

地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)

研究課題別終了時評価報告書

1. 研究課題名（および共同研究期間）

インドネシアの泥炭・森林における火災と炭素管理（2010年2月～2014年4月）

2. 研究代表者

2. 1. 日本側研究代表者：大崎 満(北海道大学・大学院農学研究院・教授)
2. 2. 相手側研究代表者：Dr. Bambang Setiadi (Agency for the Assessment and Application of Technology (BPPT), Senior Researcher)

3. 研究概要

インドネシアの熱帯泥炭には多量の炭素が蓄積されているが、近年になって泥炭地の開発が急速に進み、排水や異常気象が原因の乾燥化にともなう泥炭・森林火災や微生物分解により、日本の年間排出量に相当するほどの膨大な量の二酸化炭素の放出源となりつつある。本研究は、インドネシアの熱帯泥炭地（中部カリマンタン州にあるメガ・ライス・プロジェクト（MRP）地域・約100万ha）を対象として、泥炭地からの炭素排出量が現状の1/3～1/5以下となる炭素管理手法の開発と中央・地方政府・地域コミュニティへの提案を行うとともに、REDD プラス事業あるいは二国間カーボン・オフセット・クレジット・メカニズムへの活用とそれが実現した際それを日本の貢献としてカウントされることを目指す。

具体的な研究項目は以下の4つである。

- (1) 衛星による火災・炭素センシングプログラムの開発/FF グループ(アウトプット1)
- (2) 炭素量評価プログラムの開発/CA グループ(アウトプット2)
- (3) 炭素管理プログラムの開発/CM グループ(アウトプット3)
- (4) 統合的泥炭地管理プログラムの開発/PM グループ(アウトプット4)

4. 評価結果

総合評価（A+：世界的に重要かつ効果的な研究であり、成果の活用が見込まれるなど、目標は十分に達成された）

大量の炭素を蓄積してはいるが、その実態と二酸化炭素放出の抑制対策が明らかでない熱帯泥炭地において、本プロジェクトが掲げた四つの研究項目、(1) 衛星による火災・炭素センシングプログラムの開発、(2) 炭素量評価プログラムの開発、(3) 炭素管理プログラムの開発、(4) 統合的泥炭地管理プログラムの開発、それぞれにおいて当初目標を達成する、あるいは目標を超える科学技術的成果を上げている。

具体的には、熱帯泥炭地における総合的 MRV システムの開発、科学的根拠に基づく炭素放出量の算定、泥炭火災の検知、予測、消火技術及びシステムの開発、統合的泥炭地管理プログラ

ムの提示など、熱帯泥炭地における炭素蓄積の実態と炭素放出量の抑制について世界的に先駆的研究を実施し、貴重な成果を上げた。

また、熱帯泥炭地の炭素蓄積は、REDD プラスの評価で問題となっており、今後の議論の方向が注目されている。そのなかで、世界で唯一と言ってよい科学的、広域的に推定する手法と炭素の排出抑制手法を開発し、この議論に対して大きな影響を与えた。また、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)などでの情報発信と活動への影響、インドネシア政府に対する認知度の向上、キャパシティビルディングなど、高く評価できる点が多い。

このプロジェクトの成果が、熱帯泥炭地における REDD プラスシステムの適用への途を開く契機となることが期待される。

以下に、評価項目における特筆すべき内容を列挙する。

4-1. 地球規模課題解決への貢献

【課題の重要性とプロジェクトの成果が課題解決に与える科学的・技術的インパクト】

・泥炭地からの CO₂ 放出量は膨大であり、本プロジェクトの活動とその成果はその削減に大きく貢献する可能性が高い。とくに、REDD プラスで問題となっている地下部の炭素蓄積量を広域で推定する手法を開発すると同時に、CO₂ 排出を抑制する科学的方法を提案した点が高く評価できる。また、非常に多くの個別課題において論文を発表するなどの成果を上げていることも高く評価する。

【国際社会における認知、活用の見通し】

・熱帯泥炭地を対象として、CO₂ の蓄積量と放出量を推定し、泥炭火災の防止、早期検知と延焼予測消火システムの提案を行い、炭素管理と総合的泥炭地管理の手法を示した研究は、世界的に先駆的であり、REDD プラスなどに熱帯泥炭地というカテゴリーが認知されることも期待される状況である。国際的に課題となっていたのは、地下部の炭素を正しく把握できないという理由からで、このプロジェクトによって科学的な見通しが得られたことが全体の議論を変えていく可能性がある。

