

ジブチの沙漠に緑を—SATREPS プロジェクトによる 持続可能なアグロパストラル・システムの実装—

島田沢彦¹⁾・中西康博¹⁾・木村李花子¹⁾・渡邊文雄¹⁾・渡辺智¹⁾・
山本裕基²⁾・伊藤豊³⁾・大山修一⁴⁾・ファドモ Aマロウ⁵⁾

要旨：東京農業大学とジブチとの25年に渡る共同研究で培ってきた成果は、JST・JICA共同実施の地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）への課題「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」の採択により評価され、2019年度から新たなフェーズとして社会実装へとつながることとなった。本報では、これまでのジブチでの成果、今後5年間で展開される研究のビジョン、持続可能なパストラルアグロパストラル（農牧業）・システムの実装への課題および達成されるSDGsについて紹介した。

キーワード：アグロパストラル・システム、SDGs、SATREPS、ジブチ、水資源管理

1. はじめに

平成30年（2018年）度の地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）に、東京農業大学を主体とした研究チームの課題「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」が採択され、2019年度からプロジェクト研究がスタートすることとなった。これは、東京農業大学が25年以上に渡って培ってきたジブチでの研究成果が評価されたものである。ここでは、これまでのジブチでの成果に触れつつ、今後5年間で展開されるプロジェクト研究のビジョンについて紹介する。

2. 本プロジェクトにおける主要達成SDGs目標

国連が掲げた、2030年までに国際社会が協力して取り組むべき地球規模課題「持続可能な開発目標（Sustainable Development Goals: SDGs）」の達成に、SATREPSプロジェクトの研究成果とその社会実装および人材育成を通じて貢献することが重要視されている。国連の人口推計（UN 2017）によれば、世界人口は2030年までに86億人、2100年には112億人に達し、その45%がアフリカの人口となると予測されている。SDGsの達成には、アフリカの特に関心される乾燥地域における、社会実装がより重要となる。本課題においては、乾燥

アフリカである「アフリカの角」地域に位置し、世界で最も暑い国の一つとされるジブチを対象とし、「ジブチ国の持続可能な農業の促進」に貢献することより、これまで大干ばつにより引き起こされてきた飢餓を終焉させること（SDGs目標2）を主な目標とし、水資源の過剰消費を抑制し適切に利用すること、さらに農牧用水にとどまらず生活水の持続可能な管理と確保に貢献すること（SDGs目標6）、陸域保全や荒廃地緑化・再植林を含む持続可能な緑化・農地化経営の推進（SDGs目標15）をプロジェクト主要活動とした。

3. 国際共同研究の背景

アフリカ大陸東部の「アフリカの角」に位置する国々は、頻発する大干ばつにより貧困や飢餓の危機に常にさらされている。中でもジブチ共和国は、地溝帯の陸部北端に位置する立地条件の影響で国土の大部分を玄武岩で覆われた土漠の地表面環境であることに加え、年間降水量が150mm程度、夏季の最高気温が40℃を上回る最も自然環境の過酷な国である。雨季が終了すると河川は涸れ（図1）、しばらくは堆積層中の地下水の利用が可能であるが、乾季の後半になると浅層地下水資源が減少し、地表の乾燥化が進む。このような環境下のジブチにおいては降雨に依存した作物栽培は成立せず、ワジ周辺において得られる浅層地下水のみが農業・牧畜・生活用水として利用可能となっ

*Corresponding Author: shima123@nodai.ac.jp

〒156-8502 東京都世田谷区桜丘 1-1-1

(2019年9月20日受付：2019年9月30日受理)

1) 東京農業大学

2) 長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科

3) 秋田大学大学院国際資源学研究所

4) 京都大学アフリカ地域研究資料センター

5) ジブチ大学理学部



図 1. ジブチ・Ambouli ワジの乾季の普段の状況（左）と雨季において表流水が発生した状況（右）

てきた。ジブチにおける農業従事者は人口の1%未満、遊牧を含む牧畜業従事者は25%程度（ICRC 2004）とされている。牧畜は伝統的かつ非商業的なものにすぎず、農業生産の割合はGDPの5%にも満たないこともあり、食料自給率は生産額ベースでわずか13%程度である（JICA/NTC インターナショナル 2014）。

