

国際科学技術共同研究推進事業
地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）

研究領域「生物資源の持続可能な生産と利用に資する研究」

研究課題名「バナナ萎凋病の診断・警戒システムと発病制御戦略の構築と実装」

採択年度：令和 5 年（2022 年）度/研究期間：5 年/

相手国名：ペルー共和国

令和 6（2024）年度実施報告書

国際共同研究期間^{*1}

2023 年 6 月 1 日から 2028 年 5 月 31 日まで

JST 側研究期間^{*2}

2022 年 4 月 1 日から 2028 年 3 月 31 日まで

（正式契約移行日 2023 年 4 月 1 日）

*1 R/D に基づいた協力期間（JICA ナレッジサイト等参照）

*2 開始日=暫定契約開始日、終了日=JST との正式契約に定めた年度末

研究代表者： 有江 力

東京農工大学大学院農学研究院・教授

I. 国際共同研究の内容（公開）

1. 当初の研究計画に対する進捗状況

(1) 研究の主なスケジュール

研究題目・活動	2022年度 (10ヶ月)	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度 (12ヶ月)
1. 圃場レベルおよび分子レベルのバナナ萎凋病診断・警戒システムの確立と実用化【成果1】 1-1 対象地域に適した圃場レベルの診断技術の確立【活動1-1】 1-2 分子診断クリニック（仮称）の設置【活動1-2】 1-3 分子レベルの特異識別（検出）技術の構築【活動1-3】 1-4 診断・警戒システムのマニュアル化【活動1-4】	ゲノム情報の収集↓ 					
2. 萎凋病耐病性バナナアクセッションの選抜、および、突然変異誘発による萎凋病抵抗性バナナ系統の選抜【成果2】 2-1 萎凋病耐性バナナアクセッションの選抜【活動2-1】 2-2 突然変異誘導に使用するアクセッションの選抜【活動2-2】 2-3 突然変異誘発条件の設定【活動2-3】 2-4 変異誘発処理【活動2-4】 2-5 萎凋病抵抗性変異株の選抜【活動2-5】 2-6 遺伝的安定性の確認【活動2-6】 2-7 選抜系統の農学的形質の確認【活動2-7】 2-8 萎凋病耐病性／抵抗性系統の圃場実証【活動2-8】 2-9 耐病性／抵抗性系統のカタログ化【活動2-9】		52のアクセッションから選抜↓ 突然変異誘導に使用するアクセッション↓ 変異誘発条件の確定↓ 変異誘発処理↓ 抵抗性系統選抜↓ 抵抗性系統の遺伝的安定性の確認↓ 抵抗性系統の農学的形質の確認↓ 圃場実証結果↓ 抵抗性系統のカタログ化↓ 病原フリー苗植物の増殖↓				
3. 病原フリー苗生産および頒布システムの構築【成果3】						

<p>3-1病原フリー親植物の維持【活動3-1】</p> <p>3-2メリクローン病原フリー苗植物の増殖【活動3-2】</p> <p>3-3病原フリー苗生産拠点の整備【活動3-3】</p> <p>3-4病原フリー苗の農家への頒布【活動3-4】</p> <p>3-5専門家のトレーニング【活動3-5】</p> <p>3-6専門家による農家指導【活動3-6】</p>					病原フリー親植物の維持↓	
<p>4. 病害発病抑止土壌を構成する有効な微生物エコシステムの解明【成果4】</p> <p>4-1発病抑止土壌の探索と移植性の確認【活動4-1】</p> <p>4-2発病抑止土壌の物理性／化学性／生物性調査【活動4-2】</p> <p>4-3発病抑止土壌微生物エコシステムの解析【活動4-3】</p> <p>4-4発病抑止性に関わる微生物の分離【活動4-4】</p> <p>4-5微生物エコシステムへの改良資材の影響【活動4-5】</p>					病原フリー苗生産拠点の整備完了↓	
<p>5. 微生物あるいは微生物エコシステム等を活用した環境への影響が少ない生物農薬あるいはバイオスティミュラント等の開発と導入【成果5】</p> <p>5-1非病原性フザリウム菌やその他の微生物を成分とする生物農薬あるいはバイオスティミュラント等の開発【活動5-1】</p> <p>5-2非病原性フザリウム菌や他の微生物を成分とする生物農薬あるいはバイオスティミュラント等の実装【活動5-2】</p> <p>5-3微生物エコシステムを成分とする生物農薬あるいはバイオスティミュラント等の開発【活動5-3】</p>					病原フリー苗の農家への頒布↓	
					トレーニングされた専門家↓	
					専門家から指導された農家↓	

【令和6年／2024度実施報告書】【250531】

5-4微生物エコシステムを成分とする生物農薬、バイオスティミュラント等の実装【活動5-4】							微生物エコシステムを成分とする生物農薬等↓
5-5低環境負荷型防除技術（プラントアクチベーター等）の検討、圃場での使用技術の確立【活動5-5】							低環境負荷型防除技術の圃場での使用技術↓
5-6低環境負荷型防除技術（プラントアクチベーター等）の実装【活動5-6】							プラントアクチベーター等↓
5-7開発した防除資材等を統合したバナナ萎凋病低環境負荷防除法の提案【活動5-7】							低環境負荷防除技術の提案↓
5-8バナナ萎凋病防除担当者のトレーニング【活動5-8】							トレーニングされた防除担当者↓

*診断・警戒システムのマニュアル化が予定より早まったため、計画を前倒しした。

(2) プロジェクト開始時の構想からの変更点(該当する場合)

1-4 診断・警戒システムのマニュアル化【活動1-4】について、1-3 分子レベルの特異識別（検出）技術の構築【活動1-3】が予想以上に進捗していること、全体マニュアルのサンプルとなることを踏まえ、計画と目標を前倒しし、当初 2025 年度から開始する予定であったマニュアルの作成を 2023 年度から開始、2026 年度前期で完了することとし、すでに一部日本語版とスペイン語版をホームページで公開済みである。予定より早まったため、2024 年度に計画を変更した（上記*）。また、研究題目 3 の日本側リーダーを鈴木栄教授に変更した。

