧志
	加藤 禎久
農山村における世帯レベルの暖房機器使用状況と薪ストーブへの転換意向 －鳥取市佐治地区を事例として－……………	16
環境学部環境学科	山口 創
	鶴 耕作
地域脱炭素に向けた合意形成の過程に関する研究……………	22
環境学部環境学科	甲田 紫乃

研究成果報告

サステナビリティプロジェクト型研究のプロジェクト総括

環境学部環境学科 田島正喜

1. 研究概要

研究代表者として、各研究者と環境省プロジェクト関係諸団体との円滑な連携を図り、研究成果の環境省プロジェクトへのフィードバックを行う。

今期は、2023年8月15日に佐治地区に襲来した台風7号の同地区への影響を調査するため佐治街道(国道482号線)を鳥取県用瀬地区より辰巳峠を越え岡山県奥津地区まで調査した。調査状況に基づき、鳥取市と協議し、2023年度のプロジェクト実施計画の見直しを行った。

2. 研究成果

2023年10月時点(2023. 10. 24)での状況においても台風7号の佐治地区における被害が甚大であったことで、①木合谷(きごうだに)川小水力発電の基本設計事業、および②佐治川小水力発電事業性評価事業(新エネルギー財団補助事業)を、2024年度へ一年延期とした。

被害状況に関し、以下に示す。

台風7号による佐治町及びその上流域の被害状況 2023. 10. 24



佐治町下流 一方通行地点



佐治町下流 民家脇の樹木



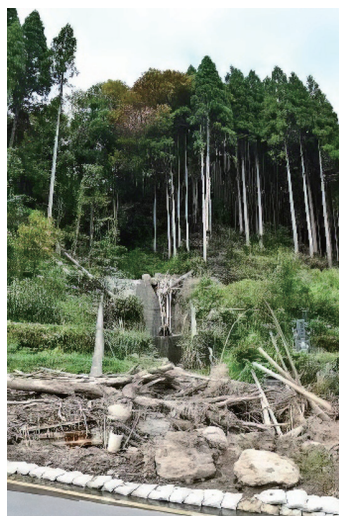
佐治町中心部 橋の崩落1



佐治町中心部 橋の崩落2



佐治川下流 橋桁への流出物付着



佐治川下流 崖崩れ



佐治川上流 護岸補修状況



佐治川ダム下流 護岸一方通行地点



佐治川ダム下流の佐治川の状況



佐治川ダムの状況



辰巳峠岡山県側 崖崩れの状況



岡山県側 民家の被害

木質バイオマス発電に伴い発生するバイオ炭の農業用途への 再利用に関する研究

環境学部環境学科 金 相烈・福永こひろ

1. はじめに

鳥取市は、環境省が実施した第3回脱炭素先行地域に選定された（2023年4月）。選定された地域は交付金等国の支援を重点的に受けることができる。現在、鳥取市は若葉台地域と佐治町を対象に脱炭素に向けた取り組みを行っている。その1つとして、佐治町に熱電併給型の木質バイオマス発電「分散型超小型バイオシステム Volter 40」^[1]が導入される予定である。

導入される設備から発生する焼却灰は産業廃棄物として処理しなければならない。しかし、Volter40では、燃料には未利用木材を加工した木質チップが使用されており、木質チップを完全燃焼させるのではなく、熱分解するため、焼却灰は木炭のような炭化物の形となる。燃焼しない水準に管理された酸素濃度の下、350℃超の温度でバイオマスを加熱して作られる固形物はバイオ炭と呼ばれ^[2]、Volter40から発生する焼却灰もバイオ炭となる（以下、本文ではバイオ炭と呼ぶ）。

バイオ炭は難分解性の炭素であるため、農地へ施用することで土壤中に炭素を貯留するとともに、土壌の透水性、保水性、通気性の改善などに効果があるとされている。バイオ炭を農地に土壌改良資材として使用することは、地力の向上と気候変動対策の両方に寄与することができるため、国際的にも認められた活動となっている。

これらの理由から、木質チップを熱分解して発生したバイオ炭は、産業廃棄物として処理するのではなく、土壌改良資材として佐治町内で利用することにより、経済的にも環境的にも有益な取り組みだと思われる。

2. 研究の目的

本研究では、木質バイオマス熱電併給設備から発生するバイオ炭を佐治町内で土壌改良資材として再利用するために以下の2点を明らかにすることを目的とした。

- I. 事業対象の佐治町内で、バイオ炭を土壌改良資材として再利用するために、佐治町の農家の方々にヒアリング調査を行い、その調査からバイオ炭の再利用に関する考えや意見を把握し、また佐治町に合った土壌改良資材の特性を明らかにする。
- II. バイオ炭の再利用に向けた土壌改良資材としての可能性を検討するため、バイオ炭の化学的また物理的な特性を明らかにする。

3. 研究結果と考察

3.1 佐治町の農家の方々へのヒアリング調査

佐治町の農家の2名（以下、AさんとBさんと呼ぶ）を対象として以下の質問項目に沿いながらヒ

アリング調査を行った。

- ① 栽培されている作物の種類と規模について
- ② 栽培されている作物の土壌の種類や特徴、またどのような土壌が望ましいかについて
- ③ 普段施用されている肥料や特徴について、またどのような肥料が望ましいかについて
- ④ 農業におけるバイオ炭の利用方法や効果についてのご意見
- ⑤ 普段土壌改良資材を利用しているかや、利用する予定があるかについて
- ⑥ 木質バイオマス発電に伴う焼却灰を土壌改良資材として用いることへの意見や懸念事項について
- ⑦ 土壌改良資材の提供を有償あるいは無償で受けたいかについて
- ⑧ 他のコメントがあれば、どうぞご自由にお話してください。

ヒアリング調査の結果、バイオ炭を土壌改良剤として積極的に利用していきたいという意見は得られなかったが、何かしらの効果があれば利用したいという意見が得られた。そのためにも、バイオ炭を土壌改良資材として利用するならば、バイオ炭の構造や有効・有害成分、pH、バイオ炭を土壌に混ぜた時の水はけの変化について明らかにする必要があると分かった。また、佐治町にあった土壌改良資材としては、梨の栽培などにおいて、水はけの調整や、土壌のpHの調節に利用されるのが理想的である。土壌改良剤以外のバイオ炭の利用用途として、融雪剤として使いたいという意見を得ることができた。降雪量の多い山間地域の佐治町に合ったバイオ炭の活用方法の1つになりうるかもしれないことが明らかになった。

3.2 バイオ炭の特性調査

3.2.1 本研究で用いた試料

本研究には、フォレストエナジー株式会社から提供していただいたスギを原料としたバイオ炭を用いた(写真1)。また、土壌は、ヒアリング調査に協力して下さった農家の方々から提供していただいた、黒ボク土と赤土を用いた(写真2)。



写真1 実験で用いたバイオ炭



写真2 実験に用いた土壌 (左:黒ボク土、右:赤土)

3.2.2 化学的特性調査

バイオ炭に含まれる元素や酸化物の結果を以下の表1と表2に掲載する(波長分散型蛍光X線分析による測定)。Mg以上の元素の中では、CaとKが、酸化物ではCaOとK₂Oが全体のおよそ90%を占めるという結果となった。

表1 バイオ炭の元素分析（金属元素換算）結果

バイオ炭 (mass%)				バイオ炭 (mass%)			
元素	1回目	2回目	平均	元素	1回目	2回目	平均
Mg	1.19	1.46	1.33	Ni	ND	0.02	0.02
Al	0.16	0.17	0.17	Cu	0.04	0.06	0.05
Si	0.36	0.32	0.34	Zn	0.08	0.06	0.07
P	0.77	0.75	0.76	Rb	0.06	0.06	0.06
S	2.30	2.28	2.29	Sr	0.18	0.19	0.18
Cl	1.00	1.07	1.03	In	0.01	ND	0.01
K	27.74	27.68	27.71	Sb	0.03	ND	0.03
Ca	64.72	64.40	64.56	I	0.04	ND	0.04
Mn	0.33	0.32	0.32	Ba	0.30	0.33	0.32
Fe	0.70	0.82	0.76				

