

サステナビリティ研究所
研究成果報告書

Sustainability Research Institute
Business Report 2024

2024年度

巻 頭 言

2024年度の研究成果報告書の発刊に際し、一言ご挨拶申し上げます。

サステナビリティ研究所長として新たに就任いたしました。まず初めに、これまで本研究所に多大なるご支援を賜りました皆様に心より感謝申し上げます。私たちの取り組みがここまで成長できたのは、地域の皆様、学内外の関係者のご協力とご理解のおかげであり、改めて御礼申し上げます。

サステナビリティ研究所は、地域・社会の持続可能性に貢献する研究活動を推進し、学生や地域との連携を深めた実践的な取り組みを進めてきました。昨年度は、特に「GX（グリーントランスフォーメーション）」や「脱炭素化」の分野において、当研究所が中心的な役割を担う体制が整い、活動の幅を一層広げることができました。昨年11月には、サステナビリティ研究所主催の「SDGs特別シンポジウム」を開催し、環境省の「脱炭素先行地域プロジェクト」に関連する研究成果報告に加え、脱炭素先行地域プロジェクトに取り組む先導企業3社の事例紹介やパネルディスカッションも行いました。シンポジウムでは、脱炭素社会の実現に向けた取り組みが活発に議論され、本学と地域社会の連携の深化を示すものとなりました。

また、国際的な視点を重視し、昨年9月には鳥取県との連携で学生相互派遣事業を実施し、環境先進国フィンランド・トゥルク市に学生2名と教員1名を派遣しました。この機会を通じて、気候変動や脱炭素に向けた多様なアプローチを学び、国際交流の更なる発展が期待されます。

学内でも、学生EMS委員会からの提案で「TUES Sustainability Week」が再編され、学生主体で脱炭素に関する活動が展開されました。これにより、学生の主体性が育まれ、地域や社会との接点も強化されました。

さらに、鳥取県との産官学連携によるSDGs事業が拡大し、今後も多くのゼミが参画する形で進展しています。当研究所では「SDGs活動推進助成制度」を通じて、学生の企画支援を継続し、学内外のサステナビリティ活動を積極的に支えています。

今後、サステナビリティ研究所はこれまでの実績を踏まえ、地域社会との連携をさらに強化し、国際的な協力ネットワークの拡大を目指してまいります。特に脱炭素社会の実現に向けた取り組みを一層推進し、学生と共に学び、実践し、発信していくことを大切にしていきます。

最後に、日頃よりご支援を賜っている学内関係者の皆様、鳥取県、鳥取市、商工会をはじめとする関係機関の皆様に改めて感謝申し上げますとともに、今後も変わらぬご支援をお願い申し上げます。

2025年6月吉日

サステナビリティ研究所長

金 相烈

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由来バイオ炭の砂丘地農業への適用可能性に関する研究.....	5
環境学部環境学科	金 相烈
	荒木 美南
	多井 茉優
多様なセンサデータを用いたXAIによるエネルギーマネジメントとグリーンインフラの評価	12
人間形成教育センター	堀 磨伊也
経営学部経営学科	中澤 宏紀
環境学部環境学科	小林 碧志
	加藤 禎久
農業者のバイオ炭の導入背景と農業経営への影響に関する研究.....	22
環境学部環境学科	山口 創
住民主体のまちづくり文化の醸成に関する研究：地域脱炭素の取り組みに関する 合意形成を軸に.....	27
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（令和6年度時点） 田 島 正 喜

1. はじめに

1.1 環境省脱炭素先行地域プロジェクト概要

本学を含む（１）若葉台地区と、（２）佐治町の２エリアにおいて、地域共生型再生可能エネルギー（以降「再エネ」）を最大限導入することで地産地消の再エネ電力他による脱炭素社会の実現を目指す。さらに、この取り組みにより生活交通の持続可能性や林業・農業振興といった地域課題を解決し、地域循環共生圏の構築を目指す。

予算規模：総額約51億円（原則補助率2/3の補助事業）

実施期間：2023年～2030年（8年間）

（１）若葉台エリア

鳥取市の郊外型タウンとして開発され30年余が経過した。住民の高齢化に伴う生活交通などの地域課題が生じている。

需要家：1,680世帯、28民間施設、3公共施設（本学含む）

導入再エネ設備等：太陽光発電（PPA）、木質バイオマス熱電併給（以降「バイオマスコジェネ」）（2基）、蓄電池、電気自動車（以降「EV」）ステーション

（２）佐治町エリア

過疎地域であり、人口減少、高齢化の課題を抱えている。佐治川沿いに集落を形成しており、既設水力発電所の他に水力発電有望地が点在している。さじアストロパーク、観光農園等で観光振興によって過疎の克服を目指している。

需要家：740世帯、10民間施設、21公共施設

導入再エネ設備等：小水力発電、太陽光発電、木質バイオマスコジェネ（1基）、チップ製造、EVステーション、EVコミュニティバス、スマート農業

1.2 サステナビリティプロジェクト型研究

令和5年4月28日に採択された、本学と鳥取市、㈱とっとり市民電力、㈱山陰合同銀行4者の共同提案の、上記環境省脱炭素先行地域プロジェクト「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）」におけるプロジェクト推進のための諸課題を、研究・開発の視点で支援、補完、増強する本学教員連携による以下4点の課題を行う「プロジェクト型研究」である。

- ①若葉台地に設置予定のバイオマスコジェネシステム（発電能力40kW×2基）および佐治地区設置予定の同システム（発電能力40kW×1基）にて排出される燃焼灰対策及びその利活用方法等の研究
- ②本学設置予定の太陽光発電設備及び省エネルギー（以降「省エネ」）設備の導入及びそれらを用いたBEMS（Building Energy Management System）や若葉台地区をも対象にしたCEMS（Community

Energy Management System)等のエネルギーマネジメント構築技術、加えて講義棟他の省エネ改修によるZEB (Zero Emission Building) 化技術の研究

(CEMSの補足として、広範な太陽光設備導入に伴う若葉台地区のグリーンインフラ評価研究)

③若葉台地区への再エネ関連設備(太陽光発電、蓄電池、自動運転EV等)導入に伴う様々な需要家(住民)に対するグループダイナミクス手法等による合意形成のための研究

④今後一層過疎化が進む佐治地区での再エネ設備(小水力発電、太陽光発電、木質バイオマスコジェネシステム等)を用いた最適なエネルギーインフラ整備計画等の研究

特記: 上記③、④は、前回(令和4年8月)の環境省公募において不採択となった際の、解決すべき課題として提示された項目に関する研究課題である。

2. 2024年度プロジェクト実績

2023年度より開始されたプロジェクトに対して以下2点が大きく変更となった。

①2023年度に鳥取県を通過した台風7号の佐治地区への影響として(台風被害は2023年度の研究成果報告で報告済)木合谷川小水力発電事業(196kW)を中止、佐治川小水力発電(300kW)を496kWに増強して代替する。

②特に若葉台地区PPA戸建て対応を中心に、新事業体を設立して対応する体制の変更がなされた。

【新事業体の概要】

会社名: 株式会社スマートエネルギーとっとり

資本金: 4,000万円(出資者: 鳥取市、ダイヤモンド電機株式会社、株式会社城洋、株式会社市民エネルギーとっとり、株式会社鳥取銀行)

代表者: 深澤 義彦 鳥取市長

設立日: 令和6年12月19日

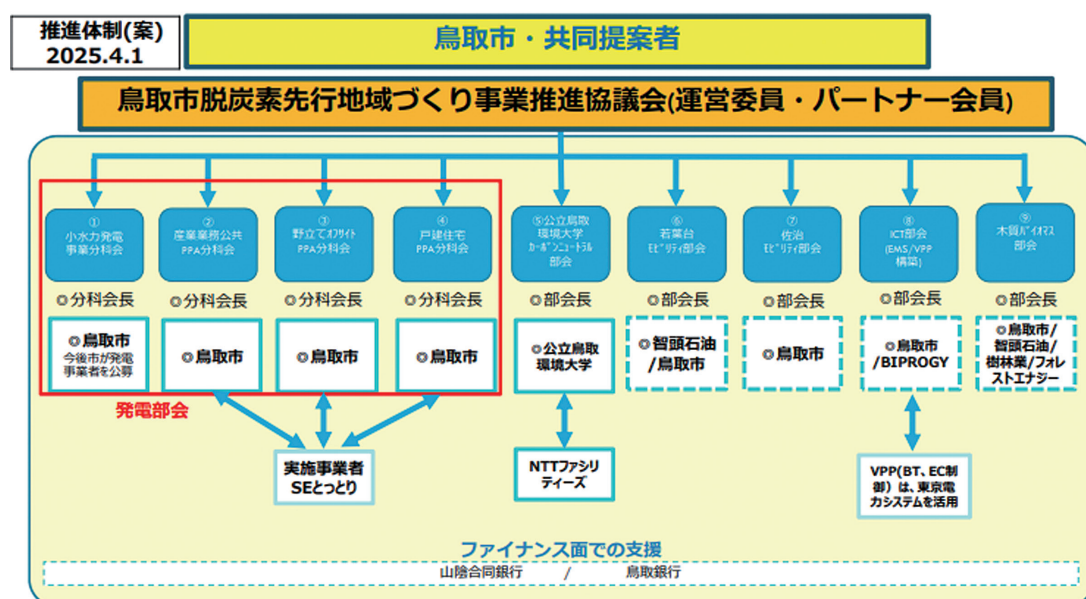


図-1 プロジェクト新体制図

★特記 2024年度の若葉台地区戸建て向け太陽光発電設備設置状況は、上記新事業体制を整えた影響で、当初目標だった150件が、3件の実績のみとなり大幅に遅延している。

2025年度からのプロジェクト推進体制図を図－1に示す。

3. サステナビリティプロジェクト型研究の実績および2025年度展開

各研究課題の2024年度実績は課題ごとの成果報告に委ねる。2024年度の実績をもとに2025年度の研究課題を以下に設定した。

【2025年度の研究課題】

- ①脱炭素先行地域プロジェクトで導入予定のバイオマスコジェネシステム（発電能力40kW×3基）にて排出される燃焼灰（バイオチャー）の農業利用への特性評価研究
- ②本学施設予定の再エネ設備の導入及びそれらを用いた BEMSや若葉台地区をも対象にした CEMS等のエネルギーマネジメント構築技術、加えて講義棟他の省エネ改修による ZEB化技術の研究
- ③若葉台地区への再エネ関連設備（太陽光発電、蓄電池、自動運転EV 等）導入に伴うステークホルダーに対するグループ・ダイナミックス手法等による合意形成のための研究
- ④脱炭素化を契機とした佐治地区の社会システムの変容と持続可能な計画モデルの構築

木質バイオマス発電由来バイオ炭の砂丘地農業への 適用可能性に関する研究

環境学部環境学科 金 相烈・荒木 美南・多井 茉優

1. はじめに

本研究は、本学と鳥取市、株式会社とっとり市民電力、株式会社山陰合同銀行の4者による共同提案として採択された、環境省の「脱炭素先行地域プロジェクト」の一環で実施されたものである。本プロジェクトでは、佐治地域等に設置が予定されている木質チップ用超小型ガス化炉から排出される燃焼灰（以下、バイオ炭）を、地域内の農業において土壌改良資材として活用する可能性を検討する。

