

ボツワナ

2021年度 外部事後評価報告書

技術協力プロジェクト「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」

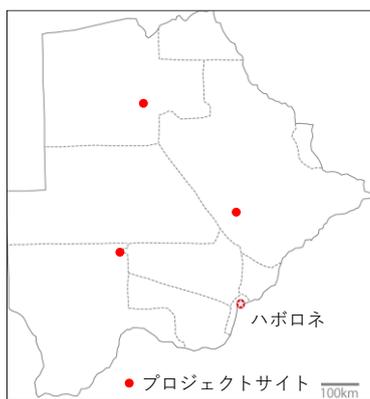
外部評価者：OPMAC株式会社 宮崎慶司

## 0. 要旨

本事業は、①ボツワナの気候に適したヤトロファの栽培体系の確立、②高収量・ストレス耐性ヤトロファ品種の開発技術基盤の構築、③ヤトロファの油脂分析と利用法の開発、④ヤトロファ非油脂バイオマスの利用技術の開発、⑤ヤトロファ生産とバイオマス利用のインパクトの環境・社会・経済面からの評価などの5つの領域で研究を行い、ボツワナでのヤトロファ・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の蓄積を目的としたものである。これはボツワナの開発政策、開発ニーズ、および日本の援助政策に合致しており、事業の妥当性は高い。5つの領域すべてにおいて、計画に沿って研究成果があげられ、プロジェクト目標はおおむね達成された。上位目標として設定した社会実装への取組については、7つのうち3つが実施済みあるいは実施中、4つが未実施であった。本事業はボツワナ側実施機関の研究能力の向上に一定の貢献が認められ、機材の活用・維持管理状況はおおむね問題がなかった。自然環境へのマイナスのインパクト、用地取得・住民移転も認められなかった。よって、本事業の実施により一定の効果発現がみられ、有効性・インパクトは中程度である。事業費、事業期間ともに計画内に収まり、効率性は高い。持続性については、政策・政治的関与、制度・体制、技術、財務、いずれも問題なく、高い。

以上より、本事業の評価は非常に高いといえる。

## 1. 事業の概要



事業位置図



実験圃場で栽培されたヤトロファ

### 1.1 事業の背景

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が、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た。他方、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た。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、第 10 次国家開発計画（2009 年～2016 年）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た。また、ボツワナ政府は、2030 年までに全エネルギー消費に占める再生可能エネルギー起源のエネルギー消費を 30%まで引き上げることを検討しており、それに関連して、ヤトロファによるバイオディーゼルの生産が有望視されていた。しかし、ヤトロファ・バイオディーゼルの商業生産を実現するためには、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った。他方、ボツワナにおけるヤトロファ研究分野の研究経験は極めて乏しく、同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た。

## 1.2 事業の概要

上位目標	設定なし	
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。	
成果	成果 1	ボツワナの気候に適したヤトロファの栽培体系 <sup>1</sup> が確立される。
	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 <sup>2</sup> が構築される。
	成果 3	ヤトロファオイルの特性が明らかになる。
	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。
	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。
日本側の事業費	288 百万円	
事業期間	2012 年 4 月～2017 年 4 月	
事業対象地域	セベレ（ハボロネ）、カン、セロウェ、マウン	
実施機関	鉱物資源・グリーンテクノロジー・エネルギー安全保障省 （Ministry of Mineral Resources, Green Technology and Energy Security: MMGE、以下「MMGE」という）エネルギー局、農務省農業研究局、ボツワナ大学	
その他相手国協力機関など	なし	
わが国協力機関	鳥取大学、琉球大学、理化学研究所	

<sup>1</sup> 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、施肥の時期など。

<sup>2</sup> 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。

関連事業	技術協力「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7月～2016年6月)
------	--

### 1.3 終了時評価の概要

#### 1.3.1 終了時評価時のプロジェクト目標達成見込み

プロジェクト目標は部分的に達成見込みとされた。ヤトロファ・バイオディーゼルに関する学术论文が既に4本掲載済みで、3本が各学術誌にてレビュー中、4本がドラフト段階であった。また、ヤトロファの栽培手法、遺伝子組み換えヤトロファの開発、非油脂バイオマスの利用等に係る技術的知見およびプロトコルの原稿が作成された。一方、事業期間中にヤトロファに関連した修士・博士号を取得できた研究者は1名に留まった。

#### 1.3.2 終了時評価時の上位目標達成見込み（他のインパクト含む）

本事業では、上位目標は設定されていなかった。

#### 1.3.3 終了時評価時の提言内容

以下の事項が提言された。

- (1) 社会実装に向けたロードマップの策定
- (2) 国家エネルギー政策への貢献
- (3) 遺伝子関係の規則の整備
- (4) 施設・機材の持続的な活用

## 2. 調査の概要

### 2.1 外部評価者

宮崎慶司（OPMAC 株式会社）

### 2.2 調査期間

今回の事後評価にあたっては、以下のとおり調査を実施した。

調査期間：2021年7月～2023年1月

現地調査：2021年11月1日～11月14日

### 2.3 評価の制約

本事業は、地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development: SATREPS<sup>3</sup>、以下「SATREPS」という) であり、SATREPS

<sup>3</sup> SATREPS は、外務省と文部科学省の支援のもと、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）、国立研究開発法人日本医療研究開発機構（AMED）と JICA が連携して実施し、日本の優れた科学技術と ODA との連携によって、開発途上国との科学技術協力、科学技術外交を推進するプログラム。環境、カーボンニュートラル、生物資源、防災および感染症といった地球規模課題の解決に向け、課題の解決につながる新たな知見・技術の獲得やイノベーションの創出、さらには開発途上国の自立的な研究開発能力の向上と課

案件の事後評価は、通常、内部評価として実施している。JICA 評価部は、外部事後評価として実施することで国内関係者へのインタビュー等の評価調査過程で有用な教訓が得られると判断し、本事業は外部事後評価として実施することとした。ただし、評価新基準の導入時期の関係で、本事後評価では旧評価基準（評価 5 項目）に基づき評価を行った。

### 3. 評価結果（レーティング：A<sup>4</sup>）

#### 3.1 妥当性（レーティング：③<sup>5</sup>）

##### 3.1.1 開発政策との整合性

事前評価時、「第 10 次国家開発計画」（2009 年～2016 年）では、知識社会の構築、鉱業依存の脱却・産業の多角化促進、公共サービスの向上、民間セクターの成長促進、情報通信・研究、人的資源開発、公共安全・治安対策、インフラ整備および保全、サービス産業への投資などが重点項目と掲げられていた。そのなかで、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、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が示されていた。また、策定中の国家エネルギー政策に、2030 年までに全エネルギー消費に占める再生可能エネルギー起源のエネルギー消費を 30% まで引き上げる目標を盛り込むことが検討されており、それに関連して、ヤトロファによるバイオディーゼルの生産が有望視されていた。

