

地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)
研究課題別中間評価報告書

1. 研究課題名

ゴムノキ葉枯れ病防除のための複合的技術開発
(2021年12月～2026年12月)

2. 研究代表者

- 2.1 日本側研究代表者：松井 南（理化学研究所 環境資源科学研究センター グループディレクター）
- 2.2 相手側研究代表者：Suroso Rahutomo（インドネシアゴム研究所 所長）

3. 研究概要

インドネシアは世界第2位の天然ゴム生産国であり、最大の輸出相手国は日本である。近年、同国では*Pestalotiopsis*菌が主たる原因と考えられる葉枯れ病が拡大し、天然ゴムの生産に影響を与えている。インドネシアのゴム園は主に小規模農家によって経営されており、生産の減少は小農の収入減や離農に繋がり、同時に、同国のゴム加工産業にも大きな影響を与えている。

本プロジェクトは、ゴムノキ葉枯れ病に効果がある新規殺菌剤の候補化合物の開発及び新規微生物殺菌剤候補の微生物製剤の開発、ゲノム解析技術を活用したゴムノキ葉枯れ病抵抗性クローンの作出、空間情報と人工知能を活用したゴムノキ葉枯れ病罹患地域検出システムの開発により、ゴムノキ葉枯れ病の複合的防除技術を開発し、インドネシアにおけるゴム育種基盤の確立及び効果的な予防対策に貢献することを目的とする。さらに、同様の問題に直面する東南アジアの天然ゴム生産者に寄与することが期待される。

プロジェクトは下記6つの研究題目で構成されている。

研究題目0 ゴム生産地域におけるベースライン調査

研究題目1 ゴムノキ葉枯れ病に対する新規殺菌剤の候補化合物の開発

研究題目2 ゴムノキ葉枯れ病に対する新規微生物殺菌剤候補の微生物製剤の開発

研究題目3 ゴムノキ葉枯れ病抵抗性クローンの作出

研究題目4 人工衛星およびドローンデータを用いたゴムノキ病害罹患地域検出システムの開発

研究題目5 インドネシアの次世代ゴムノキ病害抑制に係わる研究開発および社会実装基盤の構築

4. 評価結果

総合評価：A

(所期の計画と同等の取組みが行われている)

本プロジェクトは、2017年にインドネシアのスマトラ島で報告され、その後インドネシア各地のゴム林に拡大した葉枯れ病に対して、新規殺菌剤の候補化合物の探索、拮抗微生物による防除と抵抗性クローンの開発及び病害発生地域の早期発見技術の開発を目標としている。新規殺菌剤の候補化合物の探索に関しては、化合物ライブラリから葉枯れ病の増殖に対して有効な化合物を探索することも考えたが、見出された化合物を農薬として使用するには種々の試験を経ねばならず、時間を要する。そこで葉枯れ病の広がりを少しでも早く阻止することを優先させ、市販農薬からゴムノキ葉枯れ病菌の増殖阻害に有効なものを選抜することとした。その結果、日本で行ったスクリーニングで葉枯れ病菌に対して生育抑制効果を示す既存農薬2種（商品名：トップジンとキノンドー）を選択し、インドネシアで分離した病原菌に対しても効果があることを見出した。今後は、圃場試験で防除効果を検証することとなっている。

拮抗作用を示すゴムノキの共生微生物についても同様に日本でスクリーニングを行い、候補微生物2菌株に絞り込み、インドネシアでの防除試験を実施するため、輸入手続きを進めている。またインドネシアでも並行して、候補菌株の絞り込みを行っている。一方で、微生物製剤として登録するには、圃場での効果の検証や製剤化など、まだいくつかの段階が必要と思われる。

葉枯れ病抵抗性クローンの作出は、インドネシアゴム研究所（IRRI）が所有するゴムノキ遺伝資源の特性評価と遺伝子解析を行っている段階である。また研究題目4については、高性能カメラ搭載ドローンから取得したスペクトル情報により解像度の低い衛星画像のスペクトルミクスチャー解析を行うとともに、住民からの画像提供サイトをweb上に構築し、病害発生地域を早期発見する構想であるが、機材導入の遅れもあり、まだまとまった成果には至っていない。

人材育成に関しては、相手国側研究員を博士留学生として積極的に日本に受け入れており、自立できる研究者の育成が期待でき、また、インドネシアでゲノム解析などの短期研修も積極的に実施している。

以上のことから、研究題目によって多少の遅れは見られるものの全体としてみると所期の計画と同等の取組みが行われていると評価できる。一方、プロジェクト後半には、これまでの研究の加速化、フィールドにおける研究成果が必要である。さらに、社会実装への道筋の明示を期待したい。

4-1. 国際共同研究の進捗状況について

本プロジェクトは、農薬の探索、新規微生物殺菌剤の開発、葉枯れ病抵抗性クローンの作出、及び、罹患地域早期検出システムの開発からなる複合的技術を通して、葉枯れ病に対する予防対

