

国際科学技術共同研究推進事業
地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)

研究領域「地球規模の環境課題の解決に資する研究」

研究課題名「気候変動適応へ向けた森林遺伝資源の利用と管理による

熱帯林強靱性の創出」

採択年度：令和3年（2021年）度/研究期間：3・4・⑤年/

相手国名：インドネシア

令和3（2021）年度実施報告書

国際共同研究期間*1

20**年 月 日から 20**年 月 日まで

JST側研究期間*2

2021年 6月 1日から 2027年 3月 31日まで

（正式契約移行日 2022年 4月 1日）

*1 R/Dに基づいた協力期間（JICAナレッジサイト等参照）

*2 開始日=暫定契約開始日、終了日=JSTとの正式契約に定めた年度末

研究代表者：谷 尚樹

国際農林水産業研究センター 林業領域・主任研究員

I. 国際共同研究の内容 (公開)

1. 当初の研究計画に対する進捗状況

(1) 研究の主なスケジュール

研究題目・活動	2021年度 (11ヶ月)	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度
1. 強靱種苗開発・普及						
1-1 強靱種苗選抜	ゲノム選抜モデル開発の実現		強靱性形質特定の実現		強靱性種苗選抜と実装	
1-2 優良個体種苗生産	栄養繁殖技術の実現		種苗生産技術のプロトタイプ検証		優良個体種苗生産の達成と実装	
2. 気候変動適応型植林指針						
2-1 気候変動下植林適地	気候変動下における植林適地推定モデルの開発				気候変動に適応した植栽指針の開発と提言	
2-2 地域環境適応	対象樹種の遺伝構造と地域適応遺伝子の解明				種苗配布規則の開発と提言	
3. 植林インセンティブ形成						
3-1 生態系機能への影響評価	熱帯林再生・新規造林事業が生態系機能(GHG吸収能等)に及ぼす影響評価		生態系機能(GHG吸収能等)に及ぼす影響のメカニズム解明		認証機関への情報提供	
3-2 社会経済への影響評価	生態系機能の回復がもたらす住民への効果及び影響の検討		植林の導入により得られる経済・社会的利益の評価		政策提言	

(2) プロジェクト開始時の構想からの変更点(該当する場合)

該当なし

2. プロジェクト成果の達成状況とインパクト (公開)

(1) プロジェクト全体

本プロジェクトは、森林荒廃に伴う強靱性の低下から、環境変化に対して高い脆弱性を示すインドネシアの森林を対象に、既存の林業を「気候変動下においても持続的な森林資源利用を可能とする産業」へと改善し、「熱帯林業における気候変動適応」の実現を目指すものである。具体的には、インドネシアの森林遺伝資源を活用したゲノム選抜により、森林造成・再生事業で活用できる6種の気候変動適応型林木種を開発するとともに、細胞培養等による種苗生産技術を確立する(研究課題1)。また、気候変動予測に基づく適応林木種の植栽や種苗移動に関するガイドラインを開発するとともに、(研究課題2)、気候変動適応型植林の導入による生態系機能回復効果(GHG吸収能や非木材資源量等)を評価し、気候変動適応型植林導入のインセンティブ形成に係る要因把握を行う(研究課題3)。最終的に、研究課題2および研究課題3の実施を通じた植栽指針の決定および植林インセンティブの形成により、研究課題1で開発する気候変動適応型林木種の熱帯林業への実装促進を目指す。

こうした目標の達成に向け、暫定期間にあたる2021年度は、プロジェクトの管理・運営に係る活動として、両国の研究代表者、課題参画者、JSTおよびJICA担当者の参加のもと、課題内容や研究担当者の決定などの課題実施に向けた会議、およびR/D・CRA署名へ向けた詳細計画策定調査を実施し、共同研究の開始に向けた準備を行った。「熱帯林業における気候変動適応の実現」を最終的な目的に掲げ、6つのサブ課題を含む3つの研究課題を設定するとともに、日本の6機関17人(国際農林水産業研究センター、住友林業株式会社・筑波研究所、筑波大学、森林研究・整備機構・森林総合研究所、国立環境研究所および長崎大学)とインドネシアの2機関18人(ガジャマダ大学、国立研究革新庁)からなる研究体制を構築した。また、共同研究の方針や詳細な研究計画の策定など、共同研究の実施に向け、日本・インドネシア両国および各国内において、課題代表者会議および課題参画者会議を組織し、数ヶ月に1回程度の頻度で定期的に開催した。

また、2022年度からの共同研究の開始に向けては、全課題共通の準備として当該国の大学、研究機関および関連企業と、(1)検定林を含む調査対象地、(2)課題遂行に必要な施設利用、および(3)生物資源利用に係る協議を行った。検定林を含む調査対象地については、相手国代表機関であるガジャマダ大学と協力機関である国立研究革新庁が所有する演習林および産地試験林・次代検定林を利用するとともに、一部については今後新たに本プロジェクトで整備を行い利用することを決定した。また、実際に施業を行う林業会社からも国内法を遵守した上で社有林およびコンセッションの一部を利用する許可を得ることができた。課題遂行に必要な施設の利用については、相手国代表機関であるガジャマダ大学が、現地駐在員らが課題管理に利用するための事務室と各種実験を行うための遺伝子実験室や組織培養実験室を提供することとなった。また、生物資源利用については、生物多様性条約及び関連する国内法に則って、CRAやMTAを締結し、遺伝資源を活用した研究を行うことを申し合わせ、試料を日本に持ち帰って解析できる環境を整えている。

