

地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)

研究課題別中間評価報告書

1. 研究課題名

アラル海地域における水利用効率と塩害の制御に向けた気候にレジリエントな革新的技術開発
(2022年7月～2027年7月)

2. 研究代表者

2-1. 日本側研究代表者：田中 賢治 (京都大学 防災研究所 教授)

2-2. 相手国側研究代表者：Xabibullaev Baxitjan Sagidullaevich

(アラル海流域国際イノベーションセンター(IICAS) センター長)

3. 研究概要

本研究は、長年にわたる綿花などの灌漑農業による大量取水により縮小したアラル海周辺において、塩性化した土壌や地下水でも生育可能な塩生植物の資源価値を探り、限界地の小規模集落でも持続的に農業を営める技術およびビジネスモデルを内部循環型塩生農業 (Circular Halophytes Mixed Farming: CHMF) として開発・展開することを目的とする。長期間の気候データや地球観測衛星情報を用いた水循環解析を通じて、対象地域の利用可能な水資源量、蒸発散量や作物生育の状況を把握し、それらを日々の農業生産管理の実務に活用していく中で、今後想定される気候変動への適応能力を向上させる。また、塩害の進行を防ぐための灌漑排水管理、塩害が進行した土地における塩生植物の積極栽培による修復、および塩生植物の利活用を通じた、生産的で持続可能な農業を実現するために、塩分や乾燥に対する耐性や土壌塩分の除去能力、水利用効率の観点から最適な作物種の組み合わせを提案する。これにより、気候変動対策と農地塩分管理を体系的に実践教育する塩生農業の研究教育拠点を現地に構築する。

本研究では、上記目標を達成するために以下の6つの研究項目が設定されている。

研究項目1：準実時間日射量データ

研究項目2：砂嵐発生予警報システム

研究項目3：水資源量評価

研究項目4：作物生産と灌漑排水

研究項目5：塩生農業

研究項目6：塩生農業の研究教育拠点

4. 評価結果

総合評価：A-

(所期の計画とほぼ同等の取組みが行われ、一定の成果が期待できる。)

国際的な関心が高く、対象地域を含め広い範囲の環境と社会活動に大きな影響を与えている課題に対して、統合された科学的知見と人材育成によって解決策を見出そうとする挑戦的研究を行っている点が高く評価できる。準実時間日射量データ、砂嵐発生予警報システム、塩生植物などの研究開発において科学的な新規性があり、今後の研究成果が期待される。コロナ禍による制約や円安による機材費の高騰などの影響により、現地渡航開始や機材供与に遅れが生じているが、土壌水分・塩分モニタリングシステムなどの供用機材は、現地で稼働し始めており、これまでウズベキスタンでは取得できなかったデータが取得され始めている。また、本研究で構築を計画している塩生農業開発教育プラットフォーム（SADEP）は、SATREPS 終了後も相手国側機関の IICAS などによって維持される見込みであり、相手国側の継続的な人材育成に貢献することが期待される。

しかしながら、個々の研究題目で得られる優れた研究成果をどう統合していくかについて、社会実装へ向けた道筋が不明瞭である。塩害制御や水利用技術の効率化による新しい農業モデルを構築していくというよりも、水文情報づくりに目標の焦点が当てられているような印象があり、開発される技術の方向性・実装のイメージが確立されていない。例えば、衛星データからの情報を基に、どう水利用を効率化するか、塩性農業の空間的配置を決めるか、といった統合的成果創出への道筋が見えていない。ステークホルダー会議等の計画もあまり進んでいるようには見えず、成果の実証・価値の継続的創出については課題がある。そのため、早急にプロジェクト内での議論を行い、研究レベル、データ集約レベル、組織的連携レベルでの統合化などの道筋を示す必要がある。また、日本側で研究成果が得られていることは評価するが、相手国研究者との共著は少なく、相手国の人材の活躍が現時点では見えない。

以上の理由から、個々の研究においては優れた成果を挙げていると高く評価されるが、最終目標としている CHMF の社会実装にどう結び付けるのかについて今後十分な検討が必要である。相手国側研究者の関与を今後より一層増やしていくことも求められる。プロジェクト後半では、研究グループなどの関係者間で密な議論を行い、最終的な成果統合の姿を JST・JICA とも適宜共有しながら取り組まれていくことを期待する。