策を構築するもので、それぞれの研究題目において着実な進捗が見られる。

農薬の探索については、市販農薬から2つの有効な候補農薬が選抜された。今後、ゴムノキ圃場での散布実験を行い、効果的使用方法などの検討を進める予定である。成育途上にある圃場だけでなく、成林した圃場においても農薬散布の有効性が十分に確認できれば、社会実装への道筋が見えてくる。微生物殺菌剤の開発については、現在見出している候補微生物2株について、インドネシア企業と連携して、プロジェクト期間中に微生物製剤化し、販売の目途をつけることを期待する。一方で、肥料や農薬に投資する経済的余裕に欠ける小規模ゴム栽培農家が受容できる低コストで有効な対策となるよう十分検討していただきたい。

また、病害抵抗性クローンの選抜は重要な研究項目であるが、抵抗性品種の育成はプロジェクト期間内では達成が難しく、終了後も相当の期間を要すると思われる。インドネシア側と抵抗性品種育種のタイムスケジュールなどについて、十分協議することが必要である。人工衛星とドローンのデータ活用による感染地域の早期発見の研究も、プロジェクト後の実施体制についての協議が必要である。

さらに、葉枯れ病の対策を考える上で病原菌の解析や落葉メカニズムにかかわる知見は不可欠であり、プロジェクトを通して究明するか、あるいは、病理学の側面から葉枯れ病にアプローチしている研究グループと連携することも検討する必要がある。

また、日本では類を見ない研究であり、ゴムノキに関する国際会議に毎年出席し、プロジェクトの成果を報告していることは評価できるが、国際誌で公表した論文の質・量についてはまだまだ十分とはいえない。今後の成果発表に期待するとともに、ゴム生産を行っている周辺諸国の研究機関と情報交換し、プロジェクトの研究成果のアウトリーチ活動を活発化することに期待する。

4-2. 国際共同研究の実施体制について

両国代表研究者は、日本側、インドネシア側ともに複数の組織から成り立っている研究グループにもかかわらず、リーダーシップを発揮して研究を推進しており、プロジェクト全体をよくまとめている点は高く評価できる。また、セミナーや国際会議を通して、プロジェクト成果の内外への発信も積極的に行っている。

コロナ禍の影響によるプロジェクト開始の遅れにもかかわらず、短期間で温室等のインフラ整備を達成した点は評価に値する。また、他の供与機材についても、導入が進みつつあり、その活用が今後の研究を加速することが期待される。

4-3. 科学技術の発展と今後の研究について

天然ゴムの需要は今後さらなる増大が予想され、その生産地は東南アジアに集中している。日本の科学技術を導入し、インドネシアそして東南アジア諸国でゴムノキ葉枯れ病の防除技術が確立できれば、日本の科学技術が天然ゴムの生産量の拡大に貢献することになる。プロジェクトで

は、各研究題目とも研究の方向性に大きな問題はないが、中間評価以降はプロジェクト目標の達成に向け集中と加速化が求められる。すなわち、農薬の実用化と散布技術の開発、新規微生物殺菌剤に関しては、その製剤化と利用技術の開発に向け、研究室実験の成果から、フィールドへの成果へと進めることが必要である。また、衛星情報及びドローンを用いた葉枯れ病の発生をモニタリングするシステムが開発されると、発生予察などに効果的であると思われる。一方で、開発した技術を小規模農家でどのように利用するかは、今後の検討課題である。本プロジェクトが開発する葉枯れ病制御のための技術には、ゴム農家に届くまでに時間を要するものもあるが、プロジェクト期間内に何らかのインパクトを示していただきたい。

日本人若手研究人材の参画が少なく、インドネシアに渡航して調査研究を実施した実績はそれほど多くない。しかし、准教授レベルの研究者が多く参画しており、研究及び研修活動もリードして実施している。このような活動を通じて、グローバル化に対応した人材が育成され、プロジェクト終了後も、葉枯れ病への防除技術の開発が継続することが見込まれる。

4-4. 持続的研究活動等への貢献の見込みについて

IRRI はインドネシアにおける唯一のゴム研究機関であることから、このプロジェクトの成果を継承していくものと考えられる。また相手国研究員を博士留学生として積極的に日本に受け入れている。彼らが学位を取得して帰国した後も日本人研究者との連携を継続し、研究をリードしていけば、プロジェクト後の発展も期待できる。

インドネシア大学からは優秀な研究者ならびに大学院生が多数プロジェクトに参画しているが、ポストプロジェクトの資金面で不安が残る。プロジェクト成果の展開のため、広くインドネシア国内にアウトリーチ活動を行い、ゴムノキ研究者のネットワークを構築することを期待する。

