

地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)

研究課題別終了時評価報告書

1. 研究課題名

肥沃度センシング技術と養分欠乏耐性系統の開発を統合したアフリカ稲作における養分利用効率の飛躍的向上

(2017年5月～2022年9月：新型コロナウイルス感染症の影響で4ヶ月間延長)

2. 研究代表者

2. 1. 日本側研究代表者：辻本 泰弘（国際農林水産業研究センター 生産環境・畜産領域プロジェクトリーダー）
2. 2. 相手国研究代表者：アンドリアマナリナ ラハリンジャトゥヴ フェノマナンツァ（農業畜産省/農業総局長）

3. 研究概要

本プロジェクトは、アフリカ有数のコメ生産国かつ消費国であるマダガスカルを対象に、熱帯の風化土壌にみられるさまざまな養分欠乏に応じた施肥技術と養分利用に優れたイネの育種素材を組み合わせることで、肥料投入が限られた地域のイネの収量と施肥効率を大幅に改善するための栽培管理技術を開発するとともに、イネの生産性向上が農家の所得および栄養に及ぼす影響を明らかにする。こうした施肥技術と遺伝資源の活用は、低肥沃度・低投入環境にある作物生産の向上に寄与するのみならず、肥料資源の枯渇や生育不適地への農地拡大など、今後、世界の農業が直面する課題に対して、重要な役割を果たすと考えられる。

プロジェクトは下記4つの研究題目で構成されている。

研究題目1 養分特性評価：圃場の養分特性を把握するための評価技術開発と養分欠乏分布図作成

研究題目2 育種素材開発：養分の吸収利用効率に優れた育種素材開発

研究題目3 局所管理技術開発：施肥と育種素材を統合した養分利用効率の高い局所管理技術開発

研究題目4 インパクト評価：稲作技術の普及要因およびイネの生産性向上が所得と栄養改善に及ぼす社会経済的評価

各課題の成果を技術マニュアルと稲作技術の普及を推進するための政策提言としてとりまとめ、技術普及推進の基盤とすることを目指す。

4. 評価結果

総合評価：S

(所期の計画を越えた取り組みが行われている)

アフリカにおけるコメの増産は、増え続ける需要に対応しなければならない喫緊の課題である。アフリカにおける稲作は、多くの場合、瘦薄な土壌など厳しい環境で行われている。本プロジェクトはその課題に応える着実な成果を上げた。特に、植物の生育に必須であるリン酸などの主要な土壌養分の迅速評価法を開発し、技術マニュアルとしてまとめ、普及を可能にした。また、水稻苗へのリン浸漬処理技術（P-dipping 法）を開発して普及段階に至った。さらに、低肥沃度土壌で高い生産性を示すイネ品種の特性を解明し、乏しい養分環境でも多収を示すイネ品種 FyVary32 および FyVary85 を開発し、品種登録を達成した（FyVary はプロジェクトの略名で、マダガスカル語で Good Rice の意味）。加えて、家計パネルデータ解析から農業生産・所得と栄養に関する知見を得て、政策提言にまとめた。これらの成果は、いずれも今後相手国のみならず類似環境条件下にある地域の稲作改善に大きく貢献しうる成果として高く評価される。

さらに、世界銀行の開発政策・人材育成基金、JICA の技術協力プロジェクト「コメ生産性向上・流域管理プロジェクト」と同後継の「コメセクター生産性向上および産業化促進支援プロジェクト」、フランス国際農業開発センター、アフリカライスセンターなどのアフリカ稲作に関する機関と連携して、本プロジェクトの成果を普及する取り組みも実施されている。

また、研究代表者は優れたリーダーシップを発揮し、プロジェクト関係者間の緊密な連携、そして研究開発成果のマダガスカル内外へのアウトリーチなどを精力的に実施した。また、両国ともに若手研究者が中心になって研究しており、相手国研究者が筆頭著者となる有力誌掲載論文を 13 報、さらに、共同で原著論文も 32 報公表するなど着実に人材育成がなされている。

以上より、所期の計画を超えた取り組みがなされたと高く評価できる。具体的な成果があげられたことに加え、研究開発成果の普及の促進という相手国のニーズに貢献する道筋が明確に示され、相手国の政府や関係者から非常に高く評価された。今後、それを基にした開発技術の普及の拡大が大いに期待される。

