

有機栽培水田における営農型太陽光発電の 環境および農業経営収支

～地球沸騰化時代におけるペロブスカイト太陽電池活用による持続可能な農業経営の創出に向けて～

○東 光弘¹⁾・渡邊 芳倫²⁾・窪田 陽介²⁾・金子 信博²⁾

¹⁾福島大学食農科学研究科、²⁾福島大学食農学類

Environmental Balance of Agrivoltaics in Organic Rice Paddies

Graduate School of Food and Agricultural Sciences, Fukushima University

Mitsuhiro HIGASHI, Yoshinori WATANABE, Yosuke KUBOTA, Nobuhiro KANEKO

主指導教員:金子信博 教授

副指導教員:渡邊芳倫 准教授/窪田陽介 准教授

2025年3月21日

目次

1. はじめに

- 1-1) 日々、急速に高まる気候変動対策の重要性
- 1-2) 農業
- 1-3) ソーラーシェアリング（営農型太陽光発電）
- 1-4) 解決策としての水田ソーラーシェアリング

2. 調査地と方法

- 2-1) 調査地
- 2-2) テストプラントに関して
- 2-3) 営農と測定に関して
 - (1) 栽培に関して
 - (2) 測定に関して

3. 結果と考察

- 3-1) 水田から発生するメタン量の削減
- 3-2) 高温障害に対する適応
- 3-3) 環境収支に関して
- 3-4) 農業経営における経済性に関して
- 3-5) ペロブスカイト太陽電池の活用に関して
- 3-6) 最後に

4. 引用文献

5. 用語の解説

6. 謝辞

1. はじめに

1) 日々、急速に高まる気候変動対策の重要性

近年顕著になってきた気候変動は、人間活動による大気中の温室効果ガス（GHG）（注1）（二酸化炭素、メタン（注2）、一酸化二窒素など）濃度の上昇によるものであると IPCC（注3）によって断言され、2023年7月にはグレーテス国連事務総長からも「地球温暖化の時代は終わり、地球沸騰化の時代が到来した」という表現が使用され、2024年12月には「気候の崩壊が起きている」と強い危機感を示すに至っている。国連はじめ国際社会はそれらの共通認識にならない毎年の COP 開催などで具体的な国家間調整を実施すると同時に人類の活動の様々な局面で排出量削減の努力を行っている。また経済活動においてもグローバルな企業を中心に RE100（注4）への参加が進み、サプライチェーンに生き残るためにも中小企業も含めた脱炭素への希求が高まっている。

世界的に様々な温暖化に対するアプローチが加速しているが、地球温暖化の影響でメタンに関してはここ20年で約10%増加しており（国立環境研究所 HP より2020）、歯止めがかかっていない状況がある。再生可能エネルギーの拡大は直接的に地球温暖化対策として有効だが、それ以外の GHG の排出抑制も大変大きな課題である。

農業も含めた全ての経済活動と全ての人類の活動を、気候変動を前提として新しくアップデートする必要に全ての人類が迫られている。とりわけこれから10年間の施策がその後を大きく左右することが IPCC の報告などからも明らかになっている。（※IPCC 第6次評価報告書 統合報告書 政策決定者向け要約より/P36-C2/

/chrome-

extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://www.env.go.jp/content/000265059.pdf

)

2) 農業

農業では森林や草原といった自然植生からの農地開墾や、長年にわたる耕うんによる土壌有機物の分解によって大量の二酸化炭素を大気中に排出してきた（Lal, 2004）。また、窒素肥料を大量に使用することで一酸化二窒素の排出を促進している。さらに、反芻動物や水田からメタンが発生する。加えて農業機器に使用する化石燃料および農薬や化学肥料製造時に使用する化石燃料、農作物や資材などを移動する際の化石燃料の使用など様々な側面で GHG を輩出している。

そのため、農林業全体を起源とする温室効果ガスは世界の間活動による排出の約22%を占め、気候変動対策のなかでも重点的に取り組む必要があるとされている。（※農林水産省 HP より

chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/ondanka/attach/pdf/nakaboshi-1.pdf)

日本国内でも、農林水産省がカーボンファーマーミングに対しての提唱を始めている。カーボンファーマーミング (Carbon Farming) (注 6) とは、大気中の CO₂ を土壌に取り込んで、農地の土壌の質を向上させ温室効果ガスの排出削減を目指す農法で、いわゆる環境再生型農業を指す。

(※農水省 HP より)

ただし「カーボンファーマーミング (Carbon Farming)」定義は必ずしも世界的に一意に定まっているわけではなく、**水田からのメタン(CH₄)削減など、農業由来の温室効果ガス排出を削減する取組も広く含む**と解釈されています。よって本研究の方法に関してもカーボンファーマーミングの定義にあてはまります。

※参考：欧州委員会が 2021 年 12 月に公表したコミュニケーション文書「Sustainable Carbon Cycles ([COM\(2021\) 800 final](#))

※参考リンク：農水省 HP：chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/

<https://www.maff.go.jp/j/kokusai/kokkyo/platform/pdf/platform-172.pdf>

■ 世界の農林業由来のGHG排出量(2019年)



世界のGHG排出量の内、
22%が農林業由来

※ 出典:【農林水産省】

図1 世界の農林業由来のGHG排出量(2019年)。

農林水産省HPからの数値をもとに著者が作図。

また2024年8月に農研機構から発表されたレポート(※https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/rcait/163819.html)によると、このまま何の手立ても講じないと、地球温暖化の影響で2030年には水稲の収穫量が30%以上減少する可能性があるとして発表された。それ以外にも多くの国や地域、様々な栽培品種から温暖化への適応が迫れており、それらは年々加速している。

それゆえ当事者である農業従事者の立場からも気候変動対策に真剣に取り組む必要があるのである。また日本においては、国内で発生する農業由来であるGHGのうち**27%が水田から排出されるメタン**である(※農水省HPより [chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/ondank](https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/ondank)

a/attach/pdf/nakaboshi-1.pdf) ことから早急な対策が求められている。

水田におけるメタンは湛水状態で土壌が嫌気状態になり、未分解の稲わらなどの有機物を利用してメタン生成菌が活動することで発生する (Kögel-Knabner et al., 2010)。メタンの排出削減のために品種改良や灌漑方法の工夫、稲わらの除去が有効であるとされている (Qian et al., 2023)。水田のメタン排出削減策として「中干し」が提案され、2023年より中干しを1週間に延長することで炭素クレジット (J-クレジット) が評価されるようになった。(※農水省 HP より https://www.maff.go.jp/j/press/kanbo/b_kankyo/230301.html) しかし、中干しは農家の負担を増やし、ヤゴやオタマジャクシなどの水生生物への悪影響が懸念される。

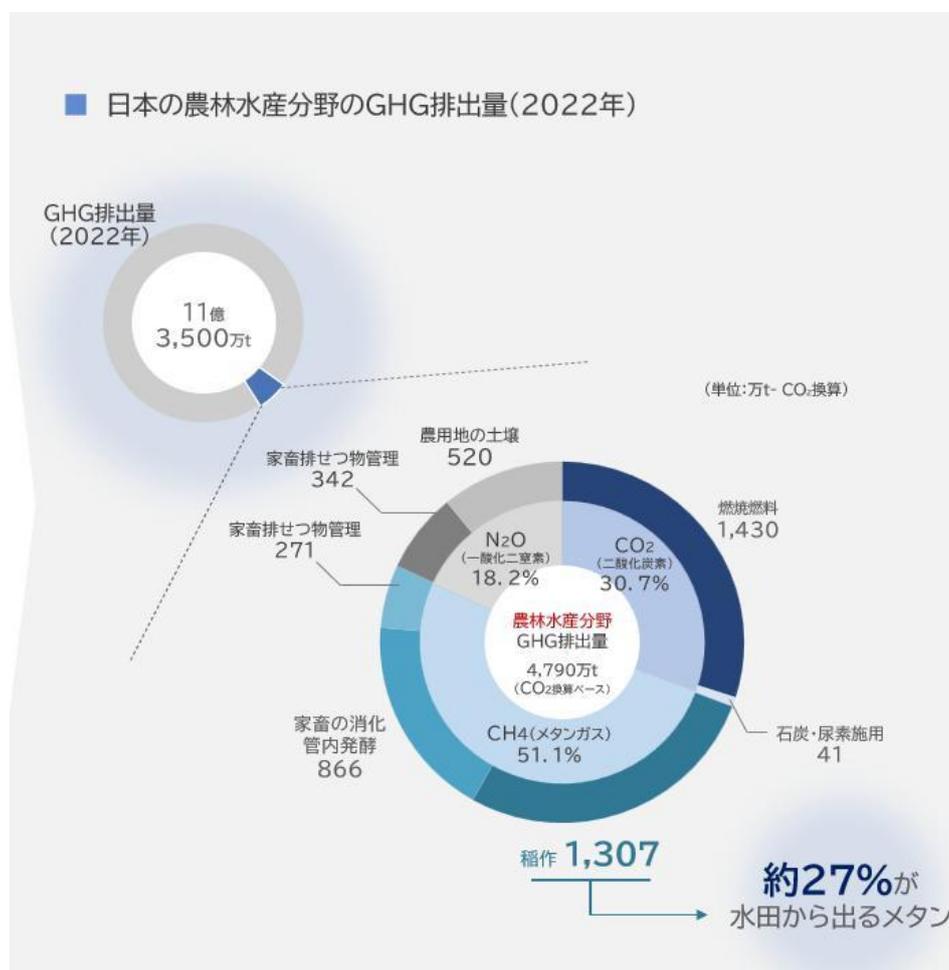


図2 日本の農林業由来の GHG 排出量内訳 (2022 年)。

(※農林水産省 HP からの数値をもとに著者が作図)

また FAO や IPCC の報告書、各国のインベントリを総合すると、アジア全体の農業由来 GHG のうち、水田メタンが **2割前後** を占めるとする推計がしばしば示されている。ベトナム、 Bangladesh など稲作比率の非常に高い国では 農業 GHG のうち水田メタンが 30%、場合によっては 40% 近くを占めるとの報告もある。日本で開発されたメタン削減方法は、カーボンクレジットを扱う大手企業によってベトナムなど東南アジア各国へ技術移転され、JCM（二国間カーボンクレジット）として年々取扱高が増加している。ただし東南アジアなどのエリアにおいては、その気候や立地、栽培方法の観点から中干期間の延長が難しいケースも多々見受けられる。このような背景からも日本国内においてメタン削減の手法が開発されることは期待される場所である。

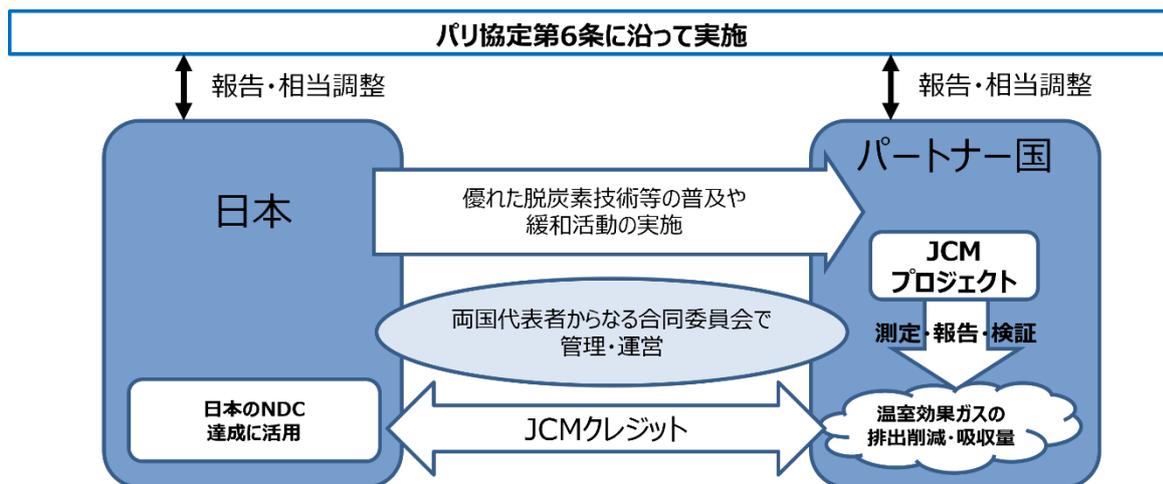


図 3/引用/経産省 HP : https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/jcm/index.html



