

事業事前評価表（地球規模課題対応国際科学技術協力）

作成日：平成 23 年 9 月 27 日

担当部署：農村開発部乾燥畑作地帯課

<p>1. 案件名 ボツワナ乾燥冷害地域におけるヤトロファ・バイオエネルギー生産のシステム開発</p>
<p>2. 協力概要</p> <p>(1) 事業の目的 本事業は、ボツワナの乾燥・冷害地域において ①ヤトロファを効率的に育てるための研究、②高収量・ストレス耐性ヤトロファの育種、③ヤトロファ種子から生産されるバイオディーゼルの特性の研究、④種子・バイオディーゼルの生産に伴い発生する非油脂バイオマスの利用方法の研究、⑤バイオディーゼル生産について、全工程を対象とした環境・社会・経済性をはじめとする総合的な評価、を行うことにより、ボツワナにおけるヤトロファバイオディーゼルの生産に向けた技術的知見と経験の蓄積を達成することを目的とする。</p> <p>(2) 協力期間 2012 年 3 月～2017 年 3 月（60 ヶ月）</p> <p>(3) 協力総額（JICA 側） 約 3.0 億円</p> <p>(4) 協力相手先機関 鉱物エネルギー・水資源省（Ministry of Minerals, Energy and Water Resources: MMEWR）エネルギー局（Energy Affairs Division: EAD）、農務省（Ministry of Agriculture: MOA）農業研究局（Department of Agricultural Research: DAR）、ボツワナ大学（University of Botswana: UB）</p> <p>(5) 国内協力機関 奈良先端科学技術大学院大学、琉球大学、理化学研究所</p> <p>(6) 裨益対象者及び規模、等 協力相手先機関の研究者・行政官 40 人程度</p>
<p>3. 協力の必要性・位置付け</p> <p>(1) 現状及び問題点</p> <p>■ボツワナは 1966 年の独立以来、順調に経済発展を遂げてきた。しかし、経済はダイヤモンド採掘などの鉱業に偏重し、石油を含む国内消費物は輸入に大きく依存している。その一方、ボツワナは気象条件が厳しく農業の採算性が低いため、未利用地が多く残されている。こうした中、ボツワナ政府はエネルギー自給率を向上し、気候変動の緩和とエネルギーの持続的利用を推進する観点から、バイオ燃料の国内生産に乗り出す方針を固め、検討を進めてきた。</p> <p>■この取り組みの一環として、ボツワナ政府は第 10 次国家開発計画（Tenth National Development Plan: NDP 10）にて、再生可能エネルギーの開拓・利用に積極的に取り組む方針を明確にしている。現在策定中の国家エネルギー政策には、2030 年までに全エネルギー消費のうち 30%を再生可能エネルギー起源にする目標を盛り込むことを検討しており、なかでもヤトロファによるバイオディーゼルの生産を有望視している。</p> <p>■しかし、ヤトロファバイオディーゼルを商業生産するには、少雨と干ばつに適応した品種の開発、栽培体系の確立、毒性の評価など、多くの課題を克服する必要がある。そこで、MMEWR は 2010 年に日本のヤトロファ研究者の協力を得て、ヤトロファバイオディーゼル生産に向けた課題を特定した結果、ボツワナの乾燥・冷害環境に適した品種の選抜、育種と栽培方法の確立を最優先課題として取り組むべきであることが明らかになった。</p> <p>■現在、ボツワナにはこうした課題を解決するための研究を単独で実施できる機関はない。DAR と UB には関係分野の知識を持った研究者が在籍し、研究施設もある程度整っているが、この分</p>

野の研究経験は極めて乏しい。ヤトロファバイオディーゼルの商業生産を将来的に可能とするためには、ヤトロファ研究分野において世界でも先駆的な日本との共同研究の実施が求められている。