また、ジブチは紅海とアラビア海を結ぶアデン湾に面し交通流通の要所となっており、エリトリア・エチオピア・ソマリアに接し、小国ながら地勢上非常に重要な位置に存在することから、日本も海賊対策を目的とした自衛隊の拠点を設置している。ジブチはソマリアなど地域の和平プロセスにも積極的に貢献するなど、政情不安定な「アフリカの角」地域において非常に安定した国内情勢を保っている。一方、50%超の高失業率などの問題を抱えており持続可能な発展の妨げとなっている。

ジブチにおいて水資源管理および緑化・農地化の効率的展開を確立することができれば、これまでの慢性的貧困から脱出することができ、ひいては同乾燥地帯気候である「アフリカの角」地域全体における各国への普及が見込まれ、政情の安定化が期待できる。周辺諸国の安定こそ、ジブチにおいても最重要課題である。

ジブチにおける農業の例として、浅層地下水を利用した野菜・果樹栽培と畜産の複合営農で成功している篤農家の存在があげられる。良好な水質の浅層地下水を取得できれば、このような成功例を増やすことにつながる。本研究でのアウトプットである緑化ポテンシャル図を農地開発評価に利用できれば、極めて低い農産物自給率の向上に寄与することができる。

4. これまでの成果

東京農業大学の研究グループは、28年にわたってジブチ・エチオピア地域を中心としたアフリカ乾燥地での有効な緑化工法、緑化樹種について実証・確立してきた（e.g., 東京農大沙漠に緑を育てる会 2000, 2015）。その中で、少ない水を有効利用するための技術である、ウォーターハーベスティング、ストーンマルチ、ダブルサック工法の有効性が実証され、連結た

め池灌漑システム等も提案された。東京農大の研究グループのこれまでの成果が多くの内外の研究機関、コンサルティング企業に参照され評価されている。これらの蓄積された技術をモデル地区内でのスポット的成功に留まらず、ジブチ全土ひいては「アフリカの角」において展開・実装していくためには、特定技術の適用可能地域を特定することが必要となる。これまで実践的な共同研究は、本大学で博士号取得の Tabareck M. Ismael 氏が所属するジブチ農業水産牧畜海洋資源省（農業省）を主なカウンターパートとして行ってきた。その後、ジブチ初の大学であるジブチ大学が2006年に設立され、2013年に本学とMOUを締結し本SATREPS共同研究のメインカウンターパートとなるまで関係を深めた。学術的成果の一つとして、ジブチ大学講師 Fadoumo A. Malow 氏が、本学での博士論文研究において対象地域とした Ambouli ワジ流域（Malow 2018）および, Kourtimalei 集水域（Malow *et al.* 2017）（図2）の水循環のシミュレーションを行い、精度高く流域地下水挙動および、ため池の貯水量を推定できることを報告している（図3）。

5. 本 SATREPS 国際共同研究の目的

本研究の目的は、乾燥地において効率的かつ持続可能な水資源の利用・管理手法を確立したアグロパストラルの広域実現（図4）のため、ジブチにおける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の開発・共有を図り、ジブチの緑化可能地域へ持続的農業・緑化モデルの提案に寄与することである。降雨流出による表流水、浅層地下水、および深層地下水に大別できるジブチの水資源について、広域的かつ立体的な分布と循環経路を明らかにすること、地下水の水質起因地質、自生植生の水利用メカニズムを明らかにすることにより緑化ポテンシャル評価および、最適緑化領域および最適緑化手法を示す。これらのアウトプットを踏まえ緑化適地にパイロットファームを展開し、緑化ポテンシャル図の有効性を実証するとともに、実装可能性に向けて、有用植物の選定、藻類を用いた飼料開発、堆肥作成技術の開発を含めた循環型ア