4-1. 国際共同研究の進捗状況について

本研究では、コロナ禍による制約や円安による機材費の高騰などの影響により、現地渡航開始や機材供与に遅れが生じている。特に現地の関連機関との調整が十分ではなく、今後の研究進捗への影響が危惧される。具体的には、移動ラボ用の車両選定や衛星受信設備の購入の可否など 2023 年時点でまだ決定していない項目がある。また、SADEP の拠点となる実験室・シードジーンバンク施設の完成の遅れ等もあり、2024 年度に供与が持ち越される機材も見受けられる。

個々の研究題目については、最先端の研究が進められて論文も出されており、コロナ禍による

遅れが生じる中でも個々の研究を着実に進めた点は評価できる。研究題目1の準実時間日射量データ、研究題目2の砂嵐発生予警報システム、研究題目3の水資源量評価などにおいては、新たなアルゴリズムやモデルの開発などにチャレンジしており、研究レベルは高い。また、研究題目5の塩生植物の研究においても、安定同位体・化学組成に基づくCHMF候補種の選抜などに科学的な新規性がある。既に非従来型作物(NCC)の選抜も進められており、今後の研究成果が期待される。ただし、その進捗の大部分は日本側研究者の個別の成果によるものが大きく、今後の相手国への実装、その先の継続性・持続性を考える上で、相手国側研究者の実践的関与を早急に進める必要がある。例えば、研究題目1および2では、現地での衛星データを直接受信とするか否かの方針がまだ決まっておらず、データ取得が行われていない。そのため、日本においてデータ解析が行われているが、その解析に相手国側研究者がどこまで参画しているかは不明である。他の研究題目においても相手国側研究者の関与が現時点では十分とは言えない。

農業における塩害の制御や効率的な水利用は、アラル海地域に限らず、地球規模での共通課題であるため、本研究の成果は他地域への横展開も期待され、科学的・技術的インパクトは大きい。塩害や効率的な水利用については、これまでも多くの研究結果が発表されており、それらの成果とも比較しつつ、本研究に生かすことで、“革新的な気候レジリエントな技術”の開発を期待したい。

4-2. 国際共同研究の実施体制について

本研究には、ウズベキスタン側は9機関、日本側は8機関と多数の機関が参画しており、研究題目も衛星データ解析、水資源量評価、作物生産と灌漑排水、塩生農業と多岐にわたる。研究グループ間の連携のデザインは魅力的であり、個々の研究題目や研究グループから優れた研究成果が上がり始めている一方で、各グループ間・相手国側との連携が十分に行われているのか不明である。研究終了後の持続可能性を維持するためには、相手国側機関の連携は必須であり、後半においてできるだけ早い時期に相手国側機関の連携を促進するメカニズムを確立していただきたい。研究題目5・6についての連携は進んでいると評価するが、研究題目1~4と研究題目5・6の間の関係、特にデータや成果の共有について現時点では不明である。人材育成、社会実装に向けた取り組み、将来の自立的運営に関して、今後更なる検討が必要と考える。最終目標としているCHMFの社会実装に向けてそれぞれの成果をどう統合するのか、各研究グループ間、日本・ウズベキスタン間で改めて議論が必要と思われる。ステークホルダー会議をしっかりと動かし、必要に応じてJICAとも協力しながら進めていただきたい。

機材等の導入に関しては、先述したとおりコロナ禍による制約や円安による機材費の高騰の影響で遅れが見られ、まだ全てが有効に活用されているとは言えない。研究題目1~3では、モデル開発を日本側が行い、その検証と利用をウズベキスタン側が行うとの役割分担となっているが、機材供与の遅れもあってウズベキスタン側の関与がまだ少ない。今後なるべく速やかに機材等の導入を進めていただくことを期待する。気象衛星データに関しては、Uzhydrometで直接受信する

