

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

プロジェクトマネージャー（PM）：竹山 春子
学校法人早稲田大学 教授

研究期間：2020年度～2024年度

キーワード： 土壌微生物, 土壌健康度, 土壌微生物叢アトラス, 高機能ダイズ, シングルセル解析, 環境制御, 循環型協生農業, 栽培マネジメント, 未来型食料生産

研究背景と達成目標

プロジェクトの背景と必要性

農業生産における化学肥料・農薬を極力削減し、持続的な生産技術基盤を構築することが求められています。そのためには、土壌微生物の機能を解明し、それを最大限活かした作物生産システムを構築することが有効です。

技術開発目標

環境負荷の少ない循環型の農業の実現に向け、2030年までに、これまでブラックボックスとされてきた土壌の生物性に着目して、作物が健康に育つために必要な生物学的因子を特定し、土壌環境の改良に資する有用微生物および微生物を担持した資材を開発します。

主な研究成果

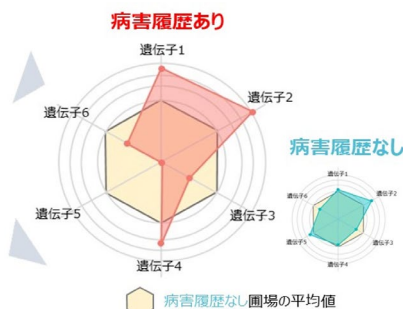
- ① 全国から収集した農業土壌を対象に、生物性を主体とする土壌データ（細菌叢データ、メタゲノム、シングルセルゲノム、培養株ゲノム等）と解析ツールを組み込んだ機能的データベース「土壌微生物叢アトラス」を作成・公開しました。また、これを用いてダイズ栽培に有用な微生物コンソーシアムを同定しました。
- ② 生物因子を活用した「土壌健康度」を機械学習によって評価する基本プロトコルを策定しました。さらに、化学肥料の代替が可能なリサイクルリン資材を開発するとともに、ダイズの生育促進効果を示す微生物株も獲得しました。
- ③ 「農業環境エンジニアリングシステム」では、演繹的アプローチと帰納的アプローチの双方を活用した「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ました。

【具体的成果】

「土壌微生物叢アトラス」の構築と「土壌健康度」の評価指針

微生物の機能遺伝子情報から、生物因子を主体として土壌健康度を評価する手法を開発しました。ゲノムデータから生育良好圃場と生育不良圃場を判定する機械学習モデルを構築しました。

また、一部のデータを用いてアトラスの機能を試用することができる**デモページ**を公開しました。



土壌微生物叢アトラスを活用した土壌診断の一例

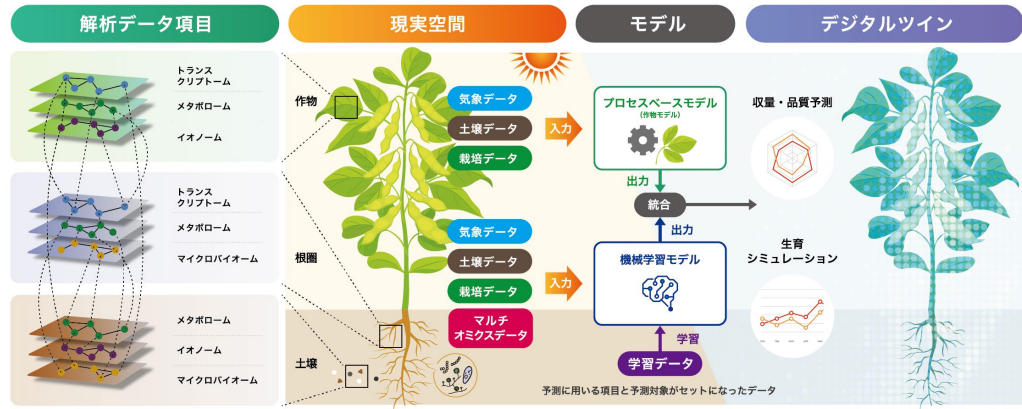
有用微生物の獲得

土壌およびダイズの根内から累計2,000株を超える微生物を単離しました。単離された株には、希少放線菌やリン可溶化機能によりダイズの生育を促進する効果が確認された株が含まれており、これらの情報も「土壌微生物叢アトラス」に登録されています。

