

# 土壤DXと発電菌が拓く環境再生型農業への挑戦



**概要** 「健康な土」を土台とする持続可能な農業の推進を目的とし、①土壤微生物、②デジタル技術、③土壤の電気的環境制御技術を統合した三位一体型の土壤DX基盤を創出する点に独自性がある。これにより、有機農業が抱える「生産効率の低さ」「栽培管理の不確実性」という本質的課題に挑む。

## 取り組みの背景 - MOONSHOT 目標5 『微生物機能のフル活用』に向けて -

★ 私たちは沖縄高専のアグリカルチャー同好会に所属 (情報通信システム工学科・生物資源工学科の合同チーム)

★ これまでの活動を通じて、土壤の栄養素量と電気的特性が正の相関を示すことに気づいた

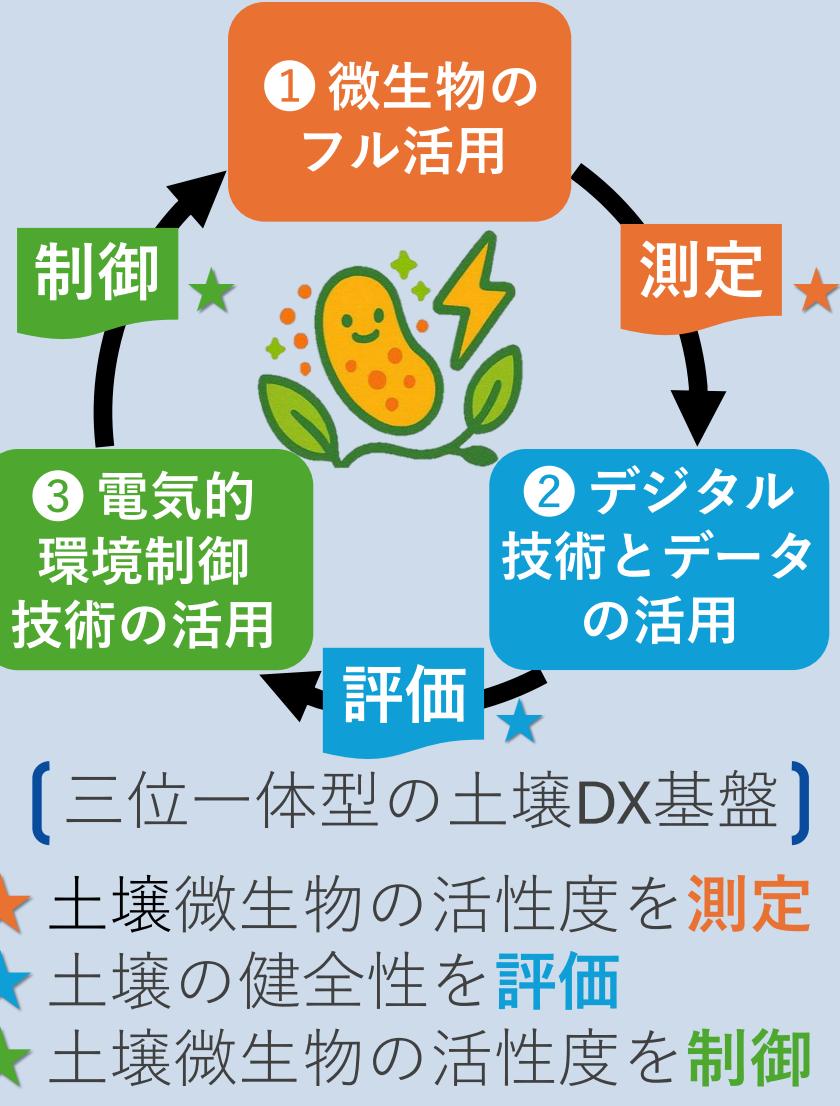
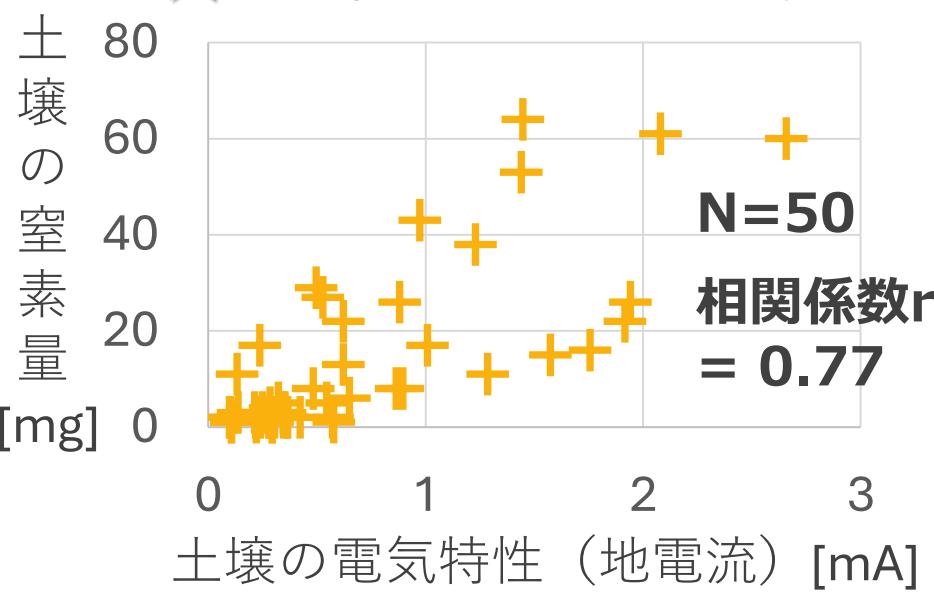
★ 土壤の電気的特性を人為的に制御できれば土壤の健全性を高められるのでは!?

