

水稲の営農型太陽光発電が生育に与える影響に関する研究

東京大学大学院 新領域創成科学研究科 環境システム学専攻 (2017年3月修了予定)

47-156680 原浦晃多 指導教員：吉田好邦教授

キーワード：営農型太陽光発電，実証実験，水稲，遮光，収量予測，経済性

1. 研究背景

2013年農地法の改正により農業用途以外での農地の使用が可能となり¹⁾，農地を対象とした再生可能エネルギーの導入が注目されている。中でも早い段階で導入が期待されている太陽光発電に関して農林水産省は発電設備設置にあたり「太陽光パネル下で栽培した農作物の収量減少率20%以下で、かつ」という基準を設定しており，この基準を満たす場合に限り，太陽光発電設備の導入を許可している。

2017年2月現在，営農型太陽光発電は全国であまり普及していない。営農型太陽光発電に関しては実証系の先行研究が少なく，実証データの蓄積が乏しいため，パネル設置後の遮光条件がもたらす農作物の減収，また品質劣化についての見通しを立てにくい状況にある。例として実証系の先行研究に関しては，谷ら²⁾の研究や，本間³⁾の研究が存在するのみで，全体の数はわずかである。一方で農地における太陽光発電の普及のためには，設置希望者の不確実性を取り除く必要があり，実証データの蓄積および，シミュレーションによる収量予測の改善，収益予測の精度の向上などが課題となる。

本研究では水稲を対象作物とした理由は，水稲の営農型太陽光発電が再生可能エネルギーに与える影響が大きいことが挙げられる。水稲作付面積は国土の4%(160万ha)を占めており，作付面積の1%で太陽光発電を導入すると，その規模は日本で2014年の段階で存在する太陽光発電設備量に相当し，エネルギー利用の観点からの有用性が高い。

また，水稲は栽培方法や，生理学的知見から，シミュレーションで扱うにあたってのモデル化が比較的容易であることが挙げられる。

以上のような背景から，本研究では，水稲を対象とした営農型太陽光発電の実証実験を行い，遮光条件と生育状況の関係性を解明，実証試験で得られた結果を基にモデルシミュレーションを実施することで，遮光条件と水稲生育状況の定量的な関係性と経済性について検討することを目的とする。

2. 実証試験の概要

千葉県酒々井町の実証サイトにて実証実験を行った。対象作物は水稲(品種:コシヒカリ)、栽培期間は2016年5月2日から8月31日である。実証試験場の風景を図1に示す。本実証試験では気象要素についての検討を行うため、図2に示す日射計(ソーラーパワーメーターSPM-SD;佐藤商事)と温度計(おんどとり;ティアンドデイ)を使用した。

実証サイトの俯瞰図を図3に示す。計測装置は図3のように、合計8ヶ所に設置した。営農型太陽光発電設備の南側(非遮光区)に3ヶ所、北側(中遮光区)に3ヶ所、南側と北側間の中央(強遮光区)に1ヶ所、設備外の対照区に1ヶ所の計8ヶ所とした。気象計測と同時に、生育調査項目(草丈、分けつ数、SPAD値(葉緑素の含有量を示す値)、穂数)を設定し、2016年7月25日と



図1. 酒々井町実証サイトの風景

8月31日の2回、生育調査を実施した。生育調査では営農型太陽光発電設備の南側（非遮光区）、北側（中遮光区）、中央（強遮光区）から各9サンプル、計27サンプルの水稻生育状況を調査した。

また生育調査後は重量分析のため、サンプルを収集した。重量分析の後に、収集したサンプルから遮光条件下での品質劣化について検討するため、静岡製機株式会社に米粒外観形質分析および成分分析を依頼した。



図2. 計測装置の内観
(左下:温度計, 右上:日射計)

