

中間レビュー調査結果要約表

1. 案件の概要	
国名：ボツワナ共和国	案件名：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プロジェクト
分野：農業開発	援助形態：技術協力プロジェクト（科学技術）
所轄部署：農村開発部	協力金額（評価時点）：約1億9,300万円
協力期間	(R/D)：2012年4月12日～ 2017年4月11日
	先方関係機関：鉱物・エネルギー・水資源省（MMEWR）、農務省（MOA）農業研究局（DAR）、ボツワナ大学（UB）
	日本側協力機関：鳥取大学、琉球大学、理化学研究所
	他の関連協力：特になし
1-1 協力の背景と概要	
<p>ボツワナ共和国（以下、「ボツワナ」と記す）は、驚異的な経済成長を遂げてきた。ただし、ボツワナ経済は、その輸出総額の80%と国家収入の50%を鉱山資源が占め、不安定な国際貿易に依存するリスクを抱えている。そのため、ボツワナ国家開発計画上、社会経済構造の多様化が強く求められている。</p> <p>2007年、ボツワナ鉱物・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、現 Department of Energy：DOE）は、国内におけるバイオ燃料生産の実現可能性について報告書を発表し、ヤトロファ植物によるバイオ・ディーゼル燃料生産の潜在的可能性が高いと結論づけた。この報告を受け、2009年、ボツワナ政府は、2020年までに国内ディーゼル油消費量の約10%にあたる年間5,000万リットルのバイオ・ディーゼル燃料の生産を達成することを公表した。本政策が達成されれば、ボツワナが署名締結しているCO₂削減に向けた京都議定書の目標達成に貢献するだけでなく、国家のエネルギー政策の安定化、農村部における農工業産業の活性化、雇用の新規創出に貢献することが期待される。上記の政策を受け、2010年、EADにより、日本側共同研究者が招へいされ、共同現地調査が実施された。同調査では、乾燥冷害の環境下で起こるヤトロファ樹木の枯死・育成遅延などの問題を解決するためには、ボツワナ国内におけるヤトロファの栽培法に係る技術確立が不可欠であると結論づけた。</p> <p>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プロジェクト（以下、「本プロジェクト」と記す）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き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して、2012年4月から2017年4月まで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プロジェクトを実施している。</p> <p>2014年9月にプロジェクトが協力期間の中間点を迎えることから、ボツワナ側と合同でプロ</p>	

プロジェクトの活動進捗状況の確認、達成度の検証を行い、さらに評価5項目（妥当性、有効性、効率性、インパクト、持続性）の観点から評価することで、残りの協力期間における対応方針につき検討し、関係者に提言することを目的とし、中間レビュー調査が実施された。

1-2 協力内容

(1) 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。

(2) 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。
- 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。
- 3) ヤトロファ・オイルの特性が明らかになる。
- 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。
- 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。

(3) 投入

1) 日本側

専門家：長期専門家（チーフアドバイザー・栽培、業務調整）3名、短期専門家11名
本邦研修：3回開催、延べ10名参加

機材供与：プロジェクト車両、光合成測定装置、チップパー、変性剤濃度勾配ゲル電気泳動（Denaturing Gradient Gel Electrophoresis：DGGE）ユニット、ゲル撮影装置、トレーラー、芝刈り機、気象サーバー、葉面積測定器、DNA電気泳動装置、凍結乾燥機、ホモジナイザー、種子保存用冷蔵庫、インキュベーター、バイオディーゼルスターターキット、土壌モニタリングユニット等

施設整備：DAR実験圃場に、フェンス、有刺鉄線、自動灌水バルブ、貯水タンク2台、プレハブ、電柵、倉庫を整備、灌水設備の交換・修理

ローカルコスト負担：約1,905万円（2014年6月末まで）、機器・実験用消耗品購入、現場研修・シンポジウムの開催、レンタカー利用、気象データ通信等の費用として支出

2) ボツワナ側

カウンターパート（C/P）配置：延べ42名〔MMEWR9名、農務省農業研究局（Department of Agricultural Research：DAR）19名、ボツワナ大学（University of Botswana：UB）14名〕

