

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：インドネシア共和国

令和5（2023）年度実施報告書

国際共同研究期間^{*1}

2022年9月25日から2027年9月24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)

変更なし

2. 計画の実施状況と目標の達成状況 (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。

令和5年度においては、開発したゲノム選抜モデルの作成手法とフタバガキ林業樹種の成長形質への応用例が国際誌に出版された。挿木などの栄養繁殖による増殖が難しかったファルカタについて、組織培養による増殖の技術的な問題を克服した。また、チークについてインドネシア全土に拡大した気候変動下での分布適地図を作成するとともに、環境適応遺伝子の探索と地域適応の実態を明らかにした。さらに、ファルカタの産地間での生理特性や成長に大きな変異があることを見出し、産地試験林の造成を行った。さらに、クローン増殖したチーク育種苗の根系の発達特性により、クローン育種苗由来の植林地のメタン吸収能が一般的なチーク植林地より数倍高いことを見出した。これらの成果を含む熱帯林業樹種に対する気候変動への適応策の実施が不可欠であることを、国際農林水産業研究センターが主催(農林水産省、森林研究・整備機構後援)の国際シンポジウムにおいて、強調した。

人材育成および当該国におけるキャパシティー・ディベロップメントについては、インドネシアよりJICA長期研修員として筑波大学に招聘する(2024年4月入学)とともに、引き続き、国費留学生(SATREPS枠)の指導を行なった。また、筑波大学の日本人大学生1名(博士課程)が昨年度から引き続き、本プロジェクトに参画している。さらに、長崎大学の学部学生2名が本プロジェクトに参画した。研究活動を通じたOJTを行うことにより、気候変動下での持続的な林業に関する研究を行うことができる若手人材の育成を行っている。加えて、国際農林水産業研究センターで雇用する35歳以下の任期付研究員が本プロジェクトにおいて研究活動を行うとともに、プロジェクト運営等においても主導的な役割を担わせることで、国際共同プロジェクトを率いる将来のリーダー育成も行っている。また、当該国におけるキャパシティー・ディベロップメントを目的に、インドネシア人研究者3名を3機関に招聘し、短期研修を行なった。

各研究題目

(2-1)研究題目 1 : 「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 (研究題目リーダー : 谷 尚樹)」

日本側担当者 国際農林水産業研究センター (課題 1-1 リーダー : 谷 尚樹・主任研究員 (教授))

国際農林水産業研究センター (課題担当者 : 田中 憲蔵・主任研究員)

(課題担当者 : 小林 正樹・研究員)

(課題担当者 : 河合 清定・研究員)

筑波大学 (課題担当者 : Alnus Meinata・大学院生)

森林研究・整備機構 (課題担当者 : 安部 久・領域長)

(課題担当者 : 黒田 克史・室長)

(課題担当者 : 小嶋 美穂・主任研究員)

住友林業筑波研究所 (課題 1-2 リーダー : 角田 真一・グループマネージャー)

(課題担当者 : 松根 健二・マネージャー)

(課題担当者 : 山岸 祐介・主任研究員)

(課題担当者 : 中西 晃・研究員)

(課題担当者 : 大澤 裕樹・研究員)

インドネシア側担当者 ガジャマダ大学 (リーダー : Sapto Indrioko・講師)

(サブリーダー : Sawitri・講師)

(課題担当者 : Mohammad Na'iem・教授)

国立研究革新庁 (課題担当者 : Enny Sudarmonowati・教授)

(課題担当者 : Liliana Baskorowati・教授)

①研究題目 1 の当初計画 (全体計画) に対する実施状況 (カウンターパートへの技術移転状況含む)

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題目 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。

課題 1-1 : 本プロジェクトにおいてはインドネシアにおける 3 つの林業形態のそれぞれについて重要な林業樹種を取り扱うこととしている。研究期間の 2 年目にあたる 2023 年度は、3 つの林業形態の社会林業において重要な林業樹種の一つであるチーク (*Tectona grandis*) について、昨年度同意を得た PT. Perum Perhutani (PP 社) が管理する次代検定林 (約 800 個体) での DNA 解析用及び葉組織表現型解析用の葉のサンプリングを完了させた (図 1 左)。また、同社と協議を行い、同社が取得している次代検定林の成長量データの提供についても同意を得た。続いて、採取した葉組織サンプルを合意した MTA に基づき、国際農研に輸入し、DNA の抽出を完了した。さらに、本 DNA の品質評価 (QC) を行なったのち、合格した DNA を用いて ddRADseq シークエンスライブラリを構築し、イルミナ社の次世代シークエンサー (NovaSeq X Plus) を用いて塩基配列情報を取得した。現在、本シークエンスのドラフトゲノ

【令和 5 年 / 2023 年度実施報告書】【240531】

ムへのアライメント、確実性の高い一塩基多型（SNP）のフィルタリングを行なっている。また、レジリエンスに関わる表現型として、葉脈の形質に着目し、顕微鏡写真を用いた葉脈形質の測定を開始した。2024 年度にこれらのデータに合わせてすでに収集済みの成長データを用いて、成長やレジリエンスに関わる生理形質とのゲノムワイド連関解析（GWAS）やゲノム選抜モデルの構築を行う。以上については、国費 SATREPS 枠留学生を指導しながら、データ収集・解析を行うことで、DNA 解析技術、表現型解析技術やゲノム選抜モデル作成技術について技術移転を行なっている。

ファルカタ（*Falcataria falcata*）については、昨年度、BRIN が環境林業省と共同で 2021 年にスマトラ技術大学構内に設定した第 2 世代次代検定林（約 2000 個体）を活用することを申し合わせ、ゲノム解析用と生理機能に関連する形質測定のためのサンプルの採取を終了した（図 1 右）。さらに、DNA 抽出を実施し、約 7 割にあたる 1400 個体の DNA 抽出を完了した。さらに、レジリエンスに関わる形質として葉面積あたりの葉重（LMA）や気孔密度・サイズなどの葉形質の測定を行っている。ddRADseq 法を用いたゲノムワイドな SNP の収集を 2024 年度中に行い、GWAS やゲノム選抜モデルの構築を 2024 年度中に開始する。

インドネシアにおける 3 つの林業形態のうちの一つである産業造林における対象樹種であるアカシア（*Acacia crassicarpa*）について、トレーニング集団の設定のため、林業会社の人工林を活用することとし、西カリマンタン州にて産業造林用コンセッションを持ち、人工林を保有する PT. Mayangkara Tanaman Industri（MTI 社）と PT. Wana Subur Lestari（WSL 社）との協議を開始した。トレーニング集団の設定、DNA 解析及び表現型解析用のサンプル採取を 2024 年度に実施する予定である。