【具体的成果】

農業環境エンジニアリングシステム（農業デジタルツイン）のプロトタイプを完成

全国ダイズ圃場の大規模データに基づく作物・土壌モデルに機械学習モデルを統合してダイズ収量予測シミュレーションの精度を向上し、農業環境エンジニアリングシステムのプロトタイプを完成しました。



農業環境エンジニアリングシステムの構成

今後の研究の展開方向

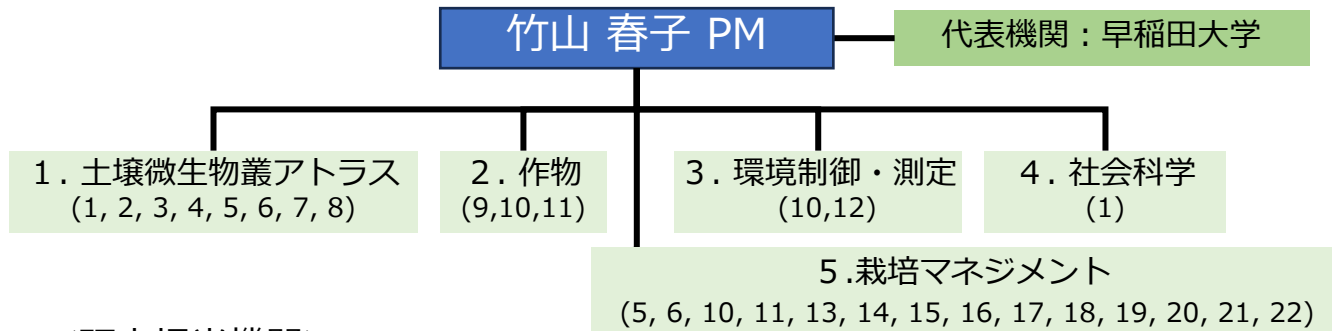
5年間の研究成果を踏まえて、社会実装を目指す研究開発を機動的に進めます。
 達成目標：①リサイクルリン資材等と組合せた有用微生物資材で化学肥料使用量30%低減を実証、②「農業環境エンジニアリングシステム」適用時の収益性を検証し、カーボンファームングデータの取得を完了

ありたい姿

2050年までに、作物が健全に育つために必要な土壌の生物学的因子をさらに特定し、ビッグデータを用いた解析によって土壌環境の改良に資する有用微生物を開発・普及させることで、土壌の生産性と元素循環機能を最大化します。あわせて、安全で安定した食料供給の実現と食の安全保障に貢献してまいります。

さらに、科学的データに基づく基礎知見をもとに、新たな微生物戦略を社会実装することで、農業生産の現場が抱える課題解決に寄与します。あわせて、官民学連携や地域コミュニティとの協力を強化し、持続可能な農業モデルを構築することで、社会全体のレジリエンス向上にも貢献します。

プロジェクト内の研究開発テーマ構成



<研究担当機関>

(1)早稲田大学/ (2)産業技術総合研究所/ (3)堀場製作所/ (4)マリンオープンイノベーション機構/ (5)京都大学/ (6)東京農工大学/ (7)太平洋セメント/ (8)朝日アグリア/ (9)横浜市立大学/ (10)理化学研究所/ (11)九州大学/ (12)アグリオープンイノベーション機構/ (13)福島大学/ (14)東京大学/ (15)筑波大学/ (16)福島県/ (17)北海道大学/ (18)農研機構/ (19)新潟県/ (20)三重大学/ (21)名古屋市立大学/ (22)前川総合研究所

Construction of circulating production platform by environmental control based on Soil Microbiome Atlas

Project Manager (PM): Haruko Takeyama
Professor, Waseda University

Project Year: FY2020~FY2024

Keywords: soil microorganisms, soil health, soil microbiome atlas, highly functional soybeans, single-cell analysis, environmental control, circulating symbiotic agriculture, cultivation management, future food production

Background and Goals

Project Background and Rationale

Reducing the use of chemical fertilizers and pesticides in agriculture is essential for building a sustainable foundation for food production. To achieve this, it is effective to elucidate the functions of soil microbes and develop crop production systems that fully leverage their potential.