鳥取県は日本有数の砂丘地帯を有しており、そこでの農業（以下、砂丘地農業）では、らっきょう、ながいも、ぶどう、白ネギなど、砂質土壌に適した多様な作物が栽培されている。砂丘地農業には、通気性や排水性に優れた土壌による作物品質の向上といった利点がある一方で、保水性・保肥性の低さ、地温の急激な変化、土壌の自然肥沃度の低さといった課題が指摘されている。

2. 研究目的と背景

本研究では、上記の課題に対して、木質バイオマス発電由来のバイオ炭が砂丘地農業において有効な土壌改良資材となり得るかを検証することを目的とし、以下の2点について明らかにすることを目的とした。

- I. 鳥取県の砂丘地で農業を営む農家に対してヒアリング調査を実施し、現状の課題やニーズを把握するとともに、バイオ炭導入に対する受容性を探る。また、室内実験により、砂質土壌におけるバイオ炭の水分および養分保持性能を評価する。
- II. 砂とバイオ炭の混合割合を調整した室内栽培実験（ラディッシュを使用）を実施し、バイオ炭施用が砂丘地農業における保水性・保肥性および作物生育に与える影響を基礎的に検討する。

3. 研究方法と結果

3.1 ヒアリング調査による砂丘地農業の課題とバイオ炭導入可能性の検討

砂丘地で農業を営む農家を対象にヒアリング調査を行った結果、共通の課題として「砂質土壌の保水性・保肥性が乏しいために、水やりや施肥の頻度が高く、作業の手間やコストが増大している」という声が挙げられた。そのため、施肥や水管理の効率化に資する資材の導入が望まれている。

バイオ炭の導入可能性に関しては、農家の経営形態によって意見が分かれた。JAの指導下でらっきょうを栽培している農家からは、「JAが定めた施肥や管理方法の体系があるため、農家の独自判断による新資材の導入は難しく、リスクがある」という慎重な意見があった。一方、個人でさつまいもを栽培する農家からは、「収量や品質に悪影響が出ないことが前提だが、作業負担やコスト削減につながるのであれば施用を検討したい」という前向きな意見も得られた。

また、バイオ炭の物理的性状については、「風で飛散しやすい粉状ではなく、粒状が望ましい」との意見が共通して聞かれた。さらに、施用時の効果や持続性、適切な施用量と方法についての関心も高かった。これらのことから、バイオ炭の導入に向けては、農家が安心して施用できるよう、科学的根拠に基づいた効果の証明や適切な施用マニュアルの整備、加えて作業負担やコストの軽減につながるという実証が重要であると考えられる。

3.2 バイオ炭の保水性・養分保持能力評価

3.2.1 実験方法

ペットボトルを利用したカラム（ペットボトルカラム）を作成し、各カラムの中に、異なる配合率（0%、5%、10%）のバイオ炭を含む砂質土壌を充填して実験をおこなった。カラムには、表1のように、川砂の体積（170ml）を基準として、川砂の一部をバイオ炭（5%、10%）に置き換えた砂質土壌を充填した。図1のように、500mlペットボトルの底を切り取り、カラムとして使用した。カラムの底部分にプラスチックフィルターとグラスウールを設置し、ろ過機能を持たせた。底部からは一定量の水溶液が通過できるように製作した。バイオ炭の粒子が細かいため、川砂と全体が混ぜ合わされるように、試料の色が均一になるまでかき混ぜた（写真1）。

表1 各カラムに充填された土壌の構成

カラム番号	バイオ炭配合率（体積）	砂質土壌（川砂）	バイオ炭
カラム①, ②	0%（対照）	170ml(250g)	なし
カラム③, ④	5%	161.5ml(約 237g)	8.5ml(約 1.25g)
カラム⑤, ⑥	10%	153ml(約 225g)	17ml(約 2.5g)

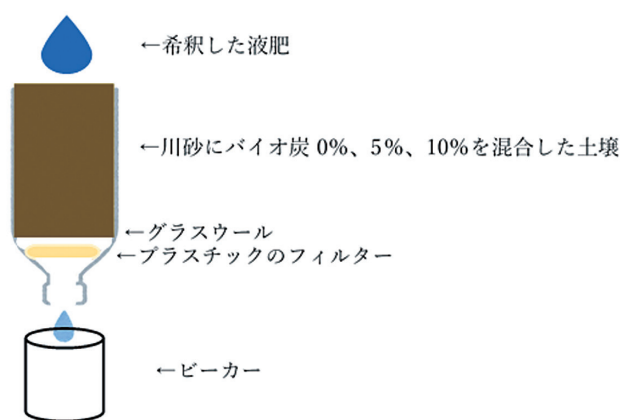


図1 ペットボトルカラムの構成



写真1 カラム実験装置の例

各カラム（①～⑥）に対し、窒素・リン・カリウム（N・P・K）を含む混合肥料の希釈液（初回は100ml、2回目以降は20ml）を上から均等に注入し、カラム上部および受け皿のビーカーには軽く

穴を空けたラップを被せて蒸発を防止した。注入後24時間経過した時点で、カラムを通過した水溶液をろ過し、得られたろ液は冷蔵保存した。この操作を7日間にわたり繰り返し、実験終了後にろ液中の無機イオン濃度をイオンクロマトグラフィー（IC）により測定した。

3.2.2 水分保持特性の評価

バイオ炭の水分保持能力を評価するため、バイオ炭配合率を変えたカラムに液肥を注入し、1滴目が出るまでの時間と20mlが通過するまでの時間を計測した（表2）

表2 水分保持能力を測る実験結果（6回目注入時）

	カラム①, ②	カラム③, ④	カラム⑤, ⑥
1 滴目が出るまでの時間	0 秒 6 8	3 秒 2 1	4 秒 2 9
20ml が通過する時間	2 6 秒 9 5	1 分 5 5 秒 8	3 分 4 5 秒 2

表2で示したように、液肥の注入開始から最初の一滴が滴下するまでの時間および20mlが通過するまでの時間は、いずれも川砂のみの土壌よりもバイオ炭を含む土壌の方が長く、バイオ炭の配合率が高くなるにつれてその傾向が顕著となった。特に20mlが通過するまでの時間においては、バイオ炭5%と10%の間に明確な差が見られ、配合率の増加による影響がより大きく現れた。

これらの結果から、バイオ炭の添加は土壌中における液体の浸透速度を低下させるとともに、保水性を高める効果があると考えられる。すなわち、バイオ炭の配合比率が高まるほど、液体の浸透が緩やかになり、土壌中に保持される水分の持続時間が延長される傾向が確認された。

3.2.3 養分保持特性の評価

図2はアンモニウムイオン（ NH_4^+ ）の保持率の変化を示している。図2に示すように、注入されたアンモニウムイオンに対して、初回から3回目までは約40%が保持されたが、4回目以降は約75%と高い保持率を示した。一方で、バイオ炭を混合していない川砂においても、ほぼ同様の傾向が見られた。

このように保持率が3回目前後で大きく変化した要因としては、初期（1回目～3回目）の段階では、バイオ炭や川砂の表面がまだ水に十分濡れておらず、またイオンとの接触も不十分であったため、吸着サイトが十分に機能していなかった可能性が考えられる。繰り返し NH_4^+ を通過させることで、これらの表面が徐々に馴染み、保持能力が高まったと推察される。

また、バイオ炭の混合による明確な保持効果が確認できなかった理由としては、本実験で用いた

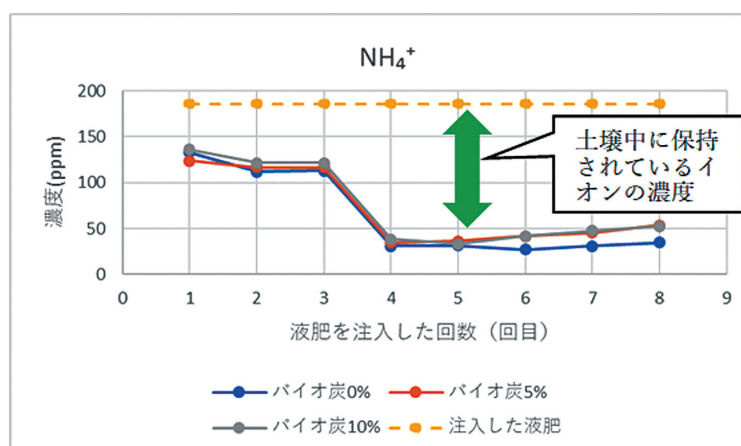


図2 NH_4^+ のイオン濃度の変化

バイオ炭が800℃以上の高温で生成されたものであり、このような高温条件では陽イオン交換容量（CEC）が低下するため、イオン保持への寄与が限定的であった可能性がある。ただし、この点についてはさらなる検討が必要である。

図3はカリウムイオン（ K^+ ）の保持率の変化を示している。図3に示すように、1～3回目の液肥の注入においては、バイオ炭を配合した試料からのみ、注入した液肥のカリウム濃度を上回る K^+ イオンが検出された。これは、バイオ炭自体から多量の K^+ が溶出したことが主要要因と考えられる。

カリウムイオン（ K^+ ）の保持の傾向は、アンモニウムイオン（ NH_4^+ ）と類似しており、保持率の変化に関しても同様の理由、すなわち繰り返しの通液によって表面がイオンに馴染んだことや吸着サイトの活性化などが関与していると推察される。

図4はリン酸イオン（ PO_4^{3-} ）の保持率の変化を示している。図4に示すように、リン酸イオンは1回目にはわずかに溶出が確認されたが、2回目以降はバイオ炭配合の有無にかかわらず、いずれの試料においても保持率はほぼ100%を示した。このように、保持能力自体は非常に高いが、その傾向はアンモニウムイオン（ NH_4^+ ）やカリウムイオン（ K^+ ）と同様の変化パターンを示している。

