

## 中間レビュー調査結果要約表

|  |  |
|--|--|
| 1. 案件概要  |  |
| 国名：インドネシア共和国   | 案件名：熱帯荒廃草原の植生回復によるバイオマスエネルギーとマテリアル生産プロジェクト   |
| 分野：環境・農業   | 援助形態：地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)   |
| 所轄部署：農村開発部   | 協力金額：約 3 億 6,300 万円  |
| 協力期間：<br>2016 年 7 月～2021 年 7 月   | 先方関係機関：インドネシア科学院 (LIPI)、森林研究開発庁 (FORDA)、インドネシア農業バイオテクノロジー遺伝資源研究開発センター (ICABIOGRAD) |
|  | 日本側協力機関：京都大学   |
| <p>1-1 協力の背景と概要</p> <p>インドネシア共和国（以下、「イ」国と記す）は、面積約 189 万 km<sup>2</sup>（日本の国土の約 5 倍）、人口約 2 億 5,000 万人（2013 年）を有する島嶼国家である。「イ」国の実質経済成長率は、過去 10 年間、5～6%で堅調に推移しており、GDP は 2005 年の 2,859 億ドルから、2014 年の 8,885 億ドルに拡大し、ASEAN 各国のなかで最大の経済規模を誇る。順調な経済発展の一方で、今後も増え続けると予測される人口に対応するエネルギーと食糧の安定的供給、経済発展に取り残された地方と都市部の格差解消、世界でも最大規模といわれる温室効果ガス（GHG）排出の削減等が国家の課題となっている。</p> <p>2009 年 9 月の G20 サミットや 2009 年 12 月の COP15 において、「イ」国政府は「2020 年までに CO<sub>2</sub> 対策を講じなかった場合と比べて、2005 年比で GHG 排出量を 26%削減する。国際支援を得られれば、削減量を 41%まで引き上げ得る」ことを表明し、石油への依存を軽減するために、代替エネルギー及び再生可能エネルギー利用の促進を政策目標として掲げ、2025 年までに、新・再生エネルギーがエネルギーミックスに占める割合を 23%にまで増やすとしている（国家エネルギー審議会 2014 年 3 月）。このように経済成長と人口増加を背景に増大する電力需要の伸びに対応する必要がある一方で、GHG の排出量が、化石燃料消費の増大や森林伐採等を背景に増加しており、代替・再生可能エネルギーの開発が必要となっている。</p> <p>他方、「イ」国では無秩序な伐採、焼き畑農業、森林火災、大規模プランテーションなどによって失われた森林跡地の大部分で、イネ科雑草の一種であるアランアラン (<i>Imperata cylindrica</i>) と呼ばれる多年生植物が繁殖し、国内で 10 万 km<sup>2</sup>（日本の国土面積の 3 分の 1 弱）に及ぶ広大な荒廃草原を形成している。「中期国家開発計画 2015-2019」では、こうした生産不適地 (marginal land) の生産地への転換を可能とする技術の開発を、技術開発部門の重要課題と位置づけている。このような背景のなか、本プロジェクトが 2016 年より京都大学と LIPI の協力により実施されている。</p> |  |
| <p>1-2 協力の内容</p> <p>(1) 上位目標</p> <p>「イ」国において、革新的バイオエネルギー及びバイオ材料技術によって持続可能な社会の構築モデルが開発される。</p>  |  |