また、本プロジェクトの共同研究の進め方や運営の仕方は、今後の SATREPS 生物資源分野プロジェクトの模範となるものとして高く評価する。

4-1. 地球規模課題解決への貢献

【課題の重要性とプロジェクトの成果が課題解決に与える科学的・技術的インパクト】

熱帯の低肥沃度土壌地帯における食料供給能の向上は重要な地球規模課題であり、本プロジェクトはその課題に応えうる着実な成果を上げた。特に、リン酸などの主要な土壌養分の迅速評価法を開発して技術マニュアルとしてまとめ、農家への普及を可能にした。また、水稲苗への P-dipping 法を開発して農家へ普及するに至っている。今後、費用と労働力投入がどのようにバランスしているかを示すと、P-dipping 法の優れた効果がより伝わり、広く普及すると期待される。さらに、低肥沃度土壌で生産性の高いイネ品種の特性を解明し、プロジェクト期間中に2つの新品種の登録を達成した。新品種はカタログ化され、マダガスカルの手国機関である農業畜産省およびマダガスカル国立農村開発応用研究センター (FOFIFA) の Web サイトにも公開された。加えて、600 家計のパネルデータから得られた農業生産と所得および栄養に関する知見を政策提言案としてとりまとめた。特に、水稲収量の向上やマメ科作物の生産が稲作農家のエネルギーおよび微量栄養素の摂取量改善に有効であることを定量的に示した成果は、同国の栄養改善の施策に直結する提言である。

これらの成果は、アフリカのフィールドを対象にした研究内容であり、2020 年に Nature 誌にて発表されたレビュー” To end hunger, science must change its focus (飢餓をなくすという SDGs を達成するには、これまでの研究視点を変えなければならない)” に応答した内容である。

【国際社会における認知、及び、他国、他地域への波及】

アフリカ開発会議 (TICAD) などを活用し、積極的に研究成果を国際社会にアピールしており、国際的な機関との連携体制と国際的な学術誌での成果の発表の状況から、国際社会における認知・活用の見通しは高いと思われる。

プロジェクトで開発した P-dipping 法やリン酸吸収効率がよく多収な水稲新品種の育成は、自然・経済社会条件の類似したアフリカの稲作地帯に応用できる可能性が高い。特に、P-dipping 法は、小農が受容しやすい技術であり、アフリカやアジアの移植水稲地帯に適した技術である。これら技術の適用条件の評価が進めば、他国や他地域への波及・展開する可能性が大いに期待される。

【国内外の類似研究と比較したレベル】

プロジェクトで品種登録した2つの新品種のうち、FyVary32 は、熱帯地域の多収品種である IR64 に、リン酸吸収を増大させる *Pup1* 遺伝子座 (染色体領域) を世界で初めて導入した画期的な品種であり、FyVary85 は、IR64 とリン欠乏環境でも優れたリン吸収能をもつ在来の遺伝資源 DJ123 とを交雑した後代から選抜した品種であり、プロジェクトのねらいとした「これまでイネの品種開発で見落とされてきた、養分欠乏下で働く在来遺伝資源の実用化への道筋を示す」に値する画期的な成果である。

4-2. 相手国ニーズの充足

【課題の重要性とプロジェクトの成果が相手国ニーズの充足に与えるインパクト】

マダガスカルでは、国土のほとんどが低肥沃度土壌地帯であるが、米の自給を目指しており、低肥沃度地帯における稲作栽培技術の改善は喫緊の課題である。リン酸含有率の低い土壌において、肥料の肥効改善に優れた施肥法の開発や多収の可能性がある品種の育種は、最も重要な成果である。本プロジェクトで得られた研究開発成果は同国のニーズを十分に満たすものであり、相手国の政府や研究機関などから高く評価されており、インパクトは極めて高いと考えられる。また若手研究者の人材育成もなされてきたため、持続的な研究の継続も期待できる。

【課題解決、社会実装の見通し】

水稻苗へのP-dipping法は、プロジェクト期間中多くの現地圃場で試験的に導入され、その有効性が確認され、JICAの技術協力プロジェクト「コメセクター生産性向上および産業化促進支援プロジェクト」でも普及に取り組みられることになっている。また、県農業局普及員および民間肥料会社と共同して、P-dipping法のマニュアルと使いやすい少量肥料袋（3 kgの重過リン酸石灰を梱包）を作成し、普及を促進した。さらに、P-dipping法は2022-2023年にマダガスカル中央部で最大200 ha普及する予定であり、確実に普及の道筋が構築されつつある。また、品種登録した2品種は、認証種子の増殖が進んでおり、2023-2024年に最大1,000 haに普及できる見込みである。これら2つの技術は、加速的に社会実装が進むことが期待できる。