このように、暫定期間にあたる2021年度は、コロナ禍の影響に伴う渡航制限やインドネシア国内の移動制限等によって、実際に現地を訪問して調査等を行うことはできなかったものの、リモートでの会議等を通じて2022年度からの共同研究の開始に向けた十分な準備を行うことができた。

(2) 研究題目 1：「気候変動強靱性と生産性を両立させた熱帯林木開発と普及」

(リーダー：谷尚樹・国際農林水産業研究センター、サブリーダー：角田真一・住友林業株式会社)

① 研究題目 1 の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

研究課題 1 では、熱帯林業における気候変動への適応を実現するために、ゲノム選抜育種を活用し、従来から林業にとって重要な成長などの形質とともに、予想される気候変動に対して強靱性を付加できる形質について選抜を行う。さらに、これらの選抜個体を効率的に増殖する技術開発を行う。この目的の達成のために研究課題 1 では課題「1-1. 強靱種苗選抜」および課題「1-2. 優良個体種苗生産」を設定している。

ゲノム選抜育種を活用して優良かつ強靱性を持つ個体の選抜を行う課題「1-1. 強靱種苗選抜」では、ゲノム予測モデルを開発するために必要な多個体からなる既存林分（トレーニング集団）の検討をおこなった。インドネシアにおける三つの主要林業形態のうち、天然林コンセッション型林業において中心となるフタバガキ科樹種については、インドネシア側代表機関であるガジャマダ大学が国際熱帯木材機関（ITTO）プロジェクト（ITTO PD 41/00）なので造成したフタバガキ次代検定林を活用していくこと、また、次世代種苗を得るために開花・結実モニタリングシステムを構築することとした。住民参加型の社会林業ではファルカタとチークを対象としている。ファルカタではインドネシア側分担機関である国立研究革新庁（BRIN）が造成した産地試験林を活用するために試験林の調査を開始した。また、民間企業が所有する植林地についても対象とすることを申し合わせた。チークについてはガジャマダ大学と民間企業が共同で造成した産地試験林を活用するために試験林の調査を開始した。さらに、ゲノム選抜育種で重要となるゲノム予測モデルに活用するアルゴリズムの最適化を行うと共に、強靱性に関わる形質について、既存の熱帯樹種の生理形質の情報からターゲットとする候補形質の検討を行った。

課題「1-2. 優良個体種苗生産」では、協力機関である PT. Kutai Timber Indonesia (KTI) 社と共同で現地における栄養繁殖課題の克服のための事前調査を行った。栄養繁殖方式として組織培養を用いる場合、ファルカタ内在性の菌が継代に伴い増殖組織全体に蔓延することで栄養繁殖の制限となる点を確認した。効率的な栄養繁殖の 1 つである種子胚を用いた増殖を開発するための準備として KTI 社スタッフとの連携により、KTI 社が所有するファルカタ採種園の花芽状況をモニタリングし、胚培養の材料として適正の高い未熟種子の採種と保存条件の検討を開始した。一方、国内において保存された種子を用いて、胚組織抽出方法の検討を行い、子葉と胚軸を含む組織が多芽性の器官増殖に適した出発組織であることを明らかにした。

② 研究題目 1 のカウンターパートへの技術移転の状況

令和 3 年度は暫定期間である上に、コロナ禍での海外出張停止などの影響もあり、積極的な技術移転は行なっていない。しかし、これまでの共同研究で行っているゲノム予測モデルの改善について技術移転を行なった。さらに、ガジャマダ大学に設置する遺伝子実験施設および組織培養実験施設の設計を共同で行った。また、文部科学省国費外国人留学生制度（SATREPS 枠）を活用して、博士課程に入学希望の学生を招聘することとした。

③ 研究題目 1 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

暫定期間のため該当なし。

④ 研究題目 1 の研究のねらい（参考）

研究課題 1 では、気候変動下で予測される環境変化に対する強靱性と炭素蓄積能に係る成長や病害虫抵抗性等を併せ持った樹種・個体の選抜を行うとともに、その社会実装に向けた細胞培養等を用いた効果的な増殖技術の開発を行う。これらの技術開発をインドネシアの林業に実装していくことで、気候変動に対して熱帯林業の強靱性を高めることを目指す。

「1-1. 強靱種苗選抜」では、二酸化炭素を固定する上でも重要な成長や病害性抵抗性など、従来から林業で重要とされる形質と気候変動への強靱性を示す生理形質を兼ね備えた個体を、ゲノム選抜育種を活用して選抜する。繁殖や収穫に時間を要する多年生の林木の育種では、交配から次世代の形質の検定に数十年の月日を要していたが、本プロジェクトではゲノム選抜育種を活用することで、次世代の検定にかかる時間を大幅に短縮し、選抜の高速化を目指す。

「1-2. 優良個体種苗生産」では、ゲノム選抜技術によって選抜された優良個体から生産林に投入可能な苗木を短期に大量に生産する技術を開発する。ゲノム選抜において、育種集団の保存系統を胚培養によって作成し、ゲノム選抜モデルによって苗木段階で選抜された最良の系統を増やすため、保存系統から大量増殖をすぐに開始することで、採種園での種子生産を待たずに大量の苗木を生産林に短期間で投入することを可能にする。この保存系統を用いた大量増殖はゲノム選抜と前方選抜を複合させた多系統育種においても検定林での評価に基づき、選抜系統から即時に苗木生産を開始できる点も利点となる。さらにこれらの技術開発と並行し、種子からの組織培養や栄養繁殖による微小挿木を生産レベルで利用可能な技術として開発する。これらの技術は、優良系統の接木や挿木を用いて採種園で種子を多く生産する上で役立つとともに、クローン大量増殖による苗木生産コストの削減にも貢献する。

