

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

生物遺伝資源と分子遺伝学を利用した養蚕研究基盤構築 (2016年10月～2022年3月)

2. 研究代表者

2.1 日本側研究代表者：亀田 恒徳 (農業・食品産業技術総合研究機構 生物機能利用研究部門
絹糸昆虫高度利用研究領域 新素材開発グループ グループ長)

2.2 相手側研究代表者：Muo Kasina (ケニア農業・畜産研究機構 (KALRO) 国立蚕糸研究センター
(NSRC) センター長) (2016年10月～2021年10月)
Noel Makete (ケニア農業・畜産研究機構 (KALRO) 国立蚕糸研究センター
(NSRC) センター長) (2021年11月～2022年3月)

3. 研究概要

本研究は、日本の遺伝資源管理手法をケニア国立蚕糸研究センター (NSRC) に導入し、ケニア国内に存在するクワ遺伝資源の収集および特性情報の集積、並びにそれらを系統的に整理し、管理することができるシステムの確立を目指す。また、NSRC への技術移転を通して、持続的な養蚕業発展のための研究基盤を構築し、最先端の分子遺伝学的手法を利用したクワおよびカイコの育種を実現することで、ケニアにおいて安定した繭生産と高品質生糸の生産を可能とする。さらに、ケニア在来の野蚕遺伝資源の探索を行い、野蚕繭糸を用いた新素材開発の可能性を探る。これらの実施により、ケニアの養蚕業の振興に貢献し、将来的な農家の所得向上に寄与することを上位目標とする。

本研究は以下の研究題目により構成される。

- (1) クワのジーンバンク構築
- (2) クワの品種育成
- (3) カイコの品種育成
- (4) 野蚕遺伝資源の特性解明

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、成果が期待できる。)

本プロジェクトは、①ケニアに存在するクワ遺伝資源の探索・収集、保存・特性評価およびデータベース化、②主要な養蚕候補地における適応性の高いクワ品種の選抜・育種、③生産性と強健性を備えもつカイコ品種の作出、④主要な在来野蚕の特性、特に野蚕シルクの特性解明を研究題目とし、共同研究を通じて相手側研究機関である NSRC に養蚕研究の基盤を確立することを目指した。

プロジェクト期間中にクワ遺伝資源のジーンバンクと遺伝資源を保存管理する圃場を整備したのに加え、カイコの飼育実験棟と生糸の製糸実験棟を建設し、必要な機材も導入した。また、それらと並行して、クワ育種、カイコ育種、野蚕シルク研究の各分野をリードできるケニア人若手研究者を育成した。クワ育種、カイコ育種ともにケニアにおいて実用化を図るには相当の年月を要することから、本プロジェクト内の達成目標は、ケニアにおける研究開発基盤の整備とした。この点において、本プロジェクトは所期の計画を着実に遂行し、4つの研究題目のいずれにおいても十分な成果を上げたと評価できる。一方で、クワの系統解析や野蚕シルクの特性解明など一部未達成の項目があるが、その理由は明確に示されており、相手国側研究者がプロジェクト成果を引き継ぎ自立的に実行するための、5カ年の研究計画も立案されている。よって、全体としては所期の計画と同等の取り組みが行われたと評価できる。

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】

アフリカ地域の産業振興の一つとして期待される養蚕業の発展に必要な技術の向上という課題に対し、技術の提供元となる研究基盤がケニアに構築された。具体的には、NSRCにおいて在来クワ遺伝資源の探索・収集および特性評価・保存、育種、栽培技術を担う体制が確立され、また、ケニアの主要な養蚕地帯に適応性の高いクワ品種の育種および生産性と強健性に優れた優良カイコの育種が続けられている。加えて、ケニア在来の野蚕収集とその特性評価に資する分子遺伝学的研究手法の導入が成し遂げられ、シルクの素材解析と成形加工を可能とする研究施設が整備された。さらに、これらの成果に基づき、ケニアにおける蚕糸研究組織の拡充を図るべく、NSRCを研究センター（Research Centre）から研究所（Institute）へ組織的に格上げすることも検討されている。以上のことから、本プロジェクトが養蚕業発展の基礎となる研究開発基盤の形成に大きく寄与したことは確実であり、課題解決に与える科学的・技術的インパクトは高いと言える。

