

国際科学技術共同研究推進事業
地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）

研究領域「生物資源の持続可能な生産・利用に資する研究」

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」

採択年度：平成 27 年度/研究期間：5 年/相手国名：ケニア共和国

平成 30 年度実施報告書

国際共同研究期間^{*1}

平成 28 年 10 月 3 日から令和 3 年 10 月 2 日まで

JST 側研究期間^{*2}

平成 27 年 6 月 1 日から令和 3 年 3 月 31 日まで

（正式契約移行日 平成 28 年 4 月 1 日）

*1 R/D に基づいた協力期間（JICA ナレッジサイト等参照）

*2 開始日=暫定契約開始日、終了日=JST との正式契約に定めた年度末

研究代表者： 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、ユニット長

I. 国際共同研究の内容（公開）

1. 当初の研究計画に対する進捗状況

(1) 研究の主なスケジュール

研究題目・活動	H27年度 (10ヶ月)	H28年度	H29年度	H30年度	R1年度	R2年度 (12ヶ月)
研究題目： 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						
研究項目 1． クワのジーンバンク構築						
1-1 クワ遺伝資源の収集		遺伝資源コレクションの構築				
1-2 遺伝資源の特性評価		特性情報の集積				
1-3 DNAによるタイピング		全塩基解析・分子マーカー解析				
1-4 遺伝資源の管理体制構築		遺伝資源管理体制の確立				
1-5 特性データの管理体制の整備		特性データの管理体制構築				
研究項目 2． クワの品種育成						
2-1 現有品種の地域適応性の調査		各地域での圃場整備と栽培評価				
2-2 主要養蚕地域に適合した既存品種・系統の選抜		地域適合系統を選出				
2-3 交配による新品種の開発		交配・選抜品種の系統化				
2-4 主要地域における標準的な栽培法の策定		生産設備の整備と栽培試験			栽培法策定	
研究項目 3． カイコの品種育成						
育種目標に関するQTLの解明とマーカー作出						
3-1 系統選抜と選抜系統の特性評価		安定交雑系統の作出			新品種の作出	
3-2 NSRCにおける繭及び生糸生産体制の確立		生産設備の整備と技術移転			生産システムの実証	
研究項目 4． 野蚕遺伝資源の特性解明						
4-1 在来野蚕の収集と生態解明		生息既知の野蚕の生態調査				

4-2 野蚕の遺伝的多様性の評価									
4-3 フィブロイン遺伝子の同定と塩基配列解読									
4-4 野蚕繭糸の物性評価									
4-5 シルク素材への加工性検討と素材評価									

2. プロジェクト成果の達成状況とインパクト (公開)

(1) プロジェクト全体

日本人人材の育成においては、3人の若手研究者が本プロジェクトに参加している。それぞれクワ育種とカイコ育種の研究者、製糸の研究者、野蚕の研究者である。3名とも、SATREPS からグローバル化対応を含めて貴重な経験を積んでいる。

人的支援の構築としては、ケニアから2名の博士学生を長期研修員として東京大学大学院および東京農工大学大学院に在籍させ、在外研究先の農研機構にて指導を行っている。また、毎年、短期研修員を招き、クワやカイコについての研修を行っている。さらに、来年度から修士課程の学生として1名の長期研修員を予定している。

ジョモケニヤッタ農工大学 (JKUAT) との協力体制が弱いことについては、JST 年次報告会 (平成29年12月22日 JST 東京本部) や第1回 PSC で指摘され、積極的な交流、特に JKUAT の学生を活用する機会を増やすことが求められてきた。本年度の後半から課題4の行弘リーダーが、JKUAT の Dr. Shadrack Muya (Dean of School of Biological Science) に連携を提案し、12月までに2回の交渉を行い、ゴノメタを中心とする野蚕の DNA バーコーディング解析を共同で行うことを決めた (図1)。



図1 Dr. Shadrack Muya と行弘研司博士。
JKUAT の Dr. Muya の研究室にて撮影。

一方で、ケニアの生物資源を採取し、当地で研究する、もしくは日本に持ち込んで研究するためには、生物多様性条約に基づく手続きを行わなければならない。本プロジェクトでは、ケニアに生息する野蚕 (クワを餌葉としない家畜化されていない蚕、クワ非食蚕 non-mulberry silkworm)、およびアフリカに生息しているクワ (アフリカグワ) である。アフリカグワ以外のクワは、1970年以降にインドや日本など海外から持ち込まれたものであり、ケニアの遺伝資源には該当しない。まずは、生物資源が生息する地域住民への説明会を開催することから手続きは始まった。第1回目の地域説明会は平成30年2月23日にカカメガのイコロマニ (Ikolomani) で開催され、地域住民が40人程度集まり、KWS (Kenya Wildlife Service)、KFS (Kenya Forest Service)、NEMA (National Environment Management Authority)

の立ち会いのもと、SATREPS の活動内容についてポスターを使って説明し、地元住民の総意を得て、問題なく終了した。Mwingi においても同様の説明会を開催して問題なく終えた。その後の経緯を経て、KALRO と農研機構との間で同意に至った PIC(案)と MAT(案)は、提出先の KWS によって再修正された。現在、KWS が示した修正案に対して KALRO と農研機構がコメントを送り、締結に向けて最終段階に入っており、次年度（令和元年度）中には締結ができる状況となっている。

本プロジェクトに対する日本企業の期待は大きく、数社から NSRC へサンプル販売の依頼があり、切り繭（乾燥した繭を切り開いて蛹を取り除いた繭殻）と生糸を輸出納品した。これによって得られた収入は NSRC の運営資金に充てられている。こうした販売目的の繭や生糸の生産は、クワ茶やクワ粉末の生産とともに、旧 NSS（国立養蚕ステーション）時代から業務としてやっていたものであり、SATREPS とは別に NSRC の業務の一環で行われた。なお、提供した繭と生糸は、日本から持ち込んだ錦秋×鐘和および朝・日×東・海をケニアで継代した後代で生産したものであり、飼育に用いたクワは Embu である。販売提供を受けた企業の今後の継続購入の可能性については現時点では不明であるが、今後の大量発注の可能性も視野に入れた準備を進めておく必要がある。日本側からは、農家との協力体制の構築などの促進を提案する。

プロジェクト開始早々からの懸念事項であったカウンターパートファンドがようやく平成 30 年度の 11 月上旬に NSRC に配分された。これまで懸案であった、ケニア国内の NSRC 職員の旅費が使えるようになったことで、国内各地のクワや野蚕の採集調査にケニア研究者を派遣することが可能になった。

(2) 研究題目 1：「クワのジーンバンク構築」

（リーダー：山ノ内 宏昭）

①研究題目 1 の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

本課題では、ケニア国内に存在するクワ遺伝資源を収集するとともに特性情報を集積し系統的に整理して「クワのジーンバンク」を管理できる体制を構築することを目標にしている。平成 30 年度までに「遺伝資源コレクションの構築」に関しては、既存品種が植えられている圃場から異品種で無いことを同定した後、それらの個体から穂木を採集して挿し木増殖を行った。その結果、遺伝資源保存用圃場の準備が進み、SATREPS プロジェクト開始以前から NSRC で栽培維持されてきた品種については、異品種の混入のない苗木の生産を完了し、今年度中にも遺伝資源保存用圃場に植付けが終わる状態まできている。新規遺伝資源候補の収集も順調に進んでおり、現在までのところ 81 個体（6 個体はケニア人スタッフ独自の収集によるもの）を収集し、現時点で 54 個体が系統化できた。系統化できたものは今後判定用圃場で順次同定作業を行う。形態等から判断し、このうち少なくとも 10 系統は新規遺伝資源であると推定している。このように新規のクワ遺伝資源が少なくとも 10 系統見つかり、ジーンバンクの充実に向けて着々と収集が進んでいる。カカメガ森林国立保護区内に自生していることが判明したアフリカグワについても、引き続き収集を可能とするための手続きをケニア人スタッフに依頼し、生物多様性条約も考慮しながら慎重に進めている。

日本での実技トレーニングは平成 29 年から開始し、農研機構の桑園（特性調査）と温室（挿し木増殖法、接ぎ木増殖法）において実習研修を行った。その際に、日本のクワ研究に関する講義とディスカッションの場も設けた。また、ケニア現地でも NSRC 職員への指導を行なった。平成 30 年度からクワの専門家が加わり、長期の現地滞在を行った結果、現地でのケニアスタッフへの指導やクワの管理体制が充実した。クワの葉の形質や実の形質（副産物形質）などについての遺伝解析