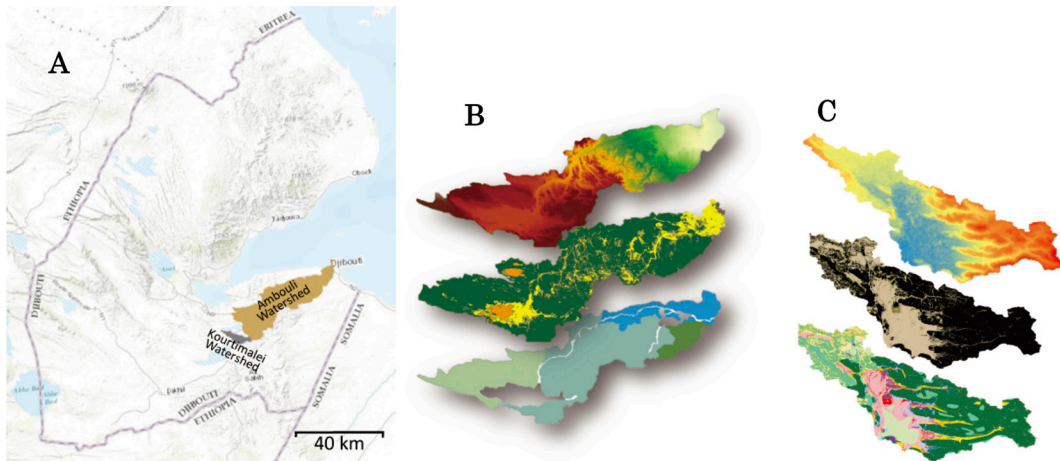


図 2. A) Ambouli ワジ流域および Kourtimalci 集水域のジブチ国内における分布および、それぞれ (B: Ambouli, C: Kourtimalci) の地表面情報 (上から標高, 土地利用, 地質図を示す) (Malow 2018).

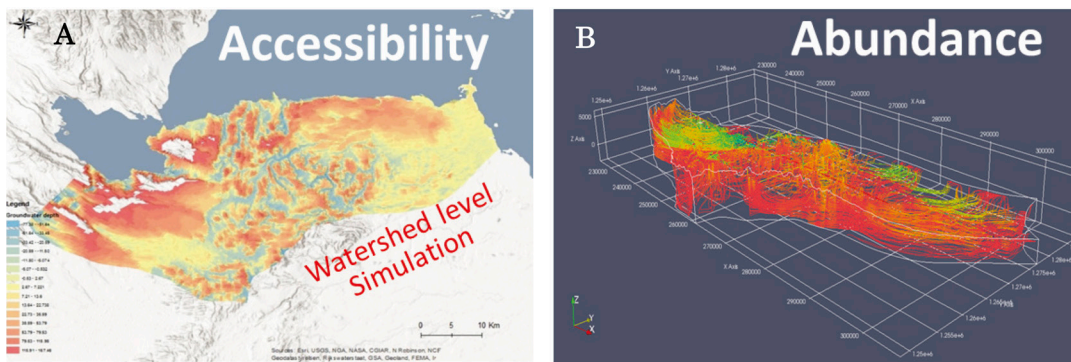


図 3. シミュレーション結果による A) Ambouli ワジにおける地下水面推定図および、B) 地下水流量 (Malow 2018).