⑤ 研究題目 1 の研究実施方法（参考）

課題「1-1. 強靱種苗選抜」では、(1) 天然林コンセッション型林業、(2) 社会林業、(3) 産業造林の 3 つの林業形態の代表的な樹種についてゲノム選抜育種を活用して、成長や病害性抵抗性など、従来から林業で重要とされる形質と気候変動への強靱性を示す生理形質を兼ね備えた個体の選抜を行う。具体的には各樹種についてゲノム情報から表現形質を推定するゲノム予測モデルを作成するために必要なトレーニング集団と呼ばれる試験林を設定する。この試験林から無作為交配による次世代（種子由来の実生）を育成した上でゲノム情報を取得し、作成したゲノム予測モデルによって将来の形質を推定し、この推定値をもとに選抜を行う。これによって次世代の成長を待たずに選抜が可能となり、選抜の高速化が実現する。ゲノム選抜モデルを作成するためにはトレーニング集団のゲノム情報を網羅的に解読する必要があり、ここでは制限酵素切断サイトの周辺を網羅的に解読する RAD-Seq 法などと対象樹種から得たゲノム全塩基多型情報（ドラフトゲノム）を併用する手法を用いる。ゲノム予測モデルを作成するための表現型値については幹周囲長や樹高などの成長に関する形質測定とともに、気候変動下での強靱性に関わる葉や材の表現型形質の測定を行う。このゲノムデータと表現型データを合わせて、ゲノム情報から表現型値を予測するゲノム選抜モデルを機械学習や深層学習を用いて開発する。次に、トレーニ

ング集団から無作為交配によって得られた次世代実生についてゲノム選抜モデルを活用して表現型値を予測する必要がある。ここでは数千以上の実生について遺伝子型値を得る必要があるため、ハイスループットな遺伝子型同定システムを導入し、事業レベルにスケールアップ可能なゲノム選抜育種体制を該当国に整備する。

課題「1-2. 優良個体種苗生産」では、インドネシアにおいて植林面積が増加している重要樹種を対象に大量増殖技術を開発する。大規模クローン化技術を林木育種プログラムで利用する上での課題は、低い増殖効率、多系統を保存することに起因する高コスト、個体再生までの多段階の処理時間や作業プロセスの自動化不足に起因しており、これらの技術的課題のブレークスルーが必要となっている。本課題では、特に挿木など安価な栄養繁殖を行うことが困難な樹種（ファルカタ等）について従来の栄養繁殖に加え、種子胚を用いた組織培養の高効率化や、さらに胚性化誘導による大量増殖技術を構築する。従来の栄養繁殖についても成熟個体への接木の改良や環境を制御した微小挿し木技術開発を進めることで、一連の大規模クローン化技術を構築するとともに、従来の栄養繁殖技術と組織培養による大量増殖技術を組み合わせて費用対効果が期待できるレベルまで苗木生産コストを低減させる。研究開発で実施した気候変動に強靱な苗木の大量増殖技術を商業植林や社会林業で実装するため、種苗の大量生産、商業化に対応した苗木生産のプロトタイプ施設を現地協力機関に建設し、生産苗木のクローン品質および生産コストを検証する。これらの研究開発により、気候変動に適応性を持つ種苗クローンの大量増殖を可能にする。

(3) 研究題目 2：「気候変動適応型植林の導入指針の決定」

(リーダー：津村義彦・筑波大学、サブリーダー：八木橋勉・森林研究・整備機構)

① 研究題目 2 の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

研究課題 2 では、顕在化する気候変動下における植林指針の立案および気候変動下の地域環境適応を考慮した種苗の移動規則の策定を行うことを目指す。

課題「2-1. 気候変動下植林適地」では、現地カウンターパートとインドネシアの気候データ、土壌データなどの入手方法などについて協議を行い、研究対象樹種についての種分布モデルの構築、解析方法についての予備的な検討を行った。

課題「2-2. 地域環境適応」では、研究対象樹種の研究材料の採取地点及び採取方法について協議を行った。これまでに保有している研究対象樹種のサンプルについて DNA を抽出して、RAD-seq 用の予備的な実験を開始し、今後の研究に使用可能かどうかの検討を行った。

コロナ禍に伴うインドネシア国への渡航制限およびインドネシア国内における移動制限等の影響により、2021 年度はインドネシアを訪問して調査や打ち合わせを行うことはできなかったが、リモートによる打ち合わせや、これまでに取得しているサンプルを用いて予備的な実験等ができており、2022 年度からの調査開始に向けた準備ができたと考えている。

② 研究題目 2 のカウンターパートへの技術移転の状況

2021 年度は暫定期間であり、コロナ禍に伴う渡航制限等が続いたことから、カウンターパートへの技術移転に係る具体的な活動は開始できていない。しかしながら当該国における人材育成や技術移転に向け、博士後期課程の学生 1 名を受け入れるための準備をカウンターパートとの協議のもと進めている。