のために、日本国内で ‘Embu’× ‘Noi’ 等の交配を行い、F1 実生を育成した。

全塩基解析・分子マーカー解析は、日本国内でケニアのクワの改良に関係する形質の遺伝解析を始めた。具体的にはクワの全塩基解析については、日本で保管してあったアフリカ産品種である ‘Embu’ の全ゲノム配列情報を PacBio 社のロングリードシーケンサーで解読し、約 400Mb の全塩基配列を決定した。更に、より高精度のゲノム解析実現のため、Dovetail Genomics 社のシカゴメソッドによる全ゲノム配列情報の拡張を進めた結果、N50 値(高いほど、より長い配列が占める割合が多くなりゲノム配列の精度向上に寄与する)が 1.175Mb に向上(拡張前の 12 倍)し、中国のクワゲノム配列情報(N50 サイズが 390Kb)を約 103 倍上回る大幅な改善を達成した。この全ゲノム配列情報を対象に AUGUSTUS による遺伝子予測を行ない、37,850 の予測遺伝子を生成した。これらを対象に自動アノテーションを行なった結果、35,353 の遺伝子が NCBI-nr データベースの既知の遺伝子と類似しており、8,299 の遺伝子が代謝に関連する KO (KEGG Orthology) タームに関連付けられることがわかった。Embu と中国のクワ品種 (Chuansang) のゲノム配列情報を比較した結果、Embu で特異的に存在する遺伝子は、植物と病原菌との相互作用等に関連する可能性があることがわかった。これらのうち、各種ストレスや除草剤への耐性の向上等への関与が知られているグルタチオン-S-トランスフェラーゼ (GST) 遺伝子ファミリー等について、より詳細な遺伝子アノテーションおよび他の植物種との比較解析等を進めている。更に、クワ 56 品種のゲノムワイドな SNP 解析実施のために、これらのゲノム DNA の抽出および ddRAD-seq ライブラリの構築について Illumina HiSeq 2500 によるシーケンシングを行った。得られた配列データを対象にゲノムワイド SNP 解析を行った結果、50 品種以上間で共通して確認されたゲノム領域上に 15,687 の SNP マーカーを同定した。更に 2,229 のマーカーを選抜して、54 品種を対象に系統解析を行って系統樹を作成し、解析結果の分析を進めている (図 2)。

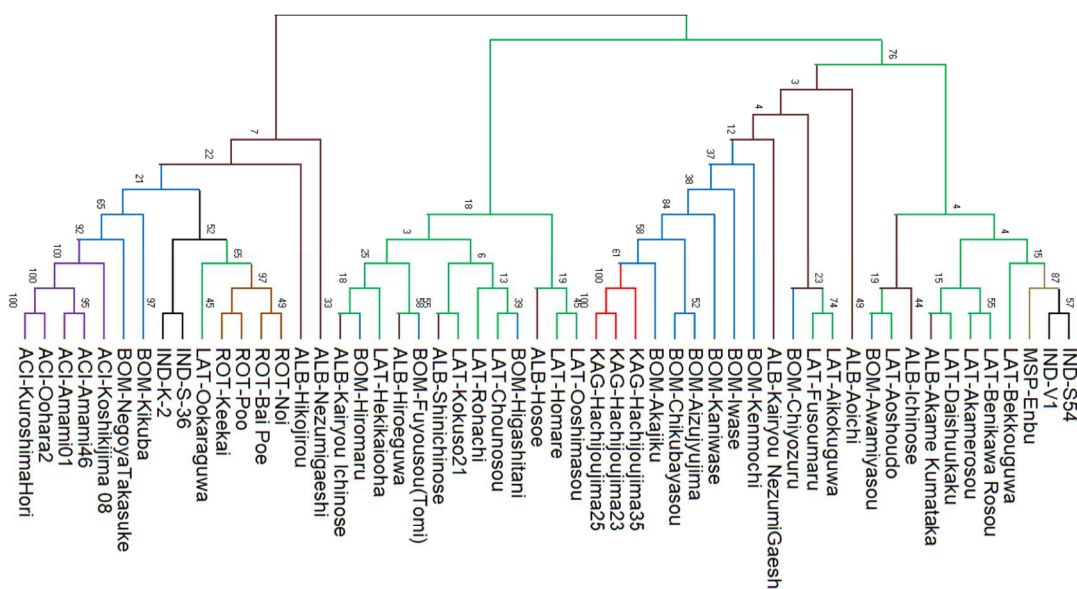


図2. Neighbour joining (NJ) phylogenetic tree of 54 mulberry varieties. The phylogenetic tree shows the relationship among different diploid species of 54 mulberry varieties. The phylogenetic tree was constructed from concatenated nucleotides (haplotypes of 2229 SNPs) prepared for each variety. Neighbour joining method with 1000 bootstraps was conducted for the nucleotide sequences of 54 varieties by Mega X. The colour codes of branches indicate different species abbreviated as “KAG” (red) is *Morus Kagayamae* Koidz., “BOM” (blue) is *M. bombycis* Koidz., “LAT” (green) is *M. latifolia* Poir., “ALB” (dark maroon) is *M. alba* L., “MSP” (grey) is *M. sp.*, “IND” (black) is *M. indica* L., “ACI” (purple) is *M. acidosa* Griff and “ROT” (brown) is *M. rotundiloba* Koidz.

②研究題目 1 のカウンターパートへの技術移転の状況

日本に招聘した KALRO 職員のうち、平成 29 年に 6 名、平成 30 年に 4 名の短期研修員、平成 29 年に 2 名の長期研修員に対して、日本においてクワ遺伝資源の増殖と特性調査に必要な方法を実習した。さらにケニアにおいても適時実習を行い、特に平成 30 年からは日本人専門家により栽培管理についての指導も含めカウンターパートナーの NSRC および KALRO 職員へ継続的に指導を行なっている。

③研究題目 1 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

品種育成のための交配母本として、既存品種の中で優良な形質を持ったクワ品種の倍数体を育成中であり、これらも新たな遺伝資源のコレクションとなる。

(3) 研究題目 2 : 「クワの品種育成」

(リーダー：山ノ内 宏昭)

①研究題目 2 の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

本課題では、ケニア国内数地域の環境条件を考慮して育種目標を設定し、地域目標毎に選抜を行い、地域適合品種候補を作出することを目標にしている。病害虫については、クワ品種 ‘Embu’ で頻発している leaf spot が、NSRC の圃場では十分な施肥によりかなり改善した。日本国内でのクワの病気についてのケニア研究者への短期研修として、専門家からクワ病害に関するトレーニングを行った。

各地域での圃場整備と栽培評価は、NSRC(ティカ)、カカメガ、キボスの各試験地の圃場で土壌調査が終わり、各地域の土壌の特徴がわかり、クワ栽培に適した土壌への改良方針が明確になった。改良された土壌からは見違えるほどの生育状態のクワへと一変した(図 3)。今後も継続してクワの生育を向上させるため 10 アール当たり 2,000kg の牛堆肥を年 2 回に分けて施肥することに加え、平成 30 年度から化成肥料である NPK 17:17:17 の 10 アール当たり 100kg の施肥を開始した。今後も土壌に関しては追跡調査を年 1 回行うこととし、化学肥料を 10 アール当たりの成分量で N:300kg、P₂O₅:150kg、K₂O:150kg となるように年 4 回に分けて施肥することにした。また、NSRC と Kakamega は酸性が強い土壌であったことから、10 アール当たり 200kg の消石灰を年 2 回に分けて投入して中和を行う方針を伝えた。灌漑が必要な NSRC には灌漑設備を整備した。NSRC では草食哺乳類とシロアリの被害が後を絶たない状況であった。そこで、草食哺乳類への対応はフェンス、シロアリについては殺虫剤散布と蟻塚の除去で解決した。また、Kakamega ではデバネズミの被害が報告されたことから、殺鼠剤等の対応を行い被害が減少した。このように、地域ごとの事情に合わせて、対応策を実施した。



図3. カカメガの地域適応性試験圃場の化成肥料（17-17-17）使用前（左写真）と使用後（右図）

このように地域適応性試験を行うための圃場については、3試験地とも場所を確定して整備を終了し、試験用の苗の植え付けを完了させることができた。現在は3試験地で新品種育成を目的とした個体選抜試験のための圃場の場所が決定し、来年度の最初の雨期の初期の植付けを目標に整備を依頼中である。

既存品種のうち各地域に最も適応した品種を選抜するために、各地域に栽培する品種を選定した。ケニアの気候と各品種の由来、各品種の NSRC での生育状況等から、‘Embu’、‘Ichinose’、‘Ithanga’、‘Kanva 2’、‘Limuru’、‘S-36’、‘S-54’、‘Thailand’、‘Thika’、‘Unknown-2’ ‘V-1’、を選出した。これらを NSRC で挿し木を行い、NSRC、Kakamega、Kibos の各試験地へ配布して植え付けを完了した。各試験地とも概ね順調に生育している。特性調査や収量試験の方法については、ケニアスタッフを日本に招いてトレーニングを行った。

新品種の育種には、花粉親品種を ‘Thailand’ とし、種子親品種 ‘Embu’、‘Ichinose’、‘Ithanga’、‘Thika’ 等と交配した F1 種子を育苗して 1m 以上に生育させ、実生選抜によって側枝が多い個体を除外した後、各個体 5 本ずつ挿し木を行った。驚くべき事に、177 個体のうち 176 個体で 100% の挿し木活着を示した（全挿し木 885 本のうち 884 本）。この挿し木個体を苗として各試験地に配布して個体選抜を行う予定である。交雑、実生の育成等の方法については、ケニアスタッフを日本に招いてトレーニングを行った。ケニア現地でも日本人専門家により随時指導を行っている。

②研究題目 2 のカウンターパートへの技術移転の状況

日本での活動として、平成 29、平成 30 年度に、ケニアスタッフへの短期研修を行い、地域適応性試験のための特性調査や収量試験等の調査の方法、交配や増殖のための挿し木法、接ぎ木法、ポット栽培クワによる交配法、挿し木や接ぎ木による交雑法、稔性度合いの調査法、採種法、播種法、初期の実生の育成法について実地研修を行った。また、ケニア現地でも日本人専門家により随時指導を行っている。

③研究題目 2 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

クワの品種改良法として有効な倍数性育種法技術をケニアへ導入することにした。3 倍体のクワ品種は多収性であり、4 倍体のクワ果実が大きく、養蚕だけではなく副産物利用において有効である。この技術導入は、ケニアの養蚕技術、特に桑栽培技術の向上に寄与することが期待される。