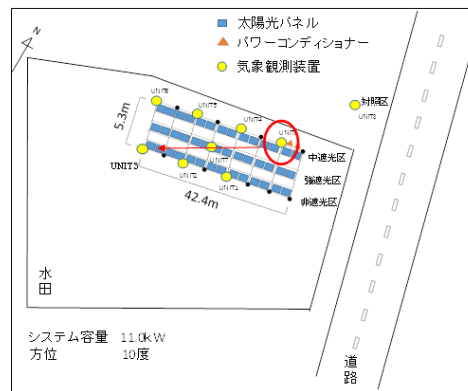


図3. 酒々井町実証サイトの俯瞰図

3. 実証試験の結果

3.1 水稻生育調査

表1は1回目の生育調査の結果である。日射量との関係において、分けつに関しては有意な差が生じていたが、草丈、SPAD値に関しては有意な差は見られなかった。

表2は2回目の生育調査の結果である。2回目の生育調査では、穂数についての計測を行った。日射量に対する穂数に関しては有意な差が生じていた。

表1: 1回目 (7/25) の水稻生育調査の結果

	全体 (n=27)		中遮光区 (n=9)		非遮光区 (n=9)		強遮光区 (n=9)		** p<0.01 * p<0.05 n.s. 有意差なし
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
草丈[cm/株]	107.2	5.2	109.5	5.5	107.1	6.1	104.9	3.2	n.s.
穂数[本/株]	23.8	5.2	21.6	3.5	20.6	3.4	29.3	3.8	**
分けつ[本]	36.3	2.4	36.3	2.2	37.2	2.3	35.2	2.4	n.s

表2: 2回目 (8/31) の水稻生育調査の結果

	全体 (n=27)		中遮光区 (n=9)		非遮光区 (n=9)		強遮光区 (n=9)		** p<0.01 * p<0.05 n.s. 有意差なし
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
草丈[cm/株]	117.4	5.1	115.8	4.8	116.2	3.1	120.2	5.9	n.s.
穂数[本/株]	16.6	4.93	15.6	4.3	19.8	4.8	14.3	3.9	*
分けつ[本]	19.2	5.2	17.2	5.1	20.4	5.3	20	4.6	n.s

3.2 米粒品質分析

品質分析では、外観形質分析および成分分析を行った。

外観形質分析では、死米発生割合 (P<0.05) および未熟米発生割合 (P<0.01) に日射量との相関が確認できた。日射量との回帰分析の結果を図 4, 5 に示す。

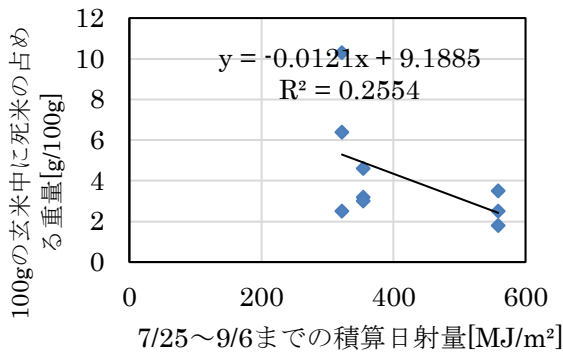


図 4. 死米発生割合と全天日射量散布図

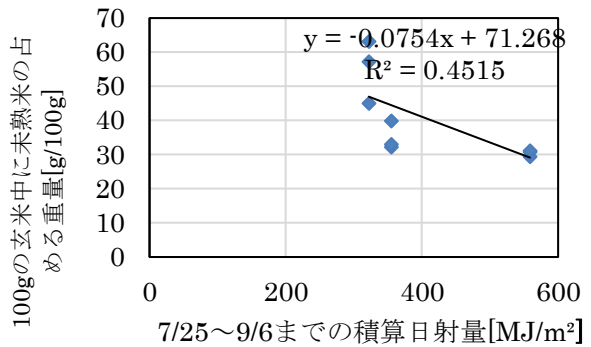


図 5. 未熟米発生割合と全天日射量散布図

また、米粒品質分析では、タンパク質や水分のような成分についても分析を行った。成分分析の結果、日射量とタンパク質のには相関関係があることが確認できた (P<0.01)。一方米の水分含有量は日射量変化に対して有意な差が生じなかった。

