

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と利用に資する研究」

研究課題名「高栄養価作物キヌアのレジリエンス強化生産技術の開発と普及」

採択年度：元年度（2019年度）／研究期間：5年

相手国名：ボリビア多民族国

令和2（2020）年度実施報告書

国際共同研究期間*1

2021年6月19日から2026年6月18日まで

JST側研究期間*2

2019年6月1日から2025年3月31日

（正式契約移行日2020年6月3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：藤田 泰成

国際農林水産業研究センター・生物資源・利用領域

プロジェクトリーダー

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	2019年度 (10ヶ月)	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度
1. 遺伝資源の整備とゲノム育種基盤の構築	既存遺伝資源のリスト化	種子増殖と表現型解析	保存系統の決定	遺伝子型決定とデータベース構築	遺伝資源保管システム完成	
1-1. 遺伝資源の収集・整備およびこれを用いた育種基盤の構築	近縁野生種の探索	種子増殖と表現型解析	種子増殖と表現型解析	種子増殖と表現型解析		種子更新プログラム完成
1-2. 遺伝子同定を加速するためのNAM集団の構築		世代促進および親個体の遺伝子型決定	NAM集団(F ₂)の完成	形質調査とデータベース構築	NAM集団保管システム完成	
2. 早生およびレジリエンス強化に関わる育種素材の開発	早生遺伝子の同定	マッピング集団(F ₃)完成	マーカー完成	BC ₂ F ₂ 完成	早生大粒形質の選抜	有用母本の開発
2-1. 早生品種母本の育成		有用形質の評価系の構築	有用生物資源の同定	有用遺伝子の同定	有用遺伝子機能解析	遺伝子の機能説明
2-2. 有用遺伝子の同定と機能説明		形質評価系の完成	遺伝子発現解析と	有用遺伝子同定	有用遺伝子機能解析	
3. 持続的高生産を実現する栽培体系の開発	試験地の決定、現地栽培試験の体制構築	品種×環境相互作用の解析、各栽培体系の持続可能性の評価	環境ごとの問題点の抽出・適正品種の選定	圃場試験の実施(輪作、間作、耕畜連携、土壌侵食防止)		持続可能な栽培技術体系の開発
3-1. 安定多収技術の開発		有用生物資源の探索・評価	有用生物資源の同定	意思決定支援モデル基本骨格の完成	妥当性の検証	意思決定支援システムの完成
3-2. キヌア生産に資する有用生物資源の探索・活用	試験地の決定、現地栽培試験の体制構築					
3-3. 意思決定支援システムの開発	試験地の決定、現地栽培試験の体制構築	意思決定支援モデル構築のためのデータ蓄積				
3-4. 耕畜連携技術の改善	試験地の決定、現地栽培試験の体制構築	未利用資源の飼料化・家畜の栄養状態の検証		モデルサイト(1か所)における実証	糞量・糞の肥料成分、家畜栄養状況の検証	
4. アルティプラノにおける普及ネットワークの構築	モデルサイトの検討	ベースライン調査	SNS普及システムの提案	プラットフォームの形成	普及システムに関する評価	普及システムの改良(プラットフォームの完成)
4-1. 普及システムの開発						
4-2. 普及システムによる農業技術の移転	モデルサイトの検討	ワークショップの開催	ワークショップの開催	SNSによる情報提供ワークショップの開催	SNSによる情報提供ワークショップの開催	普及マニュアルの完成 200戸への技術移転

(2) プロジェクト開始時の構想からの変更点(該当する場合)

特になし

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

令和2年6月2日にR/Dを締結したが、コロナウイルスのパンデミックの影響により、当初予定より大幅に遅れ、翌年の令和3年2月3日になってようやくJICAと国際農研の事業契約が締結された。本事業契約に基づき現地業務調整員が、ボリビアに着任するのは、令和3年6月中旬の予定となっており、当初予定より1年以上遅れてようやくプロジェクトを本格的に開始できる態勢が整いつつある。

この一年、日暮両国ともに、非常事態宣言や外出禁止令などの移動制限が実施され、特に厳しい感染拡大措置が続いたボリビアでは、研究活動を組織的に実施できない状況が長引いた。さらに追い打ちをかけたのは、令和2年9月から11月にかけて、ボリビアのキヌア主産地である高地高原地域が干ばつや低温、季節外れの霜や雹などに見舞われたことである。この複合的で記録的な天候不順による被害により、キヌア栽培は収穫量が激減する大打撃を受けた。そのため、プロジェクト

【令和2年度実施報告書】【210531】

の準備のために大幅に規模を縮小して実施していたキヌア栽培試験も想定通りには進まなかった。このような昨今の気候変動による天候不順の被害を軽減し、持続的な農業体系を確立するためにも、本プロジェクトにより、キヌア栽培のレジリエンス強化技術を開発し普及していくことは、ボリビアの高地高原地域にとって、また、干ばつや砂漠化の影響を受けやすい世界の乾燥地にとって急務であることを改めて実感した。