事後評価時、2036 年までの長期開発戦略を示した「VISION 2036」に基づき策定された「第 11 次国家開発計画」（2017 年～2023 年）では、産業多角化の推進、人材育成、社会開発、天然資源の持続的な利用、効率的な管理と評価システムの実施等が優先分野として掲げられている。それには、ヤトロファ利用を含む再生可能エネルギーの開発も含まれる。また、ボツワナ国家エネルギー政策（2020 年～2040 年）では、2010 年に比べて 2030 年までに 15%、2036 年までに 36% の二酸化炭素排出量の削減が目標として掲げられ、そのなかで、バイオ燃料資源としてのヤトロファの有望性が言及されている。

##### 3.1.2 開発ニーズとの整合性

事前評価時、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おり、未利用地を活用した、ヤトロファによるバイオディーゼルの生産が有望視されていた<sup>6</sup>。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った。MMGE エネルギー局は、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

題解決に資する持続的活動体制の構築を図ることを目的とする。

<sup>4</sup> A：「非常に高い」、B：「高い」、C：「一部課題がある」、D：「低い」

<sup>5</sup> ③：「高い」、②：「中程度」、①：「低い」

<sup>6</sup> ヤトロファは食用に向かないため、食物と利用可能なトウモロコシなどのバイオエタノールの原料と競合することなく、純粋にエネルギーとしてバイオディーゼルの抽出できるという利点もある。

であることが明らかになった。一方、農務省農業研究局およびボツワナ大学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たが、この分野の研究経験は極めて乏しく、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た。

事後評価時、MMGE エネルギー局は、本事業を通じて、ボツワナの気候条件下に耐える遺伝子組み換え種の開発および栽培方法などで一定の成果は認められたものの、本格的なヤトロファ栽培を展開するには、継続的な栽培方法研究およびゲノム育種研究と関連分野の国内法整備など解決すべき課題も残るとの認識から、ヤトロファ以外のバイオマス<sup>7</sup>の活用によるバイオディーゼルの開発へと方針を転換した。それを受けて、MMGE エネルギー局、農業省農業研究局、ボツワナ大学は、ボツワナ国内で入手可能な様々なバイオマスを活用した「バイオ燃料生産拡大のための研究プロジェクト<sup>8</sup>」(2018年4月～2023年3月)実施のための覚書に署名した。この研究プロジェクトは、本事業の研究成果に基づきバイオディーゼルの開発を継続・発展させることを目的としているが、一方で、ヤトロファ・バイオディーゼルの開発に限定されず、ボツワナに自生する資源作物や獣脂、廃食用油などの廃棄物系バイオマスを活用したバイオディーゼルの開発へと研究対象範囲を広げている。同プロジェクトは、ボツワナ政府の自己資金にて行われるもので、予算規模は4年間で約14.2百万プラ(約1.42億円<sup>9</sup>)であり、農業研究局およびボツワナ大学の研究費、出張費(バイオディーゼルの原材料の採取のための旅費など)などに充てられる予定である。

他方、日本側研究者、農業研究局、ボツワナ大学などは、バイオ燃料資源としてのヤトロファの有有用性およびポテンシャルに引き続き注目しており、農業研究局は、ボツワナの気候条件に適合したヤトロファ栽培法の開発、品種改良の研究などを継続して進める意欲を示している。

### 3.1.3 日本の援助政策との整合性

事前評価時の我が国の対ボツワナ ODA 政策では、「経済成長のための基盤整備」、「貧困地域の開発促進」を援助重点分野と定め、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た。また、我が国は、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の強化を表明しており、本事業はその具体的な支援策として位置づけられていた。さらに、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

<sup>7</sup> 生物資源(bio)の量(mass)を表す概念で、「再生可能な、生物由来の有機性資源で化石資源を除いたもの。バイオマスは、その賦存状態により、(1)廃棄物系バイオマス(家畜排せつ物、食品廃棄物、下水汚泥、し尿汚泥など)、(2)未利用バイオマス(稲わら、麦わら、もみがら、林地残材など)、(3)資源作物(さとうきび等の糖質資源、とうもろこし等のでんぷん資源、なたね等の油脂資源、柳、ポプラなど)に分類される。(出所:九州農政局ウェブサイト <https://www.maff.go.jp/kyusyu/kikaku/baiomasu/teigitou.html>)

<sup>8</sup> 正式名称「Biofuels Production Project」。ボツワナ政府予算での実施。

<sup>9</sup> 交換レートは1プラ=10円として計算。

けた支援を目的とする本事業は、JICA 国別事業実施計画において「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た。

#### 3.1.4 事業計画やアプローチ等の適切さ

事前評価時のプロジェクト・デザイン・マトリックスでは、成果 5 において 4 つの指標（指標 5.1～指標 5.4）が設定されていた。しかしながら、終了時評価時に用いられたプロジェクト・デザイン・マトリックスでは、指標 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」は削除されていたため、評価判断の対象とはしなかったものの、なぜ指標 5.3 が削除されたかの理由については、確認できなかった。

また、プロジェクト目標の指標 2「少なくとも 7 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」は、成果 1～5 の活動の結果から生み出されたものではなく、プロジェクト目標の達成度を測る指標としては、指標 2 は必ずしも適切ではなかったと考えられる。むしろ、ヤトロファ研究に関するボツワナの若手研究者（修士・博士課程の大学院生）への奨学金の支給と彼らへの研究指導をプロジェクト活動として追加し、その成果指標として使用することがロジック的にも適切であったと考えられる。

しかしながら、上記の 2 つの指標の問題は、本事業の効果の発現を阻害する要因とまでは言えないため、事業計画やアプローチの適切性は問題なかったと考える。

以上より、本事業の実施はボツワナの開発政策、開発ニーズ、日本の援助政策と十分に合致しており、妥当性は高い。

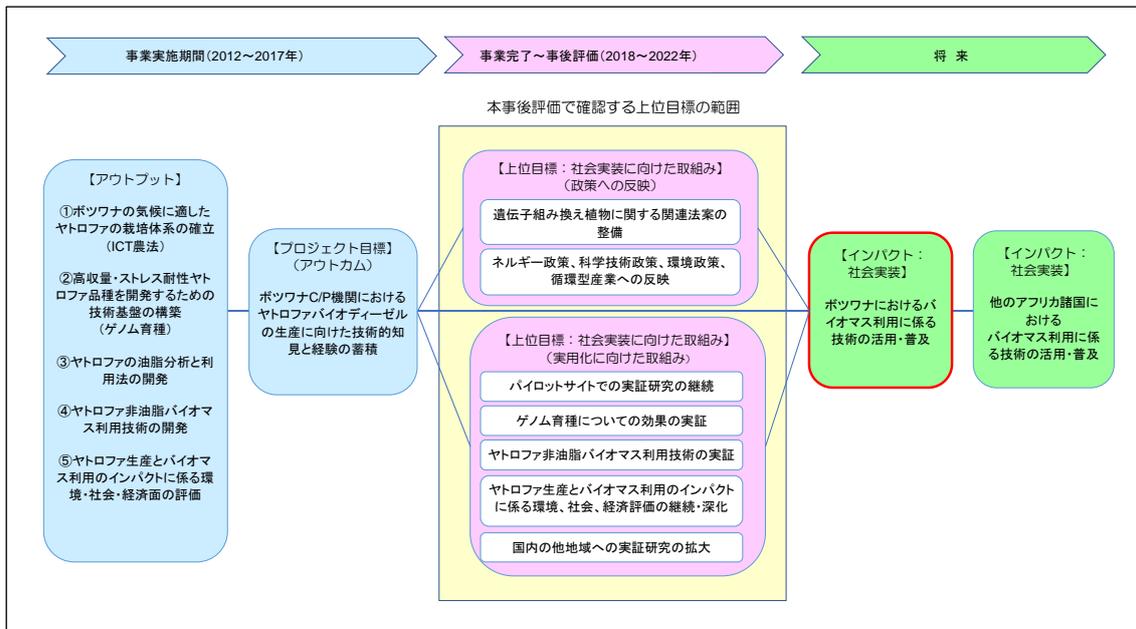
### 3.2 有効性・インパクト<sup>10</sup>（レーティング：②）