③ 研究題目 2 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

暫定期間であるため該当なし。

④ 研究題目 2 の研究のねらい（参考）

研究課題 2 では、現在の森林の歴史的な形成過程を考慮した研究対象種の遺伝構造を明らかにして、種苗移動の遺伝的ガイドラインを作成する。また近年に世界的問題となっている地球温暖化に伴う樹木の植栽地域の変化を種分布モデルで調査して、将来の対象種の植栽適地を明らかにする。これまでの在来種については種分布モデルで明らかになった将来の植栽地に植栽し、温暖化によって植栽不適地になった箇所には研究課題 1 で開発された気候変動適応型林木種を植栽することを目指す。

⑤ 研究題目 2 の研究実施方法（参考）

課題「2-1. 気候変動下植林適地」では、将来の植栽適地を推定するために種分布モデルを用いて行う。このためには、インドネシアの気候データ、土壌データなどの環境データの収集を行い、対象樹種の天然分布情報及び天然林サイトの環境情報を入手して、種分布モデル（SDM）の構築を開始する。SDM の構築にあたっては、これまでに研究担当者が国内外のデータを対象とした使用実績のある、機械学習モデルの一つであるランダムフォレストを主体とし、性能比較のために一般化線形混合モデルや一般化加法混合モデルなども比較検討する。

課題「2-2. 地域環境適応」では、種苗移動の遺伝的ガイドラインを作成する。そのために天然分布域を網羅する地域からの研究材料の収集、収集した研究材料から DNA を抽出して、ゲノム全体をスキャンする RAD-seq 用の DNA ライブラリーの構築を行い、次世代シーケンサーを用いて塩基配列情報を取得する。得られた塩基配列情報を用いて遺伝的多様性解析と遺伝構造解析について解析を行い、遺伝的多様性については、塩基多様度、ヘテロ接合度（観測値、期待値）、近郊係数などの算出を行う。また遺伝構造の解析では集団間の遺伝的な違いを、主座標解析、STRUCTURE 解析、集団の系統樹を構築する。また集団間の遺伝的な違いを数値で示すために、遺伝子分化係数、AMOVA 解析を行い集団間分化の程度を明らかにする。これらの情報を用いて種苗移動の遺伝的ガイドラインを作成する。

(4) 研究題目 3 : 「気候変動適応型植林の社会実装へ向けたインセンティブ形成」

（リーダー：近藤俊明・国際農林水産業研究センター、サブリーダー：小松 悟・長崎大学）

① 研究題目 3 の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

研究課題 3 では、劣化した熱帯雨林の回復と新規植林地の拡大の達成に向け、研究課題 1 で開発される気候変動適応型林木種等を用いた熱帯林再生・新規造林事業が、環境・社会・経済に与えるインパ

【令和 3 年度実施報告書】【220531】

クトを評価し、REDD+、森林認証制度、ESG 投資等の認証機関に対して、気候変動適応型林木種利用により得られる効果について情報提供を行うことで、熱帯雨林の再生・創出に対する国際的・地域的インセンティブの形成を目指す。この目的の達成のため、研究課題 3 では、課題「3-1. 生態系機能への影響評価」および課題「3-2. 社会経済への影響評価」の 2 つの課題を設定している。

暫定期間にあたる 2021 年度は、課題「3-1. 生態系機能への影響評価」において、データの収集を行う森林・植林地および農村など、調査対象地の選定に向けた打ち合わせを現地カウンターパートと開始するとともに、課題実施に向けた具体的な役割分担についても協議を開始した。また、調査内容や手法および社会実装に向けた活動について、国内参画機関において方針を定めるとともに、近隣国であるマレーシアで収集していた既存の GHG フラックスデータや土壌 DNA サンプルを用いて予備的な解析を行い、解析手法の検討・構築を行った。

また、課題「3-2. 社会経済への影響評価」では、既存のデータを用いて生態系機能がもたらす住民への効果を定量的に評価するための手法の検討を行った。具体的には、森林生態系サービスが有する害虫防除機能が地域経済に与える影響を検討するとともに、Rand corporation が実施する Indonesian Family Life Survey (IFLS) によるデータと衛星観察から得られるデータを組み合わせた分析手法の、本研究調査対象地域への応用可能性について検討した。またインドネシアの他地域で収集していた家計調査データを用いて、環境改善便益に対する選好の多様性を評価する手法を適用し、本研究調査で実施を想定する家計調査での適用可能性を検討した。

コロナ禍に伴うインドネシア国への渡航制限およびインドネシア国内における移動制限等の影響により、2021 年度は当該国を訪問して調査や打ち合わせを行うことはできなかったものの、リモートによる打ち合わせや、これまで当該国および近隣国で行ってきた調査や研究経験を踏まえ、2022 年度からの調査開始に向けた十分な準備ができたと言える。

② 研究題目 3 のカウンターパートへの技術移転の状況

暫定期間であるとともに、コロナ禍に伴う渡航制限等が続いたことから、カウンターパートへの技術移転に係る具体的な活動は開始していないものの、当該国における人材育成や技術移転に向け、課題「3-1. 生態系機能への影響評価」および課題「3-2. 社会経済への影響評価」において、それぞれ博士後期課程の学生 1 名を受け入れるための準備をカウンターパートとの協議のもと進めている。