(2) 協力終了時の達成目標（プロジェクト目標）

アランアラン荒廃草原活用によるバイオマスエネルギー及びバイオマス材料の持続的生産技術が開発される。

(3) プロジェクトの成果（アウトプット）

成果 1：高エネルギーバイオマス植物生産のための施肥法が確立される。

成果 2：荒廃草原を植生回復させる転換工程が確立される。

成果 3：育種による高発熱値を含むイネ科バイオマス植物が開発される。

成果 4：イネ科植物を原料としたリグノセルロース材料を生産するための低環境負荷型技術が確立される。

(4) 投入（レビュー調査時点）

日本側

専門家の派遣：6分野で延べ10名の研究者（短期専門家）、業務調整員1名（長期専門家）

研修実施：6名のLIPI 研究員に対する研修を実施済み

機材供与：主に分析用に、合計53機材（総額7,800万円相当）が供与済み

現地活動費：総額29億9,990万ルピア（約2,230万円相当）の現地活動費（在外事業強化費）の支出（2018年11月現在）

「イ」国側

カウンターパート（C/P）人員の配置：66名の研究員が配置されている。

C/P 予算：合計31億8,200万ルピアがプロジェクト関連経費として支出済み

施設・機材：LIPI 各センターの実験施設・機材、圃場、プロジェクトオフィスなど。

2. 評価調査団の概要

| 日本   | 担当分野              | 氏名                             | 所属・役職                         |
|------|-------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 日本   | 団長/総括             | 浅沼 修一                          | JICA 農村開発部 国際協力専門員            |
|      | 国内支援 (JST)        | 堤 敦司                           | JST 国際部 研究主幹                  |
|      | 国内支援 (JST)        | 上阪 圭介                          | JST 国際部 主任調査員                 |
|      | 国内支援 (JST)        | 齋藤 奈津美                         | JST 国際部 職員                    |
|      | 評価分析              | 鈴木 篤志                          | A&M コンサルタント有限公司<br>シニアコンサルタント |
| 協力企画 | 東郷 知沙             | JICA 農村開発部第一グループ第一チーム 調査役      |                               |
| 「イ」国 | 総括                | Dr. Sulaeman.<br>Yusuf M. Agr  | L IPI 生物材料研究センター 所長           |
|      | 団員                | Dr. Ir. Ibnu<br>Maryanto M.Si. | LIPI 生物学研究センター 研究員            |
| 調査期間 | 2018年11月7日～11月25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) 投入の実績

(上記1-2のとおり)

##### (2) 成果の達成状況

達成度は、「高い」「やや高い」「中程度」「やや低い」「低い」の5段階で示した。

成果1：高エネルギーバイオマス植物生産のための施肥法が確立される。

指標1-1：土壌と植物の状態をモニターする新技術が利用可能となる。

1-2：プロジェクトサイトとモデルサイトにおけるソルガムのバイオマス生産量が土壌改良前と比較して20%向上する。

- ・ 農地土壌の細菌群集構造解析のため、①迅速かつ安価なDNAフィンガープリンティング、②正確で高解像度なDNAメタバーコーディングの二つの解析プロトコルが確立された。
- ・ チビノン及びカティンガンにおけるソルガム栽培試験が、2016年から2018年にかけてそれぞれ3回実施され、異なる堆肥処理、微生物の接種、窒素施肥条件下での、乾物生産量と種子重量のデータが収集された。2016年と2017年のデータ解析の結果によれば、減肥栽培でも収量の有意な増加が認められ、施肥量を適切にコントロールすれば無施肥栽培に比較して20%の収量増を達成可能であることが示唆された。

大半の活動は、計画通りに実施されているものの、最終結果を得るまでには更に栽培試験が繰り返される必要があることから、成果1の全般的な達成状況と見込みは「中～やや高い」レベルにあると判断された。

成果2：荒廃草地を植生回復させる転換工程が確立される。

指標2-1：生物多様性に配慮した施肥方法が確立される。

2-2：モデルサイトにおけるソルガムのバイオマス生産量が土壌改良前と比較して20%向上する。

2-3：確立された施肥方法が荒廃草原回復の技術ガイドラインに反映される。

- ・ DNAメタバーコーディング解析により、土壌細菌の群集構造解析がチビノンにて実施され、減肥栽培により土壌細菌の多様性を減少させることなく、ソルガムの収量を増加させられることが示唆されている。
- ・ チビノン、カティンガン両サイトにおける植物種の多様性調査が実施され、生物多様性が二つの指標で評価された。
- ・ ソルガムが、異なる堆肥処理、微生物の接種、窒素施肥条件下で栽培され、乾物生産量が、窒素含量とともに測定された。この結果によれば、収量に大きく影響することなく、「イ」国農業省による推奨施用量の75%程度まで減肥させることが可能であることが示唆されている。
- ・ 栽培試験の結果に基づき、荒廃草原回復の技術ガイドラインが取りまとめられる予定である。

土壌細菌の群集構造解析とソルガム栽培試験の結果から、荒廃草地をソルガム栽培地に転換することで植生回復させることが可能であることが示唆されているものの、成果1と同様、最終結果を得るまでに栽培試験・データ解析が繰り返される必要があり、成果2の達成度も「中～やや高い」レベルと判断された。