本事業は、SATREPS の枠組みで行われた技術協力事業であり、単なる基礎研究や応用研究に関する支援ではなく、相手国の課題・ニーズに応える科学技術の社会実装を進めることを最終的に目指している。本事業が目指す社会実装は「ボツワナにおけるバイオマス利用に係る技術の活用・普及」である<sup>11</sup>。一方で、SATREPS の実施から社会実装の実現に至るまでには、いくつかの段階を経る必要がある。このことから、本事後評価では、事業完了後 3～4 年目までに達成されるべき「社会実装への取組み」を整理し、本事業の上位目標として位置づけ、事後評価時点において、社会実装の実現に向けて様々な要件が整えられ、社会実装の実現に向けて進展がみられるかといった視点から、上位目標の達成の有無を分析した。「社会実装への取組み」としては、「政策への反映」として、①遺伝子組み換え植物に関する関連法案の整備、②エネルギー政策、科学技術政策、環境政策、循環型産業への反映、「実

<sup>10</sup> 有効性の判断にインパクトも加味して、レーティングを行う。

<sup>11</sup> 本事業が目指す社会実装については、当初は「ヤトロファによるバイオディーゼルの商業生産・普及」が想定されていたと考えられるが、本事後評価にて、改めて日本側およびボツワナ側研究者と社会実装の定義について確認を行い、「ボツワナにおけるバイオマス利用に係る技術の活用・普及」とした。

用化に向けた取組み」として、③パイロットサイトでの実証研究の継続、④ゲノム育種についての効果の実証、⑤ヤトロファ非油脂バイオマス利用技術の実証、⑥ヤトロファ生産とバイオマス利用のインパクトに係る環境、社会、経済評価の継続・深化、⑦国内の他地域への実証研究の拡大、と整理した。本事後評価で用いた分析の枠組みおよび本事後評価で確認する上位目標の範囲は、図1のとおり。



出所：評価者作成

図1 評価の枠組みおよび上位目標の範囲

### 3.2.1 有効性

#### 3.2.1.1 成果

##### (1) 成果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が確立される」は達成された。セベレ、カン、セロウェ、マウンの4カ所の実験圃場に、ボツワナ固有76系統およびガーナ系統のヤトロファが植えられ、灌漑設備および気象観測装置が設置され、ヤトロファの栽培研究が行われた。過去5年間の気象データの解析による寒波時期の特定に基づき、8月から11月に土壤水分をモニターしながら週2回の頻度で灌水すれば樹体は成長し、花芽分化が促進され、冬季（降霜シーズン）前に種子の収穫が可能であることが確認された。また、優良な数系統については、樹木1本当たり80個を超える種子を収穫することができた。上記の栽培研究に基づき、栽培マニュアル「Jatropha Cultivation in Botswana」が作成された。

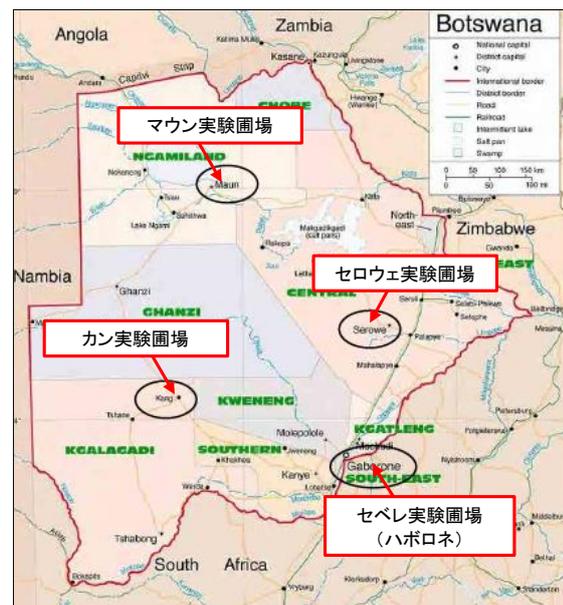
##### (2) 成果2

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」は達成された。セベレ実験圃場に植栽されたボツワナ固有ヤトロファ全 76 系統のバイオマス生産性および種子生産性が調査され、それぞれの形質が高い系統が選抜された。またバイオマスおよび種子生産性を基準に環境ストレス耐性が評価された。また、ボツワナの代表的なヤトロファの 5 系統についてゲノム解析とデータベース化が行われ、それらの塩基配列多型 (SNP) が顕著に高いことが見出された。これらの情報を基に SNP 分子マーカーが開発され、ボツワナの全ての系統の遺伝型が分析され、分子系統樹として分類することに成功した。そして、鳥取大学で開発された減圧処理やフィルターペーパー培養等からなる新規の形質転換法を用いて、高収量・ストレス耐性と結びついた 3 つの遺伝子組み換えヤトロファが開発された。この遺伝子組み換えヤトロファを用いて、鳥取大学にて環境ストレス耐性評価試験が行われ、低温ストレスに対する耐性が向上したことが確認された。ただし、ボツワナ国内では、遺伝子組み換えに関する法規制がまだ整っておらず、日本で開発された遺伝子組み換えヤトロファをボツワナ国内に持ち込むことが出来ないため、成果 2 のボツワナ側への波及には時間を要するとされた。なお、遺伝子組み換えヤトロファは、鳥取大学にて管理・保存されている。

### (3) 成果 3

成果 3「ヤトロファオイルの特性が明らかになる」は達成された。ボツワナ固有ヤトロファ系統のうち収穫に至った 61 系統について、その種子の油脂含量および油脂組成の分析、代表的な系統の熱量データの取得、データベースの構築が行われた。また、76 系統のヤトロファのうち、2015 年シーズンに収穫済みになった 37 系統について、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た。また、ヤトロファ種子から作られた粗油およびバイオディーゼルの熱量、粘性な



