公開資料

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靭性の創出」

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 6（2024）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.　強靭種苗開発・普及						
1-1 強靭種苗選抜	ゲノム選抜モデル開発の実現					
		強靭性形質特定の実現				
					強靭性種苗選抜と実装	
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)

プロジェクトの構想についての変更はないが、上記の研究スケジュールについて変更を行った。プロジェクト初期の新型コロナウィルスパンデミックによる出張停止（約 6 ヶ月）および、JICA 専門員の配置の遅れ（約 1 年 5 ヶ月）により、日本国内での実験サンプルの調達やインドネシアからのサンプルの輸入により、プロジェクトの遅れを最小限に留める努力を行ったが、現地での調査を実施する課題については遅れが認められる。そこで、課題 1-1 の強靭性形質の特定の実現、課題 2-1 の気候変動下における植林適地推定モデルの開発、課題 3-1 の生態系機能(GHG 吸収能等)に及ぼす影響のメカニズム解明、課題 3-2 の植林の導入により得られる経済・社会的利益の評価について、2026 年度中旬まで実施時期を延長した。また、中間評価を受けて、社会林業におけるアグロフォレストリーに関する研究を課題 3-2 の延長期間の中で実施する。

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、森林荒廃に伴う強靭性の低下から、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 6 年度においては、フタバガキ科林業樹種についてゲノム選抜モデルの開発を継続するとともに、フタバガキ以外の樹種であるチークやファルカタについてゲノム解析を開始した。フタバガキ科とチークを対象に、いくつかの表現型についてゲノム連関解析を実施し、成長に関わる表現型について、多数の遺伝子によって制御されるというポリジーン仮説を支持する結果を得た。また、強靭性に関わる機能性形質についての選定ならびにトレーニング集団での計測を開始し、フタバガキ科林業樹種やチークで測定を完了させ、これらの機能性形質の遺伝率が高いという知見を得た。挿し木など簡便な栄養繁殖が困難であったファルカタについて、未成熟種子からの組織培養だけではなく、優良木の枝の芽や幹に環状剥皮による萌芽枝を用いた組織培養技術を確立させた。優良木の形質が保持できるこの技術についてプロトタイプ試験を実施し、大量増殖による社会実装への道筋を完成させた。さらに、チークに引き続き、気候変動下でのファルカタの植林適地の変化を推定したほか、ファルカタの天然分布及びジャワ島植林地の遺伝的多様性や分化を明らかにし、気候への遺伝的な適応性を明らかにした。また、熱帯地域において、植林を実施した場合の生態系サービスの一つとして、植林地土壌の温室効果ガスの吸収能に着目し、年間を通じた観測を実施した。そ

の結果、チーク精英樹クローンの高い土壌 CH4 吸収能がチークの展葉期に限定したものであることが判明した。さらに、泥炭湿地林で実施されるアカシアを用いた産業造林について、冠水による土壌有機物（泥炭）の分解が抑制されているアカシア植林地では、土壌からの CO_2 の放出速度が熱帯林の約 3 分の 1 程度であること、排水に伴う 40cm 程度までの地下水位の低下であれば、土壌水分量が保たれ、泥炭の乾燥に伴う CO_2 排出量の増加が抑制できる可能性があることを明らかにした。気候変動に適応した植林を推進するための社会科学的解析では、林業従事者を対象に、将来的な政策実施に向けた妥当な介入策を検討するための政策に対する選好評価、更に新技術の導入や収入源多様化に関連する要因としてのリスク選好の評価を実施した。その結果、林業従事世帯は収穫物販売価格の安定性を最も重視しており、次いで、耕作地面積の拡大、アグロフォレストリーに対する技術を重視していた。当該調査地では畑の周りにチークなどを植林する世帯が多く見られることから、より効果的なアグロフォレストリーの実施方法を導入することが森林再生を促すうえでも重要であると考えられる。

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・ガジャマダ大学の教員および JICA 長期研修員として筑波大学に招聘し（2024 年 4 月入学）、フタバガキの強靭性に関わる機能的な形質である材形質の解析に従事させた。また国費留学生(SATREPS 枠)は、チークの表現型解析やゲノム選抜モデルの開発に従事し、対象とする次代検定林のチーク表現型の変異に関する論文をまとめ、科学雑誌への投稿を行った。さらに、課題 3 に関わる研究テーマを実施するため、同国費留学生（SATREPS 枠）の準備を行った。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した 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い、この経験を通じて国際共同プロジェクトを率いる将来のリーダー候補としての経験を積んでいる。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。

(2) 各研究題目

(2-1) 研究題目 1 :「研究題目 1 : 気候変動強靭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）
筑波大学（課題担当者 : Marya Tiara Hapsari・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：岡本　昇太・研究員）
（課題担当者：大澤　裕樹・主任研究員）
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靭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「強靭種苗選抜」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（天然林コンセッション型林業、社会林業、産業造林）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 3 年目にあたる 2024 年度は、3 つの林業形態のうち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、昨年度実施した ddRADseq シークエンスライブラリから得た塩基配列情報の解析を行った。その結果、8326SNP マーカーを得て、これらのマーカー間の連鎖不平衡を計算した。連鎖不平衡の指標値である r^2 値が 0.1 であるラインを局所回帰曲線が交差する点は 31,809bp となり、形質を支配する遺伝子を、SNP マーカーを用いて効率的に探索できることが示唆された（図 1-1-1）。成長に関する形質としては、胸高直径、樹高、下枝高、林冠面積を計測した。これらに関して、GWAS を行った結果、フタバガキ同様、強く連関を示す SNP マーカーは検出されず、ポリジーン支配が示唆された（図 1-1-2）。