・インドネシア国内のみならず IPCC や UNFCCC(気候変動に関する国際連合枠組条約)の会議等においても本研究の成果を発表するなど、国際的な認知度向上に努めており、高く評価できる。ただし、REDD プラスや二国間カーボン・オフセット・クレジット・メカニズムなどで全面的に採用されるかは、今後の努力と様々な状況に依存する。

【他国、他地域への波及】

・本研究プロジェクトの直接の研究対象は、中部カリマンタンの約 100 万 ha の地域であったが、得られた知見と用いられた方法論は他の熱帯泥炭地に適用可能であり、波及効果は大きいと評価できる。ただし、そのためには方法論の標準化、認証化を具体的に進めていく必要がある。

【国内外の類似研究と比較したレベル】

・インドネシアの熱帯泥炭地や森林地域における非常に多くの基盤的な知見を見いだした世界トップレベルの研究であり、非常に高く評価できる。とくに、地下水位の変動を把握することによって、地下部の CO₂ の蓄積量を推定するという手法は新しく、地下水位を高く保つことで排出量を抑制するという手法も現実的である。

・個々の技術が世界レベルにあるだけでなく、炭素の固定量と動態把握から、微生物による分解防止、火災の早期発見、延焼予測、防火体制まで総合的に研究されたことは高く評価できる。

4-2. 相手国ニーズの充足

【課題の重要性とプロジェクト成果が相手国ニーズの充足に与えているインパクト】

・インドネシア政府の削減目標や、その中における泥炭からの放出の重要性から考えて、プロジェクトの妥当性は極めて高く、それに科学的な答えを出したプロジェクトだったと言える。人材、組織、国それぞれのレベルでインドネシアの科学技術の向上に果たした役割は十分に大きい。

・ユドヨノ大統領は 2009 年 9 月の G20 で、2020 年までに国内の温室効果ガス排出量を 26%削減、国際社会からの支援で 41%まで削減すると宣言した。2011 年 11 月には大統領令で国家 GHG 削減計画 (RAN-GRK) が策定され、2012 年末までに全土 33 州の具体的削減計画 (RAD-GRK) の策定を義務付けた。インドネシア国家気候変動協議会 (DNPI) は 2010 年、泥炭と土地利用形態からの削減が、削減量全体の 75%以上を占めると示唆しており、プロジェクトへの期待は年を追うごとに大きくなった。

【課題解決、社会実装の見通し】

・インドネシア側も大きな期待を持ち、引き続き研究開発と活用を推進して行く意欲があり、体制を整えつつある。とくに、プロジェクトで開発された MRV システムは、DNPI と大統領開発管理調整ワーキングユニット (UKP4) が主催する計 8 回の会議に示され、移行が始まっている。すでに一部がインドネシア気候変動センター (ICCC) のコーディネートで、泥炭の定義およびマッピングという形で確実に DNPI にインプットされ、インドネシア国家標準庁 (BSN) においても標準化の準備が進んでいる。

・泥炭火災を消火するための自主消防隊も五箇所の村に整備され、消防ホースやポンプなどの機材も無償供与されて訓練も始まった。泥炭火災の予測・警報、MRV システムは、それぞれインドネシア宇宙航空研究所 (LAPAN)、インドネシア気候変動技術センター (ICTC) へと引き継ぎ先が決まり、移行作業が本格化する見通しとなっている。

・国際的な動きとも連動するが、地下部の炭素蓄積が REDD プラスの枠組みで認められることになれば、急速に成果の社会実装が進むものと考えられる。

・インドネシア技術評価応用庁 (BPPT) などでは、この研究活動と成果およびその社会実装に極めて高い関心を示しているが、地方政府を含む政策意志決定者に必ずしも情報が伝わっていないとも指摘されている。中央政府のしかるべき部署と連携して、地方政府レベルに成果・情報を適切に発信することが、社会実装の一つの鍵となる。

【継続的發展の見通し（人材育成、組織、機材の整備等）】

・プロジェクト開始以前からの交流を含め、日本の大学への留学を多数受け入れ、人材育成は極めて熱心に行われている。今後とも良好な交流が続くと期待できるし、留学した人材が現地で活躍していくものと期待できる。

・プロジェクトの中心となった中央カリマンタン州のパランカラヤ大学には、個人、組織のレベルで大きな成果およびインパクトが出ていると評価できる。個人レベルではプロジェクト期間内に UNPAR から JICA の長期・短期研修および文科省の地球規模枠で、計 18 人が北海道大学に留学し、そのうち 9 人が学位を取得予定である。講師、教授クラスを中心に 5 つのラボが、機材などの投与を受けてプロジェクトの研究活動に参加しており、インドネシア科学院 (LIPI) など他の研究機関からも研究者が訪れている。