その他、変更点など特になし。

2. 計画の実施状況と目標の達成状況（公開）

(1) プロジェクト全体

<概要>

当初計画では、ペルー中央セルバ地域のバナナ（banana および plantain）生産における萎凋病診断・警戒システム、抵抗性系統開発、健全苗生産技術、および微生物叢を活用した新規生物農薬技術等を「萎凋病総合制御パッケージ」として確立・実装、さらにそのパッケージが中央セルバのバナナ栽培地域において普及技術として採用され、農家に活用されることが目標である。

2024 年度末時点で、目標の達成に向けて順調に国際共同研究が推移していると判断している。また、予定より早くバナナ萎凋病およびそのレースのマイクロ診断システムを構築でき、LAMP プライマーの市販化を達成済みである。

<2022 年度>

共同研究の本格実施に向け、全体計画の策定、CRA 等の作成等準備を実施した。

<2023 年度>

【令和 6 年／2024 年度実施報告書】【250531】

2023 年 8 月に、現地（ティンゴマリアおよびリマ）においてキックオフシンポジウムを実施、共同研究を開始した。2023 年 8 月には日本側研究者 7 名および大学院生 5 名が、2023 年 12 月には日本側研究者 4 名および大学院生 3 名が、2024 年 3 月には日本側研究者 1 名がペルーを訪問、2023 年 8 月と 12 月には作成したマニュアル（日本語版、スペイン語版）に基づき研究題目 1 に関する実験デモンストレーションによるトレーニングを、また、12 月には同様に研究題目 4、5 に関するトレーニングを実施した。

2023 年 3 月には、JST 本部において、2023 年度年次報告会が開催され、本共同研究の推進状況の報告を行なった。

共同研究の成果は、2023 年 8 月に日本側研究者 7 名およびペルー側研究者 1 名が、リヨン（フランス）で開催された第 12 回国際植物病理学会において、本プロジェクトの概要を発表（ポスター 2 件）した。また、日本側研究者・学生が、2024 年 3 月に令和 6 年度日本植物病理学会大会（仙台市、口頭発表 1 件）および令和 6 年度園芸学会春季大会（厚木市、口頭発表 1 件）で研究成果発表を行った。このうち 1 件（谷地中未来ら「ペルーセルバ地域におけるバナナパナマ病の発生状況」）が学生優秀発表賞を受賞した。

<2024 年度>

ペルー側での機器の導入が進んでおり、2024 年 8 月には、UNAS にラボが開設され、稼働を開始した。

2024 年 8 月に日本側研究者 6 名および大学院生 2 名、2024 年 11 月に日本側研究者 1 名および大学院生 2 名、2025 年 3 月に日本側研究者 1 名がペルーを訪問、改訂したマニュアル（スペイン語版）に基づき研究題目 1 に関するデモンストレーション実験によるトレーニングをバナナ栽培者やその子息、ペルー植物防疫所（SENASA）に対して、また、研究題目 4、5 に関するトレーニングを実施した。また、2024 年 10 月には 5 名、2025 年 2～3 月には 1 名の短期招聘者が来日、東京農工大学、鳥取大学、国際農業研究センターにおいて、研究題目 2、3、4、5 に関する研修を行った。さらに、2024 年 4 月には長期招聘者 1 名が東京農工大学において研究題目 1, 4, 5 に関する博士課程に関する研修を開始した。

2024 年 8 月 9 日に第 1 回 JCC を UNALM で開催した。また、2024 年 10 月 28 日にペルーからの短期招聘者、長期招聘者を含めて、第 1 回コロキウム（府中市）を開催した。

共同研究の成果は、2024 年 7 月に日本側研究者 1 名およびペルー側研究者 1 名が、アテネ（ギリシャ）で開催された第 20 回国際植物保護会議において、本プロジェクトの研究成果を発表（基調講演 1 件、口頭発表 1 件）した。日本側研究者 1 名が、カントー（ベトナム）で開催された国際農業科学会議「持続可能な開発のための気候変動に適応したレジリエントな農業」において、本プロジェクトの研究成果を発表（基調講演 1 件）した。日本側研究者 2 名がダブリン（アイルランド）で開催された第 17 回欧州糸状菌遺伝子学会において、本プロジェクトの研究成果を発表（ポスター発表 2 件）した。2025 年 3 月に日本側研究者 1 名およびペルーからの長期招聘者 1 名が第 5 回日韓植物病理合同シンポジウムにおいて本プロジェクトの研究成果を発表（ポスター発表 2 件）した。

また、日本側研究者・学生が、2024 年 6 月に糸状菌遺伝子研究会（東京都、特別講演 1）、2024 年 9 月に令和 6 年度日本植物病理学会関東部会（府中市、口頭発表 1）、2024 年 10 月に第 31 回日本植物病理学会土壌伝染病談話会（つくば市、特別講演 1）、2024 年 11 月に第 23 回糸状菌分子生物学

コンファレンス（沖縄県西原町、ポスター発表 4）、2025 年 1 月に理研シンポジウム（和光市、口頭発表 1）、2025 年 3 月に令和 7 年度日本植物病理学会大会（高松市、口頭発表 1 件）で研究成果発表を行った。このうち、横井智希ら「バナナ萎凋病菌 *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* およびそのレースの LAMP 法による特異識別」が日本植物病理学会関東部会学生優秀発表賞、山崎真也ら「トマト萎凋病菌における推定アクセサリー染色体領域の広域欠失誘導による機能解析」が糸状菌分子生物学コンファレンス学生優秀ポスター発表賞、山崎真也ら「Narrowing down the pathogenicity-related chromosomal regions and genes in the tomato wilt fungus using genome editing technology」が日韓植物病理合同シンポジウム最優秀発表賞を受賞した。

また、2024 年 8 月には、株式会社ニッポンジーンから、バナナ萎凋病菌およびそのレースを特異的に識別する LAMP 用プライマーセットが製品化、発売された。

概ね 2 週間に一度、zoom による研究推進会議を開催し、プロジェクトの進行状況の確認や課題把握に努めている。また、本プロジェクトの HP (<http://web.tuat.ac.jp/~satrebsbanana/>) でマニュアルや活動状況などの情報を公開している。