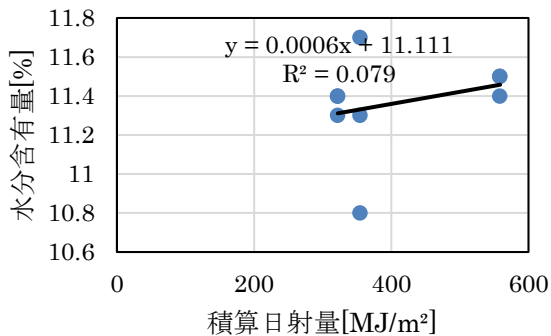


図 6. 水分含有量と全天日射量散布図

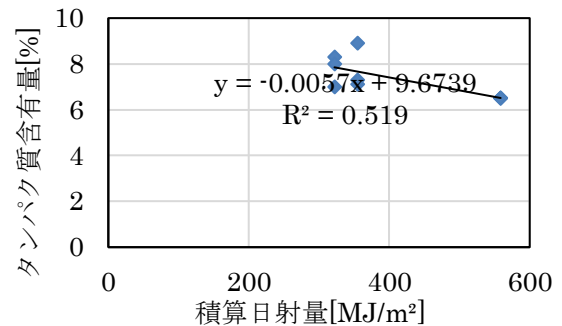


図 6. タンパク質と全天日射量散布図

4. シミュレーション概要

4.1 モデルの紹介

本研究では、農作物の収量を推定する作物モデルと、太陽光パネルの発電量を推定する発電量予測モデルを結合させることで、営農型太陽光発電のシミュレーションを実施する。

作物モデルは堀江⁴⁾が開発した各日の気象データから生育状況を模倣することで水稻収量を推定する SIMRIW (Simulation Model for Rice-Weather Relations) を利用する。ただし、SIMRIW は遮光条件による減収を正確に再現できないため、本実証試験から得られた生育調査結果を利用することにより、モデル式を一部修正した。また発電量予測モデルについては、吉田研究室で好井⁵⁾が開発したモデルを利用する。

4.2 シミュレーション結果

シミュレーションによって遮光による減収効果および品質劣化、営農型発電全体の収益予測を行った。遮光条件による減収予測を図 8、品質劣化予測に関しては図 9 に示す。