(4) 研究題目 3 : 「カイコの品種育成」

(リーダー：山本 公子)

① 研究題目 3 の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

ケニア在来品種としては ICIPE I と II、また、日本の実用品種としては錦秋鐘和を用いて、日本国内では実用品種の純化を進め、ある程度純化の進んだ実用品種後代のゲノム塩基配列解析をすすめた。ケニアにおいては、2 品種（錦秋×鐘和、朝・日×東・海）の実用交雑 F1 から別々に 5 系統を累代飼育し、最長 F12 世代まで選抜を進めた。選抜は、生糸の生産性と農家での飼育しやすさを目標に、繭層重、繭層歩合、繭の大きさ、繭層密度、発育の揃い、登簇性等を指標に継続して NSRC で飼育を行なっている。ICIPE の 2 品種についても繭層重・繭層歩合の向上と繭形・繭層密度の均質化を目標に選抜を行なっている。なお、選抜の一部は、ケニア人の日本での短期研修を兼ねてつくばでも実施した。

また日本においては、繭層重、繭重、繭層歩合という測定値に対して遺伝子マーカーを用いて、どの領域がこれらの形質と相関関係があるのか明らかにするために QTL 解析を行った。また NPV という養蚕業に重大な悪影響を及ぼすウィルスに対する強健性についても同様に、飼育実験ののちにその測定値(半数致死量濃度 LC₅₀) QTL 解析という方法により明らかにする計画を立てている。現在までにケニア由来のカイコ品種である ICIPE I と ICIPE II は雑種強勢とされる錦秋×鐘和に匹敵する強健性を持つことを本プロジェクトで明らかにした。その成果を踏まえて日本由来の実験用カイコ品種 p50 や感受性品種である漢黄との比較を行い、ゲノム配列から識別マーカーを作るという目標を達成するために、遺伝的特性を考慮した交配および BmNPV 接種実験を行った。経口摂取、経皮摂取ともに BmNPV に対して高い抵抗性を示した ICIPE II を用いて、強い感受性を示したカイコ品種の漢黄との交雑種を作成し、雑種第一代の F1 さらに第二代の F2 まで作成し、それぞれの BmNPV に対する感受性の確認を再度行った。その結果が図 4 である。ICIPE II は錦秋×鐘和並みの強い抵抗性を昨年度と同様に示した。p50T は大造という系統を実験系統として確立したものであったが、ICIPE II と比べると低い抵抗性となり、ICIPE II と感受性を示す漢黄という抵抗性の両極を用いた組み合わせが、遺伝実験にふさわしいことを再確認した。F1 世代の結果が親世代の ICIPE II とほぼ同等であったことから抵抗性は優性遺伝であると判断でき、さらに F2 世代の抵抗性も ICIPE II と同等であることより、複数遺伝子支配で抵抗性が成り立っていると予測できた。

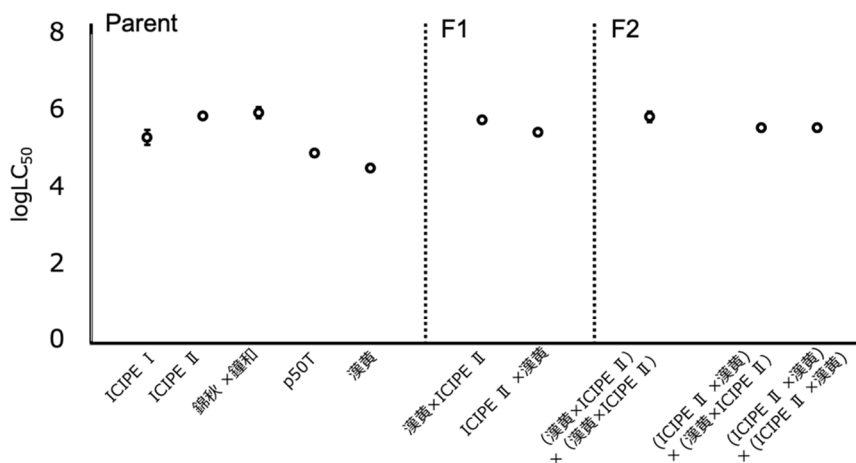


図4. 人工飼料飼育下におけるBmNPVに対する感受性の各世代間比較 経口接種として人工飼料にウィルス
を混ぜて与えて算出したLC₅₀の結果をlog変換し、平均値±標準偏差で示した。値の小さなものほど感受性が高い。
p50Tは様々な遺伝子実験で使われている系統であったため、比較試験に用いた。Parentは親世代の品種を示し、
F1,F2はIC1PE IIと漢黄の掛け合わせによる世代を示す。

②研究題目3のカウンターパートへの技術移転の状況

日本での短期研修、NSRCにおける日頃の飼育指導と講義を通じて、カイコの飼育技術や継投選抜の基本的考え方は徐々に定着しつつあるが、NSRCでの技術の定着と研究の発展には、若手研究者の正規職員としての採用が必須である。

専門家養成のためのトレーニングと並んで、研究施設・機器の供与を通しての技術移転も進みつつある。現在、製糸実験棟の建設が進んでおり、平成31年3月に完成し引き渡しが行われた。また、製糸実験棟に設置する乾繭機や繰糸機など製糸研究に必要な一連の機器が日本での製造を終え、実験棟の完成に合わせて設置・稼働すべく日本からの輸出のために輸送業者に引き渡しが行われ令和元年5月20日に行われた。製糸実験棟の稼働により、現地での製糸に関する技術移転が加速するとともに、ケニアで生糸生産を行なう場合の課題を明らかにして現地に適応した製糸技術を開発することが期待される。また、これまで、現地で生産した繭は日本に持ち帰って繰糸し、生糸(=繭)の性状を評価しているが、現地で評価することにより、評価結果をリアルタイムでカイコの選抜に反映することが可能となり、カイコ育種の効率化が期待される。

製糸実験棟に続いてカイコ飼育実験棟建設の現地手続も始まっており、令和元年度中の完成を目指している。飼育実験棟は、カイコ育種用の小規模多系統飼育室、繭生産用大飼育室、交配・採卵室など、カイコの育種と飼育に関する全ての実験を行える施設・機器を備えており、現地での技術移転と技術開発が進むことが期待される。なお、使用する機器は現地調達を基本としているが、現地で手に入らない特殊な機器や資材は日本から搬入しており、回転簇や自動収繭毛羽取り機がすでに現地で稼働している。これらの機器の導入により収繭作業が飛躍的に効率化している。

③研究題目3の当初計画では想定されていなかった新たな展開

特になし。

(5) 研究題目4:「野蚕遺伝資源の特性解明」

(リーダー: 行弘 研司)

①研究題目4の当初の計画(全体計画)に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

本課題は以下（１）（２）および（３）を目標としている；（１） ケニア在来野蚕を網羅的に探索し、それらの繭糸の特性を明らかにする、（２） 繭糸を構成する絹タンパク質遺伝子を単離・同定する、（３） 野蚕繭糸をフィルムやスポンジ、チューブなどに加工した場合の加工性や物性についても評価し、非繊維材料としての利用可能性を探る。

在来野蚕の収集と生態解明については、主にゴノメタについて調査を開始している。本種はアフリカのサバンナ地域に主に生息する鱗翅目カレハガ科に属する大型絹糸虫である。その繭からは、カイコのシルクより野趣に富み、ヤマユガ科の野蚕のシルクよりも洗練されたシルクが得られる。本種の利用は衣料素材にとどまらず、他の工業材料としての利用開発を目指している。そのためには「安定した供給」と「品質が安定していること」の２つの「安定」が不可欠である。野外での繭の採集では環境の変動により、供給量が安定しない。さらに、乱獲が加わるとゴノメタの遺伝的多様性が失われ、そこから生じる近交弱勢による障害が発生し、ゴノメタの集団に決定的なダメージをあたえ、材料の確保ができなくなる。その回避手段として本プロジェクトでは、日本で伝統的に行われている天蚕（てんさん）という野蚕の飼育をまねた半野外飼育（野外で木にネットをかけて飼育する方法）を提案している。現在、原産地である Mwingi での飼育と、NSRC での飼育の両方を考えている。原産地では、若齢幼虫時は室内にて飼育し、その後、食樹であるアカシアに放飼して蛹まで育てる。アカシアにはネットをかけて、鳥からの攻撃に備える。飼育状況の管理は、定期的な連絡と視察に赴くことで実施し、過度の近交を防ぐ意味での品質管理については、ゴノメタ用に開発する染色体遺伝子に対する DNA バーコードを指標とした遺伝的多様性評価を実施することで対応する。

一方、NSRC における飼育は、研究所所在地域の環境下での飼育の可能性を探るために、所内に自生するアカシアに対する指向性を検討しつつ試験的に実施する。

この半野外飼育の導入によって供給の安定は解決するだろう。残るはもう一つの「品質の安定」の解決である。ケニアには複数種のゴノメタが生息しているようで、種の異なるゴノメタが作る繭が互いに混ざることが「品質の安定」を大きく損なわせる。何種のゴノメタ種がケニアに生息しているかを調べるのが、品質を安定化する研究の第一歩と考えた。種の多様性を調べるのに有効となるのが DNA バーコードによる種の判別である。これと同時に野蚕の遺伝的多様性の評価についても DNA バーコーディングが有用な技術となる。

