

地球規模課題対応国際協力プログラム (SATREPS) 研究課題別追跡調査報告書

I. 序文

SATREPS 追跡評価実施要領 (<https://www.jst.go.jp/global/kadai/hyouka/pdf/follow-up-evaluation-procedure.pdf>) に基づき、追跡調査を実施した。具体的には、プロジェクト終了後の研究課題の国際共同研究の成果の発展状況や活用状況を明らかにするために、対象課題に関連した文献およびインターネットによる調査(関連論文、特許、受賞、外部資金等)、対象課題の研究者に対する質問票による基礎データ調査を実施した。さらにそれらの結果を踏まえて研究者インタビュー調査を行い、得られた情報を総合的に整理しまとめた¹。

今般の研究課題別追跡調査においては、以下の方にご協力頂いた。御礼申し上げます。

山内 章 (名古屋大学 アジアサテライトキャンパス学院 学院長・特任教授)
榎原 大悟 (名古屋大学 農学国際教育研究センター 准教授)

II. プロジェクト基本情報

1. 研究課題名

テーラーメイド育種と栽培技術開発のための稲作研究プロジェクト

2. 日本側研究代表者名

山内 章 (プロジェクト終了時 名古屋大学 大学院生命農学研究科 教授)
(現 名古屋大学 アジアサテライトキャンパス学院 学院長・特任教授)

3. 相手国(ケニア共和国)側研究代表者名

Eliud K. Kireger (エリウド キレガー)
(ケニア農畜産業研究機構 (KALRO) 機構長)

4. 国際共同研究期間

2013年5月～2018年5月

5. 研究概要

(1) 目的

ケニアは近年コメの増産に取り組んでいるが、同国の稲作は、早ばつ、高地で起こる冷害、土壌の低肥沃度、塩害、いもち病などの生物的・非生物的ストレスによりその生産性が影響

¹ 2023年11月～2024年3月に各種調査および報告書のとりまとめを実施した。

を受けている。本プロジェクトでは、ケニアにおける稲作の安定化と生産性の向上を目指し、ケニア向けイネ品種の育成と栽培技術開発に必要なイネ研究基盤を構築する。

日本側は、名古屋大学を代表機関として、岡山大学、島根大学、山形大学が主たる共同研究機関として参加し、ケニア側研究機関の KALRO と連携してプロジェクトを推進する。具体的には、KALRO ムエア支所及び付設のキロゴ農場にイネ育種及び品種特性評価等を実施可能な研究施設・試験圃場を整備し、ケニアにおける栽培対象地域の環境条件を考慮した上、以下の5つの研究題目を実施することにより、有用な量的形質遺伝子座 (QTL) をテーラーメイドで導入したケニア向けイネ育種素材の作出、ならびに品種の能力を十分に発現させる栽培技術の開発を目指す。

(2) 各グループの研究題目と実施体制

研究題目 1. ケニアにおけるイネ育種および品種評価システムの開発
(名古屋大学・岡山大学グループ)

研究題目 2. 既存品種の特性評価と有用農業形質の特定
(名古屋大学・岡山大学グループ)

研究題目 3. 有用 QTL を導入したケニア向け育種素材の開発
(名古屋大学・岡山大学グループ)

研究題目 4. 栽培環境、栽培技術、生育状況の実態解明と技術改善の検討
(島根大学・山形大学・名古屋大学グループ)

研究題目 5. 遺伝子型 (G) × 栽培環境 (E) × 栽培管理 (M) の相互作用の解析
(名古屋大学・岡山大学・島根大学・山形大学グループ)

(3) SATREPS 期間中の各グループの成果

研究題目 1: ケニアにおけるイネ育種および品種評価システムの開発

- ・ 本プロジェクトでは、研究題目 1 を中心とした両国研究者の協働により、KALRO ムエア支所及びキロゴ農場に、イネの育種と栽培技術開発のための研究基盤を構築した。
- ・ 具体的には、化学分析や遺伝子解析を実施できる分子生物学実験棟、イネ交配施設、並びに早ばつ、冷害、土壌の低肥沃度 (窒素、リン酸)、塩害、いもち病の各種ストレス条件、さらにはケニアの 4 種類の土壌 (砂質粘土、火山灰土、赤色土、黒綿土) をはじめ、現地の様々な栽培環境及び生産性の阻害要因を再現できる特性評価試験圃場を整備した。
- ・ 研究題目 1 では、この研究基盤を利用して合計約 1000 品種/系統を各種ストレス耐性試験に供し、80 品種以上の品種特性評価用基準品種を選定し、育種・特性評価マニュアルを作成した。