のか、ネットワーク経由でデータを入力するのか、まだ決定していないとのことであるが、直接受信を実施する場合、予算面での考慮が必要であるだけでなく、受信設備の納入に時間が掛かる可能性があるため、早急な決定が必要と思われる。なお、既に導入された機器については適切に活用され始めていると評価できる。例えば、本プロジェクトで機材供与した土壌水分・塩分モニタリングシステムなどは、現地で稼働し始めており、これまでウズベキスタンでは取得できなかったデータが取得され始めている。これらのデータは、CHMFを実施するための塩生植物やNCCの選定に必要であるだけでなく、今後の農地のモニタリングにも役立つものであり、有効に活用されている。

4-3. 科学技術の発展と今後の研究について

個々の研究題目や研究グループからは、優れた研究成果が上がり始めており、それを統合する方向性は期待ができる。ただし、現状では個別の研究の結び付け、特に現場の社会実装に向けた体制作りが遅れている。各研究成果が最終的にどう統合されて社会実装されるかが見えにくく、研究終了後の持続性を維持するための相手国における責任体制、連携体制が不明瞭である。各研究題目内の連携のみでは研究の全体としての持続性が維持されないことが危惧されるため、導入機材の共有システムやデータ、成果の共有システムを早急に構築する必要があると考える。例えばSADEPにデータや成果を共有する仕組みを作ることなどが考えられる。準リアルタイムシステムが稼働し始めれば、研究グループ間でのデータや情報のやり取りは進むかもしれないが、それが最終目標としているCHMFの社会実装にどう結び付くのが明確ではない。研究の着眼点は大変素晴らしく、研究体制の組織化も魅力的であるため、研究成果の実装に向けてプロジェクト内で議論を進めていただきたい。社会実装に向けた議論を進めるに当たって、社会科学者の参画も望ましいと考える。

アラル海の縮小は世界的にも注目されている事象であり、ウズベキスタン政府はアラル海地域の再生に力を入れている。また、同様の農地の塩害は世界各地で発生しており、気候変動によって拡大していく可能性もあるため、本研究の成果がインパクトを与えることが期待される。個別の研究のレベルは高く、よい成果が上がっており、現地人材との協力でさらに進めていくことが望まれる。やや遅れが見られることは事実であるが、今後、本研究で得られる成果が統合され、その成果が共有される仕組みが持続することを期待したい。相手国の自立的・持続的な発展を目指すための具体的なプランについては不明な部分があるため、今後検討を進めていただきたい。

日本側の若手研究者については、若手ポスドクや大学院生など8名が本研究に参加しており、人材育成が進められている。

4-4. 持続的研究活動等への貢献の見込みについて

本プロジェクトでは、塩生植物やCHMFに関する基礎・応用的知識と技術を持った人材育成のた

め、SADEP を構築する計画である。2023 年には SADEP の拠点となる実験室・シードジーンバンクを含んだ施設も建設され、今後これらを活用していく見込みである。SADEP は SATREPS 終了後も、相手国側機関の IICAS などによって維持される予定であり、本プロジェクトの成果の社会実装・相手国側の人材育成に継続的に貢献することが期待される。

ただし、研究題目 1～3 について、最先端のアルゴリズムやモデル開発を日本側で行っているため、現状では相手国側研究者の貢献が明確となっておらず、共著論文等も少ない。これらの技術・モデルはウズベキスタン側研究者が使いこなせるよう教育・移管を行う計画とのことで、現在はウズベキスタン側研究者を日本に招聘して様々な内容の研修を行うなど、人的交流を盛んに行っており、今後、相手国側研究者の能力が向上し、自立性・自主性を持てるようになることを期待したい。特に若手研究者がネットワークを構築し連携できる体制を作ることは重要と考える。

また、本研究から生み出される科学的で統合的な知見を用いて具体的な社会的便益を生み出すステークホルダーの顔が見えないことも懸念される。現時点では SADEP において塩生農業に関する研究成果が集約化されることから、その持続性は担保されると理解するが、例えば、SADEP に衛星データをどう処理し、活用するのかを理解する人材が配置されるのか不明である。研究題目 1～3 の成果を活用する人材や組織が SADEP 内に配置されないと、データが山積みされるだけになるのではないかと危惧する。