DARから、プロジェクト事務所、実験室、実験圃場が提供、実験圃場において、灌水設備、貯水タンク1台を整備。UBから実験室が提供。

プロジェクト費負担：約411万円（2014年6月末まで）、プロジェクト車両ガソリン代、圃場労働者及びセキュリティガード人件費、長期研修員派遣費、C/P出張費、ワークショップ・会合・研修開催費として支出

2. 評価調査団の概要			
調査者	担当分野	氏名	所属
	団長	佐藤 武明	JICA 国際協力専門員
	協力企画	知念 優美	JICA 農村開発部 農業・農村開発第二グループ 第四チーム ジュニア専門員
	評価分析	齋川 純子	株式会社コーエイ総合研究所 コンサルタント
	科学技術計画・評価	山地 憲治	JST 国際科学技術部 地球規模課題国際協力室 研究主幹 東京大学名誉教授
	科学技術計画・評価	鶴瀬 美里	JST 国際科学技術部 地球規模課題国際協力室 調査員
調査期間	2014年8月17日～2014年9月6日		評価種類：中間レビュー
3. 評価結果の概要			
3-1 実績の確認			
(1) 成果1達成に向けた活動			
1) 気象観測システムの設置 セベレ、セロウェ、マウン、カンの4カ所に設置済み。			
2) ヤトロファ栽培手法の開発 ボツワナ固有種(81系統)の収集、苗木のセベレ、マウン圃場への移植。ガーナ種苗木のセベレ圃場への移植。一連のセミナー(「ヤトロファ栽培・植物成長調整因子」「植栽試験区設計・移植・バイオ炭利用」「光合成データの利用・分析方法」「実験計画法」「防寒法」「植物ストレス休眠」「間作と生長解析」)を実施。越冬処置、光合成測定、損傷回復手法等の実施。栽培マニュアル作成に向けた栽培指針を作成。			
3) 灌漑システムの開発 セベレ圃場に貯水タンク3台、灌水設備を設置(継続的な修理・交換を実施)。新たな井戸を掘削済み、ポンプ・管を設置中。			
4) 土壌・水の分析 土壌試料を採取、DGGE、誘導結合プラズマ(Inductively Coupled Plasma: ICP)、核磁気共鳴(Nuclear Magnetic Resonance: NMR)等の各種分析機器を用いた微生物叢解析及び化学プロファイリングを実施。DGGEユニットを供与、DGGE手法に係るセミナーを実施(2012年6月)。灌漑用水(井戸水)の物理・化学的特性を分析。			
(2) 成果2達成に向けた活動			
1) ボツワナ固有種の特徴評価 ボツワナ固有種の形態的・生理的特性を評価。			
2) 害虫・病気発生の調査 C/Pにより実施、病虫害は散見されたが、大きな影響はなし。			
3) 分子マーカーの特定 DNA抽出手法及びRAPD手法につき、C/Pへの技術指導を実施。分子マーカーに係るセミナーを実施(2012年6月)。			
4) 遺伝子型と表現型の関係に係るオミクス解析			

オミクス解析に係るセミナーを実施（2013年5月）。次世代シーケンシング、ICP、NMR手法を用いて、花・果実のオミクス解析を実施。ヤトロファ葉のプロテオーム分析・トランスクリプトーム分析に係る研修をC/Pに対して実施（2014年7月）。オミクス解析に係るデータベースを構築中。

5) 遺伝子組み換えヤトロファの開発

ヤトロファにストレス耐性遺伝子の導入を実施（根伸長、低温耐性、乾燥耐性）、形質転換候補株を取得。ボツワナ国内での遺伝子組み換えヤトロファの隔離栽培を実施する予定。遺伝子組み換えヤトロファ技術に係るセミナーを実施（2013年5月）。

(3) 成果3達成に向けた活動：未実施

(4) 成果4達成に向けた活動

1)～4) 非油脂ヤトロファ・バイオマス分析、ヤトロファ炭生産・効果調査

ヤトロファ・バイオ炭の生産・分析を実施（2013年7月本邦研修）。炭化とバイオ炭生産に係るセミナーを実施（2014年5月）。DARに試作型炭化釜を設置、ヤトロファの枝、その他の植物残渣から、バイオ炭を生産。ヤトロファ炭の土壌への適用実験をDARにて実施中。

