

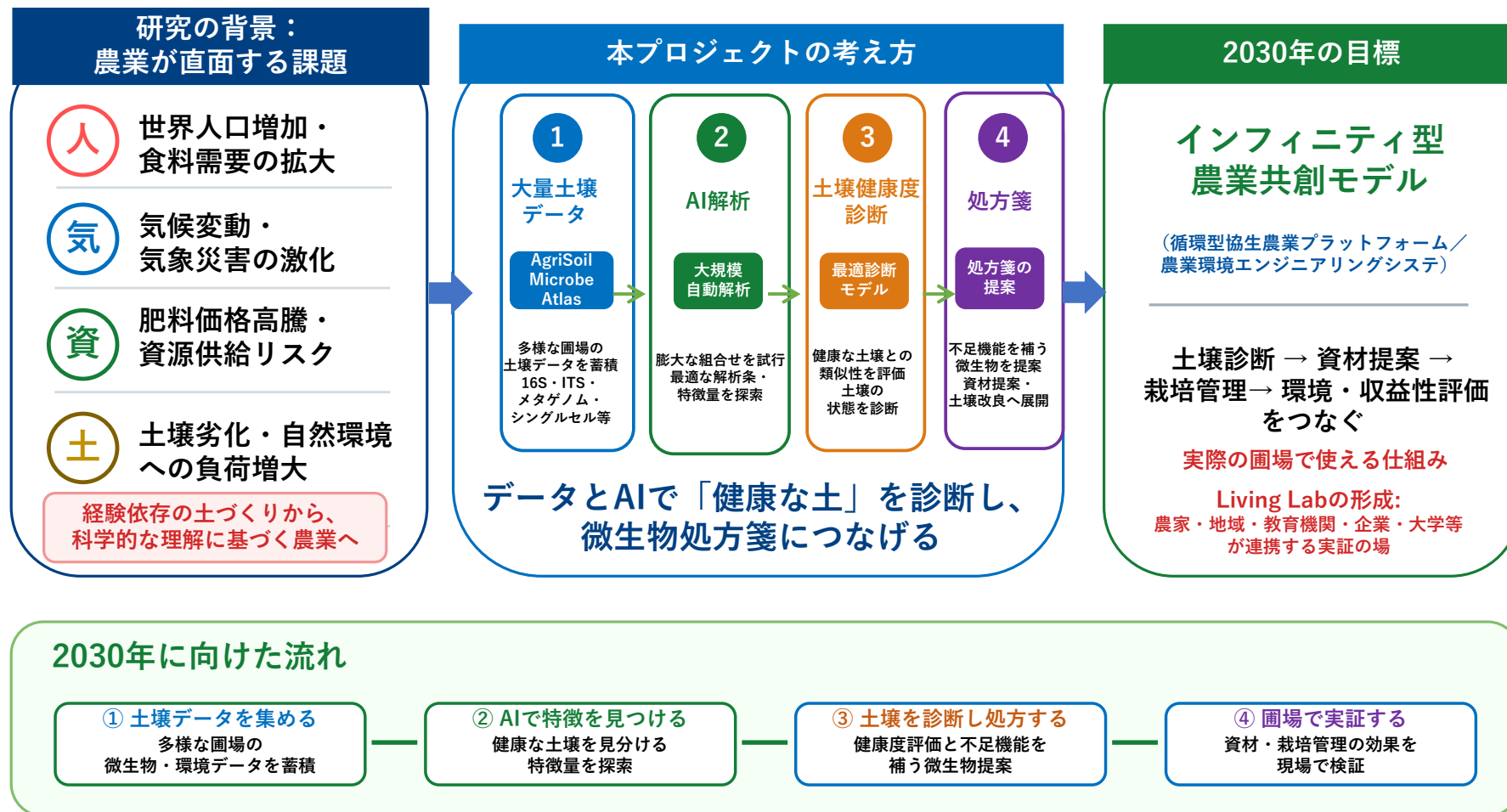
土壌微生物叢アトラスに基づいた環境制御による循環型協生農業プラットフォーム構築

PM 竹山 春子（早稲田大学 教授）

参画機関： 早稲田大学、産業技術総合研究所、TOWING、東京農工大学、太平洋セメント、理化学研究所、福島県、北海道大学、農研機構、新潟県、三重大学、社会デザイン・ビジネスラボ、アグリオープンイノベーション機構、京都大学、九州大学、横浜市立大学