★ 有機物を分解する際に電子を放出する発電菌に着目



農家の協力を得て10圃  
場から50サンプル取得

★ 窒素と地電流の相関



## 先行研究と独自性 - 断片的に扱われていた先端技術を学際的視点から再構築 -

土壤条件は極めて多様・複雑であり、普遍的な評価指標は未だ確立されていない [Van, Science, 2023]

★ 檎崎は地電流や電圧の流向や大きさから土壤の健全性を3段階に分類 [楳崎, 静電三法, 1958] (図左)

★ Christinaらは土壤を生物電気化学反応器として捉え、発電菌の代謝に由来する電気信号が土壤の健全性を評価する指標になり得ると報告 [Christina et al., ScienceDirect, 2024] (図右)

**評価 独自性: マクロ×ミクロの両視点により土壤の健全性を評価する新指標を構築**

マクロな視点



ミクロな視点



音波が微生物 (トリコデルマ菌) の増殖を促進する事例が報告されている [Jake et al., Biol Lett., 2024]

★ 先行研究では、主に空气中での音波伝播を前提としているが、土壤中では急速に減衰  
→ 課題: 土壤深部 (嫌気的環境) を好んで生息する発電菌への適用は困難 (図左)

★ 本研究では、土壤内部の固有振動モードに着目し、深部に直接振動刺激を与える新規手法を開発 → 土壤内部で生じる倍振動スペクトルの変動を通じて発電菌を活性化 (図右)

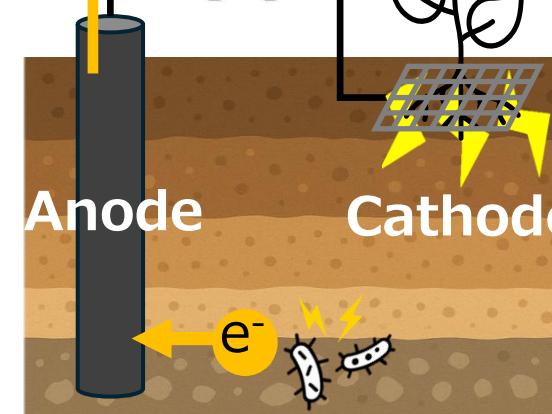


低電圧の電気刺激による作物 (大麦) の生育促進効果が報告されている [VK Oikonomou et al., PNAS, 2024]

★ 外部電源 (0.5V) と刺激のON/OFF制御が必要 → 課題: 導入・運用コスト大 (図左)

★ 本研究では、微生物燃料電池 (MFC) を電源とし、発電菌の代謝や天候などに応じて自然に変動する電力を直接、植物へ供給することで自律的な電気刺激を実現 (図右)

**制御 独自性: 振動刺激×電気刺激による土壤の電気的環境制御技術の開発**



## 土壤DXの実現方法 - 農業と環境の双方に価値を提供する仕組みを目指して -

土壤改良による最適化: 電子移動を高める無機資材 (バイオ炭や酸化鉄・酸化マンガン等の産業副産物) の配合量を調整した計40パターンで生育を検証 → 適切な配合量を特定

★ 副産物の利用で資源循環型の農業を推進  
★ 炭素クレジットとして収益化が可能  
★ 無機物は分解されにくいため効果が持続



振動モードの調査



振動刺激の最適化  
土壤内部の固有振動モードに着目した最適化手法を考案  
→ 土壤特性に応じて振動刺激を最適化

★ 土壤DXの定義と構成  
独自の定義: 土壤生態系を健全化し、農業の生産性向上と環境保全の双方に価値を創出・提供する仕組み

① 土壤改良資材  
② 音源は数百種類の候補からスクリーニング後に最適化  
③ 振動刺激と有機物を与えることで電子放出

④ 根圏に電極を設置して電気刺激 (数十~数百mV)

IoTセンサの構成: Raspberry Pi, 4G(LTE)通信モジュール, 電源管理モジュール, A/D変換モジュール

クラウドサーバ  
評価  
SOIL HEALTH  
判定結果 A TYPE

⑤ 電気的特性の解析・健全性の評価



MFC電極は  
・低コスト  
・高耐久  
・高効率  
を目指して  
独自に開発



★ 電極構成 (グラファイト × オガ炭 × 炎酸化ステンレス)