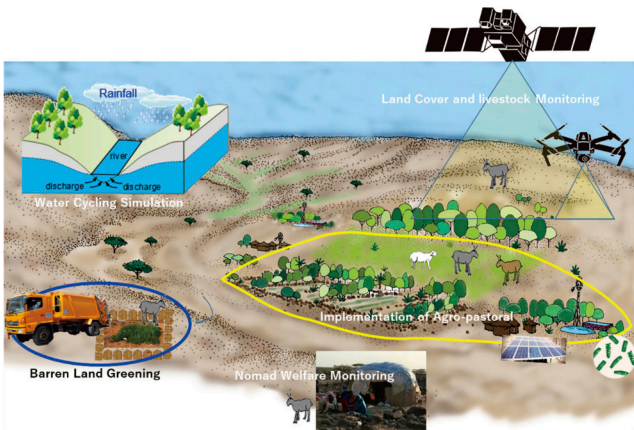


図 4. 持続可能なアグロパストラル・システムのイメージ図 (引用: 沙漠に緑を育てる会, 2001) と本プロジェクト研究のアイテム図

アグロパストラル形態を確立する。また、遊牧民を受益者とする荒廃地緑化地区や都市ゴミを有効利用した粗放的農園造成地区も開発し、緑化が遊牧民の生活改善に寄与する機構を明らかにすることで、緑化の重要性および、他地域への適応可能性を示す。さらにこれらの成果により展開可能な地域への適用手法を確立し、水資源の高効率利用による持続可能なアグロパストラ

ル・システムの広域実装を目指す。また、プロジェクト終了後も、ジブチ農業水産牧畜海洋資源省およびジブチ大学が、ジブチの緑化可能地域へ持続的農業・緑化モデルを展開できるシステムを構築することを目指す。

持続可能なアグロパストラル・システムの実現に向けて、本プロジェクトは以下の4つの研究課題項目(図4参照)および普及・広報のサブグループに分割した調査・解析・実践活動を行う。

課題1: 水循環シミュレーションモデルシステムの整備

課題2: 緑化ポテンシャル評価手法や農地化ポテンシャル評価手法の開発

課題3: パイロットファームにおける持続可能な営農方法についての実証

課題4: 遊牧民の定住による影響を考慮した、経済性が認められる荒廃地緑化手法の開発

課題5: 成果1から成果4に基づいた持続的農業・緑化モデルの普及・広報

〈課題1: 水循環シミュレーション〉

課題1の目標は、ジブチにおける水資源の広域的か

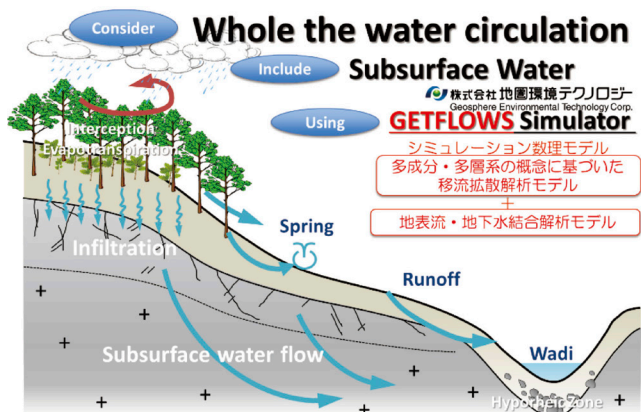


図5. 使用水循環シミュレータ GETFLOWS の解析概念図（資料提供：地圏環境テクノロジー）

つ立体的な分布と循環経路を明らかにすることである。本課題の第一段階では、地形データ等 GIS データが豊富な Ambouli ワジ流域を取り上げ（図2、図3参照）、雨季における河川流量および土砂輸送、乾季における地下水の流動と枯渇の進行、地表の乾燥について GETFLOWS シミュレータを用い再現し、流域の現況への理解を深める。GETFLOWS は地球上の水循環を蒸発散・地表水（表流水）・地下水・土砂の侵食堆積および輸送をまとめてシームレスに解析するソフト（図5）であり、本研究において、恒常河川がないジブチ国の乾燥地において水資源ポテンシャルを評価し、緑化・農地化・牧畜のポテンシャルを評価につなげられることが実証される。次に、これをベースに、土砂流亡の防止、流域の緑化・農地化、水資源の合理的利用などの可能性を、相手国の関係機関とともに検討するとともに、ジブチ全流域にシミュレーションを進展させジブチ国全土における水資源ポテンシャル図を作成する。さらに、同位体分析により各井戸における地下水の由来を特定することにより、シミュレーション結果を検証するとともに、国境を越えた水循環系を明らかにする。乾燥地域の河川の挙動を再現し、対応策の効果検討が可能なシミュレーションの事例とすることができれば、同様な乾燥地域の各国に、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することに繋がると期待できる。