成果3：育種による高発熱値を含むイネ科バイオマス植物が開発される。

指標 3-1：代謝工学の応用により、稲わらのリグニン含有量が現行品種に比べて10%向上する。

3-2：代謝工学の応用により、稲わらの高発熱型リグニンの割合が現行品種に比べて10%増加する。

3-3：高発熱型リグニン含量が現行品種と比べて10%高いソルガムを選抜育種する。

- 分子育種的手法を用いたリグニン生合成の活性化により、日本・「イ」国双方において、リグニン含量増強イネが作出された。リグノセルロース性状解析により、リグニンの含量は、野生株（日本晴種）の茎と比べて形質転換イネの茎で53%増加したことが確認された。
- 研究チームは、多数の日本産と「イ」国産ソルガム品種のリグニン含量測定を行い、供試した全ソルガムの平均値と比べてリグニン含量が48%、27%高いソルガムを、日本と「イ」国それぞれにおいて見出した。リグニン高含量ソルガムのバイオマスは、発熱量の高いグアイアシルリグニンを多く含んでいた。
- 現在、更に $\gamma$ 線照射による変異育種を「イ」国のリグニン高含量ソルガム品種に適用し、バイオマス生産性向上が試みられている。温室でのポット試験と圃場栽培を併用した変異集団のスクリーニングによって、目的の形質を示すソルガム変異体獲得がプロジェクト期間内に達成される見込みである。
- 「イ」国でのリグニン分析体制の構築には、機材と試薬不足のため時間を要する。また、 $\gamma$ 線照射による変異育種〔 $\gamma$ 線照射による変異体作出とその変異体（複数）からバイオマス生産の高い変異体の選抜まで含む〕には、専門家による支援が必要となっている。

高リグニン含量、高発熱型リグニン含量のイネの作出についてはほぼ目的が達成されているものの、高リグニン含量、高生産性のソルガム品種について研究チームは活動を実施中である。この目標がプロジェクト終了までに達成されるかどうかは現段階では明確でないところもあるため、成果3の達成度は「中からやや高い」レベルにあると判断された。

成果4：イネ科植物を用いたリグノセルロース系材料を生産するための環境に優しい技術が確立される。

指標 4-1：イネ科植物と天然接着剤を用いた内装用パーティクルボードの作成手法が確立される。

4-2：木材とイネ科植物を原料とするパーティクルボードの物性が解明される。

4-3：ソルガムバガスパーティクル残渣粉末の有効な利用方法が提示される。

4-4：ソルガムペレットとバイオ燃料の作成手法が確立される。

- ソルガムバガスを原料としてクエン酸やスクロースといった天然物質のみで、木質材料を開

発した事例は世界初とされる。一般に、天然系接着剤を用いた木質材料は、合成系接着剤を用いた場合と比較して性能が低いことが問題となるが、プロジェクト研究チームによって開発されたパーティクルボードは、ボード物性、耐蟻性及び耐腐朽性とも既存の合成系接着剤を用いた場合と同等の性能を示した。

- パーティクルボードのほかに、研究チームは、バガス残渣粉末を使ったソルガムペレット、スイートソルガムを原料とするエタノールなど、ソルガムを使ったバイオ製品生産の可能性を探究しているものの、これらの開発は初期段階にある。プロジェクトでは商業生産に結びつけることをめざしているが、いずれも更に基礎的な研究が必要とされている。
- 成果4の枠組みのなかで、研究チームは技術・経済分析とライフ・サイクル・アセスメント(LCA)という二つの分析を行っている。両分析とも本調査実施時点では準備段階にあり、必要な情報が収集されているところである。

バイオ材料の開発に関して、特にパーティクルボードを中心に目覚ましい進展がみられるものの、研究対象の技術が完全に確立し、商業ベースでの生産に結びつくためには、更に活動を継続することが必要であることから成果4の達成状況は「中程度」のレベルにあると判断された。