表2 バイオ炭の元素分析結果（酸化物換算）

バイオ炭 (mass%)				バイオ炭 (mass%)			
酸化物	1回目	2回目	平均	酸化物	1回目	2回目	平均
MgO	1.71	2.11	1.91	NiO	ND	0.02	0.02
Al ₂ O ₃	0.27	0.28	0.28	CuO	0.04	0.05	0.04
SiO ₂	0.65	0.59	0.62	ZnO	0.07	0.05	0.06
P ₂ O ₅	1.50	1.45	1.48	Rb ₂ O	0.04	0.04	0.04
SO ₃	4.79	4.75	4.77	SrO	0.14	0.14	0.14
Cl	0.82	0.88	0.85	In ₂ O ₃	0.01	ND	0.01
K₂O	25.43	25.36	25.40	Sb ₂ O ₃	0.02	ND	0.02
CaO	63.35	63.00	63.17	I	0.02	ND	0.02
MnO	0.27	0.27	0.27	BaO	0.22	0.24	0.23
Fe ₂ O ₃	0.65	0.77	0.71				

また次に、環境庁告示46号に従い溶出試験を行った後、濾過した溶液のpH、陽イオン（Na⁺、NH₄⁺、K⁺）の含有量の測定を行った。その結果を以下の表3に掲載した。

表3 バイオ炭のpHと陽イオンの溶出量

試料	pH	含有量 (ppm)		
		Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺
試料1	13.40	69.48	56.56	9054.4
試料2	13.92	66.48	56.84	8888.6
平均	13.66	67.98	56.7	8971.5

化学的特性として、Ca, Kが多く含まれることが分かった。また、一般的なバイオ炭のpHは9～11^[3]とされており、今回測定したバイオ炭のpHは高めであることが分かった。また、その要因として、陽イオンの測定結果でK⁺の含有量が高いからではないかと考えた。そこで、実際に、K⁺の含有量の平均値を用いて、理論上でのpHの計算を行った。その結果pHは13.5となり、測定結果と変わらない値が算出されK⁺がpHを主に高くした原因だと分かった。アルカリ成分は水によって洗い出されるため、バイオ炭を土壤に施用した場合、水やりや湛水によってpHは、中性になっていく。バイオ炭を土壤に施用する際には、初期はpHが高く、徐々に低下していくことに気を付ける必要があることが分かった。

3.2.3 物理的特性調査

バイオ炭の構造を明らかにするために走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて観察した。その結果、写真3のような多孔質な構造が観察できた。

また次に、バイオ炭を土壤に施用することでの水はけの変化を調べるために飽和透水係数（土壤中の水の流速の大きさを示す指標）と最大用水量（土壤中の孔隙がすべて水で満たされた時の乾土100gあたりの水の重量）を求める実験を行った。また、実験時の土壤試料の条件について表4に示した。なお、試料は、「土壤の種類の前文字、

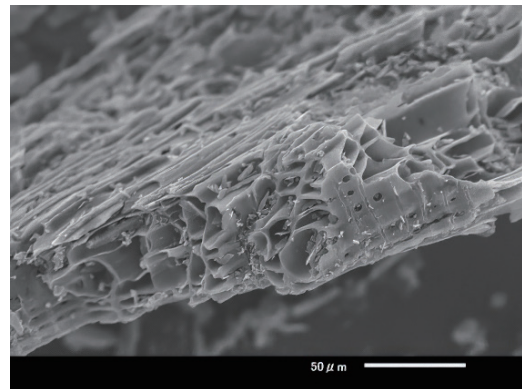


写真3 バイオ炭の構造 (SEMによる測定)

土壤の割合：バイオ炭の割合、試料番号」の順で命名された。例えば、「K90:10-1」は黒ボク土90%とバイオ炭10%を混合させた試料の1つ目を表している。測定結果も表5と表6に掲載した。

表4 実験試料の条件

条件	試料の命名
黒ボク土 100%	K100:0-1, K100:0-2, K100:0-3
黒ボク土 90% バイオ炭 10%	K90:10-1, K90:10-2, K90:10-3
黒ボク土 80% バイオ炭 20%	K80:20-1, K80:20-2, K80:20-3
赤土 100%	A100:0-1, A100:0-2, A100:0-3
赤土 90% バイオ炭 10%	A90:10-1, A90:10-2, A90:10-3
赤土 80% バイオ炭 20%	A80:20-1, A80:20-2, A80:20-3

表5 最大容水量測定結果

試料	絶乾土壌重量(g)	飽和土壌中の水分重量(g)	最大容水量(%)	最大容水量平均(%)
K 100:0-1	12.65	16.35	129.24	129.60
K 100:0-2	13.70	17.51	127.78	
K 100:0-3	12.67	16.70	131.78	
K 90:10-1	10.99	16.56	150.70	150.97
K 90:10-2	11.16	17.06	152.86	
K 90:10-3	11.45	17.10	149.36	
K 80:20-1	12.01	18.04	150.13	149.23
K 80:20-2	11.90	17.91	150.52	
K 80:20-3	12.83	18.86	147.04	
A 100:0-1	18.32	14.76	80.57	83.65
A 100:0-2	17.35	14.71	84.78	
A 100:0-3	18.95	16.23	85.61	
A 90:10-1	19.01	16.00	84.17	84.26
A 90:10-2	18.76	15.85	84.49	
A 90:10-3	19.60	16.49	84.13	
A 80:20-1	16.24	15.77	97.11	94.39
A 80:20-2	15.66	14.45	92.27	
A 80:20-3	15.80	14.82	93.80	
A 70:30-1	15.96	17.42	109.14	109.63
A 70:30-2	16.11	17.75	110.19	
A 70:30-3	16.18	17.72	109.55	

表6 飽和透水係数測定結果

試料	時間 (sec)	飽和透水係数	飽和透水係数平均
K 100:0-1	75	7.65	6.44
K 100:0-2	91	6.31	
K 100:0-3	107	5.36	
K 90:10-1	193	2.97	2.56
K 90:10-2	222	2.59	
K 90:10-3	269	2.13	
K 80:20-1	1357	0.42	0.53
K 80:20-2	866	0.66	
K 80:20-3	1164	0.49	
A 100:0-1	126	4.56	3.51
A 100:0-2	228	2.52	
A 100:0-3	166	3.46	
A 90:10-1	487	1.18	0.99
A 90:10-2	571	1.01	
A 90:10-3	719	0.80	
A 80:20-1	806	0.71	0.95
A 80:20-2	533	1.08	
A 80:20-3	541	1.06	

最大容水量と飽和透水係数を求める実験から、最大容水量の増加は水持ちの良さを表し、飽和透水係数の減少は水はけの悪さを示しており、矛盾の無い結果となった。バイオ炭を土壤に施用することで、土壤の保水性は向上し、透水性は低下することが分かり、バイオ炭の施用は土壤の水持ちを良くしたいときに有効だと考えられた。

4. 結論

本研究では、鳥取市佐治町に導入される予定の木質バイオマス熱電併給設備から発生するバイオ炭を土壤改良資材として佐治町内で再利用が可能か検討した。ヒアリング調査の結果、土壤の水はけや酸度矯正などの改良効果があれば、佐治町内で利用される可能性があることが分かった。またその他にも、バイオ炭の成分の安全性が示され、バイオ炭が粉末ではなく大きな粒のような形であれば利用しやすいという意見や、バイオ炭を融雪剤として使えるならば使いたいという意見が得られたが、これらについて研究を進めることができなかった。今後の展望として、環境庁告示46号の溶出試験から得られた溶液が土壤環境基準を満たしているかを分析すること、バイオ炭を造粒する方法について検討すること、バイオ炭の融雪剤としての効果について調べることが必要である。

また、バイオ炭の化学的特性調査では、本研究で用いたバイオ炭のpHが一般的なバイオ炭よりも高く、その要因として K^+ の溶出量が極めて多いことが関係していることが分かった。Kは水に洗い出される成分であり、pHは次第に低下していくと思われるが、どれくらいの水分量で洗い流せばどれだけpHが低下するのかは明らかになっていないため、今後調査をすることが必要である。