③ 研究題目 3 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

暫定期間であるため該当なし。

④ 研究題目 3 の研究のねらい（参考）

研究課題 3 では、熱帯林再生・新規造林事業がもたらす影響を環境・社会・経済の 3 つの観点から評価し、REDD+、森林認証制度、ESG 投資等の認証機関に対して、気候変動適応型林木種等の利用により得られる効果について積極的に情報提供を行うことで、熱帯雨林の再生・創出や気候変動適応型林木種利用に対する国際的・地域的インセンティブの形成を目指す。

熱帯林再生・新規造林事業が環境にもたらす影響については、課題「3-1. 生態系機能への影響評価」

【令和 3 年度実施報告書】【220531】

において、大きな変化や向上が期待される温室効果ガス吸収能を中心に評価を行う。具体的には、植栽樹木によるCO₂吸収量に加え、土壌における炭素貯留や土壌微生物を介したCO₂放出・CH₄吸収など、森林土壌における温室効果ガス収支も観測することで、熱帯林再生・新規造林事業がもたらす効果を評価する。

また、熱帯林再生・新規造林事業が地域社会や経済にもたらす影響については、課題「3-2. 社会経済への影響評価」において、生態系機能の回復がもたらす住民への効果及び影響の検討及び植林の導入により得られる経済・社会的利益の評価を行う。具体的には、既存樹種の放棄に伴う損失（逸失利益）や植林従事者の植林インセンティブを定量的に測るとともに、植林による長期的・短期的便益も見据えることで、気候変動適応型植林の社会実装へ向けたインセンティブの形成のありかたを提言する。

研究課題3では、これら2つの課題の実施を通じて、熱帯林再生・新規造林事業が環境・社会・経済にもたらす効果を明らかにすることで、熱帯雨林の再生・創出や気候変動適応型林木種利用に対する国際的・地域的インセンティブの形成を目指す。

⑤ 研究題目3の研究実施方法（参考）

課題「3-1. 生態系機能への影響評価」では、(1) 天然林コンセッション型林業、(2) 社会林業、(3) 産業造林の3つの林業形態を対象に、気候変動適応型林木種等を利用した熱帯林再生・新規造林事業が森林の有する気候変動緩和機能にもたらす効果を評価する。特に、大きな変化や向上が期待できる土壌を介した温室効果ガス収支に着目し、熱帯林再生・新規造林事業地とその周辺において、独自に開発したポータブル自動開閉チャンバー式測定システムを用いて3種の温室効果ガス収支（CO₂、CH₄、N₂O）を測定・比較する。また、次世代シーケンサーを活用したメタゲノム法により、土壌を介した温室効果ガス収支に強く寄与する土壌微生物相について、種組成や量の変化を評価することで、熱帯林再生・新規造林事業や植栽樹種が土壌微生物相にどのような影響をもたらし、結果として土壌が有する気候変動緩和機能がどのように変化するかといった一連のプロセスの解明を行う。

課題「3-2. 社会経済への影響評価」では、上述の3つの異なる林業形態を念頭に、生態系機能の回復がもたらす住民への効果及び影響を評価する。具体的には、植林する樹種の違いや地域特性に応じて複数の家計調査対象地域を選定し、予測される生態系サービスのリスト化を行う。合わせて、植林対象地及び周辺部で、基礎的情報（出身、教育水準、家計、代替収入源の確保など）の収集を行うことで、植林従事者及び周辺地域の社会経済状況を、アンケート調査を通じて把握する。アンケート調査以外にも、対象地域における既存データベース（IFLS、SUSENAS等）や衛星画像分析による生態系サービスの評価もおこなう。また、植林対象地における環境改善便益に対する住民の選好を、環境評価手法を通じて定量的に分析することで、熱帯林再生・新規造林事業に対する住民の潜在意識を探る。これらの研究により、生態系機能の回復による潜在的な受益者を同定し、植林実施に向けたインセンティブの付与の在り方を提示する。研究を通じて、気候変動適応型植林のための促進及び障壁となる要因を明確化していくことにつなげる。

II. 今後のプロジェクトの進め方、および成果達成の見通し（公開）

【令和3年度実施報告書】【220531】

本プロジェクトでは、森林の減少・荒廃に伴うレジリエンスの低下から、特に気候変動に対して高い脆弱性を示すことが懸念される熱帯地域において、日本とインドネシア両国の林業企業の参画のもと、残存する熱帯林の遺伝資源を活用した気候変動に対して強靱な植林用種苗の開発・普及を行い（研究課題 1）、気候変動下の環境に適応した植林指針の提示により（研究課題 2）、持続的な熱帯森林資源・機能利用を可能とする「熱帯林業における気候変動適応策」を提示することを目的とする。

また、選抜した気候変動適応型林業種苗を用いた森林の造成・再生事業の環境・社会・経済インパクトの評価を行い（研究課題 3）、従来の REDD+等の認証制度に加え、森林認証制度や ESG 投資における認証基準化を図ることで、気候変動適応型を用いた森林の造成・再生に対する国際的・地域的インセンティブの形成を促す。これらの成果により、気候変動下においても持続可能な消費と生産を確保する自立的な森林経営を確立し、地域産業の改善・創出や地域経済の活性化を図るとともに、劣化した森林の回復と新規植林地の拡大を促すことで気候変動緩和に代表される生態系サービスの発揮を目指す。