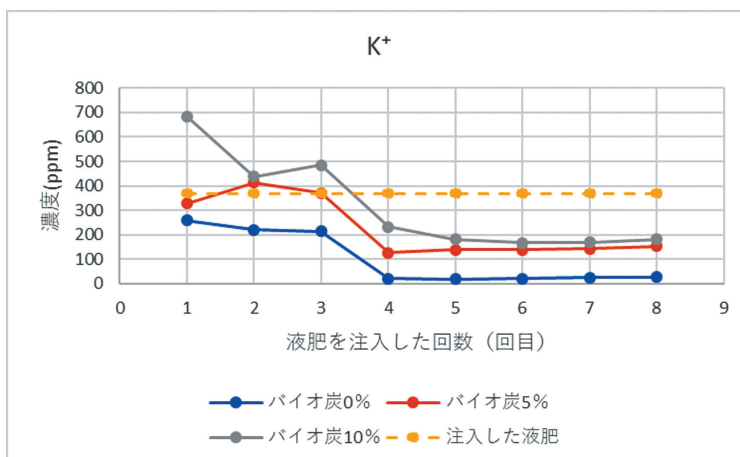


図3 K^+ のイオン濃度の変化

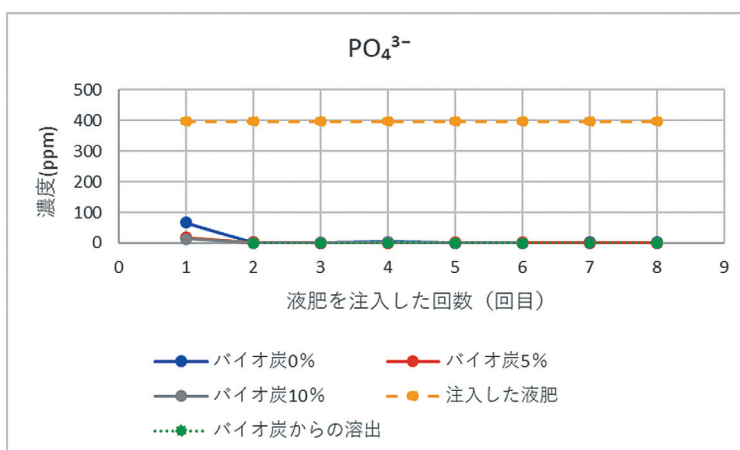


図4 PO_4^{3-} のイオン濃度の変化

3.3 ラディッシュ栽培実験による生育評価

3.3.1 生育状況

写真2はラディッシュの栽培状況をしめしている。各条件につき2つのポットを用意し、左から順に①肥料無・バイオ炭0%、②肥料有・バイオ炭0%、③肥料無・バイオ炭5%、④肥料有・バイオ炭5%、⑤肥料無・バイオ炭10%、⑥肥料有・バイオ炭10%の6条件とした。



写真2 ラディッシュの生育状況

このうち、肥料を施さなかったポット（①、③、⑤）では、栄養分をほとんど含まない川砂を使用しているため、植物の生育はほとんど見られず、葉が弱ったり成長が停滞する様子が確認された。一方、肥料を施したポット（②、④、⑥）では植物の成長が確認され、肥料の供給によって生育が促進されたと考えられる。これらの結果から、川砂のような養分に乏しい砂地においては、植物栽培における定期的な施肥および追肥が不可欠であることが示唆された。

3.3.2 重量測定と考察

表3は、ラディッシュの平均重量の測定結果を示している。肥料を施用しなかったポットでは、バイオ炭の混合率にかかわらず実の形成が見られなかったため、表には肥料を施用したポットの結果のみを示した。

バイオ炭を0%および5%混合した土壌では、ラディッシュの重量に大きな差は認められなかったものの、平均値では5%混合の方がわずかに高かった。一方で、バイオ炭を10%混合した土壌では、平均重量が著しく低下し、生育が大きく阻害されたことがわかった。

これらの結果から、バイオ炭の混合率が5%程度であれば植物の生育に悪影響を与えず、場合によっては成長を促進する効果が期待できる。一方で、10%のような高濃度での混合は、植物の成長を抑制する可能性があると考えられる。なお、今回の実験では、バイオ炭施用による土壌pHの顕著な上昇は確認されなかったことから、適切な混合率であれば、pHの変動による悪影響は限定的であると推察される。

表3 ラディッシュの重量測定結果

試料	重さ(g)	重さの平均(g)
肥料有、バイオ炭0%①	5.23	5.36
肥料有、バイオ炭0%②	4.65	
肥料有、バイオ炭0%③	5.89	
肥料有、バイオ炭0%④	6.14	
肥料有、バイオ炭0%⑤	4.40	
肥料有、バイオ炭0%⑥	5.84	
肥料有、バイオ炭5%①	4.14	5.67
肥料有、バイオ炭5%②	6.97	
肥料有、バイオ炭5%③	3.38	
肥料有、バイオ炭5%④	5.83	
肥料有、バイオ炭5%⑤	8.01	
肥料有、バイオ炭10%①	0.6	1.45
肥料有、バイオ炭10%②	1.46	
肥料有、バイオ炭10%③	2.29	

写真3、4、5はそれぞれの条件におけるラディッシュの実の様子を示している。



写真3 肥料有りバイオ炭0%



写真4 肥料有りバイオ炭5%



写真5 肥料有りバイオ炭10%

成長阻害の原因としては、高配合による水分過剰保持による根の酸素不足、養分吸着による可用性低下、微生物環境の変化などが考えられる。今後は、異なる作物や長期試験を通じて、これらの要因について詳細な検討を行う必要がある。

4. 結論と今後の課題

本研究では、鳥取県の砂丘地農業において、木質バイオマス発電由来のバイオ炭が有効な土壌改良資材となり得るかを、ヒアリング調査および室内実験により検討した。

ヒアリング調査の結果、農家が共通して認識する課題は、砂質土壌の保水性・保肥性の低さに起因する頻繁な水やり・施肥による作業負担やコストの増大であった。また、バイオ炭導入への関心は高いものの、導入の可否は農家の経営形態により意見が分かれた。導入に向けては、施用効果の科学的実証やマニュアル整備が重要である。

実験結果からは、バイオ炭の配合率が高いほど、水分の浸透が遅くなり、保水性が向上することが確認された。これにより、バイオ炭には砂質土壌の水分保持能力を高める効果があると考えられる。一方、養分保持については、バイオ炭を施用した川砂のポットと、バイオ炭を施用していない川砂のポットで養分保持能力や水分保持能力の変化を比較した結果、両者において同様の傾向が見られた。特に、バイオ炭施用ポットにおいては、予想されていたような土壌改良効果（特に養分保持能力の向上）は確認できなかった。これは、高温で処理したバイオ炭の陽イオン交換容量（CEC）が低下したことが原因と考えられる。このため、バイオ炭による土壌改良効果が十分に発揮されなかった可能

性が示唆される。

今後の課題としては、バイオ炭の陽イオン交換容量（CEC）などの物理化学的特性を詳細に確認し、川砂単独とバイオ炭施用時で効果に差が見られなかった原因を明らかにするために追加実験を行うとともに、異なる土壌条件下での効果検証や、農家への導入に向けた情報提供とマニュアル整備が必要である。

多様なセンサデータを用いたXAIによるエネルギーマネジメントと 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
経営学部経営学科	中澤 宏紀
環境学部環境学科	小林 碧志・加藤 禎久

1. はじめに

2015年12月に採択されたパリ協定を受けて、我が国でも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社会を目指すことが宣言されている。これを実現するためには、エネルギー源として永続的に利用することができる再生可能エネルギー（再エネ）の大量導入が重要な役割を担っている。一方で電力系統では、電力の安定供給のため需要と供給が同量になるように調整する必要がある。太陽光発電のような再エネは発電量が天候に大きく依存するため、再エネを大量導入した場合に電力の安定供給が難しくなる。蓄電池の最適制御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が、需要量と発電量に関しては予測に頼らざるを得ない。しかしながら、深層学習に代表される複雑な予測モデルは、多種多様なデータを用いて高精度に推定できる可能性があるが、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。

そこで本研究では、電力需要予測を多様なセンサデータを用いた説明可能なAI（XAI）により高精度に行うとともにその予測根拠を提示する。これにより再エネ設備の費用対効果を考慮した効率的な導入を実現するだけでなく、効果的なデマンドレスポンスの実現により電力のピークカットを実現し電力料金の削減を試みる。

一方で、温室効果ガス排出量の削減と吸収量の拡大を実現するための手法として、太陽光発電設備の導入と屋上緑化がそれぞれ存在する。しかし、太陽光発電設備の導入時には景観破壊が起こるといった問題点があり、屋上緑化の導入時には維持管理とコストが大きな課題となる。本研究では、太陽光発電設備と屋上緑化を導入した際の問題を防ぐため、再生可能エネルギー導入時における持続可能な景観設計手法を提案する。

2. 従来研究と本研究の位置づけ

エネルギーマネジメントに関する研究[1]はマイクログリッドを想定して数多く行われており、深層学習等[2]による需要量や発電量の予測が一般的に用いられている。しかしながら、これらの手法の中には予測の根拠に応じて局所的に異なった制御を行うシステムは存在しない。一方で深層学習モデルの解釈性・説明性を局所的に分析する研究[3]は、ブラックボックスモデルの出力に対して、その入力ごとに出力根拠を提示することでモデルに解釈性を与える。本研究では、従来手法と同様に深層学習により需要量の予測を用いるが、複数の予測値だけでなくそれらの根拠情報を用いて最適制御を行う

点が従来手法とは一線を画す。これにより、たとえ同じ予測値をモデルが出力したとしても、その予測根拠が異なれば異なった制御を行うことができる。

一方で、再生可能エネルギー導入時における持続可能な景観設計として、屋上緑化[4]が存在する。しかし、屋上緑化の導入時には維持管理とコストが大きな課題となる。本研究では、太陽光発電設備と屋上緑化を導入した際の問題を防ぐため、再生可能エネルギー導入時における持続可能な景観設計手法を提案する。

3. 多様なセンサデータを用いたXAIによるエネルギーマネジメントとグリーンインフラの評価

3.1 多様なセンサデータを用いたXAIによるエネルギーマネジメント

電力需要量の予測を行う際に、特性に合わせたデータ取得を行う。電力関連情報（施設・部屋ごとの電力需要量、太陽光設備による発電量）だけでなく、環境情報（気象情報、イベント情報、施設・部屋ごとの人の活動量など）の取得を行い、これらを時系列データとして深層学習モデルを作成する。その時系列モデルに対して局所解釈手法[3]を適用し、それぞれの予測値に対する入力特徴の貢献度を取得する。これにより再エネ設備の費用対効果を考慮した効率的な導入を実現するだけでなく、効果的なデマンドレスポンスの実現により電力のピークカットを実現し電力料金の削減を試みる。

3.2 景観色彩設計に基づく景観作成

従来手法では、導入した際の景観破壊や管理コストなどの課題を抱えている。この課題を解決するために、導入前に景観色彩設計に基づく景観を作成し、ARを用いてシミュレーションを行う。本節では、景観色彩設計に基づく景観作成手法について説明する。

文献[5]によると、景観色彩は色を使って景観をコントロールすることである。また、周りの環境と合うように建物等の色を検討し、統一感のある見た目にすることとも述べている。本研究の場合、太陽光発電設備と屋上緑化が周りの景観に合致した景観を作成することが目標となる。本研究では、景観を作成する上で実際に戸建て住宅を対象とした色彩設計のプロセスを参考にする。本研究では、色彩設計における色彩提案と色彩施工管理のプロセスにARによる可視化を用いる。ARを用いる目的は、太陽光発電設備と屋上緑化を導入する前にあらかじめシミュレーションしておくことで、導入後の景観破壊やコスト発生などの問題を防ぐことである。

