

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

遺伝的改良と先端フィールド管理技術の活用によるラテンアメリカ型省資源稲作の開発と定着
(2014年5月～2019年5月)

2. 研究代表者

2. 1. 日本側研究代表者：岡田 謙介（東京大学大学院農学生命科学研究科 教授）
2. 2. 相手側研究代表者：石谷 学（国際熱帯農業センター（CIAT） 主任研究員）

3. 研究概要

近年、コロンビアでは、コメは低所得者層にとって主要な食料源となっている。また、コメの生産と販売の過程で多くの雇用が生じるため、稲作は同国の農村及び地域社会の安定的発展において重要な産業である。コロンビアの稲作は、直播と大型機械を利用した大規模生産体系であるが、灌漑施設が十分に整備されておらず、多くの圃場で等高線に沿って一時的に低い畝を作り、掛け流しの田越灌漑による水管理（傾斜地等高線畝掛流し灌漑法）を行っている。そのため、水及び肥料の利用効率が低く、同地域のコメ生産量を向上させる上で大きな課題となっている。本プロジェクトでは、水及び肥料の利用効率が高い省資源型稲作体系を構築してコロンビアに定着させることを目標とする。

研究体制としては、日本側から東京大学、農業・食品産業技術総合研究機構、東京農工大学、九州大学が参画し、コロンビア側の国際熱帯農業センター（CIAT）、稲生産者連合会（FEDEARROZ）、ラテンアメリカ水稲基金（FLAR）、バジェ大学、さらには先進農家と連携して研究を推進する。具体的には、下記の研究題目に取り組み、プロジェクトで開発されるイネ新品種、水・施肥管理技術、節水栽培技術等を統合し、農家参加型の技術普及システムで普及することにより、コロンビアにおけるラテンアメリカ型省資源稲作の開発と定着を図る。

- 研究題目 1 QTL 遺伝子集積による、新世代型高生産・高水・窒素利用効率のイネ有望系統の育成
- 研究題目 2 ターゲットサイトにおける効率的な作物・施肥管理のための技術開発
- 研究題目 3 新形質イネを利用した節水栽培技術の確立と流域スケール評価管理
- 研究題目 4 改良した栽培技術の農家レベルでの統合と普及活動

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。）

本プロジェクトでは、深根性陸稲品種（Kinandang Patong）を根系形態形成に関わる QTL (Quantitative trait locus ; 量的形質遺伝子座) のドナー品種として利用し、DNA マーカー選抜育種によりコロンビアの奨励品種に DEEPER ROOTING 1 (*DR01*) をはじめとする深根性や根量等に関わる複数の QTL を導入した。品種開発は順調に進められ、根の伸長や根量の増加による水と化学肥料の利用効率向上を期待できる有

望系統（BC3F5 世代）の作出に成功した。これは、複数の根形質 QTL を栽培品種に集積化した世界で初めての事例であり、プロジェクト期間内に圃場における特性評価や収量調査の段階まで到達したことは特筆に値する成果である。

実験圃場における形質評価においては、GIAT でフェノタワーやドローンによるリモートセンシングにより取得されたイネの表現型データを東京大学と共有・解析できるシステムを構築した。

イネ生育・管理モデルの選定・改良においては、トリマ県を中心とする中央稲作地帯におけるイネ生育モデルや気象データ等を利用し、水・肥料の利用効率を向上させる作物・土壌管理を実現する意思決定支援システムの開発が進められた。

節水栽培技術の開発においては、水田の水利用状況が全く把握されていない現地の農家圃場において、農家の用水路や水田に適した水収支の簡易計測法を確立し、圃場レベルの水収支の解析と節水栽培技術の確立を進めた。

精密農業の導入と省資源型稲作技術の水平伝達においては、土壌マッピング技術や収量コンバイン等の日本の先端的な精密農業技術をコロンビア側に導入するとともに、新技術を先進農家から一般農家・新規参入農家に効率よく伝達するためのシステム設計を進めた。

なお、リモートセンシングによるフェノタイピング技術、農家の意思決定支援システムの開発、圃場レベルにおける節水栽培技術、大規模農家から小規模農家への技術の水平伝達においては、今後、栽培現場及び農村社会における実証を積み重ねて各技術を確立した上で、新品種の導入と組み合わせで成果の統合化を図る必要がある。

以上のことから、一部優れた研究成果が得られているが、品種育成以外の技術要素の開発と実証並びに成果の統合化にやや遅れが見られるため、全体としては所期の計画と同等の取組が行われていると評価される。