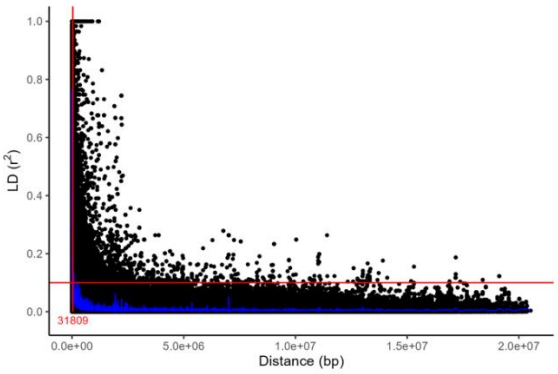


図 1-1-1. *T. grandis* の SNP マーカー間のゲノム上の距離と連鎖不平衡の関係

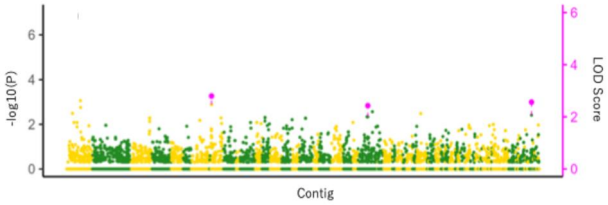


図 1-1-2. *T. grandis* の胸高直径に関する各 SNP マーカーの連関を表すマンハッタンプロット

ファルカタ（*Falcataria falcata*）については、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）において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行い、DNA 抽出を完了した。その後、ddRADseq を用いて次世代シークエンス用のライブラリの構築を終了し、データ解析を開始した。

さらに、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た。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. Wana Subur Lestari（WSL 社）との協議を行い、WSL 社コンセッション内の 2 年生の人工林にトレーニング集団を設定し、さらに、サンプリングを実施し、DNA 抽出を実施中である（図 1-1-1-3 及び図 1-1-4）。

図 1-1-3. 民間企業コンセッションの人工林に設置したアカシア（*Acacia crassicarpa*）のトレーニング集団

図 1-1-4. 2 年生トレーニング集団で確認したアカシア（*Acacia crassicarpa*）の開花

また、レジリエンスに関わる表現型として、フタバガキ科林業樹種については木部組織の形質測定に着手した。ゲノム予測モデルの作成を行うためにはトレーニング集団において多数の個体の表現型を評価する必要があるため、多個体についての形質評価を如何に簡便に行なえるかが実施の鍵となる。木部形質としては木部密度が比較的簡便に計測可能であるため、木部密度と木部組織形質との関係に着目している。さらに木部密度をより簡便に計測するためピロディン（ピン貫入試験機）などの非破壊機器の使用を検討した（図 1-1-5～1-1-7）。

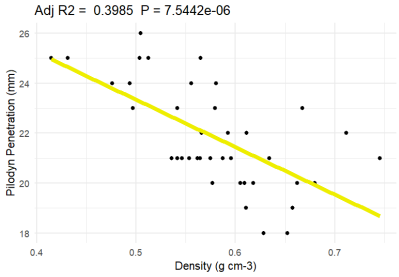


図 1-1-5. *R. platyclados* における木部密度とピロディン貫入量の関係

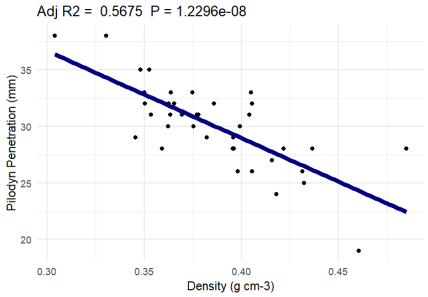


図 1-1-6. *R. macrophylla* における木部密度とピロディン貫入量の関係

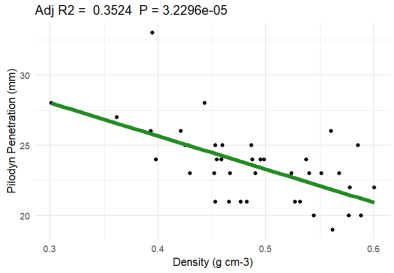


図 1-1-7. *R. leprosula* における木部密度とピロディン貫入量の関係

全ての種においてピロディン貫入量と木部密度との間には負の相関があり、特に *R. macrophylla* で高い相関が見られた。ピロディン貫入量は木部密度を表す指標値になりうるが、樹種間で差があるため、指標値としての使用にあたっては樹種ごとに検討が必要である。

さらに、木部組織構造と木部密度の間の関係を調べた。材の顕微鏡写真より、道管直径、道管密度、細胞壁の厚さを計測した。これらの形質について木部密度との関係を調べた結果、道管直径では *R. platyclados* で有意な相関が見られたが、他 2 種では相関は見られなかった（図 1-1-8～1-1-10）。

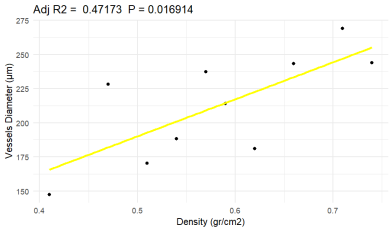


図 1-1-8. *R. platyclados* における木部密度と道管直径の関係

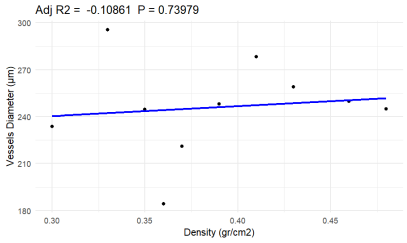


図 1-1-9. *R. macrophylla* における木部密度と道管直径の関係

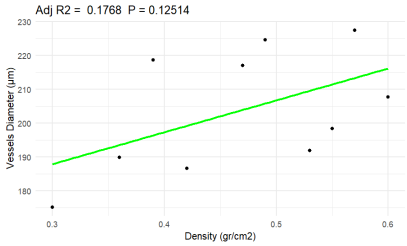


図 1-1-10. *R. leprosula* における木部密度と道管直径の関係

一方で、細胞壁の厚さでは、3 種全てで高い相関が得られた（図 1-1-11～1-1-13）。よって、木部組織構造のどういった機能的形質が強靭性に関連するかを慎重に評価した上で、その形質が木部密度とどの程度関係しているかを評価し、計測する木部組織の機能的形質を選択する必要がある。