本研究成果の社会実装について、研究代表者は、Uzhydromet からの情報提供が始まれば、それをウズベキスタン国内で利用する人達が現われ、それによって社会実装が進むだろうとの見通しを示している。また、ウズベキスタン側の大学は、卒業生による成果の普及にも期待しているとのことである。こうした社会実装の道筋もあり得るとは思うが、これらだけでは見通しが不十分に思われ、農業省のような中央政府組織、地元の農業団体などのルートを通じた研究成果の普及・社会実装も検討しておくべきである。現時点での見通しでは社会実装的な面があまり明確に出されていないように思われるため、それぞれの研究をどのようなフレームワークで組み合わせ、今後の社会実装に向けて進めていくか、早急な議論と各機関の連携を維持する仕組み・体制づくりが必要であると考えられる。

4-5. 今後の課題・今後の研究者に対する要望事項

1. 各研究題目からの研究成果を、最終目標としている CHMF の社会実装にどう結び付けるのか、プロジェクト内で議論を進めてほしい。社会実装への道筋について、研究代表者は各題目の研究者や JST および JICA と協力しながら、早急に詰めて行く必要がある。ステークホルダー会議において、高度なデータや選択肢を地域の農家にどう示していくか、協議の中でその選択肢を元に農家がどう決めていくか、そこに国や地域がどう支援していくか、といった構想をしっかりと作っていただき、例えば、国・地域レベルでの政策として補助金を入れていく方向や、個々

の農家レベルでできること等を整理した上で社会実装への道筋を検討してほしい。

2. 研究課題名にある”水利用効率と塩害制御”の終了時レベルでの姿を相手国も含め全員が共有し、その姿に向けて残り2年間で各グループが何をすべきか、バックキャスト的に役割分担を意識して進めると良いのではないか。合同調整委員会（JCC）等の枠を活用して、特に農業省や水資源省などのユーザ機関、新たな取り組みを支援する政策づくりに関わる機関を含むプラットフォームを構築し、ニーズや実装上の課題、期待される科学的成果の間のギャップを早めに明らかにすべきである。プロジェクト後半はこれらのギャップを埋めることへ努力を傾注することが望ましく、ステークホルダー会議等を利用してその道筋を常に共有しながら進めるのも一つであろう。
3. 社会実装について、Uzhydromet を通じた情報提供や現地大学の卒業生を通じた普及などを想定しているようであるが、農業省のような中央政府組織、地元の農業団体などの公的なルートを通じた研究成果の普及・社会実装も検討しておくべきだろう。
4. 気象衛星データに関して、Uzhydromet で直接受信するのか、ネットワーク経由でデータを手取るのか、まだ決定していないとのことだが、直接受信を実施する場合には予算面での考慮が必要であるだけでなく、受信施設の納入に時間が掛かる可能性もあるため、早急な決定が必要と思われる。
5. 将来の気候変動予測を織り込んだ情報を作成するとともに、リアルタイムで配信される情報を使う主体（例えば農家など）の具体的な利用のイメージ（主体ごと）を用意してほしい。適応策の評価についても、具体的に農家レベルでの評価を行う必要がある。また、塩生農業の収穫物については、市場価値を明確化し、収穫物の流通系のシナリオを用意いただきたい。現地農業者の組織等の構造を知り、開発された技術を導入するための施策や社会的システムを検討すること、農家の塩生農業のあり方だけでなく、全体としての水管理のあり方についての政策、あるいはその政策への提言等の示唆も必要と考える。水インフラについては、多額の費用と年月を要することを考慮した上で、現況の分析を行い、社会実装のシナリオへの組み込みを検討すべきであり、多くの実績のある乾燥地の農業に関する知見の評価とその現地への適用の限界について明確にしておくことも望まれる。