研究題目 2: 既存品種の特性評価と有用農業形質の特定

- ・ 研究題目 2 では、各種ストレスに対する耐性及び適応性が高い品種として、耐旱性

(4 品種)、耐冷性 (16 品種)、耐塩性 (4 品種)、低肥土壌適応性 (9 品種)、いもち病抵抗性 (18 品種) の選抜に成功した。さらに、DNA マーカー検出技術 (Genotyping by Sequencing : GBS) 等を用いて、耐旱性、低肥土壌適応性をはじめとする有用な農業形質に関する合計 27 個の QTL の検出に成功した。

研究題目 3 : 有用 QTL を導入したケニア向け育種素材の開発

- ・ 研究題目 3 では、既存品種を用いて有用な QTL の導入効果を評価し、籾数増加 (12 系統)、いもち病抵抗性 (3 系統)、低肥土壌適応性 (4 系統以上)、耐冷性 (1 系統)、冷害回避性 (1 系統)、乾燥回避性 (1 系統) が期待される多数の中間母本の作出に成功した。また、これら中間母本から品種開発、農家普及までのプロセスをまとめた育種計画を作成した。

研究題目 4 : 栽培環境、栽培技術、生育状況の実態解明と技術改善の検討

- ・ 研究題目 4 では、ムエア灌漑地区及び周辺の水田圃場で灌漑水の供給状況、水質調査、土壌分析、収量調査を実施し、下流域で塩類集積に起因するカリウム欠乏により収量低下が生じていることを見出した。
- ・ また、作付時期や窒素施肥量の変更、耐冷性品種、代かき、間断灌漑、エアロビック・ライス法などの導入がイネの収量に与える影響を調査し、現地で栽培技術の改善に資する有用な知見を得た。

研究題目 5 : 遺伝子型 (G) ×栽培環境 (E) ×栽培管理 (M) の相互作用の解析

- ・ 研究題目 5 では、ケニア在来品種及び中間母本において、リン酸や窒素の施肥量調節により根の可塑性が誘起され、地上部乾物量の増加につながることを見出した。また、傾斜圃場における水分欠乏の回避と根の可塑性の関係、異なる水分供給能や硬度等の土壌条件下における表現型、土壌肥沃度が籾数増加の QTL に与える影響等の解析を進め、「イネの遺伝子型 (G) ×栽培環境 (E) ×栽培管理 (M) の相互作用の解析」に係る貴重なデータを蓄積した。さらに、これら研究題目 4、5 で得られた成果をもとに栽培技術改善に関する実証マニュアルを作成した。

III. 追跡調査結果まとめ

1. 研究の継続・発展について

(1) 以下に採択され、現在も相手国および日本国内で共同研究ならびに社会実装活動を継続している。

- ー JSPS 研究拠点形成事業 (B) アジア・アフリカ学術基盤形成型 (2018 年 4 月～2022 年 3 月 (新型コロナのため 1 年延長)、代表 : 榎原大悟)
- ー 科研費 (基盤 B) (2018 年 4 月～2022 年 3 月 (新型コロナのため 1 年延長)、代表 : 榎原大悟)
- ー 科研費 (若手) (2018 年 4 月～2022 年 3 月、代表 : 菊田真由実)