本研究ではビジョンベースARの中でもマーカレス型AR[6]を使用する。ビジョンベースARを使用することにより、太陽光発電設備と屋上緑化をARによって可視化する際に精密な位置推定が可能となる。屋上の正確な位置に3Dモデルを配置できなければ、実際の景観を想像することが難しくなると考えられる。また、3Dモデルを配置する場所がARマーカを設置することが困難である屋上のため、ビジョンベースARの中でもマーカレス型ARを使用する。本研究ではマーカレスARを使用し屋内から屋上の特徴点を認識し3Dモデルを現実世界に重ねて表示する。

4. 実験

4.1 多様なセンサデータを用いた電力需要予測とその根拠の可視化

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193.6kWh（標準偏差113.7kWh）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。2024年11月18日から2025年3月1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[7]を用いた。特徴量（説明変数）として時系列の電力需要値、時間帯情報、休日かどうか、イベント情報（何曜日授業か、イベントか）、気象庁観測データ（気温、日照時間、降水量、DI（不快指数）、風速）、11・17・30・100・200講義室のセンサデータ（温度・湿度・CO₂濃度）をそれぞれ用いた。

モデルを構築後、2025年3月2日から2025年3月27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、15.7、二乗平均平方根誤差（RMSE）は、21.3となった。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2と図3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。

電力需要量

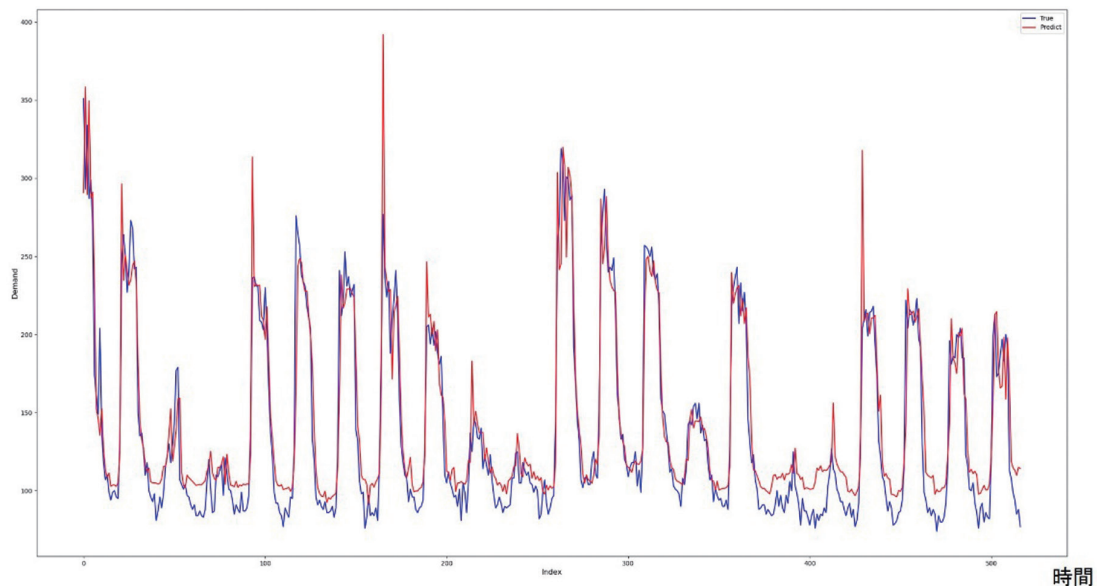


図1 電力需要予測の結果例（赤線：予測値、青線：真値）

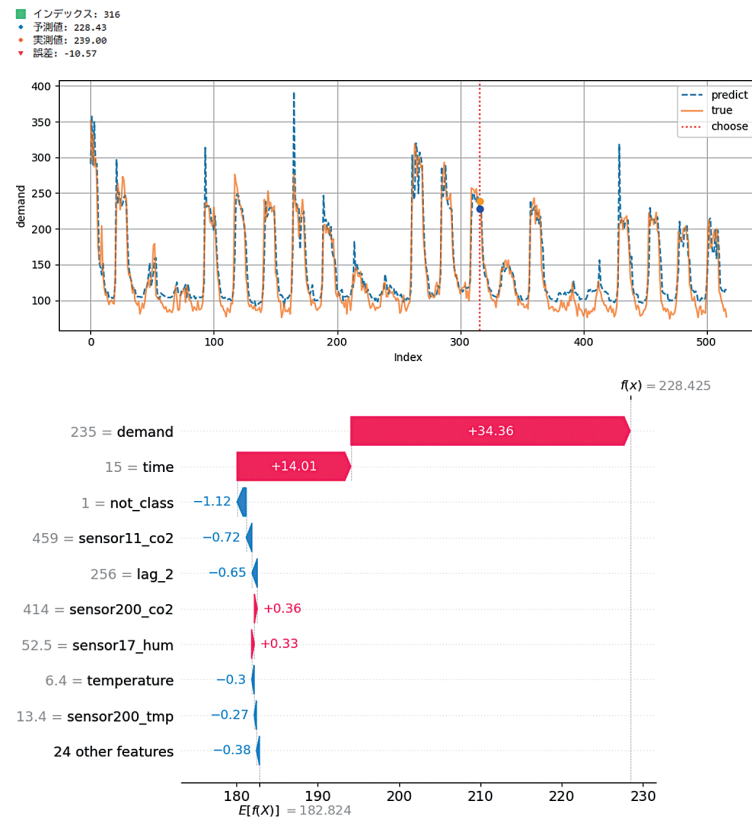


図2 予測値: 228.425 (赤点線部) に対するSHAP[3]による各特徴量の貢献度

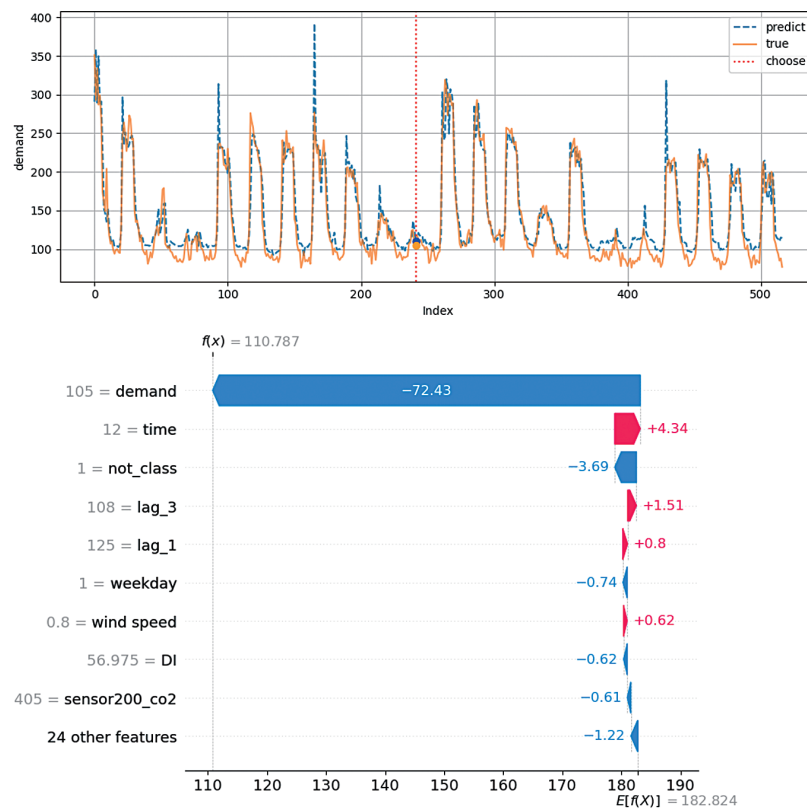


図3 予測値: 110.787 (赤点線部) に対するSHAP[3]による各特徴量の貢献度

4.2 景観色彩設計に基づく景観作成の主観評価実験

太陽光発電設備導入や屋上緑化を行う際、導入時の問題を未然に防ぐことが重要となる。太陽光発電設備と屋上緑化導入時に持続可能な景観設計が可能かを検証するため、実験を行った。本実験では、図4に示す公立鳥取環境大学敷地内の本部講義棟と研究教育棟の2階連絡通路を実験環境とした。

本実験で使用した3Dモデルは、図5に示すようにオープンソースの3DCGソフトであるBlender[8]を用いて作成した。3Dモデルは屋上緑化のみの景観、太陽光発電設備のみの景観、屋上緑化と太陽光発電設備を交互に配置した景観、屋上緑化と太陽光発電設備を分けて配置した景観の4パターン作成した。以上の4パターンを作成した目的は、太陽光発電設備と屋上緑化を同時に導入した際に景観として優れているかを調査するためである。太陽光発電設備と屋上緑化を同時に配置するパターンは2種類作成し、比較対象として太陽光発電設備のみのパターンと緑化のみのパターンも作成した。以上の3Dモデル4パターンを、ARコンテンツを作成できるアプリケーションであるAdobe Aero[9]を用いて配置を編集した(図6)。その上、図7に示すように本学連絡通路に重畳表示した。