研究は順調に進捗している。特に研究題目・活動 1-3-1 では、バナナ萎凋病菌 (*Foc*) とそのレースを特異的に診断するための LAMP プライマーを設計、マニュアルを整備、圃場由来の試料を用いて実証実験を行っている。*Foc* とそのレースの特異診断用 LAMP プライマーセットは、日本ですでに製品化されており、当初計画以上の進展状況である。

渡航、招聘およびそれらに伴う人的交流も順調に推移している。特に、学生等の若手を多く派遣、現地でのデモンストレーション実験を担当し、現地の若手との交流をも促進でき、人材育成やグローバル化にも貢献できているものと考えている。

共同研究運営体制については問題ないと考えている。約 2 週間ごとに開催している web での研究推進会議を活用、課題を解決していくなど有効に機能している。

本プロジェクトの目標は、有用な技術として「バナナ・プランテーションの萎凋病総合防除パッケージ」を提案することである。私たちは現在、この目標に向かって順調に進んでいると考える。

(2) 各研究題目

(2-1) 研究題目 1：「圃場レベルおよび分子レベルのバナナ萎凋病診断・警戒システムの確立と実用化」

研究グループ A（リーダー：柏 毅）

研究グループ B（リーダー：Liliana Maria Aragon Caballero）

① 研究題目 1 の当初計画（全体計画）に対する実施状況（カウンターパートへの技術移転状況含む）

- ・ドローンを活用したバナナ萎凋病診断方法の確立に向けて、ティンゴマリア地域のバナナ圃場におけるドローンの飛行と画像収集を進めた（成果 1-1）。
- ・2024 年 7 月から 8 月にかけて 11 圃場、2024 年 11 月に 5 圃場で、病害発生状況を調査するとともに、罹病植物組織等を採集した（成果 1-1）。
- ・UNALM の植物病理学研究室および植物クリニックに、分析用機器等を設置した（成果 1-1-2）。
- ・UNAS キャンパス内にラボ「植物病理学研究室 *Foc* 分子診断分室」が新たに設置され、分析用機

器等を設置、2024 年 8 月に開所式を行なった（成果 1-2；図 1 右）。

- これまでに開発済みのバナナ萎凋病菌、レース 4、レース SR4 を識別できる LAMP プライマーセットに加えて、レース TR4 を識別できる LAMP プライマーセットの設計が完了し、ペルーで取得された TR4 サンプルで、レース識別が正しく行われることを確認した。また、新たに、レース 1 を識別できるプライマーセットを設計した。これでバナナ萎凋病菌およびそのレース識別用プライマーセットが完成した（成果 1-3）。
- 株式会社ニッポンジーン（千代田区）から、2024 年 8 月に、上記バナナ萎凋病菌およびそのレース識別用プライマーセットの販売が開始された（成果 1-3）。これは、予測以上の特筆すべき成果であると考ええる。<https://www.nippongene.com/kensa/products/lamp-primer/banana/foc.html>
- UNALM の植物クリニック在籍スタッフ、および UNAS の植物クリニック在籍スタッフに向けて、バナナ萎凋病菌の分離方法、DNA 抽出方法、LAMP プライマーセットを用いたレース識別方法を提示し、それぞれのスタッフが独自に作業を進められる程度まで技術を移転した（成果 1-4；図 1 左）。
- ティンゴマリア地区のバナナ生産者およびその師弟を対象として、LAMP プライマーセットを用いたレース識別方法のデモンストレーションを 2025 年 8 月に実施した（成果 1-4；図 1 中）。
- ペルー植物防疫所（SENASA）スタッフに向けて、LAMP プライマーセットを用いたレース識別方法のデモンストレーションを 2025 年 3 月に実施、ペルーの TR4 蔓延防止への寄与が期待された（成果 1-4）。これは、ペルー国の政策に貢献可能な特筆すべき成果であると考ええる。
- 我が国（日本）においても、本州で発生したバナナ萎凋病の発生調査を農林水産省植物防疫所および当該県試験場と共同で実施、上記 LAMP プライマーセットを用いてその病原のレース識別が可能であることを示した（成果 1-3）。これは、本共同研究の成果が、我が国の政策にも展開可能であることを示す特筆すべき成果であると考ええる。
- UNALM の植物病理学研究室および植物クリニックのスタッフ監修のもと、スペイン語版のマニュアル（DNA 抽出および LAMP 法に関する内容）を改訂し、HP（<https://web.tuat.ac.jp/~satrebsbanana/index.html>）で公開した（成果 1-4）。

② 研究題目 1 の当該年度の目標の達成状況と成果

UNALM および UNAS における機器の設置を進めている。UNAS に設置した新設ラボへの電圧安定装置および電源の工事が遅延しており、大型機器の納入が遅れているが、2025 年度中には機材の設置が完了する予定である。LAMP プライマーセットは予定より早く開発が進み、キット化され、株式会社ニッポンジーンから販売が開始されたことは特筆すべきである。今後、ペルーに向けた販売体制の構築を試みる。世界的なバナナ萎凋病検診への寄与が期待される。

③ 研究題目 1 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

2024 年 11 月に、ラ・モリーナ（リマ）に所在するペルーの植物防疫所（SENASA）を訪問し、本プロジェクトで開発したバナナ萎凋病およびそのレース識別用 LAMP プライマーセットの情報を提供した。SENASA はペルー北部の太平洋沿岸地域に侵入したバナナ萎凋病菌レース TR4 への国内対応を担当する組織であるとともに、ペルー全土のバナナ萎凋病発生状況に関してもモニタリングを行っている。加えて、SENASA 職員向けに LAMP プライマーセットを用いた診断方法に

関するデモンストレーションを2025年3月にラ・モリーナ国立農業大学（UNALM）で実施した。今後も、SENASA との情報共有等を通し、本プロジェクトで開発した技術のプロジェクト外への利用促進を図っていく。なお、デモンストレーションに際しては、診断手法の全体像の説明を日本側研究者が担当したが、実際の DNA 抽出や増幅の作業手順の説明は UNALM の植物クリニックのスタッフが担当した。この事例からも、ペルー側への技術移転程度の高さが確認できた。

④ 研究題目1の研究のねらい（参考）

マクロ（画像解析）からミクロ（分子生物学的手法）までを統合的に診断に活用し、萎凋病の発生を的確に認知、迅速な対策につなげる。これら診断体制をペルーに実装するため、マニュアルを作成する。