〈課題2：緑化・農地化ポテンシャル評価〉

課題2においては、植生環境（草本・木本）・農地環境を現地レベルや UAV・衛星画像データから得られる情報により把握し、植生の分布状況とその傾向を把握するとともに、その立地環境との関係性から緑化ポテンシャルを解明する。水循環シミュレーションモデルで解析対象とした地域を対象として、衛星画像と

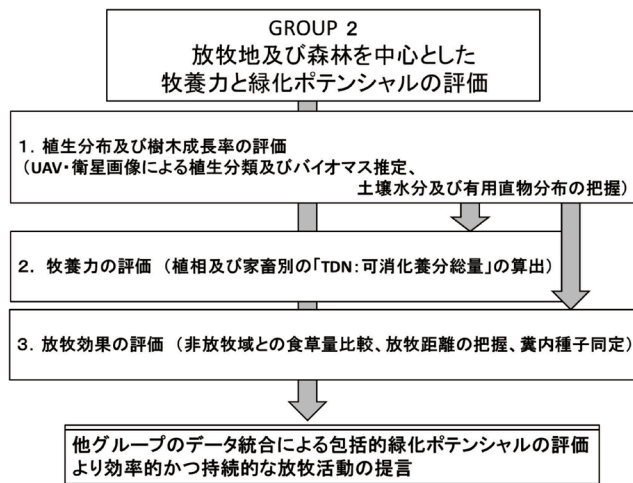


図6. プロジェクト研究課題2の目標達成のための研究フロー図

現地での UAV 画像データにより、地表面の植生を把握する。まず、UAV 取得画像データにより、優占する植物の種類を特定する。次に、衛星画像データにより、優占している植物を面的に把握する。優占している植物の情報と、地形データ情報との重ね合わせ、および水循環シミュレーションモデル開発グループとの連携により、土壌水分ポテンシャルマップを描画し、緑化ポテンシャルマップ描画の基盤とする。また、家畜動物の可消化養分総量やバイオロギングによる移動距離などから、放牧地の牧養力を把握する（図6）。

〈課題3：持続可能なパイロットファーム営農の確立〉

課題3では、課題1および課題2において評価された水資源・緑化ポテンシャルマップに基づき、パイロットファームをレベルに応じて設立し、水資源ポテンシャルおよび緑化ポテンシャルの実例データによる検証を行うとともに、それぞれのパイロットファームの持続可能性に資する農地化手法について実証試験を行い、最適な持続可能なパイロット農地の設立を目標とする（図7）。設置したパイロット農園では、灌漑農業を通じた作物・樹木・牧草、有用植物などについて、降雨後の表流水の集水、浅層地下水からの取水・貯水・送水・灌漑、さらに自然エネルギー利用も視野に入れた高効率水利用システム技術を開発する。また、節水効果の高い水管理技術として、PRD（partial root drying irrigation）や OPSIS（optimum subsurface irrigation system）の利用を検討する。PRDと OPSISを複合した灌漑による植物への耐乾性付与効果をアブジジン酸の生成などの植物生理から明らかにし、灌水量や収量から水生産性も評価する。さらに、地力や生産性の向上に最も現実的かつ効果的循環農業を可能にするアグロパストラル・システムの確立のため、農園内ため池に家畜の良質飼料として期待されるスピルリナの栽

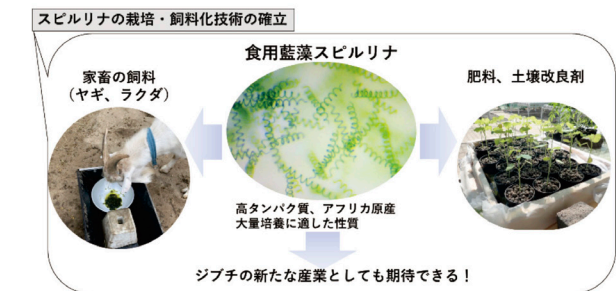
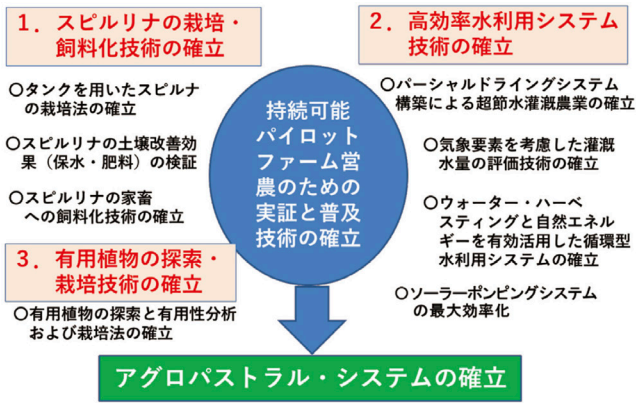