【国際社会における認知、活用の見通し】

NSRCに新たにクワ遺伝資源圃場を設置し、クワのジーンバンクを整備した。保存するクワはすべて同定し、1次特性（品種や系統の特定に必要な形態的特性）と2次特性（生理・生態的形質、病害虫抵抗性や特殊環境への耐性）をデータベースで管理しており、条件が整えば、クワ穂木および特性データの提供はいつでも可能な体制となっている。また、ケニア国内から新たに98個体のクワを収集し、系統化した94個体のうち、形態的特徴から13個体が新規遺伝資源と判断されたことに加え、アフリカグワ（*Morus mesozygia*）についてはカカメガ地域に自生していることを確認し、実生35個体を採集した。さらに日本では農研機構が有するクワ54品種の全ゲノム解析を行い、従来よりも高精度な系統解析を実現した。これにより、アフリカ原産とされる'Enbu'およびインドグワ、シャムグワの計9品種を判別するためのSNPマーカーを作出した。プロジェクト期間中に達成されたこれらの成果を、今後はNSRCが引き継ぎ、保存するクワ

遺伝資源の全ゲノム解析による分類を独力で実施する予定である。その結果がケニアの生物資源情報として公表されることになれば、将来的には国際社会における認知、活用も期待されるところであるが、現時点では見通しは不透明である。

【国内外の類似研究と比較したレベルや重要度】

クワの系統分化やカイコの系統分化、耐病性遺伝子などの基礎研究は、関連する研究分野の知見を充実させるものとして評価に値する。日本の養蚕研究はかつて養蚕業が国内主要産業の一つであった時代の所産に負うところが大きく、本プロジェクトの実施により技術継承と研究知見の蓄積が国内外で進められたことは重要な成果である。

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】

養蚕を産業化したいというケニア政府の強い要望を受けて始まったプロジェクトであり、研究開発上のニーズの充足に対しては、課題の認識、収集対象の探索・同定・分析、必要な機器と運用のノウハウ、また、人材育成の重要性の認識の面で大きなインパクトを与えたと言える。

本プロジェクトでは養蚕業振興の中核となる研究基盤を NSRC に構築した。クワの育種に関しては、遺伝資源の特性評価、育種目標の設定、変異の作出技術の改良など、具体的な育種の進め方・技術についての体系化と相手国研究者への技術移転を行った。カイコの病害抵抗性の比較においては、日本から導入した‘錦秋鐘和’が、国際昆虫生理生態学センター（International Center of Insect Physiology and Ecology: ICIPE）の保存品種である‘ICIPE I’および‘ICIPE II’よりも強いことが確認された。また、‘錦秋鐘和’の後代である‘KSK’および‘朝日東海’の後代である‘ATK’と、‘ICIPE I’および‘ICIPE II’の間での交雑実験から、生産性や強健性における顕著な雑種強勢が認められず、いずれの系統も遺伝的に近縁であることが判明した。この結果に基づき、生産性、強健性に優れている KSK と ATK を選抜維持して農家等に配布することとした。野蚕に関しては、ケニア在来野蚕ゴノメタの半野外飼育を開始した。研究環境の整備については、飼育実験棟と製糸実験棟が新たに建設され、シルク素材研究のための生体分子研究所の設立にも貢献した。これらの成果により相手国ニーズは相当程度充足されたと評価する。