【継続的發展及び成果を基とした研究・利用活動が持続的に發展していく見込み】

人材育成、研究施設等の整備が確実に行われたことにより、継続的な發展の見通しは高いといえる。相手国若手研究者を日本に留学、あるいは、JICA 課題別研修等の機会を利用して育成したことから、3名の若手研究者が学位を取得しており、その中から相手国研究機関でポストを獲得した研究者も出ている。また、2022年に、マダガスカル農業畜産省より研究員、普及員の公募があり、本プロジェクトで活躍した FOFIFA 所属の若手研究者2名が採用された。面接などで、本プロジェクトでの品種開発など実践的活動をアピールしたようで、採用後は FOFIFA に配属される可能性が高いと思われ、プロジェクト成果の發展に貢献してくれることが期待される。

一方、設備に関しては、FOFIFA に温湯除雄法によるイネの交配施設とマーカー選抜育種を可能にする遺伝解析施設を、アンタナナリポ大学放射線研究所（LRI）に土壌・植物分析のためのリモセン・土壌ラボを構築した。分析機器の利用にかかる技術移転は確実に行われており、相手国のイネ育種、栽培技術開発のための基盤整備はほぼ整っていることから、今後のさらなる發展が期待される。

4-3. 付随的成果

【日本政府、社会、産業への貢献】

プロジェクトで得られた研究開発成果を TICAD などの機会をとらえて公表して、アフリカ稲作農業の発展に日本が貢献していることを示した。また、日本で蓄積されてきたイネ育種・栽培に係る技術を相対化して見直すよい契機になった。

【科学技術の発展】

土壌中のリン供給能に関連する特異的な波長を明らかにし、土地利用の異なる土壌でも高い精度でリン供給能を迅速推定できる計算モデル式を確立した研究成果は画期的であり、マダガスカルやアフリカ以外の地域でも汎用性が高い技術である。また、P-dipping 法は省資源型の局所管理施肥法としてマダガスカルにおける低リン酸土壌の水稲の生育収量の向上に有効であるだけでなく、出穂期を早めるなどの副次的な効果をもたらし、冷害を回避できるなど稲作を安定させる興味深い効果を示した。さらに、リン酸吸収効率を高める *PSTOL1* 遺伝子 (*Pup1* 遺伝子座) を実用化し、新たなイネ品種を開発したことは大きな科学技術の進歩である。また、Field Crops Research や Plant Production Science へのサブサハラアフリカの稲作におけるリン酸や窒素の利用効率向上に関するレビュー論文は国際的評価を高める成果である。

【世界で活躍できる日本人人材の育成（若手、グローバル化対応）】

プロジェクトの日本側代表者は 40 歳代と若く、主力となった分担研究者も若手が多く、参加した学生も国際的な活動を行う研究機関や大学に就職するなど、日本人人材の育成は着実に進められ、今後の発展が期待できる。

【知財の獲得や、国際標準化への取り組み、及びその他の具体的成果物（提言書、論文、プログラム、試作品、マニュアル、データなど）】

2つのリン酸吸収効率の高い新品種をマダガスカルで品種登録した。また、開発した技術を英語およびマダガスカル語のマニュアルとして作成し、普及用動画なども提供するなど、研究開発成果のアウトリーチについて積極的に取り組んだ。さらに、600 家計のパネルデータから得られた農業生産と所得および栄養に関する知見を政策提言案としてとりまとめ、相手国政府および JICA 技術協力プロジェクト等に共有した。

【技術および人的ネットワークの構築（相手国含む）】

マダガスカルの研究者及び稲作関係機関、さらに、国際研究機関とも緊密に連携して、ネットワークを確立しており、今後の発展的な連携も大いに期待できる。

4-4. プロジェクトの運営

【プロジェクト推進体制の構築（他のプロジェクト、機関などとの連携も含む）】

新型コロナウイルス感染症など人的交流が制限された条件下においても定期的なオンライン会議など効率的な交流を行い、研究課題の遂行に務めており、両国の課題推進責任者間の連携は円滑になされた。特に、JST-CREST「ROOTomics を利用した環境レジリエント作物の創出」と連携した研究成果は、付随的な側面もあるが、新型コロナウイルス感染症の影響で他の SATREPS プロジェクトが停滞する中、特筆すべき研究成果のひとつである。