Technology Development Goals

To realize environmentally friendly, circular agriculture, we aim by 2030 to focus on the biological properties of soil—long treated as a black box—and identify key biological factors essential for healthy crop growth. Based on these findings, we will develop beneficial microbes and microbial-based materials to improve soil health.

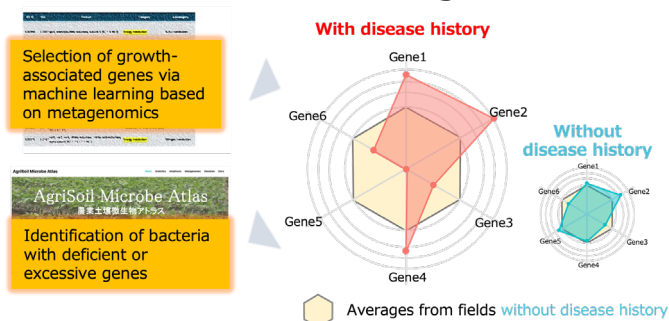
Key Research Achievements

- (1) We have developed and released the “Soil Microbiota Atlas,” a functional database integrating biologically focused soil data—such as bacterial flora profiles, metagenomes, single-cell genomes, and cultured strain genomes—collected from agricultural soils nationwide. Using this atlas, we have identified beneficial microbial consortia for soybean cultivation.
- (2) We have established a basic protocol for evaluating “soil health” using biological indicators and machine learning. In parallel, we have developed recycled phosphorus materials as alternatives to chemical fertilizers and isolated microbial strains that show the growth promotion effect of soybeans.
- (3) In the Agricultural Environmental Engineering System, we have developed a prototype of an “agricultural digital twin” that combines both deductive and inductive approaches, and built a business model based on this prototype

[Detailed Achievements]

Development of the Soil Microbiome Atlas and Guidelines for Evaluating Soil Health

We have developed a method for evaluating soil health based primarily on biological factors, using functional gene information from soil microbes. A machine learning model has been also constructed to distinguish between productive and unproductive fields using genomic data. In addition, [a demo page](#) has been released that allows users to test the atlas functions using partial data.



An example of soil diagnosis using the Soil Microbiome Atlas

Isolation of Beneficial Microbes

Over 2,000 microbial strains have been isolated from soil and soybean roots. The isolated strains include rare actinomycetes and strains that promote soybean growth by solubilizing phosphorus. These strains and related data have also been registered in the Soil Microbiome Atlas.

Contact: Waseda University, Takeyama Laboratory, Moonshot Agriculture, Forestry and Fisheries Research and Development Project Promotion Secretariat