5) 非油脂ヤトロファ・バイオマスのエネルギー利用・評価

未実施

(5) 成果5達成に向けた活動

1)～3) ヤトロファ生産・バイオマス利用の評価

未実施

4) ワークショップ・シンポジウム開催

公開研究成果発表セミナー開催（2013年5月23日、C/P 28名、専門家10名出席）。第1回ヤトロファ・シンポジウム開催（2013年8月8日、62名参加）。モザンビークの事例に係るセミナー開催（2014年1月9日）。

3-2 評価結果の要約

(1) 妥当性：中程度に高い

本プロジェクトは、ボツワナ側の開発政策〔第10次国家開発計画（NDP10）、国家エネルギー政策〕、日本のODA政策（対ボツワナ援助重点分野、2011年6月）、C/P機関のニーズに整合している。ただし、ボツワナ側のプロジェクト活動費の確保につき懸念があり。

(2) 有効性：中程度

成果の達成状況・見込み：

1) 成果1：2013年11月の降雹、2014年6、7月の寒波の影響から、実験圃場ではこれまでにヤトロファ種子収穫はなし。今後想定外の降雹等がなければ2015年3～5月に種子収穫が見込まれる。栽培マニュアル作成に向けた指針が作成されるなど、ヤトロファ栽培体系に係る技術的知見は着実に蓄積されている。よって、成果1は部分的に

達成されている。

- 2) 成果 2：ボツワナで入手可能なヤトロファ系統はすべて収集され、その特性が評価された。ストレス耐性（根伸長、低温耐性、乾燥耐性）及び高収量の遺伝子の導入による、遺伝子組み換えヤトロファが開発されており、今後隔離栽培によるストレス耐性評価を行う予定である。よって、成果 2 は部分的に達成されている。
- 3) 成果 4：種子以外のバイオマスが計測、ヤトロファ炭が生産され、土壌適用実験が実施中である。よって、成果 4 は部分的に達成されている。
- 4) 成果 3 及び 5：当該成果に係る活動は未実施。

プロジェクト目標の達成状況・見込み：

本プロジェクトは、乾燥冷害気候に適合したヤトロファ栽培体系の確立（成果 1）、高収量・ストレス耐性ヤトロファ品種のゲノム育種（成果 2）、ヤトロファ・オイル特性の解析（成果 3）、非油脂バイオマス利用技術の開発（成果 4）を達成することにより、ヤトロファ・バイオディーゼル生産に向け、技術的知見と経験が蓄積されることをめざしている。また、ヤトロファ生産及び利用の工程を対象とした評価を行うことで（成果 5）、商業生産への見通しが判断される。プロジェクト目標の達成のレベルは、各成果に向けての今後の活動進捗状況に左右されるが、これまでの成果達成状況及び今後予定されている活動を考慮すると、プロジェクト終了時までには、ヤトロファ・バイオディーゼル生産に向けた技術的知見と経験がある程度蓄積されることは大いに見込める。

プロジェクト目標の達成指標で判断すると、1) 学術論文 5 本の発行は達成される見込みは高い。2) 2 名が本年修士課程を開始した状況から、プロジェクト期間内に 6 名が修士もしくは博士号を取得するのは厳しい状況であり、早急の対応が必要となる。3) 「技術パッケージ」が完成したレベルでの必要技術をすべて網羅したものを意味するならば、同パッケージの整備は難しい。ボツワナ政府が同技術パッケージを採用するか否かは、成果 5 で扱う評価の結果及びその他の要因に左右され、現時点でこれを判断するのは難しい。

