

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「生物資源分野」

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4年（2022年）度/研究期間：5年/

相手国名：ペルー共和国

令和4（2022）年度実施報告書

国際共同研究期間\*1

2023年\*\*月\*\*日から2028年\*\*月\*\*日まで

JST側研究期間\*2

2022年6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

所属・役職：東京農工大学大学院・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
<b>1. 画像解析・リアルタイムPCRによるバナナ越境性病原体の診断・警戒システムの確立と実用化【研究題目1】</b> 1-1 画像解析による診断技術構築【研究活動1-1】 1-2 分子診断ラボ（仮称）の設置【研究活動1-2】 1-3 精密分子診断技術の構築【研究活動1-3】 1-4 スタッフトレーニング【研究活動1-4】		画像解析によるマクロ診断技術の確立 ラボの整備完了 PCR等による精密診断技術の確立 診断・警戒マニュアルの作成と専門家の育成				
<b>2. 突然変異誘発による萎凋病抵抗性バナナ系統の選抜【研究題目2】</b> 2-1 突然変異誘発条件の設定【研究活動2-1】 2-2 変異誘発処理【研究活動2-2】 2-3 順化处理【研究活動2-3】 2-4 萎凋病抵抗性系統の選抜【研究活動2-4】 2-5 遺伝的安定性の確認【研究活動2-5】 2-6 抵抗性系統の増殖と頒布【研究活動2-6】		耐病性系統の仮導入 変異誘発条件の確定 約500の変異誘発系統の取得 約500の順化系統の取得 3つの抵抗性系統選抜 抵抗性系統の遺伝的安定性の確認 抵抗性系統のカタログ化				
<b>3. 健全苗生産システムの構築と実装【研究題目3】</b> 3-1 マイクロプロパゲーション系【研究活動3-1】 3-2 病原フリー親植物の維持【研究活動3-2】	苗調製の実態把握	大量増殖系の確立 病原フリー親植物の作出			病原フリー親植物の維持	

3-3 苗植物の調製技術の確立 【活動 3-3】			苗植物調製技術の確立			
3-4 健全性の担保と認証 【活動 3-4】				苗植物調製技術の確立		
<b>4. 病害発病抑止土壌を構成する有効な微生物叢の解明【研究題目 4】</b>						
4-1 発病抑止土壌の探索 【研究活動 4-1】	発病抑止土壌確認	5つの抑止土壌の選定				
4-2 発病抑止土壌の性状調査 【研究活動 4-2】			17項目(目標)の土壌物理性・化学性分析			
4-3 発病抑止土壌微生物叢の解析【研究活動 4-3】				土壌微生物叢の解明		
4-4 微生物叢への改良資材の影響【研究活動 4-4】				改良資材等の微生物叢への影響解明		
<b>5. 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の開発と導入【研究題目 5】</b>						
5-1 非病原性フザリウム菌の評価【研究活動 5-1】	ポット試験評価	温室試験評価				
5-2 非病原性フザリウム菌の実装【研究活動 5-2】			非病原性フザリウム菌の生物農薬としての実装・普及			
5-3 新奇微生物叢生物農薬の探索【研究活動 5-3】			微生物叢を成分とする新奇生物農薬の開発			
5-4 新奇微生物叢生物農薬の実装【研究活動 5-4】				微生物叢を成分とする生物農薬の実装・普及		

(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)

2022年9月の策定調査において、研究題目・活動、マイルストーン、全体計画の修正を行なった。新たな研究題目・活動、マイルストーンを以下に示す。

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)
<b>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】</b>						
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】		画像解析によるマクロ診断技術の確立↓				
1-2 分子診断クリニック(仮称)の設置【活動 1-2】			UNASにおけるラボの整備完了↓			
1-3 分子レベルの特異識別(検出)技術の構築【活動 1-3】	ゲノム情報の収集↓		PCR等による精密診断技術の確立↓			
1-4 診断・警戒システムのマニュアル化【活動 1-4】				診断・警戒システムのマニュアル化↓		