また、さらに、DNA バーコード技術をケニア側が習得し、今後将来に渡って DNA バーコードによるモニタリングを継続していくことができれば、ゴノメタの多様性の維持を確認できる。たとえば、何らかの原因である地域で半野外飼育しているゴノメタの多様性が低下していることが確認されたならば、その地域に野外から個体を導入して多様性を回復させるという手段が取れる。このように、どのくらい多様性が維持されているのかの知見を得ることは生物多様性を維持しつつ継続的遺伝資源の利用を掲げている Convention on Biodiversity (CBD) に基づいた研究として確かな価値あるものとなる。また、ゴノメタ種間で餌となる植物に違いがあることが知られている。効率的飼育を実現する上で、種に最適な餌となる植物を確認することは必要である。形態的差異、特に幼虫についての記載が乏しい現状を鑑みると分子マーカーの活用が最良である。

これらの事情を解決するべく、実験設備が整っている JKUAT でゴノメタに対する DNA バーコードをもとにした DNA タイピングにより DNA レベルの遺伝的多様性の評価を開始する運びとなった。このためには、野外集団からのサンプルの収集が必要であるが、広範囲にわたるサンプリングが求め

られ、野外調査の実績がある JKUAT との共同研究の実施は本研究題目の効率的な遂行に貢献することが期待される。

生物多様性条約に基づいた契約がまだ成立していないため、ケニアの遺伝資源である昆虫を日本に持ち込むことが現状では不可能である。そこで日本では、ケニアに生息する昆虫と近い昆虫をモデル的に取り上げて研究を進めている。フィブロイン遺伝子の同定と塩基配列解読についてはエリサンを用いてシンジュサンとのミトコンドリア COI 領域と核遺伝子 CAD そしてフィブロインの部分配列についての DNA タイピングを行なった。その結果は以下の通り。

1) 農研機構内で維持されているエリサン 6 品種は 656 塩基サイト中 3 か所で変異がある 2 つのハプロタイプに分けられた (Sr1 : Shimizu, TD, Todai, Sr2 : Blue, BlueBlack, Yellow)。これらはインドアッサム地方に由来するシンジュサンの配列 (アクセッション番号: KJ6247463) と極めて近縁であることがわかった。

2) エリサンと国内のシンジュサンの 656 塩基長の COI 配列の比較においては、27 個の塩基置換がエリサンの 2 つのハプロタイプと最も近縁な日本産のシンジュサンのハプロタイプ (Spw1 : AB775192, AB775193 Yoshido et al.(2015)) との間で生じていた。Spw1 と近縁の 5 ハプロタイプ (Spw2~6) を含む一連の配列の多くは奄美大島を含む西日本由来であり、例外的につくば産のものも含まれた (図 5) ¹。

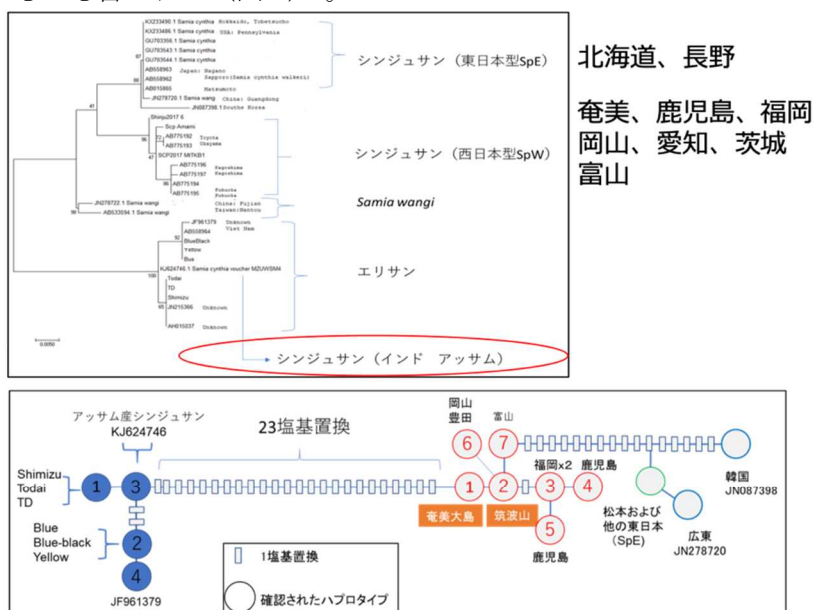


図5.ミトコンドリアCOI塩基配列に基づくエリサンおよびシンジュサン類の分子系統関係(上図)とミトコンドリアCOI塩基配列に基づくエリサンおよび国内のシンジュサンの最節約ネットワーク図(下図)

3) 東日本由来のシンジュサンの COI 部分塩基配列はどれも同じハプロタイプ (SpE) であった。SpE と SpW6 と間には 1 2 塩基置換が生じていた。西日本のシンジュサンに比べ東日本のものが多様性に欠いていることと両者の遺伝的多様化より、東日本タイプが最近西日本以外から東日本に侵入し、生息範囲を拡大したことを示唆する。SpE と近縁な配列は中国産のものに見られた。

4) 韓国産シンジュサンの配列は西日本よりも東日本タイプに近縁であるが、それでもなお 7 塩基

¹ 最節約ネットワーク図とは、ミトコンドリアの遺伝子型であるハプロタイプ間の近縁関係を最大節約法に基づき、ハプロタイプ間の塩基変異 (突然変異) の数を尺度として 2 次元的ネットワーク図として表したもの。

置換が観察された。

COIに加えて核遺伝子である CAD とフィブロインについてエリサン 6 品種とシンジュサン 2 サンプルに対してタイピングを行った。両遺伝子についてエリサンおよびシンジュサンで内部変異は検出されなかったが、CAD ではエリサン、シンジュサン間で 7 塩基置換、フィブロインでは、1 2 塩基置換とシンジュサン側で 2 アミノ産残基に相当する 6 塩基にまたがる欠失が確認された。

また、Yoshido 等 (2011) が作出したプライマーを用いシンジュサ第 7 染色体上のキチナーゼ遺伝子をエリサン 6 品種について増幅し変異を解析したところ、図 6 に示すように、3 つのクラスター (1. Shimizu, 2. Blue,BlueBlack,Yellow, 3. TD、Today) に区割りできた。

Samia cynthia ScChi-h gene for chitinase (2431-3302) on 7th chromosome

[	22222333]
[	55679012]
[	27517224]
[	78931514]
#S_cynthia	TAAACCTT
#20180209-2_D11_Shimizu	CCG.GTCC
#20180209-2_D12_BlueBlack	T..
#20180216-1_C07_Yellow	T..
#20180216-1_C08_Blue	T..
#20180216-1_C09_TD	...TSTYC
#20180216-1_C10_Todai	...TGTCC

図6.第7染色体上のキチナーゼ遺伝子の部分配列に基づくエリサンおよび国内のシンジュサンの分類

以上の結果が現在までのところ本研究題目で得られた結果である。

現在までのところ、ゴノメタに関しては、繭は生態解明について全て使用しており、現在のところ野蚕繭糸の物性評価に至っていない。

繭糸を構成する絹タンパク質遺伝子の単離・同定では、日本で解析可能な複数種の野蚕の絹タンパク質について、それらをコードする遺伝子の塩基配列を解析している。その中で、ミノムシのフィブロインの塩基配列については、塩基配列の解読後、その遺伝子配列をカイコに遺伝子組換え技術で遺伝子導入を行い、ミノムシのフィブロインのタンパク質を含む組換えカイコシルクの作製に成功した。この成果は特許出願し、現在公開されている。

また、次の日本国内に生息するヤママユガ科野蚕、エリサン、シンジュサン、ヒメヤママユ、オオミズアオ、オナガミズアオ、エゾヨツメについて絹タンパク質を合成する組織である絹糸腺の役割の異なる 3 つの部分、前部・中部・後部絹糸腺における遺伝子発現解析を、次世代シーケンサーを用いて開始した。

シルク素材への加工性検討と素材評価については農研機構において維持されてきたエリサンを用いて、エリサンのシルクタンパク質 (フィブロイン) を未分解 (高分子量) のまま抽出し、フィルム化する新規加工プロセスを開発した。高分子量フィブロインで作製したフィルムは、従来のカイコフィブロインフィルムでは必須の不溶化処理を行うことなく、水に不溶性のフィルムが得られた。得られたフィルムは、従来の不溶化処理済みフィルムとは異なる分子構造を有しており、新た

な機能性フィルムとして有望な素材が創製できた（以上の研究結果に対して、つくば医工連携フォーラムにて研究奨励賞を受賞）。このように野蚕の素材化について、着実に成果を出しつつある。ケニア在来種に関しては今後さらに検討する必要がある。

ケニア側研究者の一人が本分野の研究をするために長期研修によって日本の大学院博士課程で学生として学んでいる。

②研究題目 2 のカウンターパートへの技術移転の状況

DNA バーコーディングでの共同プロジェクトについて、アクセスパーミッションを取得できた段階で、DNA バーコーディングに基づく遺伝的多様性の評価を、飼育集団および野外集団について実施する予定としている。そのための事前の打ち合わせにより、調査方法などの教育等を現在準備中である。なお、現状ではこの研究題目の実施は NSRC 内では設備的に十分でないので、後述のジョモ・ケニヤッタ農工大学（JKUAT）での実験を想定し、共同研究の実施を協議する方向である。JKUAT で実施した実験手法については、NSRC の設備の充実に合わせて技術移転をする。