1. 研究の背景・目標

土の中の「見えない生命（微生物）」を活用し、環境負荷の少ない農業へ



気候変動と「土の疲弊」→農業に残された「盲点・ブラックボックス」

農地は今、二重の危機にある

温暖化による「耕作適地の減少」に加え、
長年の化学肥料依存により、既存の農地の疲弊。

⚠️ 土壌の「砂漠化」

有用な微生物が減少し、病気に弱く、保水力のない「死んだ土」の増加。

環境変動等による環境ストレスに耐えられない作物



これまでの常識

化学性の管理 (NPK)

窒素・リン酸・カリの量さえ合わせれば育つという考え方。
→ 連作障害や土壌劣化の根本解決には至らない。



これからの農業

生物性の管理 (Microbes)

「土壌微生物」の状態を把握し、多様性を回復させる。
→ 土本来の免疫力と地力を取り戻す。



AGRI-BIO INNOVATION：土壌微生物が拓く農業の未来

生物因子解析による「地力」の可視化と最適微生物による土壌再生ソリューション

Step 1

見えない地力を「診断」する

生物因子解析技術

土壌中のDNAや微生物叢（フローラ）を解析し、
「土の健康状態」を数値化。

- ✓ 多様性診断：特定の菌に偏っていないか？
- ✓ 病害リスク予測：病原菌が増えやすい状態ではないか？
- ✓ 欠乏因子の特定：今、何が足りないのか？

Step 2

足りない微生物を「処方」する

Precision Soil Restoration (土壌再生)

解析データに基づき、その土地に欠けている有用微生物
例えば、PGPR(植物の成長を助ける根圏細菌)を「処方」、
土壌を活性化。

効果：気候変動に負けない「強い農業」へ

微生物の力が、作物のポテンシャルを引き出す

例えば）微生物叢が豊かな土壌での植物の根が発達。過酷な環境下での生存率の向上へ

- ⚙️ 耐暑性・耐乾性：水分ストレスに強くなる。
- 🛡️ 減農薬・減肥料：自然な防御力と栄養吸収率が向上。
- 🌾 収量の安定：天候不順でも収量が落ちにくい。

2. 2050年に目指す社会像（ありたい姿）

科学的エビデンスに基づく技術基盤 により、2050年のムーンショット目標5の達成に貢献

横展開に向けた共通基盤づくり

1 共通手順の整理

標準作業手順書（SOP）として、サンプリング・保存・解析・土壌評価の手順を整理

2 評価項目の共通化

資材品質、施用条件、効果判定、環境評価項目をそろえる

3 データ形式・連携ルールの整備

データ構造、メタデータ、AIモデル等との連携方法を整理

4 比較・再現・横展開できる基盤

地域・作物・事業主体を超えて成果を比較・再現できる形にする

将来的な標準化・認証化の候補へ



2050年のありたい姿

- ・ 農業を環境負荷の要因から、自然資本を支える産業へ転換する。
- ・ 環境と調和し、生産性を高める持続的な食料供給産業へ



化学肥料・
農業への依存
の低減



食料の安定供給
と生産性の向上



環境保全と
生物多様性の
維持・回復



地域経済の持続性
と Well-being の向上



資源循環・
カーボンニュートラル
への貢献

土の力を活かし、地域資源を循環させ、環境と食料生産を両立する社会へ

3. 主な研究成果・進捗状況：体制図

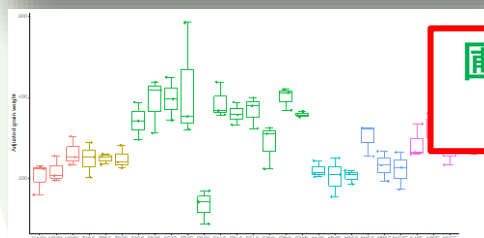


PM
竹山 春子

消費者の行動変容等の解析

全国の圃場を対象とした
大規模解析：シュミレーション

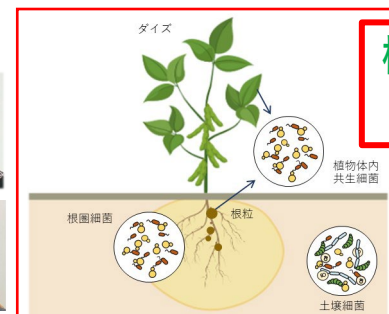
農業環境エンジニアリング
システムの社会実装



栽培マネジメントシステム構築
(デジタルツイン)