【令和4年/2022年度実施報告書】【230531】

<p><b>2. 萎凋病耐病性バナナアクセションの選抜、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】</b></p> <p>2-1 萎凋病耐性バナナアクセションの選抜【活動2-1】</p> <p>2-2 突然変異誘導に使用するアクセションの選抜【活動2-2】</p> <p>2-3 突然変異誘発条件の設定【活動2-3】</p> <p>2-4 変異誘発処理【活動2-4】</p> <p>2-5 萎凋病抵抗性変異株の選抜【活動2-5】</p> <p>2-6 遺伝的安定性の確認【活動2-6】</p> <p>2-7 選抜系統の農学的形質の確認【活動2-7】</p> <p>2-8 萎凋病耐病性／抵抗性系統の圃場実証【活動2-8】</p> <p>2-9 耐病性／抵抗性系統のカタログ化【活動2-9】</p>						
<p><b>3. 病原フリー苗生産および頒布システムの構築【成果3】</b></p> <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>						
<p><b>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】</b></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>						

<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> <p>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】</p> <p>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】</p> <p>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】</p> <p>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】</p> <p>5-8 バナナ萎凋病防除担当者のトレーニング【活動5-8】</p>						
					開発した生物防除資材↓	
						生物農薬、バイオスティミュラント等↓
						微生物エコシステムを成分とする生物防除資材↓
						微生物エコシステムを成分とする生物農薬等↓
						低環境負荷型防除技術の圃場での使用技術↓
						プラントアクチベーター等↓
						低環境負荷防除技術の提案↓
						トレーニングされた防除担当者↓

## 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

2022年度は準備期間であった。日本側研究者（有江、柏、児玉、佐々木）が現地を訪問、情報収集および圃場訪問、サンプル収集、全体研究計画策定などを実施した。2022年度に、研究協力機関（株）ニッポンジーンとの共同研究によって、バナナ萎凋病菌特異識別 LAMP 用プライマーセット3セットを試作、このうち最も特異性が高く感度も十分であると判断したプライマーセットを選抜した。また、2022年度にティンゴマリア地域5圃場で分離した18株の *Fusarium oxysporum* のうち12株について、LAMPによって全株がパナマ病菌であること、PCRによって10株がレースSR4、2株がレース1であるとの分子診断を行った。バナナの組織培養を、島バナナ系統、その後Cavendish系統で開始した。2022年9月、日本側研究者が、ティンゴマリア地域の栽培圃場において苗調製の実態および苗の移動状況について調査、情報収集を行うとともに、病原フリー苗使用の重要性についてUNASの研究者と共有した。2022年9月、ティンゴマリア地域のUNASが選定した5圃場を訪問、圃場土壌を採集、INIAの許可を受けて、農林水産大臣特別許可のもと5圃場の土壌の輸入を完了、微生物叢の解析を開始した。2022年度に非病原性フザリウム（非病原性 *F. commune* W5株）の、萎凋病防除用生物農薬としてのポット試験での評価を実施、W5処理によって防除価が上昇することを確認した。以上のように、2022年度の研究計画を順調に達成した。

【令和4年／2022年度実施報告書】【230531】

地球規模課題解決に資する重要性、科学技術・学術上の獨創性・新規性について修正はない。

研究運営体制としては、2023年度から1名（森山）を削除、4名（福原、鈴木、高橋、木戸）を追加したが2022年度から共同で研究を開始した。また、研究項目3のリーダーを鈴木に変更した。

若手育成としては、ペルーUniversidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) 大学院生との長期本邦研修を2024年に開始、日本側大学院生などの短期ペルー派遣を2023年に開始予定（ただし、ペルーの政情に依る）である。

## (2) 各研究題目

(2-1) 研究題目1. 画像解析・リアルタイムPCRによるバナナ越境性病原体の診断・警戒システムの確立と実用化（リーダー：柏；参画者：有江、学生2名；現地研究者：Liliana Aragon、Oscar）