一方、日本チームも、コロナ禍により国内外の移動や活動の制約を受けたが、国内でできる基盤研究に専念し、本年度中に2つのプレスリリースを行うことができた。まず、令和2年10月14日に国際農研、京都大、JST、JICAなどと共同で「スーパー作物キヌアの多様性を解明～高い環境適応性と優れた栄養特性をもつキヌアの品種改良に期待～」のプレスリリースを行った。この成果は、キヌアの遺伝資源を包括的に遺伝子型・表現型の観点から整理し、キヌアの品種改良に向けて必須となる基盤を確立したものである。また、令和3年3月18日にも、国際農研、京都大、JST、JICAなどと共同で「スーパー作物キヌアの遺伝子機能解明への道を切り拓く～優れた環境適応性や栄養特性の謎を解き、作物開発を加速化～」のプレスリリースを行った。世界で初めて、それまで技術的に大きな壁となっていたキヌア遺伝子の機能を解析する技術を開発したため、注目度が大変高く、論文公表1ヶ月で1,500回を越える論文閲覧回数を記録した。本成果により、過酷な環境に適応し優れた栄養特性を持つキヌアの謎を解き明かし、レジリエンス強化キヌアの開発を加速化する道筋をつけることに成功した。形質転換技術が開発されていない作物の遺伝子機能の解析が可能になった例として、ほかの非モデルの低利用作物（孤児作物）の研究者から特に注目されており、問い合わせや研究材料譲渡の依頼が後を絶たない。対象作物のゲノムを決め（Yasui et al., DNA Res. 2016, 23:533-546）、さまざまな遺伝子型や表現型をもつ、遺伝的に均質な自殖系統を作出して整理し（Mizuno et al., DNA Res. 2020, 27:dsaa022）、その遺伝子機能を解析する系を開発する（Ogata et al., 2021, 12:643499）ことにより、本プロジェクトでは、低利用作物研究の今後のあり方を提示する低利用作物開発のプラットフォームを確立することに成功した。

JST側の研究は、昨年度より進められていたが、本年度、JICA側の研究も開始することになり、ようやく本格的にプロジェクトが始動する。コロナ禍による制約は、しばらく続くことが予想されるため、日暮両国間の人材交流や現地に渡航して行う共同研究が行える可能性は高くはないが、状況に応じて最善を尽くしていく。両国のチームが、それぞれの国で行う研究とリモートで交流しながら行う現地での共同研究の推進により、できるだけ当初の予定通り研究を推進することを目指す。

(2) 研究題目1：「遺伝資源の整備とゲノム育種基盤の構築」

京都大学（リーダー：安井康夫）

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

研究題目1では1-1) 遺伝資源の収集・整備およびこれを用いた育種基盤の構築、および1-2) 遺伝子同定を加速するためのNAM集団の構築について以下のように実施し、成果を得た。

1-1) 遺伝資源の収集・整備およびこれを用いた育種基盤の構築

昨年度の報告書にも記したように、これまでにキヌアの近縁野生種アハラ（ajara, *Chenopodium*

【令和2年度実施報告書】【210531】

quinoa ssp. melanospermum) がウユニ塩湖周辺に多数生育していることを確認できていた。過去の文献からアハラの種内変異に関する情報を調査したところ、アロザイムの遺伝子座あたりの対立遺伝子数、および多型遺伝子座の割合がキヌアよりも高いことがわかった (Economic Botany, 1981, 42: 478-494)。現在ではボリビアにおいてもキヌアの品種育成が進んでおり、在来品種の収集が困難になっている。このため、キヌアと交雑可能であり、なおかつ変異量の多いアハラは貴重な遺伝資源となると分かった。

遺伝資源の収集後には全ゲノム解読を実施する予定である。このため、詳細なゲノム比較 (ゲノムスキャン) に必要なプログラムを遺伝研のスーパーコンピューターにインストールし、プラットフォームを構築した。遺伝研のスーパーコンピューターには外国人の共同研究者もアクセスできるため、今回構築したゲノムスキャンのプラットフォームをボリビア側からも利用できる。また、サン・アンドレス大学(UMSA)に設置予定のサーバーにも同様のプラットフォームを構築する予定である。

本年度は日本からの渡航、および現地での研究者の活動が制限されたために、予定していた収集作業を実施できなかった。しかしながら、上記のように情報収集およびゲノムスキャンのプラットフォームを構築することにより、次年度以降の遺伝資源の収集、および遺伝資源を用いた育種基盤の構築を進めることができた。

1-2) 遺伝子同定を加速するための NAM 集団の構築

ボリビアでの交配実験が不可能であったため、日本国内で米国農務省(USDA)のサンプルを用いた NAM 集団の育成を実施した。キヌア個体は雌性花と両性花を有する雌性両性同株であり、部分他殖性を示す。このため、USDA において遺伝資源として保存されているキヌア系統内には遺伝的多型が見られ、その遺伝的バックグラウンドが一樣ではない場合が見られる (Plant Genome, 2011, 4:1-10)。このため遺伝的分化の程度および表現型の差異を系統間で評価することが困難であった。そこで国際農研を中心として系統間の評価を可能とするため、USDA から入手したキヌアの単一種子から自殖系統 (合計 136 系統) を作成した。さらにこれら 136 系統を対象とした genotyping-by-sequencing 法によるジェノタイピングを実施し、5,753 個の一塩基多型 (SNP) を検出することができた。これら SNPs を用いた集団構造解析の結果、作成した自殖系統を北部高地型 (NH)、南部高地型 (SH) および低地型 (L) の 3 つの遺伝的に分化したグループに分類することができた。また本課題で作成する NAM 集団の固定親である J100 系統がウユニ塩湖周辺で栽培される典型的な南部高地型であることを確認できた。さらに SH および L グループの系統は、高塩ストレス溶液 (600 mM NaCl) でも発芽し、NH グループよりも発芽時の耐塩性が高いことを明らかにした。これらは国際農研との共同研究として実施し、その結果を論文化するとともに国際農研よりプレスリリースを行った。