⑤ 研究題目1の研究実施方法（参考）

ドローン画像を用いた画像解析およびPCR/LAMPによる萎凋病およびそのレースの診断の技術を構築、普及するとともに、マニュアルを作成、UNALM および UNAS に設置するラボ（仮称）で診断サービスを行う環境および体制を整える。



図1 UNALMにおけるLAMP法による診断技術のトレーニング。いずれも、2024年8月撮影。(左) UNALM クリニックにおいて、UNALM、UNAS、INIA の研究者および学生に対するトレーニング実験。(中) ティンゴマリア地区のバナナ生産者およびその師弟を対象として、LAMP プライマーセットを用いたレース識別方法のデモンストレーション。(右) UNAS キャンパス内に新たに設置されたラボ「植物病理学研究室 *Foc* 分子診断分室」。

(2-2)研究題目2：「萎凋病耐病性バナナアクセッションの選抜、および、突然変異誘発による萎凋病抵抗性バナナ系統の選抜」

研究グループC（リーダー：佐々木信光）

研究グループD（リーダー：Dina Lida Gutierrez Reynoso）

① 研究題目1の当初計画（全体計画）に対する実施状況（カウンターパートへの技術移転状況含む）

- ・ INIA に保管されているバナナ (banana および plantain) の 52 のアクセッションのうち、51 アクセッションの組織培養を可能とした（2023 年度より 2 アクセッション増加）。組織培養可能なアクセッションについて、接種試験による *Foc*（レース SR4 および TR4）に対する耐病性アクセッション選抜試験のため、各アクセッションの順化を進めた（成果 2-1）。
- ・ SENASA 及び INIA において、1 品種 (Is1a) を用いてガンマ線による変異誘発の条件検討を行

った（成果 2-2）。0 Gy、10 Gy、20 Gy、30 Gy、40 Gy、50 Gy の照射線量の中から 60%の生存率を示した 40 Gy を選び（成果 2-3）、2,040 個の培養苗に対してガンマ線照射による変異誘発を行った（成果 2-4-1）。その結果、92%の生存率となったため、ガンマ線を照射した一部の苗（約 400 個）については直接継代培養を行い、残り（約 1,600 個）は再度ガンマ線照射して継代培養を続けている。なお、継代培養を行う際には、変異組織のキメラ状態を避けるために茎頂を分割した（成果 2-3-1）。

- ・ 2023 年度に理化学研究所（仁科センター）に重粒子線照射による変異誘発の条件検討を行ったが（成果 2-3-2）、その際に重粒子線を照射したバナナの培養苗（品種：Cavendish；成果 2-2；図 2 左）を用いて、*Foc* の接種方法および耐病性バナナの選抜方法を検討した（成果 2-5；図 2 中）。
- ・ *Foc* 接種には、当初、組織培養苗を培地から培養土への順化を行った後、*Foc* 培養液を土中に灌注する方法を試みた。しかし、この方法では、順化に時間がかかり、順化用のスペースが不足することや、一度の接種では病徴発現率が十分ではないことが課題として挙げられた。そこで、培養土での順化と同時に *Foc* 菌液への浸漬接種を行う方法を検討したところ、順化後の灌注接種と同程度の感染率が認められたことから、順化時の浸漬接種によって耐病性株選抜にかかる時間の短縮が可能であることがわかった。
- ・ より短時間で効率的に接種に適した苗を生育させことを目的として、組織培養苗（品種：Cavendish）を培養土ではなく水耕栽培装置を用いて生育させる方法を試みた（図 2 右）。その結果、組織培養苗を直接水耕栽培によって育てることができ、また根と葉の成長が培養土よりも早いことがわかった。そこで、水耕栽培によって育てた苗を用いて、*Foc* 培養液で浸漬接種を行った後、培養土で生育させ、または水耕栽培のままで生育させ、経時的に病徴を観察した。2024 年 11 月中旬に接種を行ったところ、2025 年 3 月末時点において、変異誘発処理をしていない（0 Gy）11 個体では 100%病徴が観察されたのに対して、変異誘発処理を行った 28 個体（20 Gy 照射）では、5 個体で病徴が現れておらず、経過を観察している。
- ・ 前年度、理化学研究所（仁科センター）において重粒子線照射を行ったペルー産の組織培養苗（3 アクセッション：Isla、Bellaco Harton、Bellaco Plantano）を培地上で継代培養を繰り返し、30、40Gy の線量を照射した苗から、第 3 世代の子孫（約 160 個）まで得ている。今後は、これらの組織培養苗を用いて *Foc* の接種実験を行い、耐病性株を選抜する予定である。

② 研究題目 2 の当該年度の目標の達成状況と成果

2024 年度に予定していた実験は概ね計画通りに実施できた。2023 年度では組織培養が可能なバナナアクセッションのうち、Moquicho が *Foc* 耐病性品種の候補となることが示されていた（成果 2-1）が、生育の関係で 2024 年度に追試を行うことができなかったため、今後は Moquicho を含めた他のアクセッション間での耐病性の比較を行う計画である。

突然変異誘導に使用するアクセッションの選抜（成果 2-2）と突然変異誘発条件の設定（成果 2-3）を 2024 年度までに完了した。経済的な価値が高い 3 アクセッション（Isla、Bellaco Harton、Bellaco Plantano）を選び、ペルーでは Isla に対するガンマ線照射、日本では Isla、Bellaco Harton、Bellaco Plantano に対して重粒子線照射を行った（成果 2-4）。変異源処理した組織培養苗から子孫苗を継代培養し、接種実験用の苗を維持・増殖する環境を整備できた。また効率的に

Foc 耐病性株を選抜する方法として、組織培養苗の順化と同時に Foc を接種する方法、培養土ではなく水耕栽培装置を用いてバナナ苗を効率よく生育させる方法を構築できた（成果 2-5）。

③ 研究題目 2 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

組織培養苗の水耕栽培による生育方法が新たに構築できたことから、培養土を用いた順化よりも苗を短時間で効率よく生育させることができるようになった。この方法は、植物育成の省スペース化と感染実験の時間短縮を可能とするだけでなく、無菌環境を維持して生育させることによって病原フリー苗を安定的に供給する技術にも繋がりうる（研究課題 3 に関連）。