図4 実験環境

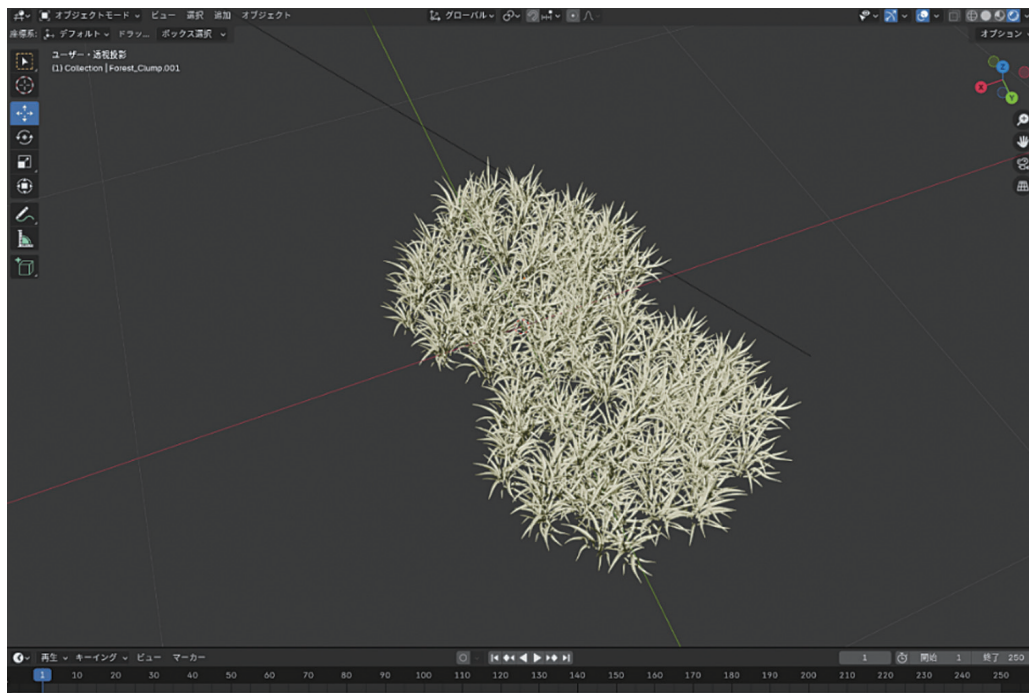


図5 Blenderで作成した3Dモデル

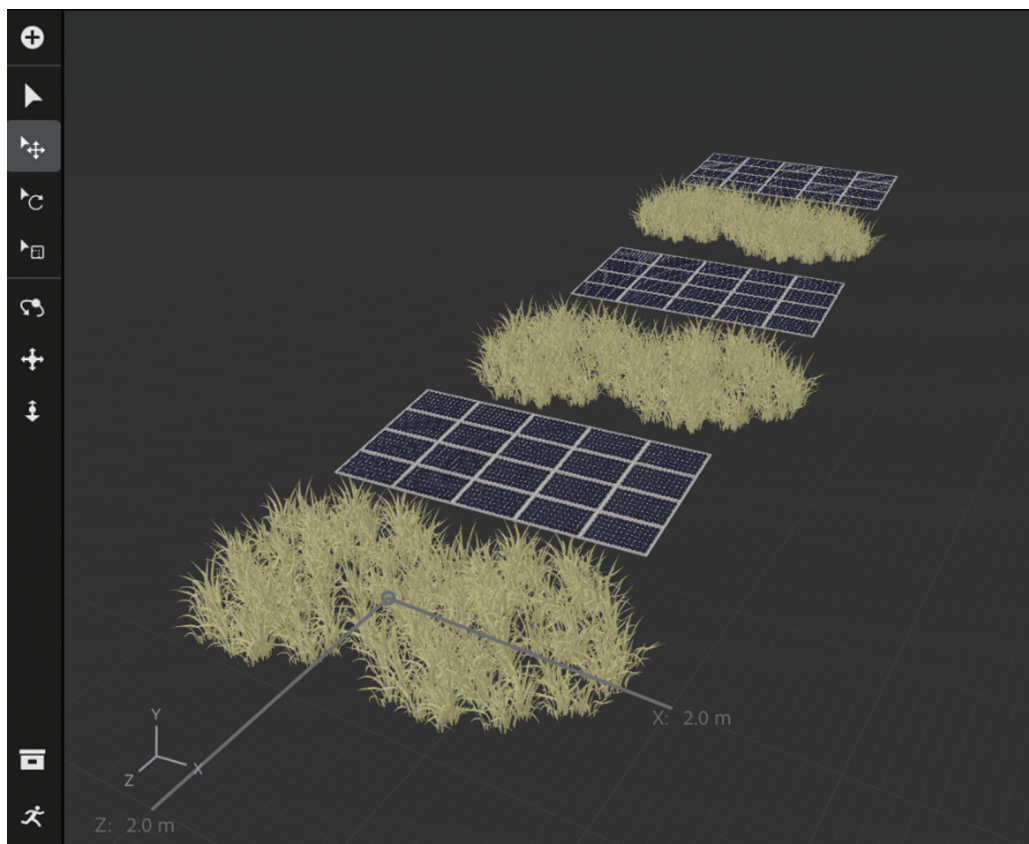


図6 Adobe Aeroにて配置を編集した3Dモデル

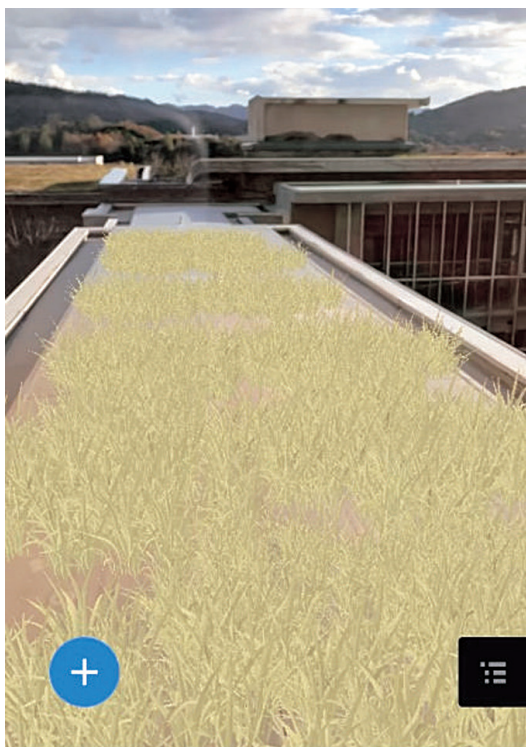
主観評価は、公立鳥取環境大学経営学部経営学科及び環境学部環境学科に所属する学生を対象にアンケートを実施し、回答者は24名であった。図7(a)から図7(d)の4パターンが景観として優れているかそれぞれ5段階評価を実施した。5段階の内訳としては以下のとおりである。

- 1：景観として優れていない
- 2：どちらかといえば景観として優れていない
- 3：どちらでもない
- 4：どちらかといえば景観として優れている
- 5：景観として優れている

結果は、図8に示すとおりである。屋上緑化のみのパターンは5と評価した人が5人（20.8%）、4が14人（58.3%）、3が1人（4.2%）、2が3人（12.5%）、1が1人（4.2%）となった。4または5と評価した人が多く、概ね景観として優れていると評価された。太陽光発電設備のみのパターンは5と評価した人が4人（16.7%）、4が5人（20.8%）、3が8人（33.3%）、2が6人（25%）、1が1人（4.2%）となった。こちらは屋上緑化のみのパターンに対し1または2と評価した人が多く、概ね景観として優れていないと評価された。屋上緑化と太陽光発電設備を交互に配置するパターンは5と評価した人が5人（20.8%）、4が8人（33.3%）、3が4人（16.7%）、2が5人（20.8%）、1が2人（8.3%）となった。屋上緑化と太陽光発電設備を分けて配置するパターンは5と評価した人が4人（16.7%）、4が8人（33.3%）、3が5人（20.8%）、2が5人（20.8%）、1が2人（8.3%）となった。太陽光発電設備と屋上緑化を両方配置する2パターンは概ね景観が優れていると評価された。

アンケートの結果を踏まえ、考察を行った。まず、4パターンの5段階評価の違いについて述べる。図8(b)を参照すると3以下が24人中15人を占めており、太陽光発電設備のみのパターンはあまり評価が高くないことが分かった。それに対し図9(a)のとおり緑化のみのパターンは4以上が24人中19人を占める高評価だった。また、「景観には緑化が必要」という意見が見られた。図8(c)・(d)が太陽光発電設備と屋上緑化が共存しているパターンであるが、交互に配置したパターンは4以上が12人、分けて配置したパターンは4以上が13人となり、双方とも高評価だった。しかし、交互に配置するパターンは「交互に配置するとごちゃごちゃしたイメージになって汚いと感じた」「緑地を削って太陽光パネルを設置した感じがする」という意見もあり、景観として優れていないという評価も存在した。それとは対照的に、分けて配置するパターンでは「綺麗に分かれているのが好きだから」「緑化とパネルを分けて配置するパターンが好み」「やはり緑の植物は景観に必要です」という意見が上がり、交互に配置するパターンと比べて景観として適しているという評価が存在した。

以上のように、1番評価が高かったものは緑化のみのパターンだったことも踏まえると、景観として緑化は必要不可欠である。しかし脱炭素社会の構築には太陽光発電設備と屋上緑化の両方が必要である。そのため本研究では、交互に配置するパターンは好みではないとの意見がいくつか挙がった点を踏まえ、太陽光発電設備と屋上緑化を分けて配置するパターンが最適であると考えた。