図 4 (2024 年時点でベトナムへ JCM 事業・国内メタンクレジットに参入している日本企業)



図 5 (2024 年時点で日本国内のメタンクレジット事業に参入している日本企業)

上記の温暖化対策と同時に日本国内において大変重要な課題は**担い手不足**の解消である。平均年齢が 68 歳を超え、2030 年には 86 万人（法人含む）まで減少することが予想されている。このような背景からも新しい農業収入として GHG クレジットやソーラーシェアリングによる売電収入も新しい農業の収入として検討することにも価値があると考えられる。

個人農家にいたっては年金をもらっていないと営農を継続できないという状況にあり、産業という観点から見ると破綻していると言わざるを得ず、早急に抜本的な方策を取ることが、国内の食料安全保障の観点からも望まれる。

基幹的農業従事者数の推移



図 6（日本の基幹的農業従事者数の推移）

※農水省 HP より数値を引用/作者が作図 <https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/noukou/>

3) ソーラーシェアリング（営農型太陽光発電）

ソーラーシェアリング（営農型太陽光発電）は農地で発電を行いながら、農業生産も行う方法である（Abidin et al., 2021）。営農型の中で、幅の狭い板状のパネルを3メートル程度の高さに設置し、その下でトラクターなどを使って栽培する方式がある。これは、日本の長島彬氏により2003年に特許出願され、これを公知の技術としてだれでも使用可能な形で利用されてきた。この方法では3割程度の遮光率であり、イネやコムギ、ダイズの栽培もパネルの下で十分可能である。

現在は様々な様態を変えながらも世界中で採用されている。

再生可能エネルギーの希求が高まる中、日本においては世界的にみても、すでに平地への太陽光発電の普及が極めて高い水準に到達していることから、今後、広い平地への太陽光発電への設置が難しい状況が生じている。また山林地への設置に関しては全国190以上の自治体から制限条例が施行されており設置の適地が限られてきている。そのような社会的背景の中でソーラーシェアリング（営農型太陽光発電）に大変大きな注目が集まりつつあり、様々な大企業の参画が相次いでいる。また省庁からの扱いに関しても評価が高まっている。農水省は2013年に条件付きでソーラーシェアリング実施を許可する通達を実施したのち、ここ数年は助成金も予算として拠出し、2024年度補正予算からは植物の生育調査にも助成金が拠出されることとなった。環境省も地域電源としての評価から助成金を拠出し、2025年1月には環境大臣の視察が行われるまでになった。さらに2024年に入ってから経済産業省の委員会でも頻繁に取り上げられるなど、省庁をまたいでの認知が高まっている。

法律的に、設備下部においては収量が2割以上減少しない形での営農が義務付けられているので、基本的に営農の対価として発電事業者から売電収入の一部が営農者に分配される形が多い。これは農家にとっての新しい収入になりうる。

また2023年4月からは認定農家が自分の土地で自分自身で営農も行い発電事業を行う場合は、売電収入も農業収入に算入されることになった。この場合はまさに電気自体も農産物として扱われることになったことを意味する。

ただし2024年発行の農業白書には**2割程度のソーラーシェアリングでは営農が適切に実施されていない事例**が見受けられる旨が記載されている。これまでは法令的に『農水省通達』という体裁だったために指導しかできなかったが、2024年4月からは『省令』（※農水省 HP/chrome-extension://efaidnbmninnibpcjpcglcfindmkaj/https://www.maff.go.jp/j/nousin/noukei/totiriy o/attach/pdf/einogata-16.pdf）に格上げされたことから法的に罰則を設けることが可能となった。実際に2024年度には300以上の営農が適切に実施されていない設備に関して、**FIT 取り消し**という**極めて思い処罰が実施**された。

（※経産省 HP <https://www.meti.go.jp/press/2024/08/20240805002/20240805002.html>）

これは多くの健全なソーラーシェアリング関係者にとっては望ましい対応と考えられている。

ソーラーシェアリング発電事業者の側からしても健全な農業経営を創出することが大きく望まれている状況が存在している。



図7【農水省 HP の優良事例設備】

(※画像提供：市民エネルギーちば(株)/千葉県匝瑳市/2023年6月)

■こちらの設備は細いパネルを使い遮光率が35%となっておりどのような作物も健全に生育することが確かめられている。写真は JAS 有機栽培での大麦収穫の様子。柱間は4m以上あり通常のコンバインやトラクターも問題なく使用可能。Patagonia 日本支社および茨城大学/小松崎研究室とともに不耕起栽培の実験に2021年より取り組んでいる。

営農型太陽光設備のマーケットサイズは年々拡大

9年で新規許可件数は**9倍**、設備下農地面積は**74倍**に



出典：農林水産省「[営農型太陽光発電設備設置状況等について](#)」「[営農型太陽光発電について](#)」

図8 営農型太陽光発電の許可件数推移

(※農林水産省 HP からの数値をもとに著者が作図)



図9 【上画像/不良事例設備の一例】

※日本農業新聞 WEB 版掲載の不良事例設備 福島県南相馬市
画像引用元 <https://www.agrinenews.co.jp/society/index/237235>

■図 9 は遮光率が 90%を超えており、作物を栽培している形跡が見受けられない事例である。筋交いの下の高さも 2mほどと見受けられるので 30 馬力以上のトラクターの運行は難しい。

このような不良事例が 2024 年の農林水産省発行の『農業白書』（chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/r5/pdf/ze-ntaiban_10.pdf）には全体の 2 割程度にのぼるという表記がある。このような設備が全国に存在しており、このことがソーラーシェアリング全体の印象に悪影響を及ぼしている事実がある。

農業を中心とした健全なソーラーシェアリングを進める立場のものにとっても不良事例の厳しい罰則は良い方向だと言われている。

4) 解決策としての水田ソーラーシェアリング

水田の不耕起栽培は乾田や湿田でモミを直播する方法が開発されているが、基本的に除草剤に頼る技術であり、有機栽培には応用が難しい。一方、苗移植による水田不耕起栽培も開発されたが（引用：『生きもの豊かな自然耕』 岩澤信夫著 創森社）、田植え機の販売がすでに終了しており今後の拡大が難しい状況にある。

不耕起栽培の採用により前年の稲わらが土壌に漉き込まれなくなるので、メタンの発生が減少することが期待できる。さらにソーラーパネルの設置により日射が減る分、土壌温度の上昇を抑制することができる。水田内のメタン生成菌は一般に約 30~35°C前後の土壌で最も活発に働き、この温度帯では菌が有機物を効率よく分解してメタンを生成しやすくなるので、この温度を抑制することでメタン排出を抑える可能性も考えられる。

そこで、水田に耕起と不耕起の処理区を設け、ソーラーパネルを設置し、パネル下とパネルのない水田を比較し、不耕起とパネルがメタンの排出量に及ぼす影響を観測した。

持続可能な農業を環境収支の観点から検証し、改善方法を成立させ、担い手不足を農業経営の改善の面からも好転させると同時に、農業部門から脱炭素社会を具体的に推進する方法論を検証することが本研究の目的である。

なお本研究の着想に関しては水田の位置する緯度やそれに伴う地温の関係がメタンの発生量と相関性があるという論文に基づいている。(Abidin, 2021)

これまで畑でのソーラーシェアリングにおいてはパネル下とそれ以外の地温を不定期に測定した結果、学術的な調査ではないが常にパネル下の温度が低いことが確認できていた。

ゆえに水田に関してもパネル下では水温と地温がそれ以外よりも低下することを予想し、その結果、発生するメタンの量が減少する可能性があるという仮説で実験を構想した。

環境収支の点で持続可能なことはもちろん、農業経営の点でも持続可能でなければ環境再生型の農業は継続できないし、広まっていかない。今回は水田ソーラーシェアリングの経済的可能性についても検証することとした。

なお本研究で使用する環境収支という言葉は二酸化炭素 (CO₂) 収支のことである。二酸化炭素 (CO₂) 以外の要素に関しては全て二酸化炭素 (CO₂) に換算して計算することとする。

2. 調査地と方法

1) 調査地

調査地は、福島県福島市前田の福島大学食農学類附属農場水（N 37°40'54”，E140°27'46”，標高 156 m）である。この水田は食農学類設置の際に地元農家から借り上げたもので、調査地を設定した水田は 2022 年から農薬不使用で栽培を行ってきた。福島大学食農学類棟から徒歩で 15 分程度の距離にある。



図 10：【テストプラントと福島大学の位置関係図：2024 年 12 月】（※googleMap より）



図 11 【テストプラント設置前の圃場の様子：2023 年 12 月】 著者撮影

※2022 年より農薬不使用で営農がなされてきた。写真手前が公道側で水はけが悪く、稲の生育が悪いことがわかっていたため、今回の実験でもこのエリアは入らぬように設計した。

2) テストプラントに関して

2024年5月初旬に3mの高さに太陽光パネルを模して幅30cmの黒色の布を70cm間隔に南北に取り付けた。2023年12月の計画時には、本当に発電できる設備を設置する予定であったが、福島市農業委員会への複数回の面談の結果、2024年4月までの設置に期間的に間に合わないことがわかり、ダミーパネルを設置しての実験を実施することとなった。

ダミーパネルの設置方法などに関してはペロブスカイト太陽電池使用を前提にパネルの長辺を南北に設置するという通常とちょうど90度違う向きに設置した。

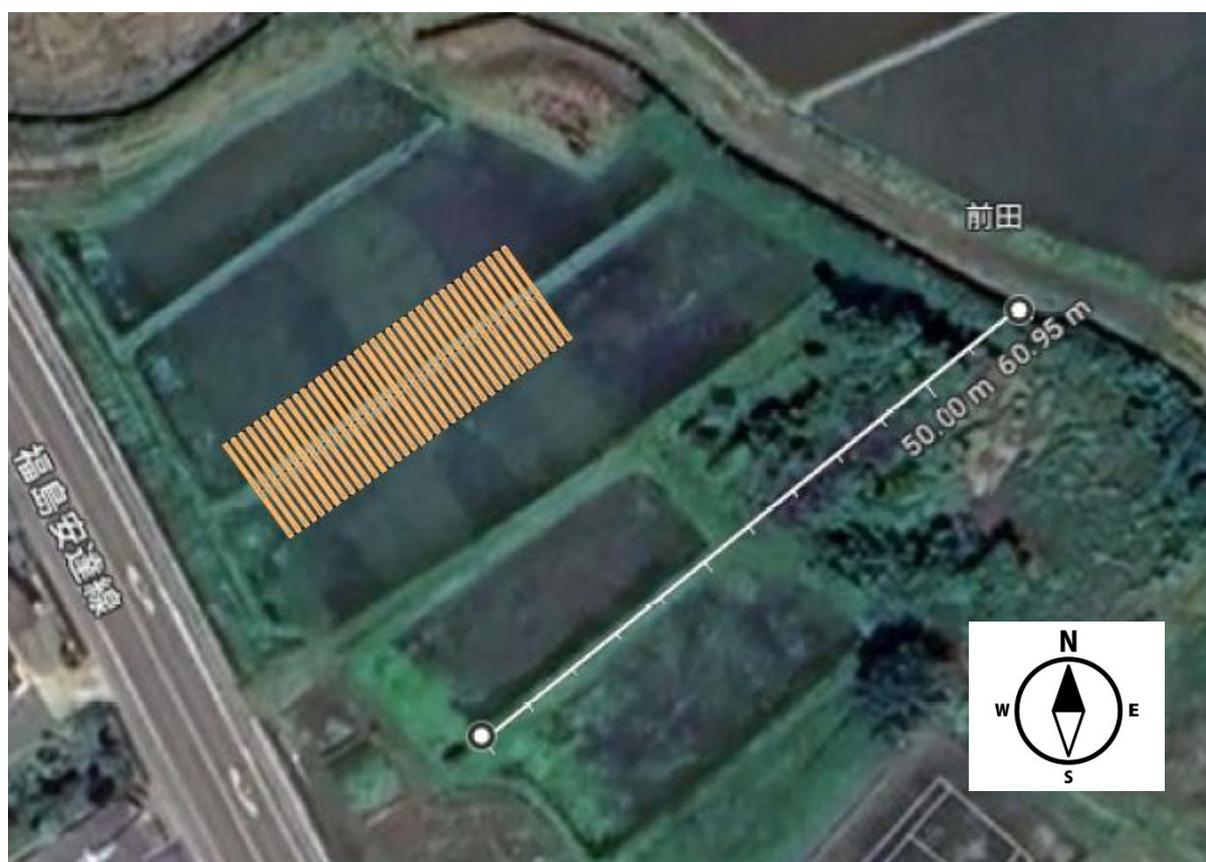


図12 [パネル(ダミーパネル)設置配置図] 2024年3月作図
設置場所住所/福島市松川町浅川字前田

【参考】仮に太陽光パネルを設置した場合のシステム構成

システム容量：165W パネル×12枚=19.8kW(DC/直流)