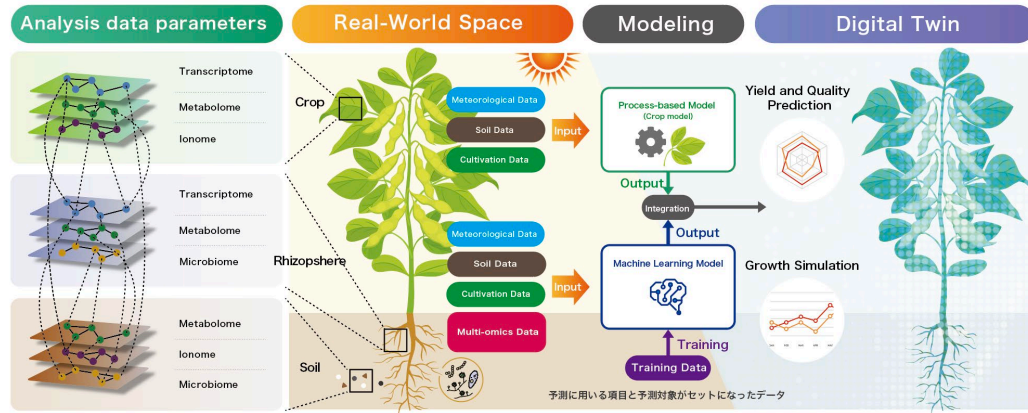
E-mail : moonshot5@list.waseda.jp

Website : <https://www.microbe-soil.sci.waseda.ac.jp/en/>

[Detailed Achievements]

Prototype of Agricultural Environmental Engineering System (Digital Twin) Completed

By integrating machine learning models with crop and soil models based on large-scale data from soybean fields nationwide, we have improved the accuracy of soybean yield simulations and completed a prototype of the Agricultural Environmental Engineering System.



Configuration of the Agricultural Environmental Engineering System

Future Directions

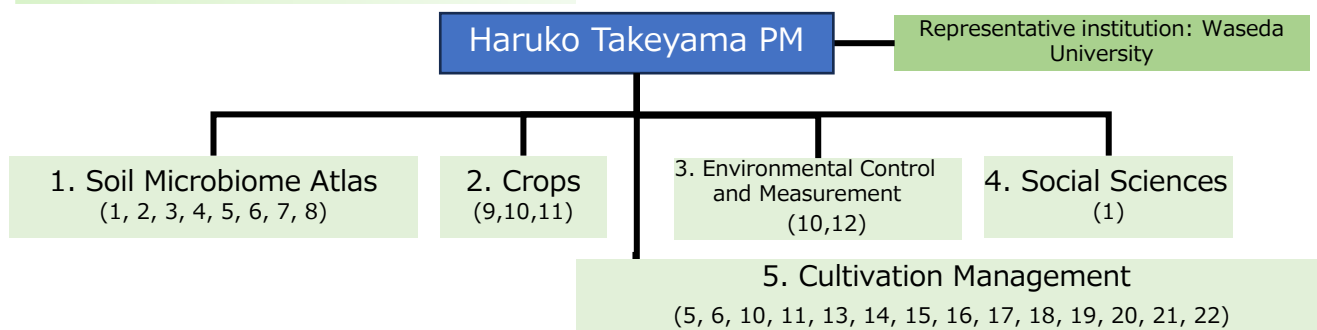
Based on five years of research achievements, we will rapidly advance R&D toward social implementation.

Targets: (1) Demonstrate a 30% reduction in chemical fertilizer use by combining recycled phosphorus materials with beneficial microbial agents. (2) Verify the profitability of applying the Agricultural Environmental Engineering System and complete the collection of carbon farming data.

What We Aspire To

By 2050, we aim to further identify the biological factors essential for healthy crop growth and, through big data-driven analysis, develop and promote beneficial microbes that enhance soil health. These efforts will maximize soil productivity and elemental cycling functions, contributing to a safe and stable food supply and greater food security. By building on scientifically grounded knowledge, we aim to address challenges in agricultural production through the social implementation of new microbial strategies. At the same time, we will strengthen collaboration among government, industry, academia, and local communities to build sustainable agricultural models and enhance the resilience of society as a whole.

Research Themes and Structure



<Research Institutes>

(1) Waseda University / (2) National Institute of Advanced Industrial Science and Technology / (3) Horiba Manufacturing Co., Ltd. / (4) Marine Open Innovation Organization / (5) Kyoto University / (6) Tokyo University of Agriculture and Technology / (7) Taiheiyo Cement / (8) Asahi Agria / (9) Yokohama City University / (10) RIKEN / (11) Kyushu University / (12) Agri Open Innovation Organization / (13) Fukushima University / (14) The University of Tokyo / (15) University of Tsukuba / (16) Fukushima Prefecture / (17) Hokkaido University / (18) NARO / (19) Niigata Prefecture / (20) Mie University / (21) Nagoya City University / (22) Maekawa Research Institute