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】

コロンビアの水田は主に傾斜地に位置し、傾斜に応じて等高線畝を作り傾斜地の上方から間断灌漑を行うことから、水と化学肥料の利用効率が低いという課題を抱えている。そのため、水と肥料の利用効率を高めた水稻品種及び栽培技術の開発が、コロンビア及びラテンアメリカ諸国に共通する喫緊の課題である。本プロジェクトでは、根形質 QTL の導入により水・肥料の利用効率向上が期待できる有望系統の作出に成功し、BC3F5 世代を用いて圃場における特性調査及び収量調査の段階に到達した。また、コロンビアの慣行による灌漑や窒素施肥に対して、灌漑水量やアンモニア揮散量、硝酸溶脱量の測定により水や窒素肥料の損失を定量的に解明することで、科学的根拠に基づく省資源化の可能性を見出した。今後、有望系統が省資源栽培条件下において従来の奨励品種と同等または高い収量を示すことが実証されれば、地球規模で問題となっている稲作における節水と窒素肥料の削減に寄与する可能性があり、本プロジェクトの成果が課題解決に与える科学的・技術的インパクトは極めて高いと評価される。

【国際社会における認知、活用の見通し】

イネ有望系統の育種及び根形質 QTL の解析、先端的なリモートセンシング手法を用いたイネの形質評価手法の開発、土壌水分実測値に基づくコロンビアの水田における灌漑必要水量の推測、コロンビアの稲作農家自らによる技術の認知と受容の解析など、様々な分野における研究成果が国際誌で発表された。

また、プロジェクトの活動や成果は、国際ワークショップ等を通して中南米諸国に広く紹介され、主にラテンアメリカに見られる傾斜地等高線畝間断灌漑水田における省資源型稲作の可能性について、コロンビアをはじめとする同地域の研究者等に広く認識させることに成功した。よって、国際社会における認知及び成果活用の見通しは高いと考えられる。

【他国、他地域への波及】

本プロジェクトには、コロンビア稲生産者連合会（FEDARROZ）、国際熱帯農業センター（CIAT）および CIAT 内に本部を置くラテンアメリカ水稻基金（FLAR）が共同研究機関として参画しており、特に FLAR はラテンアメリカの 17 カ国に 25 メンバー機関を有するイネ研究・技術移転機関である。本プロジェクトの実施中から、FLAR を通して活動内容及び成果がメンバー国に随時広報されており、成果が注目されてきた。既にボリビア、ペルーをはじめとする 10 カ国のメンバー機関から本プロジェクトで作出されたイネ有望系統に対する利用要望が出されている。このように、本プロジェクトの成果による影響は、ラテンアメリカをはじめとして、コロンビアと同様の水田地帯における課題を抱えている他の国々・地域に対して、CIAT と FLAR の連携を通じて組織的に波及すること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や重要度】

イネの根を節水・節肥料に適した形態に改善するため、コロンビアの奨励品種に *DRO1* 等の複数の根形質 QTL を同時に導入したことは、世界的にも独自性と新規性が高い試みであり、DNA マーカー選抜と表現型迅速評価システムを利用して有望系統を作出し、土壌条件下で根形態を改善できる可能性を示したことは高く評価される。一方、実際の水田圃場における QTL の導入効果の実証はこれからであり、根系改善による吸水性・吸肥性の向上及び収量向上等に関する結果が待たれる。本プロジェクトで研究対象とした 7 つの根形質 QTL（遺伝子）の遺伝子機能が特定され、また圃場レベルでそれら機能が実証されれば、国際的に高いインパクトを与える研究成果になると予想される。

また、水利用状況が把握されていなかったコロンビアの傾斜地水田で灌漑水量を実測し、常時湛水の水田に比べて約 2 倍の水を使っている実態を初めて解明した意義は大きい。本プロジェクトにより新たに導入された圃場レベルの節水灌漑技術 MIRI (multiple inlet rice irrigation) は、プロジェクト参画農家等によって積極的に利用されており、水田の不均一土壌水分分布に応じた灌漑箇所の特等において、本プロジェクトが導入した精密農業技術及びその解析手法による貢献が認められる。両国の大規模先進農家を研究者の一員としてプロジェクトに取り込み、コロンビア農家への技術移転及び普及を实践した手法は新しい研究開発スタイルとして評価されるが、現段階でその効果は、プロジェクトに参加した大規模農家における実証に留まっており、今後、小規模農家を含めた同国における技術普及の進展が求められる。