④ 研究題目 2 の研究のねらい（参考）

「ペルーの栽培バナナから Foc に対する耐病性を評価し、高耐病性アクセッションを選抜して利用促進を図る」こと、また、「ペルーにおいて経済的価値の高い品種を選んで、突然変異誘発（ガンマ線や重粒子線処理）により Foc 抵抗性バナナを創出して実用化する」ことによって、ペルーで発生しうるバナナ萎凋病の被害を低減することを目指す。

⑤ 研究題目 2 の研究実施方法（参考）

ペルーにおいて、萎凋病耐性バナナアクセッションの評価やガンマ線による突然変異誘導と抵抗性系統の選抜を行い、日本では重粒子線による突然変異誘導と抵抗性系統の選抜を行う。萎凋病耐性／抵抗性系統の遺伝子的安定性や形質の確認は両国で行い、圃場実証やカタログ化はペルー側が実施する。



図 2 バナナ（Cavendish）への重イオンビーム照射による変異誘導と萎凋病耐性／抵抗性個体選抜の試み。（左）重イオンビーム処理した組織培養苗から、継代で得た子孫苗。土で順化 4 週間。（中）子孫苗への Foc 孢子懸濁液灌注による萎凋病菌の接種。（右）水耕栽培での接種試験。

(2-3) 研究題目 3：「病原フリー苗生産および頒布システムの構築」

研究グループ E（リーダー：鈴木栄）

研究グループ F（リーダー：Oscar Esmael Cabezas Huayllas）

① 研究題目 3 の当初計画（全体計画）に対する実施状況（カウンターパートへの技術移転状況含む）

- ・ INIA の組織培養室及び組織培養苗増殖用温室の稼働状況および温室の設置計画を改めて確認した（2024 年 8 月）（成果 3-1）。
- ・ INIA が所有する耐性候補品種の 52 アクセッションのうち、51 アクセッションが組織培養で

生育できることが確認された（昨年度より、2 アクセッション増加）。INIA では、これらのアクセッションのメリクローナル実生を維持および増殖していることを確認した（成果 3-1；成果 3-2；図 3 中）。また、バナナ苗から茎頂部位を取り出す手技について確認した（図 3 右）。

- ・ UNAS の温室候補地が UNAS メインキャンパス内へと変更となり（2024 年 3 月）、その現地調査を実施した（2024 年 8 月）（成果 3-3；図 3 左）。また、温室に隣接してバナナ圃場を用意することとなった。
- ・ UNAS と INIA に設置予定の温室の施工業者との契約及び工事の着工と竣工は来年度に持ち越しとなった。

② 研究題目 3 の当該年度の目標の達成状況と成果

病原フリー親植物の維持（活動 3-1）及びメリクローン病原フリー苗植物の増殖（成果 3-2）については、計画通りに実施できている。病原フリー苗生産拠点の整備（成果 3-3）については、UNAS と INIA で早期に温室を設置するため、2024 年度当初より入念に相談して準備を進めているが、期待よりも契約が遅れている。ただし、2025 年夏を目処に完成する予定であり、当初の計画（2025 年度完成）通りに進んでいる。UNAS の研究者によって、メリクローン病原フリー苗を利用した栽培に協力してくれる農家を募り始めている（成果 3-4）。

③ 研究題目 3 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

予算の制約に加えて、病原フリー苗を維持・頒布できる体制を構築するため、UNAS と INIA に設置する温室の仕様や設計を決定するまでに時間がかかり、施工会社との契約が 2025 年度になった。しかし、2025 年度中に完成の目処がついており（当初計画通り）、病原フリー苗生産および頒布に向けて準備を進めている。また、UNAS の温室に隣接した位置にバナナ圃場を設けて、病原フリー苗栽培のモデル圃場として活用することとなった。これにより、病原フリー苗を利用するメリットを実証し、農家へのアピールとすることが期待できる。

④ 研究題目 3 の研究のねらい（参考）

病原フリー苗の栽培者への頒布によって、病原フリー苗の栽培の重要性の意識づけを行う。

⑤ 研究題目 2 の研究実施方法（参考）

INIA において、病原フリー苗を維持・増殖、病原フリーであることを確認し UNAS に移譲、UNAS による病原フリー苗維持・配布によって、栽培者に病原フリー苗を届け、病原フリー苗の栽培の重要性を理解してもらう。

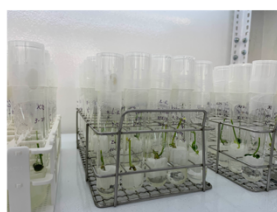


図 3 病原フリー苗生産に向けた環境整備。（左）UNAS の新温室候補地。（中）INIA で組織培養しているバナナアクセッション。（右）バナナ苗から病原フリーの茎頂組織を取り出している（INIA）。