【プロジェクト管理および状況変化への対処（研究チームの体制・遂行状況や研究代表者のリーダーシップ）】

研究代表者のリーダーシップは非常に優れており、プロジェクトを実施中、日本側およびマダガスカル側とよく調整してプロジェクトを推進した。プロジェクト開始後は献身的に現地で研究し、マダガスカル人研究者を指導した。研究成果の積極的なアウトリーチをマダガスカルの稲作関係機関や国際研究機関に行い、プロジェクト成果普及の道筋をつけた。その功績によりマダガスカル農業畜産大臣から、「マダガスカルの持続的なイネ生産の向上、その技術開発と人材開発への貢献に対して」として、研究代表者に感謝状が授与された。

【成果の活用に向けた活動】

世界銀行の開発政策・人材育成基金、JICA の技術協力プロジェクト「コメ生産性向上・流域管理プロジェクト」、フランスの国際農業開発センター、アフリカライスセンターなどのマダガスカルの稲作に関する関係機関と連携して、プロジェクトの成果を普及させる活動を行っている。一方で、開発した技術の他国・他地域での活用のためには、適用条件や制約条件を明確にしていくことが求められる。

【情報発信（論文、講演、シンポジウム、セミナー、マスメディアなど）】

2つの新品種の披露会の開催や相手国大統領への紹介など、研究代表者はじめプロジェクトメンバーは研究開発成果のアウトリーチを積極的に行っており、情報発信は非常に優れていると評価できる。また、得られた成果は、研究論文として発表したほか、多くの技術マニュアル（土壌窒素推定法（オキシドール法の改良）、土壌炭素・リン迅速推定法、分光スペクトルを用いた土壌の有機態炭素含量と酸性シュウ酸塩抽出リン含量の迅速推定法、土壌リン吸着能の簡易推定法）や普及用動画、相手国メディアによる発信など効果的な活動を行っている。

【人材、機材、予算の活用（効率、効果）】

プロジェクトの開始早々に相手国の研究施設を整備し、さらに、分子遺伝学ラボを新設す

るとともに、技術研修を効率的に実施し、施設・機材を十分に活用する体制を構築したことは高く評価される。加えて、P-dipping 法を普及するために、JICA からの新たな予算獲得など開発した技術の普及に向けた運営は評価される。

5. 今後の研究に向けての要改善点及び要望事項

(1) P-dipping 法はリン酸肥料の節約と施肥効率の改善に効果がある施肥法であることが実証され、マダガスカル稲作地帯に広く普及する可能性が見込まれる。十分量の肥料を施用できない一般の農家にとって、少ない肥料を効率的に使用して収量増に結び付けることは農民のインセンティブの強化にもつながる。共同研究を継続し、多くの農家が使いやすい技術に磨きあげることを目指していただきたい。

(2) 作物生育の必須元素には、窒素、リン酸、カリウムなど多量に必要とされる養分と亜鉛、鉄など微量に要求される養分がある。水田土壌の化学分析で養分欠乏状態を明らかにし、それに応じた施肥法を開発することがイネの生産性の向上を図る上で効果的である。堆肥等の有機物資材を投入する農家の比率は小さく、無施肥の割合は本プロジェクトの調査結果では 75%に及ぶ。有機物資材と化学肥料を効果的に組み合わせた栽培技術が開発されれば、低養分土壌でも生産性の高い新品種とを組み合わせることで低コストで増産に挑むことが可能となる。これまでに育成した人材と移転した技術を駆使して、イネの生産性の改善に取り組んでもらいたい。

(3) 本プロジェクトで開発した低養分土壌に適する 2 品種 (FyVary32、FyVary85) は民間種子会社や Africa Rice Center に提供され、マダガスカル南西部で試験栽培を行うことが計画されている。サブサハラアフリカの他の多くの国でも、低肥沃度土壌が広く分布し、イネの生産性は低い。そこで、登録した 2 品種を他国でも試験栽培し、生産性改善の可能性を検討することを強く勧める。Africa Rice Center、International Rice Research Institute などの国際農業研究機関のほか、JICA の技術協力との連携をさらに深めることを提案したい。