さらに、天然林コンセッションにおいては、PT. Sari Bumi Kusuma（SBK 社）と協力し、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る。本年度は、フタバガキ林業樹種の 3 樹種（*Shorea leprosula*, *S. platyclados*, *S. macrophylla*）より生理形質の測定に活用する木部コアサンプルの収集を行った。来年度、木部コアサンプルを用いて、材密度や道管形質の測定を開始し、すでに解析済みのゲノム情報を用いて、GWAS やゲノム選抜モデルの構築を実施する。

課題 1-2：「1-2. 優良個体種苗生産」については、不定胚を経由した増殖技術を検討するため、現地の協力機関である KTI 社が所有する採種園、あるいはジョグジャカルタ近郊の私有林のファルカタから未成熟種子の採取を実施した。採取した未成熟種子を滅菌後、様々な条件の培地に植え付けた結果、一部の種子において不定胚が誘導された。得られた不定胚は液体培地中で非常に活発に増殖することが明らかになった。優良個体からのクローン獲得においては、滅菌手法の確立が重要となる。前年までに種子の滅菌手法の向上に成功していたが、新たに母樹の芽を滅菌し培養することに成功した。現状では、植え付けた芽のうち、雑菌汚染によって多くが枯死するものの、これにより母樹のクローンを組織培養によって直接増殖開始できる可能性が見出された。さらに、ファルカタ苗木の接木を試みた結果、6 割以上の得苗率を示し、挿木では 1 つの幼苗から 3-4 個体程度の苗木を挿木増殖できる可能性を見出した。以上の不定胚誘導手法や滅菌手法の社会実装として、これら技術の一部を KTI 社の苗畑・ラボにおいて開発することによって、KTI 社スタッフをトレーニングし、これら技術を用いた苗木生産について同社を通じて社会実装を行う体制を整えている。

②研究題目 1 の当該年度の目標の達成状況と成果

当該年度の課題 1-1 の目標は昨年度達成したゲノム選抜モデル開発手法について論文投稿を行い、国際誌に受理された (Frontiers in Plant Science)。さらに、本成果を活用し、チーク及びファルカタについてゲノム選抜モデル開発及びレジリエンスに関わる表現型測定を開始した。チークについては次世代シーケンサーを用いたゲノム情報の大量収集を完了した。ファルカタについては、設定したトレーニング集団からサンプルの収集を完了し、DNA の単離を行なっている。課題 1-2 については、滅菌手法の改良によって、母樹組織の一部を材料とした組織培養に成功したことで、組織培養による優良個体の栄養繁殖を実施できる公算が大きくなった (図 2)。また、より高効率な苗の増殖手法の一段階として、未成熟種子からの不定胚誘導に成功した。



図 1. チーク次代検定林のトレーニング集団への活用(左)とファルカタ次代検定林のトレーニング集団への活用(右)



図 2. ファルカタ樹幹に形成された萌芽(左) 培地に植え付けられたファルカタの芽(中) 雑菌汚染なく生育したファルカタの芽(右)

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

ゲノム選抜モデルの開発には多数の個体（数百から数千）からなるトレーニング集団を設定し、トレーニング集団全個体のゲノム情報の取得、このゲノム情報から表現型値を推定するモデルの作成が必要となる。個体数が膨大であるために、全個体のリシーケンスは予算上の制約が生じるため、本研究題目では制限酵素サイトの周辺のための DNA を得て（縮約）シーケンスを行う ddRADseq 法を採用している。一方で、シーケンスコストを抑えながら、全ゲノムのリシーケンスを行う低カバレッジ全ゲノムリシーケンス法も開発されているが、正確性が低く、シーケンスに精度を求めるゲノム選抜モデルには今のところ不向きである。現在使用している ddRADseq 法のプロトコルはイルミナ社の次世代シーケンサーの一つである HiSeq X ten モデルに最適化されている。しかしながら、イルミナ社が 2023 年に HiSeq X ten モデルのサポートを停止したため、NovaSeq X Plus モデルを用いてシーケンスを行う必要に迫られている。現在使用しているプロトコルではフローセル買取を行いシーケンスを行う必要が生じ、コストが非常に高額となる。よって、次年度、イルミナ社 NovaSeq X Plus モデルや MGI 社 DNBSEQ-G400 モデルに最適化したプロトコルの作成を行う予定である。

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、優良な個体のクローンの大量増殖を可能とする細胞培養等の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。

課題「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。選抜した実生は、フタバガキやアカシアについてはコンセッションを持つ現地林業会社を通じて普及を図る。チークやファルカタについては現地林業会社に加えて、社会林業の担い手である土地を所有する農民への普及を図る。

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、個体再生までの段階の多さに起因しており、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、組織培養による栄養繁殖の効率化や、さらに不定胚誘導を経由した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、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ることで、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する。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。

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。天然林コンセッション型林業から主に産出されるフタバガキでは協力企業のコンセッション内に UGM が ITTO で設置したフタバガキ林業樹種次代検定林を、社会林業における主要樹種であるチークとファルカタについては、協力企業である PP 社が設定したチーク次代検定林及び、BRIN と環境林業省が造成した第 2 世代次代検定林をそれぞれトレーニング集団として使用する。さらに、産業造林の主要樹種の一つであるアカシアでは、本種の大規模プランテーションを有する WSL 社と MTI 社に協議し、植林地をトレーニング集団として活用するよう協議を開始した。これら設定したトレーニング集団より DNA 抽出用や生理形質の測定用のサンプルを収集し、遺伝子型から表現型を推定するゲノム選抜モデルを構築する。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る、ここでは制限酵素切断サイトの周辺を縮約し、ゲノム全体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。さらに、トレーニング集団から無作為交配による次世代(種子由来の実生)を育成し、これらのゲノム情報を取得することで、作成したゲノム選抜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。

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、個体再生までの段階の多さに起因しており、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、組織培養による栄養繁殖の効率化や、さらに不定胚誘導を経由した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、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ることで、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する。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。