■本事業では首都のハボロネに位置する DAR の敷地に約 2ha の規模でヤトロファ栽培実験圃場を設ける。圃場内には気象観測装置を設置し、圃場内の気象と土壌条件を観測し、その条件に合致した栽培法を確立する。上記の通り、DAR は研究施設もある程度整っており、研究で使用する機器群の稼働に必要な電力供給が可能であることや、灌漑用の地下水も豊富であるため、研究に適した環境である。気象観測装置に関しては、ボツワナ国内の農業生態系を代表する他の 3 つの地域（カン、セロウェ、マウン）にも同様に設け、それぞれの気象と土壌条件を観測する。それらのデータを基に、これら 3 地域においても DAR 圃場で確立された方法を応用し、ヤトロファ栽培が可能となる様な栽培法を提示する。

■協力相手先機関の役割と位置付けは、ボツワナのエネルギー開発に係る政策策定機関である MMEWR 内の EAD が本事業全体の計画立案と総括責任を担う。DAR はヤトロファ栽培、育種及びヤトロファ非油脂バイオマスの開発に係る研究を担当し、UB はヤトロファオイルのバイオディーゼル化、分析、品質評価及びヤトロファ生産からバイオマス利用に至るプロセスの経済性や環境影響評価を担当する予定である。

■本事業においてボツワナ側の主な研究活動を担う DAR と日本側の奈良先端科学技術大学院大学は、2004 年より共同研究を実施しており、その研究成果に着目した MMEWR が、バイオ燃料の国内生産に係る研究を両機関に打診した経緯より本事業が提案された。更に、本分野において研究者を有する UB と協働することで効率的な研究体制が見込まれる。

(2) 相手国政府国家政策上の位置付け

NDP 10 のエネルギー分野では、バイオ燃料の生産・利用に関する技術開発を掲げ、バイオディーゼルの消費量を 2016 年までに総ディーゼル消費量の 5%まで高める方向性が示されている。農業分野では、バイオ燃料に投資することの技術的・経済的妥当性を調査するとしている。ボツワナ政府は、本事業を NDP 10 構成事業の一つに位置づけ、中期開発計画上の予算も確保されている。

(3) 他の援助機関の対応

ボツワナは、ヤトロファの栽培やバイオ燃料の生産に関して、現在、他の援助機関から支援を受けていない。現時点では、今後もそうした予定はない。

(4) 我が国援助政策との関連、JICA 国別事業実施計画上の位置付け（プログラムにおける位置付け）

日本は持続的な経済成長の後押しを対ボツワナ援助重点分野に定め、資源依存型の経済産業構造からの脱却と持続的な経済成長を実現するための支援を行うとしている。本事業は国別事業実施計画の「域内資源・エネルギー供給体制整備プログラム」に位置づけられているが、南部アフリカ地域での安定的・持続的なエネルギー供給の実現に向けた支援を実施していくという日本の援助方針に合致している。

日本は 2008 年 5 月の第 4 回アフリカ開発会議（TICAD IV）などで、アフリカ諸国の気候変動対策に関する取り組みへの協力を強化することを表明しているが、本事業はその支援策を具体化するものである。

4. 協力の枠組み

(1) 協力の目標（プロジェクト目標）

ボツワナにおけるヤトロファバイオディーゼルの商業生産に向けた技術的知見と経験が蓄積される。

【指標】¹

1. 少なくとも XX の学術論文が発行される。

¹ 指標の数値については事業開始後にベースライン調査を実施し、早い段階で設定する予定である。

2. 少なくとも 12 人の研究者がヤトロファに関連した修士・博士号を取得する。
3. ヤトロファバイオマスを利用するための技術パッケージがボツワナ政府に採用される。

(2) 成果（アウトプット）と活動

① 成果 1

ボツワナの気候に適したヤトロファの栽培体系²が確立される。

【活動】

- 1-1 気象観測システムとフィールドサーバーを設置する。
- 1-2 ヤトロファの栽培手法を開発する。
- 1-3 ヤトロファ栽培のための灌漑システムを開発する。
- 1-4 土壌と水の分析を行う。

【指標】

- 1.1 実験圃場でのヤトロファ種子の収穫が降霜シーズン前³に完了する。
- 1.2 少なくとも 4 つの異なるサイトについて、水管理と剪定を含む栽培体系が文書化される。
- 1.3 実験圃場でのヤトロファ種子生産が ha あたり XX トンを上回る。