### (3) プロジェクト目標の達成状況

プロジェクト目標：アランアラン荒廃草原活用によるバイオマスエネルギー及びバイオマス材料の持続的生産技術が開発される。

指標1：アランアラン荒廃草原（プロジェクトサイト及びモデルサイト）において安定的なバイオマス作物生産が達成される。

2：バイオマスペレット燃料とリグノセルロース材料がライン生産される。

3：サイテーションインデックスに記載される論文数。

4：植生回復による二酸化炭素排出削減が見積もられる。

- 2016年にプロジェクトが開始されて以来、四つの研究グループは、技術の研究開発という面で大いに成果を出してきたといえる。一定数の研究論文が国際誌への投稿も含め、すでに発表され、現在も準備が進んでいる。研究発表のための会議やセミナーが定期的で開催され、プロジェクト内外の研究者や関係者が数多く参加し、研究結果が共有されてきた。
- プロジェクト目標の指標1と3についてはある程度高い達成レベルにあるものの、指標2と4は低いか、評価困難という段階にある。本プロジェクトはSATREPSであることから、研究成果を社会実装につなげることが重要な目標として含まれている。この目標を実現するためには、プロジェクトチームによる更なる努力を継続することが必要とされている。
- もう一つの課題は、研究チーム間の調整が現状では十分に行われていないことである。成果間の連携が十分機能していないことから、それぞれの研究チームが出す成果が、直接プロジェクト目標の実現に結びつかないのではないかという点が懸念される。

以上のような状況から、中間レビュー調査団として、プロジェクト目標の達成度は、「中程度」であると結論づけた。現行プロジェクト・デザイン・マトリックス(PDM)では、プロジェ

クト目標と一部の成果の指標が明確に設定されていないか、行われてきた活動を反映する内容となっていないので、これらを見直すことを提言に含めることとした。

### 3-2 5項目評価の結果

(1) 妥当性：本プロジェクトの妥当性は引き続き「高い」と判断された

- ・プロジェクトを取り巻く政策、社会的な環境条件に大きな変化はなく、「イ」国の関連政策との整合性、ローカルニーズ、わが国開発政策との整合性はいずれも高い。

(2) 有効性：本プロジェクトの有効性は、「中」レベルと判断された。

- ・日本・「イ」国両メンバーによるプロジェクトを成功させるための熱心な取り組みにより四つの研究チームはそれぞれ技術開発にかかわる成果を出している。このような努力を継続することで、プロジェクト目標はプロジェクト終了までにある程度のレベルで達成されることが見込まれる。
- ・しかしながら、多くの活動はいまだ実施途上であることから、現段階でそれがどの程度のレベルになるのか結論づけることは難しい。いずれの研究チームも最終結果を得るまでにもう少し時間を要するものと判断される。
- ・PDMで設定された四つの成果とプロジェクト目標の論理関係に問題はないと考えられる。一方で、各研究チームがめざしている技術の確立にはいずれも相当な時間と労力を要することから、すべての技術を網羅することをめざしたことは野心的であった面もあるように見受けられる。

(3) 効率性：本プロジェクトの効率性は「中～やや高い」レベルと判断された。

- ・プロジェクトは「イ」国側のすでにある人的、物的資源を有効活用することで実施されており、これは効率性を高める要因といえる。しかしながら、「イ」国政府の予算が十分でないことから、分析用試薬をはじめ多くの消耗品がJICA予算によって入手されていることも確認された。
- ・日本側からの投入は、一部の消耗品を除いて、大半の投入は計画通りに行われた。特に、本邦研修に参加した若手研究員は、プロジェクト活動に大いに貢献しており、効率性を高める要因となっているといえる。
- ・ラボで必要な試薬やガラス器具、単純な機器など消耗品が、発注から実際に入手できるまでに多大な時間がかかる事態が常態化していて、プロジェクト開始直後より運営上の大きな課題となってきた。
- ・京都大学とLIPIは、2016年に本プロジェクトが始まる前より共同研究の長い歴史があり、良い関係が構築されていた。このような関係を通して、相互理解と信頼関係が出来上がっており、このことがプロジェクトの効率的な実施に大いに貢献しているといえる。

(4) インパクト：インパクトを予測することは時期尚早ながら、プラスのインパクトが期待される。

- ・多くの活動が現在実施中であることから、現段階でその実現可能性を予測することは困難で

ある。また、現 PDM には上位目標のための指標が設定されていないので、終了時評価調査、事後評価調査に向け、適切な指標を設定する必要がある。

- また、プロジェクト目標が上位目標に結びつくための外部条件として、「イ」国政府のエネルギー政策が大きく変更されない」ということがあげられているが、これ以外にもいくつかの外部条件があることが想定される。