【課題解決、社会実装の見通し】

NSRC の働きかけで、農民（養蚕共同体）による養蚕がケニアで既に始まっている。プロジェクトで育成したクワとカイコを 6 か所の農村に配布し、技術指導を行っており、養蚕実施地域は拡大しつつある。また、ケニアのアパレル企業や生糸企業への技術支援などを実施した他、JICA の民間連携事業（中小企業・SDGs ビジネス支援事業）において、プロジェクト成果が高品質ケニアシルクの量産につながるよう準備を進めている。しかしながら、本プロジェクトが目指したクワの品種開発や健全なカイコの飼育技術、良質な生糸生産のための製糸技術の習熟など、NSRC が中核研究・技術開発拠点として果たすべき役割の多くは緒に就いたところであり、社会実装の

実現にはまだ時間がかかると言わざるを得ない。但し、社会実装の方向性は確立されているので、継続して推進することが求められる。

【継続的發展の見通し（人材育成、組織、機材の整備等）】

本プロジェクトの実施を通して、クワ、カイコ、野蚕・シルク研究のそれぞれの分野を牽引する若手研究者や技術者が育成された。さらに、KALRO 傘下の他の研究所に所属していたカイコ研究者の異動が認められ NSRC に配属されたことなどから、組織としても養蚕研究に注力していることがみてとれる。また、研究の継続的な発展には、製糸・飼育実験棟の施設や機材の維持管理が欠かせないが、機械類の部品交換などの保守管理は現スタッフが十分に対応できるとのことである。このような現状に鑑みれば継続的發展の見通しは一定程度あると言えるが、NSRC における人材育成に関しては、今後も日本側研究者による支援が必要と思われる。

なお、PCR や電気泳動などの実験に、別の SATREPS プロジェクトで整備された KALRO ムエアの研究所にある機材を活用することが、両研究所および担当研究者間で協議され、了解を得たとのことであるが、実施はこれからである。日本からの供与機材を有効活用すべく当該研究施設の利用について、引き続き KALRO 内での調整を促す必要がある。

【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）】

NSRC のジーンバンクにあるクワ遺伝資源に対するコルヒチン処理によって 6 つの倍数体個体が得られた。これらの倍数体個体は交雑育種における交配母本として利用できる。また、4 倍体のクワは一般に大きな果実を着生することから、果実用品種の育成に利用することが期待される有用な系統であると言える。

研究開発の継続にあたって最も懸念されるのは研究所の人員不足であるが、現在、KALRO の養蜂研究部門 (Apiculture Research Institute) との統合により、NSRC を研究センターから研究所へ格上げして組織強化を図る計画が検討されている。養蚕業に対するケニア政府の関心の高さを反映するような動向であり、背景には本プロジェクトの貢献があったと推察される。これに関連して、KALRO を所管する農業畜産漁業省は、ケニア政府の National Policy for Development of Sericulture の策定を目指している。この政策案の作成にあたっては初代プロジェクトマネージャーである NSRC 前所長が KALRO に対し熱心な働きかけを行うなど大いに貢献した。本政策が正式に制定されれば、成果の社会実装につながる活動がケニアにおいて持続的に発展していく見込みは高いと思われる。

4-3. 付随的成果

【日本政府、社会、産業への貢献】

本プロジェクトは、蚕糸・昆虫研究をはじめとする日本のこれまでの研究基盤ならびに研究蓄積を一層発展させることに貢献した。また、ケニアの近代養蚕は 1970 年代に実施された日本の支援が起源であると紹介されており、本プロジェクトを契機にケニアで改めて養蚕が産業化され

ることになれば、わが国の養蚕技術とその指導力に対する評価が高まり、日本のプレゼンス向上に貢献すると予想される。さらに、今後、ケニアで高品質のシルクや野蚕シルクの新素材が生産されれば、わが国の繊維や高分子製品を扱う民間セクターにも裨益することが期待される。

