

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

ジブチにおける広域緑化ポテンシャル評価に基づいた発展的・持続可能水資源管理技術
確立に関する研究
(2019年7月～2024年6月)

2. 研究代表者

- 2-1 日本側研究代表者：島田 沢彦
(東京農業大学 地域環境科学部 教授)
- 2-2 相手側研究代表者：ジャマ モハメド ハッサン
(ジブチ大学 学長)

3. 研究概要

本プロジェクトでは、ジブチにおける緑化に適した地域を明らかにし、実証試験によって乾燥地に適した持続可能な農牧業（アグロパストラル）を展開する。この過程で、ジブチ全土の水循環およびアフリカ各地域の国境を越えた地下水循環系を明らかにし、他の乾燥地域への実装可能性を示す。具体的には、ジブチの水資源の広域かつ立体的な分布・循環経路・持続可能利用量を把握する。また、衛星・UAV画像を用いてジブチ全土における緑化力・牧養力と水資源を把握する。さらに、有用植物・飼料の開発によりオアシス農業を発展させた節水型農牧業モデルを提案する。

本プロジェクトは下記の3つの研究題目で構成される。

- 題目1：水循環シミュレーションモデル整備
- 題目2：緑化・農地化ポテンシャル評価
- 題目3：持続可能パイロットファーム営農
- 題目4：荒廃地緑化の経済的評価
- 題目5：モデル普及・広報

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)

新型コロナウイルスの感染拡大の影響によって当初計画から遅れがみられるが、リモートセンシングによる解析、相手国メンバーによる現地遊牧民への聞き取り調査などの代替的な研究活動に取り組んだ。また、2021年12月には現地での微動アレー調査が実施され、

代表的なワジ地域での水理地質構造に関する基礎データを取得している。これら基礎データとリモートセンシングの解析結果などを水循環シミュレータに入力することにより、広域水資源ポテンシャルの解明が進むものと期待される。

プロジェクト後半にかけて、①GETFLOWS モデルなどの基幹となるモデルシミュレーション結果の検証とその対応、②部分的に実施されている各研究題目を統合的にまとめるための道筋の検討、③限定された地点での実証実験から広域（国レベル）へ外挿する基本的な方法論（検証法も含め）の検討が必要と考えられる。また、アグロパストラルに適した有用植物の選択、遊牧民の生活環境の把握、バイオ炭による土壌改良なども取り組まれているが、各農場における実践がやや遅れていると考える。

今後もコロナ禍による渡航制限などが続く可能性があるため、必要に応じて計画変更（研究計画の代替案）などの検討を期待する。また、社会実装については、本プロジェクト内でどこまで目指すのか、具体的な達成目標を明確にし、プロジェクトメンバー間で共通認識を持つことが望ましいと考える。

4-1. 国際共同研究の進捗状況について

各研究題目の進捗状況および今後の見込みを下記にまとめる。

題目1：水循環シミュレーションモデル整備

（中間地点までの計画達成度：活動の一部に遅れあり）

- 本題目には、「地下水年代・水質推定のためのパラメータ把握」、「水循環シミュレータモデルのシステム構築」、「水資源ポテンシャルマップの改善」が計画されている。
- 「地下水年代・水質推定のパラメータ」では、現地ですべて入手可能な二次データ（標高図、地質図、井戸・ボーリングデータ、降雨・気温データ）が既存の統合型水循環シミュレータ（GETFLOWS）に入力された。同シミュレーションの最適化によって、調査対象とした流域・集水域（計2箇所）における各種パラメータ（マンニングの粗度係数や絶対浸透率など）が特定された。
- これによって、GETFLOWS および各種パラメータを用いた「水循環シミュレータモデル」がシステム構築され、定常状態における現地の地下水動態を推定できる段階にある。