架台柱間隔：東西・南北共に5m(芯々) 架台高：3.2m

設置面積：300㎡(短辺10m×長辺30m) 遮光率：34.3% 過積載率：133%

想定パネル傾斜角度：25° パネル方位角：南東向き35.6°(真南を0°)

PCS：4.95kW×3台=14.85kW(AC/交流) 予想建設費：350万円(接続費用・消費税抜き)



図 13 【テストプラント設置の様子①柱を建てる：2024 年 4 月】

まずは簡易な測量を実施して杭を打った。実際のプラントの場合はスクリュー杭を重機で 2m ほど打ち込むが、今回は手動機器にて 1m ほど打ち込んだ。



図 14 【テストプラント設置の様子②対応済み架台を組んでいく：2024 年 4 月】

今回は足場材として流通している単管パイプと単管パイプ用クランプを利用。実際のプラントの場合はアルミまたは鉄製の専用架台を使用。耐風速 38m が規定である。①②でこのサイズだと 3 人で 2～3 日で終了。



図 15 【テストプラント設置の様子③ダミーパネルを貼る：2024 年 4 月】

今回は足場がぬかるんでいて苦戦した。水田に関しては冬の地面が安定しているときの設置が好ましい。この作業も 3 人工で 2～3 日程度であった。通常は昇降機を活用し、専用取付金具を使うので 2 倍以上の速度でパネル設置が可能である。



図 16 【テストプラント設置の様子④ダミーパネル半分完成：2024 年 4 月】

今回は最初に想定していた方法が風に持たないことがわかり、時間がかかった。2025 年冬のメンテナンス時にはステンレスワイヤーを活用してさらに強度を上げる予定である。



図 17 【テストプラント設置後の圃場の様子⑤：2024 年 7 月】

実験期間中、2 か所ほどダミーパネルが外れる故障が発生した。それぞれ 2 週間以内にリカバーして大きな問題はなく、実験は進められた。

3) 営農と測定に関して

(1) 栽培に関して

5月29日に耕起区、不耕起区とも田植え機を用いてコシヒカリを植え付けた。耕起区は表層5cmを耕す省耕起、不耕起区はカバークoppとして栽培したライ麦と雑草をローラークリンパーで押し倒した後湛水し、地面はそのままの状態です苗移植を行った。



図 18 [耕起/不耕起/省耕起の区分図]

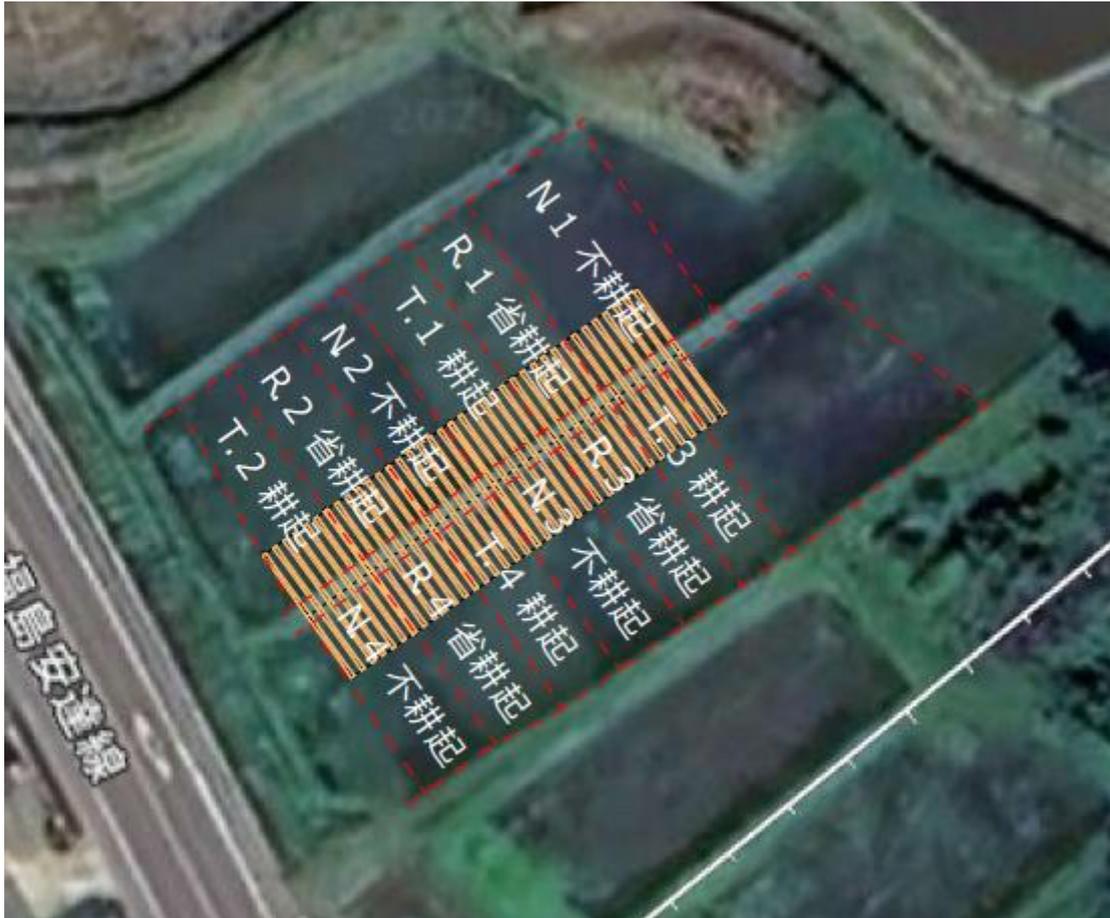


図 19 [耕起/不耕起/省耕起の区分図とテストプラントの位置関係図]

耕起・省耕起・不耕起がランダムに配置されると同時に太陽光パネルの影の有無がバランスよく配置されるように栽培と実験が実施された。圃場の位置によって地力が異なる可能性も配慮した。



図 20 【手押し型ローラークリンパー：2024 年 5 月 29 日】

※クリンパー内部に水が入られるようになっており、十分な重量を加算できる構造になっている。写真は高校生が作ったもので幅 50 cm ほど。実験圃場では美善が制作した幅 80 cm のものを使用。幅 2m ほどでより重量がありトラクターでけん引できるものもある。



図 21 【テストプラントにて不耕起田植え機による田植え：2024 年 5 月 29 日】

※写真右が神戸大学/庄司先生。茨城大学/小松崎先生との共同研究に使われている庄司先生オリジナルの不耕起田植え機を貸していただき、全国から参加を募り実演講習も実施された。

(2) 測定に関して

メタンの排出量はイネ3株を含むように透明の箱型チャンバーを被せ、10分ごとにガスを30mlずつ回収し、実験室でガスクロマトグラフを用いて定量し、時間あたり面積当たりの排出量（フラックス）を求めた。

2024年5月から9月にかけて9回観測



左/図 22 [気体収集の下準備] 右/図 23 [気体収集の説明をする金子教授]

薄曇りといえど水田は大変な湿度であり、熱中症のリスクを抱えながらの実験であった。



図 24 [気体収集の下準備]

二人一組で4時間ほどの作業だが次から次へと素早く移動が必要である。



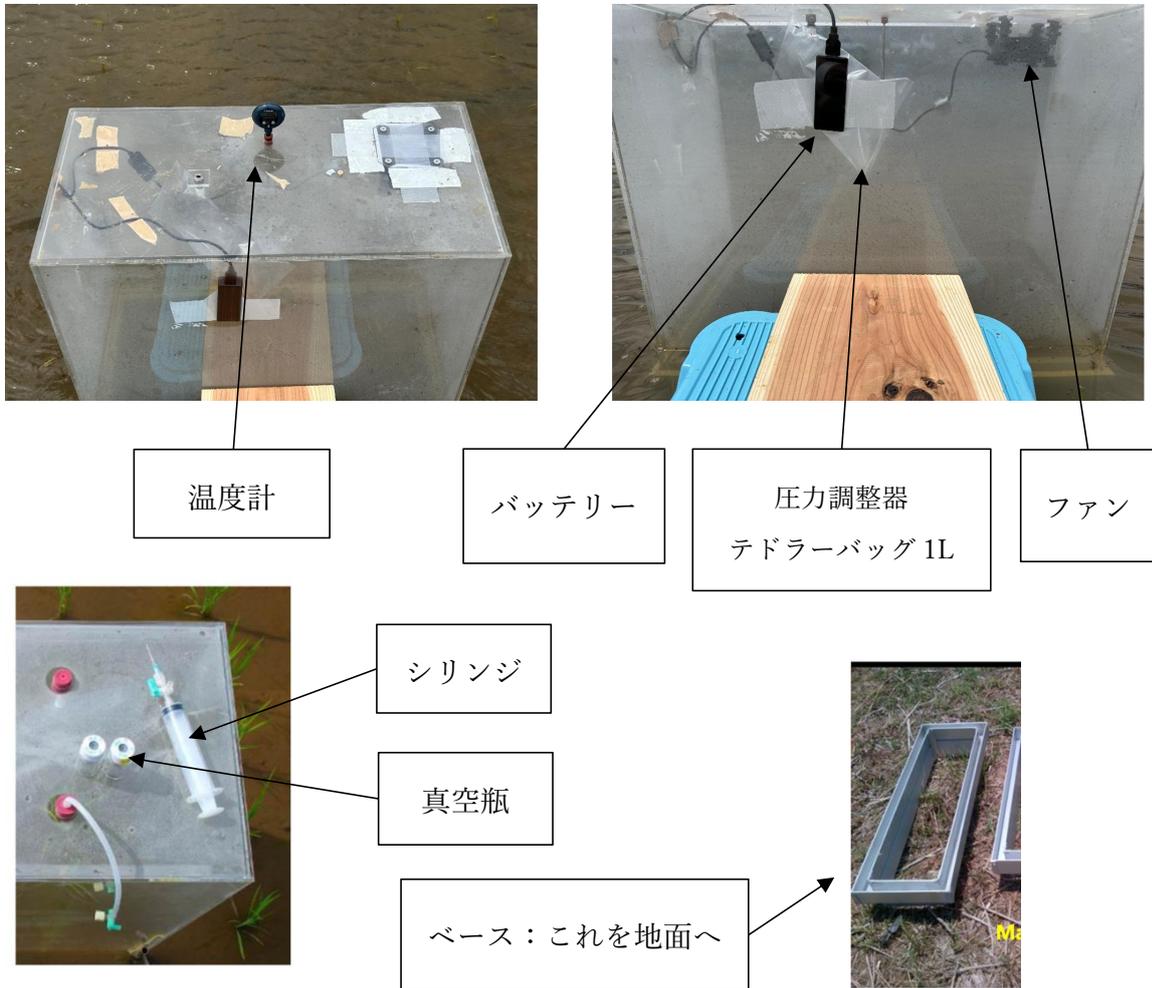
図 25 [福島大学/食農学類棟に設置されたメタン測定のための機器]

現地で採取された気体を入れた瓶は研究室に持ち込まれて上図の機器（Agilent 7697A Headspace Sampler 及び Agilent 8890 GC System）を使用して測定および検証がなされた。地温は実験期間中、パネル下とパネルのない水田に土壌温度計を 10cm の深さに設置し、1 時間毎に温度をデータロガーに記録した。

2024年	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目
観測日	5/14	6/5	6/19	7/3	7/17	7/31	8/14	8/28	9/11

図 26 [2024 年観測日]

【測定チャンバーの準備】



https://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/techdoc/mirsa_guidelines.pdf

【チャンバーにアクセスする通路の準備】

- ・コンテナに板を載せて橋を作成する。コンクリートブロックでも OK
- ・測定時に、踏むことによってメタンガスが発生するのを防ぐため



https://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/techdoc/mirsa_guidelines.pdf