(2-2)研究題目 2：「気候変動適応型植林の導入指針の決定（研究題目リーダー：津村 義彦）」

日本側担当者 森林総合研究所（課題 2-1 リーダー：八木橋 勉・領域長）

（課題担当者：津山 幾太郎・主任研究員）

（課題担当者：江原 誠・主任研究員）

筑波大学（課題 2-2 リーダー：津村 義彦・教授）

（課題担当者：小沼 祐之介・大学院生）

国際農林水産業研究センター（課題担当者：谷 尚樹・主任研究員（教授））

インドネシア側担当者 ガジャマダ大学（リーダー：Eny Faridah・講師）

（サブリーダー：Eko Prasetyo・講師）

（課題担当者：Widiyatno・講師）

国立研究革新庁（課題担当者：Liliana Baskoro・教授）

①研究題目 2 の当初計画（全体計画）に対する実施状況（カウンターパートへの技術移転状況含む）

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、ファルカタとチークの成長データや生態に関する情報収集を進めるとともに、種分布モデル（植栽適地推定モデル）の改良を行った。特にチークに関しては、これまではジャワ島に限定したモデルであったが、土壌タイプの分類データの見直しなどを経て、インドネシア全域での予測が可能となった。カウンターパートへの技術移転については、ガジャマダ大学の担当者を日本に招聘し、植栽適地推定モデルのコーディング等に関するレクチャーを行うとともに、完成したコードの提供を行った。

課題「2-2. 地域環境適応」では、チークの天然林由来の産地試験サンプルを用いてチーク天然林の環境適応的遺伝子の探索と将来の植林適地の推定を目的に実施した。その結果、ジャワ島の将来の植林に適したチーク天然林産地を推定することができた。また、ファルカタの生理特性と成長が産地間で大きく異なることを見出し、産地試験林の造成を開始した。生理形質の測定手法や遺伝的多様性解析法については現地でのトレーニングおよびインドネシア側担当者を日本に招聘し、解析手法のトレーニングを実施した。

②研究題目 2 の当該年度の目標の達成状況と成果

課題「2-1. 気候変動下植林適地」では、対象樹種の 1 つであるファルカタについての生態やインドネシアにおける植栽状況等に関する情報を収集することで、植栽適地推定モデルの改良を進めることができた。チークについては、昨年度までに作成した植栽適地推定モデルを改良し、インドネシア全域における植栽適地（地位指数）の予測を行うことができた（図 3）。加えて、次年度に実施予定の現地調査について、調査方法や対象エリアも含めた検討をカウンターパートとともに進めることができた。

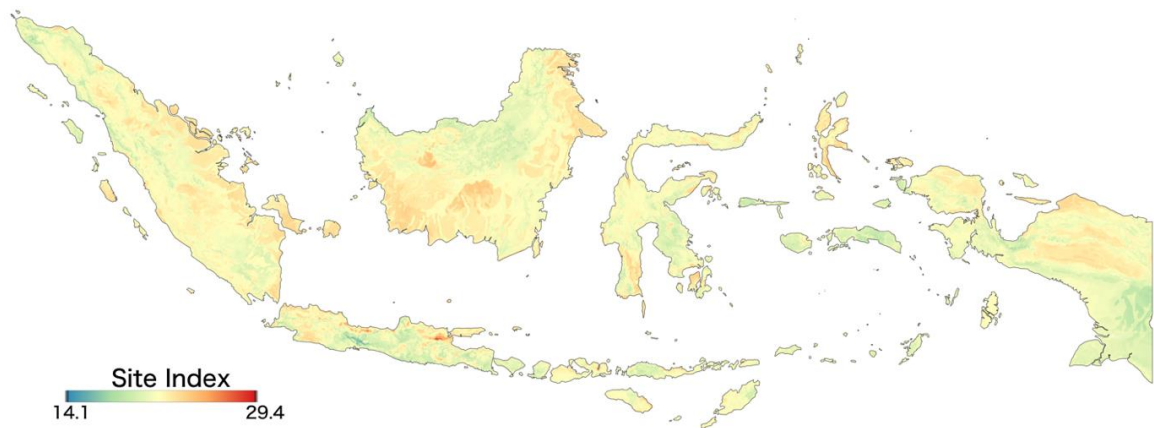


図 3. インドネシア全域におけるチークの植栽適地(地位指数)の予測結果

課題「2-2. 地域環境適応」では、チーク天然林 8 集団 (244 個体) の 8948SNPs を用いて各集団の遺伝的多様性について把握した上で (図 4 左)、LFMM2 による気候データに関連する環境適応的 SNP 探索を行った。また現在のデータと将来データによる Gradient forest との差分 Genetic offset を Euclidian distance により算出した。その結果、環境適応の候補 SNP として 548 SNPs が検出された。また Gradient Forest 解析ではインドの Malabar と Central Prov の集団が降水量や温度の環境勾配に沿って対立遺伝子頻度の変化が見られた (図 4 右)。現在と将来の気候条件ではこれらの 2 集団の対立遺伝子頻度の変化は小さいので、将来の気候変化に対して環境適応性及び回復力がある可能性が示された。Malabar と Central Prov はジャワ島と気候条件が似ているために将来のジャワ島の植林材料としてこれらの地域の材料が適していることを示していた。またファルカタの研究材料収集については、天然林由来の 18 集団とジャワ島の人工林 15 集団から研究材料の収集を行った。また、ファルカタについて、成長速度の産地間変異が大きいため (図 5 左)、その要因について生理生態学的手法を用いて解析を行った。その結果、個体に占める葉の重量割合が大きく、光合成速度が高いほど、樹高の相対成長速度が高い傾向があることが明らかとなった (図 5 右)。