暫定期間にあたる 2021 年度は、コロナ禍の影響に伴う渡航制限やインドネシア国内の移動制限等によって、実際に現地を訪問して調査等を行うことはできなかったものの、日本側、インドネシア側両国の課題代表者および課題担当者の参加のもと、上述のプロジェクト目標の達成や課題の実施に向けた十分な回数のリモート会議を行い、PDM および PO の詳細な内容を決定することができた。また、本プロジェクトを通じて開発を目指す技術の社会実装や、当該国への技術移転を見据え、日本とインドネシア両国の林業企業の参画のもと複数回の会議を行い、本プロジェクトの実施を通じて得られる知財の権利や使用に関わる議論を行うとともに、インドネシア環境林業省の関係者らとも気候変動適応型種苗を用いた植林の認証基準化に係る議論を開始することができた。

このように、暫定期間にあたる 2021 年度は、コロナ禍の影響等により現地を訪問できないなどの問題点があったものの、リモートによる会議等を通じて、課題担当者、現地林業関係者、認証基準に関わる行政職員らと十分な議論を行うことができ、課題の実施や目標の達成に向けた十分な準備ができたと言える。すでにインドネシアへの渡航制限やインドネシア国内における州間移動制限など、コロナ禍に伴う各種制限も解除に向かいつつあり、2022 年度は現地での調査も可能となると考えられる。以上を踏まえ、現時点における成果達成の見通しは高いと言える。

Ⅲ. 国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓など（公開）

(1) プロジェクト全体

暫定期間である令和 3 年度はコロナ禍の影響で出張ができない中、国内参画機関やカウンターパート機関、インドネシア国内の関連機関に対して、オンラインを活用し、プロジェクトの円滑な実施に向けたコミュニケーションを図るとともに、インドネシア側代表機関であるガジャマダ大学職員や学生が調査予定地の実査などを行い、情報収集に努めた。オンライン通話などのコミュニケーション技術の活用によって、概ね、調査予定地の情報など、暫定期間に収集すべき情報は得られているが、日本側と現地での調査予定地や調査対象を観察しながら討議すべき事柄については、遠隔地でのモバイル通信の圏外や速度低下の問題によって、十分な情報が得られない事象が生じた。さらに、インドネシア側に必要な情報や技術を供与できないという問題も生じた。しかしながら、今後、派遣が再開されることによって、これらの問題は解消できると考えている。

本プロジェクトは社会実装も見据えて、日本側では民間企業を参画機関に迎えるとともに、インドネシア側では正式な参画機関とはしていないものの、複数の企業にプロジェクトへの協力を依頼している。特に、企業と連携する場合、特に知財の取り扱いについて十分な配慮を行う必要があるが、インドネシア側と日本側では知財に関する国内法が異なるなど、問題点が見られた。そこで、万が一、日本側、インドネシア側で係争が生じた場合に、当該の 2 カ国とは独立する形で係争の処理ができるよう、第 3 国（シンガポール）で係争処理が行える体制を整えるなど、解決策を講じた（CRA に明記することで係争処理を制度化した）。

(2) 研究題目 1：「気候変動強靱性と生産性を両立させた熱帯林木開発と普及」

（リーダー：谷尚樹・国際農林水産業研究センター、サブリーダー：角田真一・住友林業株式会社）

研究課題 1 の実施にあたっては、トレーニング集団に用いる理想的な林分の探索、優良個体種苗生産に必要な施設の整備計画策定など、相手国研究機関と共同で、現地調査や設計を行う必要のある業務が必要であったが、暫定期間である 2021 年度はコロナ禍による出張中止などの影響で現地における活動が行えなかった。しかしながら、カウンターパートとのリモート会議やカウンターパートの負担による現地探索および結果の共有などによって、2022 年度からの研究開始に必要な情報を得ることができた。これらの情報をもとに 2022 年度の研究計画を立案し、プロジェクトを実施する体制を整えることができた。

(3) 研究題目 2：「気候変動適応型植林の導入指針の決定」

（リーダー：津村義彦・筑波大学、サブリーダー：八木橋勉・森林研究・整備機構）

研究課題 2 の実施においては、研究対象樹種の天然分布やインドネシア側参画機関による既存の研究材料及び植栽場所に係る情報、対象樹種生育地の気象や土壌などの環境データのインドネシアでの利用可能性などについて、現地調査を行った方が良い案件があったが、コロナ禍の影響に伴う渡航制限やインドネシア国内の移動制限等によって、現地を訪問して調査等を行うことはできなかった。しかしながら、オンラインでのインドネシアのカウンターパートとの打ち合わせで、先述した材料やデータの情報の概要が得られた。これらの情報をもとに 2022 年度の研究計画を立案し、プロジェクトを実施する体

【令和 3 年度実施報告書】【220531】

制を整えることができた。

(4) 研究題目 3 : 「気候変動適応型植林の社会実装へ向けたインセンティブ形成」

(リーダー：近藤俊明・国際農林水産業研究センター、サブリーダー：小松 悟・長崎大学)

研究課題 3 の実施にあたっては、調査地の選定、土壌サンプルの採集、温室効果ガス観測および地域住民を対象とした聞き取り調査など、現地調査を必要とする課題が多くあるものの、暫定期間にあたる 2021 年度は、コロナ禍の影響に伴う渡航制限やインドネシア国内の移動制限等によって、現地を訪問して調査等を行うことはできなかった。しかしながら、リモートでのカウンターパートとの会議や、国内で保管していたサンプルや国内で入手可能なデータを利用した解析等を通じて 2022 年度からの共同研究の開始に向けた十分な準備を行うことができた。