本年度はボリビアに渡航できなかったため、上記のように国内で利用可能なキヌア系統の集団構造解析を実施した。現在までに育成を進めている NAM 集団の親系統の遺伝的背景をゲノムワイドで明らかにできた点は大きな進展であったと考えている。また、本年度は日本国内での NAM 集団の育成を進め、合計 1,291 系統において F₃ もしくは F₄ 世代を得ることができた。

②研究題目1のカウンターパートへの技術移転の状況

特になし。

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

特になし。

④研究題目1の研究のねらい(参考)

研究題目1ではキヌアの遺伝資源を整備し、ゲノム育種基盤の構築を目指す。

⑤研究題目1の研究実施方法(参考)

研究題目1では「1-1) 遺伝資源の収集・整備およびこれを用いた育種基盤の構築」と「1-2) 遺伝子同定を加速するための NAM 集団の構築」を実施する。1-1) では 300 系統を目標としてキヌアおよびその近縁野生種を収集し、持続可能な遺伝資源保管システムを構築する。また保存系統の遺伝子型と表現型を実装したキヌア遺伝資源統合データベースを構築する。1-2) では、消費者に人気のある大粒品種を軸とした NAM 集団を育成することにより、迅速な遺伝子同定と育種素材開発の基盤を構築する。

(3) 研究題目2: 「早生およびレジリエンス強化に関わる育種素材の開発」

国際農林水産業研究センター(リーダー: 永利友佳理)

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

研究題目2では2-1) 早生品種母本の育成、および2-2) 有用遺伝子の同定と機能解明について以下のように実施し、成果を得た。

2-1) 早生品種母本の育成

日暮双方のチームにおいて個別に、早生品種母本の育成を進めている。日本チームで進めている早生系統と大粒系統の交配により作製した RIL 集団について、本年度は国際農研の栽培施設において世代促進を実施した。約 250 の系統において、F₃ から 2 世代の世代を回し、ゲノムおよび形質解析に必要な F₅ 世代の種子を得た。また、F₃ および F₄ 世代の開花時期や収穫時期などの主要な形質を整理し、F₅ 世代における詳細な解析に必要な情報を得た。ボリビアにおいては、プロインパ財団 (PROINPA) のビアチャ圃場において親世代と F₁ の育成および表現型解析を実施する予定であったが、本年度は日本からの渡航、および現地での研究者の活動が制限されたため、予定していた栽培および解析を実施することができなかった。一方で、日本側において、当初の計画を上回り RIL 集団の世代を進め、それらの形質に関する予備的な情報を蓄積できたため、次年度以降にボリビアで得られるデータ解析などを効率的に進めることができると考えている。

2-2) 有用遺伝子の同定と機能解明

本年度は、昨年度に引き続き有用遺伝子の同定に必要な評価系の構築に取り組んだ。塩ストレス

に対するキヌアの遺伝子発現応答を経時的に解析するため、栽培条件および適切なサンプリング時期などを検討した。その結果、世界の主要なキヌア系統（NH型、SH型、L型）について、塩処理時における遺伝子発現の比較解析が可能な栽培系を構築した。

さらに、令和3年度の計画を前倒しして、キヌアの高いストレス耐性や栄養価に関連する有用遺伝子の機能を解析するための遺伝子解析技術を確立した。リンゴ由来の無害なウイルスであるリンゴ小球形潜在ウイルス（ALSV）をウイルスベクターとして用いることにより、キヌアの遺伝子の機能が抑制され、遺伝子機能解析が可能になることを示した。また、ウイルスベクターによる遺伝子機能抑制技術は、世界の主要な3種類のキヌア系統であるNH型、SH型およびL型から選んだ19の自殖系統のすべてにおいて、幅広く適用できることを明らかにした。これまで有用な遺伝子機能の解析技術がなかったキヌアにおいて、ALSV法による遺伝子機能の解析技術を開発したことにより、キヌアの優れた栄養特性や高い環境適応性を支える分子機構の解明が可能になり、今後の有用な形質を持つキヌア品種の開発の効率化につながると考えている。

②研究題目2のカウンターパートへの技術移転の状況

特になし。

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

コロナ禍の対策として実施されている外出制限などにより、予定していた栽培やゲノム抽出に遅れがでている。

④研究題目2の研究のねらい（参考）

有用系統、有用遺伝子単離に向けた評価系の構築とそれを用いた有用遺伝子の同定、遺伝子機能解析を通して、耐乾性、耐塩性、耐冷性および耐病性などを付与したレジリエンス強化キヌア品種の育成を加速化する。