② 成果 2

高収量・ストレス耐性ヤトロファ品種を開発するための技術基盤が構築される⁴。

【活動】

- 2-1 ボツワナに自生するヤトロファ系統を特徴づけ、その生理的特性を評価する。
- 2-2 ボツワナに自生するヤトロファ系統の害虫、病気の発生を調査する。
- 2-3 ボツワナに自生するヤトロファ系統を識別する分子マーカーを特定する。
- 2-4 遺伝子型と表現型の関係をオミクス解析により調べる。
- 2-5 遺伝子組み換えヤトロファを開発する⁵。

【指標】

- 2.1 ボツワナで入手可能なすべてのヤトロファ系統について、収量とストレス耐性が評価される。
- 2.2 ボツワナで入手可能なすべてのヤトロファ系統について、分子マーカーを特定するためのデータベースが開発される。
- 2.3 少なくとも 3 つの高収量・ストレス耐性と結びついた遺伝子組み換えヤトロファが開発される。
- 2.4 遺伝子組み換えヤトロファのストレス耐性が評価される。

③ 成果 3

ヤトロファオイルの特性が明らかになる。

【活動】

- 3-1 ヤトロファ種子のオイル含量、成分、熱量を分析する。
- 3-2 ヤトロファ種子、クルードオイル、バイオディーゼルの毒性物質を分析する。
- 3-3 ヤトロファクルードオイルとバイオディーゼルのエンジン性能試験を行う。
- 3-4 ヤトロファバイオディーゼルの収率を評価する。
- 3-5 ヤトロファクルードオイルとバイオディーゼルの品質を評価する。
- 3-6 ヤトロファ種子とクルードオイルの貯留特性を調べる。

² 冬期の乾燥や冷害を克服するための剪定樹形管理、防風対策、水管理、施肥の時期、等

³ ボツワナにおけるヤトロファ栽培上の問題は乾燥と冷害であり、最適な灌水法と共に、冬期の降霜が本格化する前に種子の収穫ができる栽培法の確立が課題の一つである。

⁴ 成果 2 で構築される技術基盤とは、品種開発に効率的に取り組むための手法の確立であり、本事業で新品種の開発まで至ることは想定していない。

⁵ 過去の研究から明らかにされた在来の野生種スイカから得られた環境ストレス耐性遺伝子をヤトロファへ組み込む。

【指標】

- 3.1 ポツワナで入手可能なすべてのヤトロファ系統について、オイル含量、成分、熱量に関するデータベースが開発される。
- 3.2 ヤトロファ種子、クルードオイル、バイオディーゼルの毒性物質が分析される。
- 3.3 ヤトロファクルードオイルとバイオディーゼルの燃焼特性が明らかになる。
- 3.4 ヤトロファバイオディーゼルの収率が算定される。

④ 成果 4

ヤトロファ非油脂バイオマスを利用するための技術が開発される。

【活動】

- 4-1 非油脂ヤトロファバイオマスの熱量、化学組成、毒性物質を分析する。
- 4-2 ヤトロファ炭を生産する。
- 4-3 ヤトロファ炭を土壌に適用する。
- 4-4 ヤトロファ炭の土壌への効果を調べる。
- 4-5 非油脂ヤトロファバイオマスのエネルギー利用とその他の利用方法を評価する。

【指標】

- 4.1 種子以外のバイオマスの重量と成分、副産物生産特性が分析される。
- 4.2 炭適用区の水分保持能力が否適用区を XX%上回る。
- 4.3 炭適用区の水利用効率が否適用区を XX%上回る。
- 4.4 少なくとも 4 つの非油脂ヤトロファバイオマス利用技術（例：土壌改良材、燃料）が評価される。