(5) 持続性：以下の観察・分析から、持続性の見通しは「中」レベルと判断された。

- 政策・組織・制度面：現行の政策が大きく変更されない限り、プロジェクト成果の持続性は高いレベルで確保されると判断される。また、プロジェクトは LIPI の全体的な研究計画に沿って実施されているので、プロジェクト終了後も LIPI は関連した研究を継続することが見込まれる。
- 財政面：「イ」国政府は、科学技術振興の重要性を認識しており、この政策が維持される限り、一定レベルの研究活動予算は確保されると見込まれる。しかしながら、政府予算は常に世界経済や国の全般的な財政事情に影響されるものであり、予測がつかない面もある。
- 技術面：C/P 研究員が得た知識や技術は、彼らが LIPI で関連する職務に従事する限り、将来にわたり役立つことが期待できる。プロジェクトを通して、さまざまな分野の分析技術が、先進機材とともに LIPI のラボに導入された。多くの分析技術・機材は他の研究活動にも応用できる汎用性のあるものである。また、プロジェクトは若手の研究員に研究の基礎を獲得するとともに、国際的な学術研究活動の場を経験する貴重な機会を提供している。彼らが、今後も「イ」国の科学技術の発展に貢献し続けることが期待される。

### 3-3 効果発現に貢献した要因/問題点及び問題点を惹起した要因

- 京都大学と LIPI は、2016 年に本プロジェクトが始まる前より共同研究の長い歴史があり、相互理解と信頼関係がすでに構築されていた。「イ」国側でプロジェクト活動を実施している研究員には、京都大学をはじめ日本の大学で学位を取得した者が多数含まれており、日本の文化や研究事業の進め方についてよく理解されていたことが事業の効果発現に貢献する要因として働いている。
- 一方で、ラボで必要な試薬やガラス器具、単純な機器など消耗品が発注から実際に入手できるまでに多大な時間がかかる事態が常態化していることは、逆に効果発現にとってのマイナス要因となっている。
- 「イ」国政府は、本プロジェクトが開始した 1 年目に財政難に直面したために、C/P 研究員の出張などに影響が出たことが報告されており、これがマイナスの要因として影響した。

### 3-4 提言

本中間レビュー調査の結果に基づき、下記の提言を行った。

#### A. プロジェクトチームに対する提言

- ① 上位目標及びプロジェクト目標の明確化と関係者全員の共有化を図る。
- ② 上位目標の実現に向けて、関連分野の責任機関との連携・調整を強化する。

- ③ 日本・「イ」国の研究者同士及び研究チーム間のコミュニケーションの機会を増やし、全体でプロジェクト目標を共有しながら研究活動を進める。
- ④ バイオエネルギー製造研究を促進する。
- ⑤ 異なる気象条件や土壌環境下でのソルガム栽培試験をスケールアップする。
- ⑥ LCA 等の経済評価分野で実績や経験の深い日本の研究者をメンバーに加えて、持続性研究を強化する。
- ⑦ 研究者及び研究機関加入の手続きを明確化する。

**B. 「イ」国側研究者（C/P）に対する提言**

- ① プロジェクトとして全体の成果をまとめる際は、どの研究結果が成果 1 と成果 2 に結びつくのか、明確に分けて示す。
- ② LIPI イノベーションセンターが主体となってより積極的に民間連携を進める。
- ③ C/P 予算を十分確保できるよう、LIPI 長官がより積極的な役割を果たす。
- ④ 研究の活性化を図り、JICA により供与された機材の使用頻度を更に高める。

**C. 日本側研究チームに対する提言**

- ① 必要な試薬等の購入手続きを計画的に進めることを念頭に研究計画を立案するよう、C/P 研究者を指導する。
- ② 日系企業のニーズ調査や情報収集、及び広報活動については、JICA インドネシア事務所や独立行政法人日本貿易振興機構（JETRO）とも相談しながらより効果的に実施する。

**D. 「イ」国政府に対する提言**

- ① 試薬の輸入、及び免税手続き迅速化に向けた処置をとる。