- － 名大一理研科学技術ハブ（2018年4月～2022年6月、ケニアとの共同研究担当課題代表：榎原大悟）
- － 科研費国際共同研究加速基金（国際共同研究強化（B））（2019年10月～2025年3月（新型コロナのため延長予定）、代表：榎原大悟）
- － 日本学術振興会二国間交流事業共同研究（ケニアとの共同研究）（2020年4月～2023年3月（新型コロナのため1年延長）、代表：菊田真由実）
- － JST 持続可能開発目標達成支援事業（aXis）（2020年4月～2022年3月（新型コロナのため1年延長）、代表：榎原大悟）
- － 科研費（基盤B）（2022年4月～2026年3月（予定）、代表：土井一行）
- － 科研費（若手）（2022年4月～2026年3月（予定）、代表：菊田真由実）
- － 日本学術振興会二国間交流事業（オープンパートナーシップ共同研究）（2023年04月～2025年03月（予定）、代表：榎原大悟）
- － 国立遺伝学研究所共同研究「NIG-JOINT」（2023年4月～2025年3月（予定）、代表：榎原大悟）
- － ビル&メリンダ・ゲイツ財団（2023年8月～2027年5月（予定）、ケニアとの共同研究担当課題代表：榎原大悟）

(2) 持続可能開発目標達成支援事業(aXis)「ケニアの稲作生産性向上に向けた改良イネ品種の導入と栽培技術の高度化」（2020年4月～2022年3月）

- － 相手国側と連携し、イネ2系統の National Performance Trials (NPT) 実証試験を実施、現在、新品種登録が目前までできているほか、モデルファームを構築しイネ種子の生産量が何十倍に拡大するなどケニアにおける稲作の継続的な発展に大きく寄与、高く評価できる具体的成果としている。

2. **地球規模課題の解決に向けた科学技術の進展への貢献について**

- － 国際学会での発表：成果を著名な国際学会においてケニア側研究者と連名で8回発表した。
- － 論文投稿：国際誌にケニア側研究者との国際共著論文を23報発表した。
- － 品種登録：SATREPSプロジェクトで作成した「育種計画」に従って品種開発を継続し、有望系統の特性評価および多地点栽培試験を実施した。2023年12月に選抜した2系統の National Performance Trials (NPT) が完了し、2024年初頭に品種登録される見込みとなった。さらに、別の2系統についても2024年度よりNPTを開始する予定である。
- － ケニアにおけるイネの耐冷性評価システムを確立し、ケニアの主力水稻品種である Basmati 370 の耐冷性を強化した系統を作出し、品種登録の手続きを進めている。
- － 耐冷性を強化した新品種を利用することで二期作を安定化できることを実証した。このことにより、新品種がリリースされた後、プロジェクト対象地域であるムエア灌漑地

区における二期作普及の可能性が向上した。

- ー ケニアにおけるいもち病菌レースの病原性およびケニア栽培イネ品種のいもち病抵抗性を明らかにしたことにより、ケニア向けいもち病抵抗性品種の開発が大きく進展した。ケニア向けのいもち病抵抗性遺伝子導入系統を作出し、品種登録に向けて準備中である。また、アフリカ野生イネ *O. longistaminata* の染色体断片置換系統群を利用したケニア向けいもち病抵抗性イネ品種の開発も進行中である。
- ー 水ストレス条件下で側根を発達させる能力の高い陸稲品種がその能力を発現させ、乾物生産を維持するためには適切な窒素施肥管理が必要であることを環境制御下の栽培実験で明らかにした。現在、このことを野外の圃場条件下で実証するための栽培試験に取り組んでいる。
- ー 水分条件が変化する土壌中の塩分動態をセンサーによりモニタリングするシステムを開発した。現在、ケニアの塩害圃場における栽培試験において活用すべく準備中である。
- ー 低肥条件下における *O. longistaminata* 染色体断片置換系統群の乾物生産特性には変異が認められ、極めて高い乾物生産性を有する系統が同定された。現在、低肥条件下で高い乾物生産が維持できる生理的・形態的要因の解析を進めている。
- ー ケニアの栽培環境下では、イネ収量は籾数増加遺伝子の導入により向上できることを明らかにした。籾数増加に伴う登熟歩合低下を抑制できれば、さらに大きく増収できると予想される。現在、登熟歩合低下を引き起こす要因の解析、非構造的炭水化物のシュートから穂への転流に関連する QTL の同定などを進め、さらなる品種改良に挑戦している。