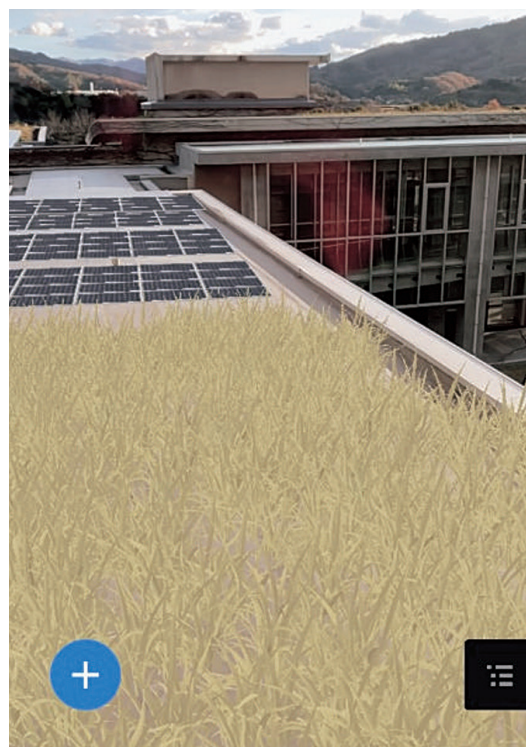
(a)屋上緑化のみ



(b)太陽光発電設備のみ



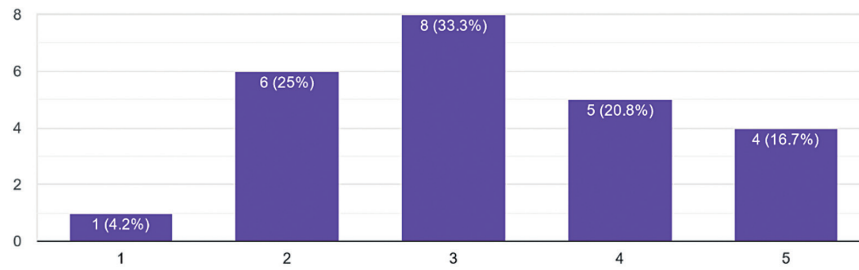
(c)太陽光発電設備と屋上緑化を交互に配置



(d)太陽光発電設備と屋上緑化を分けて配置

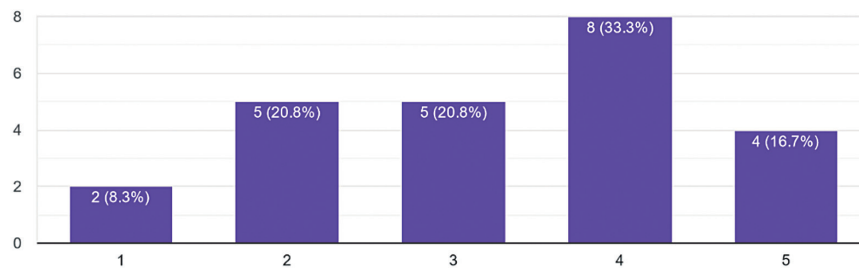
図7 太陽光発電設備と屋上緑化のARによる可視化パターン

24 件の回答



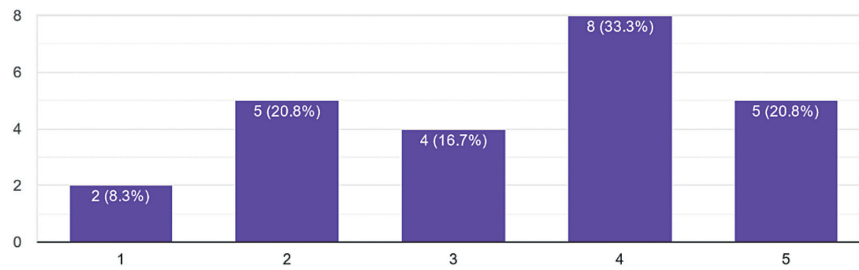
(a)緑化のみ

24 件の回答



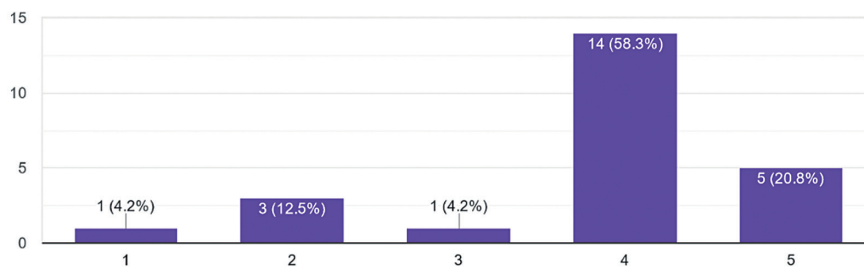
(b)太陽光発電設備のみ

24 件の回答



(c)太陽光発電設備と緑化を交互に配置

24 件の回答



(d)太陽光発電設備と緑化を分けて配置

図 8 5段階評価の結果

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を大量に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、本研究では、再生可能エネルギーの大量導入時における持続可能な景観設計手法を提案した。景観色彩設計に基づく景観を作成しARを用いて可視化することによって、導入後の問題を防ぐことを目的とした。実験では、太陽光発電設備及び屋上緑化導入時に持続可能な景観設計が可能であることを検証するため、複数の景観パターンを作成し主観評価を行った。主観評価結果を受け考察し、太陽光発電設備と屋上緑化を同時に導入した際も景観として優れていると評価されることを示した。

参考文献

- [1] N. Alamir, S. Kamel, T. F. Megahed, M. Hori, and S. M. Abdelkader, Developing Hybrid Demand Response Technique for Energy Management in Microgrid Based on Pelican Optimization Algorithm, Electric Power Systems Research, 2023.
- [2] N. Wu, B. Green, X. Ben, S. O'Banion, Deep Transformer Models for Time Series Forecasting: The Influenza Prevalence Case, arXiv:2001.08317, 2020.
- [3] Scott M. Lundberg and Su-In Lee., A unified approach to interpreting model predictions, Advances in Neural Information Processing Systems, 2017.
- [4] 平野勇二郎, オフィスビル街区における屋上緑化のCO₂削減効果のシミュレーション評価, 空気調和・衛生工学会大会 学術講演論文集, 第10巻, pp77-80, 2014.
- [5] 朝日新聞, 街並みの色彩を考える「景観色彩」ってどんなもの? <https://oshihaku.jp/nenkan/page/14926299> [参照2025年1月25日].
- [6] 亀田能成, マーカレスAR, 映像情報メディア学会誌, 第66巻, pp45-51, 2012.
- [7] scikit-learn Machine Learning in Python <https://scikitlearn.org/stable/index.html> [Online, accessed, April 24th, 2024].
- [8] Blender, About-blender.org, <https://www.blender.org/about/> [参照2025年1月27日].
- [9] Adobe, Adobe Aeroとは, <https://helpx.adobe.com/jp/aero/using/what-is-adobe-aero.html> [参照2025年1月27日].

農業者のバイオ炭の導入背景と農業経営への影響に関する研究

環境学部環境学科 山 口 創

1 はじめに

1.1 背景と目的

我が国の農山村は長らく過疎・高齢化の進行、1次産業の競争力の低下、地域資源の荒廃といった課題を抱え、現場レベル・研究レベルで社会経済の持続的発展の方策が模索されてきた。脱炭素化に伴うインフラ整備や新たな社会システムの導入は、閉塞感のある条件不利地の農業や林業、既存インフラのあり方自体を変貌させる可能性を秘めている。

こうした背景のもと本研究では、農山村地域の基幹産業である農業に着目し、その脱炭素化による地域農業の発展方策について検討したい。農業分野ではソーラーシェアリング、カーボンクレジット取引など環境負荷低減の取り組みが農業経営体の収益向上や経費節減につながる可能性がある技術、制度が整えられつつあるが、現状では導入事例も少なく有効性や制度面の課題もほとんど明らかにされていない。そこで本研究では、農業の環境負荷低減手法のなかでもカーボンクレジットに着目し、カーボンクレジットによる収益化の実態や農業経営への影響を明らかにする。

1.2 カーボンクレジット制度

カーボンクレジットとは、一般的に排出量見通し（ベースライン）に対し、温室効果ガス削減策に取り組み実際の排出量が下回った場合その差分を測定、レポート、検証によってクレジットとして認証、取引する制度であり、我が国では、国が認証機関となるJクレジット制度が設けられている。また、カーボンクレジットの方法も大きく分けると排出回避・削減固定による方法、吸収・貯蔵による方が存在し、それぞれ様々な方法論が認証されている。我が国のJクレジット制度全体では72の方法論、農業に限れば「牛・豚・ブロイラーへのアミノ酸バランス改善飼料の給餌」、「家畜排泄物管理方法の変更」、「茶園土壌への硝化抑制剤入り化学肥料又は石灰窒素を含む複合肥料の施肥」、「バイオ炭の農地施用」、「水稻栽培における中干し期間の延長」、「肉用牛へのバイパスアミノ酸の給餌」という6つの方法が認証されている（農林水産省、2025a）。

我が国のJクレジット制度を通したカーボンクレジット取引は、令和7年3月時点で農業関連47件、このうち農業の方法論を用いたプロジェクトでは37件が取り組まれている（農林水産省、2025a）。加えてこれらのほとんどは事業者がプロジェクトの管理運営を取りまとめ、プロジェクトに参加する個別農家や農業団体が温室効果ガスの削減に取り組むプログラム型と呼ばれる方法にて運営されている。なおこのうち「水稻栽培における中干し期間の延長」が22件、「バイオ炭の農地施用」が9件と、この2つが大部分を占めている。

本研究ではバイオ炭の農地施用を取り上げる。バイオ炭とは、燃焼しない水準に管理された酸素濃度の下、350度超の温度でバイオマスを加熱して作られる固形物であり（農林水産省、2025b）、原料は木材、家畜糞尿、草本、もみ殻、木の実、下水汚泥由来など多岐にわたる。バイオ炭は、100年後

も65-80%の炭素が分化されずに残存するため、バイオ炭を農地に施用することによりCO₂が土中に固定されることになる。なお、Jクレジットでは100年後の残存量を炭素貯留量として評価する。

2 調査の概要

本研究では、バイオ炭の農地施用による農業経営への影響を明らかにするため、この方法論に取り組むJA、個人農家、農事組合法人を対象にインタビュー調査を実施した。調査項目は、バイオ炭の導入経緯、導入状況、クレジットの販売状況、クレジット販売以外の経営への影響についてであり、インタビューはバイオ炭施用の担当者もしくは代表者を対象におこなった。調査期間は、2024年9月から2025年2月である。

3 調査結果

3.1 調査対象者の概要

調査対象者の概要を表1に示す。A農協は正組合員約1600名、取扱作物はバレイショ、玉ねぎ、小麦など畑作物中心であり、玉ねぎやバレイショの取扱いは全国有数の規模を誇る。1990年頃から低農薬栽培に取り組んでおり、一部の組合員は特別栽培、有機農業（有機JAS）に取り組んでいる。2023年からは、玉ねぎ栽培でバイオ炭を施用しており、2024年の実施規模は36農家、約4.3haである。

B農家は、約8haの農地で主に稲作に取り組む個人農家であり、年齢は50代、主にB氏1人で営農している。約15年前にUターン就農して以来、炭の農地投入を推進する任意組織に加入しており、Jクレジットの方法論としてバイオ炭施用が認定される2023年よりも前から炭の農地投入に取り組んで

表1 調査対象の概要

	A 農協	B 農家	C 法人
タイプ	農協	個人農家	農事組合法人
組織規模	正組合約 1600 名。	農地面積 8ha。	組合員 39 農家 (47 名)。専従者 6 名 (うち 1 名は事務員)。利用権設定 80ha。
栽培作物	バレイショ、玉ねぎ、小麦など。	米、野菜 (少量他品目)。	米、二条大麦、ハト麦、飼料用稲、キャベツなど。
バイオ炭の施用状況	2023 年から玉ねぎ栽培でバイオ炭を施用。 2024 年の実施規模は 36 農家、4.3ha。	水稻栽培で施用。 約 2ha で炭を施用し、一部ではバイオ炭を施用。	2023 年から水稻栽培にてバイオ炭を施用。 2024 年の実施規模は 70a。

きた。現在、水稻栽培2haで炭を投入しており、その一部ではバイオ炭を施用している。

C法人は、2015年頃に任意組織から法人化した農事組合法人である。当該地域は地方の中核都市の郊外に位置する平地農業地帯であり、2015年時点では地域の農業者（組合員）のなかから営農者を確保できていたが、今後人口が急減し、将来的に営農者を確保することが難しくなると考えられた。そこで地域外から営農の専従者を雇用できるようにするため法人化された。2024年時点では39農家（47名）が組合員となっており、利用権設定農地は約80haである。主な栽培作物は水稻、二条大麦、ハト麦、飼料用稲である。バイオ炭は水稻70aで施用している。

3.2 バイオ炭の導入経緯と内容

3.2.1 A農協

A農協は、2023年からバイオ炭の施用とクレジット売却に取り組んでいるが、この取り組みに至るまでも環境負荷低減に取り組んできた。1980年代後半に開始した低農薬栽培を端緒に、2010年代からはタマネギ、バレイショの特別栽培に取り組んでいる。当時BSE問題や食品偽装事件が生じ消費者の食への不安が高まっており、農作物の「安全・安心」を消費者や小売店に対しアピールすることが必要と考えたため、特別栽培に取り組むことになった。このような「安全・安心」を重視した農作物の生産は、農作物の付加価値の向上に寄与したが、特別栽培に取り組む農協や生産者が増えていくなかで、十分に差別化をできなくなりつつあり、将来、小売店、消費者離れが懸念された。このような危機感とSDGsが浸透しエシカル消費が注目されるようになるなかで、2015年頃からSDGsに向けた取り組みが検討されるようになった。具体的な取り組みとして2015年頃からカーボンオフセット農作物の生産・販売を開始し、2023年からはバイオ炭の施用に取り組むことになった。2024年時点でのクレジット購入によるカーボンオフセットに取り組む農家は、玉ねぎとバレイショ合わせて延べ110農家が合計約33haの規模で、バイオ炭施用によるCO₂土壌貯留には36農家が合計4.3haでそれぞれ取り組んでいる。なおバイオ炭は、A農協から最も近い製造企業から購入しており、50kg/10a散布している。散布量は、環境保全型農業直払交付金^{注1}の交付基準が50kg/10a以上と定められていることから、この交付金の支援を受けるために50kg/10aと決められた。またA農協ではバイオ炭施用により生産した玉ねぎを、独自のブランドを冠し販売している。クレジットはJクレジット取扱者Dを通じて販売している。

