

AWD と炭素繊維資材によるメタン排出抑制及び社会実装に向けた研究 Methane emission reduction through AWD and carbon fiber and social implementation

○朝倉 歩*, 加藤 亮**, サミュエル ゴドスーン アマムー*
Ayumi Asakura*, Tasuku Kato*, Samuel Godson-Amamoo*

1. 背景・目的

稲作は気候変動の影響を受けやすく、気温、降水パターンの変化や頻発かつ激化する異常気象が各地で問題となっている。同時に、湛水水田は温室効果ガスであるメタン (CH₄) の排出源であり、IPCC ガイドラインに基づく推定によれば人為起源の排出量の 11% を占める。

国際稲研究所 (IRRI) が開発した交互湿潤乾燥技術 (AWD) は、生産サイクル全体を通じて水田の排水と湛水を繰り返す生産技術である。先行研究では、土壌の嫌気状態の改善により CH₄ 総排出量を約 35~38% 削減しただけでなく、水使用量を約 15~30% 削減し、流域規模での水配分の最適化により農家当たりの耕地面積が平均 0.2ha 増加した。一方で、AWD は主に乾季の稲作を対象としており、土壌水分量を制御できない雨季など地理気象的条件により実施が不安定な場合、代替の CH₄ 排出抑制技術を検討する必要がある。また、個人レベルでの導入は技術的、経済的に容易である一方、採用面積を拡大し、利点や社会への影響を最大化するためには、流域スケールでの協力体制と制度的取り決め、政府による補償制度など社会的基盤整備が課題であることが報告されている。

本研究では、対象地を東南アジアの稲作地域とし、(1) 雨季における AWD 代替技術としての微生物燃料電池のメタン排出抑制効果検証、(2) AWD 下での応用可能性と、社会実装課題及び経路を明らかにするシステムダイナミクスモデル構築を目的とした。本要旨では、主に(1) について述べる。

微生物燃料電池 (MFC) は、湛水水田土壌中の *Geobacter* 等の微生物群を電極触媒とし、有機物から電気を生成する仕組みであり、将来的に農業用センサー等の補助電源としての利用が期待されている。同時に、根圏への導電性物質投入により、電気的活性をもつ微生物が有機物をめぐる競争により CH₄ 生成菌の活動を抑制すること²や細胞外電子伝達を通じて CH₄ の嫌気酸化 (AOM) を活性化する可能性が示唆されている。先行研究では、機能に大きく影響するアノード素材に高価なグラファイトフェルトが使用されることが多く、社会実装のためにはコストの軽減が必要である。また、AWD 条件で導電性物質の投入を検討した研究は限られる。そこで、再利用炭素繊維投入時の、常時湛水下 CH₄ 抑制効果の評価及び AWD 条件との比較データ取得を目的とし、実験を行った。

2. 材料と方法

東京農工大学 FM 府中本町水田の深さ 0~15cm の土壌を採取し、1 週間の風乾後、4.75 mm のふるいで有機物残渣や礫を除去した。稲の存在下、非存在下で炭素繊維の影響を調べるため、表 1 の 4 水準×3 ポットで実験を行った。

ニューワグネルポット 1/2000a を使用し、各ポット約 7kg の土壌のうち、下端から約 15 cm に炭素繊維 40g 及び同量の土壌 40g を設置した (図 1)。栽培品種はコシヒカリで、種子消毒及び育苗後、出芽 3 週間目に移植した。また、移植時に各ポット N 1.17g、P 2.24g、K 0.65g の施肥を行った。府中キャンパス内のファイトトン (NO.12) にて、一定温度 (日中 30℃、夜間 25℃)、一定湿度 (70%)、常時湛水条件で成熟初期まで栽培を行った。

表 1 ポット実験処理区 4 treatments of pot experiment

		Carbon Fiber	
		×	○ (CF)
Rice	× (-)	① S-	③ SCF-
Plant	○ (+)	② S+	④ SCF+



図 1 ポット準備
Pot design

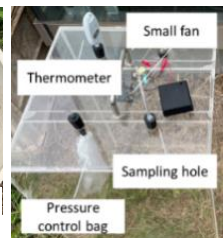


図 2 チャンバー設計
Chamber design

*東京農工大学大学院 Tokyo University of Agriculture and Technology, **東京農工大学大学院連合農学研究科
Keywords : 水田灌漑、土壌微生物・土壌動物、気象環境

クローズドチャンバー法により、移植後3週、5週、7週、9週、11週の計5回、各ポットのCH₄フラックスを測定した。チャンバー設計及び測定手順は国立研究開発法人農業環境技術研究所の測定ガイドラインに従った(図2)。また、採取したガスは、ガスクロマトグラフィー(島津製作所GC8AIF)で各サンプル2反復の定量分析を行い、データはR4.2.2で統計処理により評価した。