★ 実験の様子 (間欠動作で省電力化)



Phase1 Phase2 Phase3

★ 基礎実験用の小型ポット (20cm × 20cm × 25cm)

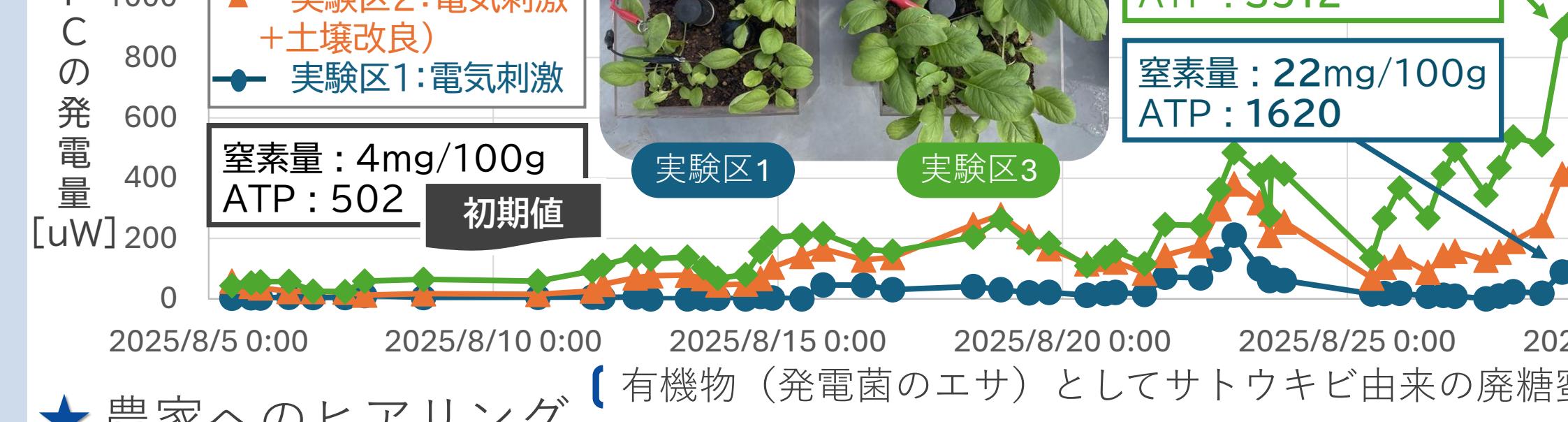
★ 屋外検証用の大型プランタ (1m × 2m × 0.5m)

★ 有機栽培専用の実験圃場 (10a)

## Phase1・Phase2の実験結果 (TOYOTAの支援を受けて実施) と農家へのヒアリング

★ 振動・電気刺激が土壤の電気特性と生育に及ぼす影響の評価: Phase1 → 小松菜の葉面積: 対照区 (未処理) と比べ実験区1 (●) は平均1.6倍、実験区3 (◆) は平均2.9倍に増加

★ 実験区3: 電気刺激 + 土壤改良 + 振動刺激  
★ 実験区2: 電気刺激 + 土壤改良  
★ 実験区1: 電気刺激



★ 土壤の電気的特性 (地電流) と作物重量の関係: Phase2 → 沖縄伝統野菜シマナー (■) と小松菜 (●) で評価



発電量の増加が窒素やATP (微生物活性) の増加、作物の生育向上に寄与することを明らかにした

★ 農家へのヒアリング

化学肥料が高騰しているため、現在は堆肥と併用している。化学肥料のコストを減らせるなら使ってみたい。ただ、費用対効果が知りたい (慣行農家)

振動で微生物を活性化できるなんて素晴らしい! 実験に協力してもいい (有機農家)

また、JAおきなわでは、有機農産物の取り扱いがほとんど無く、販路の確保が課題である事も分かった

まとめ・考察・展望 実験から、ミクロ視点では①MFC発電量と生育が比例し、マクロ視点では②土壤に形成される電位勾配が生育に寄与する事が明らかとなり、①と②の相乗効果で生育は最大化した。これは独自の評価指標となる。一方、電位勾配が不適切な条件下では発電量を高めても生育の改善が殆ど認められなかった。このことから、電位勾配の形成に強く関与する土壤改良も重要な要素技術として位置づけられる。また、発電菌が放出する電子は他の微生物のエネルギー源となる。この連鎖的相互作用により微生物叢の多様性を豊かにする可能性がある。

今後は、①土質の違いによる影響の評価、②生物多様性に及ぼす影響の評価、③電気的特性と環境因子 (温度・湿度など) を統合的に解析するAIの開発を進める。そして、沖縄から農業・環境再生分野で起業し、土壤DX (農業の効率化×土壤環境の再生) の社会実装を目指す。