(2-4) 研究題目 4：「病害発病抑止土壌を構成する有効な微生物エコシステムの解明」

研究グループ G（リーダー：児玉基一朗）

研究グループ H（リーダー：Liliana Maria Aragon Caballero）

① 研究題目 4 の当初計画（全体計画）に対する実施状況（カウンターパートへの技術移転状況含む）

- ・ 2023 年度に引き続き、萎凋病発病抑止土壌の探索と同定を進めた。具体的には、ティンゴマリア地域（UNAS エリア）およびリマ地域（UNALM エリア）において、萎凋病発生率が低い可能性があるバナナ栽培圃場および萎凋病発病圃場の選定をさらに進めた。萎凋病発病に関する病原菌同定には、「研究題目 1」において確立した本病診断技術を活用して、精度を高めた。その結果、本年度においてはティンゴマリア近郊の Huanganapampa（ワガナパンパ）および Aguaytia（アグアイティア）地域を含む 9 圃場を追加して、検定候補圃場として選定し、圃場で土壌サンプリングを行った（図 4 左、中）。抑止性に関わる微生物叢を明らかにする目的で、マイクロバイオーム解析および微生物分離・同定を遂行するため日本（TUAT）に正式に輸出した。これら土壌サンプルに関して、本題目の主目的の一つである「移植性の確認」のため、UNAS および UNALM の両機関の圃場とガラス室に設置したポットに土壌を移し、バナナ苗を用いた発病試験並びに萎凋病菌接種試験を進めている。この場合、土壌中に萎凋病菌が検出されたにも関わらず、発病が認められないサンプルが候補土壌となる。さらに候補土壌に健全バナナ苗を移植し、萎凋病菌を人工接種して発病の程度を観察することによって、候補土壌の発病抑止性とその移植可能性が検証される（成果 4-1）。
- ・ 前述の暫定的発病抑制土壌サンプルの物理的・化学的性状を分析した。その結果、土壌の水分量や各種無機イオン含量などに発病抑止性と相関する要因は見出されなかった。今後さらに解析パラメーターを追加して、物理的・化学的性状と発病抑止性の関連調査を継続する予定である（成果 4-2）。
- ・ 日本輸出した土壌サンプルに関して、TUAT および JIRCAS において土壌 DNA の抽出並びにナノポアシーケンサー（Oxford Nanopore Technologies）によるメタゲノム解析を開始した。現在解析データの分析を進めている。カウンターパートへの技術移転のため、これらの実験は、ペルー側研究者の来日（2024 年 10 月）に合わせて実施し、実験手法などのトレーニングも兼ねて行なった（成果 4-3）。
- ・ 上述のバナナ栽培圃場由来の土壌サンプルから、細菌株を合計 113 株、糸状菌株を合計 22 株分離し、保存した。これら分離株は、順次分子同定による種名同定を進めている。さらに、萎凋病菌増殖を抑制する微生物株の検出同定を進め、抑制活性を有する候補細菌株を見出した（図 4 右）。細菌株の分子系統解析および生化学的性状解析による種名同定に関しては、カウンターパートへの技術移転のため、ペルー側研究者の来日に合わせて鳥取大学において実施し、実験手法などのトレーニングも兼ねて行なった。UNALM 研究者と共同で、土壌サンプルからの微生物分離方法、培養および保存方法、種名同定方法、および萎凋病菌に対する抑制活性試験方法に関する英語とスペイン語両方によるマニュアルを作成し、HP（<https://web.tuat.ac.jp/~satrebsbanana/index.html>）で公開した（成果 4-4）。本マニュアル

は、ペルー側の研究者、学生および栽培現場の指導者に対する技術移転プロセスにおける活用が期待される。

② 研究題目 4 の当該年度の目標の達成状況と成果

2024 年度に予定していた計画は予定通りに進行し、ほぼ目標を達成できたと考えている。(成果 4-1) では、ティンゴマリア地域 (UNALM エリア) およびリマ地域 (UNAS エリア) の圃場から候補となる土壌サンプルを採取し、(成果 4-2) 以降の分析対象とした。現在、ポット試験により抑止土壌の移植性の検討を進めている。今後さらに候補土壌の探索と選抜を進め、確実な発病抑止性を有する土壌を同定する予定である。(成果 4-2) では、前項で候補とした土壌サンプルの物理的・化学的性状分析データを取得した。(成果 4-3) については、微生物を含む土壌サンプルの日本国内 (TUAT) への輸出を正式に果たすことが出来た。さらに、目的である発病抑止土壌微生物エコシステムの解析のため、ナノポアシーケンサーを用いたメタゲノム解析によるマイクロバイオームおよび微生物叢解析を実施した。これらの実験は、ペルー側カウンターパートの来日に合わせて 2024 年 10 月に実施、技術移転も達成、マニュアルとして整備した。(成果 4-4) では、ペルー国内機関および土壌輸入した TUAT において、萎凋病抑制活性を有する微生物の選抜を進めており、分離微生物中から抑制活性を有する候補細菌株を見出した。候補細菌株の分子系統解析および生化学的性状解析による種名同定に関しては、ペルー側研究者の来日に合わせて鳥取大学において実施し、カウンターパートへの技術移転を遂行した。今後さらに候補株の選抜と同定を進め、実際の発病抑止性に関わる微生物の分離同定を達成する。これらの検討の結果、発病抑止土壌微生物エコシステムの解析が進んだ段階で、(成果 4-5) のエコシステムへの改良資材の影響を検討する予定である。

③ 研究題目 4 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

ペルー国内のバナナ栽培圃場における本計画に加え、同時進行で、国内 (沖縄県) バナナ圃場を材料として萎凋病菌抑制活性を有する微生物同定のモデル実験を進めた。その結果、強い萎凋病菌抑制活性を有する細菌株を複数見出し、種名を同定した (日本植物病理学会において報告済)。さらに、計画では生物防除微生物としてターゲットとしていなかった酵母株の萎凋病抑制活性を新たに見出し、バナナ苗を用いたポット試験も実施した。その結果、酵母株に発病抑制活性が証明された。今後は、ペルー土壌からの候補微生物の分離においても、細菌株および糸状菌株に加え、新たに酵母株の取得も試みる予定である。酵母は、一般的に安全性の高い微生物と認知されており、生物防除剤の有効な候補となる可能性を有する。これらのデータは、ペルー国内圃場サンプルにおける候補微生物株の選抜と同定作業を、効率的に進めることの一助となることが期待される。

③ 研究題目 4 の研究のねらい (参考)

本題目は、題目 5 における社会実装の基盤となる。ペルー国内の対象地域におけるバナナ栽培環境、萎凋病菌の伝搬・発病特性、さらにコスト面等から鑑みて、本病の化学農薬による防除は極めて困難で現実的ではない。一方、発病抑制に有効な微生物あるいは微生物エコシステム等を活用した防除法は、現実的かつ合理的で、多数の利点を有する戦略である。ペルー国内圃場由来の微生物あるいは微生物エコシステムを活用することは、現地の生物多様性の保全と生態系の保持にもつながる。さらに、化学農薬不使用という農産物への付加価値付与に貢献でき

るため、製品の競争力増大を通じた現地関係者の生活向上も期待できる。

⑤ 研究題目 4 の研究実施方法（参考）

「病害発病抑止土壌を構成する有効な微生物エコシステムの解明」のため、①発病抑止土壌の探索と移植性の確認、②発病抑止土壌の物理性／化学性／生物性調査、③発病抑止土壌微生物エコシステムの解析、④発病抑止性に関わる微生物の分離、および⑤微生物エコシステムへの改良資材の影響の各検討項目を、ペルーおよび日本両国の参画機関において同時進行で実施する。本題目で達成された成果を現地に還元し、研究題目 5 における社会実装に繋げる。