<今後の取り組み>

- 今後、「水資源ポテンシャルマップ」の改善が予定されている。ジブチの広範囲をカバーする正確・高分解能な地形・地質・気象データ（二次データを含む）が入手できれば、水循環シミュレータモデルによってジブチ全土の地下水動態を推定することが可能になると考える。
- ジブチ全土の標高・地質情報として、衛星画像データ（5-m解像度 ALOS World 3D）や地質図（縮尺：1/10万および1/20万）を共同研究機関（RESTEC やジブチ調査研究センター）から入手している。現地渡航が難しい中でも、こうした二次データの入手によ

て「水資源ポテンシャルマップ」の改善は今後も進むことを期待する。

- また、シミュレーション結果の検証には現地調査が必要となる。FAO（国連食糧農業機関）が2017年に整理したジブチ全土の水資源ポイント（2,089地点）のデータセットなどを検証用フィールドデータとして入手したものの、項目の未記載といったデータ不備があり、シミュレーション結果の検証が十分ではない。シミュレーション結果の検証には、やはり本プロジェクト期間内に当該データセットをアップデートするための地道な現地調査が必要と考える。
- 対象とする農園を含むワジ周辺の水理地質図に関しては、水理モデルと観測結果との間に違いがあり、現地での観測をより強化する必要があると考える。また、乾燥地農業での実践や水理モデルの作成などは一般化された手法である。可能であれば、灌漑技術・水循環モデル・経済性評価などの中で学術的な新規性を明確にすることを期待する。

題目2：緑化・農地化ポテンシャル評価

（中間地点までの計画達成度：活動の一部に遅れあり）

- 本題目では、「植生環境の分布把握」「牧養力・緑化ポテンシャルの図化」「既存農場の調査・農地化ポテンシャル図化」に取り組む。
- 「植生環境の分布把握」では、比較的冷涼な高地・乾燥の強い砂漠地・ワジに点在する放牧地（9箇所）を選定し、現地遊牧民への聞き取り調査が行われた。聞き取り調査の結果を踏まえて、各放牧地の家畜の採食植物（23種）のサンプル個体を採取し終えた。

<今後の取り組み>

- 「牧養力・緑化ポテンシャルの図化」については、各放牧地の放牧圧を防ぐ保護ケージを設置して、年間の牧養力のポテンシャルや放牧効果を把握しなければならない。それら保護ケージの設置は、日本側研究メンバーが渡航して実地で補助する必要があると考える。
- また、「既存農場の調査・農地化ポテンシャル図化」でも、GPS（Global Positioning System）ロガー付きの首輪を現地の家畜に装着ができず、放牧家畜の移動採食量を把握するといった計画がペンディングとなっている。こちらの取り組みも、日本側研究メンバーが渡航して実地で補助する必要があると考える。

題目3：持続可能パイロットファーム営農

（中間地点までの計画達成度：活動の一部に遅れあり）

- 本題目では「節水灌漑システムの開発」「有用植物・資料の選定」「高付加価値営農方法の開発」が計画されている。
- これまでに、「節水灌漑システムの開発」では、3箇所の試験パイロットファームが設定された。各パイロットファームには観測ステーションが導入され、気象データが継続

的に取得されている。しかし、日本人研究メンバーが渡航できないため、それ以上の整備活動が中断。具体的な節水灌漑システムの仕様を検討できる段階には至っていない。

- 「有用植物・飼料の選定」では、藻類（特にスピルリナ）のラボスケールの培養実験が国内で行われた。この培養実験により、藻類の培養に適した水質・水温などについて基礎的な知見を得ている。また、社会実装の一環として、藻類を用いた飼料・サプリメント・土壌改良材の商品化に向けて、提携先となる日本国内の民間企業を模索中である。

<今後の取り組み>

- 「高付加価値営農方法の開発」については、都市ゴミを有効活用した作物の栽培方法を確立しようとしていた。しかし、現地での栽培試験が中断している。
- プロジェクト後半には、試験パイロットファームにて防風効果を狙った試験樹木（ギンネム、モリンガ、ナツメヤシ等）を行い、風況解析に基づいた圃場デザインのあり方を検討予定。また、小風力発電の設置を見据えて、パイロットファームにおける風速・風向調査を実施予定である。