【準備物】

真空瓶 100 個、圧力計 1 個、シリンジ 50ml 2 本、温度計 2 個
記載シート 2 セット（別紙参照）、折れ尺 2 個、ブロアー 2 個

【測定の流れ】

前日より前

- ・ファン用のバッテリーの充電
- ・真空瓶の作成（凍結乾燥器で減圧して作成する）

↓

前日

- ・対象区・処理区に同時にチャンバーベースとエクステンダーを設置
- ・チャンバートップのファンをテープで補強しておく
- ・水田に水深 5～10cm の水を張っておく

↓

当日

- ・ブロアーで圧力調整のテドラーバッグへ空気を注入
- ・温度計の設置
- ・チャンバートップの設置
- ・0 分後のサンプリング
チャンバー内のガスをシリンジで 30ml 採取し真空瓶へ注入
- ・各採取時間と温度と内圧をシート記入
- ・10, 20, 30 分後のチャンバー内のガスを 0 分後と同様にシリンジで 30ml 採取
温度を記入
- ・チャンバーの 2 編の内壁の高さを折れ尺で測定

↓

終了後

- ・福島大学にサンプル瓶を持ち帰り
- ・1 月間くらいを目処に、サンプル瓶内のメタン濃度を GC で測定する。

3. 結果と考察

1) 水田から発生するメタン量の削減

パネルの設置で日射の多い日にはパネル下の地温が最高3°C低下し、夜間も1°C程度低かった。観測期間中（5月から8月）のメタン排出量は、耕起と不耕起の比較では不耕起でやや多く、当初の予測とは異なった。一方、**パネルの設置は耕起ではパネルがない場合の49.9%、不耕起では59.9%に低下し、パネルによるメタンの削減効果が認められた。**

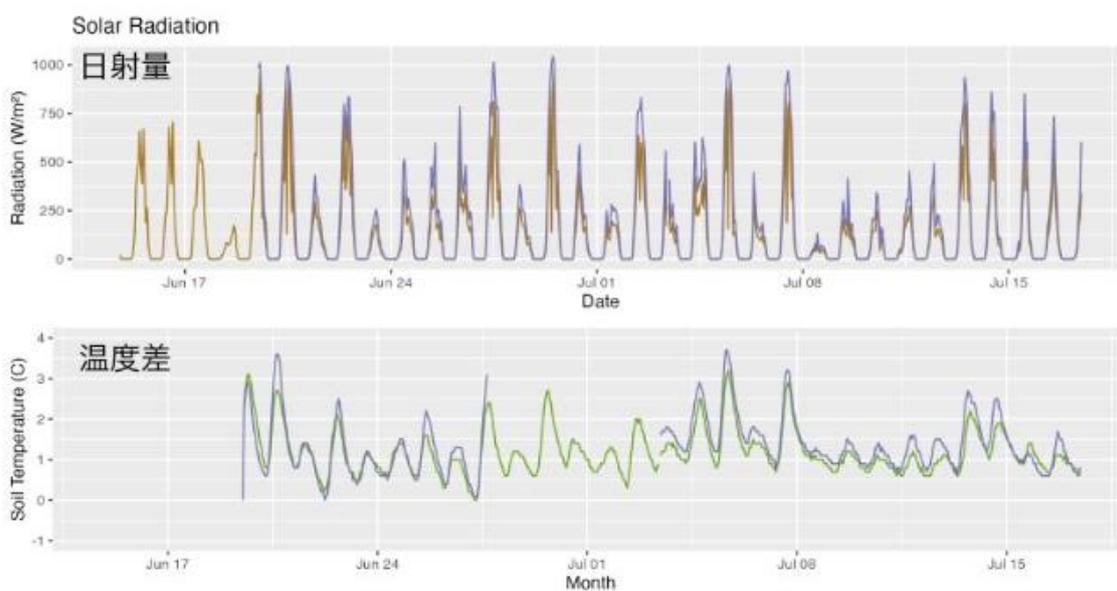


図 27 [日射量とそれに伴うパネル下とそれ以外のエリアの温度差]

水田からのメタンの発生

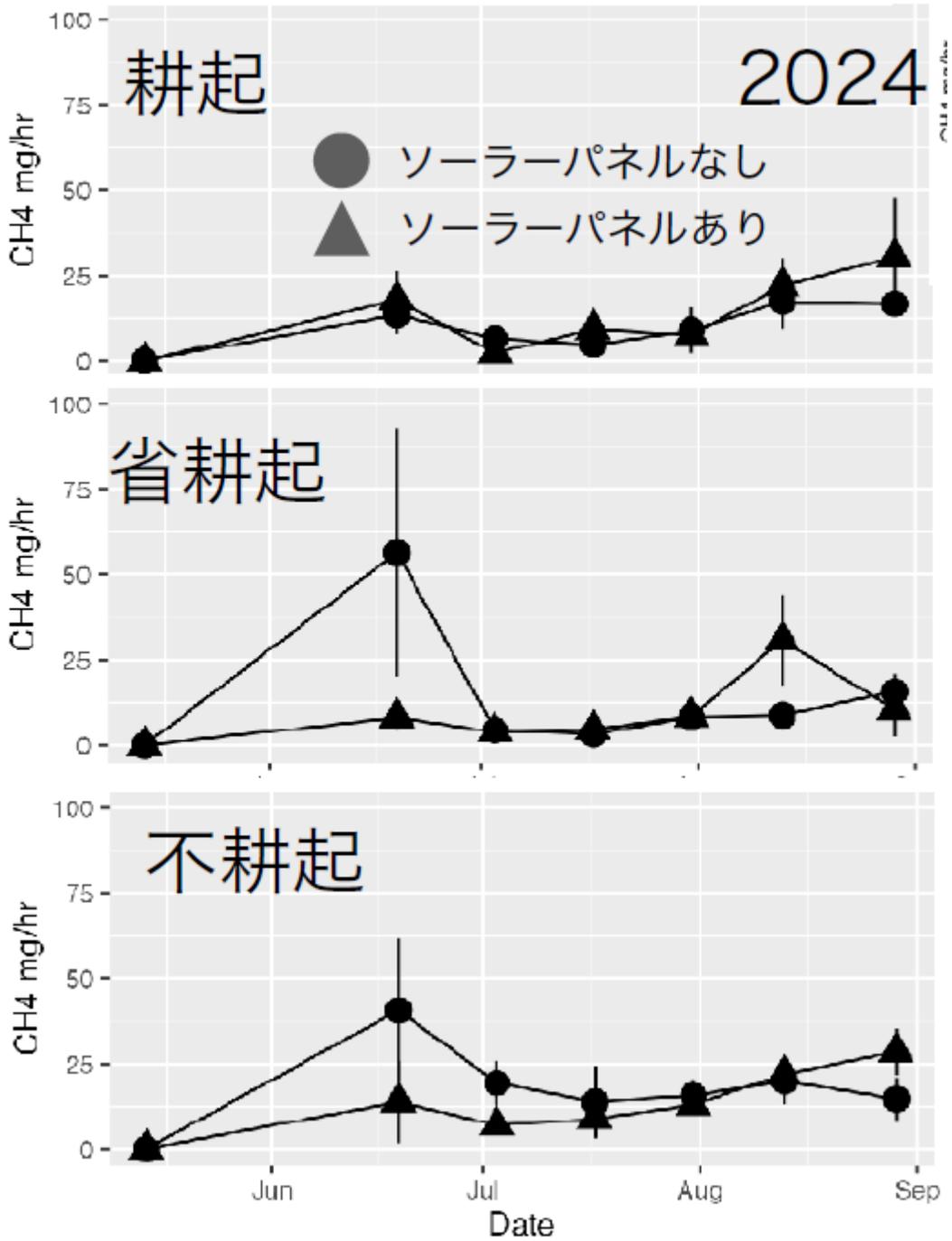


図 28 [耕起区、省耕起区と不耕起区それぞれパネル下とそれ以外のエリアのメタン発生量]

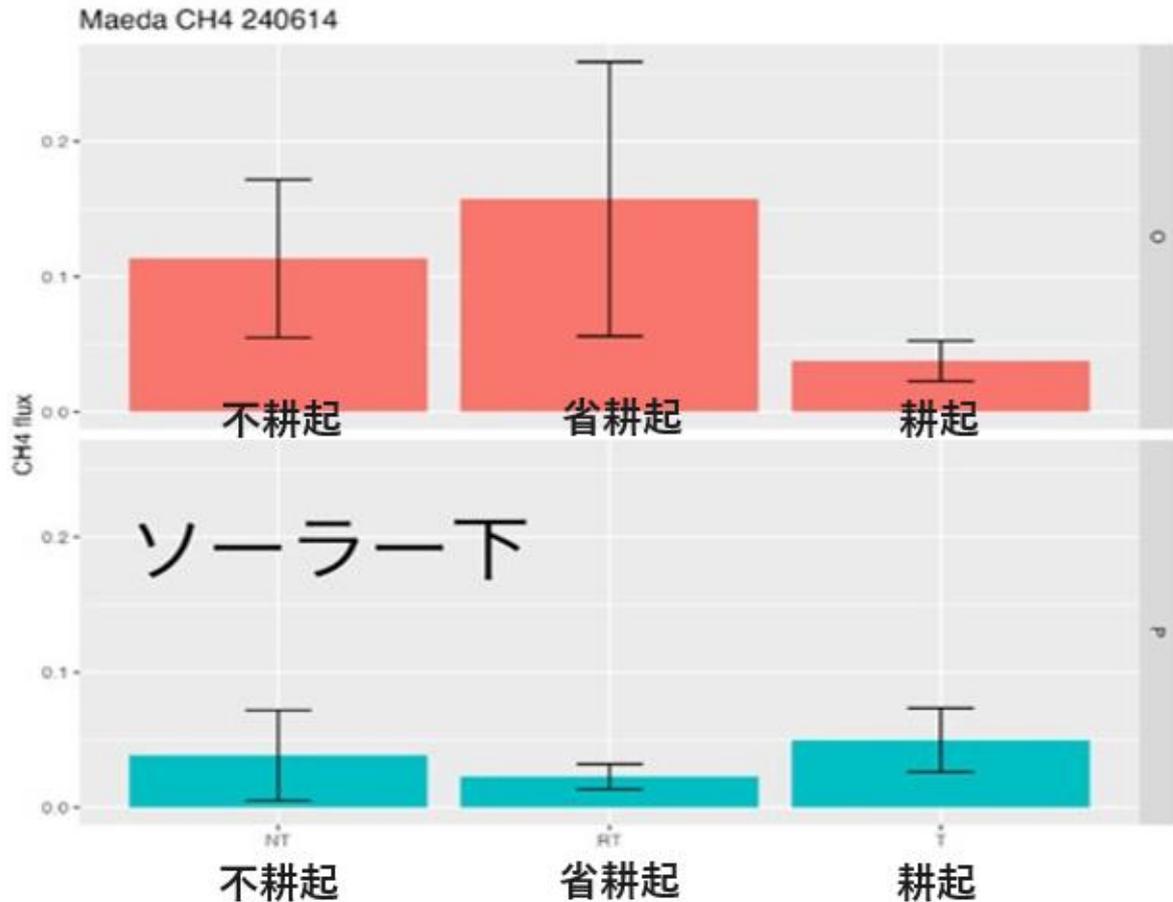


図 29 [耕起区と不耕起区それぞれパネル下とそれ以外のエリアの 6 月のメタン発生量]

6 月は上記のように大きな差が生まれた。7 月は水田から水がもれてしまいほぼ差がでなかった。本年度は同様のことを繰り返さないようにしなければならない。

温室効果ガスの排出を削減しても残念ながら気候変動はすぐに収まらないため、夏季の高温化が今後も続くことが予想される。ソーラーパネルの設置は気温や地温の低下を通してイネの高温障害を低減することが期待できる。

1 年間の観測であり、暫定的な値ではあるが、水田への営農型太陽光発電の設置により大幅にメタン排出量が削減できた。今後、不耕起化による農業用燃料の削減、さらには農業機械の電動化による化石燃料代替、土壌中の炭素量の変化も含めて不耕起水田における営農型太陽光発電を組み合わせた新たな有機農業の採用による環境収支を定量していく予定である。