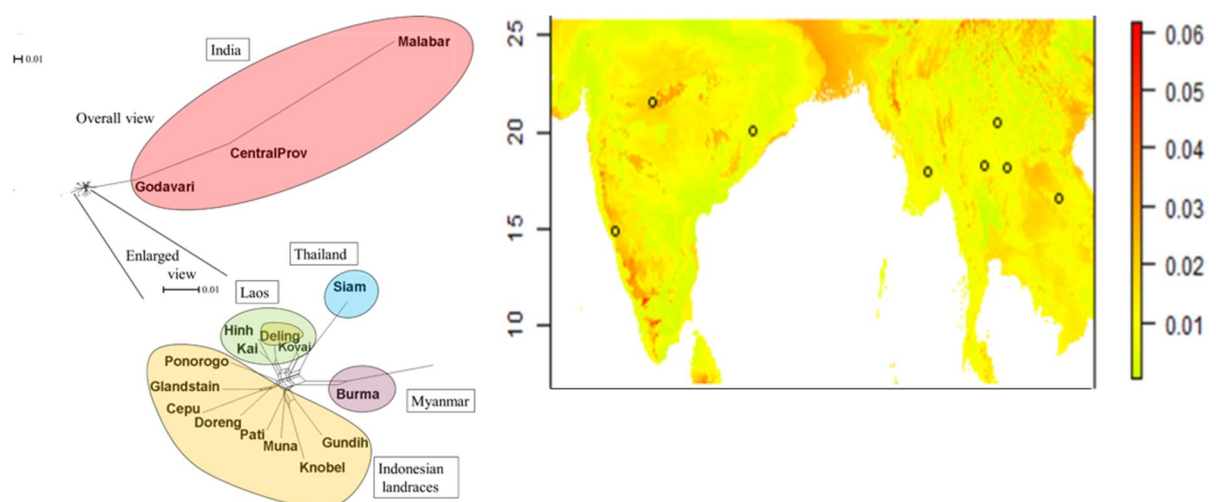


図 4. ゲノムを広くカバーする SNPs によって明らかになったチーク天然集団とインドネシア導入集団の遺伝的関係(左)と LFMM 解析によって示された気候と関係する SNPs と全 SNPs の気候との連関度の

【令和 5 年／2023 度実施報告書】【240531】

差(右)。赤くなるほど差が大きく、気候との連関の有意性が大きいことを示す。

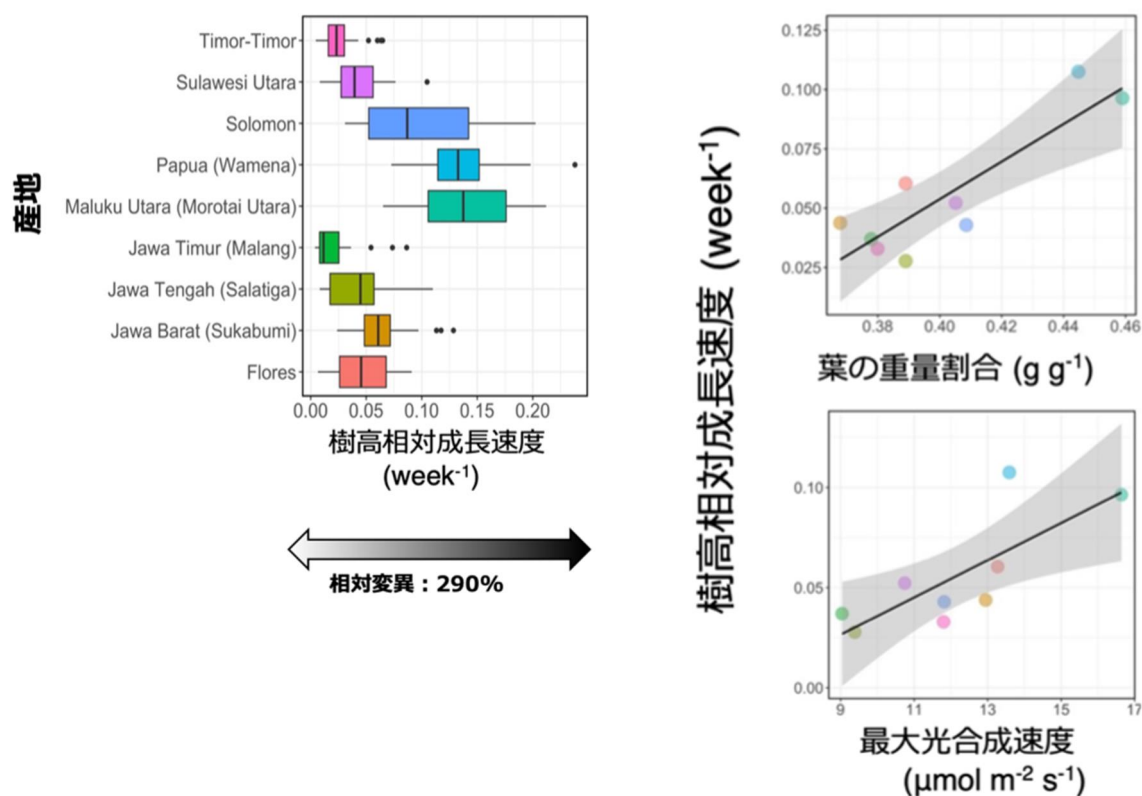


図 5. ファルカタの産地別樹高相対成長速度(左)と産地間における樹高相対成長速度と形態・生理特性との関係(右)

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
なし

④研究題目 2 の研究のねらい (参考)

研究課題 2 では、地球規模での危急的な課題となっている気候変動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、将来の対象樹種の植栽適地を明らかにする。また、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や地域環境適応を明らかにして、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適地に植栽し、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。

そこで、チークやファルカタをはじめとする対象樹種について、現在の気候下での植栽適地と、気候変動に伴う植栽適地の変化をマップの形で作成した上で、課題 2-2 で作成する地域環境適応的遺伝子や遺伝的多様性情報に基づいた遺伝的なガイドラインと統合し、インドネシアの環境林業省に提供して、将来の植林のガイドラインとして活用されるように提言を行う。

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、チークについて、種分布モデルにおける説明変数を見直すことでモデルの改良を行った。具体的には、これまでのモデルで用いていた気候要因と地質要因について、それぞれより精度の高いデータに入れ替えてモデル構築を行った（気候：WorldClim1.4 からWorldClim2.0へ、地質：SoilGrids 2.0からHarmonized World Soils Database version 2.0へ）。改良したモデルを用いて、これまでのジャワ島も含むインドネシア全域におけるチークの植栽適地（地位指数）を予測し、マップ化した。ファルカタについては、昨年度構築したエンベロープモデルの精度をさらに高めるため、地質に関する条件をモデルに組み込む改良を進めた。