題目 4：荒廃地緑化の経済的評価

（中間地点までの計画達成度：活動の一部に遅れあり）

- 本題目では、「遊牧民の定住化による経済評価」「荒廃地緑化手法の確立・採算性評価」に取り組む予定である。
- 「遊牧民の定住化による経済評価」では、現地インタビューによるデータを基にした、現地農産物に対する需要推定や購入時の選好についての評価を実施する予定であった。しかし、コロナ禍による渡航制限および調査時の影響低減に配慮し断念している。代替研究内容として、現地の衛星画像データに写った「夜間光」を分析し、遊牧民の定住位置や生活環境を把握する試みが進んでいる。
- また、「荒廃地緑化手法の確立」では、廃ペットボトル・衣類を利用したナツメヤシなどの試験栽培が行われ、相手国研究機関（ジブチ農業省）の職員や現地農民が水やり作業を担当してきた。しかし、現地観察ができない状況が継続しているため、2021年度末から定点カメラによるモニタリングを開始し、最新の作物生育状況を把握に努めている。

<今後の取り組み>

- 廃ペットボトル・衣類を利用した荒廃地緑化に加えて、外来樹種（メスキート）の木炭を活用した土壌改良および炭素蓄積に関する研究を計画している。具体的には、現地住民が比較的入手しやすいメスキートを木炭にして、畑に散布することを検討中である。これによって、木炭が土壌改良材の役割を果たし、農産物の生産向上が期待される。

題目5：モデル普及・広報

(中間地点までの計画達成度：活動の一部に遅れあり)

- 本題目では、「ワークショップ・研修の開催」「学術論文の投稿」が予定されている。ジブチでは水資源のほとんどを浅層地下水に依存しており、水資源開発と水害対策両面での水資源管理が重要な課題となっている。ジブチでの広域水資源ポテンシャル・緑化ポテンシャルマップの作成技術が開発されれば、同国において新たに展開可能な持続的農業・緑化地区を示唆することができる。さらに、乾燥地域の各国に対して、水循環シミュレーションをベースにした国土保全・防災・農業計画・水資源管理などを提案できると期待される。
- 相手国代表機関（ジブチ大学）にて分析ラボが整備されつつあり、JICA 業務調整員らによって実験方法などの技術をジブチ大学スタッフへ移転中である。同分析ラボを拠点に、日本人研究メンバーが現地調査（現地でのボーリング調査など）の結果をジブチ側研究者・学生に対する報告会を定期的に開催している。
- 2020年度までに収集したデータ・サンプルを解析して、2021年9月に開催された沙漠国際会議にて発表している（口頭11件、ポスター・プレゼンテーション2件）。今後も、現地調査の中断に大きく影響されないリモートセンシング研究に注力して、継続的に研究成果を対外発表していく予定。

4-2. 国際共同研究の実施体制について

- オンラインミーティングを活用した研究活動が推進されており、現地実証実験の不足を衛星データや既存データの活用により補うなどの代替案が導入されている。
- 研究体制が構築され、研究代表者のリーダーシップも発揮されていると考える。しかし、日本人研究者の渡航が制約されているので、相手国側の体制の一層の強化が望まれる。

下記に現地調査中に確認されたプロジェクト実施にかかる促進・阻害要因をまとめる。

<促進要因>

- 相手国代表機関のジブチ大学には分析ラボが整備されつつある。現地導入の物品（化学分析用のラボ機器、サーバー・AI解析用PC機器）の輸送が完了し、現地の実験室整備を段階的に進めている状況。これにより、コロナ禍であっても、相手国研究メンバーに本プロジェクトの進捗が「見える化」され、共同研究を実施しているという実感が芽生えつつある。また、この分析ラボにてジブチ大学の学生向け講義が開催されたり、プロジェクト成果の発表会が参加されたりしており、本プロジェクトの重要な情報発信拠点となりつつある。
- 先に述べたが、研究題目2（緑化・農地化ポテンシャル評価）では、9箇所の放牧地にて現地遊牧民への聞き取り調査が行われてきた。日本人研究メンバーの渡航が難しい場合でも、聞き取り調査は相手国研究メンバーが主体的に実施していた。こうした事例を