⑤ 成果 5

ヤトロファ生産とバイオマス利用のインパクトが環境・社会・経済面から評価される。

【活動】

- 5-1 ヤトロファ生産とバイオマス利用の環境へのインパクトを評価する。
- 5-2 ヤトロファ生産とバイオマス利用の社会へのインパクトを評価する。
- 5-3 ヤトロファバイオディーゼル生産の経済評価を行う。
- 5-4 研究成果を国際的に共有するためのワークショップやシンポジウムを開催する。

【指標】

- 5.1 温室効果ガスをバイオディーゼル、副産物、土壌改良に配分するための方法論が決定される。
- 5.2 ヤトロファバイオディーゼルの予備的ライフ・サイクル・アセスメントが実施される。
- 5.3 ヤトロファの商業利用を想定した場合の土地利用、産業、雇用などへの影響が判定される。
- 5.4 種子収量、バイオディーゼル製造効率、栽培可能面積の評価に基づく石油エネルギー代替可能性が推定される。

(3) 投入（インプット）

① 日本側（総額約 3.0 億円）

1) 専門家

<長期>

a) 業務調整

b) 栽培

<短期>

c) 栽培

d) 分子育種

e) 収穫後処理

f) 非油脂バイオマス

- g) その他の専門分野
- 2) 日本、第3国での短期研究
- 3) 資機材
- 4) シンポジウム、ワークショップ開催費

② ボツワナ側

- 1) 人員配置
 - a) プロジェクトダイレクター (MMEWR 事務次官)
 - b) 副プロジェクトダイレクター (EAD 局長、DAR 局長、UB 研究・開発室長)
 - c) プロジェクトマネージャー (EAD バイオエネルギー課長、DAR 作物研究部長、UB クリーンエネルギー研究センター代表)
 - d) EAD、DAR、UB の教職員・学生 約 60 名
- 2) 施設
 - a) DAR での専門家執務スペース
 - b) DAR と UB の実験室と作業場
 - c) DAR の実験圃場
- 3) 本事業に必要なデータ (地図と写真を含む) と情報
- 4) 経常経費
 - a) 本事業に関係する EAD、DAR、UB の教職員の人件費
 - b) 本事業に関係する大学院生の指導・研修費用
 - c) ボツワナ側が保有・調達する資機材、器具、車両、工具、予備部品などの供給・取り替え費用
 - d) 光熱・水道費など本事業運営に必要な基礎的経費
- 5) 労務費
 - a) 圃場試験技術者
 - b) 圃場試験作業員
- 6) シンポジウム、ワークショップ開催費
- 7) 修士、博士号取得のための長期研究
- 8) 資機材

(4) 外部要因 (満たされるべき外部条件)

① 前提条件

- プロジェクト関係機関間で研究成果の利用等についての合意文書である MOU が早期に締結される。

② 成果 (アウトプット) 達成のための外部条件

- ヤトロファ栽培試験に必要な地下水が十分ある。
- 気候条件が劇的に変化しない。
- データ通信ネットワークが整備されている。
- 遺伝子組み換え植物に関する法規制 (屋外における実験栽培に関する規制、研究成果の利用に伴い生じる知的財産権、等) が整う。

③ プロジェクト目標達成のための外部条件

- なし

5. 評価5項目による評価結果

(1) 妥当性

この案件は以下の理由から妥当性が非常に高いと判断できる。

- ボツワナは再生可能エネルギーの利用促進に取り組んでいる。しかし、有望視されているヤトロファバイオディーゼルの生産には、克服すべき課題がある。本事業は、こうした課題の解決に必要な研究にボツワナと日本の研究者が共同で取り組み、ボツワナ側の人材育成も進めながら、将来、商業ベースでヤトロファバイオディーゼルの生産するための技術的基礎を築き上げることを目標としたものであり、ボツワナの開発ニーズに適合したプロジェクトで