将来的に今回の方法で削減したメタンが GHG クレジットとして農家の新しい収入になる可能性がある。2024 年 10 月 1 日には農林水産省の J クレジットのレギュレーションを実質的に作られた課長職の現地視察が実施され、本方法に関する認知も向上した。2025 年度はソーラーシェ

アリング設置による水田メタン調査に農水省からの助成金が出るようになった。

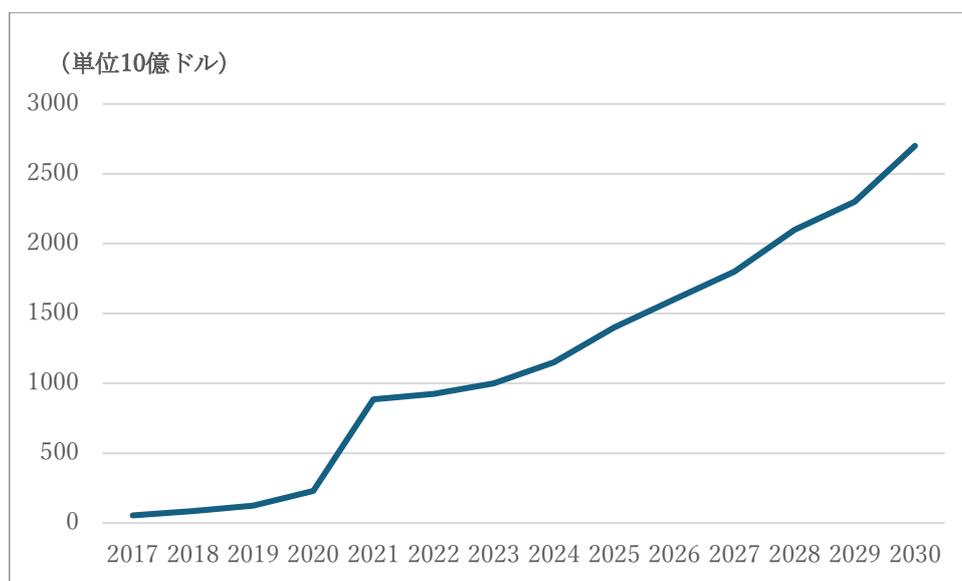


図 30 [世界のカーボンをクレジット取扱金額の過去実績と予想値のグラフ]

[Refinitiv, BloombergNEF, Ecosystem Marketplace 等が公表するデータをベースに著者作成]
これまでの推移などから今後も世界のカーボンをクレジットは取扱高だけでなく単価も上昇して
いくことが予想されている。2030年には日本円に換算すると400兆円をこえる市場になる予想
である。この流れを農業収入に活用していくことは、今回の実験結果を鑑みると十分に可能で
ある。

2) 高温障害に対する適応

今回の実験では発電だけではなく地球温暖化に対する農作物の適応の点からもソーラーシェアリングの有効性が確認できた。

下の図は耕起区と不耕起区それぞれパネル下とそれ以外のエリアの整粒米比率を表している。SS 設備パネル下とそれ以外のエリアのどちらも**不耕起栽培のエリアが整粒米の比率が高い**ことが分かった。

また **SS 設備パネル下の方がそれ以外のエリアよりも整粒米の比率が高い**ことが分かった。言い換えるとパネル下で不耕起のエリアが最も整粒米比率が高く、パネル下以外のエリアで耕起したエリアが最も整粒米比率が低い結果となった。

年々、地球温暖化の影響で日本国内においても北海道以外の都道府県すべてで2等米比率が上昇しており大きな問題となっている。農研機構によるとこのままなんの手立ても講じないと2050年には11%以上の減収が見込まれるという報告もある。(日本農業新聞 2024年9月22日 <https://www.agrinews.co.jp/news/index/260222>)

今回の実験では高温障害の適応の観点で水田におけるSS設備の設置が効果的である可能性が認められた。

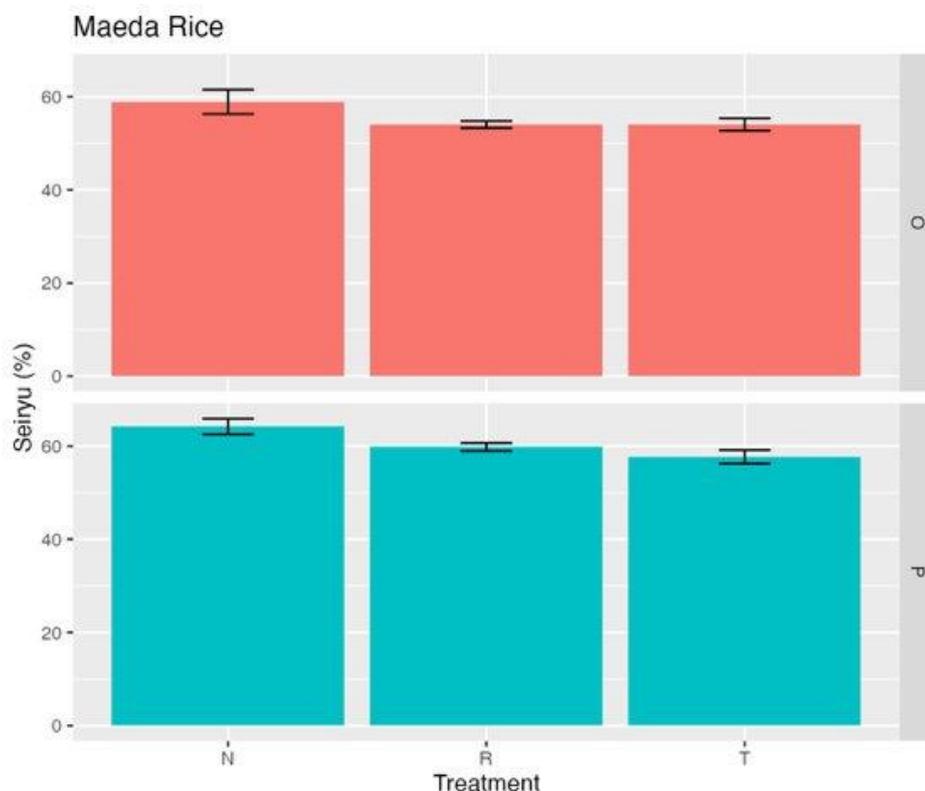


図 31 [耕起区と不耕起区それぞれパネル下とそれ以外のエリアの整粒米比率]

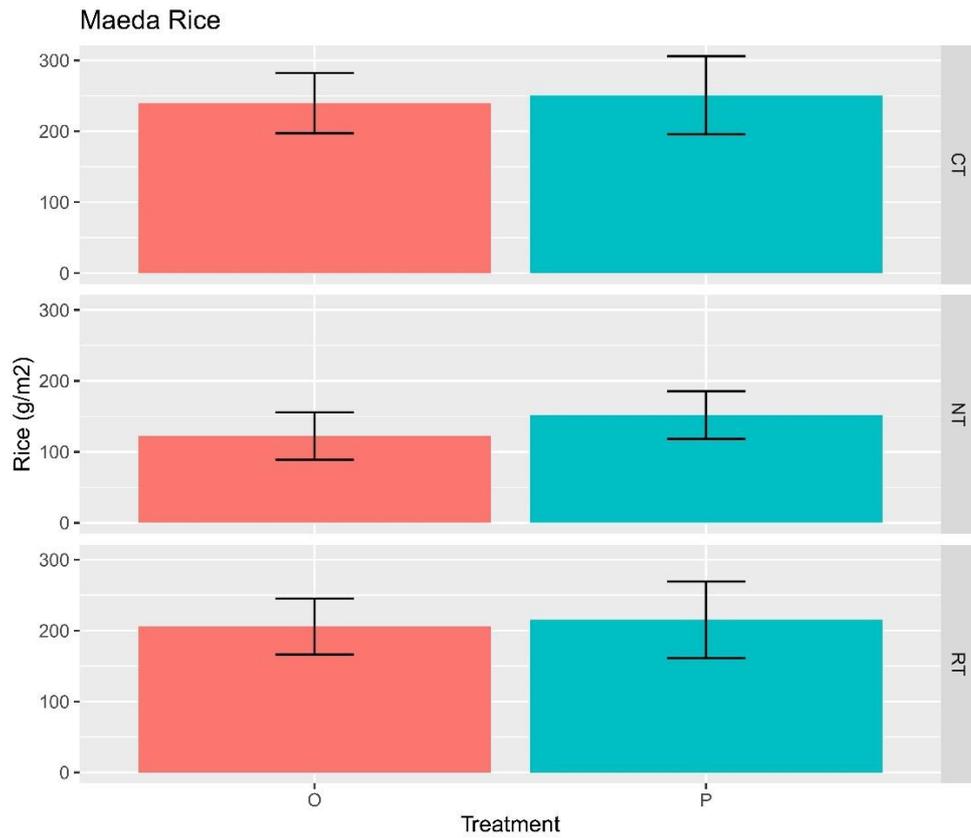


図 32 [耕起区、省耕起区と不耕起区それぞれパネル下とそれ以外の収穫量]

統計的な有意差はみられないが、平均値を見ると SS 設備パネル下のエリアの方が、収穫量が多くなっている。

耕起エリアと不耕起エリアとでは不耕起エリアの方が、20%程度の減収となっている。

3) 環境収支に関して

【メタン排出量の変化について】

日本を含む多くの国では、国別温室効果ガス排出インベントリ作成において IPCC ガイドライン（2006年版、改訂版など）を用いて農業部門の排出量を推計することが多い。そこで、今回もそれに準じて推定した。

CH₄排出（稲作）の基本式

$$\text{CH}_4\text{Emission} = A \times \text{EF} \times (1 - R) \times 10^{-3}$$

$\text{CH}_4\text{Emission} = A \times \text{EF} \times (1 - R) \times 10^{-3}$

- AAA: 作付面積 (ha)
- EF: 排出係数 (kg-CH₄/ha) — 湛水日数、水管理、稲わら施用などで補正
- R: リカバリー係数 (中干しや複数回排水による削減)
- 10⁻³: kg から t 単位への変換係数

この排出係数 (EF) が、たとえば「連続湛水・温帯地域」で 1.3 kg-CH₄/(ha・日) などの初期値が与えられ、実際の湛水期間や稲わら還元の有無によって補正をかける仕組みです。

【再生可能エネルギー導入による GHG 削減効果】

DC1,000kW (1MW) のソーラーシェアリング太陽光発電設備を日本国内の一般的な条件で設置した場合、年間発電量：1,300,000～1,350,000 kWh

※市民エネルギーちば(株)の10年間の実績データをもとに算出 (南向き/パネル角度 25 度)

CO₂排出係数：0.474～0.5 kg-CO₂/kWh

を目安に計算すると、

年間で約 600～675 t-CO₂ 程度の排出削減効果が見込まれる。

遮光率 35%のソーラーシェアリングの場合、場合 1.4ha で 1,000 kW の太陽光パネルが設置可能である。よって 1ha の場合、714kW の太陽光パネルを設置可能である。

ゆえに **1ha あたり 428～482 t-CO₂ 程度の排出削減効果**が見込まれる。

【LCA（ライフサイクルアセスメント）】

・太陽光発電が実際にどの程度 CO₂排出を削減できるかを精緻に評価するためには、設備の「製造 → 輸送 → 設置 → 運用 → 廃棄・リサイクル」にわたるライフサイクル全体の排出量を考慮する必要がある。

年々、太陽光パネルの製造と廃棄/リサイクルにかかるエネルギーコストは下がってきており、ペイバックタイムは0.9年から1.7年程度と表現されることが多く、一般的には1.2年程度と考えられています。今回の試算では安全側に考え、太陽光パネルの安全寿命30年に対してペイバックタイム1.7年を対比して上記の係数に0.94をかけることとした。

・また国内の太陽光発電設備に関しては法令で10年を超えた全ての設備からリサイクル費用を積み立てることが義務付けられ施行されている。またリサイクルの方法も技術的には確立されているので、将来に向けて今後はさらなるコストダウンと、抜け道のない法制化と運用が求められる。

。

【一部を農業機器に利用した場合】※今回の実験では、シミュレーションのみ

日本国内で1haの水稲栽培に使用される農業機器の化石燃料の量とそのGHG排出量

■一般的な慣行稲作の年間トータルで40~80L/ha程度の軽油（ディーゼル）を用いる例が多い。

※作業回数・機械の大きさ・地形条件により上下。

■ それに伴う GHG 排出量 (CO₂換算)