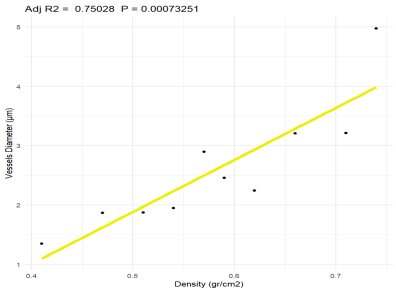


図 1-1-11. *R. platyclados* における木部密度と道管直径の関係

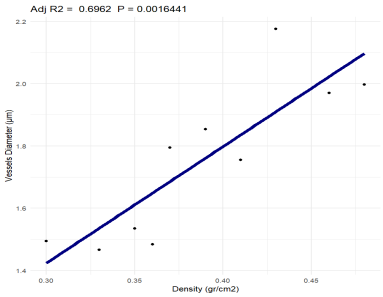


図 1-1-12. *R. macrophylla* における木部密度と道管直径の関係

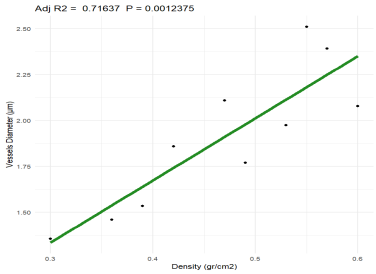


図 1-1-13. *R. leprosula* における木部密度と道管直径の関係

さらに、*T. grandis* では葉の機能的形質の測定が終了した（表 1-1-1）。これらの中で、葉緑素量と葉密度に関して、比較的連関度の高い SNP マーカーを検出した（図 1-1-17 及び図 1-1-18）。葉緑素量と葉密度に関しては遺伝率が高く、選抜効率が高い可能性が示唆された。

表 1-1-1. *Tectona grandis* における表現型計測項目と計測値の統計量

形質	単位	平均	標準偏差	最小値	最大値	CV
胸高直径	cm	31.66	5.92	10.18	50	0.18
樹高	m	20.56	3.48	5.74	35.5	0.16
主幹高	m	8.77	2.45	1.50	17.17	0.27
林冠面積	m^2	76.76	28.15	3.36	183.34	0.36
林冠体積	m^3	301.15	160.72	2.68	1051.93	0.53
葉緑素量	-	43.67	4.91	26.59	63.66	0.11
葉密度	gr/cm^3	0.21	0.03	0.12	0.33	0.16
葉面積比重	gr/cm^2	$0.83x\ 10^{-2}$	$0.13x10^{-2}$	$0.35x10^{-2}$	0.12	0.15
葉脈密度	mm/mm^2	16.53	1.75	7.25	22.93	0.10
葉脈厚	µm	58.94	11.07	33.4	96	0.18

以上の結果は、国際農研及び森林総研の参画研究者の指導のもと、国費 SATREPS 枠留学生および JICA 長期研修員が主体的にデータ収集・解析を行うことで得られたものである。令和 7 年度からは新たに 1 名 JICA 長期研修員が加わることから、引き続き、OJT を用いた技術移転を行なっていく。

課題 1-2 :「1-2. 優良個体種苗生産」については、合板用樹種であるファルカタを対象に、組織培養による増殖技術を検討するため、現地の協力機関である PT. Kutai Timber Indonesia 社（KTI 社）が所有する東ジャワ・プロボリンゴ採種園、および中部ジャワ・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、植え付け後 3 か月の時点で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に移すことで、2 週間で 3 倍程度（=2 ヶ月で 81 倍程度）の増殖に成功した。増殖した不定胚からの発芽条件の検討を進めたところ、一部の条件で発芽が観察され、植物体の再生に成功した。現在、発芽条件の更なる検討を進めている。現時点では、培地上での不定胚の形成は未成熟種子を材料とした場合にのみ観察されており、再生される植物は母樹の種子（子）のクローンであるため、優良個体を増殖・普及させるためには、課題 1-1 のゲノム選抜の成果を活用する技術的ハードルがある。そのため、母樹そのもののクローンを獲得する方法として、母樹の芽を滅菌し培地上で増殖させる手法の開発に取り組んだ。幹の環状剥皮により誘導した萌芽を材料とすることで、滅菌と芽の培養が実施できた。また、枝についた芽の滅菌についても非常に低率ではあるが成功した。こちらは幹に環状剥皮による傷をつけずに材料を獲得できるという利点がある。これらの母樹組織の培養の成功により、組織培養による優良個体の栄養繁殖・苗生産の事業化・社会実装の可能性を高める事が出来た。培地上の芽は、2 ヶ月で 3-5 倍に増殖させることが出来、発根にも成功した。さらに、培養容器内で増殖した苗を外部環境へ移すための馴化とよばれる工程について、数十本単位の苗を用いたプロトタイプ試験を実施し、大型のカバー付き園芸用育苗箱を用いることで問題なく行えることを確認した。

以上の培養手法を社会実装させるために、これら技術の一部を KTI 社の苗畑・ラボにおいて、KTI 社スタッフをトレーニングしながら開発を進める事で、同社がこれら技術を用いた苗木生産を直ちに社会実装出来る体制を整えている。また、UGM においては組織培養に必要なクリーンベンチ・オートクレーブといった大型の機器の搬入が完了し、UGM がもつファルカタ苗を材料とした組織培養実験を開始している。