図 7. プロジェクト研究課題 3 の目標達成のための各研究項目 および、スピリリナ栽培項目の詳細概念

培・飼料化も目指す (図 7 下)。

〈課題 4：荒廃地緑化の経済的評価〉

課題 4 では、ジブチにおける都市の有機性ごみと家畜を利用した荒廃地における緑化の適用可能性を検討するとともに、牧畜民を受益者とした場合の、住民の所得・教育・健康の改善過程を解明することを目標としている。都市の有機性ごみと家畜を使った荒廃地の緑化については、西アフリカ・ニジェールにおいて 15 年以上にわたり圃場の内外で適用実験を繰り返し、農地や放牧地、樹林地の造成が可能となっており (e.g., 大山 2015), この成果をもとにジブチの自然・社会条件にあった緑化技術の確立を目指す。また、収入の増加に伴う教育参加率や子供の健康状態の改善などに、緑化事業が、緑化レベルに応じてどの程度寄与するのかについて、過去の水資源ポテンシャルに対応させつつ経済学的手法を用いて定量的に明らかにする。

荒廃地緑化は、ニジェールの年間降雨量 ca. 400 mm の半分しか得られないジブチにおいては、下水処理施設からの汚泥・処理水の実利用が既になされている Douda 農場をパイロットファームとして進める。汚泥・処理水の環境モニタリングを行いつつ、土壌の化学性の改善、および処理水の灌漑水利用を通じて放牧地のアグロパストラル・システム (Douda モデル, 図 8) の確立と普及を目指す。

荒廃地緑化による遊牧民の定住化、そして経済的あるいは教育や生活環境の向上などを実装するには、荒

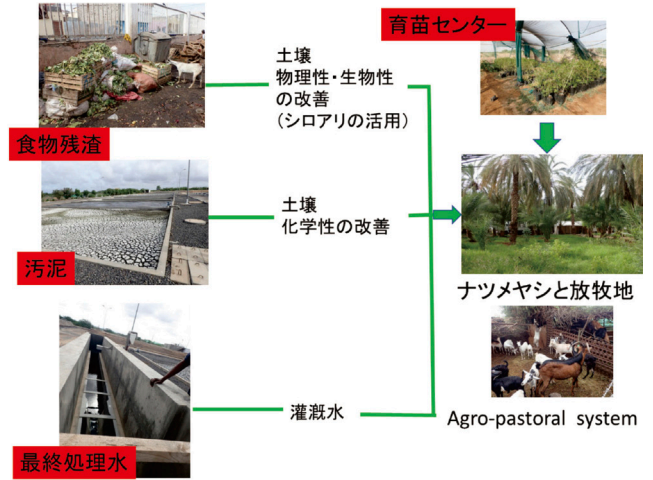


図 8. プロジェクト研究課題 4 における荒廃地緑化とアグロパストラル・システム (Douda モデル)



図 9. プロジェクト研究課題 4 における経済評価研究の詳細概念

廃地緑化による効果と遊牧民のニーズが一致する必要があるため、遊牧民にもたらされる便益、さらに遊牧民の「定住」選択のための必要条件を把握することを目的とする。具体的には、①遊牧民の現在の経済・生活環境における課題の抽出、構造的把握；②遊牧民の意思決定における人や組織による影響の構造的把握；③①の課題に対する needs と wants の抽出・評価、および荒廃地緑化による効果との関係の解明である。更に今後生産が見込まれる農作物の潜在的需要の推計により、ファームの持続可能な運用についても検討する (図 9)。