(3) 効率性：中程度

- ・日本側からの投入（専門家の派遣、本邦研修、供与機材等）は、アウトプット産出のためおおむね適切に行われている。
- ・本邦研修参加 C/P によれば、同研修により知識・技術が向上し、有効であったとのことである。
- ・ボツワナ側 C/P は、専門分野、経歴を考慮し、配置されている。圃場・栽培管理を担当する C/P は配置されていない。他業務との兼ね合い、任務の不明瞭さ等により、C/P のプロジェクトへの参加状況は良いとはいえない。調整役を担っていた主要 C/P が 2014 年退職した。
- ・DAR から提供された実験圃場では、必要な電気は整備されておらず、十分な灌漑水が確保できない状態であった。
- ・MMEWR 内でプロジェクト活動に必要な予算がタイムリーに確保できず、圃場労働者の提供、長期研修生の派遣に遅延が生じている。
- ・C/P の給与、日常の交通手段は各 C/P 機関で手当てされているが、プロジェクト活動へ

の限定的な参加の理由として、交通手段の不足を挙げる C/P もいた。

(4) インパクト

本プロジェクトは、以下の影響をもたらしている。

- ・圃場でのヤトロファ栽培が成功したことがない環境で、適正な手法により労力をかければヤトロファは育つという実例を見せている。
- ・ヤトロファ以外のバイオ燃料原料を考慮する必要性が C/P 側で認識されている。
- ・増幅断片多型 DNA (Random Amplification of Polymorphic DNA : RAPD) 解析をヤトロファ以外の育種研究や野生生物資源の評価研究に活用する動きが DAR 内でみられる。
- ・セロウェイ圃場でヤトロファの栽培試験を行っている NGO (ボイテコ・トラスト) に対して、プロジェクトで得られた技術・知識が積極的に共有され、連携が進んでいる。
- ・本プロジェクトは外部からの注目を集めており、2014 年 8 月に開催された「ボツワナ再生エネルギー会議」等、さまざまな機会において言及されている。

(5) 持続性

1) 政策面

NDP10 及び国家エネルギー政策では、再生可能エネルギーの開発・利用を促進する方針が明確に打ち出されている。再生可能エネルギー開発戦略の策定が着手されるなど、関心が高まっている。これらの政策・関心は、中期的には維持されると考えられる。

2) 財政面

プロジェクト終了後に、プロジェクト関連の研究活動継続の予算をボツワナ側が確保できるか否かは、後半の成果達成状況にも左右されるため、現時点では判断できない。

3) 組織・技術面

プロジェクト活動を通じて、C/P の知識・技術はある程度向上している。今後予定されている共同論文作成を含むグループごとの研究活動を通じて、C/P 側の能力、オーナーシップの更なる向上が見込める。DAR は再編成が予定されているが、新組織でもヤトロファに係る研究に対し、要員・予算ともにある程度の手当ては見込めるとのことである。また、関連分野の教授が UB にいる限り、本プロジェクト関連研究が継続する見込みは高い。

3-3 効果発現に貢献した要因

(1) 計画内容に関すること

特になし。

(2) 実施プロセスに関すること

特になし。

3-4 問題点及び問題を惹起した要因

(1) 計画内容に関すること

- ・想定以上に、セベレ実験圃場の気象条件が厳しいことが判明した。

- ・ボツワナでの農業は、放牧と天水依存作物栽培を主とし、労働集約的な灌漑作物栽培は比較的新しい分野であることが、改めて認識された。

(2) 実施プロセスに関すること

- ・想定外であった、2013年11月の降雹、2014年6月及び7月の寒波により、栽培中のヤトロファが著しい被害を受け、種子の収穫はいまだできず、成果3に係る活動は着手できていない。
- ・圃場・栽培管理を担当するC/P研究者が配置されておらず、技術移転の受け皿がないまま、日本側専門家主体で圃場・栽培管理に係る活動が行われている。2013年12月に圃場技術スタッフがようやく配属され、専門家が直接指導をしているが、技術・能力レベルに大きな乖離があり、技術移転が進んでいるとはいえない。
- ・活動月報の共有・定例会議の開催・インターネット上の共有フォルダの利用等を通じて、専門家チームはC/Pとのコミュニケーション・情報共有を図っているが、十分に機能していない。
- ・本プロジェクト実施に関し、C/P機関の役割分担等に係る合意書（Memorandum of Understanding：MOU）はなく、3機関の間のコミュニケーション・調整も不足している。
- ・DAR及びUBは、調整の役割を担っていたC/Pが2014年退職したこともあり、内部調整が不足している。
- ・C/Pのプロジェクト活動内容及び自らの任務の位置づけに対する理解が十分ではない。