みていると、当該研究テーマを専門とする相手国研究メンバーを特定することは非常に重要であると考えられた。

- 2021年2月上旬に業務調整員および博士研究員の再渡航が実現しており、ジブチ側との定期的なオンライン会議が設定されている。

<阻害要因>

- 日本側メンバーの渡航時に、渡航者の受入を担当する相手国プロジェクトディレクターへそれら情報（渡航日数・目的）が十分に伝わっていないことが懸念された。滞在スケジュール・滞在所などの基本情報はもちろんであるが、滞在中の研究活動の実施目的を十分に共有し、それら個別の活動がプロジェクト全体計画のどの部分を担うことになるのかを相手国研究メンバーと情報共有するべきと考える。これにより、相手国側の研究者のコミットメントを引き出すことができ、共同研究を実施しているという雰囲気醸成に繋がると考える。

4-3. 科学技術の発展と今後の研究について

- 最終的に5つの研究題目をどう統合するのか（個別要素技術の羅列ではなく、それらを最適化してまとめる方法論の確立）についての検討を期待したい。また、相手国への研究成果の実装を考えると、関係機関（ジブチ大学、ジブチ調査研究センター、関係省庁など）における役割分担を明確にすることが望まれる。特に、水資源管理を担当する機関との連携を明確にする必要があると考える。
- 乾燥地での排水のない灌漑農法で塩集積の問題が発生しないか、エジプトのナイル流域を対象に行われた先行 SATREPS プロジェクト（「ナイル流域における食糧・燃料の持続的生産」2009年～2015年）の知見などもご参考いただきたい。

4-4. 持続的研究活動等への貢献の見込みについて

- ジブチ大学を中心とした研究体制となっているが、水資源管理に関する相手国機関をどこまで巻き込んで、確立した技術を相手国に実装できるかが鍵と考える。
- 日本人博士研究員が、2019年度には現地渡航して長期滞在したが、コロナ禍のため2020年度以降は、現地渡航が難しい状況である。可能であれば、若手人材の現地への中長期派遣を積極的にご検討いただきたい。

4-5. 今後の課題・今後の研究者に対する要望事項

現地調査ができない状況下で、衛星データや既存の二次データの収集・解析に注力し、それらのデータを基にプロジェクトの基幹となる統合型水循環シミュレータ（GETFLOWS）の駆動に注力している。一方で、十分な現地データが得られない状況に対する代替案の検討・計画の再検討にやや遅れが感じられる。例えば、GETFLOWSによるシミュレーション結果は検証データと必ずしも一致しておらず、今後どのようにモデルやパラメータ推定の高精度化

を図るのか、その検討が十分に行われていない。コロナによる現地渡航が叶わない期間はモデルの高精度化を検討する良い期間でもあり、早急な対応を期待したい。

各研究題目における研究活動が個別に進行していることが窺えるため、最終的に課題全体としてどのように統合的な成果を目指すのか（”緑化ポテンシャル評価に基づいた水資源管理技術の確立”への道筋）を明確にさせていただく必要があると考える。さらに、数少ない実証実験サイトの結果をどのように広域へ展開するか（外挿的方法）、その方法論を早めに確立することが望ましいと考える。そのためにも、各研究題目の現時点における進捗状況を確認した上で、各成果を統合するイメージを共有するためのタスクフォースチームを構成することも一案と考える。

今後もコロナ禍による渡航制限などが続く可能性があるため、必要に応じて適切な計画変更（研究計画の代替案）の検討を期待する。また、社会実装については、本プロジェクト内でどこまで目指すのか、具体的な達成目標を明確にし、プロジェクトメンバー間で共通認識を持つことを期待したい。