【科学技術の発展】

アフリカ原産とされるクワ品種‘Enbu’とインド産品種との近縁性の推定、および‘Enbu’の全塩基配列と既報の *M. notabilis* 配列との比較により、‘Enbu’に特異的な遺伝子があることが確認されたことは基礎研究の重要な成果である。また、クワの形態的特性の詳細観察結果から、農研機構のジーンバンク所有の‘Enbu’はNSRCで保存されている‘Enbu’ではなく、‘Thika’である可能性が示唆された。同様に、ケニアの‘Unknown-2’は農研機構にあるインドの育成品種‘S-34’と形態的に酷似しており、‘Ichinose’は日本の‘一ノ瀬’と非休眠性のクワとの交雑実生由来の別の品種であると推察される一方で、‘Kikuha’は日本の‘菊葉’と形態的にまったく異なり、‘Kikuha’と同一形態と思われる個体がケニア国内で複数収集されたことから、過去にケニアに持ち込まれた別の在来品種と入れ替わったものと推察された。このように、従来想定と異なる品種の由来について生物資源特性を確認しデータベースに記録することは、科学技術の発展にとって重要である。

【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）】

日本では蚕糸農家数が減少する中、若手のシルク研究者にとって、本プロジェクトは養蚕業の現場を経験できる数少ない機会であった。コロナ禍によりプロジェクトの終盤に日本人研究者が現地へ行けず、有益な機会を失ったことは残念である。本プロジェクトで培われた人的ネットワークを活用し、今後もケニアを中心にアフリカ地域のシルク研究者との連携促進を期待する。

【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、データ入手手法】

ケニアの野蚕の収集においては、生物多様性条約（CBD）や遺伝資源へのアクセスと利益配分（ABS）のルールに準じてMAT及びPIC取得の準備を進めるため、ケニア政府の担当部局の指導を受けながら、遺伝資源が存在する各コミュニティで収集への協力を求める説明会を開き住民の理解を得るところまで進めた。ここに至るまでプロジェクト関係者は相当な時間を費やしてケニア側と協議を重ねたが、合意までにさらに時間を要することが予想されたため、プロジェクト開始から3年目の時点で、ケニアの野蚕遺伝資源を日本に導入して研究するという当初の計画を変更し、ケニア人研究者によるケニア国内における野蚕シルクの特性評価などの研究実施を、日本人研究者が間接的に支援する方針に切り替えた。プロジェクトの後半ではケニア人研究者がケニアの野蚕であるゴノメタを収集し、日本人研究者の助言・指導のもとにNSRCで半野外飼育法による飼育を継続しているが、研究の大幅な遅れは否めない。CBD時代の遺伝資源対応については、プロジェクト開始前の早い段階で相手国政府との協議を開始すべきとの教訓を得た。

【技術および人的ネットワークの構築（相手国を含む）】

コロナ禍の影響を受ける前は、日本人研究者が中長期にわたりケニアに滞在して現地のスタッフに直接指導を行ったことに加えて、プロジェクトの初年度と2年度目に集中して、NSRC のスタッフをグループ単位で本邦に招聘し、クワとカイコそれぞれについて技術研修を行った。これらの実施により比較的早い段階から技術および人的ネットワークが培われていたことで、プロジェクト後半になってコロナ禍により往来が制限された際も、遠隔でのコミュニケーションによる研究指導や問題への対処指示などが滞りなく行われた。

また、日本国内の大学との連携により留学生を受け入れ、クワ遺伝資源の遺伝子レベルでの解析と野蚕シルクの特性評価の各分野でそれぞれ博士学位取得者を、また野蚕シルクの成形加工研究分野で1名の修士学位取得者を育成したことは特筆すべき成果である。3名ともプロジェクトの最終年度までに帰国し、現在はNSRCに勤務している。彼らが中心となって、日本側研究者との連携を維持しながら、ケニアの養蚕研究をさらに発展させることを期待する。

4-4. プロジェクトの運営

【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）】

プロジェクトの3年目と4年目に、NSRCに製糸実験棟と飼育実験棟の建設ならびに機材設置がなされ、いよいよ実地での技術移転に取りかかるという重要な局面でコロナ禍に直面した。ケニア国内における行動制限もあって研究実施の遅れは避けられなかった。プロジェクト初期からの懸念事項であったケニア側研究組織内の雇用の不安定はコロナ禍でより深刻となり、また、前述のとおり遺伝資源の取扱いをめぐる交渉が頓挫するなど、研究の遂行が困難な局面が重なる事態であったが、研究代表者は状況に対応するリーダーシップを十分に発揮し、様々な障壁を粘り強く乗り越え成果を上げた。植物領域、動物領域など、異分野の研究者からなるチームを適切にまとめたリーダーの資質は高く評価したい。