3-5 結論

本プロジェクトは、ボツワナ側の開発政策、日本のODA政策、C/P機関のニーズと整合しており、おおむね妥当である。本プロジェクトは、遅延があったものの、その活動を通じて、ヤトロファ・バイオディーゼル生産に向けた技術的知見と経験が着実に蓄積されてきている。これを更に蓄積できるか否かは、今後の活動進捗及び成果達成に左右されるため、現時点でプロジェクト目標の達成見込みを判断するのは難しい。プロジェクト終了後の持続性については、特に関連研究活動継続のための資金確保につき懸念が残る。

3-6 提言

(1) プロジェクト活動予算の手当て

MMEWRは、次年度開発予算の下に、本プロジェクトの予算項目を設置すべく、予算内訳・規模をDAR・UB・日本側専門家と協議したうえで、2014年10月末までに必要な手続きを行うべきである。予算執行手続きを明確にし、MMEWR・DAR・UBの3者間で合意すべきである。

(2) PDMの改訂

レビュー調査結果に基づき、現行PDM（2014年5月20日、第2版）を以下のとおり改訂することを提案した。

- ・プロジェクト目標指標3：現行「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。」→改訂案「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。」

・成果指標 1-2：現行「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。」→改訂案「4 つの異なるサイトのデータベースをもとに、水管理と剪定を含む栽培体系が文書化される。」

・成果指標 1-3：現行「実験圃場でのヤトロファ種子生産が ha 当たり 2.5t を上回る。」→改訂案「実験圃場でのヤトロファ種子生産が樹木 1 本当たり 80 個を上回る*。」

*遺伝子組み換えヤトロファ木は含まない。

(3) プロジェクト実施体制の再構築

関係者間のコミュニケーション・調整を促進し、効果的なプロジェクト実施体制を再構築するために、以下の方策をとることを提案した。

1) C/P への正式な辞令の発行

C/P 機関、特に DAR は C/P 研究者に対して本プロジェクト参加に係る正式な辞令を発行すべきである。

2) C/P 機関の間の合意書 (MOU) 締結

活動費用の手当てを含む、プロジェクトにおける役割・責任分担に係る MOU を MMEWR・DAR・UB で準備し、締結すべきである。

3) C/P 3 機関のコーディネーターの任命

C/P 機関はそれぞれコーディネーターを任命すべきである。

4) 共同研究体制の再構築

学術論文の共同執筆をはじめとする共同研究活動を促進するため、ボツワナ側 C/P 及び日本側専門家は、既存の Action Plan に基づき、以下のとおり共同研究体制を構築し、双方で十分なコミュニケーションをとり、共同研究を進めるべきである。

- ・成果もしくは研究課題に基づくグループの結成
- ・日本側・ボツワナ側の双方からのグループリーダーの選出
- ・グループメンバー、各メンバーのタスク・責務の明確化
- ・グループごとの最終目標・中間目標の設定
- ・グループごとの四半期活動計画の策定、これに基づく各メンバーのタスクの明確化

(4) プロジェクト成果達成に向けた活動の準備・促進

1) 成果 1

圃場・栽培の効率的な管理、専門家から C/P 研究者への技術移転を促進するため、DAR は圃場・栽培管理を統括できる C/P を配置すべきである。

2) 成果 3

UB は MMEWR 及び日本側専門家と協議し、遅くとも 2015 年 4 月までに実験活動に従事する大学院生・研究助手を配置するなど、本活動への準備を進めるべきである。

3) 成果 5

活動の円滑な開始に向け、UB と日本側専門家双方は、活動内容、実施方法、スケジュール等を協議し、2014 年中に詳細活動計画を最終化すべきである。

(5) 関連法・政策の動向への留意

「バイオセーフティの法的枠組み」「再生エネルギー開発戦略」等の法的枠組みは、本プロジェクト活動の実施及び持続性に影響を与えることから、ボツワナ側 C/P と日本側専門家はその動向に留意する必要がある。

3-7 教訓

特になし。

3-8 フォローアップ状況

該当なし。