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）

2022年9月、日本側研究者（有江、柏、児玉、佐々木）が、ペルー中部ワヌコ県ティンゴマリア地域等のバナナ栽培圃場を訪問、UNALMおよびUniversidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS)の共同研究者等と共同で萎凋病の発生調査を行った。ティンゴマリア地域5圃場で萎凋病罹病株を採取、組織から選択培地を用いて18株の*Fusarium oxysporum*を分離した。そのうち12株について、LAMPによって全株がパナマ病菌であること（図1）、PCRによって10株がレースSR4、2株がレース1であるとの分子診断（図2）を行った。

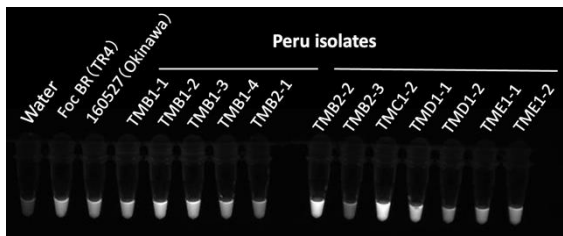


図1 LAMPによる萎凋病菌特異診断の例

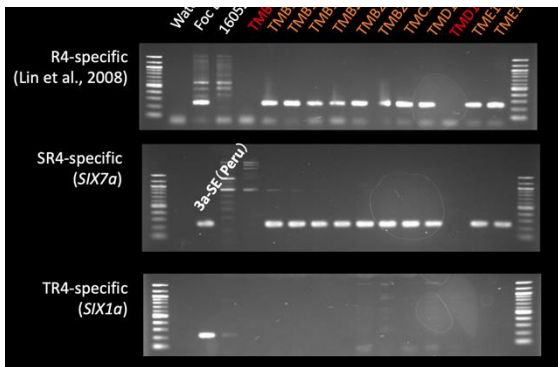


図2 PCRによるレース特異診断の例

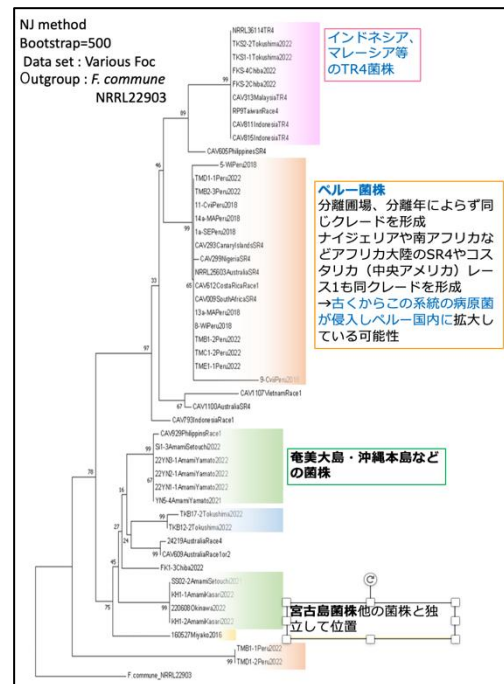


図3 rDNA-IGS領域に基づく分子系統樹

rDNA-IGS領域塩基配列に基づく分子系統解析では、上記10株は、カナリア諸島、アフリカ、中米などのSR4株と同一クラスターを、2株は独立したクラスターを形成した（図3）。バナナへの病原性は確認中である。

2022年度は、研究活動1-3で、萎凋病菌のエフェクター（病原菌の病原性関連タンパク質等、バナナ萎凋病菌が特異的に持つもの）遺伝子に対する特異プライマーを設計するために必要な萎凋病菌のゲノム情報を収集（2022年度のマイルストーン達成）、これに基づき、研究協力機関（株）ニッポンジーン）との共同研究を実施、萎凋病菌特異識別LAMP用プライマーセット3セットを試作、このうち最も特異性が高く感度も十分であると判断したプライマーセットを選抜した。さらに、レース1、レースSR4特異識別LAMP用プライマーセットの試作を開始した。また、これらの特異診断技術のUNALMおよびUNASに設置するラボへの技術移転の準備を開始した。当初の計画より先行している。