③研究題目 4 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

実験設備が整っている JKUAT でゴノメタに対する DNA バーコードをもとにした DNA タイピングにより DNA レベルの遺伝的多様性の評価を開始する運びとなった。このためには、野外集団からのサンプルの収集が必要であるが、広範囲にわたるサンプリングが求められ、野外調査の実績がある JKUAT との共同研究の実施は本研究題目の効率的な遂行に貢献することが期待される。

II. 今後のプロジェクトの進め方、および成果達成の見通し（公開）

プロジェクトの目標である「NSRC に蚕糸の研究と開発の基盤を築く」のうち、日本側からケニアへの技術導入については着々と進んでいる。製糸実験棟と飼育実験棟の建設がやや遅れているが、当初から、これらの実験棟の新設を前提としない計画表を作成していたことから、研究の進行には影響を及ぼしていない。また、昨年度末に、NSRC の拠点場所が急遽変更になり、移転地の改修工事が急ピッチで行われるなどの混乱があったが、現在は問題なく運用可能である。必要な物品の調達も業務調整員の優れた采配により滞りなく進められている。桑園の土壌調査や土壌改良も十分量の肥料を購入し、散布したことにより、クワ質が見違えるほどに良くなっている。また、クワ葉の質が向上すると、連動して、飼育しているカイコの繭質も向上した。このように、日本人がやれる箇所については着々に改善が進んでいる。日本人専門家が行っている作業を見様見真似することにより、NSRC の職員のスキルも向上しているが、現場で日本人専門家と共に作業をしているケニア人の多くが非正規職員であるため、せっかくスキルを磨いても、将来に渡って NSRC で働き続ける保証がない。現場で本当の実力を獲得している非正規職員を、正規職員へ昇格させる必要がある。

カウンターパートである NSRC では、養蚕業の農家普及についても精力的に活動が始まっており、研究所のあるティカ周辺だけではなく、ケニアのナイバシャなどの西南部地域に対してもプレゼンテーションの機会を得て、普及活動を行っている。苗木販売を始めたことによる桑の普及の開始、また NSRC 主導による養蚕業の将来的な普及が見込まれる状況になったことによりケニアへの技術移転状況は確実に前進している。このことから安定して繭を市場に供給できるようになれば、ケニア側のニーズであるコーヒー、茶に変わる新たな輸出農産物として産業が育つことになる。本プロジェクトの最終目標である 5A という高品質の生糸生産であるが、良質な桑によるカイコの飼育、飼育によって得られた高品質

の繭、清潔な環境での繰糸、また繰糸に関わる高い技術を必要とする。それらすべてを同時並行して遂行する必要があるが、繰糸技術に関しては練度を上げる環境が現時点ではケニア側にないために、繰糸場建設後は繰糸技術に関しての技術移転が急がれている。本年度3月8日に繰糸場建設が終わり、あとは日本からの繰糸機械の到着が済めば、ケニアでも繰糸技術の定着および技術者の練度上達などが見込まれる状況となっている（繰糸機械は7月初旬にモンバサ港に到着し、7月中旬に NSRC に運搬される予定）。

Ⅲ. 国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓など（公開）

(1) プロジェクト全体

◆生物多様性条約に基づく諸手続きの課題について

ケニアの生物資源を採取し、当地で研究する、もしくは日本に持ち込んで研究するためには、生物多様性条約に基づく手続きを行わなければならない。本プロジェクトでは、ケニアに生息する野蚕（クワを餌葉としない家畜化されていない蚕、クワ非食蚕 non-mulberry silkworm）、およびアフリカに生息しているクワ（アフリカグワ）である。アフリカグワ以外のクワは、1970 年以降にインドや日本など海外から持ち込まれたものであり、ケニアの遺伝資源には該当しない。

まずは、生物資源が生息する地域住民への説明会を開催することから手続きは始まった。第1回目の地域説明会は2018年2月23日にカカメガのイコロマニ（Ikolomani）で開催され、地域住民が40人程度集まり、KWS（Kenya Wildlife Service）、KFS（Kenya Forest Service）、NEMA（National Environment Management Authority）の立ち会いのもと、SATREPS の活動内容についてポスターを使って説明し、地元住民の総意を得て、問題なく終了した。Mwingi においても同様の説明会を開催して問題なく終えた。これらの説明会が円滑に終了したことから、次の手続きに進むこと、つまり PIC と MAT の原案を作成することの許可が当局から出た。そこで、NEMA のホームページから PIC と MAT のひな形をダウンロードして案分作成にとりかかった。MAT のひな形の記載には、「遺伝資源から派生する物質の取り扱い」に関して、名古屋議定書とは相容れない内容があった。生物多様性条約に基づく手続きでは、名古屋議定書の取り決めが考慮されるべきであるが、一方で、各国の国内法も優先されることから、途上国側に不利な条件については、国内法に基づいた意見を強調してくる可能性もある。農研機構としては名古屋議定書に準拠した、今後のケニアとの契約の模範となる MAT の作成を目指している。ちなみに、派生物までもが遺伝資源に含まれることになると、たとえば、昆虫が吐糸したシルクを原料にして成形した加工品までもがケニアの遺伝資源に該当することになり、規制の対象になる。大幅に修正された PIC と MAT は、KALRO の法律部門に送られ両機関の同意を経て、KWS に提出され、締結に向けた確認作業が続いている。

◆ICPIPE との関係について

ICPIPE が開発したカイコ品種 ICPIPE I および II は、長年に渡り、東アフリカ地域の粗悪な農家の飼育環境に耐えてきた強健性としての実績がある。強健性に関わる遺伝子に興味がある日本側としては、これらのカイコ品種を研究対象に使えることのメリットは大きい。ICPIPE と KALRO は、SATREPS が開始される以前から機関同士で MoU を締結していた。そこで、既存の MoU をベースにして、それを現状に即した内容に改定することにして、改訂版の中に、KALRO が ICPIPE から受け取ったカイコ品種を SATREPS でのカウンターパートである農研機構に研究資料として渡せることを明記した。この MoU の改訂版は、日本側からの再三の催促により、ようやく、2017 年 5 月 24 日に締結された。また野蚕なども何種類か

保持する ICIPE という研究機関と関係を持つことは、本プロジェクトを遂行するにあたり非常に有益であるといえる。また本プロジェクト予算でケニアに持ち込んだ日本の交雑品種の飼育を NSRC と同時に行うことになった。ICIPE と NSRC で行うことにより、養蚕に致命的な微孢子虫病や NPV による核多角体病などの病気の発生などについて得られるケニア国内のデータを共有することが出来るようになり、さらに病気の発生を監視することも可能となり、ケニア養蚕業発展のために有意義な関係を築くことができると考えられる。

◆カウンターパートファンドについて

プロジェクト開始早々からの懸念事項であった、カウンターパートファンドがようやく本年度の 11 月上旬に NSRC に配分された。これまで懸案であった、ケニア国内の NSRC 職員の旅費が使えるようになったことで、国内各地のクワや野蚕の採集調査にケニア研究者を派遣することが可能になった。野蚕の採集調査では、JKUAT の職員や学生をゴノメタの生息地域へ派遣する旅費をカウンターパートファンドから執行することが予定されている。

その他のカウンターパートファンドの具体的な使い方、および、来年度以降のカウンターパートファンドの継続的な獲得に関する対策は重要な検討事項である。

◆ケニア側の人材育成について

ケニアでは、様々な作業を非正規などの低賃金労働者に頼りがちで、また研究者などの正規職員は命令を出すのみ、労働は非正規に任せるという不文律がある。そのため、NSRC 所長自らが手を動かして手本を見せるように心がけているものの、比較的高齢の職員の意識を変えるまでには至っていない。この問題は根深いものの、当プロジェクトでは職員を何とか巻き込んでから作業を行うように心がけて進めている。

(2) 研究題目 1 : 「クワのジーンバンク構築」

(リーダー：山ノ内 宏昭)

桑園の管理や土壌改良技術の指導は、クワ専門家による短期的なケニア滞在を繰り返しても効果が表れなかった。長期間、ケニアに滞在して、指導する体制にする必要があると考え、1 年の半分以上をケニアに滞在してもらえるクワの専門家を H30 年度より新たに雇用して、課題 1, 2 の体制を整えた。これによって、現地の職員、不定期雇用者などにも桑園の管理、桑の育種、土壌改良などの技術移転が円滑に行われたことにより、ジーンバンクの管理技術が格段に向上した。

また、同専門家には、日本で行う短期研修の講師も担当してもらい、7 月と 8 月は日本でクワの管理と育成についての技術指導を依頼した。これによって、日本で行う短期研修が、ケニアで有効に作用しているかを検証することができた。その結果は、あまり期待した成果が出ていないというものであった。その理由は本年度の研修はクワ、カイコ、糸の各分野を網羅的に実施する形式であったため、研修内容を深化させられなかったことにあると考えられる。クワについての研修は増殖法や調査法などの単なる技術習得のみならず、一定の期間のクワの栽培管理や連続した経過観察を経験しなければケニアでの実際の栽培管理に応用することは難しいと思われるので、来年度以降は参加者を振り分けたうえで、各分野に特化した内容の研修を実施する。

(3) 研究題目 2 : 「クワの品種育成」

(リーダー : 山ノ内 宏昭)