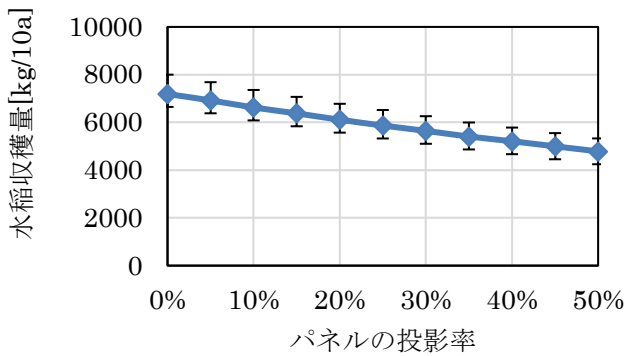


図 8. 投影率に対する減収予測

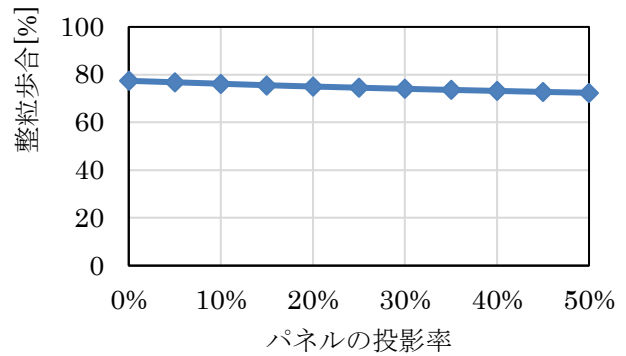


図 9. 投影率に対する品質劣化予測

収量予測の結果から、投影率が 25%の場合でも非遮光時の 8 割以上の収量が見込めることが示唆された。また、営農型太陽光発電全体の収益予測に関しては、売電価格、設備費用の価格の変動に対する収益の変化をシミュレーションによって算出した。売電価格 21 円/kWh、パネル価格 33.4 万円/kW の場合を図 10 売電価格 24 円/kWh、パネル価格 33.4 万円/kW の場合を、図 11 に示す

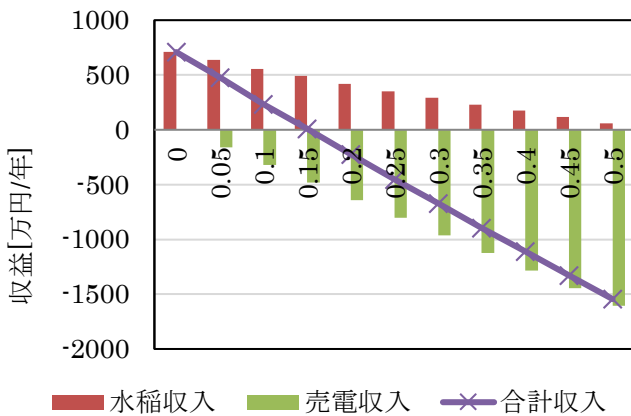


図 10. 21 [円/kWh] パネル 33.4 [万円/kW] での収益

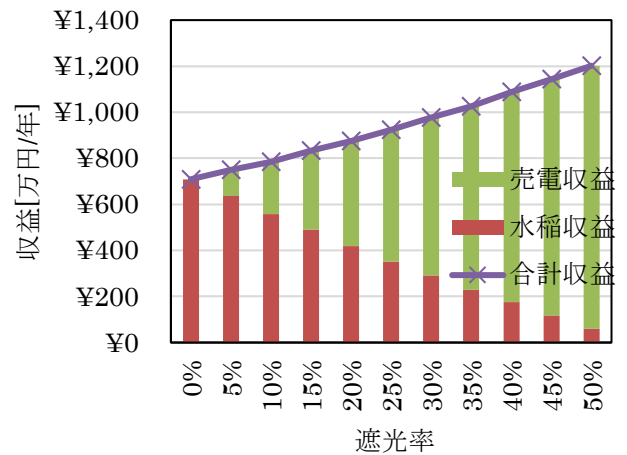


図 11. 24 [円/kWh] パネル 33.4 [万円/kW] での収益

5. 結論

営農型発電設備下の遮光された環境で生育させた水稻には、減収に加えて品質劣化が生じていたものの、投影率 25%程度の場合、収量および品質の観点では農林水産省が定めた条件を満たせることが示唆された。一方収益面では、売電価格が合計収益に大きく影響し、営農型太陽光発電普及のためには固定価格買い取り制度において一定水準以上の売電単価の必要性が示唆された。

6. 参考文献

- 1) 農林水産省; 支柱を立てて営農を継続する太陽光発電設備等についての農地転用許可制度上の取扱いについて, 2014.
- 2) 谷 晃, 管 敬, 坂見 拓也; 営農継続型太陽光発電におけるイネの生育と微気象環境, 2015 年生態工学会年次大会発表論文集, (2015), pp. 43-44.
- 3) 本間 優; 水稻栽培における営農型太陽光発電の実証とモデルシミュレーション, 東京大学修士論文, (2015), pp. 1-173
- 4) T. Horie; The rice crop simulation model SIMRIW and its testing, Modelling the Impact of Climate Change on Rice in Asia, 1995, pp. 51-66.
- 5) 好井宏明; 時系列分析を用いたメガソーラーにおける天候デリバティブの評価, 東京大学修士論文, (2015), pp. 1-102.