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】

アメリカとの自由貿易協定（FTA）を締結しているコロンビアにおいて、稲作におけるコスト削減は自国の稲作の維持・発展のために重要な課題である。このことは、FEDEARROZ はもとより稲作農家にも十分に認識されており、本プロジェクトは同国における喫緊の課題に対応する取組みとして大いに期待されている。今後、開発された有望系統や栽培管理技術の統合化及び圃場レベルでの実証が必要であるが、本

プロジェクトの開発技術が、FEDEARROZ の技術普及プログラム (AMTEC2.0) *の中核技術として利用されることが決まったことから、相手国ニーズの充足に与えるインパクトは高いと評価される。

【課題解決、社会実装の見通し】

本プロジェクトには FEDEARROZ、CIAT、FLAR の研究者や技術者が参画しており、これらの機関では独自の予算で研究・普及を推進できることもあり、コロンビア国内はもとよりラテンアメリカ地域で省資源型稲作技術を普及・改良することが可能であると思われる。特に FEDEARROZ は、本プロジェクトの開始以前より AMTEC を実施していたが、既に本プロジェクトの成果を取り込みながら AMTEC2.0 (2018年-2022年) として実践を開始している。具体的には、携帯型近赤外分光光度計を用いた水田土壌マッピング、ドローン (UAV) の利用による施肥改善、収穫量を計測できるコンバインを利用した土壌マッピングとの関連の確認等による環境条件に配慮した栽培管理、根系を改善した新品種の利用、作物モデルを利用した意思決定支援ツール等の活用による気候変動対応型の栽培管理手法等、本プロジェクトによる成果が新たな普及要素として AMTEC2.0 に取り入れられた。以上のことから、課題解決と社会実装の見通しは高いと評価される。

【継続的発展の見通し (人材育成、組織、機材の整備等)】

イネの交配から交配後代のマーカー選抜、迅速な表現型評価を実施できる FEDEARROZ の若手研究人材、並びに圃場における栽培試験及び新品種の食味テスト等を実施できる研究人材や技術者が育成された。FEDEARROZ のイバゲ試験場やサルダーニャ試験場では、イネの生理学的解析や根の形態解析に使用する各種実験機器の他、イネ籾水分計、コメ精選機、粘度計等、多数の機材が導入・利用されており、研究開発を継続するための十分な環境が整備された。また、コロンビアでは慣習的に精米段階で品種を混合して販売していたが、コロンビア側研究者及び参画農家は、日本での研修を通じて品種別価格差の存在を認識するとともに、加工による高付加価値化をはじめとする米の販売戦略等について理解を深めた。既に FEDEARROZ は、3 品種をそれぞれ単一米として販売する直売所をコロンビア国内に設置し、また、米を原料としたジュース等の加工品の試作にも精力的に取り組んでいる。さらには、本プロジェクトには、複数の大規模農家が、所有する水田圃場を試験地として提供して研究活動に直接参加した結果、農家の研究に対する理解が深化するとともに、研究成果の活用と課題解決の能力が向上した。大規模農家間のネットワークを通して、研究成果が直接現場に反映されやすい環境も醸成されている。以上のことから、本プロジェクトにおける持続的発展の見通しは高いと評価される。

【成果を基とした研究・利用活動が持続的に発展していく見込み (政策等への反映、成果物の利用など)】

本プロジェクトの研究成果は1つの技術ガイドと14種類の技術マニュアルとしてまとめられた。また、前述のとおり、本プロジェクトの成果は FEDEARROZ の AMTEC2.0 に組み込まれた。さらに、コロンビア農業・農村開発省は、アメリカとの FTA に関連して自国の米生産コストの削減を目指していることに加えて、反政府武装組織との和平協定の締結後、農民の農村への復帰・定着を支援する政策をとっていることから、同国の稲作振興への貢献が期待される本プロジェクトの活動及び成果に対して高い関心を示している。以上のことから、本プロジェクトの成果を基とした研究・利用活動が持続的に発展していく見込みは高いと評価される。

* AMTEC: 米収量の増加とコスト削減を目的として FEDEARROZ から組合員農家に提供される作物管理技術のパッケージで、対象農地の気象や土壌分析等のデータ収集、解析、栽培計画等が含まれる。