クワの育種には、長い年月が必要とされる。長期間の安定した雇用が保障された有能な職員が当該課題の研究に就くよう、日本側から強く要請する必要がある。一例をあげると、現在、コルヒチンによる倍数体の作成をケニアで試みている。この手法により、桑の実（果実）を大きくすることができ、さらにカイコの飼育に合わせた桑葉を作る品種に改良することが可能になる。しかしながら、染色体異常を引き起こして新品種を作出するというコルヒチン処理による本手法は短期間で完成するものではない。染色体異常を引き起こすことに成功しても、適切な株だけを選抜する作業や、選抜した株の特性が安定して現れるかなど、長い年月の継続的な作業が必要とされる。この選抜過程、維持管理という技術は専門知識を有した上で判断が必要となるので、一朝一夕にはいかない。現状は、指導を受ける側の NSRC 職員は、すべて非正規雇用職員である。もし、本プロジェクト終了によって非正規雇用職員が解雇されてしまったら、クワの育成は立ちゆかなくなる。クワの育種では、特に、職員のパーマネント採用を日本側から強く要請するべきである。カウンターパートファンドが、安定雇用費に使われるのであれば、カウンターパートファンドの継続維持を強く要望するべきである。

(4) 研究題目 3 : 「カイコの品種育成」

(リーダー : 山本 公子)

カイコの品種育成は木内専門家により選抜の基準が設けられ、またカウンターパートの責任者である Kasina 所長により系統維持用の飼育、また商品としての繭を生産する商用飼育の部署に分けられている。飼育施設の狭さ、管理技術の甘さ、職員の飼育練度の低さ、飼育大半を非正規雇用職員に依存してしまうことにより、商用飼育に関しては未発達のままである。しかしながら、日本人専門家と NSRC 職員により系統選抜が行われた結果、系統維持用の飼育は日本人専門家不在時でも問題なく運用されており、ケニアでの養蚕技術定着への足がかりとしては成功を収めている。農業・食品産業技術総合研究機構（農研機構）生物研においても、商用飼育（大量飼育）と系統維持飼育（小規模飼育）は別物とされ、商用飼育は大規模にカイコの飼育が必要となることから、病気の発生や餌の不足などが日本でも農家において問題とされやすい。通気性の良い環境、清潔な環境が不可欠とされるため、日本人専門家が中心となり、清掃の徹底を図っているものの、非正規雇用職員に任せきりの状況ではうまくいきにくいと考えられる。ようやくカウンターパートファンドが得られたこと、また職員の意識改革により現在状況が変化しつつある。非正規雇用職員とはいえ、インターンの学生などもこの大量飼育に関わることで、人手が増えつつあり、飼育環境への配慮も随分改善している。

(5) 研究題目 4 : 「野蚕遺伝資源の特性解明」

(リーダー : 行弘 研司)

野蚕研究は、大幅に遅れてしまった遺伝資源取り扱いに関わる締結が徐々に進み始めている。関連法案などの取り決めの国による違い、また日本側もこの新しい条約への取り組みに対して基礎知識がなく、双方が手探りで進めるほかなかったのが、最大の問題点であるといえる。牛歩的ではあるが進み始めたことにより、また現地の大学との共同研究擁立も一つの光明となり、今後は本プロジェクトでの野蚕の DNA タイピング、マッピングなど加速度的に進めることができると期待される。また本プロジェクトが苦勞しているこの条約締結は、日本サイドの生物多様性条約に対する基礎知識となり、

他の日本人研究者、日本企業がケニアにアクセスする場合の良い一例となり得るであろう。DNA タイピングと同時並行して、ケニア在来野蚕の絹糸の素材開発にもようやく着手できるようになる。日本サイドは総力をあげて、素材化の目処をつけ、プロジェクト終了までには、広く宣伝できる新素材が開発できると期待している。

生物多様性条約というのが一つの肝となっており、国ごとに手続きが異なるという情報を現在まで得てきた。今後、日本という先進国側が技術支援事業を行う上で避けて通れない問題となっていく。日本側も条約を遵守するべく、他国で事業を興す、協力するためには現地のことは現地でというスタンスではなく、必ず密な連携をとり、交渉した上でアクセスしなければ、対象国のみならず他国においても信頼を失いかねない事態を招くことになるだろう。カウンターパートだけではなく、必ず政府の担当者との面会なども踏まえた上で事業を遂行していただければと願ってやまない。

IV. 社会実装（研究成果の社会還元）（公開）

(1) 成果展開事例

現時点では特になし。

(2) 社会実装に向けた取り組み

アフリカ産シルクに興味を持つ日本企業は多い。ただ、興味はあっても、日本で得られるアフリカの内部情報は乏しく、なかなかアフリカとの接点を見いだせないでいたというのが実情のようだ。本 SATREPS プロジェクトにより、日本の公的研究機関の職員がケニアに滞在するようになったことで、日本企業にとっての現地調査や情報収集が容易になったようだ。これまでに複数の民間企業が日本から訪れ、NSRC を含めた現地の調査をしたが、いずれの訪問も、我々のプロジェクトスタッフの現地での支援があったからこそ実現した視察である。本 SATREPS が日本の企業に対してのビジネスチャンスの拡大に貢献していることは間違いない。視察後は、試験用として数十から数百キロのマユを KALRO に発注する。こうした発注が、KALRO の養蚕部門に外部資金をもたらすだけでなく、活気を与える。

一帯一路政策も手伝ってか、中国のケニア進出がめざましい。養蚕でも中国企業のケニア進出が計画されているとの情報を得ている。中国の動きを警戒する声もあるが、中国進出がケニアの養蚕関連企業を刺激し、市場拡大のきっかけとなるなら、本 SATREPS プロジェクトにとっても好機になるかもしれない。

V. 日本のプレゼンスの向上（公開）

- ・JST フェア 2018(東京ビックサイト 2018 年 8 月 30、31 日)にて本プロジェクトに関する成果展示を行った。

- ・本プロジェクトで行った野蚕研究の一部が Nature Communications 誌に掲載され、公開日に合わせて記者発表し、数社の新聞に掲載された。また、それに端を発して、複数の雑誌社からの寄稿依頼や、子供新聞などからの依頼が続いている。

VI. 成果発表等【研究開始～現在の全期間】（公開）

別紙参照。

VII. 投入実績【研究開始～現在の全期間】（非公開）

VIII. その他（非公開）

以上

VI. 成果発表等

(1) 論文発表等【研究開始～現在の全期間】

①原著論文(相手国側研究チームとの共著)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)

論文数 0 件
うち国内誌 0 件
うち国際誌 0 件
公開すべきでない論文 0 件

②原著論文(上記①以外)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
2017	Taiyo Yoshioka, Tsunenori Kameda, Kohji Tashiro, Noboru Ohta, Andreas K. Schaper; Transformation of Coiled α -Helices into Cross- β -Sheets, Biomacromolecules, 2017, 18, 3892-3903.	10.1021/acs.biomac.7b00920	国際誌	発表済	分野トップレベルの雑誌に掲載
2019	Taiyo Yoshioka, Tsunenori Kameda, "X-ray Scattering Analyses Quantitatively Revealed Periodic Hierarchical Structure of Polyalanine b-sheet and Non-polyalanine Amorphous Domains in Antherea assamensis (Muga) Silk", J. Silk Sci. Tech. Jpn, 2019.03.27, pp.95-101		国内誌	発表済	
2019	Taiyo Yoshioka, Takuya Tsubota, Kohji Tashiro, Akiya Joraku, Tsunenori Kameda, "A Study of the Extraordinarily Strong and Tough Silk Produced by Bagworms", Nat. Commun., 2019, 10.		国際誌	in press	

論文数 3 件
うち国内誌 1 件
うち国際誌 2 件
公開すべきでない論文 0 件

③その他の著作物(相手国側研究チームとの共著)(総説、書籍など)

年度	著者名,タイトル,掲載誌名,巻数,号数,頁,年	出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項

著作物数 0 件
公開すべきでない著作物 0 件

④その他の著作物(上記③以外)(総説、書籍など)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
2016	Kenji Yukuhiro, Hideki Sezutsu, Takuya Tsubota, Yoko Takasutsumori, Kamdaand Naoyuki Yonemura, Insect silks and cocoons: Structural and molecular aspects in extracellular Composite Matrices in Arthropods, Springer pp515-555.	書籍	発表済	昆虫の絹タンパク質研究の最前線に関する総説
2016	行弘研司, SATREPSによるケニアの在来野蚕の調査, 昆虫DNA研究会ニュースレター, 2016, 26号, 27ページから28ページ	会報	発表済	ケニア在来野蚕の紹介
2017	Tsunenori Kameda, Silk from new sources - Food for thought (Interview), Indian Silk, February-April 2018, Vol.8 (56 old), No.10-12, pp.20-21	雑誌	発表済	
2018	木内信, カイコ育種と遺伝資源利用の海外展開, 蚕糸・昆虫バイオテック, 2018.8, vol.87, 2, 89ページから90ページ	雑誌	発表済	