課題「2-2. 地域環境適応」では、昨年と同様にジャワ島に設定されたチークの国際産地試験林のサンプルを研究材料として使用した。使用した研究材料は、チークの天然分布域や過去の導入された分布域を広く覆うようにインド、ミャンマー、タイ、ラオス、インドネシアから集められている。これらの集団のDNAを使用して、特定の制限酵素でDNAを切断し、切断された部位にアダプターを結合し、その周辺だけの塩基配列を解読する縮約法（RAD-seq法）を採用した。環境適応的遺伝子の探索のためにLFMM2解析を行った。気象データはBioclimの相関の比較的小さい以下の5つの変数を使用した。Bioclim8（湿潤期の平均気温）、Bioclim9（乾燥期の平均気温）、Bioclim10（温暖期の平均気温）、Bioclim16（湿潤期の降水量）、Bioclim17（乾燥期の降水量）。Gradient Forestによる遺伝子頻度勾配変化の解析については環境適応的SNPを使用し現在の気候データで解析を行った。これら手法によって地域間の遺伝的適応を明らかにし、気候変動を考慮した種苗の適切な管理手法を開発する。また、ファルカタの産地別の成長および生理特性の解析では、9産地から採取した種子を播種し、ポットで4ヶ月生育した。得られた実生について樹高をメジャーで測定するとともに、Li-Cor社のLI-6800を用いて光合成速度を計測した。また、これらの個体から葉を採取し、絶乾させ、単位面積あたりの重量を測定した。

(2-3)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（研究題目リーダー：近藤 俊明）」

日本側担当者 国際農林水産業研究センター（課題3-1 リーダー：近藤 俊明・主任研究員）

国立環境研究所（課題担当者：梁 乃申・シニア研究員）

長崎大学（課題3-2 リーダー：小松 悟・准教授）

関西大学（課題担当者：山本 裕基・准教授）

インドネシア側担当者 ガジャマダ大学（リーダー：Budiadi・教授）

（サブリーダー：Singgih Utomo・講師）

（課題担当者：Jangkung Handoyo Mulyo・准教授）

国立研究革新庁（課題担当者：Aditya Hani・研究員）

（課題担当者：Tri Sulistya W.・研究員）

① 研究題目3の当初計画（全体計画）に対する実施状況（カウンターパートへの技術移転状況含む）

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で開発を目指す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。

このうち、課題「3-1. 生態系機能への影響評価」では、熱帯林再生・新規造林事業が生物多様性や生態系機能にもたらす影響について、大きな変化や向上が期待される土壌微生物叢および温室効果ガス吸収能を中心に評価を行う。具体的には、(1) 天然林コンセSSION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、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やそれを規定する土壌微生物叢を可搬型チャンバーシステムやメタゲノム解析を用いて調査することで、熱帯林再生・新規造林事業がもたらす効果を評価する。

プロジェクト2年度目にあたる2023年度は、社会林業および産業造林に使用されるチークを対象に、精英樹種子由来の実生植林地と精英樹挿木由来のクローン植林地において、土壌を介したCO₂放出速度およびCH₄吸収速度を比較することで、より成長速度が速く、材質の高い精英樹クローンの植栽が生態系機能の回復にもたらす効果を評価した。

調査はPruhutani社が所有する東ジャワ州Ngawi地区内のチーク植林地のうち、林齢18年の精英樹実生植林地と精英樹クローン植林地が隣り合って存在するコンパートメント64で実施し（図6）、各植林地内において、それぞれ22地点で土壌を介したCO₂放出速度およびCH₄吸収速度を測定した（図7a, b）。また、比較として同地区内の樹齢20年の精英樹実生植林地、樹齢18年の精英樹クローン植林地およびキャッサバ・トウモロコシが栽培される耕作地においても同様の観測を行った。

その結果、土壌を介したCH₄吸収速度は、耕作地に比べ精英樹実生植林地で約1.6～1.7倍、精英樹実

【令和5年／2023度実施報告書】【240531】

生植林地に比べ精英樹クローン植林地で約 1.5～2.3 倍ほど高いことが明らかとなった（図 7、表 1）。一般に土壌を介した CH_4 吸収速度は、大気 - 土壌間のガス交換量と CH_4 分解に寄与する好気性メタン酸化細菌量に関係する土壌空隙率の影響を強く受ける。そのため、チークの実生・クローン植林地における高い CH_4 吸収速度は、キャッサバやトウモロコシ等の農作物に比べ、より発達したチークの根圏に由来する土壌空隙率の増加に起因するものと考えられた。さらに、精英樹クローン植林地では精英樹実生植林地に比べ約 1.4～3.4 倍の CH_4 吸収速度が確認されたが、これは精英樹クローンの高い成長に起因した根圏の発達に加え、挿木由来のクローン個体における特徴的な根圏の発達に起因するものと考えられた。一般にチークの根圏は表層性であるものの、クローン個体では種子繁殖個体と異なり垂直根や斜出根は形成されず、より水平方向に広がった根圏が形成される（図 8）。そのため、精英樹クローン植林地では大気 - 土壌間のガス交換や好気性メタン酸化細菌の生息に係る土壌表層において空隙率の高い好気的な土壌が形成され、結果的に高い土壌 CH_4 吸収能を示したと考えられる。

以上から、より成長速度が速く、均質かつ高い材質を持つ精英樹クローンの植栽は、単に高い木材生産効率や経済性を有するだけでなく、樹木個体による CO_2 固定や土壌を介した CH_4 吸収を通じて気候変動緩和にも貢献することが明らかとなった。



図 6. 調査対象地である隣接する精英樹実生植林地(a,b)と精英樹クローン植林地(b,c).

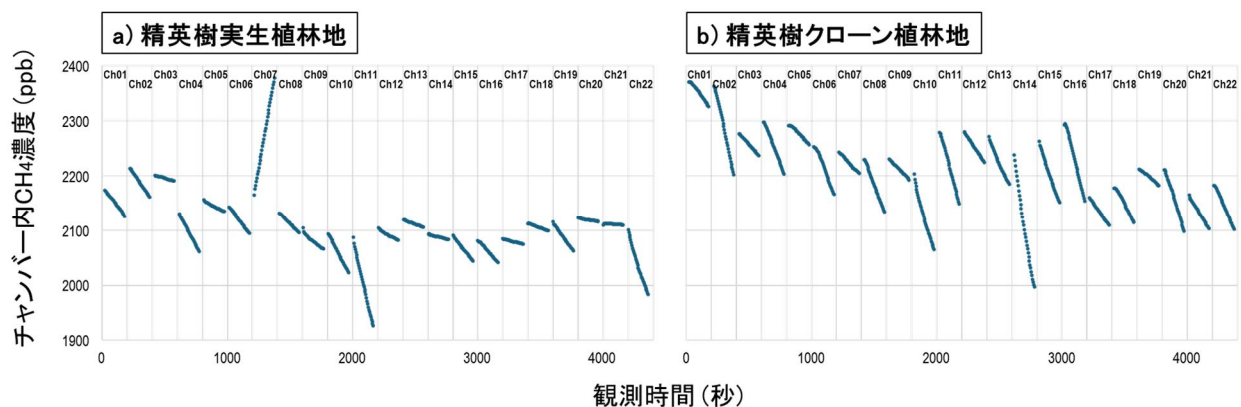


図 7. 精英樹実生植林地(a)と精英樹クローン植林地(b)内の各 22 地点におけるチャンバー内 CH_4 濃度変化。

表 1. 精英樹実生植林地、精英樹クローン植林地および耕作地における土壌炭素フラックス(各サイト 22 地点のうち最大値と最小値を除去した 20 地点の平均)