②研究題目 1 の当該年度の目標の達成状況と成果

課題 1-1：当該年度の目標はゲノム解析を着実に進めるとともに、強靭性に関わる機能性形質につい

て簡便に測定可能な機能性形質の特定とゲノム選抜モデルを開発するトレーニング集団において、機能性形質の測定を進めることである。フタバガキ科造林樹種については機能性形質として木部組織形質に着目し、トレーニング集団での形質測定を進めた。チークについては、葉形質に着目し、同様にトレーニング集団での測定を進めた。ファルカタについては現在、葉形質を測定中であり、アカシアについては次年度以降に進める予定である。

課題 1-2：「1-2. 優良個体種苗生産」については、組織培養を介した増殖技術を検討するため、前年度までに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の未成熟種子から採取された未成熟種子より誘導された不定胚の増殖、発芽条件の検討を実施した。得られた不定胚は液体培地に移すことで、2 週間で 3 倍程度（=2 ヶ月で 81 倍程度）の増殖に成功した。増殖した不定胚からの発芽条件の検討を進めたところ、一部の条件で発芽が観察され、植物体の再生に成功した。不定胚の増殖・発芽の効率を高めるため、各条件の更なる検討を進めている。

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。昨年度までに幹に傷をつけ芽を誘導する手法（環状剥皮）によって得られた萌芽を滅菌して母樹のクローンを獲得することに成功していたが、本年度においては、幹に傷をつけずに母樹のクローンを獲得する手法として枝の芽の直接滅菌に取り組んだ。滅菌条件の改良によって萌芽を材料とした場合と比較して低率ではあるが、枝の芽であっても滅菌が実施できることが明らかになった。

上記の滅菌手法を用いてジャワ島内の人工林から選抜したファルカタから、枝の芽を採取して組織培養により増殖する取り組みを開始した。

また、UGM においては組織培養に必要なクリーンベンチ・オートクレーブといった大型の機器の搬入が完了し、UGM がもつファルカタ種子や苗、近隣の森かを材料とした組織培養実験を開始した（図 1-2-1）。

図 1-2-1. 左）新たに設置されたクリーンベンチでの組織培養作業　中）滅菌した種子の培養の様子　右）滅菌した芽から成長した植物

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

特になし

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靭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靭性を高めることを目指す。

課題「1-1. 強靭種苗選抜」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靭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、組織培養による大量増殖技術を構築する。さら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についても検討した上で、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。気候変動に強靭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、生産苗木の形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ち、更に産業用樹種として価値のある優良種のクローン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. 強靭種苗選抜」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靭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科林業樹種では協力企業のコンセッション内に UGM が ITTO プロジェクトで設置した次代検定林を、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、協力企業の植林地をトレーニング集団として活用する。これら設定したトレーニング集団より DNA 抽出用や機能性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。ゲノム全体を網羅的に解読するために、制限酵素による切断領域のみを解読する RAD-Seq 法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、気候変動下での強靭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。

「1-2. 優良個体種苗生産」では、合板用樹種であり、特に挿し木など簡便な栄養繁殖が困難なファルカタを対象に、現地の協力機関である KTI 社が所有する東ジャワ・プロボリンゴに採種園やジャワ島内の人工林から未成熟種子および芽を採取し、組織培養による増殖を試みる。また、課題 1-1 においてファルカタ次代検定林由来の優良種子がゲノム情報から選抜された際には、それら種子由来の実生も組織培養によって増殖を試みる。採取した材料を滅菌後、様々な糖・無機塩・植物ホルモンの組み合わせで構成された培地に植え付けることで、培地上で芽が増殖する条件や、芽よりも高効率の増殖が期待できる不定胚と呼ばれる組織が誘導される条件を明らかにする。増殖した芽および不定胚は、それぞれ発根および発芽の後、培養容器内で増殖した苗を外部環境へ移すための馴化とよばれる工程を経て野外での育苗へ移行する。これらのプロセスを達成したうえで、実際にクローン苗木の生産を行い、生産される苗木の形質および生産コストを検証する。

(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・教授）
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、ファルカタについて、2024 年 8〜9 月に実施した現地調査で得られた知見に基づき、気候環境のみから構築されたこれまでの植林適地推定モデルに土壌型の条件を加えることにより、予測の高精度化を進めることができた。具体的には、これまでの気候に基づく予測では好適とされていたが、実際には土壌型が不適なことにより、好適地から外れる地域（例:中部ジャワ北部、西ジャワ中部など）を特定することができた（図 2-1-1）。

チークについては、昨年度構築した改良型の植林適地予測モデルを将来気候シナリオに当てはめることにより、インドネシア全域における将来のチーク植林適地を 3 つの SSP シナリオ（共有社会経済シナリオ）について予測・マップ化した（図 2-1-2）。SSP は、将来の社会経済の発展の傾向を仮定したシナリオであり、それぞれ異なる放射強制力（放射の変化が気候に与える影響の大きさ）のレベルに対応している。本研究で用いた SSP1-2.6 は、持続可能な発展の下で気温上昇を 2℃未満に抑える低排出シナリオを、SSP2-4.5 は中道的な発展の下で気候政策を導入する中庸シナリオを、SSP5-8.5 は化石燃料依存型の発展の下で気候政策を導入しない最大排出量シナリオを示す。予測結果から、昇温の度合いが高くなるほどチークの植林地として好適になる地域（例: ジャワ島の平野部、パプア南部、ティモール島、スラウェシ島南東部など）がある一方、カリマンタン北部やスマトラ島南部のように SSP によってややばらつきはあるものの現在より好適度が低くなる地域があることが明らかになった。