出所：JICA 提供資料

図 2 事業サイト

などの燃料規格に関連する基本的な燃料物性が測定され、小型発電機およびエンジン性能試験装置を使用して燃焼特性が明らかになった。そして、ヤトロファから作られたバイオディーゼルの使って、小型発電機による無電化村の電化に関するシミュレーションや、バイオディーゼル専用車の実車走行試験が行われた。さらに、ヤトロファ・バイオディーゼルの収率が算定された。

#### (4) 成果 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」は達成された。クルードオイルを搾油した後の搾りかす、果実の殻、収穫時に発生する小枝等の種子以外のバイオマス（非油脂系バイオマス）の重量および成分が分析され、副産物（土壌改良剤、肥料原料、固形燃料、触媒）の生産特性が分析された。また、ヤトロファ炭の土壌への適用実験の結果、ヤトロファ炭を使用した土壌は、使用していない場合と比べると、水分保持能力が 1.0%以上改善し、水利用効率も 0.5%以上改善する可能性が高いことが確認された。ヤトロファの非油脂バイオマスの利用法として、バイオ炭を利用した土壌改良材、固形燃料、固形肥料等の製造技術が開発され、それらの効果が確認された。

#### (5) 成果 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」は達成された。ヤトロファ生産における予備的ライフ・サイクル・アセスメントが行われ、栽培、搾油、精製、流通、利用といったヤトロファ・バイオディーゼル事業の諸段階における温室効果ガスの排出量および削減量の試算が行われた。その結果、ヤトロファ・エネルギー生産・消費プロセスにおいて、削減量が排出量よりも 63.4%上回ることが明らかとなった。次に、ヤトロファ・バイオディーゼル生産による石油燃料（軽油）削減量の試算、木質代替燃料生産による木質燃料（薪）削減量の算出、木質代替燃料による 1 年分の薪が供給可能な世帯数の試算が行われた。そして、実験圃場の栽培活動における支出および収入を算出し、モデルを用いて利益を創出するためのシナリオを構築し、ヤトロファ・バイオディーゼル事業の費用便益分析が行われた。加えて、サハラ以南アフリカに先行導入されたヤトロファ・バイオディーゼル事業に関する文献調査が行われ、その結果、上記の分析結果の妥当性が裏付けられた。

#### 3.2.1.2 プロジェクト目標達成度

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」は、おおむね達成されたと判断する。各指標の達成度は、表 1 に示すとおり。

表 1 プロジェクト目標の達成度

目標	指標	実績
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： 少なくとも 5 本の学術論文が発行される	おおむね達成 • サハラ以南アフリカに先行導入されたプロジェクトに関する文献調査に基づき、経済持続可能性、エネルギー政策、社会経済影響の観点から、ボツワナでのヤトロファ・バイオディーゼル事業導入要件および問題点に関する分析が行われ、学術論文 4 本として国際学術誌に投稿

目標	指標	実績
		された。 <ul style="list-style-type: none"> <li>上記の他にも原著論文 28 本（国際誌 26 件、国内誌 2 件）、著作・出版物 13 件なども発表された。その他に、開発の成果をマニュアル、データベース等としてまとめられた。</li> </ul>
	指標 2： 少なくとも 6 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	未達成 <ul style="list-style-type: none"> <li>7 名の研究者がボツワナ政府の奨学金を得て、6 名がボツワナ大学、1 名がボツワナ農業天然資源大学の大学院生としてそれぞれヤトロファ研究を開始したが、ボツワナ政府の予算措置の遅れに伴い奨学金支給開始が大幅に遅れた。そのため、本事業完了までに修士の学位を取得できたのは 1 名に留まった。</li> </ul>
	指標 3： プロジェクト成果に基づく技術体系がボツワナ政府に提案される	達成 <ul style="list-style-type: none"> <li>ヤトロファの栽培手法、遺伝子組み換えヤトロファの開発、非油脂バイオマスの利用等に係る技術的知見およびプロトコルが技術パッケージ (Technological Package) としてまとめられ、ボツワナ政府に提出された。</li> </ul>

出所：JICA 提供資料

指標 1「少なくとも 5 本の学術論文が発行される」がおおむね達成、指標 2「少なくとも 6 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」が未達成、指標 3「プロジェクト成果に基づく技術体系がボツワナ政府に提案される」が達成となった。指標 2 が未達成の理由は、ボツワナ政府からの奨学金の支給が遅れたため、7 名の博士・修士課程の大学院生の研究開始が遅れ、その結果、事業完了時まで博士・修士号の学位取得ができた大学院生が 1 名に留まったことによる。しかし、指標 2 は成果 1～5 の活動として行われた日本・ボツワナ側の大学・研究機関の共同研究の結果として生み出されたものではなく、本事業で得られた技術的知見と経験に基づいて行われるボツワナの大学院生の研究活動であることから、指標 2 はプロジェクト目標の指標としては、適切であったかどうか疑問が残る。むしろ、ヤトロファ研究に関するボツワナの若手研究者（修士・博士課程の大学院生）への奨学金の支給と彼らへの研究指導をプロジェクト活動として追加し、その成果指標として使用することがロジック的にも適切であったと考えられる。一方、成果 1～5 は、大学院学生への奨学金の支給スケジュールに関係なく、日本側・ボツワナ側の研究者により活動が行われており、プロジェクト目標の指標 1 および指標 3 と直接的に関連している。

以上より、①事業完了までに成果 1～5 は全て達成されていること、②指標 1 および指標 3 が成果 1～5 と直接的な結びつきが強いことなどから、指標 1 および指標 3 の達成度をより重要視して評価判断を行った結果、プロジェクト目標はおおむね達成されたと判断した。

### 3.2.2 インパクト

#### 3.2.2.1 上位目標達成度

本事業では、上位目標の設定は設定されていなかった。このため、前述のとおり、本事後評価では、事業完了後 3～4 年目までに達成されるべき「社会実装への取組み」を整理し、本事業の上位目標として位置づけ、事後評価時点において、社会実装の実

現に向けて様々な要件が整えられ、社会実装の実現に向けて進展がみられるかといった視点から、上位目標の達成の達成度を判断した。上位目標の実績については、表2に示すとおり。