調査対象地	CO ₂ フラックス ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$)	CH ₄ フラックス ($\text{nmol CH}_4/\text{m}^2/\text{s}$)
精英樹クローン植林地 (コンパートメント64:1回目)	39.41 $\pm$ 16.88	- 6.29 $\pm$ 2.97
精英樹クローン植林地 (コンパートメント64:2回目)	39.32 $\pm$ 19.55	- 5.13 $\pm$ 2.91
精英樹クローン植林地 (コンパートメント64:3回目)	28.02 $\pm$ 12.29	- 4.15 $\pm$ 2.17
精英樹クローン植林地 (コンパートメント61)	22.14 $\pm$ 10.19	- 3.75 $\pm$ 2.08
精英樹実生植林地 (コンパートメント64:1回目)	32.53 $\pm$ 20.01	- 2.76 $\pm$ 2.00
精英樹実生植林地 (コンパートメント64:2回目)	34.00 $\pm$ 19.03	- 2.84 $\pm$ 1.83
精英樹実生植林地 (コンパートメント64:3回目)	29.36 $\pm$ 15.95	- 2.75 $\pm$ 1.67
精英樹実生植林地 (コンパートメント62)	31.18 $\pm$ 14.26	- 2.93 $\pm$ 1.56
耕作地 (トウモロコシ・キャッサバ混植)	10.96 $\pm$ 6.53	- 1.66 $\pm$ 1.36



図 8. 精英樹クローンの根圏。

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、全国規模の家計調査データと衛星画像データをもとに、マングローブ林と教育効果との関連性に着目した分析を実施した。分析の結果、マングローブ林消失によって高校卒業する確率が低下し、数学試験の結果も低くなった。さらに高校時代にマングローブが失われたことで、女子は 18 歳になる前に結婚する可能性が高くなり、就学が早期結婚に取って代わられていることを示唆した。また、スラウェシ島で入手したデータをもとに、住民の潜在需要を推定する際の属性間の交互作用の存在可能性を議論するとともに、スケール異質性を統制したより精密な推定手法を提示した。さらなる推計手法改善のために、一般化多項ロジットモデルに内在する制約を解決するための、ロジットモデルの提示も行った。そして 8 月～9 月にカウンターパートとの打ち合わせを実施し、ジョグジャカルタ近郊の林業家計を対象とした家計調査の方向性を議論した。これらの研究より、生態系機能の改善により住民に対する効果を、衛星画像データを基にマクロ的に推計する手法と、家計調査を通じて住民選好を基として推計する手法の 2 点を、本研究調査対象地域に適用するよう整備することができた。

また、上述の研究活動に加え、カウンターパートへの技術移転および当該国における人材育成に関しては、(1) 恒常的なデータ取得を目的とした土壌炭素フラックス測定および土壌微生物叢評価のための

【令和 5 年／2023 度実施報告書】【240531】

トレーニングコースの開催、および(2) 長崎大学大学院博士後期課程での長期外国人研究員の受け入れ準備を行った。具体的には、ジョグジャカルタ特別州ワナガマ地区に位置するガジャマダ大学ワナガマ教育・研究林において、当該国のプロジェクト参画者 2 名およびガジャマダ大学とジョグジャカルタ州立大学の大学院生 4 名を対象に、ポータブルチャンバーシステムを用いた土壌炭素フラックス（土壌有機物の分解に伴う CO_2 放出および土壌を介した CH_4 吸収・分解）の観測および土壌微生物叢とその機能評価のための遺伝解析に係るトレーニングコースを実施した（図 9）。また、課題「3-2. 社会経済への影響評価」における長期外国人研究員の受け入れに向け、インドネシア側リーダーの Budiadi 教授、サブリーダーの Singgih 講師および本年度から本 SATREPS 課題メンバーとなった Jangkung Handoyo Mulyo 准教授と候補者の選定等に係る協議や入試等の受け入れに係るスケジュールの確認を行った。

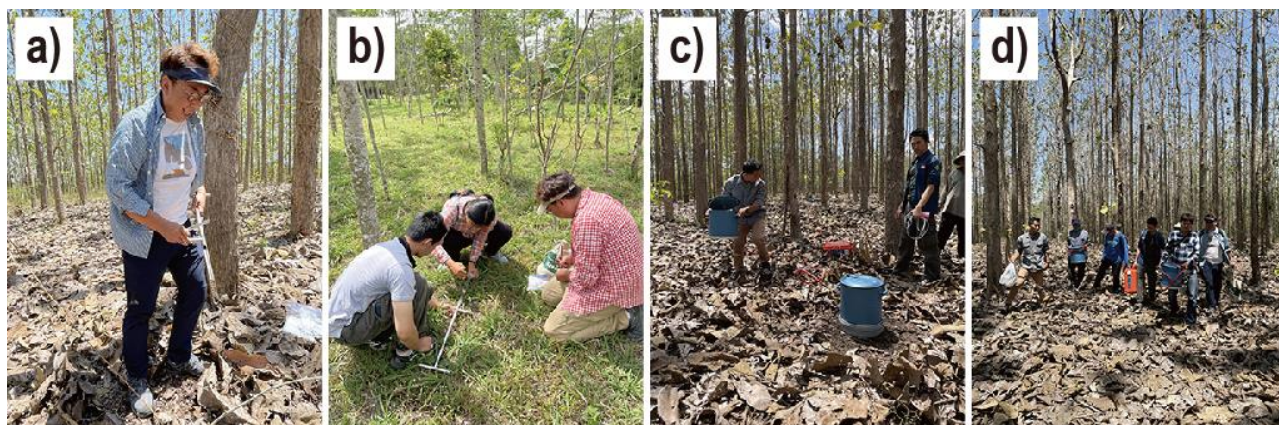


図 9. トレーニングコースの様子. (a) (b) 土壌微生物叢評価のための土壌採取、(c) (d)ポータブルチャンバーシステムを用いた土壌フラックス観測.