バイオ炭の物理的特性調査では、バイオ炭の構造や、バイオ炭を土壤に施用することで土壤の水持ちが良くなることが分かった。今後は、バイオ炭を施用した土壤で実際に作物が育つかを検証し、農家の方々のバイオ炭利用につながる情報を集めていく必要がある。

5. 参考文献

- [1] VOLTER JAPAN, 分散型超小型バイオシステム, Volter 40
- [2] 農林水産省, J-クレジット制度における「バイオ炭の農地施用」の方法論について, 2022年5月
- [3] 日本バイオ炭普及会, 土壤改良用バイオ炭の施用目安, 平成31年1月31日

説明可能なAIを用いたエネルギーマネジメントシステム構築と グリーンインフラの評価

人間形成教育センター 堀 磨伊也
環境学部環境学科 小林 碧志・加藤 禎久

1. はじめに

人間の活動の影響で温室効果ガスが大気に放出される結果、気温が上昇し気候が変動する問題が深刻になってきている[1]。その中で、化石燃料利用を減らしてCO₂をはじめとした温室効果ガス排出を実質ゼロにする脱炭素社会の実現に向けて様々な取り組みが行われている[2]。

環境省の「脱炭素先行地域」[3]は脱炭素社会の実現に向けた取り組みの一つで、2050年のカーボンニュートラル実現に向けて、民生部門（家庭部門及び業務その他部門）の電力消費に伴うCO₂排出の実質ゼロを実現し、運輸部門や熱利用等も含めてそのほかの温室効果ガス排出削減についても、我が国全体の2030年度目標と整合する削減を地域特性に応じて実現することを目指している。鳥取市においても「RE:Birth（再エネ創出）で進める地域脱炭素と地域のRebirth（進化・再生）」[4]と題し、若葉台地区・佐治町全域で脱炭素の取り組みを行っている。

若葉台エリアに属する本学では太陽光発電設備の導入と省エネによるキャンパス全体の脱炭素化を目指し、その知見を研究・教育において活用している。2030年までに脱炭素キャンパスを実現するためには、再生可能エネルギー（再エネ）の大量導入が不可欠である。しかしながら、再エネの1つである太陽光発電の大量導入時には、気象条件によって発電量が大きく変動する問題が生じる。この課題を解決する手段の1つとして、建物の屋上に設置されたソーラーパネルや、蓄電池などの小規模の分散型エネルギー源を束ね、統合制御する分散型エネルギーマネジメントシステムが注目されている[5][6]。

2. エネルギーマネジメントシステム

本学および若葉台地区に再エネ設備を大量に導入する際には、電力需要量の予測と発電量の予測を行いながらエネルギーマネジメントを行うことが必要不可欠である。これらの予測結果を用いて蓄電池の最適制御もしくはデマンドレスポンスを行うことにより、再エネ設備により発電された電力を効率的に利用することが可能となる。ただし、ここでの予測は多種多様なデータを用いて高精度に行う必要があるが、深層学習に代表される複雑な予測モデルは中身がブラックボックスになる場合があり、何を根拠に予測結果が算出されているのかわからないことが多い。社会実装において根拠のわからない予測結果を用いて方策を決定することは信頼性・納得性の面で難しい。本研究では、電力需要量の予測と発電量の予測とを機械学習に基づく手法により行うとともに、SHapley Additive exPlanations（SHAP）[7]をはじめとした機械学習モデルの局所解釈を行う手法を適用することで予測根拠を明らかにし、予測に活用すべきかどうかの判断を行う。

3. 説明可能なAIを用いた電力需要予測

深層学習の中でもLSTM[8]、Seq2Seq[9]、Transformer[10]などでは、時系列データに基づく非線形なモデルを構築するため線形回帰などと比べて高い精度での予測が可能である。しかし一般に予測モデルの複雑さとその解釈性についてはトレードオフの関係があることが知られている。つまり、単純なモデルは予測精度の点では複雑なモデルに劣るがモデルの解釈性は優れている。一方で、深層学習モデルのような複雑なモデルは予測精度の点では優れているが、中身がブラックボックス化しており人間が解釈することが困難である。そのため、エネルギーマネジメントの構築の際に必要な電力需要予測および再エネ発電量予測を、説明可能なAIにより高精度に行うとともにその予測根拠を提示することは重要である。

SHapley Additive exPlanations (SHAP) [7]は、モデルの予測結果を説明するための手法であり、各特徴量の貢献度を算出することが可能である。この手法は、モデルの大域的な解釈方法とは異なり、モデルの個々の予測結果に対する入力特徴の貢献度を推定することが可能である。SHAPではゲーム理論におけるShapley値を各説明変数の貢献度とし、モデルの出力を説明変数の貢献度の線形和で表現する。ゲーム理論におけるShapley値は、あるプレイヤーが参加した場合と不参加の場合の報酬の差分から、そのプレイヤーの貢献度を求める手法である。ここで、プレイヤーを予測モデルの各説明変数、報酬を予測値とすることで機械学習モデルに適用する。この際、多くの予測モデルでは、ある変数が未知の場合、予測値を出力できないという問題がある。SHAPでは未知の変数がある場合、その未知の変数の期待値を用いることでこの問題を解決している。それにより、各特徴量の寄与の総和が予測値に一致する性質を持つ。入力特徴の貢献度はサンプルごとに異なるため、各予測結果に対して深い解釈を行うことが可能である。例えば、モデルの局所解釈を分析し、貢献度が高い入力特徴がノイズによって大きく変化するような場合は、予測精度の信頼性が低いことを意味し、反対に、貢献度が高い入力特徴の信頼度が高い場合には、予測精度の信頼性が高いことを意味する。

様々な予測モデルを構築した場合、予測モデルの妥当性というものは定量化することが困難であり、妥当な予測モデルを機械的に選択することは難しい。そのため最終的にサンプルごとの説明変数の貢献度の分析をもとに、複数のモデルの中から妥当なモデルを人間が選択することになる。人間にとって妥当ではないと判断される予測モデルは、トレーニングデータの偏りが原因で生成されたモデルが正確ではない可能性がある。つまり、人間が妥当だと判断したモデルのほうが汎化性能が高い可能性がある。モデル選択の際、異なるモデル間で貢献度の値を比較するのではなく、モデルごとにどの特徴量の貢献度が高いかを比較することによって妥当かどうかを判断する。

4. 実験

提案手法の有用性を示すために、本学施設における電力需要の予測を行い、予測精度の検証および予測結果に対する入力特徴の貢献度を可視化した。電力データは30分毎に記録されており、平均103.5kWh（標準偏差55.1kWh）であり、平日の日中にピーク需要があることが確認できた。2021年10月19日から2022年5月3日までのデータでモデルの学習を行った。

機械学習モデルとしてRandom Forest Regressor[11]を用いた。特徴量（説明変数）として時間帯

情報、気温、風速、日照時間、降水量、DI（不快指数）、イベント情報（平日か休日か、授業がある日かない日か、その他のイベントがある日かない日か）をそれぞれ用いた。DI（不快指数）に関しては以下の式（1）に基づき算出した。

$$DI=0.81 \times \text{気温} + 0.01 \times \text{相対湿度} \times (0.99 \times \text{気温} - 14.3) + 46.3 \quad (1)$$

モデルを構築後、2022年5月4日から2022年6月22日のデータで電力需要予測のテスト検証を行った。図1に約8日間における電力需要予測の結果を示す。図1の赤線は予測値を、青線は真値をそれぞれ表す。予測精度に関しては、平均絶対値誤差（MAE）は、10.66、二乗平均平方根誤差（RMSE）は、17.87となった。Random Forest Regressor[11]における各特徴量の貢献度の平均を図2に示す。こちらは、SHAPによる解釈とは異なり、大域的な特徴量の貢献度を表す指標となっている。実際に、時間帯情報、イベント情報（平日か休日か）、イベント情報（授業がある日かない日か）が推定に対する貢献度が大きいことがわかり、大学施設の電力需要予測として考慮すべきことが上位に挙がっていることがわかる。一方で、図1におけるP₁、P₂、P₃のそれぞれの予測値に対して、SHAPにより各入力特徴量の貢献度を可視化したものを図3-5に示す。ここで赤色の領域および赤字で記載された特徴量は、出力値（予測値）に対するプラスの貢献度を、青色の領域および青字で記載された特徴量は、出力値（予測値）に対するマイナスの貢献度を、それぞれ意味する。これらの各入力特徴量の貢献度を比較してわかるとおり、予測値に対して各入力特徴量の貢献度が大きく異なることが理解できる。大域的な特徴量の貢献度とも異なることがわかり、複雑なモデルほど局所的な解釈が必要であることがわかった。