⑤研究題目2の研究実施方法（参考）

2-1) 早生品種母本の育成については、ボリビア側、日本側の両研究機関で、それぞれ有用品種作出を進める。

2-2) 有用遺伝子の同定と機能解明については、ボリビア現地品種の遺伝子解析は、GWASなどの技術を用いて連携をとりながらボリビア側で遺伝子機能解析を進める。遺伝子のメカニズムの解明や同定などは、国際農研が中心となって必要な栽培系や解析系を確立し、研究を進める。

(4) 研究題目3：「持続的高生産を実現する栽培体系の開発」

東京農工大学（リーダー：桂圭佑）

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

本年度は、現地におけるキヌアの生産性制限要因の解明のための農家圃場調査、現地キヌア品種の作物生理的特性の解明、持続的作付体系、耕畜連携技術、意思決定支援システムの開発のための

圃場試験の実施を行う予定であったが、コロナ禍の影響でいずれについても現地での活動は実施できなかった。

②研究題目3のカウンターパートへの技術移転の状況

今年度は特に技術移転は行っていない。

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

キヌアは一筆の圃場内でも生育ムラが大きく、精確な農業生産上の統計データを取得することが難しいことをカウンターパートとの共通認識として持っていた。しかし、国内で行った水稻を対象にした試験により、UAV 空撮画像と深層学習を組み合わせることで、簡便に圃場ごとの生育を推定できる手法を確立できた。この技術は現地のキヌアの収量推定にも応用できるものである。現地での収量調査は非常に労力を要するため、是非この技術を現地に実装したい。

国内の取り組みとして、アルパカの血液中及び糞中のプロジェステロン濃度を計測し、妊娠鑑定に必要な基本情報を収集した。これらの情報を次年度以降に現地で応用することを検討したい。

④研究題目3の研究のねらい（参考）

Viacha 圃場（ラパス県ピアチャ市）における品種比較試験により、キヌアの品種特性の整理を行うとともに、Chacala（ポトシ県ウユニ市チャカラ地区）および Umala（ラパス県ウマラ市）で実際の農家圃場においてキヌアの生産性制限要因の解明を行うことにより、それぞれの環境での生産性制限要因の解明と、生産性向上のための育種戦略を提案する。品種比較試験では、分光反射特性によるキヌアの生育予測モデルの開発も併行して行うことにより、衛星データからキヌアの実産性の予測を行うモデルの開発につなげる。Chacala において土壌浸食の抑制技術として生垣に活用できる生物資源を探索・選抜し、生垣の効果を検証する実験系を構築する。また、同じく Chacala では土壌肥沃度の維持を目的として、マメ科作物のルピナスの作付体系への導入を図る。また、乾燥地に適応しているリヤマにキヌアの茎や葉などの収穫残渣を与え、一方でリヤマの糞尿をキヌアの栽培に活用することで、耕畜連携の改善を図る。

⑤研究題目3の研究実施方法（参考）

農家圃場の調査では Umala および Chacala の2つの集落を対象に作付前、あるいは直後に土壌サンプルを採集し、土壌物理化学性を分析する。また、農家に聞き取り調査を実施するとともに収穫期に収量調査を行うことにより、収量制限要因の解明を行う。収量調査時には UAV を用いて空撮も行う。品種比較試験では、基本的な生育・収量調査とあわせて、分光反射特性からキヌアの生育（バイオマス、葉面積指数）を予測するモデルを開発する。衛星データの分光反射特性と統合することにより、衛星データからキヌアの生育の予測を試みる。

持続的な作付体系の開発に向けては、休閑期間中あるいはキヌア作付期間中にマメ科作物導入の効果を検証する栽培試験を実施する。現地の植生を用いた生垣の風食防止効果の検証については、ドローンを用いた調査態勢を確立する。有用な生物肥料や生物農薬についてはまずは UMISA および PROINPA の実験室内で選抜を行い、3年目以降にポット試験や圃場試験でこれら有用生物肥料

の効果の検定を行う。

耕畜連携に関しては、ボリビア国内の白色担子菌をキヌアの茎や葉などの収穫残渣に接種し、茎や葉のリグニン分解を促進することにより、飼料価値の向上を目指す。リヤマの飼養量の改善を図ることで、耕地に投入できる堆肥量の増加を目指す。3年目以降にポット試験や圃場試験でこれら有用生物肥料の効果の検定を行う。

(5) 研究題目4：「普及ネットワークの構築」

帯広畜産大学（リーダー：藤倉雄司）

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

本年度の計画において、技術普及のモデルサイトにラパス県ウマラ、ポトシ県ウユニ市チャカラ地区の2サイトを決定した。具体的な普及方法として、モデルサイトにおけるワークショップの開催を行い、あらたに SNS による情報発信を連携させたプラットフォームを形成する予定であったが、コロナ禍でこれらの活動は実施できなかった。2020年には、ベースライン調査を計画していたが、コロナ禍で実施できなかった。一方で、日本国内では、キヌアに関する市場調査を実施し、将来的なボリビアキヌアの販売に向けた基礎調査とした。2021年からは、1年遅れで現地での調査を再開する予定である。ベースライン調査を実施する農家と課題3で調査する農家を統一し、多面的評価に繋げる予定である。