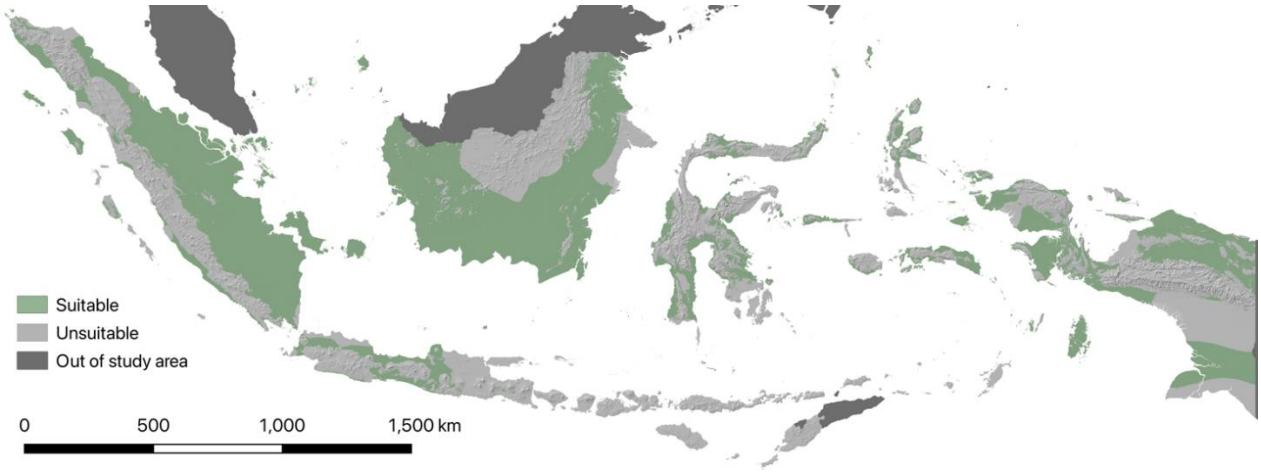


図 2-1-1 気候および土壌型条件から予測したファルカタの植林適地

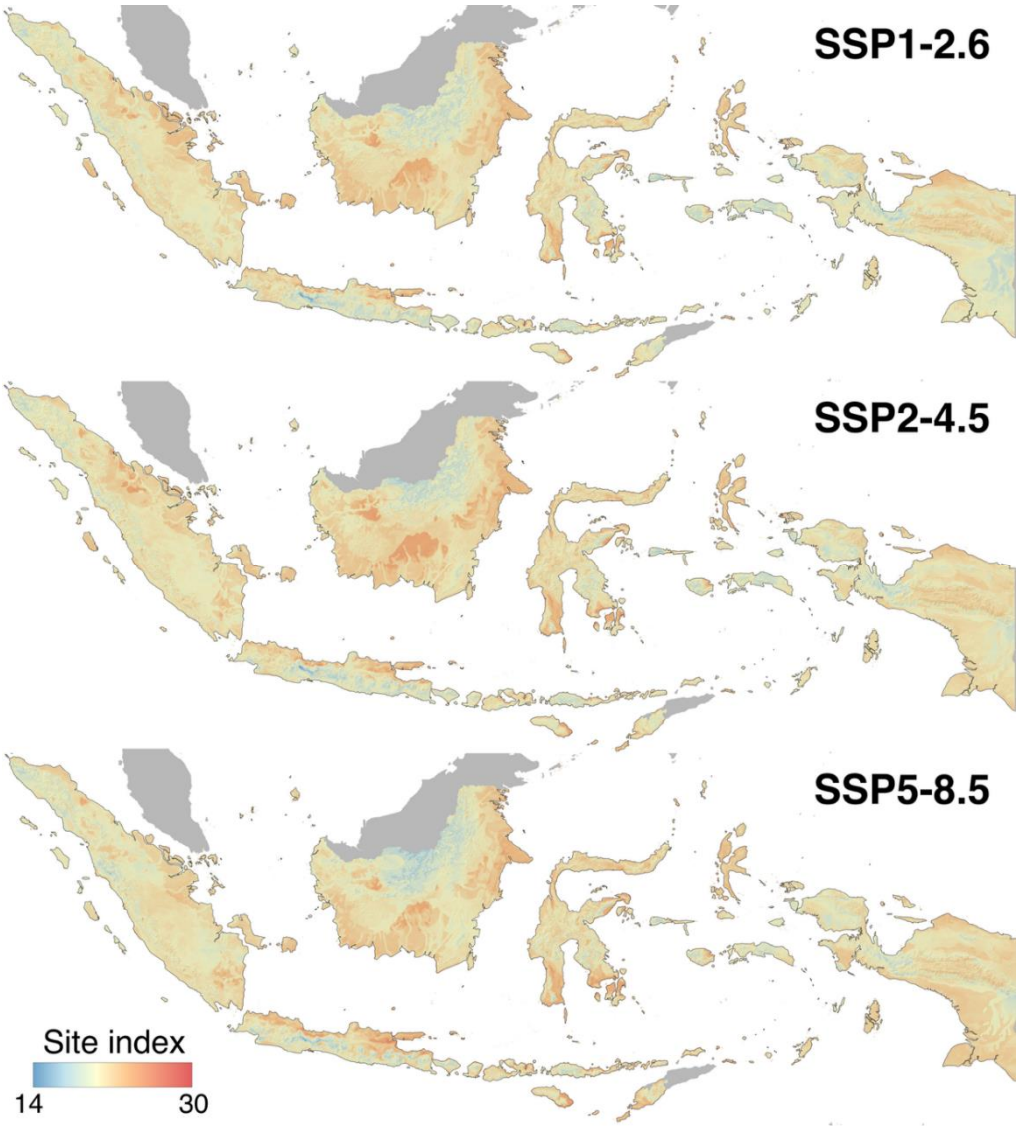


図 2-1-2 チークの将来（2081～2100 年）における植林好適度（地位指数）の予測結果
SSP1-2.6 は低排出、SSP2-4.5 は中庸、SSP5-8.5 は高排出シナリオを示す。全球気候モデルは MIROC6 を用いた。