社会科学



機能性バイオ炭開発
と効果検証



微生物叢アトラス・リサイクルリン・微生物資材を活用した化学肥料使用量削減農業の社会実装



土壌イオンセンサ
の社会実装



有用微生物の取得と
リン供給システムの開発



土壌微生物叢アトラス

機能性ダイズ品種のデータ蓄積

植物体のオミクス解析

ダイズのトランスクリプトームと
メタボローム解析

低イソフラボンダイズ遺伝資
源の開発・知財化



作物

人工気象チャンバー

多様な環境を人工的に再現
解析データの実証



環境制御・測定



3. 主な研究成果・進捗状況：ポスター参照



① 全国から収集した農業土壌を対象に、生物性を主体とする土壌の多様なデータ（細菌叢データ、メタゲノム、シングルセルゲノム、培養株ゲノム、土壌化学組成等）と解析ツールを組み込んだ機能的データベース「農業土壌微生物叢アトラス（ASMA）」を作成・公開した。また、これを用いてダイズ栽培に有用な微生物コンソーシアムを同定した。生物因子を活用した「土壌健康度」を機械学習によって評価する基本プロトコルを策定した。さらに、化学肥料の代替が可能なリサイクルリン資材を開発するとともに、ダイズの生育促進効果を示す微生物株を獲得し、農業微生物叢アトラスから選抜した菌株を用いた、機能性バイオ炭のプロトタイプを作出して、その効果を複数の圃場実験で検証中。 **主要成果 1**

② 「農業環境エンジニアリングシステム」について、演繹的アプローチと帰納的アプローチの双方を活用した「農業デジタルツイン」のプロトタイプを開発し、そのプロトタイプを基盤とするビジネスモデルを構築した。プロトタイプを利用したビジネスモデルについて富山・愛媛・福島の耕作放棄地でのダイズ栽培による実証、食農垂直統合による生産者への収益分配モデルの検討、統合土壌分析プラットフォーム「**SOIL MEMORY**」のモニター運用を実施中。 **主要成果 2**

③ 「大型人工気象制御システム」の開発し、多様な環境条件下でのダイズ栽培実験が可能となった。同時に、レーザー分光を用いた環境中の温室効果ガス（GHG）測定技術を開発し、大気、土壌中のGHGガス発生量の測定が可能となった。この技術を活用し、圃場でのデータを取集するとともに、①の「土壌健康度」と連結した農地格付けスコアリングとその標準プロトコルを策定中。 **主要成果 3**

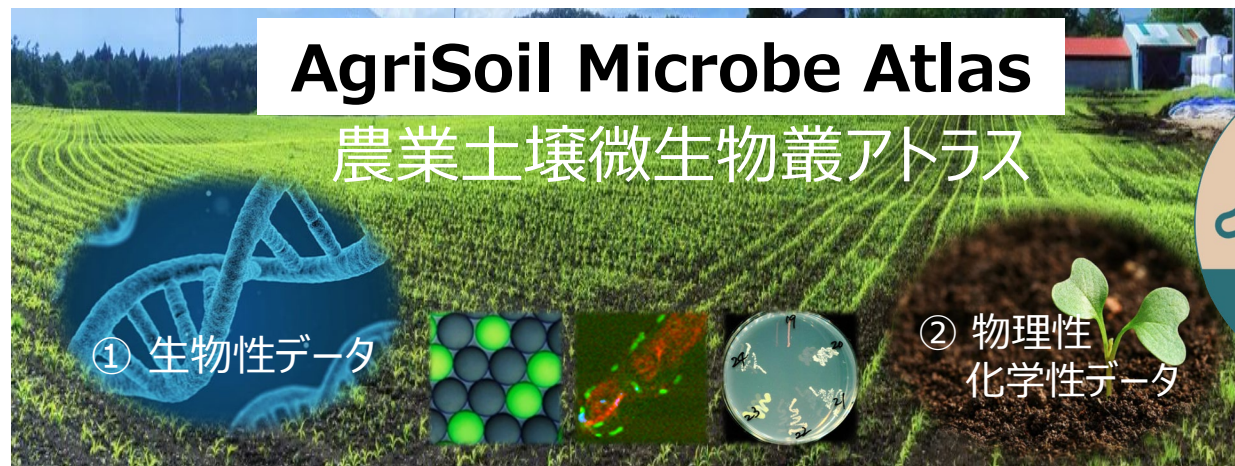
ポスターにて詳細を掲示中

農業土壌微生物叢アトラス（機能性データベース）



微生物と植物の相互作用を含む農業土壌環境の全体を理解し、作物生産の向上と持続可能な新事業の創出のために**土壌環境の健康度**を改善・維持していくことを目標にする。