表2 事後評価で想定した上位目標の達成度

上位目標	実績
① 遺伝子組み換え植物に関する関連法案の整備	<ul style="list-style-type: none"> <li>遺伝子組み換え植物に関する法律は、国会で審議中であり、農業省によると2022年中には承認される見通しである。</li> </ul>
② エネルギー政策、科学技術政策、環境政策、循環型産業への反映	<ul style="list-style-type: none"> <li>MMGE エネルギー局により、バイオ燃料の生産を行う上での手順を示したガイドライン「Biofuel Guideline for Botswana」(2021年5月)が作成済みであり、2022年中には正式に承認される見通しである。承認後は、上記ガイドラインは一般公開される予定。</li> </ul>
③ パイロットサイトでの実証研究の継続	<ul style="list-style-type: none"> <li>事業完了後、セベレ、カン、セロウェ、マウンの4カ所の実験圃場のうち、セベレを除いてヤトロファの栽培は行われていない。セベレの実験圃場では、本事業によりボツワナ固有ヤトロファ全76系統のなかから選抜されたバイオマス生産性および種子生産性の形質が高い系統のヤトロファの保存のため実験圃場は残されているが、冬季に発生する降霜などによる冷害、また圃場内に設置された気象観測機器の盗難などにより、ヤトロファの育成が困難な状況となっている。</li> </ul>
④ ゲノム育種についての効果の実証	<ul style="list-style-type: none"> <li>ボツワナ国内でのゲノム研究の継続に必要な遺伝子組み換え植物に関する関連法案が未整備の状況にあるため、日本で開発された遺伝子組み換えヤトロファをボツワナ国内に持ち込むことが出来ない。そのため、事後評価時においては、農業省農業研究局による多収およびストレス耐性のヤトロファ品種開発(ゲノム育種)に係る実証研究の継続は、実質的に停止している。農業省農業研究局は、同法案の成立後、鳥取大学にて管理・保存されている遺伝子組み換えヤトロファをボツワナ国内に搬入して、ゲノム育種の効果の実証研究を再開し、研究室レベルから圃場に広げて行いたいとの意欲を示している。</li> </ul>
⑤ ヤトロファ非油脂バイオマス利用技術の実証	<ul style="list-style-type: none"> <li>農業省農業研究局により、ヤトロファ非油脂バイオマスから生産したバイオ炭を活用した農業肥料(コンポスト)の実証研究が継続している。同実証研究では、効果的なコンポストを生産するための適切なバイオ炭の配合割合を研究しており、このコンポストは、農業研究局の農園での野菜栽培のほか、農家へ無償提供されており、その効果検証のためのモニタリングが行われている。農業研究局によると、このバイオ炭は、塩分を多く含んでいるため、土と混ぜてコンポストとして使用する場合は、含有率は10%以内に制限しているとのことであった。</li> <li>農業研究局は、この実証研究の成果に基づき、将来的には、ヤトロファ・バイオ炭の製造・利用に関する知識を農民に広めることを計画している。</li> </ul>
⑥ ヤトロファ生産とバイオマス利用のインパクトに係る環境、社会、経済評価の継続・深化	<ul style="list-style-type: none"> <li>本事業実施中に想定された研究成果は得られたものの、事業完了後は、同研究は継続して行われていない。</li> </ul>
⑦ 国内の他地域への実証研究の拡大	<ul style="list-style-type: none"> <li>鳥取大学などの日本側協力機関は、本事業完了後の2018~2019年頃、国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)を通じて本事業の後継案件(フェーズ2)の申請を行ったものの、採択には至らなかった。また、草の根技術協力事業のスキームを活用して、ヤトロファ・ディーゼルによる村落電化プロジェクトおよびバイオ炭を利用した土地改良プロジェクトを行うことを計画し、JICAへ応募を行ったが、事業計画が不十分ということで採択に至っていない。ボツワナ側実施機関および日本側協力機関は、草の根技術協力事業への採択に向けて、事業計画の見直し・精緻化を含む案件形成調査を継続しているものの、新型コロナウイルス感染症の世界的流行により、日本からボツワナへの渡航が困難となり、現地調査ができない状況が続いている。</li> </ul>

上位目標	実績
	<ul style="list-style-type: none"> <li>このように、ボツワナ側実施機関および日本側協力機関は、本事業の後継SATREPS 案件（フェーズ 2）の実施、および草の根技術協力事業の活用を通じて、本事業で得られた実証研究の成果をボツワナ国内の他地域へ拡大・展開して行くことを想定していたが、上記の計画が実現しなかったため、事後評価時においては、国内の他地域への実証研究の拡大は行われていない。</li> </ul>

出所：ボツワナ側実施機関および日本側協力機関への質問票回答、ヒアリング結果。

### ヤトロファ非油脂バイオマスの利用



ヤトロファ・バイオ炭の原料（ヤトロファの幹枝）



ヤトロファ・バイオ炭を利用したコンポスト生産施設



生産されたコンポスト

以上より、本事業の研究成果に基づいて、社会実装に向けた7つの取組は、3つが実施済みあるいは実施中、4つが未実施の状況である。よって、上位目標は一部達成されていないと判断する。

#### 3.2.2.2 事業効果の継続状況

##### (1) 研究成果の活用および継続

本事業の5つの成果（5つの研究領域）の継続状況については、表3に示すとおり。「3.1.2 開発ニーズとの整合性」で述べたとおり、本事業完了後、ボツワナ政府は、ヤトロファ以外のバイオマスの活用によるバイオディーゼルの開発へと方針を転換し、それを受けて、MMGE エネルギー局、農業省農業研究局、ボツワナ大学の三者の連携・協力のもと、ボツワナ国内で入手可能な様々なバイオマスを活用した「バイオ燃料生産拡大のための研究プロジェクト」（2018年4月～2023年3月）が実施されている。上記の出来事は、事業完成後の各成果の継続・進展に影響を与えている。

成果1は、事後評価時点では継続されていない。成果2に関する研究は、ボツワナ国内での遺伝子組み換え植物に関する関連法案の成立後に再開される可能性も残されているが、事後評価時点では休止状態にある。成果3については、ボツワナ大学の博士および修正課程の大学院生の研究テーマとして取組まれており、一定程度、継続している。一方、研究活動の主軸は、ヤトロファ種子からのバイオディーゼルの生産に限定されず、トリキリアなど他の植物種、廃食用油、牛脂など、利用可能な選択肢からのバイオディーゼルの生産・活用の研究にまで拡大しており、ボツワナ大学では、廃食用油、牛脂などからのバイオディーゼルを生産し、大学のディーゼル車を使った実車試験を行っている。成果4については、農務省農業研究局にてヤトロファ・

バイオ炭を活用した肥料（コンポスト）の実証研究が継続されており、ボツワナ大学でも固体燃料（ペレット）の原料としてのヤトロファ非油脂バイオマの利用に関する研究が継続されている。