② 研究題目 3 の当該年度の目標の達成状況と成果

初年度にあたる 2022 年度は、コロナ禍の影響によりインドネシア国への渡航が困難であったこと、また、国際協力機構との契約開始が 9 月末となったこと等の理由から、当該国における調査および技術移転等に係る活動は実質半年間に制限されたものの、2023 年度は調査対象地の選定、観測サイトの設置、観測の開始、データ取得等に加え、恒常的なデータ取得のための現地トレーニングコースを開催し、当該国研究者および学生自身でデータの取得が可能な体制を構築するなど、当該年度の目標は予定通り達成できたと言える。

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

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。

【令和 5 年／2023 度実施報告書】【240531】

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」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やそれを規定する土壌微生物叢を可搬型チャンバーシステムやメタゲノム解析を用いて調査することで、熱帯林再生・新規造林事業がもたらす効果を評価する。

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。

また、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の全国レベルのデータベース（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、およびプロジェクト／上位目標達成の見通し（公開）

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」を提示し、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。

今後のプロジェクトの進め方として、プロジェクト 3 年目となる 2024 年度は、2023 年度に引き続き、研究活動を活性化させるとともに、社会実装の具体化に向けた活動を開始する。研究課題 1 においては、対象樹種において進度の違いはあるものの、ゲノム選抜モデルが完成している樹種もあり、レジリエンスに関わる形質の測定も進んでいる。プロジェクトの終了年を睨み、樹種によっては次世代の育成に取り掛かる。さらに、栄養繁殖が困難であったファルカタについて、組織培養系の基盤技術を確立した。2024 年度からは、社会実装を見据え、優良木を選定し、優良木を用いた増殖を開始するとともに、優良木のレジリエンス評価を行う。研究課題 2 についてはチークの気候変動下の適地予測や、環境適応に関係する遺伝的変異の検出などの成果が出ている。2024 年度からはファルカタをはじめ他の対象樹種についてのデータを蓄積するとともに、社会実装を目指し、チークの成果を用いたガイドラインの作成に取り掛かる。研究課題 3 については、挿木によって造成された優良クローン林のメタン吸収能が高いことを見出し、植林対象地及び周辺部で、植林従事者の社会経済的背景の把握するためのベースライン調査の設計を行なった。次年度はクローン林でメタン吸収能が高まるメカニズム解明を行うとともに、地域住民の育種苗の導入を促進できる要素の把握に務める。

上位目標に向けての貢献や成果の社会的なインパクトとしては、産業造林を行う現地の協力企業との共同研究や社会実装について協議を開始した。また、インドネシア代表機関主催（日本側代表機関共催）の国際セミナーをインドネシア環境林業省とともに開催し、所管官庁への情報提供を行うとともに、成果の実装に対し協力関係を整えている。また、気候変動へ適応する遺伝資源の原資となる森林遺伝資源を集積した産地試験林の造成を対象樹種のうちチークとファルカタで行なった。今年度はステークホルダーである現地林業会社や社会林業の担い手である地域コミュニティと連携し、本産地試験林や課題 2 から得られた地域適応変異などの成果を提供しながら、レジリエンスを高める植林への関心を高めていく。さらに、本プロジェクトで得られる育種手法や生態系サービス向上に関する情報を組み込んで、より優良な遺伝資源にアクセスし付加価値を高めた林業技術の構築を目指している。

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）

JICA インドネシア事務所よりインドネシア国務省事務局（Kementerian Sekretariat Negara）より A1 及び A4 フォームの取り付けを行なっていただき、JICA 発行のプロジェクト実施の手引きにあるように、本邦調達による供与機材について輸入関税の免税措置が行われると認識していたが、本邦調達した供与機材の輸入時に、国務事務局だけではなく、それぞれの機材を担当する省庁からも免税に関する許可証を得る必要があることが明らかとなった。さらに、この許可証を得るのは相当な期間が必要で、プロジェクト期間を考慮すると現実的でないことも明らかとなった。この問題に対応するため、インドネシア国内において予算内で購入できる機種への切り替えを行なっている。さらに、JICA インドネシア事務所と協議し、インドネシアの輸入関税に関わる法律を精査していただき、**PMK 200/PMK.04/2019、Facility for Research and Educational Purpose** を用いてインドネシア側の協力機関が受け入れ主体となることで免税措置が受けられる可能性があることが明らかとなった。現在、代表機関であるガジャマダ大学が本法律を用いて免税措置が受けられるかどうか確認を行なっている。

2022 年度前半は新型コロナによる渡航制限が続いていたことにより、JICA 技術プロジェクトの開始が 2022 年 9 月 25 日にずれ込み、さらに、JICA による調整員の配置が 2023 年 8 月まで遅れた。これにより、JST のスケジュールと調整員配置までには 1 年 5 ヶ月もの乖離が生じている。現地で実施する実験や解析の一部を国内で実施するなど、対応策を講じたものの、本スケジュールでの全ての研究項目の終了は困難な状況にある。実施項目や構想に変更はないが、渡航制限による JICA 技術プロジェクト開始の遅れや、JICA による調整員配置の遅れを勘案したスケジュールの柔軟な対応を期待している。

Ⅳ. 社会実装に向けた取り組み（研究成果の社会還元）（公開）

- ・ インドネシア側代表機関（ガジャマダ大学）が主催し、日本側代表機関（国際農研）を含むインドネシア林業関連機関（環境林業省および民間企業 7 社共催）のチークのクローン林業に関する国際セミナー（Improving the clonal teak plantation for sustainable management of monsoon forests）を開催した（2023 年 10 月 2 日から 3 日間、ジョグジャカルタ市および東ジャワ州）。
- ・ 国際農林水産業研究センターが主催（農林水産省、森林研究・整備機構後援）する国際シンポジウム（JIRCAS 国際シンポジウム 2023 強靱な熱帯林と持続的な産業の共存を実現するイノベーションに向けて）を開催し、本 SATREPS プロを含む成果や本分野の研究、社会実装の重要性を内外にアピールした。
- ・ 環境林業省社会林業・環境連携総局と本プロジェクト内容や成果の実装について対話を開始した。
- ・ 民間企業 2 社と遺伝資源管理や育種苗の実装について情報交換を行なった。
- ・ 民間企業 2 社と遺伝資源の保存や評価に関する共同研究を開始した。
- ・ 民間企業 1 社と遺伝資源管理や育種苗の実装について協議を開始した。
- ・ 開発したゲノム選抜モデルに関する解析パイプラインを構成する Python および R スクリプトをデータレポジトリ（zenodo）で公開した（<https://doi.org/10.5281/zenodo.8051012>）。