(2-2) 研究題目 2. 突然変異誘発による萎凋病抵抗性バナナ系統の選抜（リーダー：佐々木、阿部；参画者：福原、鈴木、高橋、阿部、学生 2 名；現地研究者：Dina、Rosa）

ペルーにおいて、Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) と耐病性および抵抗性系統の選抜・作出に関する協議を行うとともに、INIA が保持する 51 のアクセシオンを対象に耐病性アクセシオンのスクリーニングを開始した。研究活動 2-3 の先行にあたる。2023 年度開始予定であったバナナの組織培養を、島バナナ系統、その後 Cavendish 系統で開始した。島バナナ系統では組織培養・再生が可能であったが、共生微生物（エンドファイトと想定）が比較的高率で確認された。Cavendish 系統では島バナナに比べて組織培養の成功率が低率であったため、条件検討を実地している。研究活動 2-2 の先行にあたる。また、重イオンビーム等の共同利用機器使用に関する協議を行なった。

(2-3) 研究題目 3. 健全苗生産システムの構築と実装（リーダー：山田；参画者：鈴木、高橋、福原、野村、佐々木）（現地研究者：Oscar）

2022 年 9 月、日本側研究者が、ペルー中部ワヌコ県ティンゴマリア地域のバナナ栽培圃場において、UNALM および UNAS の共同研究者等と共同で苗調製の実態および苗の移動状況について調査、情報収集を行なった。この結果、同地域の多くの栽培圃場では脇芽を苗として使用しており、病原フリー苗（組織培養苗）の使用は一部に過ぎないことが明らかになった。病原フリー苗使用の重要性について UNAS の研究者と共有した。

(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叢（微生物エコシステム）の解明（リーダー：児玉；参画者：木戸、有江）（現地研究者：Oscar、Liliana Aragon）

2022 年 9 月、日本側研究者が、ペルー中部ワヌコ県ティンゴマリア地域に渡航、UNAS が選定した約 20 の圃場バナナ栽培のうち 5 圃場を訪問、UNALM および UNAS の共同研究者等と共同で圃場土壌を採集、INIA の許可を受けて、農林水産大臣特別許可のもと 5 圃場の土壌の輸入を完了、微生物叢の解析を開始した。なお、これらの圃場土壌が発病抑止性を有するか否かについては移植性の有無で検定を行う必要がある。また、我が国におけるパナマ病の発生調査によって、沖縄本島、奄美大島、関東、四国地域の圃場で罹病株を採取、病原性・レースの確認を開始するとともに、沖縄本島圃場の土壌から分離した各種細菌株のパナマ病菌に対する抑制活性を検定し、*Pseudomonas* sp. 菌株など、抗菌活性を有する細菌株を見出した。ペルー土壌でも、同様な方法論で生物的防除に適用可能な細菌株が取得できる可能性を示した。

(2-5) 研究題目 5. 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の開発と導入（リーダー：有江；参画者：児玉、木戸；学生 1 名）（現地研究者：Liliana Aragon）

2022 年度は、農工大シーズである非病原性フザリウム（非病原性 *F. commune* W5 株）の、萎凋病防除用生物農薬としてのポット試験での評価を日本において開始、バナナ（島バナナ）をポットに栽培、非病原性 W5 株の孢子懸濁液を処理（対照は水を処理）した後、バナナ萎凋病菌を接種、W5 処理によって防除価が上昇することを確認した。また、UNALM において発病抑止土壌とされる圃場土壌から分離した微生物のバナナ萎凋病抑制効果を確認した。

## 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）

2022 年度の研究計画等の修正はなかった。また、2023 年度からの全体計画等にも大きな内容の修正などはないが、2022 年 9 月にペルーで実施した詳細計画策定調査において、研究題目の表記や、研究項目の分割・統合などの変更・修正を 2023 年度から実施することとした。新たな修正後の計画を II (2) に示した。本研究の目標等は以下のとおりであり、現在のところ、2022 年 12 月に承認された全体計画書から、プロジェクトの進め方などの軌道修正が必要な点、プロジェクト目標達成の見通し、上位目標に向けての貢献や成果の社会的