成果目標シート

研究課題名	アラル海地域における水利用効率と塩害の制御に向けた気候にレジリエントな革新的技術開発
研究代表者名 (所属機関)	田中賢治 (京都市防災研究所 教授)
研究期間	R2採択(令和3年10月1日~令和8年3月31日)
相手国名/主要相手国研究機関	ウズベキスタン共和国/アラル海流域国際イノベーションセンター、水文気象研究所、タシケント灌漑農業機械化技術研究所、ウズベキスタン国立大学、ウズベキスタン設計研究所
関連するSDGs	目標 2. 飢餓を終わらせ、食料安全保障及び栄養改善を実現し、持続可能な農業を促進する 目標 13. 気候変動及びその影響を軽減するための緊急対策を講じる 目標 15. 陸域生態系の保護、回復、持続可能な利用の推進、持続可能な森林の経営、砂漠化への対処、ならびに土地の劣化の阻止・回復及び生物多様性の損失を阻止する

成果の波及効果	
日本政府、社会、産業への貢献	<ul style="list-style-type: none"> 地球規模の気候変動枠組みへの活用 他の乾燥地域への塩害制御技術の展開
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> 土壌塩分濃度管理技術 好塩性植物による塩害地の生物学的修復技術 乾燥地における水循環解析精度の向上
知財の獲得、国際標準化の推進、遺伝資源へのアクセス等	<ul style="list-style-type: none"> 砂嵐監視システム 衛星、陸面モデルを利用した栽培管理システム 複数の乾燥地植生の蒸発散特性 塩性環境下で生育可能な植物等のサンプル
世界で活躍できる日本人材の育成	<ul style="list-style-type: none"> 国際的に活躍可能な日本側の若手研究者の育成(国際会議への指導力、査読付雑誌への論文掲載)
技術及び人的ネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> 革新的農業技術実施コミュニティの構築
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"> 衛星を利用した準実時間日射量作成システム 準実時間作物生育状態監視システム 準実時間陸面状態量監視システム 土壌塩分制御・塩害地修復技術マニュアル

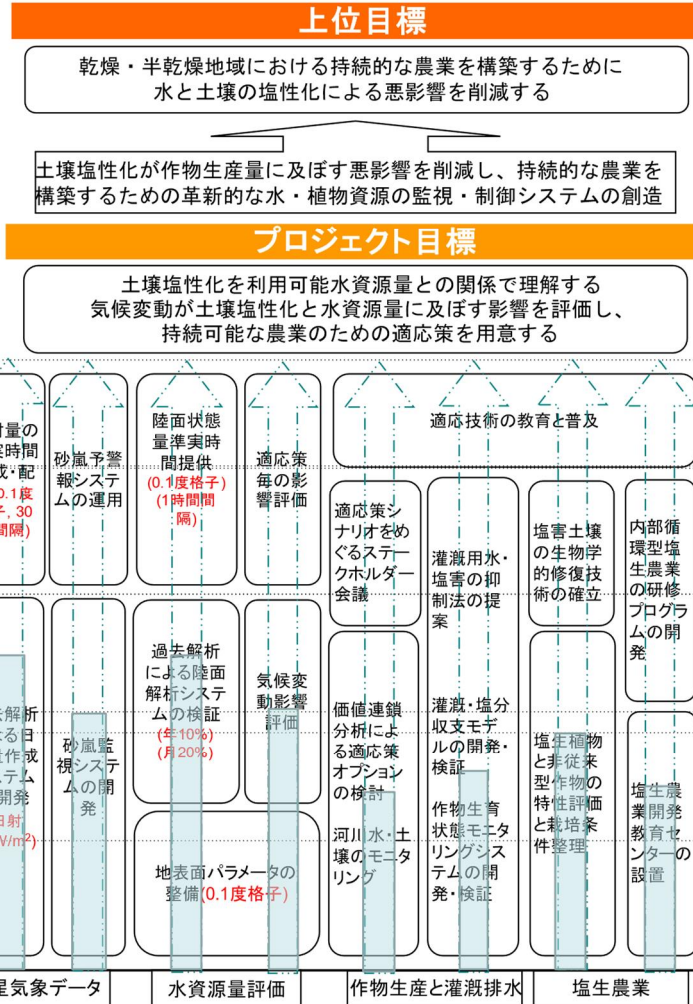


図1 成果目標シートと達成状況 (2024年1月時点)