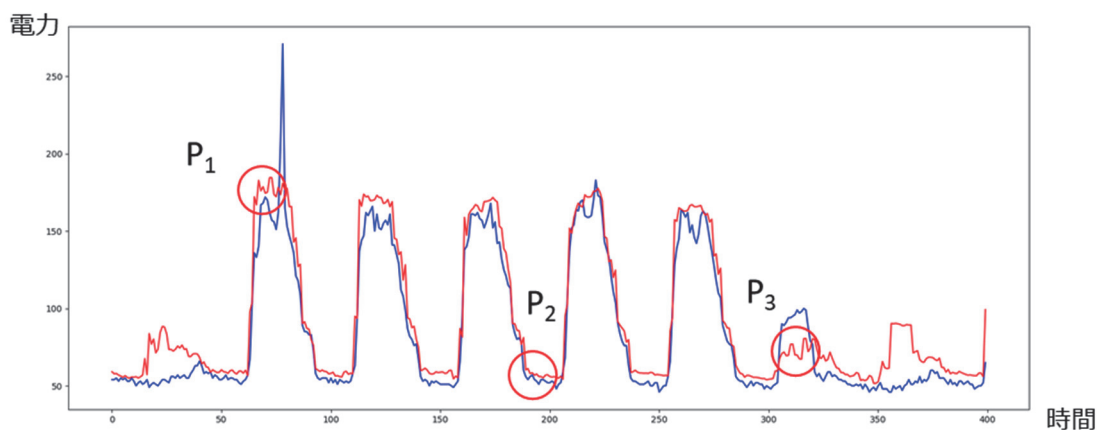


図1 電力需要予測の結果例（赤線：予測値，青線：真値）

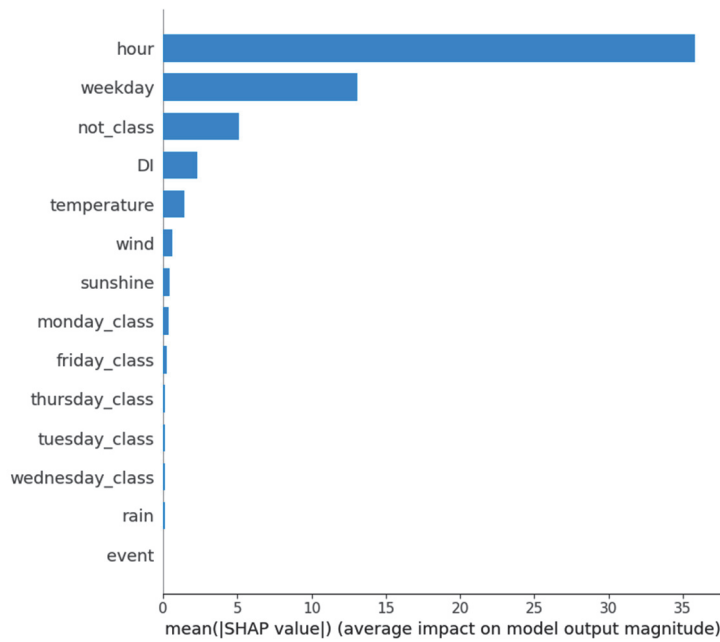


図 2 Random Forest Regressor[11] における各特徴量の貢献度の平均



図 3 P_1 (予測値: 174.53) に対するSHAP[7] による各特徴量の貢献度

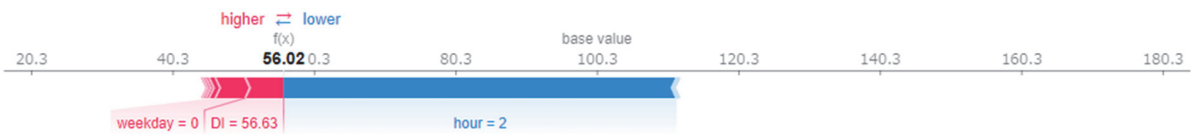


図 4 P_2 (予測値: 56.02) に対するSHAP[7] による各特徴量の貢献度

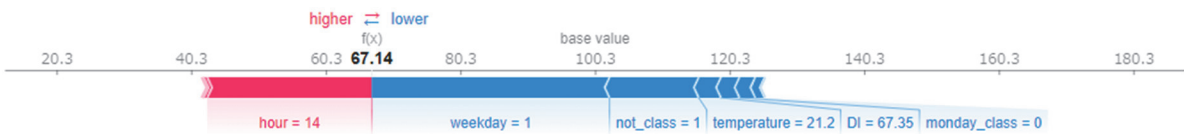


図 5 P_3 (予測値: 67.14) に対するSHAP[7] による各特徴量の貢献度

5. おわりに

本研究では、電力需要量の予測と発電量の予測とを機械学習に基づく手法により行うとともに機械学習モデルの局所解釈を行う手法SHAPを適用することで個々の予測根拠を明らかにし、その予測値の妥当性を確認した。

ただし、予測根拠が明らかになったとしても、地域内の電力需要量や再エネ発電量などは不確実性を持つため、分散型エネルギーの統合制御は容易ではない。今後は、これらの不確実性に対応するた

め、強化学習に基づく蓄電池の最適制御もしくはデマンドレスポンスを試みる。これにより再エネ設備の大量な導入とピークカットによる電力料金の削減を同時に実現する。

一方で、再エネ設備の大量導入により、グリーンインフラをはじめとした生態系が破壊されないことが重要であるため、若葉台地区でグリーンインフラがもたらす様々な生態系サービスを総合的に評価することも試みる。グリーンインフラがもたらす様々な生態系サービスを総合的に評価するのは困難が多い。本研究では、グリーンインフラの資源と機能を総合的に評価するために、まずマッピングによりその構成要素を把握し、次にi-Treeプログラム[12]を用いて樹木の機能を定量的に分析する。これにより若葉台地区においてグリーンインフラをはじめとした生態系を守りつつ、再エネの大量導入を実現することを試みる。

参考文献

- [1] AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/> [Online, accessed, April 24th, 2024].
- [2] 地球温暖化対策 | 環境省 <https://www.env.go.jp/seisaku/list/ondanka.html> [Online, accessed, April 24th, 2024].
- [3] 脱炭素先行地域 - 脱炭素地域づくり支援サイト <https://policies.env.go.jp/policy/roadmap/preceding-region/> [Online, accessed, April 24th, 2024].
- [4] 鳥取市が「脱炭素先行地域」に選定されました <https://www.city.tottori.lg.jp/www/houdou/contents/1681968825374/> [Online, accessed, April 24th, 2024].
- [5] 経済産業省資源エネルギー庁. VPP・DRとは https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/advanced_systems/vpp_dr/about.html [Online, accessed, April 24th, 2024].
- [6] 経済産業省資源エネルギー庁. 分散型エネルギープラットフォーム https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/bunsan_plat/ [Online, accessed, April 24th, 2024].
- [7] Scott M. Lundberg and Su-In Lee., A unified approach to interpreting model predictions, Advances in Neural Information Processing Systems, 2017.
- [8] Sepp Hochreiter, Jürgen Schmidhuber, Long Short-Term Memory, Neural Computation, Volume: 9, Issue: 8, 1997.
- [9] Ilya Sutskever, Oriol Vinyals, Quoc V. Le, Sequence to sequence learning with neural networks, Part of Advances in Neural Information Processing Systems 27, NIPS 2014.
- [10] Neo Wu, Bradley Green, Xue Ben, Shawn O' Banion, Deep Transformer Models for Time Series Forecasting: The Influenza Prevalence Case, arXiv:2001.08317, 2020.
- [11] scikit-learn; machine learning in Python <https://scikitlearn.org/stable/index.html> [Online, accessed, April 24th, 2024].
- [12] i-Treeプログラム, <https://www.itreetools.org/> [Online, accessed, April 24th, 2024].