多様な因子からなるビッグデータの解析（Soil DX）を通じて、**未来社会のための農業食糧生産システム**の実現を目指す。



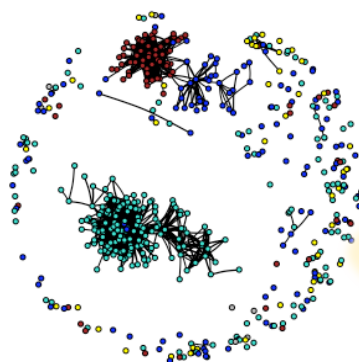
微生物

- ・細菌叢（16S rRNA）
- ・メタゲノム / シングルセル**ゲノム**
- ・シングルセル**メタボローム**
- ・希少放線菌、窒素固定菌、リン溶解菌を含む
カルチャーコレクション
- ・**遺伝子発現**プロファイル

植物

- ・トランスクリプトーム、メタボローム

微生物-植物 ネットワーク



土壌データ

- ・土壌物性
- ・各種イオン濃度・含量
- ・硬度

ネットワーク解析を活用し、**土壌健康度**を評価

堆肥、リン回収物、微生物資材の添加に伴う、土壌細菌叢の変化を追跡

微生物の特徴(系統・遺伝子)を土壌の性質ごとに体系化し、土壌微生物を中心にした**地図帳（アトラス）**を構築

ASMAを基盤にした土壌健康度診断開発アプローチ

1

大量土壌データ AgriSoil Microbe Atlas

Knowledge

データ・メタデータ



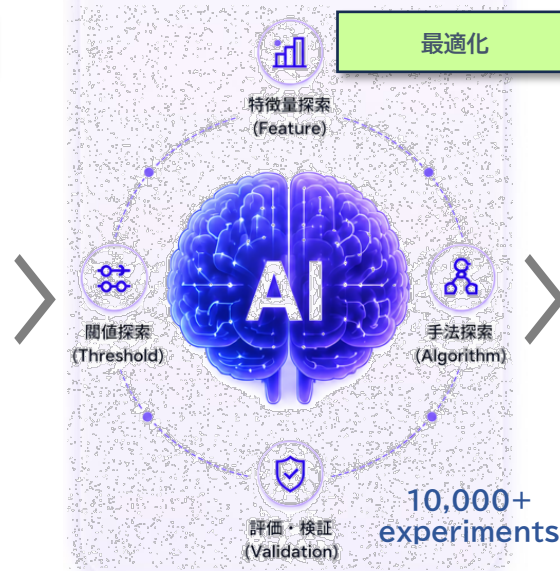
多様な圃場から集まる
膨大な土壌データを蓄積

2

AI エージェントの 大規模自動解析

Learning

最適化



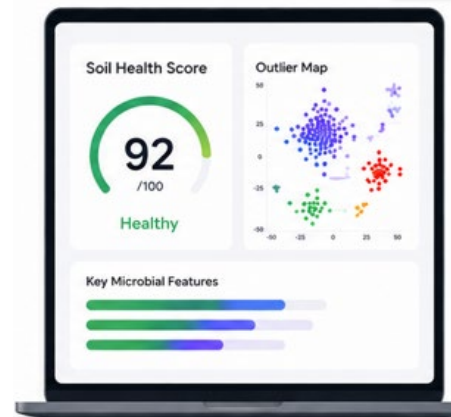
AIエージェントが何千通りもの組み合わせを
自動で試行し、最適解を発見

3

最適診断モデル

Diagnosis

アプリケーション



AIの発見した最適なモデルで
土壌の健康度を高精度に診断

4

処方箋の提案

Microbial Prescription

Recommended Microbes

- Bacillus spp.**
根の成長促進・病害抑制
- Bradyrhizobium spp.**
窒素固定・生育促進
- Streptomyces spp.**
病害抑制・土壌改良