図 4 病害発病抑止土壌を構成する有効な微生物エコシステムの解析。(左) 健全バナナの根圏土壌の採集 (2024 年 8 月)。(中) 採集した土壌。一部を保管、一部に *Foc* を接種の上バナナを栽培して病害発病抑止性を試験、一部を日本に送付した。(右) 土壌から分離された *Foc* (左の菌) に対する抗菌活性を有する細菌の例。

(2-5)研究題目 5：「微生物あるいは微生物エコシステム等を活用した環境への影響が少ない生物農薬あるいはバイオスティミュラント等の開発と導入」

研究グループ I（リーダー：有江力）

研究グループ J（リーダー：Liliana Maria Aragon Caballero）

① 研究題目 5 の当初計画（全体計画）に対する実施状況（カウンターパートへの技術移転状況含む）

- ・ 非病原性フザリウム *F. commune* W5（青森分離株）に加え、近縁の *F. oxysporum* RS-21（沖縄分離株）のバナナ萎凋病生物防除への利用可能性を探索した。モデルとして沖縄県うるま市の萎凋病発生圃場を設定、灌注などの方法で RS-21 を処理、バナナ（Apple；ペルーの Manzano と同一品種と考えている）を定植した（2024 年 7 月）。2025 年 3 月時点ですでに萎凋病の発病が始まっており、研究題目 1 で開発中のドローン画像および LAMP による診断の資料として活用している。W5 についても 2025 年 7 月に圃場試験を開始する予定である（成果 5-1）。微生物資材のペルーへの輸入に困難が予想されること、かつ外来微生物よりもペルー産微生物の使用が望まれるため、研究題目 4 と連動し、研究題目 4 の中で分離される非病原性フザリウムなどを用いてペルーにおける生物防除試験を行う。
- ・ 土壌中に微生物を導入し定着させる技術として、球状ポリマーの活用を検討したが、生物防除効果の向上はわずかであった（成果 5-2）。

【令和 6 年／2024 度実施報告書】【250531】

- ・ 研究題目 4 で TUAT に輸入した土壤中の微生物の抗菌活性やバナナ萎凋病発病抑制効果などの検定を引き続き行った（成果 5-3）。
- ・ UNALM において、植物活性剤の一つと考えられているバリダマイシン A をバナナの葉面に散布して萎凋病を抑制するかどうかを試験するポットテストを行ったが有意な効果が認められておらず、反復試験を継続した（成果 5-5）。バリダマイシン A はペルー国内で農薬登録があるため、バナナへの適用拡大などを引き続き検討する。

② 研究題目 5 の当該年度の目標の達成状況と成果

非病原性フザリウム菌 W5 を生物農薬としてペルーで登録することを検討したが、非病原性フザリウム菌 W5 を含めペルーでの外来微生物の輸入が容易でないことが判明したため、ペルーのバナナ圃場で採取した土壌から分離した地場微生物（研究題目 4）の中から非病原性フザリウムなどの非病原菌を選抜、生物防除効果検定、生物農薬としての登録をペルーサイドで検討することとした。また、国内ポット試験で植物活性剤の一つと考えられているバリダマイシン A のバナナ葉面散布の萎凋病に対する有意な効果が認められず、他のプラントアクチベーターあるいはバイオスティミュラントの探索を継続する。本研究題目は計画通りに実施、概ね目標の達成が見込まれる。しかし、当初想定していなかった、生物防除微生物やプラントアクチベーター候補の効果不十分やペルーでの外来微生物輸入における支障のため、当初計画より半年ほど遅れる部分があり、2025 年度計画段階で変更したい。

③ 研究題目 5 の当初計画では想定されていなかった新たな展開
特になし

④ 研究題目 5 の研究のねらい（参考）

環境負荷の少ない萎凋病防除技術として、生物農薬（非病原性微生物剤、研究題目 4 の成果として得られる微生物エコシステムを成分とする）、プラントアクチベーターの効果を確認するとともに導入を図る。

⑤ 研究題目 5 の研究実施方法（参考）

生物農薬（非病原性微生物剤、研究題目 4 の成果として得られる微生物エコシステムを成分とする）、プラントアクチベーターなどの萎凋病防除効果をポット試験で検定、スクリーニングし、その後圃場試験を行う。

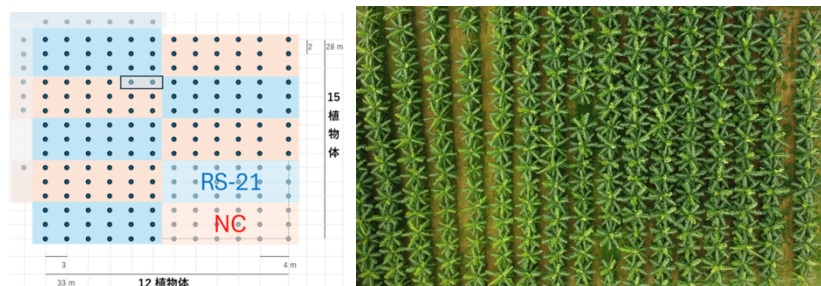


図 5 沖縄県うるま市のモデル汚染圃場でのバナナ萎凋病生物防除試験。（左）試験区の配置（青部分が非病原性フザリウム菌 RS-21 処理区）。バナナ（アップル）を 2024 年 7 月に定植した。（右）同圃場のドローン画像（写真は 2024 年 12 月撮影）。

Ⅱ．今後のプロジェクトの進め方、およびプロジェクト／上位目標達成の見通し（公開）

プロジェクトはほぼ計画通り進んでおり、現時点で大きな計画変更や軌道修正の必要はないと考えている。

上位目標を達成、社会に貢献できるよう、相手国研究機関とも連携、協議を深めながら研究を推進する予定である。

- ・上位目標は以下のように掲げており、それを達成するために研究を推進している。

バナナ／プランテン萎凋病の総合防除パッケージを構築し、ペルーセルバ地域で普及することを目的にしている。このため、この総合防除パッケージが地方自治体等栽培者団体に採用され、栽培者によって使用されることを目指している。このために、