・インドネシア教育省が、インドネシアの全 2684 の大学、研究機関の中から選ぶ“50 Promising Indonesian Universities”の 27 位にランクインした。2007 年当時は 97 位だったという。選考基準の中に機関の国際化が含まれており、SATREPS を初め、熱帯泥炭地や森林を拠点とした国際共同研究の成果が大きく貢献したと考えられている。評価では、このプロジェクトが大学の地位向上や研究者の育成に大きく貢献したとの見解が示されているとのことであり、本プロジェクトの貢献が大きいと確認できた。

【成果を基とした研究・利用活動が持続的に發展してゆく見込み（政策等への反映、成果物の活用など）】

・研究手法等の相手国研究者等への伝達・伝承には多くの努力がなされており、持続的に継続していくものと期待できる。とくに、パランカラヤ大学 Kumpiady 副学長は、熱帯泥炭地にかかわる SATREPS の研究成果を大学の一般教養課程のテキストとしても活用したいとの意向を表明しており、泥炭プロジェクトは同大学を中心に今後も大きなインパクトを生む可能性が高い。

・国際的な動きにも左右されるが、地下部の炭素蓄積が評価できるという事実を示した点は今後の動きに大きく影響する。研究代表者である大崎教授自身も国際的に高い評価を受けており、IPCC レポートなどにも研究結果が反映されている。

4-3. 付随的成果

【日本政府、社会、産業への貢献】

・経済産業省が出資する REDD プラス事業性調査などの FS 事業(丸紅、三菱総研、住友商事)が展開され、大崎教授がアドバイザーを務めている。住友商事のプロジェクトは、プロジェクトのキーパーソンであるパランカラヤ大学の Suwido 講師が関わる、泥炭湿地に池を掘って雨季に魚を誘導するというビジネスモデルで、焼畑農業に代わる代替生活手段として注目を集めているという。また、メガライスプロジェクトで荒廃した土地を元に戻す方法について、運河の埋め戻しや堰の設置による地下水位の管理や、住民にインセンティブを与えた植林施策などが検討され、ワークショップで報告された。住友林業のプロジェクトでは、住友林業が自前の資金で SATREPS プロジェクトと FORDA と組んで森林修復の開発を行っている。

・JICA の「日本インドネシア REDD プラス実施メカニズム構築プロジェクト」(IJ-REDD プラス事業)において、成果の一部が応用されており、その事業は民間企業が主体となって実施されている。こうした方向での成果の活用は、今後も拡大すると予想される。

【科学技術の発展】

・熱帯の泥炭湿地で、地下部の炭素蓄積を精度よく推定できる手法はこれまでなかった。とくに、熱帯泥炭地における総合的 MRV システムの開発、科学的根拠に基づく炭素放出量の算定、泥炭火災の防止、検知、予測、消火、統合的泥炭地管理プログラムの提示など、熱帯泥炭地における炭素動態の把握と炭素放出量の抑制について世界的に先駆的研究を実施し、貴重な成果を上げた。

【知財の確保や、国際標準化への取組、生物資源へのアクセスや、データ入手方法】

・次の四つの新技術について特許申請を検討している。いずれもインドネシアだけではなく、日本など先進国の科学技術の発展にも寄与するものと評価できる。

a. 液晶技術を用いた波長可変フィルターシステム(LCTF)・・・北海道大学が東北大、明星電気(群馬県伊勢崎市)らの協力を得て開発した。カメラに搭載して UAV や衛星に積むことで、高解像度の映像と超多波長観測により、樹種の判別が可能になる。

b. 新式デンドロメータ・・・複数の樹木で計測した周長から直径を割り出し、リアルタイムでデータを送信するシステム。森林の成長量、炭素の蓄積量を見積もることができる。みどり工学研究所(札幌市)が SESAMI システムとともに開発した。

c. レーザー距離計による土壌沈下計測と二酸化炭素発生量計測技術・・・泥炭土壌の微生物分解によって二酸化炭素が発生するが、その量を泥炭層の沈下量から推定する方法が提案さ