セミナーやオーブンデーで葉枯れ病発生に関する情報をゴム生産農家に広く伝えることは、病害の拡大を抑えるために重要であり、今後さらに積極的な活動を期待する。また、インドネシアの国内関係機関のみならず、近隣諸国に研究成果のアウトリーチを行い、プロジェクト成果が波及することを期待する。

4-5. 今後の課題・今後の研究者に対する要望事項

1. 他の天然ゴム生産国の報告に鑑みると、ゴムノキの葉枯れ病には *Pestalotiopsis* 菌を含めた数種の病原菌が関与している可能性が高いので、主要な病原菌について、病理学的側面からの解析も必要と思われる。それを基礎に、プロジェクトで見出した農薬と微生物殺菌剤の検証、およびゴムノキ抵抗性クローンの作出を行うことが肝要である。
2. 葉枯れ病に効果が認められた市販農薬については、日本及びインドネシアの農薬企業が、今後ゴムノキ葉枯れ病対策にどう関わるのかを明確にしていきたい。

3. 微生物殺菌剤に関しては、日本で保存された菌株への効果判定の段階であり、防除効果の見極めが万全であるとは言いがたい。研究ステージを次に進めるためには、インドネシアの実際の圃場で実用的な効果が得られるかどうかを、散布方法も含め慎重に検証する必要がある。インドネシアで効果のある微生物が見出されると、なお望ましい。
4. ベースライン調査によると、インドネシアの小規模ゴム栽培農家の多くは施肥も農薬散布も行っていない。市販農薬あるいはプロジェクトで開発しようとする微生物殺菌剤が葉枯れ病対策技術として普及できるか、プロジェクト関係者で十分検討していただきたい。
5. 持続性のある病害抵抗性の育種については、多様な遺伝的背景からの抵抗性遺伝子の集積が必要になる。今回、遺伝子解析に利用されている抵抗性品種に加えて、多様な抵抗性遺伝子の発見も将来に向けた育種素材の開発という観点で重要と思われる。
6. 抵抗性ゴムノキ品種の育種に時間がかかる点は理解できるが、例えば、新規交配品種の評価に IRRI や他のプランテーションの圃場だけでなく、ゴム栽培農家の協力を仰いで評価してもらうなど、向こう 10 年待たず前倒しで普及に取り組むことへの可能性を検討していただきたい。
7. 画像をもとにした葉枯れ病の検出という技術的問題の解決ののち、どのようなシステムを構築するのか、さらに、プロジェクト後は誰が運用するのかについて、日本人専門家も交えて早期に検討を行っていただきたい。
8. 各研究題目の目標達成へのスケジュールを再検討し、プロジェクト後半は研究開発の可能性の高い課題に集中して今後の研究計画を立てていただきたい。

以上

成果目標シート

研究課題名	ゴムノキ葉枯れ病防除のための複合的技術開発
研究代表者名 (所属機関)	松井 南 (理化学研究所)
研究期間	R2採択(令和2年8月1日~令和8年3月31日)
相手国名/主要 相手国研究機関	インドネシア/ インドネシアゴム研究所、 インドネシア大学
関連するSDGs	主関連SDGs目標(目標12)、関連SDGs(目標13,15)

Overall Goal

プロジェクトが開発したゴムノキ葉枯れ病に対する複合的防除技術がインドネシア全国で利用できるようになっている

プロジェクトで開発の化合物、微生物製剤がインドネシアで販売されている
開発した葉枯れ病耐性クローンが販売提供されている
開発した「ゴムノキ病害罹患地域検出システム」サービスが提供されている

Project Purpose

ゴムノキの葉枯れ病を効果的に予防対策できる複合的技術が開発される

成果の波及効果

日本政府、社会、産業への貢献	<ul style="list-style-type: none"> 天然ゴム産業に対する貢献 日本企業を始め世界のゴム需要の安定的供給 日本の国際的リーダーシップとアジア連携
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> 葉枯れ病菌の同定 葉枯れ菌増殖阻害化合物、微生物の開発、単離 葉枯れ菌耐性株の開発
知財の獲得、国際標準化の推進、遺伝資源へのアクセス等	<ul style="list-style-type: none"> 病害耐性に関わる遺伝子領域特許 天然ゴム研究のゲノム基盤の構築 病害耐性化合物、微生物剤の特許 ゴム農業生産の安定化
世界で活躍できる日本人材の育成	<ul style="list-style-type: none"> 東南アジアと連携し協働できる若手研究者の育成 天然ゴム育成研究を通じた東南アジアでの研究主導者
技術及び人的ネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> 情報科学技術教育を通じた国際連携 ゲノム育種技術教育を通じた国際連携 インドネシア、日本に跨る研究ネットワークの形成
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	<ul style="list-style-type: none"> 天然ゴムの品種間ゲノム比較に関する論文 病害抵抗性に関するゲノム領域データ 病害抵抗性に関わる品種データ 衛星、ドローン画像解析による病害感染領域探索のためのプログラム



図1 成果目標シートと達成状況(2024年1月時点)