農山村における世帯レベルの暖房機器使用状況と 薪ストーブへの転換意向 －鳥取市佐治地区を事例として－

環境学部環境学科 山口 創・鶴 耕作

1. はじめに

2050年のカーボンニュートラルの実現に向け、農山村においても脱炭素化が求められている。鳥取市と本学らが共同申請し2023年に採択された「脱炭素先行地域づくり事業」では、鳥取市佐治地区を実証フィールドとして小水力発電による地域電力の自給を主軸としたゼロカーボンバレイ化を計画している。しかし、地域で水力やバイオマスでエネルギーを生産したとしても、地域の脱炭素化が達成できるわけではない。地域の事業所や世帯では、電力だけでなく化石燃料（ガソリン、LPガス、灯油など）を直接消費しているため、地域の脱炭素化を達成するには、需要家レベルで化石燃料の消費を削減し再生可能エネルギーへの転換をすすめる必要がある。以上のように、農山村で脱炭素化を実質的に推進するためには、地域の需要家が脱炭素化の必要性を認識し自ら使用するエネルギーを転換する必要があり、そのための計画手法の構築が求められる。

これらの問題意識から、本研究では農山村の需要家のなかで大きな割合を占める世帯に着目し、世帯レベルでの化石エネルギー使用の実態解明と脱炭素化の方策を検討した。具体的には、農村世帯において化石燃料への依存割合が高いと想定される冬季の暖房利用を取り上げ、農村世帯が暖房に使用するエネルギーの実態と実質的にCO₂を排出しない薪ストーブへの転換意向の分析、薪ストーブに転換した場合のCO₂削減効果の推計、以上の2点に取り組んだ。なお、一般世帯のエネルギー消費¹⁾のうち約25%を暖房が占めており、電化製品の動力（34%）、給湯（27%）に次いで3番目に多い。また、農山村の家屋は風通しのよい日本家屋が中心であり断熱性能も高くないため、都市部の戸建住宅や集合住宅と比べ暖房用途のエネルギー消費量が多いと考えられる。これらの理由から、暖房時に消費するエネルギーの転換を図ることは、農山村の脱炭素化をすすめる上でのインパクトが大きいと考える。

2. 研究の方法

本研究では、農山村の事例として鳥取市佐治地区を対象にアンケート調査を実施し、世帯レベルでの脱炭素化について検討した。佐治地区は鳥取市の南東部に位置する中山間地域である。鳥取市中心部から佐治地区中心部まで車で約1時間の位置にあり、27集落に1732名（令和3年3月）が生活している。地区の多くが山林に覆われ林業も盛んであるため、木質バイオマスの供給地としても有望であり、本研究が着目するように暖房機器を薪ストーブへ転換する場合も世帯レベル、地域レベルで薪を自給できる見込みがあると考え対象地として選定した。

アンケート調査では、世帯レベルの暖房機器の使用状況、灯油の使用量、薪ストーブの導入状況および導入意向等についての設問を設けた。配布・回収はランダムに選定した10集落228世帯を対象に

各世帯につき1部をポストイングにて配布、郵送にて回収した。調査期間は2023年12月中旬～2024年1月上旬であり有効回答は86部、39.4%であった。なお、薪ストーブに関する設問では、メリットやデメリット、導入費用の説明を設けており、回答者が薪ストーブに関する基礎的な情報を得た上で回答できるように配慮した²⁾。

分析では、佐治地区での暖房機器の利用状況や灯油の使用量、薪ストーブの導入意向について、単純集計結果を用いて明らかにした。そして、明らかになった灯油の使用量から、暖房機器を薪ストーブに転換した場合のCO₂削減効果を推計した。

3. 佐治地区における世帯レベルの暖房機器の使用状況と転換意向

3.1 回答者の概要

表1にアンケート調査で得られた回答者の属性を示す。性別では男性70.9%、女性26.7%と男性の割合が高く、回答の多くは世帯主によるものと考えられる。年代では50代未満の回答はなく70代が47.7%、80代以上が21.4%と全回答の7割以上が70代以上であり、高齢化が著しく進行する佐治地区の現状を示す結果であった。また世帯状況では、夫婦世帯44.2%が最も多く、ついで二世帯世帯31.4%、一人暮らし12.8%が多かった。回答者の多くが高齢者である状況と併せて考えると、一人暮らしや夫婦世帯の多くは、高齢者世帯と考えられる。このような高齢者のみの世帯は、高額な初期投資が必要で、かつ灯油ファンヒーターやエアコンなど一般家庭で普及している暖房機器と比べて労力的な負担の大きい薪ストーブの導入には消極的と考えられる。一方、二世帯世帯や三世帯世帯も合計40%近くおり、このような比較的若い世帯員がいる世帯が薪ストーブの普及対象となると考えられる。

表1 回答者の属性

属性		n	%
性別	男性	61	70.9
	女性	23	26.7
	無回答	2	2.3
年代	50代	3	3.6
	60代	23	27.4
	70代	40	47.7
	80代以上	18	21.4
世帯状況	一人暮らし	11	12.8
	夫婦世帯	38	44.2
	二世帯世帯	27	31.4
	三世帯世帯	7	8.1
	その他	3	3.5

3.2 暖房機器および灯油の使用状況

図1は各世帯の暖房機器の利用状況を複数回答で尋ねた結果である。最も利用が多い暖房機器は、灯油ファンヒーター・ストーブ：90.9%、次いでエアコン：80.7%であり、多くの世帯は、灯油系の暖房器具、エアコンを併用していると考えられる。また、薪ストーブ8.0%、薪ボイラー4.5%と木質バイオマスを使用する世帯も少数確認できた。

次に灯油の使用量の結果をまとめる。アンケート調査で得られたサンプルのうち、暖房だけでなく給湯でも灯油系機器を使用している世帯は34世帯あり、暖房機器にのみ灯油を使用している世帯は52世帯であった。これら52世帯の年間灯油使用量は平均391ℓであった。なお内訳は100ℓ以下：6.4%、101～300ℓ：48.9%、301～600ℓ：29.8%、601～900ℓ：4.3%、901ℓ以上：10.6%であり、世帯間で使用量に差がみられた。

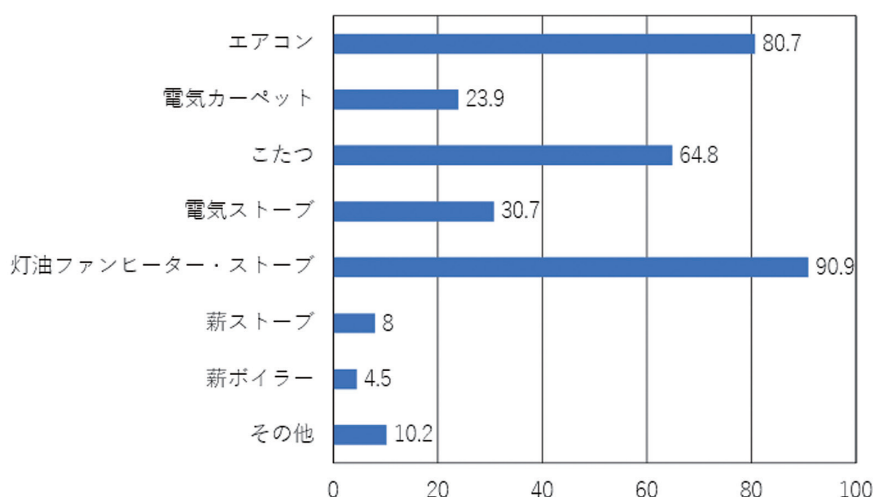


図1 世帯レベルでみた暖房機器の使用状況（複数回答、n=86）

3.3 薪ストーブの導入意向

薪ストーブの導入意向を図2に示す。薪ストーブを導入していない世帯の回答者に、薪ストーブ導入意向を「導入する予定がある」「導入に向けて具体的に検討中」「具体的な計画はないが導入してもよいと考えている」「関心はあるが、現実的に導入は難しい」「関心がない」の5段階で尋ねた。結果、「導入する予定がある」「導入に向けて具体的に検討中」の回答はなく、「具体的な計画はないが導入してもよいと考えている」の回答数は7(10%)であり、現時点で薪ストーブの導入に前向きな回答は少数であった。また、「関心はない」の回答数は25(35.7%)、「関心はあるが現実的に導入は難しい」の回答数は38(54.3%)であり、薪ストーブに対する関心はあるものの導入ハードルが高いと考えている層が一定数存在する結果となった。