なインパクトの見通しの修正はない。2023 年度からの 5 年間の研究機関で目標を達成できる見込みである。さらに、上位目標（社会実装や企業等との出口連携などを含む）については、現地における社会貢献を介して達成される見通しである。

本研究は、ヒトの生存に対して間接的な脅威になる地球規模の植物の越境性病害を、診断・警戒（アラート）システム、耐病性／抵抗性系統、病原フリー苗（健全苗）生産システム、新奇生物農薬等の開発・実装によって制御することを目的とする。耐病性／抵抗性系統の創出では、我が国が誇る先端科学技術の重イオンビーム（共同利用機器）等による変異誘発を活用する。発病抑止土壌の微生物叢を解析し発病抑止に関わる「微生物エコシステム」を活用した新奇生物農薬等の開発を目指す点は、学術上独創的である。また、本研究の、越境性病害の侵入に備え、あるいはその感染拡大（エピデミック）を防ぐ制御戦略は、バナナ以外の植物・病害にも適用可能であり、地球温暖化に伴う越境性病害の拡大が懸念される中、植物防疫や食料安定供給のため重要である。東京農工大学（以下、農工大）ではこれまでも国連食糧農業機関（FAO）との包括提携に基づき、地球環境変化に直面した農民の生活向上に資するアグロフォレストリーの開発普及を行ってきており（FAO Annual Report 2020、p. 7）、これを応用し、アマゾン熱帯雨林地帯（以下、セルバとする。ジャングルとも呼ばれる）農民の生活向上に寄与したい。本提案は、国連が定める SDGs の 1 および 2、15 等に直接的に関わるとともに、3、4、5、8、9、10、13 等に間接的に関わる喫緊の重要課題である。



### 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）

- ・プロジェクト全体の現状と課題としては、これまでのコロナ禍がほぼ収まり海外との相互交流が可能になりつつある一方、新たにペルーの政情不安が渡航の支障になりかねない点である。実際に、2023年1月に予定していた日本側短期専門家の派遣を、JICA がペルーへの新規渡航を一時規制したためこれに準じて中止した。ただし、ペルー側研究機関とは概ね2週間ごとにweb会議を実施しており、共同研究機関の活動や日本側研究機関との共同研究の実施には問題点はない現状のため、2023年8月の渡航は予定通り実施できる見込みである。また、ペルー側、日本側それぞれが行う研究の遂行には支障は生じていない。
- ・生物多様性状況に関わるペルーから日本への遺伝資源の輸入については、INIA が中心となり手続きを進めた結果、栽培植物組織およびそこから分離した菌は遺伝資源には当たらないことを確認、分離菌を農林水産大臣の特別許可の下、2022年9月に携行輸入し、研究に供した。一方、バナナ圃場土壌の持ち出しにはINIAの許可が必要であることが判明、2022年9月に採集した土壌についてはUNALMで保管の上、INIAの許可を得、農林水産大臣の特別許可の下、2023年1月に輸入できた。数ヶ月の保管期間中の微生物相の変化が心配ではあるものの対処法が存在しないため今後も同様な手続きによる輸入を行う、あるいは、UNAS や UNALM において微生物相の解析を可能にしたい。

### 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において開発済みあるいは開発中の萎凋病菌およびレース特異診断技術を、2022年度に日本国内で新たに発生したバナナ萎凋病の診断に展開、技術の確実性の確認を行うとともに、農林水産省植物防疫課、植物防疫所、県試験場と連携することで国内防疫に寄与している。

### Ⅴ. 日本のプレゼンスの向上（公開）

- ・本プロジェクトでの取り組みについて、日本経済新聞科学面(2022年7月24日;右)及びNikkei Asia(2022年8月8日; <https://asia.nikkei.com/Business/Agriculture/Banana-growers-fight-renewed-extinction-risk-as-lethal-fungus-spreads>)で紹介され、国際的なバナナ生産の持続への寄与の期待が示された。