土壌に必要な微生物を提案し、
健康で終了の高い圃場へ

進捗状況

1

大量土壌データ AgriSoil Microbe Atlas

Knowledge

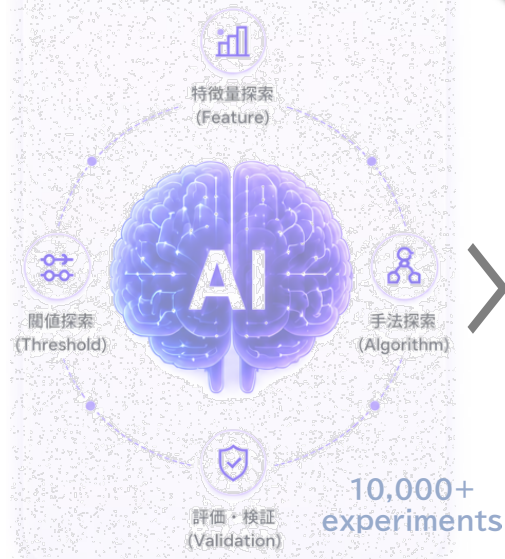


多様な圃場から集まる
膨大な土壌データを蓄積

Atlasデータ
(メタゲノム)

AI エージェントの
大規模自動解析

Learning

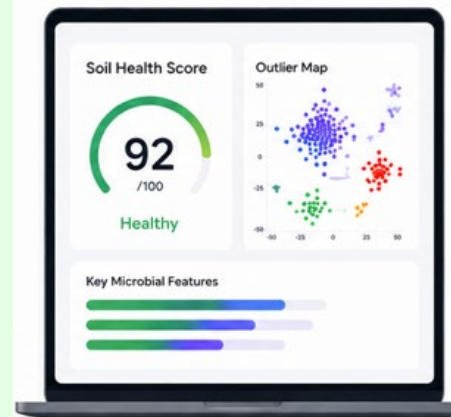


AIエージェントが何千通りもの組み合わせを
自動で試し、最適解を発見

3

最適診断モデル

Diagnosis



AIの発見した最適なモデルで
土壌の健康度を高精度に診断

4

農家の提案

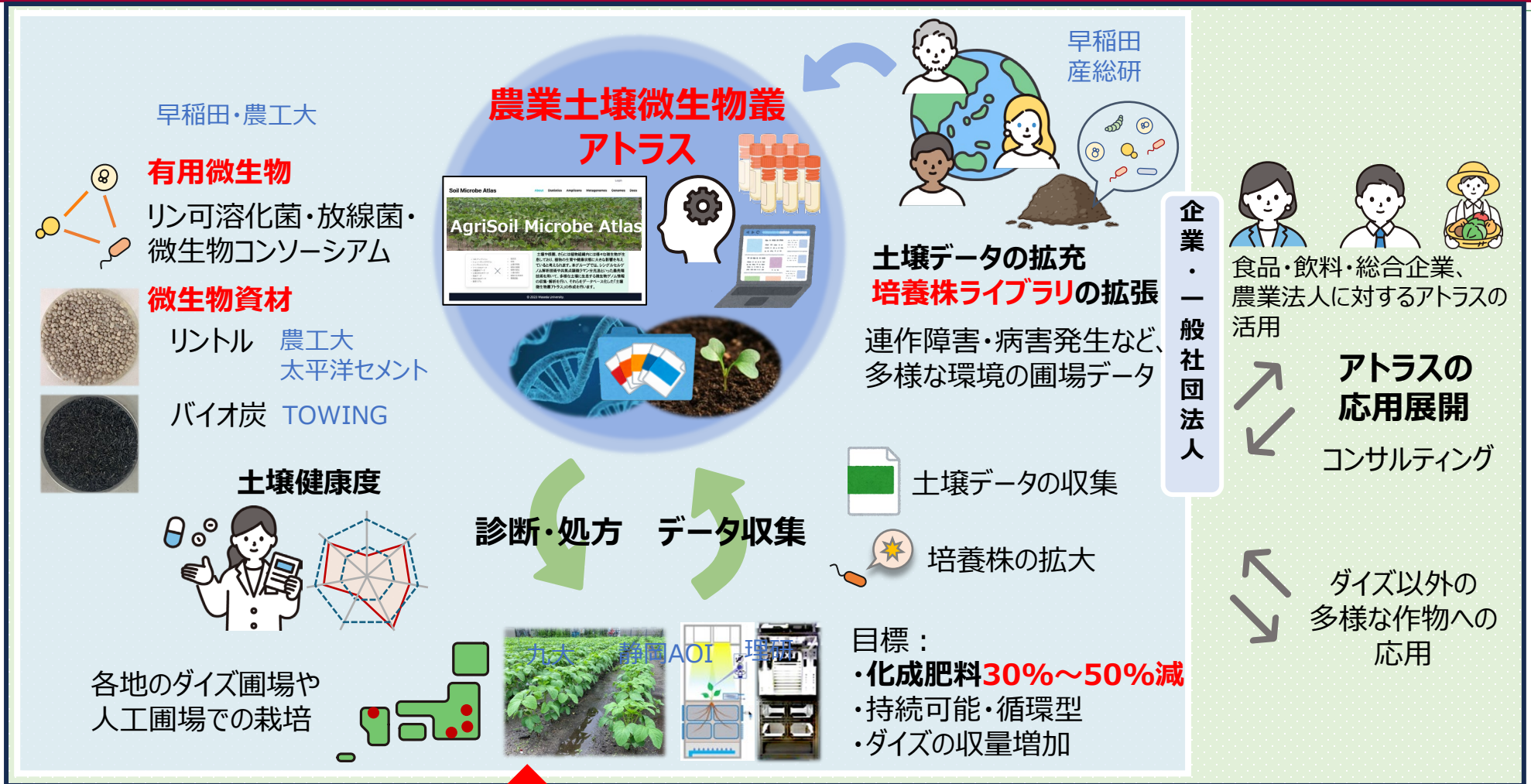
ユーザデータ
(メタゲノム) description

Recommended Microbes

- Bacillus spp.
根の成長促進・病害抑制
- Bradyrhizobium spp.
窒素固定・生育促進
- Streptomyces spp.
病害抑制・土壌改良

土壌に必要な微生物を提案し、
健康で終了の高い圃場へ

微生物叢アトラス・リサイクルリン・微生物資材を活用した化学肥料使用量削減農業の社会実装



久米島における「ダイズ×松枯れバイオ炭」循環型協生農業モデル： Living Lab 実装



「未利用資源（松枯れ材）」を「機能性バイオ炭」に変え、ダイズ生産・土壌改善・炭素固定・地域教育をひとつの島内循環として接続する



4. 今後の取組み

診断・処方・実証をつなぎ、現場で使える