今年度、ボリビアにおける調査が実施できなかったことから、日本国内のキヌアの食に関する意向を調査した。全国の20～60代を対象にインターネットアンケート調査を実施し、スクリーニング調査を経て、「雑穀の認知及び食経験」がある回答者を対象に本調査を実施した。

回答1,062件のうち、キヌアの認知は5割程度、食経験は3割にも満たない。近年では、一般的なスーパーマーケットでもキヌアの販売が見られるが、他の雑穀と比較してもあまり消費者の関心が高いとは言えない。女性、若年齢、雑穀に「健康」というイメージを持っている場合、キヌアの認知や消費につながっていることがわかった。これは、近年若い世代を中心に「スーパーフード」という用語が注目されていることに起因すると考えられた。キヌアはアレルギー代替食品といわれているが、「穀物＝アレルギー」としてイメージがある回答者ほどキヌアに関心を示していた。今後、日本における消費拡大を進めるには、これらのイメージ以外の戦略が必要と考えられた。

②研究題目4のカウンターパートへの技術移転の状況

今年度は、具体的な技術移転は実施していない。

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

特になし。

④研究題目4の研究のねらい（参考）

これまでのボリビアにおける普及方法は、農業者を集めてワークショップを行う方法が一般的である。本プロジェクトでは、これに加えて SNS による情報発信を行うことで、多面的な情報発信

によるネットワークの構築を目指していく。

⑤研究題目4の研究実施方法（参考）

コロナ禍により日本からの渡航が難しい状況にあるなか、現地のカウンターパートによるベースライン調査の実施を検討する。次年度以降、スマートフォンの通信容量、料金形態などを調査し、SNSの活用方法手順を整理する。また、コロナウイルスの状況を見ながら農家対象のワークショップを開催し、技術移転可能な事項から順に情報発信を行う。SNSと対面による技術移転の両面から情報発信する体制を構築する。

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）

令和2年10月18日（ボリビア時間）に、法の支配と民主主義を遵守する形でボリビア大統領選が実施され、前長期政権を継承する左派のルイス・アルセ大統領が選出された（外務省）。また、それに続く一連の地方自治体の選挙も混乱なく実施され、現在、政治的には安定している状況である。コロナ禍でなければ、渡航して現地活動を行う条件は整っている。

前年度と異なり、世界的に予防接種が開始され、コロナウイルスへの積極的な対応が始まっている。しかしながら、日本やボリビアのみならず渡航時に経由する国のコロナウイルスのパンデミックが沈静化する目はたっておらず、渡航や現地活動が本格的に再開できる時期を見通すのは、たいへん難しい状況にある。そのため、前年度に引き続き、日本チームは、国内でできるかぎり当初予定以上に基盤研究を進め、ボリビアでの活動の遅れを埋め合わせることを計画している。具体的には、派遣予定であったプロジェクトメンバーや特別研究員を国内基盤研究の推進に振り向け、キヌアのゲノム育種や世代促進、遺伝型・表現型解析などの研究を強力に推進することにより、この想定外の事態の長期化による国際連携プロジェクト活動の制約や遅延に対応する。

一方で、本稿執筆時点では、前年度と比べて、ボリビア国内の移動制限が大幅に緩和されているため、ボリビアにおいても、可能な範囲で研究を実施していく予定である。令和3年度中に日本チームが渡航できる可能性は低いかもしれないが、ボリビア国内の移動制限の大幅緩和の状況が今年度秋以降のキヌア栽培時期においても続くようであれば、リモートで日本チームと連絡を取りながら、ボリビアチームだけで現地研究をある程度推進することが可能である。日本チームが渡航できず、リモートでの情報交換をベースにできるプロジェクトを見きわめ、コロナの状況に応じて、研究を進めていく。

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

本国際共同研究プロジェクトを遂行する上で、日本チームとボリビアチームの共同研究体制や信頼関係をどのように構築し熟成していくのかは、たいへん重要なポイントである。本年度は、日本側代表機関の国際農研の理事長が新たに就任したため、その挨拶状をサン・アンドレス大学（UMSA）の新学長と新副学長（令和3年5月就任）およびPROINPAの新ゼネラルマネージャー（令和2年7月就任）らに送付し、共同研究機関間のトップレベルでの交流を図った。また、令和2年6月には、本SATREPSプロジェクトの立ち上げに尽力されたPROINPA前ゼネラルマネ

【令和2年度実施報告書】【210531】

ージャーが急逝されたが、日本チームも生前の彼の功績と栄誉をたたえ、両国チームで弔意を示した。今後とも、日暮双方の機関の関係を深めるため、交流や信頼関係を促進するさまざまな取り組みを行っていく。