加えて、「具体的な計画はないが導入してもよいと考えている」、「関心はあるが、現実的に導入は難しい」を選択した薪ストーブ導入に関心がある回答者に、薪ストーブの導入障壁について複数回答で尋ねた結果を図3に示す。結果、「薪を自給することが難しい」：54.8%、「導入時に必要な経費が高い」：45.2%、「自身や家族の年齢（高齢）」：45.2%の回答が多かった。回答結果が示すように導入の障壁は単一ではなく複数存在していることが確認された。

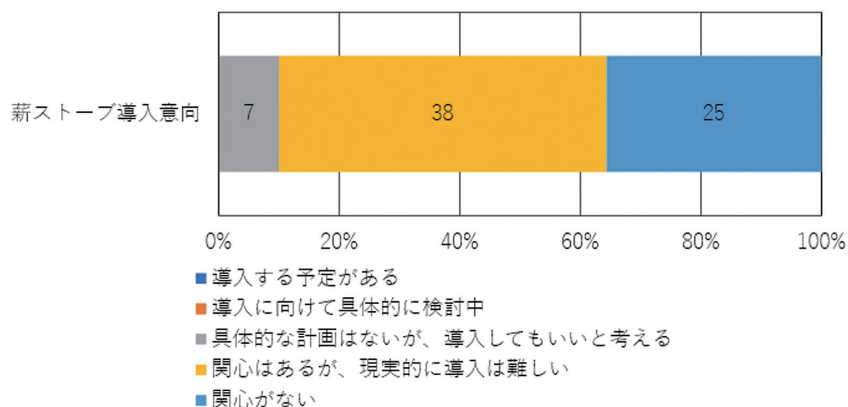


図2 薪ストーブの導入意向 (n=70)

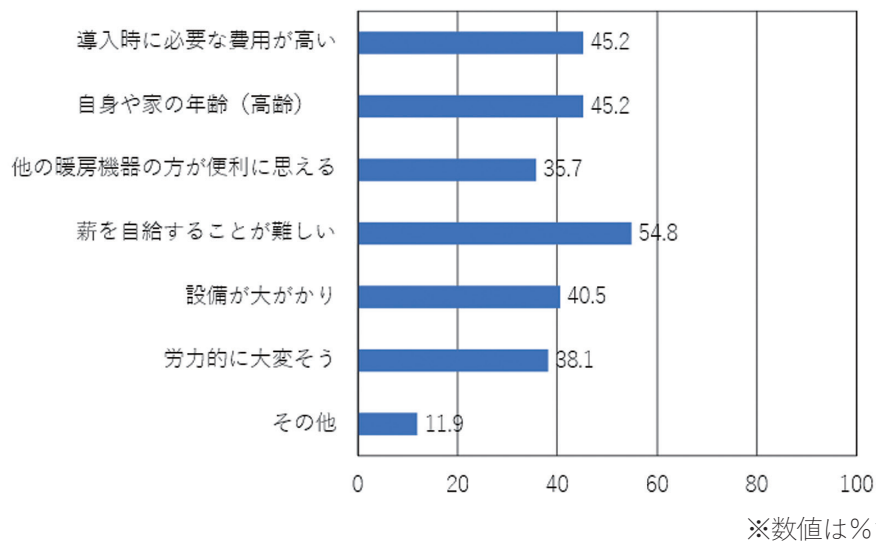


図3 薪ストーブ導入の障壁 (複数回答、n=42)

3.4 薪ストーブの導入促進策の検討

このように薪ストーブの導入障壁が明らかになったが、これら障壁を取り除く方法を薪ストーブ導入経費の補助、薪の自給の観点から検討する。まず薪ストーブの導入について、「具体的な計画はないが導入してもよいと考えている」、「関心はあるが、現実的に導入は難しい」と回答した回答者に、薪ストーブ導入に補助金はあれば導入したいか尋ねた結果、「30万円補助があるなら導入してもよい」: 23.1%、「導入は難しい」: 59%、「わからない」: 15.4%との回答結果が得られた。30万円の補助は、自治体が行う薪ストーブ導入の助成額としては高額な部類に入るが、ある程度の導入促進の効果が見込めることが明らかになった³⁾。

加えて、導入障壁となっていた薪の自給可能性を探るために山林の所有状況、山林から薪を切り出すことは可能かどうかを尋ねた。山林の所有状況 (n=83) では、「所有している」: 77.3%、「所有していない」: 17%、「不明」: 5.7%であり、多くの世帯が山林を所有している状況にあることがわかった。そして、自身の山林から薪を切り出すことが (立地的に) 可能かを尋ねた結果 (n=72)、「大抵の場所で可能」: 9.7%、「条件の良い場所では可能」: 36.1%、「できないと思う」: 54.2%であり、45.8%の回答者が薪を自給できる可能性があることがわかった。これらの結果から、佐治地区では世帯レベルで資源化できる山林自体は豊富であり、世帯単位で薪を切り出すことが難しいとしても、資源化していく仕組みを整えることができれば、自給できる可能性があることが示された。

4. 薪ストーブ導入時のCO₂削減量の推計

薪ストーブを導入した場合、どの程度のCO₂削減効果が見込めるのか推計した。推計では、暖房時の灯油利用が全て薪に置き換わった場合を想定する。アンケートの調査結果から灯油暖房機器を使用している世帯の平均灯油使用量は391ℓであったため、この値を世帯あたりの暖房用の灯油使用量として用いる。まず灯油の熱量0.036GJ/ℓ、CO₂排出係数0.0678t-CO₂/GJ⁵⁾ とすると、1世帯あたり暖房時の灯油使用によるCO₂排出量は、0.036GJ/ℓ × 391ℓ × 0.0678t-CO₂/GJ = 0.96t-CO₂となり、この値

が薪ストーブ導入時の1世帯あたりのCO₂削減量となる。なお、我が国の世帯単位の灯油によるCO₂排出量は、全世帯平均0.32t-CO₂、戸建住宅に限った全世帯平均0.50t-CO₂であるため⁶⁾、佐治地区の世帯の排出量はかなり多く、灯油機器の使用が多いことを示唆している。また、アンケート調査の結果から、灯油ファンヒーター/灯油ストーブの利用世帯は、90.6%であった。この割合を佐治地区全体に当てはめると、佐治地区で灯油暖房機器を使用している世帯数は681世帯⁷⁾となるため、佐治地区の暖房時の灯油使用によるCO₂排出量は681世帯×0.96t=651.9tとなる。以上から灯油暖房機器が薪ストーブに置き換わったと仮定すると1世帯当たり0.96t、佐治地区全体で651.9tのCO₂削減効果が見込まれることになる。

5. 結論

本研究では農山村の世帯レベルでの脱炭素化をすすめるため、エネルギー消費割合の高い暖房利用に着目し、暖房に使用するエネルギーの実態と薪ストーブへの転換意向、及び薪ストーブへ転換時のCO₂削減効果を推計した。結果、世帯レベルの暖房機器の使用状況では灯油ファンヒーター/灯油ストーブを使用する世帯の割合は90.9%であり、エアコンを使用する世帯数よりも多い現状が明らかとなった。そして、1世帯あたり暖房時の灯油使用によるCO₂排出量は0.96t-CO₂であり、全国平均と比べ3倍近い値であった。また、灯油暖房機器に代わる暖房機器としてCO₂を実質的に排出しない薪に着目し、薪ストーブの導入意向について尋ねた結果、回答者のうち35%は関心がないと回答する一方で、54%が関心はあるものの現実的に導入が難しく、世帯員の高齢化、初期導入費、薪の自給等が導入障壁となっていることが明らかとなった。さらに、導入障壁を取り除く方法を検討するため、薪ストーブ導入経費の補助、薪の自給可能性を調査した結果、薪ストーブ導入経費（30万円）の補助がある場合は、約23%の回答者が導入を検討するようになること、また回答者の70%近くが山林を所有し、うち約47%が薪を切り出すことができると回答しており、人員や設備を整えば薪を自給できる環境にあることが明らかとなった。