【人材、機材、予算の活用（効率、効果）】

NSRC内の施設建設、研究機器整備が現地事情によりやや遅れたことは残念であるが、最終的に研究施設が完成し、繰糸機やボイラーなどの製糸関連機材や、プロイディアアナライザー（クワの倍数性を測定する機器）など研究基盤の構築に必要な機材が導入され、予算は効率的・効果的に活用されたと言える。

日本国内で博士課程人材を育成する期間中もケニアで研究実施体制を維持するため、ICIPEの元職員であるカイコ研究者をポスドク研究員として農研機構で雇用し、本邦で研修した後にケニアNSRCに長期派遣した。結果として、コロナ禍により日本人研究者の渡航が制限される中、唯一派遣されたケニア人のポスドク研究員が、現地における研究実施を技術的な側面からサポートし得たことは、プロジェクト推進体制の維持に予想以上の効果をもたらした。本研究員は農研機構との雇用契約期間満了後も現地コンサルタントとしてNSRCのスタッフと共に活動を続け、最終年度にICIPEに復職することになったが、以降も共著論文の著者となる等、本研究に継続して参

加しており、将来的に ICIPE との連携による研究ネットワークの拡充も期待できる。この一連の対応は不測の事態における人材活用の好事例として、他の SATREPS プロジェクトの参考になると思われる。

4-5. 今後の研究に向けての要改善点および要望事項

- クワ遺伝資源の分子遺伝学的特性評価を継続して行い、その結果を既存の1次特性、2次特性と合わせてデータベースとして公開できるようケニア側に働きかけてもらいたい。また、ジーンバンクに関しても、現時点では収集したクワ遺伝資源を国外へ配布する計画は無いとのことであり、このままではクローズドなジーンバンクシステムで終わってしまう可能性がある。データベースの公開と併せ、オープンなシステムが構築されるまで技術的支援が必要である。
- ケニアの野蚕4種のシルク素材の特性評価を継続し、近い将来において成果が公表されることを期待する。日本側の研究者は直接研究対象として扱うことはできないが、必要に応じケニア側の研究者に助言を行う等の支援を続けていただきたい。
- 研究スタッフの充実がケニアの蚕糸研究開発にとって重要である。プロジェクト終了後も代表研究機関は可能な範囲でケニアと研究協力を継続していただきたい。特に持続的な研究・利用活動の発展のための人材育成の面で、今後も JICA のプログラム等を活用し留学生の受け入れを積極的に行っていただきたい。そして、NSRC においては、日本で教育訓練を受けた研究者が適材適所に配置されるよう尽力し、ケニアにおける蚕糸研究開発を推進していただきたい。
- 本プロジェクトにおける研究の取組みや、成果であるところの研究基盤構築が、ケニアにおける養蚕業発展のための基礎となることを、関係者に分かりやすく整理・共有し、ケニア国内でアピールすることが大事である。整備された研究環境と研究組織の活動がより充実したものとなるよう、情報発信にも努めていただきたい。
- 養蚕を産業化するためには、農業政策上における養蚕のプレゼンスを高めるだけでなく、民間企業の参画の仲介を行い、推進していただけるとよい。既にプロジェクト期間中から、ケニアの民間セクターへの技術供与や、日本の民間企業との商取引に向けた連携協力を開始するなど、社会実装を視野に入れた活動への取り組みも認められるが、今後は NSRC を中核とした産業モデルとして、地域適応性の高いクワの苗木と生産性・強健性に優れた蚕種を、農家または民間企業に販売するとともに技術指導を行い、さらに買い取った繭で生糸を生産し、民間セクターに販売するバリューチェーンモデルの構築をぜひ実現していただきたい。NSRC には研究機関として、養蚕技術普及のバックストップとなることを期待する。