Ⅴ. 日本のプレゼンスの向上（公開）

インドネシア側代表機関（ガジャマダ大学）が主催し、日本側代表機関（国際農研）を含むインドネ

シア林業関連機関（環境林業省および民間企業 7 社共催）のチークのクローン林業に関する国際セミナー（Improving the clonal teak plantation for sustainable management of monsoon forests）を開催し、インドネシア国内はもとより、チークが分布するタイ、ラオス、フィリピンより参加者があり、本プロジェクトのインドネシア林業のレジリエンス向上への役割をアピールすることで、我が国のプレゼンスの向上に寄与した。さらに、国際農林水産業研究センターが主催（農林水産省、森林研究・整備機構後援）する国際シンポジウムが農業協同組合新聞に取り上げられ、我が国のプレゼンスの向上に寄与した。また、インドネシア環境林業省社会林業・環境総局長より本プロジェクトとの協働への期待が表明された。

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。)
2023	Haruto Akutsu, Mohammad Na'iem, Widiyatno, Sapto Indrioko, Sawitri, Susilo Purnomo, Kentaro Uchiyama, Yoshihiko Tsumura, Naoki Tani, Comparing modeling methods of genomic prediction for growth traits of a tropical timber species, Shorea macrophylla, Frontiers in Plant Science, 2023, 14, 1241908	10.3389/fpls.2023.1241908	国際誌	発表済	Plant Science分野でインパクトファクター27位/239
2023	Widiyatno, Aris Wibowo, Dian Novitasari, Gama Widya Seta, Daryono Prehaten, Fanny Hidayati, Widyanto Dwi Nugroho, Suryo Hardiwinoto, Mohammad Na'iem, Naoki Tani, Effect of Improved Planting Stock on Tree Growth, Wood Properties, and Soil Fertility of Teak Plantations 10 Years After Planting, Forest Science and Technology, 2023, 43983174	10.1080/21580103.2023.2277190	国際誌	発表済	
2023	Kiyosada Kawai, Tanaka Kenzo, Shunsuke Ito, Kensaku Kanna, Size-related changes in leaf, wood, and bark traits in even-aged Falcataria falcata trees, Tropics, 2023, 32, 1, 15-27	10.3759/tropics.MS22-06	国際誌	発表済	

論文数 3 件
うち国内誌 0 件
うち国際誌 3 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。)
2023	Taro Ohdoko, Satoru Komatsu, Integrating a Pareto-Distributed Scale into the Mixed Logit Model: A Mathematical Concept, Mathematics, 2023, 11(23), 4727.	10.3390/math11234727	国際誌	発表済	Mathematics分野でトップ10%に入る論文誌(JCR, 23/330)

論文数 1 件
うち国内誌 0 件
うち国際誌 1 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

著作物数 0 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
2023	国内学会	Alnus Meinata (Univ Tsukuba), Mohammad Na'iem (UGM), Widiyatno (UGM), Sapto Indrioko (UGM), Eny Faridah (UGM), Aris Wibowo (Perum Perhutani), Dian Novitasari (Perum Perhutani), Kiyosada Kawai (JIRCAS), Naoki Tani (JIRCAS), Genome Wide Association Study for growth traits using teak progeny trial at Ngawi, Indonesia. 日本森林学会, 府中, 2024年3月	ポスター発表
2023	国内学会	小沼佑之介(筑波大学), Eko Prasetyo (UGM), Widiyatno (UGM), Sapto Indrioko (UGM), Mohammad Na'iem (UGM), 谷尚樹(国際農研), 津村義彦(筑波大学), 熱帯アジア有用樹種・チークの遺伝構造と遺伝的環境関連性の解明. 日本森林学会, 府中, 2024年3月	口頭発表
2023	国内学会	小沼佑之介(筑波大学), Eko Prasetyo (UGM), Widiyatno (UGM), Sapto Indrioko (UGM), Mohammad Na'iem (UGM), 谷尚樹(国際農研), 津村義彦(筑波大学), インドネシア有用樹種・Tectona granisの遺伝構造及び環境適応的遺伝子の解明. 日本生態学会, 横浜, 2024年3月	ポスター発表

招待講演	0 件
口頭発表	1 件
ポスター発表	2 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

招待講演	0 件
口頭発表	0 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
2023	2024/2/6	InfoPublik	Peneliti JIRCAS Jepang Kunjungi Hutan Jati Perhutani Ngawi	https://infopublik.id/kategori/nusantara/823970/peneliti-jircas-jepang-kunjungi-hutan-jati-perhutani-ngawi/	1.当課題研究の成果である	
2023	2024/2/6	Newspatroli.com	Peneliti JIRCAS Jepang Kunjungi Hutan Jati Perhutani Ngawi	https://www.newspatroli.com/jawa-timur/peneliti-jircas-jepang-kunjungi-hutan-jati-perhutani-ngawi/	1.当課題研究の成果である	
2023	2023/11/10	農業協同組合新聞	強靱な熱帯林と持続的な産業の共存へ「JIRCAS国際シンポジウム2023」開催 国際農研	https://www.iacom.or.jp/ryutsu/news/2023/11/231110-70551.php	2.主要部分が当課題研究の成果である	

3 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
2023	10/2-10/4	Improving the clonal teak plantation for sustainable management of monsoon forest	ジョグジャカルタ (インドネシア)	84 (71)	公開	東南アジアの重要な森林遺伝資源であるチークについて、インドネシア他、東南アジアの主要な国からステークホルダーが集まり、チークの育種とクロールン林業について情報交換、発信を行なった。
2023	11/17	JIRCAS国際シンポジウム2023「強靱な熱帯林と持続的な産業の共存を実現するイノベーションに向けて」	東京	225 (不明)	公開	熱帯林のレジリエンスの発揮と産業の共存をテーマに国際シンポジウムを企画し、内外の著名な研究者を招き、情報発信を行った。

2 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
2023	10月6日	JICA技術プロにおける進捗状況の報告と計画変更について	42	各課題の進捗状況を報告し、計画変更点として3名の短期専門家の追加と1名の所属変更、それに伴う日本側実施機関の追加を承認した。

1 件

成果目標シート

公開資料

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3年6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

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の利用に対する価値がインドネシア国内において広く認識される

気候変動への高い適応性と兼ね備えた遺伝資源がパイロットサイトで導入され、適切に種苗・植林が管理され、付加価値が認識される

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