(2) 研究題目 1 : 「遺伝資源の整備とゲノム育種基盤の構築」

京都大学（リーダー：安井康夫）

研究題目 1 では現地での植物採集、圃場での形質調査、PROINPA での種子保存、UMSA での分子遺伝学実験と多岐にわたる作業が必要となり、多くの研究者が重要な役割を担うことになる。このため、昨年度にボリビアに渡航した際には、実施予定事項のフレームをスライドにまとめ、会議で逐一実施予定事項の確認を取るようにした。また、スライドに関しては、会議のその場で相手国の研究者と合意をとりつつ修正を行なった。コロナ禍により本年度はボリビアで活動できなかったが、活動できる状況になれば合意した予定に従って研究を進めることができる。今後もコロナ禍によりが大きく制限されると考えられるため、日本国内においても推進できるプロジェクト項目を精査する必要があると考えている。

(3) 研究題目 2 : 「早生およびレジリエンス強化に関わる育種素材の開発」

国際農林水産業研究センター（リーダー：永利友佳理）

研究題目 2 では、遺伝資源を用いた解析も実施することを予定している。そのため、令和 2 年 3 月に、ボリビアでの遺伝資源のアクセスに必要な研究許可証 (Research Permit) の内容を協議し、UMSA から環境水資源省 (MMAyA) に申請書を提出した。しかしながら、政権交代により、令和 3 年 1 月に新しい担当部長が着任し、申請書を再提出する予定となっている。これらの制限下においても研究を効率的に進めるため、本課題では、日暮双方のチームにおいて個別に有用品種母本の育成を進める計画を立てている。コロナ禍により本年度はボリビアでの活動を進めることができなかったが、日本チームにおける活動を前倒しして先に進めることができ、来年度以降ボリビアチームへの情報提供や効率的な研究計画の提案が可能になると考えている。

(4) 研究題目 3 : 「持続的高生産を実現する栽培体系の開発」

東京農工大学（リーダー：桂圭佑）

研究題目 3 では現地の圃場や農家圃場を使った試験を行う必要があるため、事前に相手国側のカウンターパートと調整をし、試験について十分な共通認識を持つておく必要がある。また、カウンターパートが農家のコミュニティーとのネットワークを構築していることが必要である。今回は PROINPA および UMSA とも、上記のこれらの条件を満たしていたので、これらの点に問題はなかった。

一方で、コロナ禍は今後も継続すると考えられる。オンライン会議などを積極的に活用するなどして、カウンターパートと密に連絡を取りながら、日本人研究者不在であっても実施可能な栽培試験は実施していくことも考える必要がある。

(5) 研究題目 4 : 「普及ネットワークの構築」

帯広畜産大学（リーダー：藤倉雄司）

コロナ禍の影響でフィールドワークに制限がかかっていることから、普及を目的とした計画が滞っている状況である。この対応として、SNSの活用方法を検討していきたい。

IV. 社会実装（研究成果の社会還元）（公開）

(1) 成果展開事例

該当事例なし。

(2) 社会実装に向けた取り組み

該当事例なし。

V. 日本のプレゼンスの向上（公開）

令和3年3月24日に京都大学国際科学イノベーション棟で開催された山岡記念財団第4回科学技術講演会「持続可能な社会に向けた食と農業のありかた～地球温暖化が植物に与える影響～」において、「植物科学で地球温暖化に挑む～持続可能な食料生産を目指して～」という演題で、研究代表者藤田が、本研究プロジェクトでの取り組みも含めてオンライン・オンサイト併用で基調講演を行った。本シンポジウムでは、ドイツ連邦共和国総領事館マルティン・エバーツ総領事が来賓として出席され、日独の研究者の基調講演の後、パネルディスカッションを行った。総領事からは、本プロジェクトへの取り組みへの期待感の表明があった。

VI. 成果発表等【研究開始～現在の全期間】（公開）

別添資料参照

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】(公開)

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。)
2019	Yasui, Y. (2020) History of the progressive development of genetic marker systems for common buckwheat. <i>Breeding Science</i> 70(1), 13-18.	doi.org/10.1270/jsbbs.19075	国際誌	発表済	
2019	Matsui, K., Yasui, Y. (2020) Buckwheat heteromorphic self-incompatibility: genetics, genomics and application to breeding. <i>Breeding Science</i> 70(1), 32-38.	doi:10.1270/jsbbs.19083	国際誌	発表済	
2020	Matsui, K., Yasui, Y. (2020) Genetic and genomic research for the development of an efficient breeding system in heterostylous self-incompatible common buckwheat (<i>Fagopyrum esculentum</i>). <i>Theor. Applied Genet.</i> 133(5), 1641-1653.	doi.org/10.1007/s00122-020-03572-6	国際誌	発表済	
2020	Mizuno, N., Toyoshima, M., Fujita, M., Fukuda, S., Kobayashi, Y., Ueno, M., Tanaka, K., Tanaka, T., Nishihara, E., Mizukoshi, H., Yasui, Y., Fujita, Y. (2020) The genotype-dependent phenotypic landscape of quinoa in salt tolerance and key growth traits. <i>DNA Res.</i> 27(4), 1-20.	10.1093/dnares/dsaa022	国際誌	発表済	
2020	Imamura, T., Yasui, Y., Koga, H., Takagi, H., Abe, A., Nishizawa, K., Mizuno, N., Ohki, S., Mizukoshi, H., Mori, M. (2020) A novel WD40-repeat protein involved in formation of epidermal bladder cells in the halophyte quinoa. <i>Commun. Biol.</i> 3, 513.	10.1038/s42003-020-01249-w	国際誌	発表済	
2020	Ogata, T., Toyoshima, M., Yamamizo-Oda, C., Kobayashi, Y., Fujii, K., Tanaka, K., Tanaka, T., Mizukoshi, H., Yasui, Y., Nagatoshi, Y., Yoshikawa, N., Fujita, Y. (2021) Virus-mediated transient expression techniques enable functional genomics studies and modulations of betalain biosynthesis and plant height in quinoa. <i>Front. Plant Sci.</i> , fpls.2021.643499	10.3389/fpls.2021.643499	国際誌	発表済	
2020	Yamaguchi, Y., Tanaka, Y., Imachi, Y., Yamashita, M., Katsura, K. (2021) Feasibility of combining deep learning and RGB images obtained by unmanned aerial vehicle for leaf area index estimation in rice. <i>Remote Sensing</i> 13, 84.	10.3390/rs13010084	国際誌	発表済	