このようにA農協は、約10年前から営農活動の脱炭素化に取り組んでいる。これはA農協が1980年代後半から低農薬栽培に取り組んでいることに現れているように農業の環境負荷低減の意識が高いことに加え、大規模産地を抱え、より良い条件で販路を確保していくことが大きな命題となっているなか、社会の潮流を敏感に捉え適応しようと取り組んできた結果といえる。

3.2.2 B農家

B農家は約8haの農地で営農しており、このうち2haで炭を投入している。一部はバイオ炭を施用し、クレジットは取扱者Eを通じて販売している。バイオ炭を含めた炭の投入量は、200kg/10aであり全て水稻栽培に用いている。なおB氏は水稻の作柄への影響は特にないと考えている。また、1.5haは有機JASの認証を受けている。B氏は、15年前に親元就農した時から、農作物を生産、販売していくだけでは十分な収益を得られないため様々な付加価値の高め方を模索してきた。社会潮流から農業

分野でも環境保全の重要性が増すと考えられることや、農村環境を鑑みても環境保全による付加価値を農村に還流する仕組みが必要となるとの思いから、炭の農地投入に取り組みはじめた。バイオ炭以外の炭は、籾殻くん炭を自家製造し投入している。

販路は個人取引が中心である。また現在は炭の投入による農作物の付加価値向上には至っていない。B氏は消費者の炭素貯留の理解や認知度が低いためと考えており、これまで取り組みは先行投資と捉えている。現在、大手小売業が環境に配慮して生産された農作物に関心を示すようになっており、今後、その動きは中小小売業や消費者へも広まり、将来的にはB氏の農作物も差別化できるようになると考えている。

3.2.3 C法人

C法人は、2022年からバイオ炭の施用に取り組んでいる。施用状況は、2022年：30a、2023年：70a、2024年：70aであり施用量は200kg～500kg/10aである。なお大学や企業と連携してバイオ炭の施用に取り組んでおり、収量への影響を検討するために圃場によって施肥量を変えている。全て水稻栽培で施用しており、代表のC氏はバイオ炭施用による増収効果はほとんどないと考えている。バイオ炭施用の経緯は、組合員の発案で土壌改良のために炭を投入しようとしたのが発端である。情報収集の過程で有識者に相談したところ、バイオ炭を勧められ専門家のアドバイスを受けながら施用を開始した。バイオ炭施用で発生したクレジットはB農家と同じ取扱者Eを通じて販売している。

2025年度からは高機能バイオ炭施用の試験栽培に取り組む予定であり、収量の増大や施肥量の減少を期待している。なお販売では、バイオ炭施用で生産した米の一部を脱炭素農作物としてイベントで販売したことはあるが、常に販売しているわけではない。C法人が生産している他の米と差別化しブランドとして育てていくには主食という米の特性上、消費者が常に購入できるように周年出荷に対応する必要があると代表のC氏は考えている。そのためには自社で米の保管施設を設けるか流通業者に協力を仰ぐ必要があるが、現状の生産量では少なすぎるため難しいと考えている。

C法人は、バイオ炭に取り組む以前にも油脂植物の栽培とBDF生産に関わった経験があり、先端的なパイロット事業に取り組みながら農業経営の発展に向け模索してきた。バイオ炭施用も試験的に導入し経営への影響を検討している段階にある。

3.3 バイオ炭施用の影響

バイオ炭施用の影響を農作物の生産、販売そしてクレジット販売による収益化に分けて整理した。生産面では、3者ともにバイオ炭施用による収量や品質の変化はないと評しており、理由として施用開始からの日が浅いことや施用量が少ないことが関係していると考えている。また、販売面では実際にバイオ炭を用いた農作物のブランド化に取り組むA農協とB氏は、消費者の脱炭素や炭素貯留の認知度が低く、現状では販売価格を高く設定することは難しいと考えている。ただしA農協では、小売店の環境保全に配慮した農作物への関心は高まりつつあるため、店舗において商品スペースを確保することに貢献していること、加えて、環境保全に先進的に取り組んでいることがA農協の生産管理の評価につながっており、バイオ炭を施用して生産した農作物（以下、脱炭素農作物）以外の農作物の取引にもプラスに働いている評価している。C法人の場合、現在はイベント以外で脱炭素農作物の販売は行っていない。脱炭素農作物として差別化しブランド化をすすめるには、周年で出荷できる体制

を構築する必要があるが、現状では生産量、設備面から難しいと考えている。

クレジット販売による収益化については、A農協では、クレジット販売額だけではバイオ炭の購入費を埋めることができていない。ただし、環境保全型農業直接支払交付金により5000円/10aの支援を受けており、この支援とクレジット販売でバイオ炭購入費用が相殺されている状況にある。C法人の場合、バイオ炭を200kg以上とA農協より多く投入しているため、クレジット販売額と交付金の合計額をバイオ炭購入費が上回っている状況にある。

4 結論

以上の調査結果から、現在のクレジット販売単価やバイオ炭の購入価格では、バイオ炭施用による収益化は難しい現状が示された。また、バイオ炭施用による農作物の販売価格の向上も難しいと考えられた。一方で、環境保全に対する社会の動きや小売業の反応から脱炭素農作物の需要は高まっていくことが予想され、現状のクレジット単価やバイオ炭の単価が変わらない限りクレジット販売の収益化は難しいものの、取引先確保や農作物の付加価値化に寄与する可能性はある。

農業経営体の立場から考えれば、中長期的な視点に立ちバイオ炭の施用による環境負荷低減に取り組むことは、ブランド化や差別化を進める上で一考に値するであろう。しかし調査事例が示すようにバイオ炭の購入費が、経営の重荷となる可能性があるため、地域単位で農業副産物を活用して自給する方法を探るなどの対応が必要と考えられる。

注釈

注1 化学肥料、化学合成農薬を原則5割以上削減することと合わせて炭を50kg/10a以上投入することが基準となる。

引用

農林水産省（2025a）「農林水産分野におけるカーボン・クレジットの拡大に向けて」（2005.5.8参照）

<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/climate/jcredit/cckakudai.pdf>

農林水産省（2025b）「バイオ炭の農地施用をめぐる事情」（2005.5.8参照）

<https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/attach/pdf/biochar-1.pdf>

住民主体のまちづくり文化の醸成に関する研究：地域脱炭素の取り組みに
関する合意形成を軸に

環境学部環境学科 甲 田 紫 乃

1. 「脱炭素先行地域」とまちづくり

2020年10月、2050年までにカーボンニュートラルを目指すことを宣言した日本政府は、これを受け、2021年6月に「国・地方脱炭素実現会議」において「地域脱炭素ロードマップ」を策定した。これは、国と地方の協働・共創による2050年脱炭素社会の実現を目指すという方針の下に策定されたものである。

「地域脱炭素ロードマップ」で掲げられている施策が「脱炭素先行地域」の選定である。「脱炭素先行地域」は、日本全国で地域脱炭素を展開していくためのモデルとなる、意欲の高い地域であり、これらの地域を駆動力として、国内でドミノ倒しのように次から次へと地域脱炭素を実行する地域を増やしていこうという、「脱炭素ドミノ」の実現の試みがなされている。

「脱炭素先行地域」の取り組みにおいては、少なくとも100カ所の地域で2025年度までに民生部門の電力消費に伴う二酸化炭素排出の実質ゼロあるいはマイナスを実現し、その他の温室効果ガス排出の削減についても、我が国全体の2030年度削減目標と照らして十分なレベルの削減を実現することを目指している。2025年5月9日時点で全国40都道府県115市町村の88提案が「脱炭素先行地域」に選定された（図1）¹。

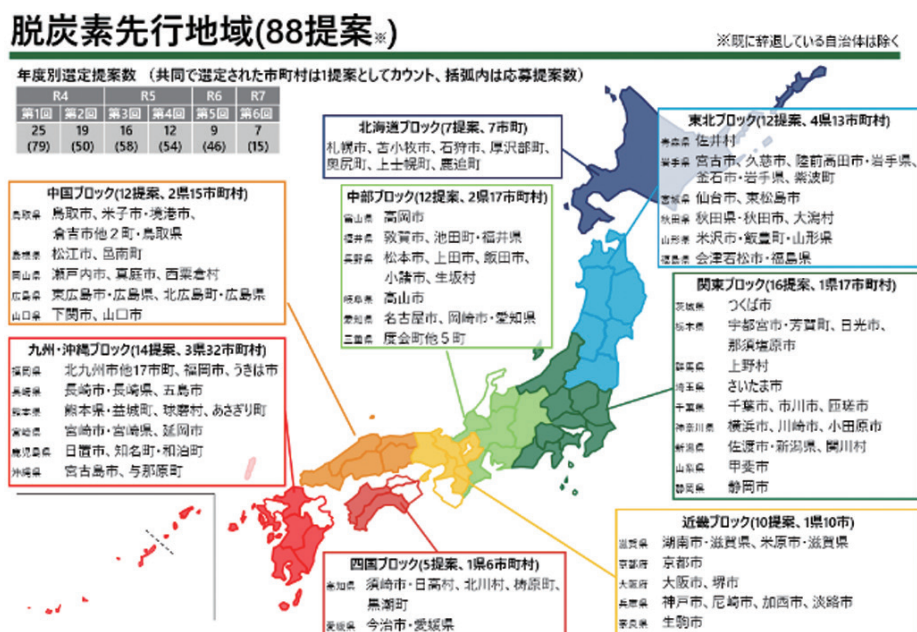


図1：脱炭素先行地域の選定状況（2025年5月9日時点）出典：環境省資料

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2025年5月9日

「脱炭素先行地域」に選定された地域は、脱炭素に向けた取り組みのみを行うことが望まれているのではなく、その取り組みを通して、地域の魅力と質を向上させ、地方創生にも資する取り組みを併せて行うことが期待される。すなわち、「脱炭素先行地域」に選定された地域は、脱炭素の取り組みのみならず、まちづくりの観点も併せて種々の取り組みを行うことが要求されている。

2. 合意形成とまちづくり

まちづくりは地域住民の合意の上で行われることが重要であり、特に脱炭素の取り組みを盛り込んだものに関して²は地域住民との合意がなされていない場合、後々大きな問題へとつながる可能性があることは否めない。

合意形成についての議論には様々なものがあるが、なかでも桑子は合意形成を「多様な意見の存在を承認し、それぞれの意見の根底にある価値を掘り起こし、その情報を共有して、解決策を創造するプロセス」（桑子, 2016）と定義している。本稿ではこの定義に沿いつつ、「脱炭素先行地域」に選定された鳥取市の提案「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）」³において、対象地域となっている若葉台地区に焦点をあて、本提案の若葉台地区の位置づけならびに合意形成の観点を踏まえて、その取り組みについて紹介する。