課題「2-2. 地域環境適応」では、ファルカタの分布域をカバーする天然林集団とジャワ島の人工林集団を収集して、DNA 抽出、DNA ライブラリーの構築及び SNP 検出を行った。得られた SNP を用いて、遺伝的多様性及び遺伝的地域性について解明を行った。また局所環境の適応性解明のために集団分化テスト（PD テスト）と環境関連テスト（EA テスト）を行い、局所環境適応的遺伝子の検出を試みた。また地理的な遺伝子と環境の関連解析を行った。

課題「2-2. 地域環境適応」では、令和 6 年度は社会林業で用いられるファルカタについて、天然分布域およびジャワ島の人工林から得た全 705 解析個体を対象に遺伝的多様性の解析を行った。DNA 抽出後、ddRADseq 法で用いてライブラリの構築を行い、次世代シークエンサーから得られたシークエンスを用いて信頼性の高い SNP（一塩基多型）を得るためフィルタリングを行い、そこから取得した 1516 SNPs を用いて、遺伝的多様性指標の算出を行った（図 2-2-1）。人工林で遺伝的多様性が高くなり、天然林で低くなる結果となった。中でもマルク諸島の集団は遺伝的多様性が特に低かった。一方で、ティモールの集団はおおよそ人工林集団と同程度の遺伝的多様性を保持していた。遺伝構造を解析する sNMF 法を用いて遺伝的地域性を評価したところ、ファルカタの遺伝的変異を最適に分割するクラスター数（*K*）の値は 5 であった（図 2-2-2）。遺伝クラスターは、水色で記したスラウェシ及びマルク、緑色で記したティモール、紺色で記したパプア、オレンジで記したソロモン、紫色で記したジャワ島人工林で優占するクラスターに分かれ、地域間で遺伝的組成に顕著な違いが見られた。ジャワ島人工林で優占する紫色のクラスターは天然林集団内ではティモールで高い割合を示した。また、一部の人工林集団ではティモールの緑色のクラスターが優占する結果となった。Nei の遺伝的距離に基づくネットワーク図を図 2-2-3 に示す。ジャワ島人工林とパプア間で最も遺伝的分化度が大きくなった。また、ティモールからマルク及びソロモン間の遺伝的分化度は凡そ同程度となった。ジャワ島人工林に最も近縁な集団はティモールであった。集団分化テスト（PD テスト）による集団間分化に関与した変異の検出結果では、手法ごとに検出された SNP 数は以下のとおりであった。BayeScan : 0、OUTFLANK : 0、PCADAPT : 174、SNMF-PD test : 161。環境連関テスト（EA テスト）による環境適応的変異の検出結果では手法ごとに検出された SNP 数は以下のとおりであった。BayeScEnv : 0、LFMM2 : 24。局所環境適応の地理的傾向の予備的な解析結果は、全ての SNP セットにおいて、パプア内陸で青色の周辺領域とは異なるターコイズ色を示し局所的で地域固有な遺伝子-環境関連を示した。パプア内陸を除き、スラウェシ、マルク、パプア、ソロモンは同じ青色を示し同程度の遺伝子-環境関連であることが示された。

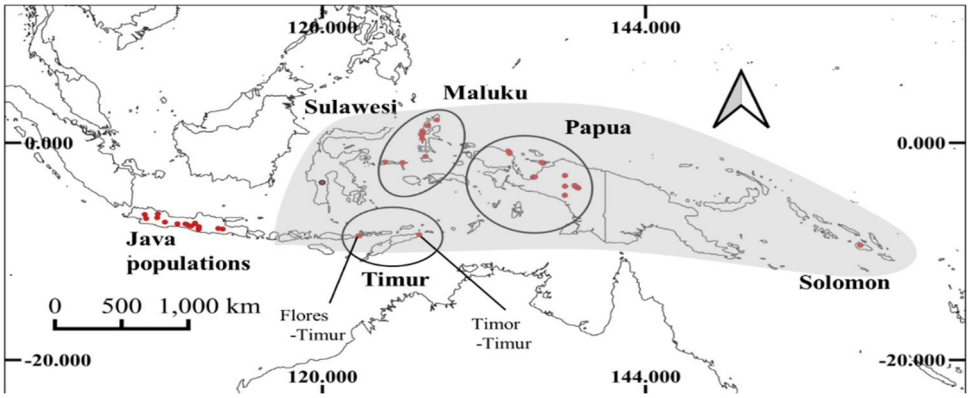


図 2-2-1.　使用したファルカタ天然林及びジャワ島人工林の位置図

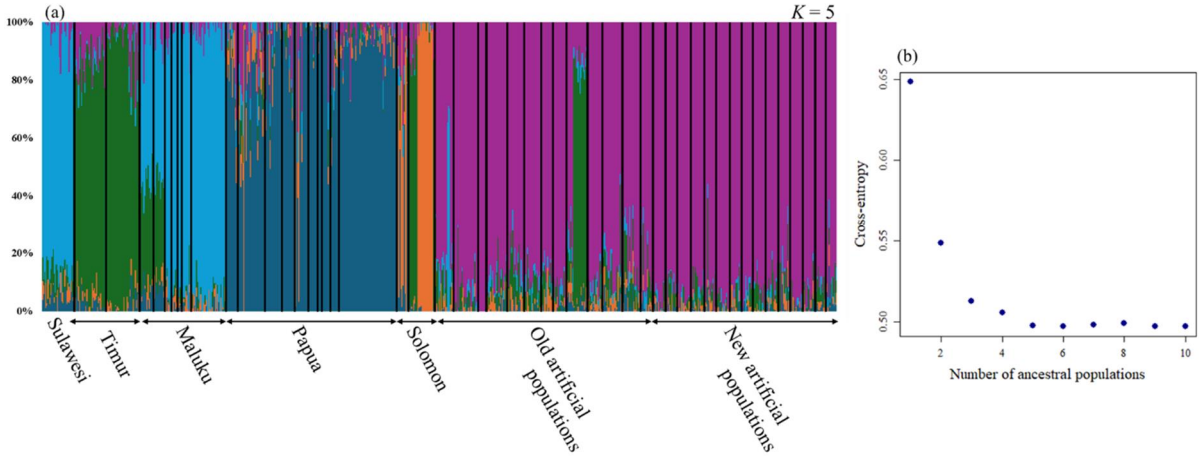


図 2-2-2. （a）1516 SNPs に基づき sNMF アルゴリズムにより全解析対象個体に割り当てられた祖先係数の割合。(b）sNMF アルゴリズムにより最適な K を決定するための交差エントロピー誤差の値の図