論文数 7 件
 うち国内誌 0 件
 うち国際誌 7 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
2020	永利友佳理 (2020) キヌアのミステリーで世界を救う、広報JIRCAS Vol. 6、pp.8-11、国際農林水産業研究センター		広報誌	発表済	
2020	藤田泰成 (2020) 高栄養価作物キヌアのレジリエンス強化生産技術の開発と普及、JIRCAS NEWS No.89、p. 10、国際農林水産業研究センター		広報誌	発表済	
2020	永利友佳理 (2020) 早生およびレジリエンス強化に関わる育種素材の開発、JIRCAS NEWS No.89、p. 11、国際農林水産業研究センター		広報誌	発表済	

著作物数 3 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】(公開)

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
2020	国際学会	藤田泰成(国際農研)、植物科学で地球温暖化に挑む～持続可能な食料生産を目指して～、山岡記念財団「第四回科学技術講演会」、2021年3月24日、京都(オンライン同時開催)	招待講演

招待講演 1 件
口頭発表 0 件
ポスター発表 0 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
2019	国際学会	Nagatoshi Y (JIRCAS), Fujita M (RIKEN), Fujita Y. (JIRCAS), The opposite roles of Protein kinase CK2 α and β subunits in ABA signaling in Arabidopsis. Plant, Cell & Environment 40th Anniversary Symposium, Sep 4-6, 2019, Glasgow, Scotland	ポスター発表
2019	国内学会	藤田泰成(国際農研)、孤児作物の活用による持続可能性の向上: 過酷環境に耐える高栄養価作物キヌアの謎に迫る、植物科学シンポジウム2019、2019年12月11日、文京区	招待講演
2019	国内学会	藤田美紀(理研)・菊池沙安(理研)・豊島真実(国際農研)・藤田泰成(国際農研)・七夕高也(かずさDNA研究所)・篠崎一雄(理研)、自動フェノタイプングシステム "RIPPS" の新機能開発とプラットフォームの構築、第61回日本植物生理学会年会、2020年3月19-21日、大阪	口頭発表
2019	国内学会	惠木徹(帯広畜産大学)・花田正明(帯広畜産大学)・藤倉雄司(帯広畜産大学)・西田武弘(帯広畜産大学)・福岡直希(帯広畜産大学)・Njolomba Joshua(帯広畜産大学)・山川政明(道総研畜試)、低温培養条件下におけるキヌア茎に対する白色担子菌処理効果、第76回日本草地学会発表会、2020年3月24日-25日、静岡	口頭発表
2019	国内学会	永利友佳理(国際農研)・藤田泰成(国際農研)、CO2供給人工気象器を用いたダイズの世代促進技術の開発、第249回日本作物学会講演会、2020年3月26-27日、つくば	ポスター発表
2019	国内学会	永利友佳理(国際農研)・藤田泰成(国際農研)、CO2供給人工気象器を用いたダイズの世代促進技術の開発、第137回日本育種学会講演会、2020年3月28-29日、文京区	ポスター発表
2020	国内学会	小林安文(国際農研)・水野信之(京大)・豊島真実(国際農研)・藤田美紀(理研)・安井康夫(京大)・藤田泰成(国際農研)、キヌア系統の遺伝子型と塩耐性形質の俯瞰的解析、第62回日本植物生理学会、2021年3月14-16日、松江(オンライン開催)	口頭発表
2020	国内学会	藤田美紀(理研)・菊池沙安(理研)・豊島真実(国際農研)・水野信之(京大)・安井康夫(京大)・藤田泰成(国際農研)・篠崎一雄(理研)、自動フェノタイプングシステムRIPPSおよび温室栽培によるキヌア自殖系統の表現型解析、第62回日本植物生理学会、2021年3月14-16日、松江(オンライン開催)	口頭発表
2020	国内学会	永利友佳理(国際農研)、過酷環境に耐える高栄養価作物キヌアで気候変動に立ち向かう、日本熱帯農業学会第129回講演会、2021年3月16-17日、オンライン開催	招待講演
2020	国内学会	小林安文(国際農研)・水野信之(京大)・豊島真実(国際農研)・藤田美紀(理研)・福田将太(鳥取大)・上野まりこ(京大)・田中孝二郎(アクトリー)・田中努(アクトリー)・西原英治(鳥取大)・水越裕治(アクトリー)・安井康夫(京大)・藤田泰成、網羅的なキヌア自殖系統における遺伝的多様性と塩耐性および農業形質の多様性評価、日本育種学会第139回講演会、2021年3月19-21日、オンライン開催	口頭発表
2020	国内学会	洪美礼(東京農工大)・豊島真実(国際農研)・小林安文(国際農研)・藤田泰成(国際農研)・桂圭佑(東京農工大)、キノアの塩ストレスに対する反応性の遺伝グループ間差異に関する研究、日本作物学会第251回講演会、2021年3月29-30日、オンライン開催	ポスター発表