(4) 農民間技術普及の現状と改善策の調査はコロナの影響により中断されている。今後のアフリカの稲作振興において農民間の技術普及を効果的・効率的に実施することは極めて重要なことであるので、何らかの形で研究を継続し、結果を出していただきたい。そして、改善方向を示してもらいたい。

研究課題名	肥沃度センシング技術と養分欠乏耐性系統の開発を統合したアフリカ稲作における養分利用効率の飛躍的向上
研究代表者名 (所属機関)	辻本 泰弘 (国立研究開発法人 国際農林水産業研究センター)
研究期間	(平成28年6月1日～令和4年9月30日)
相手国名/主要相手国研究機関	マダガスカル共和国/農業畜産省、国立農村開発応用研究センター、アンタナナリボ大学放射線研究所、国立栄養局

付随的成果	
日本政府、社会、産業への貢献	・国連の新たな開発目標(2016-2030)および日本政府が対アフリカ農業支援の核とするコメ生産増進計画(CARD/TICAD)に対する貢献 ・鉱山開発の副産物として産出される肥料資源の地域農業への還元
科学技術の発展	・低肥沃度環境および肥料資源枯渇に対応した養分利用効率に優れた育種素材と作物生産技術の開発
知財の獲得、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	・養分の吸収利用に寄与するイネの遺伝資源に関する知財獲得とマダガスカルでの有望系統の作出 ・マダガスカル在来イネ系統の特性評価と遺伝情報の入手
世界で活躍できる日本人人材の育成	国際共同研究の推進、国際会議・査読付き論文での成果公表を通じた国際的認知度の高い若手研究者の育成
技術及び人的ネットワークの構築	・国際共同研究体制の構築 ・開発技術の広域展開に向けた国内外機関、メディア、種子・肥料セクターとの連携強化
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	・マダガスカル中央高地における土壌炭素量と養分欠乏の評価法マニュアルを作成、公開 ・養分吸収利用に寄与するイネのQTLを検出、DNAマーカー、遺伝子、およびこれらの素材を導入した有望系統を作出し、水稻新品種2点を公式リリース ・イネの生産効率を改善するための技術マニュアルと普及のための政策提言を作成 ・査読付き論文(25件以上)=38件

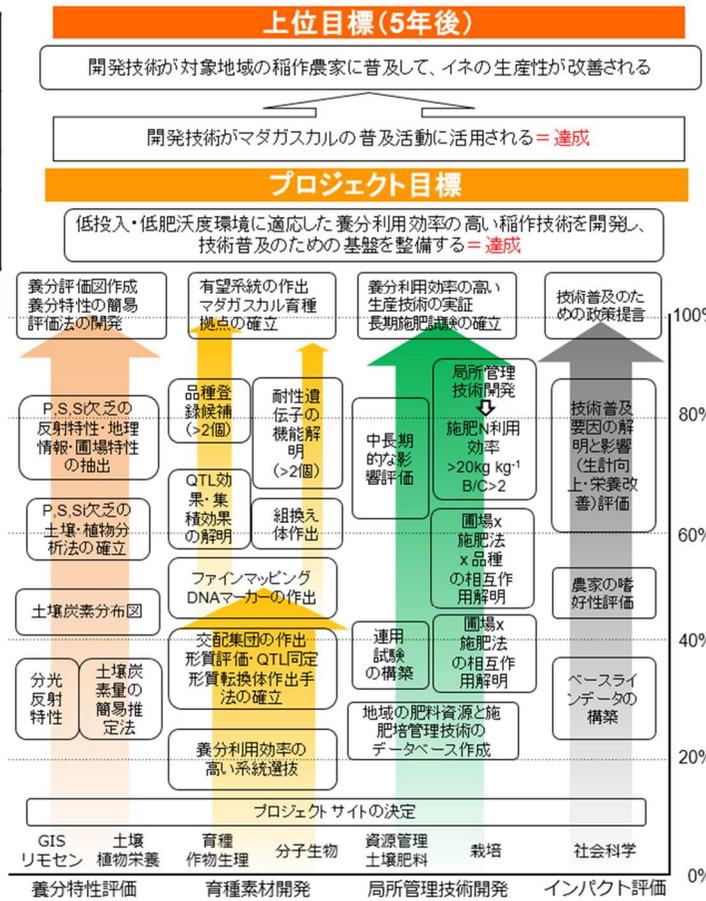


図1 成果目標シートと達成状況 (2022年9月時点)