れ、国際標準化される方向にある。しかし、泥炭土壌は微生物分解とは別に乾燥化でも収縮する。そこで、東京大学のチームは、レーザー距離計で沈下量を計測するとともに、深く打ち込んだ杭と地表面との相対的な位置変化を連続測定し、地下水位との関係を求めることに成功した。その結果、泥炭層の厚さは地下水位変化の15%程度の大きさで変化していることがわかった。測定ノウハウを特許化する。

d. 荒廃泥炭湿地での早生樹を用いた造林技術・・・インドネシアにおいても国立公園での植樹では郷土樹種の利用が義務づけられ、郷土樹種における人工林造成技術の必要性が高まっているが、荒廃した熱帯泥炭湿地で郷土樹種を用いた造林技術は確立していない。そこで、住友林業、北海道大学が郷土樹種である Tumih を利用した早期造林技術を共同開発した。

・みどり工学研究所(札幌市)が開発した SESAME システムは、コストも安く、応用範囲が広いことから注目に値する。もともこのシステムは、気温や降水量、地下水位などの野外観測データを、インドネシアの携帯電話通信網を用いて日本のサーバーに送りこむために開発したものである。計測機器の電源には小型太陽電池を用い、維持管理も簡単なことから、H25 年度 ODA 案件化調査事業として採択され、本格的な利用を目指した調査を実施。早速、インドネシアでダムの水位を計測するために試験導入された。みどり工学研究所は、インドネシアにも現地法人を作り、管理やメンテナンス業務の受け皿をつくる予定という。

【その他の具体的成果物（提言書、論文、プログラム、試作品、マニュアル、データなど）】

・精力的に論文(とくに欧文の原著論文)が執筆されている。インドネシア側への提言も行い、重要性が評価されている。研究代表者である大崎教授は、IPCC、AR5 のリードオーサーも務めている。

・IHI が超小型衛星を擁し、2015 年度をめどに人工衛星事業に参入することが、新聞で報道されている。IHI は昨年、明星電気を買収しており、北大、東北大、明星電気のチームが開発した液晶技術を用いた波長可変フィルターシステム(LCTF)が日の目を見ることになる。農作物の生育管理や資源探査などが可能となるだけでなく、広域生態学や環境評価が革新的に進歩すると期待される。

【世界で活躍できる日本人人材の育成（若手、グローバル化対応）】

・本課題には多くの若手研究者も参画している。彼らが身につけた海外での研究展開力は今後の日本の海外研究において力を発揮するものと期待できる。

【技術および人的ネットワークの構築（相手国を含む）】

・1996 年以來の研究の継続・発展を通して、インドネシアの関連政府機関、大学研究機関と密接な関係が形成されている。本プロジェクトによってさらにそれが深化、強化されたが今後も継続されることが期待される。

4-4. プロジェクトの運営

【プロジェクト推進体制の構築（他のプロジェクト、機関などとの連携も含む）】

・両国を含めて 200 人以上の研究者をまとめるため、中間評価などでの助言もあり、目指すべきアウトプットを具体的、定量的に明確にし推進してきた。

・たとえば、PM グループは、泥炭地における CO₂ フローや蓄積を知るのに必要なデータを 8 つのコンポーネントに整理し、それぞれについて複数の観測手段を模索した。さまざまな観測方法が乱立する中で、地上の観測に加え、衛星を使ったリモートセンシングや UAV を駆使することで、将来にわたる観測のあり方を提示したことは、プロジェクトに関わるメンバー全員がそれぞれの目指すべき方向を見定めるのに大きく貢献したと評価できる。

【プロジェクト管理および状況変化への対処（研究チームの体制・遂行状況や研究代表者のリーダーシップ）】

・予算が限られる中、次から次へと参加してくる研究者を取り込み、「資金は少なくとも一緒に研究したい」と思わせたのは、カリマンタン島の泥炭地に 20 年近く関わり続けた北海道大学チームの歴史もさることながら、新しい分野に果敢に挑戦し、国際社会の枠組みにも積極的に参画しようと努めてきた大崎教授のリーダーシップも大きいと評価できる。

【成果の活用に向けた活動】

・政府、住民の合意を得るため、現地および中央の研究・行政機関と密接な連携をとる努力、活動がかなりの頻度で行われてきた。年間 1 回開かれる国際ワークショップは計 5 回にのぼり、DNPI、BPPT、BSN、LAPAN、インドネシア農業研究開発庁 (IAARD) との個別ワークショップの開催 (主催、共催) は 24 回を数えた。地元の研究者をキーパーソンに、自営消防隊も 5 箇所の村で組織することができた。有効に活用されるよう日本チームも関与して適切な受け渡し先が決定されつつある。

・プロジェクトの関係者に留まらず、多くの研究者に声をかけ、カリマンタン島の大学間のコンソーシアム、さらにインドネシア全土の大学間ネットワークにも発展させようという試みも持ち上がり、また、学生を巻き込んだ草の根の活動が展開された。これは、インドネシア政府の国全体を底上げしようとする方針とも呼応するもので、政府との協働が成立すれば、近い将来に効果が期待できる。