IV. 社会実装（研究成果の社会還元）（公開）

(1) 成果展開事例

暫定期間であるため該当事例なし。

(2) 社会実装に向けた取り組み

本年度は暫定期間であるため、特に社会実装を行う上で重要な森林セクターの企業や行政との関係構築に努めた。そこで、インドネシア国内で社会実装のステークホルダーとなる行政、企業に対してヒヤリングなどを通じた情報収集を行った。特に、インドネシア国内で林業を行う企業に対しては、本プロジェクトに対する関心や期待について調査をおこなった上で、企業が持つ種苗生産のファシリティーや森林遺伝資源の調査を企業側と共同で行った。さらに、企業側に対して、本プロジェクトの狙いや意義、社会実装面で目指す目標について説明を行った。

また、インドネシアにおいて林業や森林管理を所掌する環境林業省 (Ministry of Environment and Forestry) はインドネシアにおける林業の主要 3 形態の全てを監督しており、研究成果を実装していく上で、最も重要なステークホルダーと言える。そこで、環境林業省生産林ビジネス部長に対して、本プロジェクトの目指す目標や意義、実際に行う活動の説明を行なった上で、本プロジェクトへの環境林業省からのアドバイスを得た。環境林業省としても気候変動に対する植林への適応策の導入は重視しており、今後とも本プロジェクトからの成果の共有、環境林業省側からの林業ビジネス上のディマンドの共有など、連携を密に対応していくこととした。

人材育成を通じた社会実装では、インドネシア側研究参画機関に対して、日本側から派遣する専門家の需要調査および、インドネシア側で必要な研究能力の向上調査を行った上で、日本側に派遣する研究者や学生の需要調査を行った。この結果、2021 年度は文部科学省国費外国人留学生 (SATREPS 枠) への応募も行っている。

V. 日本のプレゼンスの向上（公開）

本年度は暫定期間であったため、多くの取り組みは行っていないものの、インドネシアの林業において最も重要なステークホルダーとなる環境林業省に対して本プロジェクトの概要を伝えるとともに、環境林業省から本プロジェクトへの期待や課題のヒヤリングを行った。インドネシア政府によって規定された気候変動のための国家適応計画に基づいて、環境林業省においても森林セクターにおいて気候変動のための国家適応計画を実施する必要がある、本プロジェクトや本プロジェクトが目指すゴール（社会実装を含む）について強い関心が示された。環境林業省以外では、現地の森林セクターに属する企業に対して、本プロジェクトの概要や目指すべき社会実装の説明を行った。また、企業側からの森林経営を行う上での問題点や本課題へのヒヤリングを行った。企業側からは、社会実装において、現業を営むことに配慮することを求める要望が多かった。このようにインドネシアの重要な森林セクターのステークホルダーとの対話の過程において、本プロジェクトが認知され、我が国のプレゼンスの向上に寄与したと考えている。

この他、インドネシア側代表機関であるガジャマダ大学は所掌官庁であるインドネシア教育文化科学技術省や森林セクターのステークホルダーに対して本プロジェクトの説明を行っており、インドネシア国内の関連機関に本プロジェクトが認知された。

以上

VI. 成果発表等

(1) 論文発表等【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 原著論文(相手国側研究チームとの共著)

年度	著者名, 論文名, 掲載誌名, 出版年, 巻数, 号数, はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)

論文数 0 件
 うち国内誌 0 件
 うち国際誌 0 件
 公開すべきでない論文 0 件

② 原著論文(上記①以外)

年度	著者名, 論文名, 掲載誌名, 出版年, 巻数, 号数, はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
2021	Gafur, Nurfitri A., Masayuki Sakakibara, Satoru Komatsu, Sakae Sano, and Koichiro Sera. "Environmental Survey of the Distribution and Metal Contents of Pteris vittata in Arsenic-Lead-Mercury-Contaminated Gold Mining Areas along the Bone River in Gorontalo Province, Indonesia". International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022, vol. 19, no.1, :530	https://doi.org/10.3390/ijerph19010530	国際誌	発表済	JCR - Q1 (Public, Environmental & Occupational Health) CiteScore - Q1 (Public Health, Environmental and Occupational Health)
2021	Komatsu, Satoru, Yayu I.D. Pongoliu, Masayuki Sakakibara, and Taro Ohdoko. "Examining Preference Heterogeneity in Best-Worst Scaling: Case of Preferences for Job Opportunities in Artisanal Small-Scale Gold Mining (ASGM) Communities in Indonesia". International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022, vol. 19, no. 1, 306.	https://doi.org/10.3390/ijerph19010306	国際誌	発表済	JCR - Q1 (Public, Environmental & Occupational Health) CiteScore - Q1 (Public Health, Environmental and Occupational Health)

論文数 2 件
 うち国内誌 0 件
 うち国際誌 2 件
 公開すべきでない論文 0 件

③ その他の著作物(相手国側研究チームとの共著)(総説、書籍など)

年度	著者名, タイトル, 掲載誌名, 巻数, 号数, 頁, 年	出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項

著作物数 0 件
 公開すべきでない著作物 0 件

④ その他の著作物(上記③以外)(総説、書籍など)