インフィニティ型農業共創モデルへ



(1) 研究

① アトラスと診断精度の向上

- ・多様な圃場・作物・環境条件のデータを拡充
- ・AI解析により土壌健康度診断の精度を向上
- ・微生物処方箋の高度化

② 処方箋・資材の検証

- ・有用微生物・微生物コンソーシアムを評価
- ・機能性バイオ炭・リサイクルリンの効果を検証
- ・人工気象チャンバーと連携圃場で比較

③ ASMAとデジタルツインとの連携

- ・収量・栽培管理・環境負荷を統合評価
- ・GHG・経済性データの評価
- ・現場で使える判断支援の発展

(2) 社会実装・事業化

① Living Labによる実証

- ・久米島等で地域資源循環型の実証を推進
- ・土壌改善・ダイズ栽培・炭素固定を一体で検証
- ・農家・地域・教育機関・企業・大学の共創

② 横展開に向けた共通基盤づくり

- ・共通手順・評価項目・データ連携ルールを整理
- ・地域・作物・事業主体を超えて比較・再現可能に
- ・将来的な標準化・認証化の候補へ

③ 2030年に向けた展開

- ・土壌診断 → 資材提案 → 栽培管理 → 環境・収益性評価を接続
- ・農家・企業・自治体・大学が使える仕組みへ
- ・国内外への横展開を目指す

2030年に向けた流れ

1. 土壌データを集める

多様な圃場の
微生物・環境データ

2. AIで特徴を見つける

健康な土壌を見分ける
特徴量を探索

3. 土壌を診断し処方する

健康度評価と不足機能を
補う微生物提案

4. 圃場で実証する

資材・栽培管理の効果を
現場で検証

見えない土壌微生物の力を、診断・処方・実証を通じて社会へつなぎ、肥料・農薬に頼りすぎない持続的な食料生産へ