3. 地球規模課題の解決、及び社会実装に向けての発展について

- ー SATREPS プロジェクトおよびその後の共同研究により開発した有望系統がケニアの国家品種としてリリースされる見込みとなっており、ケニア政府の「National Rice Development Strategy」や CARD フェーズ 2 の目標達成に貢献する成果としている。
- ー 地域の農家からはプロジェクトで開発した新品種の種子販売時期に関する問い合わせが寄せられており、リリース後には地域の稲作農家に普及することが期待されている。
- ー 共同研究機関であるケニア農畜産業研究機構ムエア支所 (Kenya Agricultural and Livestock Research Organization Mwea Centre) において、イネ種子生産システムを構築した。これにより、開発した新品種の種子を維持、生産、販売し、持続的に活動できる体制が整備された。
- ー 耐冷性を強化した新品種を利用することで二期作を安定化できることを実証した。これにより、新品種がリリースされた後、プロジェクト対象地域であるムエア灌漑地区における二期作普及の可能性が向上した。
- ー SATREPS プロジェクトチームでは、アフリカで一般的な初期世代での系統選抜は行わず、集団育種法とゲノミックセレクションの導入による新品種育成手法を採用すること

を提唱してきた。JICA 集団研修などにおいても、この手法を紹介・推奨し、普及を図っている。

- － プロジェクトの拠点として整備した KALRO ムエア支所では、現在、元カウンターパートが複数のアフリカ人学生を受け入れ研究指導を行うなど、地域人材のキャパシティ・ディベロップメントに貢献している。
- － JICA より、2024 年度に開始予定のイネ 2 系統の NPT に対する支援の打診があり、現在、協議を進めている。

4. 日本と相手国の人材育成や開発途上国の自立的な研究開発能力の向上について

- － SATREPS に参加し博士学位を取得した日本人研究者が広島大学の助教として採用され、自身で研究資金を獲得しケニアとの国際共同研究を継続している。
- － SATREPS に参加した日本人大学院生が、博士学位取得後に名古屋大学農学国際教育研究センターの博士研究員としてケニアに派遣され国際共同研究に取り組んでいる。
- － SATREPS に文科省国費奨学生として参加したケニア人留学生 2 名（名古屋大学および岡山大学で博士学位取得）が、帰国後に KALRO ムエア支所の正規研究員として採用され、日本側との国際共同研究の主要なカウンターパートとして活躍している。うち、1 名は 2023 年に国際イネ研究所（International Rice Research Institute: IRRI）ケニア支所に転職したが、そこでも日本側との国際共同研究を継続している。
- － SATREPS に参加したケニア人留学生（島根大学で博士学位取得）は、帰国後、KALRO カカメガ支所の副支所長に抜擢され、その後 KALRO キボス支所の支所長を経て、現在は国際機関である International Fertilizer Development Center (IFDC) のケニア支所に出向中である。
- － SATREPS に参加し、名古屋大学において博士学位を取得した KALRO のケニア人研究者が、帰国後、世界的に有名な Salk Institute for Biological Studies（ソーク研究所、アメリカ合衆国）のポスドクとして採用された。
- － 名古屋大学-KALRO-国際イネ研究所（ケニア支所）の連携が強化されたことから、元留学生の紹介により国際イネ研究所に所属し KALRO ムエア支所で勤務していた若手研究員が名古屋大学大学院生命農学研究科博士前期課程に留学中である。
- － SATREPS で育った KALRO の元留学生が中心となり、プロジェクトで供与した機材や整備された研究環境を活用し、「水田からの温室効果ガス発生と栽培管理との関係」や「干ばつ条件下における根系形質の異なる陸稲品種の収量に及ぼす窒素施肥の影響」などの独自の研究テーマに取り組んでいる。
- － プロジェクトにより KALRO ムエア支所のイネ研究環境が整備されたことから、国際イネ研究所、国際家畜研究所（International Livestock Research Institute: ILRI）等の国際機関が KALRO ムエア支所との共同研究を開始するなど国際共同研究が活発化し、本 SATREPS で目標にしていた東アフリカにおけるイネ研究国際ネットワークの拠点確立