著作物数 4 件
公開すべきでない著作物 0 件

⑤研修コースや開発されたマニュアル等

年度	研修コース概要(コース目的、対象、参加資格等)、研修実施数と修了者数	開発したテキスト・マニュアル類	特記事項

VI. 成果発表等

(2) 学会発表【研究開始～現在の全期間】

① 学会発表（相手国側研究チームと連名）（国際会議発表及び主要な国内学会発表）

年度	国内/ 国際の別	発表者（所属）、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
2017	国内学会	横井 翔(農研機構・生物機能利用研究部門)、次世代シーケンサーやゲノム情報を利用した利用した昆虫研究、2017年度生命科学系学会合同年次大会、2017年12月6日	招待講演
2017	国内学会	横井 翔・上樂 明也・桑崎 誠剛・岡田 英二・飯塚 哲也・亀田恒徳・山本 公子(農研機構・生物機能利用研究部門、JST/JICA-SATREPS)、ddRAD-seq/QTL解析による、繭多収量性に関与するゲノム領域の探索、蚕糸・昆虫機能利用学術講演会、名古屋大学、2018年3月20日	口頭発表
2017	国際学会	Muo Kasina (NSRC, Kenya), Makoto Kiuchi (NARO, Japan), Mary Musyoki (NSRC, Kenya), Joseph Mulwa (NSRC, Kenya). Yearlong performance of Eri (Samia ricini) silkworms in Kenya. 8th International Conference on Wild Silk Moths, Guwahati, India, Jan. 22-24, 2018	口頭発表
2017	国内学会	Kelvin O. Moseti (KALRO, 東京農工大), 吉岡太陽(農研機構), 亀田恒徳(農研機構), 中澤靖元(東京農工大)、Water-stable Samia cynthia ricini Silk Gland Fibroin Films for Biomedical Applications、つくば医工連携フォーラム2018、茨城県つくば市、2018年1月26日	ポスター発表
2018	国際学会	Kelvin O. Moseti (KALRO, 東京農工大), 吉岡太陽(農研機構), 亀田恒徳(農研機構), 中澤靖元(東京農工大)、Fabrication and Characterization of Transparent, Flexible and Water-insoluble, Non-mulberry Silk Fibroin Films、The Fiber Society's Spring 2018 Conference、タワーホール船堀(東京)、2018年6月12日	口頭発表
2018	国内学会	Kelvin O. Moseti (KALRO, 東京農工大), 吉岡太陽(農研機構), 亀田恒徳(農研機構), 中澤靖元(東京農工大)、Fabrication of Transparent, Flexible and Water-insoluble, Non-mulberry Silk Fibroin Films、平成30年度繊維学会年次大会、タワーホール船堀(東京)、2018年6月13日	口頭発表
2018	国内学会	Kelvin O. Moseti (KALRO, 東京農工大), 吉岡太陽(農研機構), 亀田恒徳(農研機構), 中澤靖元(東京農工大)、Solvent- and drawing-dependent transitions in silk gland fibroin materials、つくば医工連携フォーラム2019、つくば市(茨城県)、2019年1月17日	ポスター発表
2018	国内学会	勾坂 晶・奥野正樹・宮本和久・村上理都子・田中博光・渡部賢司(農研機構)・Mary Mwari(ケニア国立蚕糸研究セ)・Everlyn Nguku (ICIPE)・Muo Kasina(ケニア国立蚕糸研究セ)・亀田恒徳(農研機構)、カイコ核多角体病ウイルス(BmNPV)のケニア産カイコ品種ICIPE I, IIの体内における増殖特性、平成31年度蚕糸・昆虫機能学術講演会、東京農工大学(東京)、2019年3月23日	口頭発表
2018	国内学会	奥野正樹・勾坂 晶・宮本和久・村上理都子・渡部賢司(農研機構)・Mary Mwari(ケニア国立蚕糸研究セ)・Everlyn Nguku (ICIPE)・Muo Kasina(ケニア国立蚕糸研究セ)・亀田恒徳(農研機構)、ケニア産カイコ品種ICIPE IIのカイコ核多角体病ウイルス抵抗性に関する遺伝特性調査、平成31年度蚕糸・昆虫機能学術講演会、東京農工大学(東京)、2019年3月23日	口頭発表
2018	国内学会	奥野正樹・勾坂 晶・宮本和久・村上理都子・渡部賢司(農研機構)・Mary Mwari(ケニア国立蚕糸研究セ)・Everlyn Nguku (ICIPE)・Muo Kasina(ケニア国立蚕糸研究セ)・亀田恒徳(農研機構)、Bombyx mori nucleopolyhedrovirus経口接種に対するケニア産カイコ品種ICIPE 特性、第63回日本応用動物昆虫学会大会、筑波大学(つくば)3月26日	口頭発表

招待講演 1 件
口頭発表 7 件
ポスター発表 2 件

② 学会発表（上記①以外）（国際会議発表及び主要な国内学会発表）

年度	国内/ 国際の別	発表者（所属）、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
2015	国内学会	吉岡太陽(農研機構)、田代孝二(豊田工大)、亀田恒徳(農研機構)、高速時分割射光X線回折測定より明らかにした家蚕とタサール蚕破断挙動の決定的な相違点より考察するシルクの構造と伸縮特性の関係性、日本野蚕学会第21回大会、東京農業大学グリーンアカデミー(東京)、2015/11/28	口頭発表
2015	国内学会	山本公子(農研機構)、飯塚哲也(農研機構)、中島健一(農研機構)、上樂明也(農研機構)、宮本和久(農研機構)、行弘研司(農研機構)、山ノ内宏昭(農研機構)、吉岡太陽(農研機構)、木内信(農研機構)、亀田恒徳(農研機構)、ゲノム情報を利用したカイコ育種の試み、第38回日本生化学会大会合同大会、神戸ポートアイランド(兵庫)、2015/12/01	ポスター発表
2016	国内学会	吉岡太陽(農研機構)、亀田恒徳(農研機構)、田代孝二(豊田工大)、シルク繊維の引き張り過程における構造変化と力学挙動の関係、第65回高分子年次大会、神戸国際会議場(兵庫)、2016/05/25	ポスター発表
2016	国内学会	吉岡太陽(農研機構)、亀田恒徳(農研機構)、田代孝二(豊田工大)、応力ひずみ曲線の異なる二種類のシルクの延伸時構造変化の比較から考えるシルクの構造と物性の関係性、平成28年度繊維学会年次大会、タワーホール船堀(東京)、2016/06/08	口頭発表
2016	国内学会	行弘研司・瀬筒秀樹・鮫島真一・横山 岳・三田村敏正 日本列島に生息するテンサンの系統関係—ミトコンドリアCOI遺伝子上の塩基多型にもとづく解析結果— 日本野蚕学会第22回大会 岩手県盛岡市 2016年10月28日	口頭発表
2016	国内学会	行弘研司・瀬筒秀樹 ヤママユガ科絹糸虫フィブロインのC末側における保存性について 日本野蚕学会第22回大会 岩手県盛岡市 2016年10月28日	口頭発表
2016	国内学会	行弘研司・瀬筒秀樹・鮫島真一・横山 岳・三田村敏正 日本列島に生息するヤママユの系統関係— ミトコンドリア COI 遺伝子上の塩基多型にもとづく解析結果— 日本蚕糸学会第87回大会学術講演会 茨城県つくば市 2017年3月22日	口頭発表
2017	国内学会	行弘研司・瀬筒秀樹・鮫島真一・横山岳・三田村敏正 日本列島に生息するヤママユの地理的分化 第14回昆虫DNA研究会研究集会 千葉県千葉市千葉県立中央博物館 2017年5月13日	口頭発表
2017	国内学会	亀田恒徳(農研機構)、吉岡太陽(農研機構)、田代孝二(豊田工大)、Andreas K. Schaper(ドイツMarburg大学)、クロスβシート構造を持つ素材をシルクで作り出す、第64回日本シルク学会、茨城県つくば市、2017年5月18日	口頭発表
2017	国内学会	吉岡太陽(農研機構)、亀田恒徳(農研機構)、田代孝二(豊田工大)、Andreas K. Schaper(ドイツMarburg大学)、ホーネットシルクの素材化における特異な構造形成、平成29年度繊維学会年次大会、東京、2017年6月7日	口頭発表