招待講演 2 件
口頭発表 5 件
ポスター発表 4 件

VI. 成果発表等

(3) 特許出願【研究開始～現在の全期間】(公開)

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 0 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													
No.2													
No.3													

外国特許出願数 0 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】(公開)

①受賞

年度	受賞日	賞の名称	業績名等 (「○○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
2019	2019.11.19	2019年度 高被引用論文著者(「植物・動物学」分野)	Web of Scienceの論文データに基づき、論文の被引用数による上位1%論文著者に授与される	藤田泰成	クラリベイト・アナリティクス社	3.一部当課題研究の成果が含まれる	
2020	2020/11/19	2020年度 高被引用論文著者(「植物・動物学」分野)	Web of Scienceの論文データに基づき、論文の被引用数による上位1%論文著者に授与される	藤田泰成	クラリベイト・アナリティクス社	その他	

2 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
2019	2019.5.31	科学新聞	途上国のニーズに対応 地球規模課題解決視野	6面	1.当課題研究の成果である	
2019	2019.6.27	La Catedra UMSA	Proyecto sobre la quumua y la seguridad alimentaria	7面	1.当課題研究の成果である	
2019	2019.7.25	TV局2社 (Contacto UMSA Television, TVU)	SATREPS課題に関する取材		1.当課題研究の成果である	
2019	2020.3.9	UMSA Television	CRA調印式を前に岩永理事長への取材		1.当課題研究の成果である	
2019	2020.3.18	JIRCASホームページ	ウユニ塩湖のキヌア – 「スーパーフード」孤児作物研究の意義	https://www.jircas.go.jp/ja/program/program_d/blog/20200318	1.当課題研究の成果である	国際農研の情報収集・提供プログラムがホームページに掲載する「Pick Up」No.4に取り上げられた。
2019	2020.3.19	JIRCASホームページ	ポリビアのサン・アンドレス大学(UMSA)とPROINPAとの共同研究に係る共同研究契約書(CRA)を調印	https://www.jircas.go.jp/ja/reports/2019/r20200319	1.当課題研究の成果である	
2020	2020/10/13	日本農業新聞	キヌアに多様性 品種の改良期待	11面	1.当課題研究の成果である	
2020	2020/10/14	JIRCAS等ホームページ(プレスリリース)	スーパー作物キヌアの多様性を解明 – 高い環境適応性と優れた栄養特性をもつキヌアの品種改良に期待 –		1.当課題研究の成果である	

8 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】(公開)

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)	公開/ 非公開の別	概要

0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

0件

成果目標シート

研究課題名	高栄養価作物キヌアのレジリエンス強化生産技術の開発と普及
研究代表者名(所属機関)	藤田泰成(国際農林水産業研究センター)
研究期間	2019年度採択(2019年6月1日-2025年3月31日)
相手国名/主要相手国研究機関	ボリビア多民族国/サン・アンドレス大学、PROINPA財団
関連するSDGs	2.4 レジリエントな農業生産体系を基盤とした持続可能な食料生産システムの確保 2.5 近縁野生種も含めた遺伝的多様性の維持 15.3 砂漠化への対処と劣化した土壌・土地の回復

成果の波及効果

日本政府、社会、産業への貢献	ボリビア政府が進める高地民族への支援に貢献
科学技術の発展	作物栽培限界地における農業生態系の保全(生物多様性の保全)
知財の獲得、国際標準化の推進、遺伝資源へのアクセス等	レジリエンス強化に寄与するキヌアの有用遺伝資源に関する知財獲得とボリビアでのキヌア品種登録
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や国際学会、査読付き国際学術論文へ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	ボリビアにおけるレジリエンス強化品種開発体制の整備
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	キヌア育種マニュアル、耕畜連携マニュアル、野草育苗マニュアル、査読付き国際共著論文(25報)

上位目標

開発技術が世界各地に普及し、キヌア生産が飢餓や栄養不良の削減に貢献する

農業生態系のレジリエンス強化と持続的管理のための技術が開発され、その普及を通して持続可能なキヌア生産が行われる

プロジェクト目標

地球規模で急激に増加する砂漠化の影響を受けやすい乾燥地域における持続可能な農業生態系の保全と管理を基盤としたキヌアのレジリエンス強化生産技術が開発され、技術普及のための基盤整備を行う