成果5については、事業完了後は継続されていない。ただし、バイオディーゼルの原料がヤトロファ以外のバイオ原料の研究開発に重点が移っており、事後評価時における

成果5を継続させることの必要性は、当初想定したようには高くはないと思われる。

ヤトロファ



ヤトロファの種子

ヤトロファの苗

セベレ実験圃場のヤトロファ

表3 研究の継続状況

成果	事後評価時における継続状況
<p>成果1 ボツワナの気候に適したヤトロファの栽培体系が確立される。</p>	<p>【農務省農業研究局】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>事業完了後、セベレ、カン、セロウェ、マウンの4カ所の実験圃場のうち、セベレを除いてヤトロファの栽培は行われていない。セベレの実験圃場では、本事業によりボツワナ固有ヤトロファ全76系統のなかから選抜されたバイオマス生産性および種子生産性の形質が高い系統のヤトロファ種の保存のため実験圃場は残されてはいるが、冬季に発生する降霜などによる冷害、また本事業で供与され圃場内に設置された気象観測機器の盗難などにより、ヤトロファの育成が困難な状況となっている。セベレ実験圃場は引き続き農業研究局が管理している。</li> <li>一方、農業研究局は、バイオディーゼルの原料となるボツワナ国内で入手可能なヤトロファ以外の植物（トリチリア、スキソア、クロトンなどの品種）の栽培方法の研究を行っており、この研究には成果1の研究成果も役立っている。</li> </ul>
<p>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</p>	<p>【農務省農業研究局】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>本事業で開発されたヤトロファ品種は、低温に対するストレス耐性が十分とは言えないため、冬季の冷害に強いヤトロファのゲノム育種の研究は継続して行う必要があるが、遺伝子組み換え植物に関する関連法案の成立を待っており、同研究活動は休止中である（2022年中に法案成立見込み）。</li> <li>ボツワナ国内に自生し利用可能なバイオマス（Indigenous Potential Biomass）のマップを作成中。</li> <li>ヤトロファを使ったバイオディーゼルの開発から、ヤトロファ以外の植物（トリキリア、スキソア、クロトンなどの品種）を使ったバイオディーゼルの研究・開発へ研究対象範囲を拡大している。例えば、エチオピア・マスタード（オイルは食用には向かない）の研究など、ヤトロファと他の植物由来オイルとの特性の比較分析なども行っている。</li> </ul>
<p>成果3 ヤトロファオイルの特性が明らかになる</p>	<p>【ボツワナ大学】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ヤトロファ関連の研究は、博士および修士課程の大学院生数名が研究テーマとして取り組んでおり、研究自体は一部で続けられている。</li> </ul>

成果	事後評価時における継続状況
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 一方、現在の研究活動の主軸は、ヤトロファ種子からのバイオディーゼルの生産に限定されず、トリキリアなど他の植物種、廃食用油、牛脂など、利用可能な選択枝からのバイオディーゼルの生産・活用の研究にまで拡大している（ヤトロファに限定されないバイオマス活用の研究）。</li> <li>• 廃食用油、牛脂などからバイオディーゼルを抽出する装置（Bio-Prob 380 EX プロセッサー）を開発し、1回あたり380リットルのバイオディーゼルの生産が可能となった。このバイオディーゼルは、本事業で供与された車両で実際に使われており、ボツワナ大学では、将来的には、大学の全てのディーゼル車に供給可能な量のバイオディーゼルの生産を目指している。</li> </ul>  <p style="text-align: center;">Bio-Prob 380 EX プロセッサー</p>
<p>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。</p>	<p>【農務省農業研究局】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• バイオ炭の生産およびバイオ炭を活用した肥料（コンポスト）の実証研究は継続されている。このコンポストは、農業研究局の農園での野菜栽培のほか、農家へ無償提供されており、その効果検証のためのモニタリングが行われている。</li> </ul> <p>【ボツワナ大学】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 固体燃料（ペレット）の原料としてのヤトロファ非油脂バイオマスの利用に関する研究など、ヤトロファ関連の研究は、ボツワナ大学の博士および修士課程の大学院生数名が研究テーマとして取り組んでいる。</li> </ul>
<p>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。</p>	<p>【ボツワナ大学】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 本事業実施中に想定された研究成果は得られたものの、事業完了後は、同研究は継続して行われていない。</li> </ul>

出所：ボツワナ側実施機関への質問票回答、ヒアリング結果。

## (2) 研究者の能力向上

ボツワナ大学では本事業が同大学の研究者の能力向上・育成に大きく貢献したとの認識を示している。本事業の研究成果に基づき、ボツワナ大学では、工学技術部の博士・修士課程の大学院生の研究論文のテーマが選ばれ、関連研究が続けられている。またこの研究には、本事業でボツワナ大学および農業省農業研究局に供与された実験機材も使用されている。一方、農業省農業研究局によると、これまで農作物栽培・畜産の研究が主な業務であったが、本事業への参加により新たにバイオマスの研究が加わり、同局の研究領域の拡大、高度化につながったとのことであった。

## (3) 機材の活用・維持管理状況

本事業では、光合成測定装置、変性剤濃度勾配ゲル電気泳動ユニット、ゲル撮影装置、気象サーバー、葉面積測定器、DNA 電気泳動装置、凍結乾燥機、種子保存用冷蔵庫など、様々な研究・実験用機材が供与されたが、それらは、ボツワナ大学および農業省農業研究局において、事後評価時においても研究のために継続して使用されており、維持管理もおおむね問題ない。

### 農業省農業研究局への供与機材



農業省農業研究局の研究施設



葉面積測定器



プロテイン測定器



高温高圧殺菌装置

### ボツワナ大学への供与機材



ボツワナ大学の研究施設



バイオディーゼル抽出装置



バイオディーゼル抽出装置



バイオディーゼル・スターターキット

### 3.2.2.3 その他のインパクト

#### (1) 自然環境へのインパクト

事前評価時には、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認められることから、本事業では、毒性物質の特性を明らかにする研究が活動に組み込まれ、国内・国際法規を遵守した遺伝子組み換えの研究を行うことが計画されており、それらは計画通りに実施された。遺伝子組み換えの研究（ゲノム育種の研究）については、ボツワナでは遺伝子組み換え植物に関する関連法案が未整備であったことから、主に島根大学など日本側協力機関にて日本国内で行われた。

本事業実施中、必要な環境モニタリングが行われたが、農業省農業研究局によると、実験圃場でのヤトロファによる自然環境およびプロジェクト関係者の健康へのマイナスのインパクトは認められなかった。また、遺伝子組み換えに伴う環境への影響も認められなかった。

#### (2) 住民移転・用地取得

ヤトロファの栽培研究を行った4カ所の実験圃場は、農業省所有地内にあり、本事業の実施に伴う用地取得、住民移転は発生していない。

本事業の実施により、プロジェクト目標は達成された。上位目標として設定した社会実装への取組については、7つのうち3つが実施済みあるいは実施中、4つが未実施であった。事業効果の継続状況については、成果2、成果3、成果4は継続、成果1、成果5は未継続であった。本事業はボツワナ側実施機関の研究者の研究能力の向上に一定の貢献が認めら

れ、機材の活用・維持管理状況はおおむね問題がなかった。自然環境へのマイナスのインパクト、用地取得・住民移転も認められなかった。

以上より、本事業の実施により一定の効果発現がみられ、有効性・インパクトは中程度である。

### 3.3 効率性（レーティング：③）

#### 3.3.1 投入

投入要素別の計画と実績の比較は、表4に示すとおり。

表4 投入実績

投入要素	計画	実績（事業完了時）
(1) 専門家派遣	<ul style="list-style-type: none"> <li>長期：業務調整員、栽培（人数、人月の記載なし）</li> <li>短期：栽培、分子育成、収穫後処理、非油脂バイオマス、その他専門分野（人数、人月の記載なし）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>長期専門家：4人</li> <li>短期専門家：15人</li> </ul>
(2) 研修員受入	記載なし	29名
(3) 機材供与	記載なし	車両、光合成測定装置、各種測定装置・機器等
(4) 在外事業評価費	記載なし	約23.2百万円
日本側の事業費合計	300百万円	296百万円
相手国の事業費合計	記載なし （カウンターパート人件費、圃場労務費、研究用資機材購入費、シンポジウム・ワークショップ開催費など）	約132百万円 （カウンターパート人件費、プロジェクト車両ガソリン代、圃場労働者およびセキュリティーガード人件費、出張費、長期研修生派遣費、ワークショップ・会合・研修開催費等）