年度	著者名, 論文名, 掲載誌名, 出版年, 巻数, 号数, はじめ～おわりのページ	出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
2021	Yamamoto, Y. Living Under Ecosystem Degradation: Evidence from the Mangrove-Fishery Linkage in Indonesia. Social Science Research Network(SSRN), 2022, 4044317.	ディスカッションペーパー(プレプリント)	発表済	

著作物数 1 件
 公開すべきでない著作物 0 件

⑤ 研修コースや開発されたマニュアル等

年度	研修コース概要(コース目的、対象、参加資格等)、研修実施数と修了者数	開発したテキスト・マニュアル類	特記事項

VI. 成果発表等

(2) 学会発表【研究開始～現在の全期間】(公開)

①学会発表(相手国側研究チームと連名)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
R3	国内学会	阿久津(筑波大), Na'iem(ガジヤマダ大), Widiyatno(ガジヤマダ大), Indrioko(ガジヤマダ大), Sawitri(ガジヤマダ大), 内山(森林総研), 津村(筑波大), 谷(国際農研), Shorea macrophyllaの成長に関する深層学習を用いたゲノム予測モデルの開発、第133回日本森林学会大会、山形、2022/03/27-03/29	ポスター発表

招待講演 0件
口頭発表 0件
ポスター発表 1件

②学会発表(上記①以外)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
2021	国際学会	Y. Yamamoto, Living under Ecosystem Degradation: Evidence from the Mangrove-Fishery Linkage in Indonesia, 26th Annual Conference of the European Association of Environmental and Resource Economists、オンライン発表、2021年6月23日	口頭発表

招待講演 0件
口頭発表 1件
ポスター発表 0件

VI. 成果発表等

(3) 特許出願【研究開始～現在の全期間】(公開)

①国内出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する外国出願※
No.1													
No.2													
No.3													

国内特許出願数 0 件
 公開すべきでない特許出願数 0 件

②外国出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する国内出願※
No.1													
No.2													
No.3													

外国特許出願数 0 件
 公開すべきでない特許出願数 0 件

VI. 成果発表等

(4) 受賞等【研究開始～現在の全期間】(公開)

①受賞

年度	受賞日	賞の名称	業績名等 (「〇〇の開発」など)	受賞者	主催団体	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項

0件

②マスコミ(新聞・TV等)報道

年度	掲載日	掲載媒体名	タイトル/見出し等	掲載面	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項

0件

VI. 成果発表等

(5) ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等の活動【研究開始～現在の全期間】(公開)

① ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等

年度	開催日	名称	場所 (開催国)	参加人数 (相手国からの招聘者数)	公開/ 非公開の別	概要

0 件

② 合同調整委員会(JCC)開催記録(開催日、議題、出席人数、協議概要等)

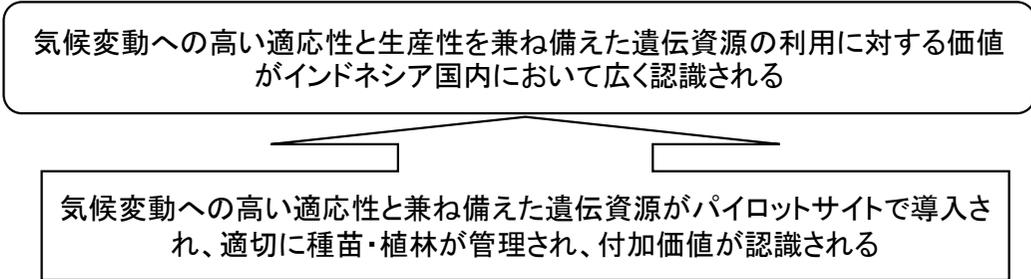
年度	開催日	議題	出席人数	概要

0 件

成果目標シート

研究課題名	気候変動適応へ向けた森林遺伝資源の利用と管理による熱帯林強靱性の創出
研究代表者名 (所属機関)	谷 尚樹 (国際農林水産業研究センター)
研究期間	R3採択(令和4年4月1日～令和9年3月31日)
相手国名／主要相手国研究機関	インドネシア共和国／ガジャマダ大学、国立研究革新庁
関連するSDGs	目標13. 目標15.

上位目標



プロジェクト目標

気候変動への高い適応性と生産性を兼ね備えた遺伝資源をインドネシア林業セクターの利害関係者に推奨する

成果の波及効果

日本政府、社会、産業への貢献	地球規模の気候変動枠組み(REDD+等)への活用 熱帯林保全・再生への貢献と持続的熱帯林資源利用 林業セクターによる事業への成果の活用
科学技術の発展	熱帯樹種への分子育種技術、遺伝資源管理の知見 温室効果ガス吸収源としての熱帯林機能の解明
知財の獲得、国際標準化の推進、遺伝資源へのアクセス等	気候変動に強靱で生産性の向上にも資する品種開発 多様な機能を有する熱帯林木遺伝資源へのアクセス 途上国における種苗管理手法の提案 温室効果ガス測定の国際標準化の推進
世界で活躍できる日本人人材の育成	気候変動および熱帯林保全分野において国際的に活躍できる日本人若手研究者の育成(国際会議における指導力、レビュー付雑誌への論文掲載など)
技術及び人的ネットワークの構築	日・印尼の産学官における気候変動適応と熱帯林の保全・再生の実現に向けた森林経営に関する技術ネットワークの構築
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	気候変動適応能や生産性向上に係る樹種・品種開発 気候変動を考慮した植林および種苗配布ガイドライン 植林インセンティブの形成要因に関するデータベース 以上をサポートする学術論文