これらの結果から、当該地域では世帯レベルでの脱炭素化を進める上で薪ストーブを活用できるポテンシャルは大いにあるとともに、薪ストーブの導入により効果的に脱炭素化を進めることができると考えられた。ただし佐治地区では高齢化が進行しており、初期導入コストの高さや労力負担を考えれば、高齢世帯での導入は難しい。導入の可能性があるのは、二世帯世帯や三世帯世帯など今後も住み継いでいく見込みがある世帯であり、薪ストーブの普及にあたってはこれらの世帯を対象に促進策を検討する必要がある。

謝辞

本研究では、アンケート調査の実施にあたり鳥取市佐治地区の皆様にご協力頂きました。厚くお礼を申し上げます。

注

- 1) 資源エネルギー庁：令和3年度エネルギーの関する年次報告（エネルギー白書）、
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2022/html/2-1-2.html>（2023年4月21日閲覧）
- 2) メリットとして、薪を自給（もしくは安価に購入）することができれば、光熱費の節減につながることで、二酸化炭素の排出が実質的にゼロとなる暖房器具であること、輻射熱を利用するため部屋全体を暖めるのに適していること、デメリットとして薪ストーブの導入には排煙設備等を設置するため家屋の改修が必要であること、導入費用として合計100万円以上かかること、冬期の薪の使用量は一般家庭で約2.5トンであり、調査対象地周辺で購入しようとする5万円程度となることを説明した。
- 3) 鳥取市（佐治地区）では、薪ストーブ導入の助成制度は設けられていないが鳥取県下では若桜町、智頭町をはじめ13自治体が助成制度を設けている⁴⁾。また、なかには大山町（最大50万円）、若桜町（最大40万円）など、手厚い助成を実施している自治体もある。
- 4) 鳥取県：県内市町村の小規模発電設備等への助成制度、
<https://www.pref.tottori.lg.jp/33039.htm>（2024年4月25日閲覧）
- 5) 住環境計画研究所編：家庭用エネルギーハンドブック（2014版）、住環境計画研究所、東京、2014.
- 6) 環境省：令和4年度家庭部門のCO₂排出実態統計調査の結果について（確報値）、
<https://www.env.go.jp/content/000211412.pdf>（2024年4月25日閲覧）
- 7) 佐治地区の世帯数752（2021年3月時点）に灯油利用世帯割合を乗じて求めた。

地域脱炭素に向けた合意形成の過程に関する研究

環境学部環境学科 甲 田 紫 乃

1. 本研究の背景

1.1 「脱炭素先行地域」

日本政府は2020年10月に、2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする脱炭素社会への実現を目指すことを宣言した。あわせて、政府は2030年度に2013年度から温室効果ガスを46%削減することをめざし、50%の高みに向け挑戦を続けることを表明している。この目標を達成するため、地域の魅力と質を向上させ、同時に地方創生にも資する地域脱炭素の実現が重視されている。この地域脱炭素の実現に関わり、特に2030年までの行程と具体策を示した「地域脱炭素ロードマップ」が策定された。この「地域脱炭素ロードマップ」に基づく施策の一つが「脱炭素先行地域」の選定である。「脱炭素先行地域」とは、全国で地域脱炭素を展開していくためのモデルとなる地域のことであり、選定された地域には、地域脱炭素を促すための交付金による財政支援がなされ、2024年3月18日時点で全国36道府県94市町村の73提案が選定されている¹。

行政、地元企業、地域住民との連携を通じた地域脱炭素はドイツやオーストリアなど先進的な脱炭素の取り組みを行っている国では珍しいものではないが（室田ら 2013；的場ら 2021）、これまで行政主体で施策が行われてきた日本においては、行政のみならず、地元企業や地域住民をも巻き込んで行われることを想定したこの「脱炭素先行地域」（諸富ら 2023）は、特筆に値すると言えよう。持続可能な地域脱炭素の取り組みには、再生可能エネルギー等の地域特性に応じた選択、そして何よりも、取り組みを行っていくうえでの地域住民との合意形成が肝要となる。

1.2. 鳥取市による「RE:Birth（再エネ創出）で進める地域脱炭素と地域のRebirth（進化・再生）」

鳥取市は、提案タイトル「RE:Birth（再エネ創出）で進める地域脱炭素と地域のRebirth（進化・再生）」として、第3回脱炭素先行地域に選定された。この提案は、鳥取市の若葉台地区と佐治町地区をターゲットに、多様な再エネで電力を活用しつつ、自営線マイクログリッドや分散型エネルギー設備の最大導入と群制御技術を活用したVPPを導入することによって、地域の再エネ由来電力を最大限活用して脱炭素化を実現しようとするものである²。

鳥取市は2017年に「鳥取市都市計画マスタープラン」を策定した。このマスタープラン³は、市民サー

¹ 環境省：脱炭素地域づくり支援サイト、脱炭素先行地域、
<https://policies.env.go.jp/policy/roadmap/preceding-region/>、最終確認2024年4月23日

² 鳥取市提供資料より（2023年6月27日の打ち合わせにて）

³ 鳥取市：鳥取市都市計画マスタープラン、
<https://www.city.tottori.lg.jp/www/contents/1490598006681/files/master-plan.pdf>、
最終確認2024年4月23日

ビスの拠点である「中心市街地」と、鳥取市内にある各総合支所周辺等を「地域生活拠点」として定め、これらの各拠点を利便性の高い公共交通ネットワークでつなぐ「多極ネットワーク型コンパクトシティ」を目指すものである。「RE:Birth（再エネ創出）で進める地域脱炭素と地域のRebirth（進化・再生）」の対象地域の一つである。本研究の対象である若葉台地区は、鳥取市が市内に設定した11の「地域生活拠点」の一つであり、市内最大規模の住宅エリア、大学、誘致企業が立地している。

「RE:Birth（再エネ創出）で進める地域脱炭素と地域のRebirth（進化・再生）」における若葉台地区における民生部門電力の脱炭素化に関する主な取り組みで本研究に特に関わる点を以下に抜粋する。

若葉台エリアの既存戸建住宅750戸や公共施設等にオンサイトPPAで太陽光発電（4,079kW）、市有遊休地へオフサイトPPAで太陽光発電（3,700kW）・蓄電池を面的に導入するとともに、VPPによるエネルギーマネジメントで自家消費率を最大化⁴

また、本研究は持続可能な地域脱炭素の取り組みを見据えたものであるため、ゆるやかに以下の点にも本研究は関わる。

若葉台エリアの公立鳥取環境大学では、太陽光発電設備の導入とZEB化によるキャンパス全体のカーボンニュートラル化を目指し、その知見を教育・研究において活用⁵

2023年1月に市が若葉台地区自治会加入全世帯である1352世帯に実施したアンケート（回答率51.3%）によると、若葉台地区は、PPAによる太陽光パネル導入、蓄電池導入への関心がそれぞれ63%、72%と高く、すでに太陽光パネル設置済みが10%、蓄電池設置が2%という現状にある⁶。「脱炭素先行地域」においては、地域住民との合意形成が重視されることを踏まえると、脱炭素化に向けたPPAによる太陽光パネル導入、蓄電池導入は、地域住民が主体的に選択、合意したうえで行われる必要がある。

2. 本研究の目的

本研究では、当初、この鳥取市提案の『Re:Birth（再エネ創出）で進める地域脱炭素と地域のRebirth（進化・再生）』に関わり、主に以下の3点を研究目的としていた。すなわち、(1) 若葉台地区への再エネ関連設備導入に伴う、地域住民と行政との合意形成 (2) 地域住民の持続可能な脱炭素

⁴ 環境省：脱炭素先行地域選定結果（第3回）の概要、
<https://policies.env.go.jp/policy/roadmap/assets/preceding-region/3rd-DSC-kekka-gaiyo.pdf>、
14ページから抜粋、最終確認2024年4月23日

⁵ 同上

⁶ 鳥取市提供資料より（鳥取市経済観光部：エネルギーの地産地消による持続可能なまちづくりに関するアンケート調査報告について、2023年6月27日の打ち合わせにて）