以上

成果目標シート

研究課題名	ジブチにおける広域緑化ポテンシャル評価に基づいた発展的・持続可能な水資源管理技術確立に関する研究
研究代表者名 (所属機関)	島田 沢彦 (東京農業大学 地域環境科学部 教授)
研究期間	H30採択(平成30年4月1日～令和6年3月31日)
相手国名/主要相手国研究機関	ジブチ共和国 /ジブチ大学、ジブチ農業水産牧畜海洋資源省、 ジブチ調査研究センター
関連するSDGs	目標2: 持続可能な農牧畜業の推進、強靱な農業の実践 目標6: 乾燥地農業における統合水資源管理の実施 目標15: 砂漠化への対処、ならびに土地の劣化の阻止、ならびに生物多様性損失の阻止

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"> ・砂漠化対処条約(UNCCD)への提言 ・乾燥アフリカにおける日本技術のプレゼンス向上 ・日本ベンチャーによる水循環シミュレーションソフトのプレゼンス向上
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> ・乾燥地における水循環把握モデルの確立 ・衛星画像データによる乾燥地環境解析の高度化 ・砂漠化防止技術の広域展開手法の確立
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"> ・乾燥地農業の効率化の提言 ・乾燥地緑化の高付加価値 ・GETFLOWSの水循環シミュレーションソフトとしてのスタンダード化
世界で活躍できる日本人人材の育成	・若手研究者の現地活動を通してのグローバル人材育成
技術及び人的ネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> ・ジブチ大学の人材との学術的交流 ・キャパシティ・ディベロップメントによるGIS・水循環シミュレーション技術および緑化技術の移転
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"> ・ジブチ国内の電子地図データの完全アーカイブ化 ・乾燥地における汎用的水循環シミュレーションモデル ・水資源ポテンシャルマップ、緑化ポテンシャルマップ ・高効率乾燥地緑化法マニュアル

上位目標

- ・「アフリカの角」地域の干ばつレジリエンス強化と食料安全保障の確保
- ・乾燥アフリカの持続可能な水資源管理技術と農業生産力の向上

- ・ジブチの緑化可能地域へ持続的農業・緑化モデルを提案
- ・ジブチ以外のアフリカの角地域への適用・展開を提案

プロジェクト目標

- ・広域水資源ポテンシャル・緑化ポテンシャルマップの作成技術を開発・共有

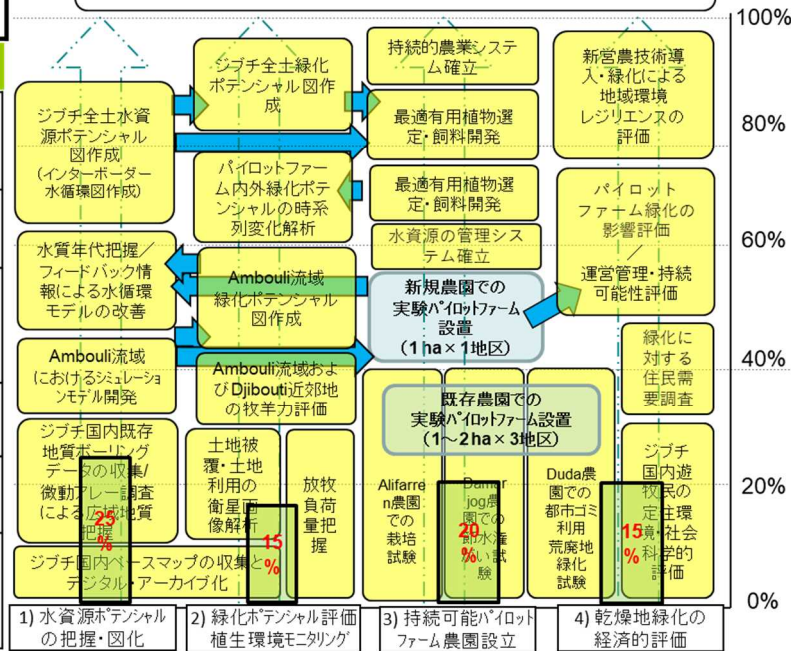


図1 成果目標シートと達成状況 (2021年5月時点)