ある。

- 先に述べたとおり、ボツワナ政府は本事業を NDP 10 を構成する事業に位置づけており、本事業はボツワナの開発計画に合致している。
- 本事業は、先に説明した日本の対ボツワナ・アフリカ援助方針に掲げる資源依存型の経済産業構造からの脱却と持続的な経済成長の実現に合致したものである。
- 本事業では、未利用となっている自然環境が厳しい土地でヤトロファを栽培するための研究を行う。研究の重点を栽培体系の確立と育種に置き、ニーズに的確に応えうるデザインである。同時に、生産されるバイオディーゼルの評価、副産物の利用方法の検討、環境・社会・経済的インパクトの評価も行い、ボツワナでヤトロファバイオディーゼルの生産することの妥当性を総合的に評価する。加えて、ライフ・サイクル・アセスメントを行い、負の影響も含めて評価する計画である。技術開発がとくに必要な分野に重点を置く一方、バイオディーゼルの商業生産実現に必要な分野を網羅する計画となっており、プロジェクトのデザインは適切である。
- 日本はヤトロファのゲノム配列解読作業に先駆的に取り組むなど、多くの点で世界のヤトロファ研究をリードしている。本事業は、2004 年から DAR と共同研究を行ってきた実績がある奈良先端科学技術大学院大学の研究者が日本側リーダーとなるなど、日本にはボツワナの自然環境、植物遺伝子資源、研究者の能力、研究環境などについて多くの知見が蓄積されている。また、ボツワナ政府高官との間でも信頼関係が構築されている。日本はこうした優位性を活かしながら協力を進めることができる。

(2) 有効性

この案件は以下の理由から有効性が高いと見込まれる。

- 本事業は、商業ベースでヤトロファバイオディーゼルの生産するための技術的基礎を構築することを目指す。そのために、ボツワナの乾燥・冷害条件下におけるヤトロファ栽培のための研究（成果 1、2）、将来、それら研究の成果によりヤトロファが栽培されることを想定したヤトロファ種子から生産されるバイオディーゼルの特性の研究（成果 3）、ヤトロファバイオディーゼルの生産にともない発生する副産物の利用方法の研究（成果 4）に加え、バイオディーゼル生産について、全工程を対象とした経済性をはじめとする総合的な評価（成果 5）を行う。これらの成果を通じ、ヤトロファの商業生産を行う上での技術を蓄積することに加え、商業活動実施に係る判断材料を提示するものであり、成果からプロジェクト目標につながる論理構造も適切である。成果が計画どおり発現されれば、プロジェクト目標が達成される可能性は高い。
- 一方、いくつかの項目について、ベースラインを把握できていないため指標値が設定されていないことから、事業開始後、早い段階ですべての指標を確定する必要がある。

(3) 効率性

この案件は以下の理由から効率的な実施が見込める。

- 日本側研究者は、ボツワナ側関係者との間で良好かつ緊密な関係を構築している。既に本事業実施に係る詳細かつ具体的な協議が行われており、関係者間の課題共有も進んでいる。このため、事業開始当初から本格的に研究活動に取り組むことができると予想される。
- ボツワナ国内で実施できる研究活動については、栽培試験は DAR の農場を利用し、油の分析は UB の実験室を利用するなど、DAR と UB の施設と機材を最大限活用して、ボツワナの研究者を主体として実施する。研究活動には、ボツワナの大学院生も本事業の研修員として参画し、若手研究者の育成と研究成果達成を同時に行う。こうしたことから、類似事業と比較して、低コストで事業の目標を達成できると予想される。
- 本事業実施のための特別なユニットは設置せず、事業の管理は既存の政府組織が行う計画であり、人員の新規雇用は試験圃場を管理する技術者や作業員など数名に限られる。したがって、少ない投入で多くの活動を実施できると予想される。

他方で、本事業では気象観測システムやフィールドサーバーを導入し、情報通信技術を活用して栽培体系について研究を進める。データ通信ネットワーク環境が整備されていない場合、

研究戦略の見直しを迫られる可能性がある。また、過去に長期間の共同研究の経験を有する農業省に比べ、本事業から参入が決定した UB については情報共有が遅れる傾向にあるので実施にあたって配慮が必要である。