出所：JICA 提供資料

#### 3.3.1.1 投入要素

日本側からの派遣専門家（研究者）は、19名（長期専門家4人、短期専門家15人）であった。ボツワナ側からの研修員受入れは、29名であった。既述のとおり、5つの研究領域に関する共同研究は、事業期間内に実施することができ、栽培マニュアル「*Jatropha Cultivation in Botswana*」や技術パッケージの作成、国際学術誌への学術論文4本の発表、データベースの構築などの成果物も産出された。供与機材も概ね良好に活用、維持管理が行われている。ボツワナ側からもカウンターパート人件費、長期研修生派遣費、ワークショップ・会合・研修開催費等の費用として約132百万円の投入が行われており、パートナーシップに基づく事業実施であったといえる。

#### 3.3.1.2 事業費

日本側の事業費は計画300百万円に対して、実績は296百万円であり、計画内に収まった（計画比98%）。

### 3.3.1.3 事業期間

事業期間は、計画 60 カ月（2012 年 3 月～2017 年 3 月）に対して、実績は 60 カ月（2012 年 4 月～2017 年 4 月）となり、計画どおりであった（計画比 100%）。

以上より、本事業は事業費、事業期間ともに計画内に収まり、効率性は高い。

## 3.4 持続性（レーティング：③）

### 3.4.1 発現した効果の持続に必要な政策・政治的関与

ヤトロファ利用を含む再生可能エネルギーの開発は、第 11 次国家開発計画（2017 年～2023 年）における優先分野として掲げられており、ボツワナ国家エネルギー政策（2020 年～2040 年）においても、バイオ燃料としてのヤトロファの有望性が言及されている。また、ヤトロファのゲノム育種の研究に必要な遺伝子組み換え植物に関する法律についても、2022 年中には成立する見通しである。一方、事後評価時においては、ボツワナ政府の方針は、ヤトロファ以外のバイオマスの活用によるバイオディーゼルの開発も促進しており、MMGE エネルギー局、農業省農業研究局、ボツワナ大学は、実施中の「バイオ燃料生産拡大のための研究プロジェクト」（2018 年～2023 年）を通じて、本事業の成果を継承・発展させるかたちで、ヤトロファ・バイオディーゼルの開発に限定されない、ボツワナに自生する資源作物や獣脂、廃食用油などの廃棄物系バイオマスを活用したバイオディーゼルの開発に取り組んでいる。

よって、効果持続に必要な政策・政治的関与は確保されている

### 3.4.2 発現した効果の持続に必要な制度・体制

農業省農業研究局は、ハボロネ郊外セベレの本部のほかに、全国に多数の支部・支所を持ち、作物研究部、畜産・放牧地研究部、支援サービス部、人事部の 4 つの部で構成されている。本部のセベレは広大な実験圃場を有し、土壌などの化学分析や、DNA 分析などを行う実験施設を持つ。また、農業研究局は国内農業の種子提供機関として、重要な役割を果たしており、国内で使われる農業種子の 90%を提供している。植物遺伝子資源の保全も任されており、遺伝子組み換え植物の管理を含む、バイオセイフティを所管する機関でもある。事後評価時、農業研究局では 15 人の研究員が本事業の関連研究に従事している。

ボツワナ大学は、1982 年に開設されたボツワナ唯一の総合大学であり、経営学部、教育学部、工学技術部、保健科学部、医学部、人文学部、社会科学部の計 7 学部が設置されている。ヤトロファを含むバイオディーゼルの研究は工学技術部が担当しており、事後評価時、6 名の研究者（教員および博士・修士課程大学院生）が関連研究に従事している。また、本事業完了後も、鳥取大学を始めとする日本側協力機関とは、個人ベースを中心に、継続して連携・協力関係にある。

よって、効果持続に必要な制度・体制は確保されている。

#### 3.4.3 発現した効果の持続に必要な技術

農業省農業研究局は、2000年の後半からヤトロファの植物資源収集と栽培試験に取り組んでいる。農業研究局は、上記の「バイオ燃料生産拡大のための研究プロジェクト」の支援を受けて、バイオ燃料の原料となるヤトロファ以外の植物（トリチリア、スキソア、クロトンなどの品種）などの栽培および研究を行っている。農業研究局は、遺伝子組み換え植物に関する関連法案の成立後に、鳥取大学に保存されている遺伝子組み換えを行ったヤトロファをボツワナ国内に搬入し、ボツワナの気候に適したヤトロファの栽培方法（ICT 農法）および分子ゲノム育種の継続を行う意向を示しており、そのためセベレ実験圃場において、本事業によりボツワナ固有ヤトロファ全76系統のなかから選抜されたバイオマス生産性および種子生産性の形質が高い系統のヤトロファの保存を行っている。またヤトロファを原料とするバイオ炭の利用技術の研究も継続して行っている。農業研究局に供与された実験用器材も継続して使用されており、維持管理の状況も概ね良い。

ボツワナ大学では、循環型エネルギーの潜在的可能性に早くから着目し、Clean Energy Research Centre (CERC) (=循環型エネルギーの開発や普及に関連する研究者が所属する仮想的な研究組織)を設置し、それぞれの研究者の専門性を活かした学際的な研究を行ってきた。個々の研究者の専門性は高く、学術論文発表も盛んに行っている。ボツワナ大学工学技術部でも「バイオ燃料生産拡大のための研究プロジェクト」の支援を受けて、本事業の研究成果を参考に、ボツワナの自生植物やその他のバイオマス（獣脂、廃食用油など）を活用したバイオディーゼル燃料の研究を進めている。同大学では、獣脂、廃食用油を原料とするバイオディーゼルの製造機器を開発し、実車試験も行っている。ボツワナ大学に供与された実験用器材も継続して使用されており、維持管理の状況も概ね良い。

よって、効果持続に必要な技術は確保されている。

#### 3.4.4 発現した効果の持続に必要な財務

ボツワナ大学では「バイオ燃料生産拡大のための研究プロジェクト」から2020年に2,080,000 プラ（約21.4百万円）、2021年に1,900,000 プラ（約19.5百万円）の研究費を支給されている。同様に、農業省農業開発局も同プロジェクトから、バイオ燃料に利用可能な植物採取に必要な研究費の支給を受けている。農業省農業開発局およびボツワナ大学が取り組んでいるバイオマスを活用したバイオディーゼルの開発の研究に対しては、同プロジェクトをつうじて、少なくとも2023年までは財政支援が行われる予定である。