が実現した。

- ー SATREPS における研究者としての成果・業績は、ケニアほかポストを得られた国や機関で高く評価されている。第一線の研究者として外から勧誘、引き抜かれることもある。
- ー 研究者以外では、農業機械のオペレータや精米のマネージャなどが SATREPS 後にスキルを身につけている。種子生産については、KALRO のほか企業・組合などのシードマーチャントとも連携するなど、現地における技術普及・品種導入など社会実装に関わる人材育成や組織体制の構築等で成果がみられる。KALRO のスタッフは転出した後でもネットワークづくりをするなど面的に展開しているが、人材の層を厚くするのはこれからである。

5. 日本と開発途上国との国際科学技術協力の強化、科学技術外交への貢献について

- ー ケニアでのプロジェクトの取り組みが小学生向けの教育誌（進研ゼミ、チャレンジ 4 年生向け教材）で紹介された。
- ー ケニアでのプロジェクトの取り組みが、中日新聞に取り上げられた。
- ー 本 SATREPS の活動を含む KALRO ムエア支所におけるイネの品種改良が相手国の新聞に 3 回取り上げられた。

6. 終了時評価における要望事項に対する現状報告（要望事項を下線で表示）

要望事項と現状：

(1) 今後、KALRO ムエアに整備したイネ育種の研究基盤、開発した育種素材、育成した研究人材を活用して研究活動を継続するとともに、ケニアにおけるイネ育種の優先順位を精緻に把握、判断した上で実用品種及び栽培管理技術の開発を進めていただきたい。

- ー 本 SATREPS 終了後も様々な外部資金を獲得し、プロジェクトで育成したケニア側人材との協力の下、研究活動を継続してきた。
- ー 現在、プロジェクトで開発した 2 系統（耐冷性を強化したバスマティおよび収量性を向上させた陸稲 NERICA）について National Performance Trial (NPT) を実施し、審査を受けている段階である。承認が得られれば、2024 年初頭に新品種として登録される見込みである。
- ー 2024 年度からは、別の 2 系統（いもち病抵抗性を強化したバスマティおよび収量性を向上させたバスマティ）についても、NPT を開始する予定である。
- ー また、熱帯高地における耐冷性バスマティを利用した二期作についても農家圃場での実証が終わっており、耐冷性バスマティが新品種としてリリースされれば、品種と併せて普及可能な状態である。

(2) 本プロジェクトの成果展開を基に、大規模な灌漑インフラ整備を伴わない育種によるコメ増産が可能であることを示すことにより、同国政府からより高いレベルの政策支援を引き

出していただきたい。

- ー ケニア農業省の National Rice Development Strategy (NRDS) -2 (2019-2030)には、品種改良および種子生産システムの構築の重要性が明記されている。しかし、これらを実現するための予算措置はなく、外部資金に頼らざるを得ないのが現状である。
- ー 本 SATREPS の研究成果による社会実装をケニア側のみで実現するのは困難であったため、名古屋大学と KALRO は JST-aXis (A タイプ) に申請した。この事業に採択されたことで、社会実装に必要な農家圃場における実証試験、品種登録に向けた多地点栽培試験、種子生産システムの構築などを進めることができた。
- ー ケニア政府からの直接的な支援を得ることは依然として困難な状況であるため、今後もケニア側と日本側が協力し、外部資金を活用して、社会実装を進める予定である。

(3) 将来、ケニアにおいてイネ育種の成功例を示し、また同時に国際農業研究機関や国際協力事業と連携を深めることにより、ケニアと同様の自然環境・社会経済環境をもつアフリカ諸国への本プロジェクトの成果を普及していただきたい。