3. 「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

鳥取市は、2023年に第3回「脱炭素先行地域」に選定された。提案タイトルは、「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）」であり、鳥取市の若葉台地区と佐治町地区を対象エリアとして設定したものである。これらの二地区は、2017年に市が策定した「鳥取市都市計画マスタープラン」⁴において、いずれも「地域生活拠点」に分類される地域である。この「鳥取市都市計画マスタープラン」は、市町村合併によって大規模に広がった鳥取市域を、市民サービスの拠点となる「中心市街地」（1拠点）、ならびに各総合支所周辺等を「地域生活拠点」（11拠点）と定めており、市は、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」を市の将来像として見据えている。若葉台地区と佐治町地区は、この構想における「地域生活拠点」であり、市民の日常生活を支える重要なエリアとなっている。「地域生活拠点」では、暮らしを支える種々多様なサービスが一定の範囲内に集まっており、暮らしの安全・安心が守られるとともに

² 再生可能エネルギー設備の設置など

³ 鳥取市：「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）」<https://policies.env.go.jp/policy/roadmap/assets/preceding-region/3rd-teiansyo-09.pdf>、提出日：2023年2月17日 選定日：2023年4月28日 改定日：2025年2月25日、最終確認2025年5月1日

⁴ 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2025年5月1日

に、災害時には防災拠点として地域住民の生命を守る機能を有するエリアと考えられている。

鳥取市による提案書「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）」において、（1）地域脱炭素を通じた中山間地域の再生・持続モデルの構築、（2）系統容量を踏まえた地域共生型再エネの導入最大化によるエネルギー資金の流出抑制、そして（3）脱炭素技術と自動運転技術を導入した持続可能な「生活交通システム」の構築の3点が地域課題としてあげられている⁵。

若葉台地区におけるエネルギー需要家は、住宅（戸建・集合）1,680世帯（戸建：1,343戸・集合住宅：337世帯）、民間業務施設28施設、公共施設2施設、大学施設1施設（公立鳥取環境大学キャンパス全体）、工場（産業部門）9施設となっている。民生部門における若葉台地区での取り組みは、公共施設等や市遊休地への太陽光発電設備の新設、既存戸建住宅1,343戸へのPPAモデル等による屋根置型太陽光発電設備と蓄電池の面的導入、さらに、エネルギーマネジメントの最適化による自家消費率の最大化、公立鳥取環境大学における再エネ設備の導入および省エネ改修によるZEB化の推進でのキャンパス全体のカーボンニュートラル化などが謳われている⁶。

提案書「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）」には、これらの取り組みにより期待される効果として7点があげられているが、その中で、合意形成とまちづくりに関連性が深いものを以下に抜粋する。

地域脱炭素とエネルギーなどの社会基盤のデジタル化を通じた『まちの進化・再生』（生活交通サービスなどの生活関連サービスを含む）の取組により、地域価値を最大化。出会いから結婚・妊娠・出産・子育てへの切れ目ない支援や、若年層の定住促進、地域経済の活性化や魅力ある都市環境整備など、人口減少問題を克服するための諸施策を推進することで、子育て世代などの地域流入を実現し、多様な世代が集う、ひとを呼び込むまちを実現

（鳥取市：「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）」
<https://policies.env.go.jp/policy/roadmap/assets/preceding-region/3rd-teiansyo-09.pdf>、11ページより抜粋、最終確認2025年5月1日）

この記述から、「脱炭素先行地域」への選定をきっかけとした脱炭素のさらなる取り組みを通して、様々な支援や諸施策を展開し、一層のまちづくりを進めていくという鳥取市の意図がうかがえる。

また、人口の微減と高齢化が進む若葉台地区における2030年度以降の市による想定箇所を以下に抜粋する。

地域脱炭素の取組を契機に、移動サービスの充実などのまちの進化・再生が進むとともに、地域と大学等が連携した持続可能なまちづくりによって、地域生活拠点としての機能強化を図り、子育て世帯の流入や高齢者でも安心して住み続けられるまちとなる。

⁵ 同6ページ、最終確認2025年5月1日

⁶ 同10ページ、最終確認2025年5月1日

（鳥取市：「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）」
<https://policies.env.go.jp/policy/roadmap/assets/preceding-region/3rd-teiansyo-09.pdf>、8ページより抜粋、最終確認2025年5月1日、下線は筆者）

特にこの記述の下線部に着目すると、「脱炭素先行地域」選定による国からの交付金がなくなった後の市の想定は、地域と大学等が連携した持続可能なまちづくりであることがわかる。つまり、交付金によらない、地域と大学等が連携した持続可能なまちづくりを想定しているということであり、これはすなわち、主体的に地域住民と大学等が持続可能なまちづくりの取り組みを行っていくことを想定しているということがうかがえる。

4. ワークショップの実施

合意形成の過程に入る以前の段階として、地域住民とプロジェクトの事業者間の信頼関係は必須となる。「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の取り組みは、この事業を地域住民が主体的に捉えて関わっていくことで、合意形成の過程に移行できると言っても過言では無い。地域住民が主体的に関わることなしでは、この事業は事業者からの一方的なボトムダウン型の、補助金にのみ焦点があたるとなるものになってしまい、持続性のある取り組みとはならない。

本研究では、今後の地域住民主体の脱炭素の取り組み、及び事業実施期間後も地域住民主体でまちづくりが行われるような地域文化の醸成の一助として、若葉台地区が切望する大学生との交流の機会をワークショップの形で実施した。これは、今後の合意形成の観点から、信頼関係の構築という側面も併せ持つ。

これまでの研究の過程において、若葉台地区住民より、学生との交流や学生が関わるイベントへの要望が再三きかれたことも踏まえ、脱炭素の取り組みとまちづくりに関するワークショップを2025年3月29日に若葉台地区公民館で実施した。参加者は4名であり、うち男性が3名、女性が1名であった。実施者側は筆者と学生3名の計4名であり、うち男性が1名、女性が3名であった。今年度は若葉台地区の全世帯にワークショップの案内を配布するなどさらなる周知に努めたが、前年度と同様に、参加者は想定よりもはるかに少なかった。

本ワークショップの内容は二部構成となっており、第一部では、脱炭素について学生との対話を通して共に脱炭素についての理解を深めようというものであり、世代を超えた交流会の側面を併せ持つ内容を予定していた。第二部では、参加者が各自思い描く若葉台地区の地図を書きながら、若葉台地区の住民と学生による将来の具体的な活動やまちの将来を描いていこうというものであり、今後の地域住民と学生との具体的な活動の方向性などを見極める一助としても計画していたものである。第一部、第二部ともに、研究者のこれまでの研究や実践で得られた知見などを盛り込み、学術的な議論を学生らとも経た上で計画・準備したものである。写真1はワークショップ第一部の、写真2はワークショップ第二部の様子である。



写真1 ワークショップ第一部の様子
(筆者撮影)

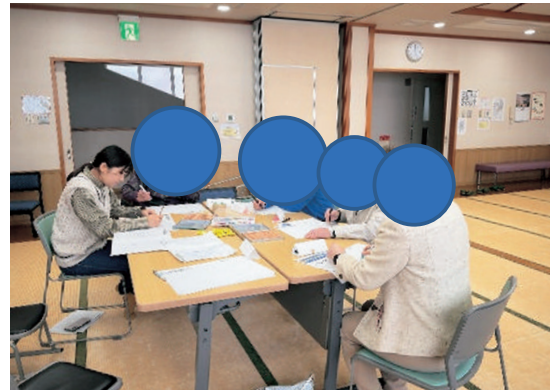


写真2 ワークショップ第二部の様子
(筆者撮影)

本ワークショップでは、予定していたようには進まなかったが、今後の若葉台地区での取り組みについての示唆を与えるものであったという点で意義深いものとなった。特に第二部の地図に関しては、同様の手法を用いて成功した鳥取県内の別の地域で実施した実践を踏まえて準備したものであったが、予想していたとおりには全く進まず、実施者側もとまどいを隠せないほどの事態に陥った。第二部は、自身の思い描く若葉台地区の地図を自由に書くことから始まるものである。これは認知地図を活用したワークショップを応用したものであり、地図に正確さは要求されない。しかし、正確さにこだわるあまり、なかなか地図を描くことができず、現状の若葉台地区の地図を描く活動に時間をとられ、肝心のまちづくりの観点、すなわち将来若葉台地区住民と学生がどのようなことをしたいのか、将来若葉台地区がどのようなになってほしいのかなどについて考察していく段階にまで至らなかった。

本ワークショップにおけるワークショップの参加者と実施者のディスコースからは、年齢差や性差等が要因ではと考えられる特徴が見受けられ、これが今回の事態の大きな要因になっていると考えられる。この点に関しては、今後の研究が必要となろう。

5. 地域脱炭素と住民主体のまちづくり

日本における「脱炭素先行地域」選定などに代表される地域脱炭素の取り組みは、そもそも政府の方針から始まったものである。すなわち、日本における地域レベルでの脱炭素の取り組みは政府によって推進されているもので、ボトムダウン型であり、この点は、地域レベルでの脱炭素の取り組みにおいても先進的といわれているドイツやオーストリアとは大きく趣が異なる点に留意する必要がある。

ドイツやオーストリアの場合、地域住民が主体的にまちづくりを行うという文化がまずあり、これは制度的にもサポートされている。国や行政は、あくまで住民によるまちづくりのサポートを行うという位置づけで関わっている。その中で重要な位置を占めるのが、中間支援組織である。これは日本のコンサルとは大きく異なり、地域住民主体のまちづくりの過程において、行政と地域住民との間に入り、専門的で継続的な支援を行う点に特徴がある。地域住民は主体的に国や行政の施策を活用し、それによって、地域の様々な困難を解決する取り組みを行うと同時に脱炭素の取り組みも行い、結果的に脱炭素化に貢献することになる。したがって、これらの国の場合は、地域の脱炭素化に関わる脱炭素の取り組みは、地域住民主体であると考えられる。

一方、日本の場合、「脱炭素先行地域」の施策などからもわかるように、国の施策がまずありきで、補助金などが動機になることも多い。このことから、日本における地域の脱炭素化に関わる脱炭素の取り組みは、地域住民主体ではなく行政主体であるといえる。

合意形成の過程の前段階としての、住民主体のまちづくりの文化の醸成の一助として実施したワークショップであったが、本研究ではさらにその前段階であると考えられる、地域住民のまちづくり等に関する意識について、その特徴が明らかになった。2030年度以降、若葉台地区が自走してまちづくりを行っていくためには、地域住民が、まちづくりの観点から「脱炭素先行地域」の取り組みを捉える必要性があろう。

なお、本研究の詳細は、今後学会への発表ならびに学術誌への投稿の予定があるため、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、若葉台公民館、若葉台地区住民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〕 桑子敏雄：社会的合意形成のプロジェクトマネジメント、コロナ社、東京、2016
- 〔2〕 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
- 〔3〕 村山武彦：再エネ政策と地域の合意形成、環境法政策学会誌、26：21-25、2023
- 〔4〕 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
- 〔5〕 上園昌武：地域脱炭素の促進における中間支援組織の役割、環境経済・政策研究、17（1）：84-87、2024

2024年度サステナビリティ研究所研究成果報告書

2025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 2024