社会に向けた、「主体的なまちづくり文化」の醸成、そして、(3) 合意形成が難しいとされる発電設備・施設に関する行政と地域住民との合意形成のためのモデルの構築の3点である。(1) から (3) を若葉台地区住民とのワークショップを通じて行うというのが本研究の当初の計画である。

地域脱炭素の取り組みに向けた地域住民との合意形成に向けたワークショップでは、住民参加の質が重要である。Row and Frewer (2000) は、住民参加の質を評価するための基準として、公的受容 (acceptance) と過程 (process) の2つの基準を提唱している。これを受けて、永田 (2009) は、特に過程 (process) の基準を満たすような環境デザインの住民会議を設計する際には、参加者の既存の環境意識を掘り起こし、新たな環境意識の創発を促し、共有する仕組みの必要性を述べている。

以上を踏まえ、本研究では、これまでの研究で考案したワークショップの手法 (科学リテラシー向上に資する講義とバックキャストを援用したワークを盛り込んだワークショップ) と、デンマークのDBT (Danish Board of Technology) によって開発され、環境影響評価に関わる住民会議で、北欧やドイツ語圏で活用されることの多いシナリオワークショップの手法を参考にしたものを構築・実践することで、新たな環境意識の創発 (脱炭素社会に向けた持続可能なまちづくり)、そしてこの過程で、地域住民による主体的なまちづくりの文化の醸成も図っていくことを目指していた。

本研究が、今後研究者と当事者 (若葉台地区住民、鳥取市) との協同的实践になっていくことを鑑みると、実際に実施するワークショップの内容は、ワークショップ実施前のプレ調査の結果を踏まえたものにする必要がある。以上から、2023年7月10日に若葉台地区各自治会の代表と鳥取市との事前協議を実施した。この協議における発言内容を分析したところ、「(若者である) 学生にぜひとも関わってほしい」という特に若葉台地区の希望が明らかになった。これを踏まえ、当初本研究で実施するワークショップでの学生の役割は、ワークショップ補助の位置付けであったが、これを学生がファシリテートも行い積極的に参加者に関わる役割に変更した⁷。これにより、本研究の分析視座に新たに「学生」が加わることになった。

3. 本研究の方法

本研究は、ワークショップの実施前の関係者との打ち合わせも含む全期間でエスノグラフィを実施し、その過程での、鳥取市、若葉台地区各自治会、ワークショップ参加者、学生のナラティブを分析した。

また、分析視座に新たに「学生」が加わることになったため、ワークショップの内容のアレンジに向けた学生に対してのPBL型演習⁸も行い、これについてもエスノグラフィを実施し、学生のナラティブの変化、学生同士、学生とワークショップ参加者との関係性の変化についても分析を行った。

⁷ 学生は甲田研究室に在籍の学生であり、本研究に参加の学生は、ゼミでワークショップの理論やファシリテートの仕方などについて学んでいる者たちである。

⁸ 週1で開催するゼミの後や空き時間、オンラインツールを用いて実施した。

4. 若葉台地区公民館で実施したワークショップ

本研究では、鳥取市との事前協議が3回、鳥取市と若葉台地区自治会各代表事前協議が1回、ワークショップを全6回（うち、プレワークショップが1回）実施し、ワークショップにファシリテートの役割を担って参加する学生は2名で、この2名は全ワークショップならびにワークショップ内容のアレンジに向けたPBL型演習にもすべて参加した。また、この学生2名は、若葉台小学校で実施されたワークショップにも参加することで地域住民との交流を図るなど、自主的な活動も行い、これらの結果をワークショップのアレンジにも反映させた。

若葉台地区自治会各代表と鳥取市との事前協議の際、若葉台地区自治会からは学生との交流を行いたいとの強い希望があったことを踏まえ、ワークショップには学生により積極的な役割を割り振り、世代間交流の意味合いも強くした。しかしながら、最後まで、自治会としてのワークショップの参加は0名であり、若葉台地区住民の参加は、学生が作成し、公民館経由で配布したチラシで個別に来た3名のみであった。写真1から写真3は2024年1月13日、20日、27日に実施した回のワークショップの様子である。



図1 ワークショップの様子
(2024年1月20日筆者撮影)



図2 ワークショップの様子
(2024年1月13日筆者撮影)



図3 ワークショップの様子
(2024年1月20日筆者撮影)

全ての回のワークショップは若葉台地区公民館で開催し、1回につき90分であった。いずれの参加者もチラシをみて参加した者であり、自治会として参加した参加者はおらず、個人としての興味・関心から参加した者であった。

参加者のナラティブからは、(1) 若葉台地区がオールドニュータウン問題に直面していると考えていること、(2) 若葉台地区の住民は居住開始時期に応じて大きく2つのグループに分かれると考えていること、(3) これらが若葉台地区のまちづくりに対する姿勢の差に影響を与えている可能性があると考えていること（これがこのようなワークショップへの参加人数の少なさにつながっているのではと考えていること）、などがうかがえた。

5. 学生と地域住民との協同的实践による「主体的に地域住民が関わる持続可能なまちづくりに向けた気運」の醸成の可能性

本研究で実施したワークショップの、参加人数の少なさこそはあれ、(むしろそれが功を奏したのかもしれないが) 学生と参加者との間で活発で多様な論点の対話が行われた点は、特筆すべき点であろう。対話の重要性は、特に脱炭素に関わる取り組みに関して、どんなに強調しすぎてもしすぎることはない。地域における脱炭素の取り組みは、その地域に住む住民（一部の住民のみならず、その地

域に住む多様な住民)の合意のもとに行われる必要があり、またその合意は、地域住民の主体的な関わりのもと、納得の上での合意である必要があろう。これがあってはじめて、一過性では無い持続的な取り組みとなり、まちづくりと一体化した取り組みとなり得る。

脱炭素先行地域評価委員による座談会「ゼロカーボンシティの実現に向けて」では、地域脱炭素の取り組みに住民をいかに巻き込んでいくのか、これまでの市民会議などの手法のみならず、新たな方法でいかに住民を巻き込み、この取り組みの仲間を増やしていくか、などの重要性も語られている(諸富ら 2023)。ここであかがえるのは、住民との協同的な活動としての地域脱炭素の取り組みであろう。

本研究でのワークショップは、想定していたよりも少人数の参加のワークショップとなったが、今後の若葉台地区における地域脱炭素の合意に向けた、主体的なまちづくり文化の醸成の萌芽となるワークショップになったと考えられる。さらに、本研究のワークショップを通して、若葉台地区のまちづくりに対する意識についても示唆を得た点も指摘しておきたい。

なお、本研究の詳細は、今後学術誌に投稿する予定であるため、本報告では概要にとどめている。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、鳥取市、若葉台地区自治会、若葉台地区公民館にご協力いただいた。厚く御礼を申し上げます。本研究は公立鳥取環境大学特別研究費の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 的場信敬・平岡俊一・上園昌武編：エネルギー自立と持続可能な地域づくり：環境先進国オーストリアに学ぶ、昭和堂、京都、2021
- [2] 室田武、倉阪秀史、小林久、島谷幸宏、山下輝和、藤本穰彦、三浦秀一、諸富徹：コミュニティ・エネルギー：小水力発電、森林バイオマスを中心に、農山漁村文化協会、東京、2013
- [3] 諸富徹・藤野純一・稲垣憲治編：ゼロカーボンシティ、学芸出版社、京都、2023
- [4] Raw, G., Frewer, L.: Public participation methods; A framework for evaluation: Science, Technology and Human values, 25:3-29,2000.
- [5] 総合地球環境学研究所監修・吉岡崇仁編：環境意識調査法：環境シナリオと人びとの選好、勁草書房、東京、2009

2023年度サステナビリティ研究所研究成果報告書

2024年6月

発行 公立鳥取環境大学サステナビリティ研究所

〒689-1111 鳥取市若葉台北一丁目1番1号

TEL (0857) 32-9100 (代)

FAX (0857) 32-9108

印刷 中央印刷株式会社

Tottori University of Environmental Studies
Sustainability Research Institute
Business Report 2023