以上

JST成果目標シート

研究課題名	生物遺伝資源と分子遺伝学を利用した養蚕研究基盤構築
研究代表者名 (所属機関)	亀田 恒徳 (国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構)
研究期間	H27採択(平成28年4月1日～令和4年3月31日)
相手国名/主要相手国研究機関	ケニア共和国/ケニア農業・畜産研究機構、ジョモ・ケニアアッタ農工大学

付随的成果

日本政府、社会、産業への貢献	<ul style="list-style-type: none"> 海外からの養蚕技術協力要請などに応える人材の育成 日本企業へのクワや絹などの生産物の供給
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> 分子遺伝学を利用した木本植物および昆虫の育種技術の開発・確立
知財の獲得、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	<ul style="list-style-type: none"> ケニアにおける野蚕等アフリカ在来の生物遺伝資源へのアクセス カイコ、野蚕等の新規有用遺伝子(群)の知財獲得
世界で活躍できる日本人材の育成	<ul style="list-style-type: none"> ジーンバンクシステム構築や養蚕技術研究開発・指導に関わる研究者の人材育成
技術及び人的ネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> 国際交流を通じた国内の養蚕関連技術水準の維持・向上 東アフリカのリーダー格であるケニアとの交流強化
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	<ul style="list-style-type: none"> クワおよびカイコの育種マニュアル クワの遺伝的多型に関する論文 カイコのQTL解析に関する論文 アフリカ在来野蚕の探索と野蚕絹の分子遺伝学的評価に関する論文

上位目標

技術革新によりケニアにおける養蚕が振興し、海外輸出が可能な高品質シルクの生産が可能となって農家の所得が向上するとともに外貨獲得に貢献する。

ケニアの自然環境および栽培・飼育環境に適応したクワおよびカイコの新品種が育成され、繭の生産性と品質が大幅に向上する。

プロジェクト目標

クワジーンバンクの構築と地域に適合したクワおよびカイコの新品種素材を作出し、高品質シルク生産技術の研究基盤を確立する。

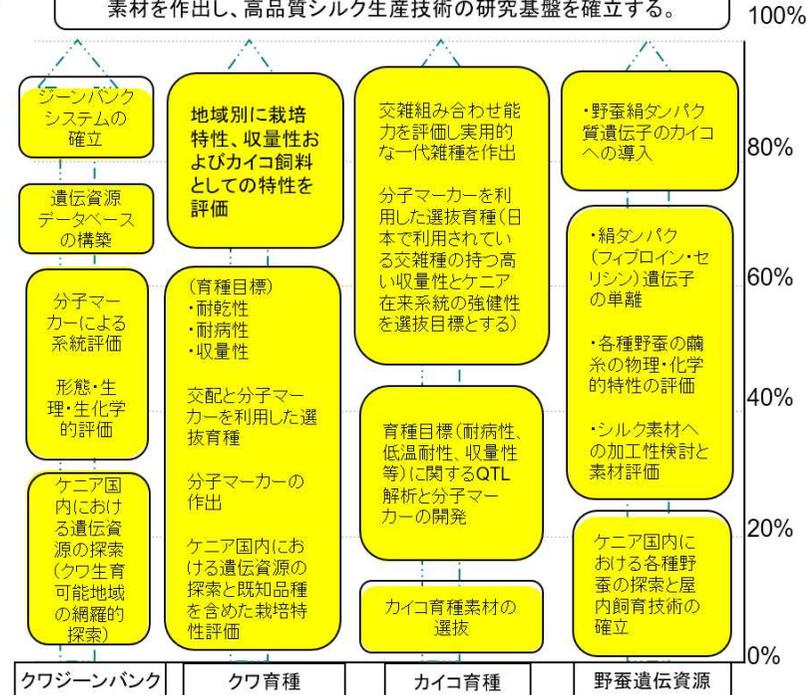


図1 成果目標シートと達成状況(2022年3月時点)