- ・ 軽油の排出係数（約 2.62 kg-CO₂/L）から換算すると、0.10~0.21 t-CO₂/ha 程度。
- ・ 乾燥・調整などの燃料や電力を含めれば、もう少し増える場合もある。

【日本の水稲栽培で1年間に排出される GHG】

日本の水稲栽培における1haあたりのGHG排出量は**「2~4 t-CO₂eq/ha/年」程度がひとつの目安であり、そのうちメタンが8~9割を占める**といっても過言ではない。

【GHG 換算での環境収支についての結論】

- ① 日本の水稲栽培における 1ha あたりの GHG 排出量は** 「2~4 t-CO₂eq/ha/年」 程度
- ② 本実験によりメタンが 50%程度削減が確認されたので安全側に以下のように計算する。
「2~4 t-CO₂eq/ha/年」 × メタン比率 0.8 × 0.5 (メタン削減比率)
= 「0.8 ~1.6t-CO₂eq/ha/年」
- ③ 「0.8 ~1.6t-CO₂eq/ha/年」 - 農業機器化石燃料削減 「0.10~0.21 t-CO₂/ha/年」
= 「0.6 ~1.5t-CO₂eq/ha/年」
- ④ ソーラーシェアリング設置により 1ha あたり 428~482 t-CO₂ 程度の排出削減効果
- ⑤ ④に製造および廃棄/リサイクルにかかる環境コストを考慮して 0.94 をかける。
- ⑥ 圧倒的に、GHG 換算での環境収支がプラスになることが認められた。
 - ・最大 約 755 倍 (482t × 0.94 ÷ 0.6t)
 - ・最小 約 268 倍 (428t × 0.94 ÷ 1.5t)

・上記のようにソーラーシェアリングを設置すると環境収支は大幅に農業で発生する GHG 排出をカバーすることになる。

・言い換えると 1ha (10,000 m²) のうちの 2.85%にあたる 285 m²にソーラーシェアリングを設置するとその水田における水稲栽培全般で発生する GHG を全て相殺することができる。

・また日本の水田の 33.2%にソーラーシェアリングを設置すると日本国内の年間消費全電力をカバー可能なほどのポテンシャルが実在する。

■計算式 (1kW システム当たりの年間発電量が 1,400kWh/kW の場合)

- 1) 両面受光パネル (1 枚) の面積

$$0.35\text{m} \times 1.95\text{m} = 0.6825 \text{ m}^2$$

- 2) 1 m²当たりのパネル出力

$$1 \div 0.6825 \times 0.165 = 0.241\text{kW}$$

- 3) 1 m²当たりの年間発電量

$$0.241 \times 1,400 = 337.4 \text{ kWh}$$

4) 日本国内の年間消費電力に必要な面積

$$9,135 \text{ 億 kWh} \div 337.4 = 27.07 \text{ 億 m}^2$$

5) ソーラーシェアリングの遮光率 (35%) で必要な面積

$$27.07 \text{ 億 m}^2 \div 0.35 = 77.34 \text{ 億 m}^2 = 77.34 \text{ 万 ha}$$

6) 合計農地面積に対する比率

$$77.34 \text{ 万 ha} \div 239.7 \text{ 万 ha} (\text{※1}) = 32.2\%$$

※1 日本の水田面積 (農林水産省「令和2年農林業センサス 全国集計結果」より)

・ちなみに日本の農地の16.7%にソーラーシェアリングを設置すると現在の日本の全電力をカバー可能である。(今後の発電効率アップやデータセンターなどの需要向上を考慮せず)

■計算式 (1kW システム当たりの年間発電量が 1,400kWh/kW の場合)

1) 両面受光パネル (1枚) の面積

$$0.35\text{m} \times 1.95\text{m} = 0.6825 \text{ m}^2$$

2) 1 m²当たりのパネル出力

$$1 \div 0.6825 \times 0.165 = 0.241 \text{ kW}$$

3) 1 m²当たりの年間発電量

$$0.241 \times 1,400 = 337.4 \text{ kWh}$$

4) 年間消費電力に必要な面積

$$9,135 \text{ 億} \div 337.4 = 27.07 \text{ 億 m}^2$$

5) ソーラーシェアリングの遮光率 (35%) で必要な面積

$$27.07 \text{ 億 m}^2 \div 0.35 = 77.34 \text{ 億 m}^2 = 77.34 \text{ 万 ha}$$

6) 合計農地面積に対する比率

$$77.34 \text{ 万 ha} \div 463.2 \text{ 万 ha} = 16.7\%$$

3) 農業経営における経済性に関して

【考慮すべき項目】

(1) メタンのクレジット収入

中干期間延長によるメタンの削減は30%程度であり、ソーラーシェアリング下の気温降下によるメタンの削減は50%程度である。中干期間延長によるJクレジットでの市場（注7）売買金額は 8,000～15,000 円/ha/年である。

このことから1.66倍して **13,280～24,900 円/ha/年**とする。

(2) 電力販売収入

・ソーラーシェアリングでの売電収入に関しては農業者サイドから見ると三つの形が想定できる。

①農業者自身が発電事業者となり、自身で営農を実施する。

- ・発電事業における利益は全て農業者の収入になる。
 - ・1haでDC500kWの設備建設が可能だが、7,500万円以上のコストがかかる。
 - ・資金調達できた場合は**金額にして200万円以上/ha/年の増収となることが多い。**
- ※助成金の有無など条件により水数値は大きく異なる。

②農業者自身では発電事業を実施しないが、設備下部で営農を担当する。

- ・発電事業における利益は一部が農業者の収入になる。
- ・売上の5%程度の報酬が支払われることが多い。
- ・**金額にして60万円程度/ha/年**（水田の平均的な売上にほぼ匹敵）

③自身は営農を実施せず、発電事業者と営農者に土地のみを提供する。

- ・発電事業に土地を貸す地代のみ農業者の収入になる。
- ・**金額にして15万～20万円程度/ha/年**

(3) トラクタなど農業機器のEV化による燃料費の削減

・世界的な社会環境から、化石燃料価格は中長期的に上昇傾向にあり、これが様々な形態の農業経営の経費を上昇させている。これを自前の安価な再生可能エネルギーに転換することは、農業経営の健全化にプラスになる。またソーラーシェアリングのイニシャルコストとランニングコストは一定なので動力に関するコストが一定化され農業経営の安定化にもプラスになる。

・加えて自動車のEVが進む中でトラクタなどのEV化も加速していきそうである。下画像のクボタの商品に限らずイセキもEUですでに商品投入を行っている。



図 33/左/ヤンマー無人電動トラクタ 図 34/右/イセキ電動モア



図 35 (株)クボタ HP より引用 : <https://www.kubota.co.jp/futurecube/tractor/>

(4) 収量増による増収

・今回の実験では統計的な有意性まではみられなかったのですが、今回は数値化は行わないが、温暖化に対しての適応の作用で収量に関して平均が高い結果が得られたので、今後、複数の実証実験で数値化ができれば農業収入に係数として加算していくことを検討する。ただしSS設備の

柱の影響で10%程度は作付け面積が減少することを常に考慮する必要がある。今後の設備においては支柱間隔6mに対して60cm程度の空間が生まれるので概ね10%程度で考慮する。

(5) 一等米比率の向上による増収

・こちらは統計的な有意性も認められた(図31)。同じ収穫量であっても実際に流通する際には一等米の比率が高い方が当然に販売価格は高くなる。一等米でも2等米でも生産と流通上の移動にかかるコストは同じなので、純利益に直結する項目となる。また多くの水稻農家が高温障害に強い品種に移行していく中で、これまで通り「こしひかり」などを栽培できると希少価値が加わり、売買価格が上昇する可能性もある。

このことは農業経営的には競争力強化でプラスになる。

(6) カーボンファーミング(※4) ブランディングによる増収

・EU圏を中心にカーボンファーミング(炭素貯留農業)の農産物には消費者価格の面でインセンティブがついて流通するようになってきている。日本国内においても意識が高い消費者から脱炭素型の農産物の供給への希求が高まりつつある。

・写真の商品はソーラーシェアリング下で不耕起かつJAS有機で栽培された大豆を使った味噌を、世界的に環境対策で有名なPatagoniaが商品化し、実際に日本全国のPatagonia直営店で販売されたものである。通常のオーガニック味噌よりも高い値段で販売された。

・(株)TERRA社は、関係会社の農地所有適格法人/匠瑤おひさま畑(株)からソーラーシェアリング下でJAS有機で栽培された有機大麦をソーラービールの原材料として1kgあたり600円(税抜)で購入している。カーボンファーミングによるブランディング強化での売り上げ増は最も即効性があり、金額的なインパクトも相当である可能性がある。

とりわけ企業と連携してソーラーシェアリングを設置した場合はそのシナジーが顕著である。



図 36 【カーボンファーミング商品の一例/ソーラービール 2024/11/6/撮影】

ソーラーシェアリングの下で JAS 有機認証を取得して不耕起有機栽培された大豆を使用してできたお味噌。右写真の人物は Patagonia 日本支社パタゴニアプロビジョンズリーダーの近藤氏



図 37 【カーボンファーミング圃場における援農作業 2023 年 8 月/撮影】

毎年、のべ 200 名を超える Patagonia 日本支社のスタッフがこの圃場に援農に来て、地元農業法人の若手たちと交流を深めている。



図 38 【カーボンファーム商品流通の一例/ソーラービール 2024/8/6/撮影】

ソーラーシェアリングの下で JAS 有機認証を取得して有機栽培された大麦を使用して作られた『ソーラービール』。売価 800 円というプレミアがついて販売されている。

(7) 高温対策でのかけ流しを省略することでの経費削減

・かけ流しの実施の程度やコストに関しては地域や状況により実にさまざまであることが、WEB での検索レベルではあるが理解できた。今回は、削減可能項目の指摘にとどめ、数値化は行わないこととする。

- 水門の開け閉めにかかる人件費、移動燃料費
- 水代

(8) その他

- ・脱炭素型の農業に取り組むことでの宣伝効果
- ・先進的な農業に取り組むことで、新規就農者を優先的に確保可能となる。
- ・一部が日陰になり農作業時の疲労軽減⇒相対的労務費の削減に繋がる可能性向上。

【農業経営に関する試算】

(1) これまでの一般的な水稲経営

■ 1haあたりの売上（収入）

おおむね 100 万～150 万円 程度（米価や収量によって大きく変動）。

■ 1haあたりの経費（支出）

資材費・農機費・地代・労働費などを含め、50 万～70 万円 程度が一つの目安。

■ 差引（粗収益）

50 万～80 万円前後/ha のイメージ。

10ha の経営で 500～800 万円の所得

(2) ソーラーシェアリング設置による新しい水稲経営

農業経営収支	メタン クレジット	再エネ 収入	収量	一等米 比率	ブランド 価値	収入増 合計	収入増 10ha合計
	/ha/年	/ha/年	10%	3%	10%	/ha/年	/10ha/年
SS設置	20000円	60万円	減少	増収	増収	63万円以上	630万円以上

※収量に関しては単位面積あたりの稲の生育的にはほぼ同等だが、10%程度は柱の設置のために作付け面積が減少が収量減少することに繋がる。

※再エネ収入に関しては安全側、メタンクレジットに関しては平均で表に挿入した。

※上記の表の合計額においては一等米比率向上による増収とブランド価値上昇による増収分は数値化が難しいため反映させなかった。

これまでの水稲 10ha の経営で 500～800 万円の所得があったものにソーラーシェアリング設置により 630 万円以上が加算されることで総合的な収入が 1,130 万円～1,430 万円になることが想定される。この数字は日本の農業の後継者達にとって大変希望あるビジネスモデルになると確信できる。

4) ペロブスカイト太陽電池の活用に関して

(1) ペロブスカイト太陽電池活用による新しい設置方向の効用に関して

- ・ 本実証試験は、日本で生まれた次世代太陽光パネルである「ペロブスカイト太陽電池」(注5)を想定したダミーパネルにて実施された。
- ・ 以下の図のようにこれまでと90度異なる向きで設置することで作物により自然な状態で光があたることとなる。水稻は、光飽和点がない植物に分類されることから影が短い周期で通過することは好ましいと考えた。