(4) インパクト

以下のような正のインパクトが期待できる。

- ボツワナにおいてバイオディーゼルを商業ベースで生産できるようになることが期待される。そのためには、プロジェクト目標が達成され、高収量・ストレス耐性品種によるヤトロファ種子の生産が実用化され、石油起源のディーゼルに近いコストでバイオディーゼルが生産される必要がある。インパクトの規模は、ヤトロファの栽培を含むバイオディーゼル生産コストと、石油価格に左右される。価格差が小さい場合は、補助金や税金の適用によりインパクトの規模を調整することが可能である。
- 二次的なインパクトとしては、石油製品の輸入代替による貿易収支の改善、ヤトロファ栽培とバイオディーゼル製造による雇用創出、化石燃料代替による温室効果ガスの削減などが考えられる。

(5) 自立発展性

以下の理由からその効果は持続すると予想される。

- 政策・制度面では、MMEWR が策定中の国家エネルギー政策や NDP 10 で、バイオ燃料の開発・利用を促進する方針を明確に打ち出している。こうしたボツワナ政府の方針は、少なくとも中期的には維持されると考えられる。
- 財政面では、NDP 10 に関係する中期予算として、4 億 229 万 BWP の再生可能エネルギー関連予算が計上されている。
- 組織面では、EAD、DAR、UB とともに組織基盤はしっかりとしており、本事業ではこれらの組織の人材育成にも取り組むことから、成果を活用する体制は十分に構築・維持されると考えられる。
- 技術面でも、DAR と UB の研究者はすでに一定の技術水準を有し、機材の管理能力も十分にあり、本事業でもそれら関係機関の能力に合わせた技術移転を行う計画のため、持続性に不安はみられない。

6. 貧困・ジェンダー・環境等への配慮

本事業で扱うヤトロファの毒性物質や遺伝子組み換え品種が環境や人体へ悪影響を及ぼす可能性が、小さいながらもある。本事業は、毒性物質についてはその特性を明らかにする研究を活動に組み込み、遺伝子組み換えについては国内・国際法規を遵守して取り組むなど、こうした危険性を踏まえた計画になっているが、細心の注意を払って研究活動を実施する必要がある。また、ヤトロファ栽培適地を求めた土地収奪が起きる危険性も考慮する必要がある。諸外国では、バイオ燃料の原材料生産のために、開発業者による土地の買い占めが進んだという事例がある。本事業では未利用地でヤトロファを栽培する技術の開発を行うが、適切な情報提供と規制がない場合、社会的弱者が生計を維持するために必要な農地を失う事態も考えられる。ボツワナ政府は、本事業の成果達成状況や石油価格の推移を見ながら、適切な施策を展開していく必要がある。

7. 過去の類似案件からの教訓の活用

これまでの日本の大学の教員を専門家に活用した機構の事業では、教員の日本国内における授業などの用務のため、現地へ渡航可能な時期が限定され、滞在期間が短いこともあって、カウンターパートと十分なコミュニケーションを図ることができないという課題が見られた。本事業では、こうした課題をふまえて、現地をベースに研究活動に取り組む長期専門家を配置して、円滑に国際共同研究を進める体制を構築する。

ボツワナでは、UB をカウンターパート機関として、再生可能エネルギーに関する科学技術研究員派遣協力「ボツワナにおける地域適合型エネルギーシステムの設計」(2011 年～2013 年)が開始されているが、ボツワナ側予算確保などに問題が生じて、活動が滞っている。協力内容

や関係機関の責任について、関係者の中で十分な理解が得られていなかったことも障害となった。本事業実施にあたっては、日本、ボツワナ両関係機関（主として UB）の役割や責任について更なる明確化に努め、こうした事業開始後のトラブルを防ぐ必要がある。ボツワナ側予算を管理する EAD とは、投入計画について正確な情報交換を行い、事業への予算準備を円滑に進める。

近隣国モザンビークでは、ヤトロファの栽培・活用技術の確立と環境保全効果の実証を目的とした科学技術協力プロジェクト「モザンビークにおけるジャトロファバイオ燃料の持続的生産」（2011年～2016年）が実施されている。このプロジェクトで得られた教訓を活用する。

8. 今後の評価計画

- ・ 中間レビュー 2014年9月頃
- ・ 終了時評価 2016年10月頃