実験期間全体を通して、Rep1各処理区の不織布バック設置付近の酸化還元電位及び土壌温度をORP電極(HORIBA)で、ファイトトン内の気温と圧力をHOBOで1時間毎に自動測定し、実験環境データを取得した。また、ガス採取時に、土壌pHの測定と稲ありポットの分けつ数や稈長など生育状態の記録を行った。実験終了時に、乾燥重量や穂数などの収量データを記録した。また、ポットから不織布バックを回収し、-20℃の冷凍庫にて保存した。

3. 結果

全12ポットの2週間毎の測定時平均フラックスは多くのポットで移植後6週目に最大となり、特に稲無しポットでピークが顕著であった(図4)。SCF+<S+<SCF-<S-の傾向がみられたが、SCF+とS+の間、S+とSCF-の間には有意差(p<0.05)がなかった。また、これらのフラックスデータを用いて推定した累積排出量はすべての反復でS-が最大となり、これと比べてSCF-は平均約35%、S+は約47%、SCF+は約74%低かった(図5)。一方で、Rep3では他と異なる傾向がみられるなど反復間の差が大きく、有意差はSCF+<S-のみで見られた(表2)。

土壌ORPは、電極の取り出しを伴うガス採取時を除き、-300~-450mVの間で変動した(図6)。稲の生殖成長期に当たる実験後半に、稲ありポットでORPが増加し還元状態が改善された。また、この時期にSCF+とS+間に有意差がみられた。

土壌温度の24時間移動平均は27~28℃で、SCF+が高い傾向にあったが、処理間の差は0.6℃未満であった。

収量や生育状況データは処理間で有意差がなかった。

4. 考察と今後の方針

CH₄フラックス、ORPどちらにおいても炭素繊維の有無より稲の有無が結果に大きく影響した。また、稲ありポットからのCH₄排出が少なく、これには根圏微好気環境でのCH₄酸化が寄与したと考えた。移植後6週目には、土壌中の有機物の分解が進み、CH₄生成の基質が豊富に存在した一方で、稲ありポットでは根の発達により酸素が供給され、微生物叢の組成や活性が変化した可能性がある。SCF+とS+の実験後半のORP比較により、導電性物質により電気化学的に活性をもつ微生物が、CH₄生成菌との競争に有利になった可能性がある。一方で、電気活性によるCH₄削減は最大30%程度とされており、測定精度が高くないことから、測定や分析時の誤差が大きいと考える。そのため今後は、目的(2)に取り組むと同時に、本実験を繰り返し、その際実験途中の土壌における炭素窒素含有量の分析や実験後の微生物組成の分析を行う必要があると考える。

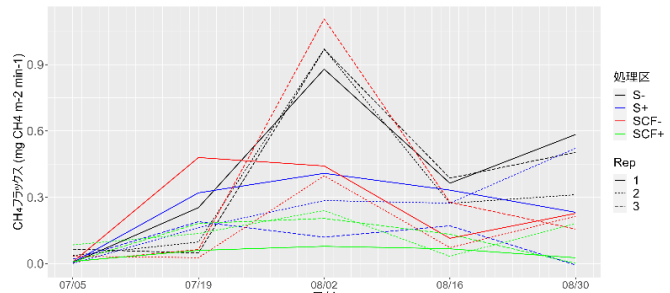


図3 各ポットの測定時平均CH₄フラックスの推移 Changes in CH₄ flux for each pot

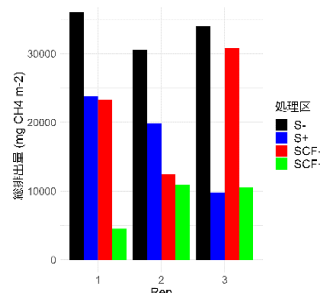


図4 総排出量 total emission

表2 総排出量の平均と標準偏差 Mean and standard deviation for each treatment

処理	平均	SD
S-	33557.80	2809.79
S+	17803.32	7195.68
SCF-	22201.70	9217.69
SCF+	8663.31	3607.74

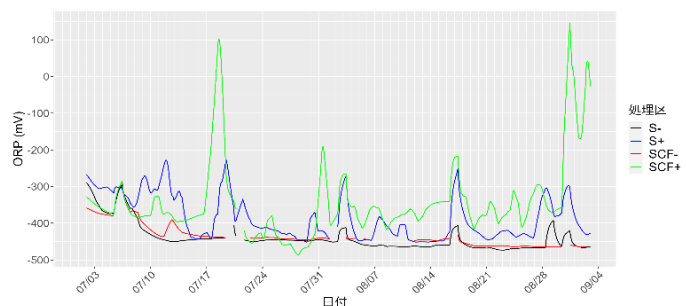


図5 Rep1の土壌ORP(10cm深)推移 Soil ORP trends in Rep1 pot