- (1) このパッケージが、バナナ／プランテン栽培地域であるセルバ（ワヌコ州、サン・マルティン州、ウカヤリ州、フニン州、パスコ州）等の少なくとも 5 つの州で、バナナ／プランテン栽培の推奨技術として地方自治体に採用されることを目指す。
- (2) このパッケージが、少なくとも上記の 5 州のバナナ／プランテン農家によって使用されることを目指す。

また、このパッケージは、萎凋病の診断／警告、耐性／抵抗性系統、健全な苗木の供給、生物農薬、栽培方法を含む、環境負荷の少ない総合病害防除の統合マニュアルであり、かつパッケージに基づいて栽培者を教育するための人材（技術スタッフ）の育成用テキストでもある。

- ・研究題目 1 の病原菌およびレースの特異識別のための LAMP プライマーセットについては、株式会社ニッポンジーンから発売された。また、関連するマニュアルは公表済みである。

- ・円安の影響が大きく、円の価値が当初申請時の約 2/3 になってしまった関係で、ペルー側に供する機材、温室などに影響が出ている。また、旅費も同様に高騰しており、渡航回数を減少し、減少分を zoom に置き換えるなどの工夫を余儀なくされているが、対応がうまく進み、共同研究自体は順調に推移している。

Ⅲ. 国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓など（公開）

- ・相手国側研究機関との情報交換などが時差の関係で困難であったが、様式 02 に記入したように、隔週実施している zoom を使った研究推進会議が非常に良く機能しており、研究の推進に役立っている。渡航、招聘に際してもその準備、打ち合わせを zoom で行えたことから大変有効である。
- ・支払用の現地銀行口座の開設に時間がかかったこと等の理由から、機材や一部の試薬等の入手が若干遅れた。また、本邦購入機材の輸出手続きに想定以上の時間がかかった点、UNAS に設置予定の実験室と温室の場所等に変更があった点など、当初の想定よりも時間を要する事柄が生じたが研究の進展に大きな影響はない。UNALM に派遣された現地調整員や現地研究者が、UNAS を訪問して学長室と調整し、実験室設置場所の変更等の問題に対応していただいた。現在は、ペルーに導入する温室の入札が若干遅れており、JICA ペルー事務所にご尽力いただいている。
- ・ペルー側への供与機材の本邦調達について、手続き、時間、手数料など非常に煩雑であり、全てを日本の理化学機器業者に任せることが可能な場合以外、現地調達が好ましいことが判明。当初携行を予定していたが、以下のように、時間と労力の負担が多。さらに、ペルーの場合は、無税対応が携行では不可のため、輸出業者をつかわざるを得ず、かつペルーでの輸入時に数ヶ月の期間と費用がかかり、相手機関側にも負担となってしまった。

輸出手続きを自分で行う場合：輸出手続きのための書類（該非判定、領収書、インボイス・輸出書類など）を揃え、概ね渡航前日に空港に持ち込み、有料の保税区域に預けた後、税関に出向き、書類手続きを行なう。出発時に、保税区域に税関職員に来てもらい、税関職員立会の上で預託荷物として預ける。

輸出業者に輸出をお願いする場合：輸出手続きのための書類の準備はこちら側で行う。インボイス・輸出書類は、業者あるいは業者 HP などで作成可能であるが、料金がかなり異なる（重量数キロ、購入価格 100 万円強のもので、ヤマト運輸は 40 万円、DHL や Fedex は 20 万円、郵便局（EMS）は 2 万円程度）。EMS は積載航空機がわからないため（秘密情報とのこと）、ペルー税関へ到着日時などの情報を伝えるににくい。

ペルー税関で 2 ヶ月ほど止められ、免税対応にするために、相手機関が費用（どの程度だったのか教えてもらっていない）を負担する必要があった。

日本国内での消費税の還付：日本の研究機関事務に対応していただくことになり、仕事を増やすことになった。このために、輸出許可証（税関あるいは業者からもらえる）が必要になる。

- ・円安の影響が大変大きく（申請時は 1 USD=100 円程度だったものが、策定調査直前に 1 USD=120 円程度、2024 年度は 1 USD=150 円前後で推移している）、購入できる物品の減少、旅費の高騰など、影響が大きい。
- ・日本側とペルー側で綿密な連携を図る上で大変有効なため、隔週で開催しているメンバー内でのグループ web 会議を継続している。研究項目担当グループ内での web 会議も有効である。

IV. 社会実装に向けた取り組み（研究成果の社会還元）（公開）

- ・研究題目 1 で作成したマニュアル（日本語、スペイン語）について、本プロジェクトホームページ（<http://web.tuat.ac.jp/~satrepsbanana/>）にて改訂版を公開中である。
- ・研究題目 1 で開発した、萎凋病菌およびそのレース特異識別用 LAMP プライマーセットについては、開発を共同で行っていただいた株式会社ニッポンジーンから販売開始された（<https://www.nippongene.com/kensa/info/topics/20231102.pdf>）。
- ・研究題目 4 で作成したマニュアル（英語、スペイン語）について、本プロジェクトホームページ（<http://web.tuat.ac.jp/~satrepsbanana/>）にて公開中である。
- ・2023 年 8 月にフランスリヨンでの国際植物病理学会で本プロジェクトに関する発表を行なった（様式 2 VI(2)学会発表 1 学会発表（相手国側研究チームと連名、参照）を行なったところ、世界規模のバナナ生産・貿易企業が研究題目 4 および 5 の手法に関心を示し、フィリピンにも展開したいとの申し入れを受け、国際共同研究に発展した。

V. 日本のプレゼンスの向上（公開）

研究題目 2 の成果に記したように、2024 年 11 月にペルーの植物防疫所（SENASA）を訪問し、本プロジェクトで開発したバナナ萎凋病およびそのレース識別用 LAMP プライマーセットの情報を提供した。その結果、SENASA の要望により、2025 年 3 月にラ・モリーナ国立農業大学（UNALM）で SENASA 職員向けに LAMP プライマーセットを用いた診断方法に関するデモンストレーションを実施した。これは本プロジェクトのみならず、UNALM の植物クリニックの社会への技術移転が望まれていることを示すばかりでなく、我が国のプレゼンス向上につながるものであると考える。また、これは、SDGs の

以上