よって、効果持続に必要な財務に問題はないと判断する。

以上より、本事業は、政策・政治的関与、制度・体制、技術、財務、いずれも問題なく、

本事業によって発現した効果の持続性は高い。

## 4. 結論および教訓・提言

### 4.1 結論

本事業は、①ボツワナの気候に適したヤトロファの栽培体系の確立、②高収量・ストレス耐性ヤトロファ品種の開発技術基盤の構築、③ヤトロファの油脂分析と利用法の開発、④ヤトロファ非油脂バイオマスの利用技術の開発、⑤ヤトロファ生産とバイオマス利用のインパクトの環境・社会・経済面からの評価などの5つの領域で研究を行い、ボツワナでのヤトロファ・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の蓄積を目的としたものである。これはボツワナの開発政策、開発ニーズ、および日本の援助政策に合致しており、事業の妥当性は高い。5つの領域すべてにおいて、計画に沿って研究成果があげられ、プロジェクト目標はおおむね達成された。上位目標として設定した社会実装への取組については、7つのうち3つが実施済みあるいは実施中、4つが未実施であった。本事業はボツワナ側実施機関の研究能力の向上に一定の貢献が認められ、機材の活用・維持管理状況はおおむね問題がなかった。自然環境へのマイナスのインパクト、用地取得・住民移転も認められなかった。よって、本事業の実施により一定の効果発現がみられ、有効性・インパクトは中程度である。事業費、事業期間ともに計画内に収まり、効率性は高い。持続性については、政策・政治的関与、制度・体制、技術、財務、いずれも問題なく、高い。

以上より、本事業の評価は非常に高いといえる。

### 4.2 提言

#### 4.2.1 実施機関などへの提言

事業完了後、農業省農業研究局が管理するセベレ（ハボロネ）の実験圃場では、本事業によりボツワナ固有ヤトロファ全76系統のなかから選抜されたバイオマス生産性および種子生産性の形質が高い系統のヤトロファ種の保存のためヤトロファの栽培が続けられているが、本事業で供与され圃場内に設置された気象観測機器が盗難被害にあり、気象モニタリングデータの収集・記録ができない状況となっている。農業省は気象観測機器の再調達およびその盗難防止対策について検討を行うことが望ましい。

#### 4.2.2 JICA への提言

JICA はこれまでヤトロファを活用したバイオディーゼル開発の研究に関連するプロジェクト（SATREPS 含む）を、ベトナム<sup>12</sup>、モザンビーク<sup>13</sup>、タイ<sup>14</sup>などボツワナ以外の国でも展開してきたが、事業完了後にヤトロファ・バイオディーゼルそのものの普及・

<sup>12</sup> ベトナム「ベトナムおよびインドシナ諸国におけるバイオマスエネルギーの開発による多益性気候変動ベトナム 緩和策の研究プロジェクト」（2011年～2016年）。

<sup>13</sup> モザンビーク「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）」

<sup>14</sup> タイ「非食糧系バイオマスの輸送用燃料化基盤技術」（2010年～2016年）。

実用化まで進展した事例は多くはない。この理由は、各国の気象条件の違いによるヤトロファの栽培の難しさや、栽培に成功した場合でも、市場価格の動向により、ヤトロファ以外のバイオマス燃料や化石燃料と比較して、ヤトロファ・バイオディーゼルの価格が高くなり、ヤトロファ・バイオディーゼルの生産・販売に対するインセンティブが下がることなどが挙げられる。一方で、ヤトロファ・バイオディーゼルの研究の過程で得られたバイオディーゼル生産に関する知識や技術は、事業完了後も活用されている。従って、バイオディーゼル開発の研究に係る SATREPS 案件については、各国横断的に事業実施から社会実装に至るまでの課題の分析を行い、案件形成、実施中、完了後にどのような工夫を行えば SATREPS 案件が目指した社会実装へつながるか整理・分析することがよいと思われる。

### 4.3 教訓

#### (1) 計画時、事業完了後における社会実装の再確認の必要性

本事業の中心はヤトロファを使ったバイオディーゼルの商業的生産のための研究であり、本事業での成果（①ボツワナの気候に適したヤトロファの栽培体系の確立（ICT 農法）、②多収・ストレス耐性の品種開発（ゲノム育種）、③油脂分析と利用法の開発、④ヤトロファ非油脂バイオマス利用技術の開発、⑤ヤトロファ生産とバイオマス利用のインパクトの環境・社会・経済面からの評価）の先にある社会実装として「ヤトロファによるバイオディーゼルの商業生産・普及」が想定されると当初考えられたと思われる。しかしながら、本事業を通じて、ボツワナの気候条件下に耐えうる遺伝子組み換え種の開発および栽培方法などで一定の成果は認められたものの、本格的なヤトロファ栽培を展開するには、継続的な栽培方法研究およびゲノム育種研究と関連分野の国内法整備の必要性が明らかとなり、ボツワナでのヤトロファ栽培の難しさが改めて認識され、またボツワナ政府のエネルギー政策も、ヤトロファからのバイオディーゼルの生産からヤトロファを含むバイオ原料からのバイオディーゼルの生産へと方向性が変わった。そのため、本事後評価では、本事業の社会実装を、バイオ資源の品種改良技術やバイオディーゼル生産技術の活用と広くとらえ、「ボツワナにおけるバイオマス利用に係る技術の活用・普及」と再定義した。論理的には上記の軌道修正は適切であると考えられる一方、社会実装からみた本事業の位置づけが、当初想定したよりは相対的に低められた可能性がある。このように、SATREPS を実施した結果、計画時に想定した社会実装の再確認・修正・見直しが必要なケースもある。そのため、計画時に加えて、事業実施期間中においても対象 SATREPS により創出される研究成果の社会実装の方向性について、プロジェクト関係者で議論し、必要に応じて修正、見直しを行うことが求められる。

加えて、事業期間を通して、JICA を含めプロジェクト関係者から法制化を担当するボツワナ政府部局に対して、本事業の意義の説明、および遺伝子組み換えに関する国内法整備の必要性についての働きかけを行うことが望ましい。

## (2) ロジックに基づくプロジェクト・デザイン・マトリックスの確認および見直しの必要性

プロジェクト目標の指標②「少なくとも6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」は、成果1～5の活動の結果から生み出されたものではなく、プロジェクト目標の達成度を測る指標としては適切ではなかった。むしろ、ヤトロファ研究に関するポツワナの若手研究者（修士・博士課程の大学院生）への奨学金の支給と彼らへの研究指導をプロジェクト活動として追加し、その成果指標として使用することが理論的にも適切であったと考えられる。そのため、本事後評価では、プロジェクト目標の3つの指標のうち、指標①と指標③にのみ重点をおいて、プロジェクト目標の達成度の判断を行った。事業の有効性を測るうえでプロジェクト目標の指標は重要であることから、事業実施期間を通じて定期的にプロジェクトの成果とプロジェクト目標との関連性、ロジックを丁寧に確認し、必要に応じてプロジェクト・デザイン・マトリックスの変更および代替指標の提案などを行うことが望ましい。

以上