4-3. 付随的成果

【日本政府、社会、産業への貢献】

前述のとおり、コロンビアでは避難農民の復帰・定着が重要な課題であり、本プロジェクトによる稲作支援が同国の平和構築に貢献できれば、日本のプレゼンスの向上に繋がることは明らかである。また、FEDEARROZ に供与された稲作機械、ポストハーベスト処理に用いる精米機や精選機等の機材、並びにそれら機材の利用方法の伝授を含めたイネの育種研究に必要な一連の支援は、日本の農機メーカーや研究機器メーカーの海外進出につながる事が期待される。さらに、本プロジェクトでは、日本企業と連携して日本の IoT 農業技術を CIAT に導入して研究に利用した。この活動を契機として、日本の総務省とコロンビア政府の二カ国間協力事業（「コロンビア農業情報基盤構築に向けた農業 IoT プラットフォーム実証調査：2018～2019 年度（単年度契約）」）が実施されており、日本の IoT 技術の海外進出に貢献している。

【科学技術の発展】

遺伝子ピラミディングにより、複数の根形質 QTL を導入したイネ系統の育成に世界で初めて成功し、圃場の土壌条件下で QTL 受容親と比較して根長が伸長することを示唆する結果を得るなど、根系形態を改善する研究において、科学技術の発展に寄与する高い成果が得られた。今後、本プロジェクトで研究対象とした7つの QTL に関して、候補遺伝子の絞り込みを進め、これら遺伝子の組み合わせと形質発現の関係を解明できれば、根系改善による育種目標を遺伝子レベルで精緻に設計することが可能となり、実用品種の開発において極めて有益な知見が得られると考えられる。

【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）】

本プロジェクトでは、コロンビアの大学に留学して修士を取得した日本人学生が日本の大学院博士課程に入学し、現地に滞在して研究活動に参加した。当人は、博士学位の取得後も、JICA 専門家として引き続きコロンビアに滞在して研究活動を行うとともに、自らが担当する研究の枠を越えて両国の共同研究をコーディネートする役割を果たすなど、国際共同研究を推進できる人材として活躍した。また、日本の修士課程の大学院生 2 名をコロンビアに中長期的に派遣し、国際共同研究の経験を積ませた。日本側の 4 研究機関のうち、若手日本人人材の育成に明確に関与したのは 1 機関のみであったが、本プロジェクトでは、海外で活躍できる若手日本人人材が育成されたと評価される。

【知財の獲得や国際標準化への取り組み、生物資源へのアクセスや、データ入手】

本プロジェクトでは、育成した有望系統の品種登録に必要な生産力検定のデータをそろえた後、コロンビア政府に品種登録を行う予定である。その後、FEDEARROZ が登録品種の種子生産を行い、一般農家に種子を配布するプロセスが計画されている。今回、有望系統の作出に関与した日本の研究者及び所属研究機関は、独自の判断により品種登録に係る育成者権を放棄したが、新品種が本プロジェクトの成果であることが分かるように、登録に至った品種名に接頭語「JP（日本の貢献を示す JAPAN の略称）」を付すことでコロンビア側研究機関と合意した。日本側が育成者権を放棄したことが、コロンビア及びラテンアメリカ地域における品種普及に効果的に働くことを期待する。

【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）】

14 種類の技術マニュアルを英語またはスペイン語で作成したことは、今後の研究継続及び技術普及に資する成果物として高く評価される。特に、技術マニュアルに記載された一部の技術項目は FEDEARROZ の AMTEC2.0 に組み込まれ、現地の稲作技術普及に供される予定であることから、実際の農業現場で活用されることが期待される。

【技術及び人的ネットワークの構築（相手国を含む）】

本プロジェクトでは、両国研究機関が密に連携して研究が推進された。また、コロンビアのカウンターパート機関の主力が FEDEARROZ であり、大規模農家もプロジェクトに直接参加したことから、現場で利用できる節水・節肥料技術の開発に対する要請が強く、研究開発段階から大規模農家の現場で新しい節水・節肥料技術が迅速に実践利用された。さらに、日本の先進稲作農家もプロジェクトに参画し、コロンビアの大規模農家と相互に両国の稲作現場を訪問して直接的な交流を図ったことは、研究機関同士の協力体制の枠を越えた幅広い人的ネットワークの構築に繋がった。以上のことから、技術及び人的ネットワークの構築は十分に達成されたと評価される。