2017	国内学会	亀田恒徳(農研機構)、吉岡太陽(農研機構)、ホーネットシルクの素材化と利用、平成29年度繊維学会年次大会、東京、2017年6月7日	口頭発表
2017	国内学会	青木敬生(東京農工大)、亀田恒徳(農研機構)、吉岡太陽(農研機構)、中澤靖元(東京農工大)、組織工学材料への応用を目指した野蚕シルクフィブロインフィルムの構造-物性解析、平成29年度繊維学会年次大会、東京、2017年6月8日	ポスター発表
2017	国際学会	亀田恒徳(農研機構)、吉岡太陽(農研機構)、Fibrous Silk with Coiled Coil Superstructure Produced by the Larvae of Hornets and Its Application to Useful Materials、The 7th Alpach Workshop on: Coiled-Coil, Fibrous and Repeat Proteins、アルプバツハ(オーストリア)、2017年9月6日	口頭発表
2017	国内学会	行弘 研司、梶浦 善太、瀬筒 秀樹、鮫島 真一、三田村 敏正、横山 岳、日本列島に分布するヤマユ、日本列島に分布するヤマユ(Antheraea yamamai)2亜種の遺伝的変異、日本遺伝学会第89回大会、岡山県岡山市北区津島中111岡山大学津島キャンパス、2017年9月13日	口頭発表
2017	国内学会	行弘研司、梶浦善太、瀬筒秀樹、鮫島真一、三田村敏正4、横山岳、ヤママユ(Antheraea yamamai)亜種間の遺伝的多様性、日本野蚕学会第23回大会、東京都世田谷区桜丘1-1-1、東京農業大学、2017年10月7日	口頭発表
2017	国内学会	横井翔(農研機構・生物機能利用研究部門)、次世代シーケンサーやゲノム情報を利用した利用した昆虫研究、2017年度生命科学系学会合同年次大会、2017年12月6日	招待講演
2017	国際学会	Tsunenori Kameda and Taiyo Yoshioka (NARO, Japan). Fibrous silk with coiled coil superstructure produced by the larvae of hornets and its application to useful materials. 8th International Conference on Wild Silk Moths, Guwahati, India, Jan. 22-24, 2018	口頭発表
2017	国際学会	Taiyo Yoshioka and Tsunenori Kameda (NARO, Japan). Synchrotron X-ray analysis revealed a decisive structural difference between Bombyx mori and Muga silks resulting in the different mechanical property. 8th International Conference on Wild Silk Moths, Guwahati, India, Jan. 22-24, 2018	口頭発表
2017	国内学会	吉岡太陽(農研機構)、亀田恒徳(農研機構)、アミロイド線維様・コイルドクロスβ-シートから成る新しいシルク素材、つくば医工連携フォーラム2018、茨城県つくば市、2018年1月26日	ポスター発表
2017	国内学会	横井翔・上柴明也・桑崎誠剛・岡田英二・飯塚哲也・亀田恒徳・山本公子(農研機構・生物機能利用研究部門、JST/JICA-SATREPS)、ddRAD-seq/QTL解析による、繭多収量性に関与するゲノム領域の探索、蚕糸・昆虫機能利用学術講演会、名古屋大学、2018年3月20日	口頭発表
2017	国内学会	奥野正樹(農研機構・SATREPS)、宮本和久(農研機構)、勾坂晶(農研機構)、村上理都子、渡部賢司(農研機構)、亀田恒徳(農研機構)、ケニア産カイコ2品種におけるBombyx mori nucleopolyhedrovirusの経口接種に対する感受性特性調査、平成30年度蚕糸・昆虫機能利用学術講演会-日本蚕糸学会第88回大会-、名古屋大学大学院生命農学研究科、2018/3/20	口頭発表
2017	国内学会	吉岡太陽(農研機構)、亀田恒徳(農研機構)、放射光X線を用いた力学挙動と構造変化の同時測定により分かってきたシルクラシのポイント、平成30年度蚕糸・昆虫機能利用学術講演、名古屋大学(愛知)、2018年3月20日	口頭発表
2018	国内学会	吉岡太陽(農研機構)、亀田恒徳(農研機構)、シルクはなぜ強くて伸びるのか?放射光X線解析で分かってきたシルクラシ、第65回日本シルク学会研究会、群馬大学(群馬)、2018年4月27日	口頭発表
2018	国際学会	吉岡太陽(農研機構)、亀田恒徳(農研機構)、田代孝二(豊田工大)、Structural change and its effect on the mechanical property of silk induced by tensile deformation、The Fiber Society's Spring 2018 Conference、タワーホール船堀(東京)、2018年6月12日	口頭発表
2018	国内学会	吉岡太陽(農研機構)、亀田恒徳(農研機構)、シルクの力学特性における階層構造の役割、平成30年度繊維学会年次大会、タワーホール船堀(東京)、2018年6月13日	口頭発表
2018	国際学会	山ノ内宏昭(農研機構)、Chimerism in mutant woody crops、FAO/IAEA International Symposium on Plant Mutation Breeding and Biotechnology、オーストリア(ウィーン)、2018年8月30-31日	ポスター発表
2018	国内学会	吉岡太陽(農研機構)、亀田恒徳(農研機構)、田代孝二(豊田工大)、放射光X線解析から分かってきたシルクの高タフネス性発現における階層構造の役割、第67回高分子討論会、北海道大学(北海道)、2018年9月13日	招待講演
2018	国際学会	吉岡太陽(農研機構)、亀田恒徳(農研機構)、Relationships between protein amino acid sequence, hierarchical structure and mechanical deformation behaviour of Antheraea assamensis (Muga) silk、The 6th Asia-Pacific Congress of Sericulture and Insect Biotechnology (APSERI-2019)、マイソール(インド)、2019年3月3日	口頭発表
2018	国内学会	奥野正樹、勾坂晶、宮本和久、村上理都子、Mary Mwari(NSRC)、Everlyn Nguku(Icipe)、Muo Kasina(KALRO)、亀田恒徳、ケニア産カイコ品種 ICIPE IIのカイコ核多核体病ウイルス抵抗性に関する遺伝特性調査、日本蚕糸学会第89回大会、東京農工大小金井キャンパス、H31年3月22日・23日	口頭発表
2018	国内学会	勾坂晶、奥野正樹、宮本和久、村上理都子、Mary Mwari(NSRC)、Everlyn Nguku(Icipe)、Muo Kasina(KALRO)、亀田恒徳、カイコ核多核体病ウイルス(BmNPV)のケニア産カイコ品種 ICIPE IIの体内における増殖特性、日本蚕糸学会第89回大会、東京農工大小金井キャンパス、H31年3月22日・23日	口頭発表
2018	国内学会	吉岡太陽(農研機構)、亀田恒徳(農研機構)ミノムシの糸の産業利用の可能性、日本蚕糸学会第89回大会、東京農工大小金井キャンパス、H31年3月22日・23日	口頭発表

招待講演	2 件
口頭発表	24 件
ポスター発表	5 件

VI. 成果発表等

(3) 特許出願【研究開始～現在の全期間】

① 国内出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者 所属機関	関連する外国出願※
No.1													
No.2													
No.3													

国内特許出願数 0 件

公開すべきでない特許出願数 1 件

② 外国出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者 所属機関	関連する国内出願※
No.1	PCT/JP2017/037327	2017/10/16	遺伝子組み換えミノムシ絹糸	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構	C12N 15/09 (2006.01), D01B 7/00 (2006.01), A01K 67/04 (2006.01), D01B 7/06 (2006.01), C07K 14/435 (2006.01)	無					米村真之・ 飯塚哲也・ 中島健一・ 坪田拓也・ 鈴木誉保・ 瀬筒秀樹・ 亀田恒徳・ 吉岡太陽	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 生物機能利用研究部門内	
No.2													
No.3													

外国特許出願数 1 件

公開すべきでない特許出願数 0 件

VI. 成果発表等

(4) 受賞等【研究開始～現在の全期間】

① 受賞

年度	受賞日	賞の名称	業績名等 (「〇〇の開発」など)	受賞者	主催団体	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
2017	2018/1/26	研究奨励賞	Water-stable Samia cynthia ricini silk gland fibroin films for biomedical applications	Kelvin O. Moseti	つくば医工 連携フォー ラム2018	1.当課題研究の成果である	相手国側からの留学生が 当課題研究内容にて受賞

1 件

② マスコミ(新聞・TV等)報道

年度	掲載日	掲載媒体名	タイトル/見出し等	掲載面	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
2017	2017/6/3	信濃毎日新聞	岡谷から繰糸機、ケニアへ	27面(地域)		
2017	2017/9/22	信濃毎日新聞	高原調(コラム欄名)	39面(第一社会面)		

2 件

VI. 成果発表等

(5) ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等の活動【研究開始～現在の全期間】

① ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等

年度	開催日	名称	場所 (開催国)	参加人数 (相手国からの招聘者数)	概要
2016	2017/3/22	「ケニアで野蚕 来た！見た！触れた？」	筑波産学連携支援センター 本館 3 階 B会場(日本)	50人	2016年12月の現地調査で観察することができた2種の非ヤマユガ科野蚕の紹介
2016	2017/3/22	なぜ、今、ケニアで養蚕？	筑波産学連携支援センター 本館 3 階 B会場(日本)	50人	ケニアの経済事情、気候風土と、養蚕に期待する理由、適合性等について
2016	2017/3/22	ケニア養蚕プロジェクトについて	筑波産学連携支援センター 本館 3 階 B会場(日本)	50人	SATREPSについてと、本研究プロジェクトの自身、状況、計画について
2016	2017/3/22	ケニアのクワと改良への試み	筑波産学連携支援センター 本館 3 階 B会場(日本)	50人	SATREPSプロジェクトでのクワジーンバンク構築、クワ選抜・育種についての現状と計画について
2016	2017/3/22	ケニアでの進行状況	筑波産学連携支援センター 本館 3 階 B会場(日本)	50人	土壌調査について
2016	2017/3/22	製糸の現状と今後 in ケニア	筑波産学連携支援センター 本館 3 階 B会場(日本)	50人	NSRCおよびICIPEの製糸体制の今と今後について
2018	2018/8/30	養蚕革命！東アフリカで高品質シルクを開発	東京ビッグサイト 西3ホール(日本)	50人	JSTフェアにて本プロジェクトの概要および得られたデータなどについて紹介

7 件

② 合同調整委員会(JCC)開催記録(開催日、議題、出席人数、協議概要等)

年度	開催日	議題	出席人数	概要
2016	2017/2/17	First Project Technical Committee (PTC) meeting for the 'project for development of sericulture research by applying biological resources and molecular genetics in the republic of Kenya	30人	主要メンバーの自己紹介、プロジェクトの背景、進捗状況、本年の計画
2018	2018/6/26	1ST Sericulture Project Steering Committee (PSC) Meeting	30人	・プロジェクトの進捗報告 ・カウンターパートファンドについて
2018	2019/2/7	Second Project Technical Committee (PTC) meeting for the 'project for development of sericulture research by applying biological resources and molecular genetics in the republic of Kenya	30人	プロジェクトの進捗状況

3 件

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3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・ケニアッタ農工大学

付随的成果

日本政府、社会、産業への貢献	・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	・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	・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人材の育成	・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	・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)	・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。