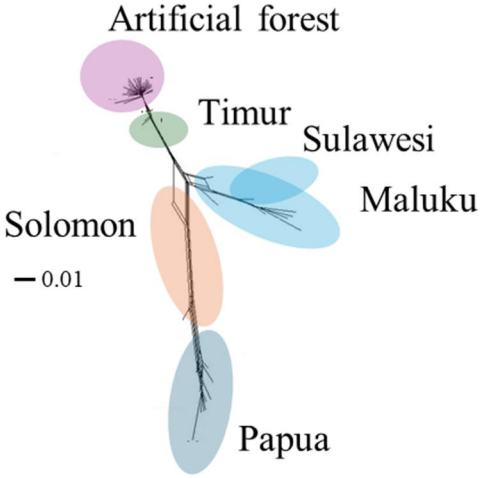


図 2-2-3. 1516 SNPs に基づき全解析対象集団を対象に Nei の遺伝的距離を利用したネイバーネットにより構築されたネットワーク図

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、2024 年度に行った現地調査において、モデルでの予測結果に基づいて、ジャワ島内の様々な環境下におけるファルカタ植栽地（ジャワ島西部で 10 カ所、ジャワ島中部で 2 カ所、ジャワ島東部で 5 カ所）を確認し、実際の生育状況や病害の影響などを検証することができた。調査では、各地域の CDK（営林局）や森林管理事務所等を訪れ、当該地域の森林管理事務所職員や林業改良普及員らからファルカタの生育状況と環境条件に関する状況について、聞き取り調査を行った。また、実際の調査林分においては、森林を管理している農民らに管理方法や生育状況、樹病の発生状況等に関する詳細について、聞き取り調査を実施した。加えて、ガジャマダ大学を訪れ、課題 2 のメンバーである Widi 氏、Eny 氏、Eko 氏とファルカタに関する植栽環境と生育状況についての情報交換およびディスカッションを行ったほか、他の対象樹種（チーク、*Shorea*、*Acacia*）も含めた今後の調査や解析の方針等に関する具体的かつ詳細な打ち合わせを行った。現地調査等で得られた知見に基づき、ファルカタについて、これまでの気候条件による植林適地モデルに土壌型の条件も加えることにより、モデルの高精度化を進めた。具体的には、石灰岩地ではファルカタの成長が落ちるとの知見に基づき、インドネシア国内における石灰質土壌（Calcaric Regosols が該当）のエリアを適地から除外したほか、既往文献で指摘されていた Grumusols（最新の土壌分類では Haplic Vertisols が該当）についても同様の処理を行った。チークについては、昨年度改良した気候と土壌型から植栽好適度（地位指数）を予測するモデルを WorldClim2.1 から入手した 2081-2100 年に関する最新の気候シナリオ（GCM は MIROC6、SSP:共有社会経済シナリオは低排出、中庸、高排出の 3 シナリオを使用）に当てはめることで、インドネシア全域における将来のチーク植林適地を予測しマップとして示すことができた。

課題「2-2. 地域環境適応」では、材料として、インドネシアのジャワ島東部にある Lumajang に設置された産地試験林を構成する天然林 10 集団由来の第一世代個体から採取した内樹皮及び、約 30 年前に採取された天然林 12 集団、人工林 13 集団由来の種子をインドネシアのガジャマダ大学ワナガマ演習林にて発芽させ採取した葉、加えて、ジャワ島内に点在する成木から成る人工林 15 集団から採取した葉を利用した。天然林としては合計で 22 集団 351 個体、人工林としては 28 集団 354 個体、合計 50 集団 705 個体である。天然林はファルカタの分布域を広範にカバーしておりスラウェシ島、ティモール地域、マルク諸島、パプア、ソロモン諸島と分布する諸島群はほぼ網羅している。人工林 15 集団は、東部、中部、西部でそれぞれ 5 集団ずつ採取しておりジャワ島を広範にカバーしているサンプルである。これらのサンプルから DNA を抽出して、dd-RAD seq 法により DNA ライブラリーの構築を行った。DNA ライブラリーは次世代シーケンサーである Miseq (illuminae. USA)によって各フラグメントの配列を両端から読み取った。読み取った配列は dDocent pipeline(Puritz et al. 2014a) を使用してアッセンブル及びフィルタリングを行った。得られた SNPs を用いて遺伝的な多様度を示す指標を算出し、sNMF を用いて遺伝構造の解析を行った。さらに、選択に関与した適応的遺伝子を探索するため、集団分化テスト（PD テス

ト）を行った。PD テストは、BayeScan 2.1、OUTLANK、 PCADAPT、SNMF-PD test を用いて行った。また、環境に影響された適応的遺伝子を探索するために、環境連関テスト（EA テスト）を、BayeScEnv 1.1 と LFMM2 を用いて行った。

(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）
長崎大学（課題担当者：猪原 彩美・大学院生）
長崎大学（課題担当者：Anna Matilda Appelkvist・大学院生）
関西大学（課題担当者：山本 裕基・准教授）
関西大学（課題担当者：青木 桜子・大学院生）
関西大学（課題担当者：雑賀 瞳・大学院生）
関西大学（課題担当者：横田 翔・大学院生）
関西大学（課題担当者：辻田 光太郎・大学院生）