【情報発信（論文、講演、シンポジウム、セミナー、マスメディアなど）】

・二酸化炭素放出における泥炭地の重要性について世界的な認知を得るために、大崎教授は、IPCC ガイドライン AR の Wetland に関する Lead Author への就任、COP15、COP16、COP17、COP18 での成果の紹介、SBSTA38 (UNFCCC の科学上及び技術上の助言に関する補助機関第 38 回会合) における招聘講演など、積極的に情報発信を行っている。国際的な議論の動向次第の面もある

が、少なくとも地下部炭素に関しては科学的な根拠を提供したといえ、こうした成果を継続するための今後の取り組みなども複数検討されている。

・現地でのワークショップ、国際会議を頻繁に開催して、情報発信に努める一方、国内でもマスコミなどを通じて研究プロジェクトの意義と成果の広報に気を配る、精力的なアウトリーチが行われた。

【人材、機材、予算の活用（効率、効果）】

・人材、機材、予算の活用についても、数多くの研究者が参加しているのにもかかわらず、効率的、効果的な運用が行われたと評価できる。

5. 今後の研究に向けての要改善点および要望事項

【社会実装をより確実なものにするために】

研究プロジェクトとしては大きな成果を上げたと評価できる一方、REDD プラスに関しては国際的な議論はまだ不透明で、成果がどう活用されるか不確定な面もある。インドネシアを含む世界の泥炭地では現在、CO₂蓄積量の測定に欧米コンサルタントらが提案する簡易法が採用されているが、プロジェクトで開発した科学的な評価方法をさらに広く周知するとともに、次世代のスタンダードとして育て上げていくことを期待したい。

研究グループと JICA、および中央カリマンタン州政府は、プロジェクトが提案する MRV 手法を、IJ-REDD 事業の枠内で、中央カリマンタン州の泥炭地で実践していく方針を確認している。

REDD プラスのフェーズドアプローチでは、第二段階の実施フェーズに、戦略・行動計画の実施があり、実証活動を含んでいる。中央カリマンタン州のレベルで MRV 手法が活用できれば、州政府のプロジェクトレベルのカーボン・オフセット・クレジットから出発して、段階的にインドネシアのナショナルレベル、国際社会レベルへとステップアップしていける道筋が示されることになる。日本政府が探る、科学的な知見を活かした JCM 実現の方針とも一致し、大崎教授が苦勞して続けてきた国際機関へのアピールも現実味を帯びてくる。

プロジェクトの成果を社会実装させるための取り組みは、プロジェクトの上位目標につながる課題であり、なおいっそうの努力が求められる。

以 上

研究課題名	インドネシアの泥炭・森林における火災と炭素管理
研究代表者名 (所属機関)	大崎 満 (北海道大学 教授)
研究期間	H20採択 平成20年10月1日から平成26年3月31日まで (5年半)
相手国名	インドネシア共和国
主要相手国研究機関	インドネシア国家標準局、パラカラヤ大学、航空宇宙研究所、生物科学院、森林開発研究所

付随的成果

科学技術の振興と活用	<ul style="list-style-type: none"> 地球規模の気候変動枠組みへの活用 インドネシア熱帯林の保全(生態系・生物多様性の保全) 日本企業による成果の事業化
特許出願	<ul style="list-style-type: none"> 衛星を利用した火災検知システム 炭素量評価用機器 止水堰の開発、森林修復方法
レビュー付き論文への掲載	<ul style="list-style-type: none"> 衛星を利用した火災検知システム 熱帯泥炭地における炭素収支、炭素動態の解明 水挙動メカニズムの解明
生物資源へのアクセス	泥炭分解微生物、強酸性環境下で生育可能な植物等のサンプル
人材育成	国際的に活躍可能な日本側の若手研究者の育成(国際会議への指導力、レビュー付雑誌への論文掲載など)
宇宙技術利用	今後の後継機(Hyper)へのフィードバック

上位目標

熱帯泥炭地域の炭素管理により、インドネシアの泥炭地からの温室効果ガス排出量を1/3から1/5に削減され、日本のクレジットとしてカウントされる。

インドネシア国内の政策に採用されるとともに国際的なルール作りや二国間カーボンオフセットメカニズムに活用される。

プロジェクト目標

泥炭地からの炭素排出量が現状の1/3~1/5となる炭素管理手法の開発と中央・地方政府・地域コミュニティへの提案。



図1 成果目標シートと達成状況(2013年8月26日時点)