〈課題 5：モデル普及・広報〉

課題 5 では、課題 1 から課題 4 に基づいてアウトプットされた成果やプロセスについて、マニュアルを作成し、ジブチ大学において開催するトレーニングにおいて、ジブチ調査研究センターの研究者、ジブチ農業水産牧畜海洋資源省及びジブチ高等教育科学技術省の職員等の関係者に共有する。また、ワークショップなどより農家・遊牧民への営農・緑化技術の移転を図る。

謝辞

本報文は地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）事業（国立研究開発法人科学技術振興機構／独立行政法人国際協力機構）の平成30年度申請書および2019年度年次計画書を抜粋・修正したものである。

参考文献

JICA/NTC インターナショナル（2014）：ジブチ国南部ジブチ持続的灌漑農業開発計画プロジェクトファイナルレポート，ジブチ共和国農業・畜産・漁業・水資源・海洋資源省，平成26年12月。

大山修一（2015）：西アフリカ・サヘルの砂漠化に挑む：ごみ活用による緑化と飢餓克服、紛争予防，昭和堂。

東京農大沙漠に緑を育てる会（2000）：ジブチの沙漠緑化

100景—もうひとつのアフリカガイド，東京農業大学出版会。

東京農大沙漠に緑を育てる会（2015）：東京農大沙漠に緑を育てる会20周年記念誌～東アフリカにおける活動記録～，渡邊・豊田・福永編，忠栄印刷。

Malow FA., Shimada S., Aurelien H. (2017): Event-based Rainfall-runoff Simulations using GETFLOWS for Kourtimalei Catchment in Djibouti, *International Journal of Environmental and Rural Development*, **8**(1): 169-175.

Malow FA. (2018): Development of a 3D water flow modelling based on scarce data for arid land water resources management: Case study of Ambouli and Kourtimalei Watersheds in Djibouti, Ph.D Dissertation, Graduate School of Tokyo University of Agriculture.

The International Committee of the Red Cross (2004): ICRC Annual Report 2004.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2017): World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables. Working Paper No. ESA/P/WP/248.

Greening desert in Djibouti—SATREPS project form implementation of sustainable agro-pastoral systems—

Sawahiko SHIMADA^{*1)}, Yasuhiko NAKANISHI¹⁾, Rikako KIMURA¹⁾, Fumio WATANABE¹⁾,
Satoru WATANABE¹⁾, Yuki YAMAMOTO²⁾, Yutaka ITO³⁾, Shuichi OYAMA⁴⁾, Fadoumo A. MALOW⁵⁾

Abstract: The achievements from the long term collaborative research efforts between Tokyo University of Agriculture (TUA) and Djibouti were evaluated in terms of adoption of our proposal as one of the governmental important programs targeting global issue supported by JST (Japan Science and Technology Agency) and JICA (Japan International Cooperation Agency), i.e., Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development (SATREPS), for FY2018. This project, titled “Project for Advanced and Sustainable Methods on Water Utilization Associated with Greening Potential Evaluation in Djibouti”, was proposed in order to enhance and implement sustainable agro-pastoral system in Djibouti. In this paper, the developed technologies as well as partnership milestones of our 25 years collaboration are reported and the vision of our SATREPS project for next 5 years with expected SDGs to be achieved are introduced.

Keywords: agro-pastoral system, Djibouti, SATREPS, SDGs, water utilization

*Corresponding Author: shima123@nodai.ac.jp

1-1-1 Sakuragaoka, Setagaya, Tokyo 156-8502

(Received, September 20th, 2019; Accepted, September 30th, 2019)

1) Tokyo University of Agriculture

2) Graduate School of Fisheries and Environmental Sciences, Nagasaki University

3) Graduate School of International Resources Sciences, Akita University

4) Center for African Area Studies, Kyoto University

5) Faculty of Science, University of Djibouti