とりわけ稲は光飽和点がない植物に分類されるのでより良好な状況での遮光が好ましいと予想している。今回の実験でもペロブスカイト太陽電池の特性によるモジュールの南北設置が植物により良い生育環境をもたらす可能性が発見できた。

■光と影の入れ替わり時間（フリッカー効果）と植物の成長

植物の光合成や成長に影響を与える要因として、「光と影の入れ替わる頻度（周波数）」が重要であることが、森林生態学や農業環境工学の研究から知られている。

- ・ 長時間の完全な日陰状態 → 光合成が抑制される
- ・ 短時間の断続的な影（sunfleck） → 植物が強光を部分的に受けられ、光合成を効率的に行いやすい

■Sunfleck（サンフレック）仮説とは

- ・ 森林の林床植物や、一部の農作物では、「断続的に光が当たる環境」のほうが光合成が効率的になることがある。
- ・ Sunfleck とは、木漏れ日のように短時間だけ日が差し込む状態を指す。以下研究では、「断続的に日射を受けると光合成が向上する」ことが示されている（Percy, 1990; Chazdon & Percy, 1991）。
- ・ 太陽光パネルが細長く小さくなると、この光と影の切り替わりがより頻繁になり、連続した広い影よりも作物が有利になる可能性がある。



図 39 太陽光パネルを南北向き設置した場合の雲の動き

ペロブスカイト太陽光電池の持つ、『曲げられる』『低照度でも発電効率があまり降下しない』『一部が影でも全体への発電の影響がない』という特性から始めて可能になる設置方法である。シリコンタイプで同方向（南北方向）でほこりを防ぐために角度をつけて設置すると著しく発電量が低下するので、ペロブスカイト太陽電池ならではの設置方法といえる。

(2) ペロブスカイト太陽電池活用する経済的/社会的メリットと課題

- ・またペロブスカイト太陽電池は低温で作れることや、主原料がヨウ素なので、国内調達が可能であり、軽いという性質も相まってペイバックタイムが削減され、環境収支的にもポジティブである。
- ・また日本国内で100%製造できることから、為替や国際動向に左右されずにソーラーシェアリングの導入が可能である点も事業の安定性にプラスになる。
- ・ただし微量の鉛が含まれるため、自然環境へ漏出がないよう十分な管理が必要である。具体的には不具合があったらすぐに交換することである。同時に法整備も整えてリサイクル体制の仕組みを構築することが肝要である。



図40 【レンズ型形状のSS専用ペロブスカイト太陽電池 2024/8/6/撮影】

ソーラーシェアリングのメッカである千葉県匝瑳市に(株)TERRA社が積水化学工業(株)と共同実証試験を開始した。TERRA社はこの形状などに関する特許（日本・アメリカ・中国）を有している。断面がレンズ型となっており今後予想される大型台風にも耐えるような設計となっている。また積水化学工業はペロブスカイト太陽電池に関しては技術面・生産面において圧倒的にリードしている。



図 41 【レンズ型形状の SS 専用ペロブスカイト太陽電池テストプラント 2024/8/6/撮影】

(株)TERRA 社と積水化学工業(株)社の共同実証試験の様子。(株)TERRA 社は 2025 年前半に世界初の系統接続を目指している。2025 年 12 月には一般販売目標とのこと。

(3) ソーラーシェアリングにおけるペロブスカイト太陽電池活用の可能性

【部品数が減る】

ソーラーシェアリングは下部での営農が必須なため、最低でも高さが 2.5m 以上と義務付けられている。上部が軽いほど簡易な課題構造が可能となり、部品点数が減り、工事工数も減るのでコストダウンにつながる。

【農作業性が向上する】

柱間隔が広くなり、高さも 4.5m 程度でも大丈夫になるので農作業がしやすくなる。

ペロブスカイト太陽電池＋レンズ型構造の工法的メリット

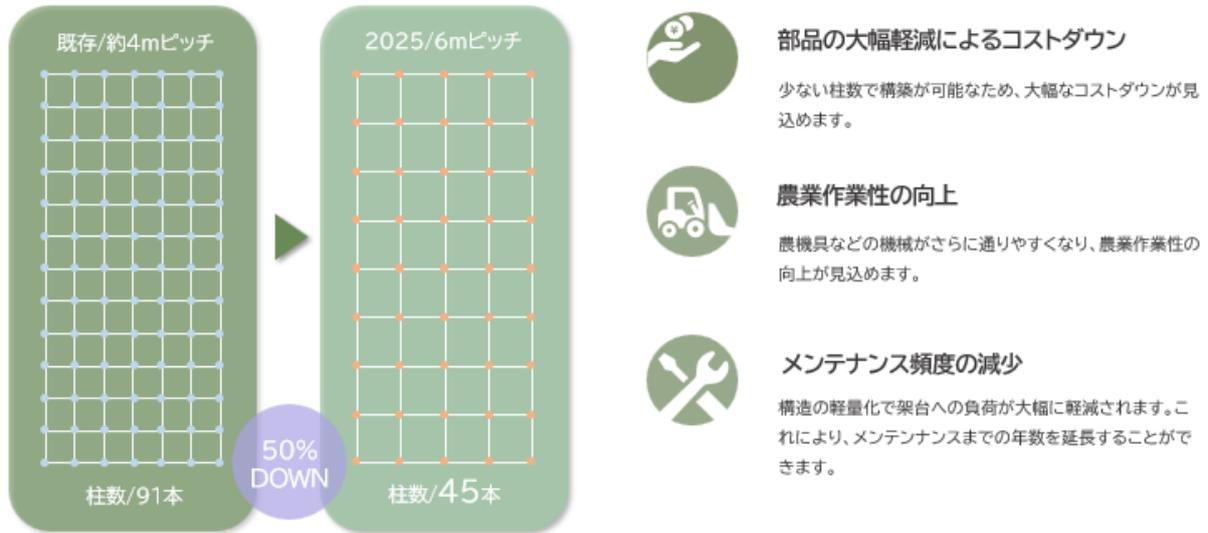


図 42 ペロブスカイト太陽電池活用による設備柱関係図

(4) ペロブスカイト太陽電池活用に対する補助金・助成金に関して

・ペロブスカイト太陽電池向けの FIT・FIP の創設、農水省、環境省、経済産業省、各地自治体などから様々な予算措置が取られるので農業従事者が導入する際に、優位に働くことがわかっています。営農型太陽光発電には、ペロブスカイト太陽電池活用以外にも農水省、環境省、経済産業省、各地自治体などから様々な補助事業が用意されており、これらも継続の見込みではありますが、助成金比率の上限は2分の1までであることやそれぞれに整えなければならない条件が複数存在していますので、ペロブスカイト太陽電池活用の補助事業の方が有意である可能性が高いことが予想されています。

(3) -1 経産省からの助成措置

経済産業省からは、ペロブスカイト太陽電池を活用した設備に関して、新しい FIT と FIP の区分が創設されることがすでに発表済みである。最終的な初年度の価格は2025年3月終醇に発表予定である。FIT/FIP が実施されると農業従事者が金融機関から借り入れを実施する際に非常に優位に働くという側面があり、効果が高いことが予想される。

またこの措置以外にも建設費に対しての助成金も検討中である。

③ 需要創出支援について

- ペロブスカイト太陽電池の早期の社会実装に加え、事業者の**一定の投資予見性を確保し、生産体制構築を促す観点から、その需要の創出を行う。量産化による価格低減、更なる導入拡大につながる好循環の形成を目指す。**

※**予算による導入支援**について**2025年度から実施すべく事項要求中。**

予算による導入支援	FIT/FIP制度による導入支援の検討
<ul style="list-style-type: none"> 自治体含む導入主体の需要家への支援を設計。補助率は既存太陽光設備との値差を踏まえ検討。 重点分野への設置を想定して、対象費用・設備の範囲は、官民の適切な役割分担の下で、適切に設定し、設置に係る支援についても検討する。 可能な限り早期に支援措置の情報提供を行うことをはじめ自治体等と密に連携を図るとともに、PPA事業者など関係事業者との連携も検討する。 <p><重点的分野の考え方></p> <p>①設置場所</p> <ul style="list-style-type: none"> 追加的な再エネ導入(従来太陽光発電の設置が難しかった建物屋根・壁面等) <p>②導入主体</p> <ul style="list-style-type: none"> 需要地と近接した設置場所・自家消費率が高い設置場所 緊急時の発電機能等 ※公共部門や環境価値を高く評価する先進的な企業による積極的な対応を促進 <p>③施工面</p> <ul style="list-style-type: none"> 一カ所当たりの設置面積が大きいこと 同種の屋根等がある建物への施工の横展開可能性が高いこと ※関係法令への適合を前提とし、ペロブスカイト太陽電池が軽量である利点を活かした形で建材として設置できるよう耐火性の向上に関しても要考慮。 	<p><新区分の創設検討に当たっての留意点></p> <p>FIT/FIP制度を、新しい技術を用いた再エネを広く普及拡大するための強力な支援制度として活用する際には、</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 制度は電気の需要家による国民負担に支えられており、支援を行う電源は、国民負担の抑制や、将来的に自立化する見込みがあることを前提とし、 ● 本官民協議会で確認された自立化に向けた官民連携による取組の状況、予算による導入支援との役割分担、自家消費を妨げない価格水準への道筋を踏まえ、 ● 政府は、ペロブスカイト太陽電池に関する新設区分の創設、そのタイミングについて、引き続き、検討する。 <p>検討時に留意すべき点の例： 長期安定的な発電を可能にする性能基準の確認や、調達の安定性の担保 等</p>

図 43 経済産業省 HP より引用/FIT/FIP に関する記載 2024 年 11 月

chrome-extension://efaidnbmninnibpcapjpcgkclefindmkaj/

https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/perovskite_solar_cell/pdf/20241128_1.pdf

(3) -2 農水省からの助成措置

農水省からも金額や助成率、予算枠の詳細はこれからだが発表が行われている。ペロブスカイト太陽電池の国家的推進に関して、経産省、環境省が積極的に関与することは想像が容易いが、農水省、国交省なども加わり助成メニューが豊富に用意されているところから国家の国策として推進していく方向性が強く読み取れる。

みどりの食料システム戦略推進交付金のうち 地域循環型エネルギーシステム構築 【令和7年度予算概算要求額 3,500 (650) 百万円の内数】

<対策のポイント>
 みどりの食料システム戦略の実現に向けて、地域の再生エネルギー資源を活用した地域循環型エネルギーシステムの構築のための再生可能エネルギー利用のモデル的取組及び未利用資源（稲わら、もみ殻、竹、廃園床等）や資源作物のエネルギー利用を促進する取組を支援します。

<政策目標>
 カーボンニュートラルの実現に向けて、農林漁業の健全な発展に資する形で、我が国の再生可能エネルギーの導入拡大に歩調を合わせた、農山漁村における再生可能エネルギーの導入 [令和12年まで]

<事業の内容>	<事業イメージ>
<p>1. 農山漁村における再生可能エネルギー利用のモデル的取組支援</p> <p>① 農業者、発電事業者、地方公共団体等を交えた地域ぐるみの話し合いによって、適切な営農と農林漁業関連施設等への電力供給を両立する営農型太陽光発電のモデルを策定する取組を支援します。</p> <p>② 令和6年度に確立されたモデル又は①のモデルに基づき行われる、営農型太陽光発電設備と蓄電池の導入実証を支援します。</p> <p>③ 農林漁業関連施設等への次世代型太陽電池（ペロブスカイト）と蓄電池の導入実証を支援します。</p> <p>2. 未利用資源等のエネルギー利用促進への対策調査支援</p> <p>① バイオ燃料等製造に係る資源作物の栽培実証 国産バイオマスの一層の活用に向け、荒廃農地等を活用した資源作物由来のバイオ燃料等製造に係る検討、栽培実証、既存ボイラーにおける燃焼実証等を支援します。</p> <p>② 未利用資源の混合利用促進 木質バイオマス施設等における未利用資源の投入・混合利用を促進するため、既存ボイラー形式等の仕様・運用実態等の調査や炉への影響や混合利用による効果の検証等を支援します。</p> <p><small>※以下の場合に優先的に採択します</small> ・みどりの食料システム法に基づく特定区域において取組を行う場合 ・事業実施主体の構成員（農業者、民間団体等）が「みどり認定」等を受けている場合 等</p> <p><事業の流れ></p> <pre> graph LR A[国] -- 定額 --> B[都道府県] B -- 定額 --> C[協議会等 (1の事業)] B -- 定額 --> D[地方公共団体、民間団体等 (2の事業)] </pre>	<p>1. 農山漁村における再生可能エネルギー利用のモデル的取組支援</p> <p>① 推進会議 地方公共団体、農業者、農業委員会、地域住民、知見を有する者、推進会議、発電事業者、電気供給先 地域で最適な作物、設備設計、電力供給等について検討しモデルを策定</p> <p>②③ 導入実証 営農型太陽光発電設備、次世代型太陽電池（ペロブスカイト）、蓄電池について導入実証</p> <p>2. 未利用資源等のエネルギー利用促進への対策調査支援</p> <p>① バイオ燃料等製造に係る資源作物の栽培実証 検討会開催、荒廃農地等を活用した栽培実証、栽培体系の分析</p> <p>② 未利用資源の混合利用促進 稲わら、竹、もみ殻、木質チップ 地域で課題となっている未利用資源 + 既存施設の燃料材 = 混合利用</p> <p>エネルギー化 木質バイオマス発電所等 ① 資源作物の燃焼実証 ② 未利用資源の混焼実証</p> <p style="text-align: center;">資源作物や未利用資源の利活用による再生可能エネルギーの導入推進 12【お問い合わせ先】 大臣官房環境バイオマス政策課 (03-6744-1508)</p>