- ー 本 SATREPS で整備したイネ研究施設および育成した人材には、国際イネ研究所や国際家畜研究所などの国際農業研究機関からも多くの関心が寄せられ、現在、実際に共同研究を実施している。
- ー また、名古屋大学および KALRO は、ドイツのハインリッヒ・ハイネ大学デュッセルドルフの Frommer 教授を代表とする国際コンソーシアムがゲイツ財団の資金により実施している「Health Crop Project」に参加し、KALRO ムエア支所で実証試験を実施している。
- ー 2018年4月～2022年3月に実施した JSPS 研究拠点形成事業 (B) は、ケニアに加えて、タンザニア、ウガンダおよびブルンジを対象として実施した。ケニアで品種改良と多地点栽培試験を実施するとともに、ケニアで確立した集団育種法とゲノミックセレクションの導入による新品種育成手法をセミナーを通してタンザニア、ウガンダ、ブルンジを含む東南部アフリカの国々の育種家に紹介した。ただし、コロナ禍が発生したため、ケニア以外の国での多地点栽培試験を実施することはできなかった。
- ー また、JICA より、2024 年度に開始予定のイネ 2 系統の NPT に対する支援の打診があり、現在、協議を進めている。

(4) プロジェクトが整備した長期連用施肥試験圃場はアフリカ地域において大変貴重な施設であり、今後も長期に亘り試験を継続していただきたい。上記の点も含め、KALRO ムエアが本プロジェクト活動を継続することにより、アフリカのイネ育種研究の中核拠点として発展することを期待する。

- ー 長期連用施肥試験圃場を含む本 SATREPS で整備したイネ研究施設は、現在でも名古屋大学と KALRO との共同研究に使用されている。
- ー また、JST-aXis により、農業機械類および精米施設が整備されるなど、イネ研究拠点

はさらなる発展を遂げており、国際研究機関を含む多様なパートナーとの共同研究が活発化している。

- 一 今後は、如何にして名古屋大学の存在感を維持、強化するかが鍵である。そのためには、不断に研究資金を投入し研究の活性を維持することはもとより、先述の通り、ケニア政府、国際機関、あるいは NGO 等との連携をさらに進化させる必要がある。
- 一 研究活動が低下すれば、他国の研究チームによって、これまで確立してきた研究員を含む研究施設を使った研究の主導権を握られる可能性もある。

(5) GxExM はもちろん、GxE、GxM、ExM の 2 要素の相互作用においても、今後より一層解析を進めることにより、新品種の育成に限らず現行品種の利用も含めて、ケニアの環境条件下でコメ増産に繋がる栽培管理技術を開発していただきたい。

- 一 現在、我々が KALRO ムエア支所で実施している研究のほとんどは、G×E、G×M および G×E×M の解析に主眼を置いたものであり、開発した系統および既存品種を用いた圃場レベルでの栽培試験である。
- 一 これらの栽培試験の実施には多くの手間と時間がかかり、複数年に亘る反復データが必要であるため、論文として発表するまでには相応の時間を要するが、今後、順次発表していく予定である。

7. プロジェクトの上位目標を踏まえた現状報告（上位目標を下線で表示）

上位目標「育成品種と栽培技術を活用した稲作生産性向上方策が圃場レベルで実証される」

- 一 名古屋大学（および名古屋大学から移籍した研究者のいる広島大学）は、本 SATREPS による研究成果の社会実装に向けて、プロジェクト終了後も KALRO との共同研究を継続している。
- 一 これまでに、本プロジェクトで育成した耐冷性 Basmati 370（耐冷性遺伝子 *Ctb1* を導入）を利用することで、標高が高く冷害が問題となっているムエア灌漑地区においても安定的に二期作ができることを実証した。
- 一 また、籾数増加遺伝子 (*Gn1a* および *WFP*) を NERICA 1 および Basmati 370 に導入した系統は、ケニアの栽培環境下で増収することを実証した。複数のいもち病圃場抵抗性遺伝子 (*pi21*、*pb1* および *pi39*) を導入した Basmati 370 はいもち病菌レースに関わらず安定した抵抗性を獲得しており、農薬なしで栽培可能である。
- 一 これまでに開発したイネ系統のうち 2 系統（籾数増加 NERICA および耐冷性バスマティ）については、2023 年 12 月に NPT を完了しており、承認が得られれば新品種としてケニアの農家に配布できる。
- 一 また、籾数増加バスマティおよびいもち病抵抗性バスマティの 2 系統については、2024 年度に NPT を開始する予定である。
- 一 以上のように、上位目標はすでに達成されており、現在は社会実装を本格的に推進す

る段階である。

以上