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）】

コロンビアのイネ研究は政府機関でなく FEDEARROZ により全面的に実施されている。よって、CIAT の仲介により FEDEARROZ を主要なカウンターパート研究機関として位置づけ、さらに FLAR を加えることで研究実施はもとより研究成果の国内及び国外への普及を容易にした。また、日本とコロンビアの大規模稲作農家をそれぞれ研究者と位置づけて参加させたことも現場のニーズに則した研究実施や技術移転に効果的であったと考えられる。このように、本プロジェクトでは現場ニーズに素早く対応できる優れた研究推進体制が構築されたと評価される。

【プロジェクト管理及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）】

プロジェクトの前半では各課題担当者が担当課題を個別に推進する傾向が強く、相互の連携は十分とは言えなかった。中間評価を踏まえてプロジェクト目標を明確にし、目標達成に向けて各課題の役割と貢献のあり方について両国研究者間で共通認識化を図った結果、プロジェクト後半における両国間の連携強化に繋がったと考えられる。特に、プロジェクト後半において、交配により作出された後代系統を用いて、実際の土壌環境における節水性及び節肥料性の特性評価に重点を置いて研究を推進したことは、プロジェクトを管理する上で優れた判断であったと言える。一方、流域スケールでの水利用の評価管理や農業技術の水平伝達手法の開発において、プロジェクト期間内に現地実証が実施できるように研究進捗を管理できていれば、プロジェクト成果のより効果的な統合化が果たせたものと考えられる。

【成果の活用に向けた活動】

本プロジェクトでは、コロンビアの大規模農家が研究開始段階から参加し、また、カウンターパート機関として研究及び技術移転・普及を主要業務とする FEDEARROZ と FLAR が参画したことから、研究成果の活用に向けて十分な活動が実施されたと評価される。

【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）】

本プロジェクトでは、学術論文 17 報、学会発表 136 回（内招待講演 6 回）、ワークショップ・セミナー 129 回と十分な情報発信が行われた。特に、FLAR はイネ研究・技術移転機関であり、FLAR が実施した広報活動及び国際ワークショップ等を通して、本プロジェクトの成果はコロンビア国内外に広く発信された。よって、本プロジェクトにおける情報発信は適切に実施されたと評価される。

【人材、機材、予算の活用（効率、効果）】

現地調査やプロジェクト成果を通して、本プロジェクトでは、共同研究に必要な機材を供与し、よく使

用されていることが確認された。また、日本人研究者が CIAT に長期間滞在し、自らの研究を実施しながら、プロジェクト全体のコーディネートを行うことで、効率的な機材の設置・利用及び予算執行に繋がったと考えられる。また、FEDEARROZ が日本外務省の「コロンビア国草の根無償資金協力プロジェクト」に応募し、「プエルト・ロペス市カンントリーエレベーター精米機整備計画（平成 29 年度）」が採択された。草の根プロジェクトでは、大型精米機械が FEDEARROZ に導入されるとともに、SATREPS のプロジェクト参加者による技術研修等が行われ、本プロジェクト成果の社会実装に向けた取組みが精力的に行われた。以上のことから、人材、機材、予算は効率的かつ効果的に使用されたと評価される。

5. 今後の研究に向けての要改善点及び要望事項

以下について期待するとともに要望したい。

1. ピラミディングの対象とした7つの QTL（遺伝子）が、有望系統（BC3F5）に集積された組み合わせ及び各 QTL の機能とその組み合わせが形質に与える影響に関する研究は、イネ育種研究はもとより科学技術の進歩にとって貴重な知見となるため、研究を継続して解明していただきたい。
2. 圃場条件下で有望系統（BC3F5）の特性評価を行い、節水及び節肥料の効果を実証するとともに、収量及び食味との関係を解明していただきたい。
3. 開発した生育モデルによって最適灌漑法による水利用効率の向上や収量増加が推測されたとしているが、最適灌漑法の具合的な技術内容と技術適用のために必要となるコスト・労力等も考慮した上で、最適灌漑法の効果を圃場試験によって実証していただきたい。
4. 他国・他地域への普及の促進のためにも、様々な環境条件下で意思決定支援システムの現地実証を積み重ね、より確度の高い信頼できるシステムの確立を目指して改良を進めていただきたい。
5. 本プロジェクトで作成した技術マニュアルは AMTEC2.0 に取り込まれて普及されることとなるが、今後、AMTEC2.0 及び農家における利用状況を把握するとともに、効果的な利用となるよう、日本側研究者には継続的に支援していただきたい。

以上