図 44 ペロブスカイト太陽電池活用の営農型太陽光発電への助成金に関する記載 2024年11月

農林水産省 HP より引用/<chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcglclefindmkaj/>

<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/attach/pdf/houritsu-44.pdf>

※国交省に関しては以下の 10P に記載有。

<chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcglclefindmkaj/>

<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/content/001743556.pdf>

(3) -3 環境省からの助成措置

農水省からも1案件ごとの上限と下限金額の詳細発表はこれからだが、50億円以上という大変大きな予算の発表が行われている。助成率も一般的な助成金が2分の1助成が多いことに比べて、3分の2または4分の3という異例の助成率となっており、環境省の強い本気度が感じられる。

ペロブスカイト太陽電池の社会実装モデルの創出に向けた導入支援事業 (経済産業省連携事業)



【令和7年度予算(案) 5,020百万円(新規)】

ペロブスカイト太陽電池の国内市場立ち上げに向け、社会実装モデルの創出に貢献する自治体・民間企業を支援します

1. 事業目的

軽量・柔軟などの特徴を有するペロブスカイト太陽電池は、これまで太陽電池が設置困難であった場所にも設置を可能とするとともに、主な原料であるヨウ素は、我が国が世界シェアの約30%を占めるなど、再エネ導入拡大や強靱なエネルギー供給構造の実現にもつながる次世代技術である。ペロブスカイト太陽電池の国内市場立ち上げに向け、その導入を支援することで、導入初期におけるコスト低減と継続的な需要拡大に資する社会実装モデルの創出を目指す。

2. 事業内容

ペロブスカイト太陽電池の導入初期における発電コストの低減のため、将来の普及フェーズも見据えて拡張性が高い設置場所(同種の建物への施工の横展開性が高い場所、需要地と近接した場所や自家消費率が高い場所、緊急時の発電機能等が評価される場所等)への導入を支援することで、社会実装モデルの創出に貢献する。

<対象>

・従来型の太陽電池では設置が難しい場所に導入する事業であり、一定の要件を満たすもの

<主な要件>

- ・導入するフィルム型ペロブスカイト太陽電池が性能基準を満たすこと
- ・同種の屋根等がある建物への施工の横展開性が高いこと
- ・導入規模の下限、補助上限価格
- ・施工・導入後の運用に関するデータの提出 等

3. 事業スキーム

- 事業形態 間接補助事業(補助率: 2/3、3/4)
- 補助対象 地方公共団体、民間事業者・団体
- 実施期間 令和7年度～

4. 補助事業対象の例



フィルム型ペロブスカイト太陽電池の導入イメージ

環境省 大臣官房 地域脱炭素推進審議官グループ 地域脱炭素事業推進課 電話: 03-5521-8233
お問合せ先: 環境省 地球環境局 地球温暖化対策課 地球温暖化対策事業室 電話: 0570-028-341
資源エネルギー庁 省エネルギー部 新エネルギー課 電話: 03-3501-4031

図 45 ペロブスカイト太陽電池活用の導入に関する記載 2024年11月

環境省 HP より引用/chrome-

extension://efaidnbmnribpcajpcglclefindmkaj/https://www.env.go.jp/content/000278971.pdf

6) 最後に

・ソーラーシェアリングの設置により、①地温の低下、②メタン発生量の大幅減少、③収量は減少しない（平均収量は増加）、④整粒米比率の増加が確認

、など総合的に環境収支の点でポジティブな結果が得られた。またそれに伴う農業経営収支の考察の点でもポジティブな結果が得られた。本研究の目的である農業部門から脱炭素社会を具体的に推進する方法論に関して、とりわけ水田から発生するメタンを大幅に削減できることが検証できた。

ただし水田の圃場管理の点でメタンが多く発生する7月に水田から水が抜けてしまい、メタン発生量の計測値が全ての条件でほぼゼロとなってしまったので、まだ完全な検証データとはいえない部分がある。本年度は営農/圃場管理面を大幅に強化して2年目の実験に取り組む予定である。

気候変動に伴う水稲の高温障害に関して、様々な条件を加味して遮光するという手法が有効であり、またメタン削減という持続可能な農業の確立が可能である点に関して、明らかに良い結果が確認できたので、今後は海外を含めた複数地点での同検証の実施、複数年度にわたる同検証の実施などさらなる確からしさを確認していくことが重要である。

4. 引用文献

Abidin, M.A.Z., Mahyuddin, M.N., Zainuri, M.A.A.M., 2021. Solar Photovoltaic Architecture and Agronomic Management in Agrivoltaic System: A Review. *Sustainability* 13, 7846.

Kögel-Knabner, I., Amelung, W., Cao, Z., Fiedler, S., Frenzel, P., Jahn, R., Kalbitz, K., Kölbl, A., Schloter, M., 2010. Biogeochemistry of paddy soils. *Geoderma* 157, 1–14.

Lal, R., 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* (1979).

Qian, H., Zhu, X., Huang, S., Linqvist, B., Kuzyakov, Y., Wassmann, R., Minamikawa, K., Martinez-Eixarch, M., Yan, X., Zhou, F., Sander, B.O., Zhang, W., Shang, Z., Zou, J., Zheng, X., Li, G., Liu, Z., Wang, S., Ding, Y., van Groenigen, K.J., Jiang, Y., 2023. Greenhouse gas emissions and mitigation in rice agriculture. *Nat Rev Earth Environ*.

Pearcy, 1990; Chazdon & Pearcy, 1991

The Importance of Sunflecks for Forest Understory Plants: Photosynthetic machinery appears adapted to brief, unpredictable periods of radiation

Robin L. Chazdon, Robert W. Pearcy *BioScience*, Volume 41, Issue 11, December 1991, Pages 760–

766, <https://doi.org/10.2307/1311725> Published:01 December 1991

Carbon Farming (カーボンファーマーミング) に関する報告書 最終報告 2023 年 3 月
Eurovision& Associates (2023)

chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/

<https://www.maff.go.jp/j/kokusai/kokkyo/platform/pdf/platform-172.pdf>

農研機構レポート(2024) https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/rcait/163819.html

国立環境研究所 HP より

<https://www.nies.go.jp/whatsnew/20200806/20200806.html#:~:text=%E6%9C%88%E6%97%A5-,%E4%B8%96%E7%95%8C%E3%81%AE%E3%83%A1%E3%82%BF%E3%83%B3%E6%94%BE%E5%87%BA%E9%87%8F%E3%81%AF%E9%81%8E%E5%8E%BB20%E5%B9%B4%E9%96%93%E3%81%AB,%E3%81%AB%E9%96%A2%E3%81%99%E3%82%8B%E9%83%A8%E9%96%80%E3%81%AE%E4%BA%BA%E9%96%93%E6%B4%BB%E5%8B%95>

5. 用語の定義

(注 1) 温室効果ガス(GHG)： 温室効果ガス (Greenhouse Gas) は大気中に存在し、太陽からの熱を地表に届ける際に一部を捕らえ、地球の温度を上昇させる物質である。主な温室効果ガスには二酸化炭素やメタンなどがある。

(注 2) メタンガス：強力な温室効果ガスで、家畜の消化、廃棄物の分解などで発生する。大気中で二酸化炭素よりも 25 倍以上の温室効果を持ち、地球温暖化に影響を与える。

(注 3) IPCC：IPCC (気候変動に関する政府間パネル) は、地球温暖化をはじめとする気候変動に関する科学的知見を評価し、各国政府に対して客観的かつ総合的な情報を提供するために設立された国際的な機関です。

IPCC サイト <https://www.ipcc.ch/>

【設立の背景】

- 設立年：1988 年
- 設立主体：国連環境計画 (UNEP) と世界気象機関 (WMO)
- 目的：気候変動の科学的根拠やその影響・対策に関する情報を各国政府に提供し、政策決

定の参考とする

【IPCC の主な活動】

- ****評価報告書 (Assessment Reports, AR) の作成**
最新の科学研究や観測データを総合的に評価し、5～7 年程度のスパンで「第〇次評価報告書」として公表。現在は第 6 次評価報告書 (AR6) **が最新。
- ****特別報告書 (Special Reports) **の公表**
1.5°C 特別報告書、海洋・雪氷圏特別報告書、土地関係特別報告書など、特定のテーマに焦点を当てた報告書を作成。
- ****メソッドレポート (Methodology Reports) **の提供**
各国が温室効果ガス排出量を算定・報告するためのガイドラインを提示。

【役割と特徴】

『最新かつ包括的な科学的知見の整理』

IPCC 自体は独自の研究を行わず、世界中で公表された数多くの研究成果や論文を専門家が評価・整理し、科学的合意を導き出す。

『国際的なコンセンサス形成』

政府代表や専門家らが最終的な報告書の要旨などを合意形成して採択することで、各国政府が共通認識を得られる仕組みになっている。

『政策決定の基盤』

温室効果ガスの削減や気候変動の適応策など、世界や各国の環境・エネルギー政策の重要な根拠資料として利用される。

(注 4) RE100：(アールイーハンドレッド) とは、事業で使用するエネルギーを 100%再生可能エネルギー (再エネ) で賄うことを目指す国際的なイニシアティブです。英語の「Renewable Energy 100% (再生可能エネルギー100%)」の頭文字をとって名付けられた。

(注 5) ペロブスカイト太陽光電池：桐蔭横浜大学宮坂力特任教授が発明した次世代の太陽電池技術。ゆがみに強く、軽量化が可能なので、シリコン太陽電池では設置できない場所に設置でき、塗布や印刷技術で量産化でき低コスト化が見込める。シリコン製に匹敵するエネルギー変換効率を達成しており、本格的な実用化が期待されている。

(注 6) カーボンファームিং：カーボンファームিং (Carbon Farming) とは、大気中の CO₂ を土壌に取り込んで、農地の土壌の質を向上させ温室効果ガスの排出削減を目指す農法で、いわゆる環境再生型農業を指す。

(引用：農水省 HP <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/>

<https://www.maff.go.jp/j/kokusai/kokkyo/platform/pdf/platform-172.pdf>)

ただし「カーボンファームिंग (Carbon Farming)」定義は必ずしも世界的に一意に定まっているわけではなく、**水田からのメタン(CH₄)削減など、農業由来の温室効果ガス排出を削減する取組も広く含む**と解釈されています。

(注7) GHG クレジット市場：温室効果ガス削減や吸収のためのプロジェクトによって生み出されたクレジットを取引する市場のこと。企業は排出枠内で取引し、削減を達成するためにクレジットを購入する。日本には J-クレジットという、省エネルギー設備の導入や再生可能エネルギーの利用による CO₂ 等の排出削減量や、適切な森林管理による CO₂ 等の吸収量をクレジットとして認証する制度がある。

6. 謝辞

本研究は、2024 年度、農林中央金庫、JA 三井リース株式会社、JA 三井エナジーソリューションズ株式会社、セトラスホールディングス株式会社および千葉県中小企業総合支援事業助成からの資金提供を受けて実施された。ここに深く深謝の意を表明する。