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・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た。これらの評価結果にもとづいて、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。以下に 2024 年度の実施報告として、両課題の当初計画に対する実施状況の詳細を記す。

【課題 3-1. 生態系機能への影響評価】

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、植栽樹木による CO_2 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 CO_2

放出・CH_4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。以下に、 (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、2024 年度に実施した調査の詳細を記す。

社会林業や産業造林に活用されるチーク *Tectona grandis* 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 CO_2 放出速度および CH_4 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。その結果、精英樹クローン植林地では精英樹実生植林地に較べ約 1.4～3.4 倍の CH_4 吸収速度が確認され、精鋭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水平発達に起因すること等が明らかとなった。

2024 年度は、こうした精英樹クローン植林地における高い土壌 CH_4 吸収能が、年間を通じて見られるか、あるいは、特定の生物季節に限定されたものなのかを明らかにするため、乾季展葉期（5 月）、乾季落葉期（8 月）、雨季落葉期（10 月）、雨季展葉期（1 月）に土壌 CO_2/CH_4 フラックス観測および土壌環境調査を実施した（図 3-1-1）。その結果、精英樹クローン植林地における高い土壌 CH_4 吸収能はチークの展葉期に限定されることが判明した。この結果から、展葉に伴う根の発達によって土壌表層における空隙率の高い好気的な土壌が形成され、好気性メタン資化細菌が増え、結果的に高い土壌 CH_4 吸収能がもたらされたと考えられる。今後、採取した土壌サンプルにおけるメタン資化菌量等の解析を進めることで、精英樹クローン植林地における高い土壌 CH_4 吸収能を規定する要因やメカニズムを解明する予定である。

図 3-1-1：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ける土壌炭素フラックス観測の様子.

さらに、産業造林では、パルプ原料の生産を目的としたアカシア *Acacia crassicarpa* を研究対象とする。2024 年度は、アカシア植林地の造成や管理が土壌微生物相や土壌炭素フラックスに及ぼす影響を明らかにするため、泥炭地に造成されたアカシア植林地に調査地を設置した。

具体的には、2 齢および 4 齢のアカシア植林地、原生泥炭湿地林、再生林、およびオイルパーム農園の計 5 ヶ所で土壌炭素フラックス観測および土壌微生物叢評価のための土壌サンプルの採取を開始した。

これまでに、①冠水により土壌有機物（泥炭）の分解が抑制されるアカシア植林地では、土壌からの CO_2 の放出速度が熱帯林の約 3 分の 1 程度であること、②排水に伴う 40cm 程度までの地下水位の低下であれば、土壌水分量が保たれ、泥炭の乾燥に伴う CO_2 排出量の増加が抑制できる可能性があること等

が明らかになった。今後、植栽個体の成長データ等を含めた観測を継続することで、より成長の良い系統の選抜や施業管理など、泥炭地における持続的な炭素管理に向けた植林地管理に資するデータの収集を継続する予定である。

【課題 3-2. 社会経済への影響評価】

課題「3-2. 社会経済への影響評価」では、2024 年度にジョグジャカルタ特別州 Gunung Kudul 郡に居住する林業従事者を対象に、以下の調査を実施した。（１）家計状況の把握、（２）将来的な政策実施に向けた妥当な介入策を検討するための政策に対する選好評価、（３）新技術の導入や収入源多様化に関連する要因としてのリスク選好の評価。研究対象地域である Gunung Kudul 郡では産業造林で利用されるチークの植栽が地域住民によって実施されているため、社会林業及び産業造林の 2 つの林業形態に係る成果として位置付けている。以下に 2024 年度に実施した調査の詳細を記す。

調査は 2024 年 9 月に、ガジャマダ大学林業学部の Budiadi、Widiatono 教授、およびガジャマダ大学林業専門学校の Singgih 講師、ガジャマダ大学農学部の Jangkung Handoyo Mulyo 准教授と共同で実施した。研究対象は私有林（KHTR）を保有する 10 の農民グループ、政府林（Perhutanan Sosial）で農林業に従事する 2 つの農民グループとした。調査対象者を選抜する際には、サンプルの代表性を担保する観点から、各グループの名簿から 40%の世帯を無作為抽出によって実施した。425 世帯を抽出し、不在世帯や連絡がつかない世帯を除き、最終的に 362 世帯から回答を得た。

質問票は以下の項目からなる。（１）世帯人員の属性（氏名、年齢、性別、世帯主との関係、最終学歴、最近の主な活動）、（２）収入源（農業・林業及び他産業）、（３）資産（土地及び家畜所有）、（４）Taunya System での活動（Taunya System とは政府林で農作物を栽培する権利を得る契約システム）、（５）森林保全と生活水準向上を目指した政策に対する潜在需要、（６）リスク選好を計測するための実験への回答項目。潜在需要評価にあたっては、森林資源を保全しながら農村の生活向上を促進する事業に対する選好を尋ねている。候補となる事業は、Taunya system の契約期間延長、農産物価格の安定化、森林管理者としての雇用、耕作地の拡大、森林地の拡大、アグロフォレストリーに対する技術支援、政府林の伐採許可、の 7 つである。回答に当たっては、回答者に選択肢の中から最も望ましいものを選択させるとともに、最も望ましくないものを選択させるベスト・ワースト・スケーリング(BWS)を採用している。リスク選好評価のためには、調査員が回答者に 40,000 ルピア渡し、その中から掛け金を拠出することができる。コイントスゲームに勝てば掛け金が倍に、負ければ半額となる。掛け金が少ないほどリスク回避的である意味する。

ここでは潜在需要評価の分析結果を提示する。分析手法として混合ロジットモデルを利用した。混合ロジットモデルは、BWS を通じて得られた回答から限界効用パラメータを推定するために広く適用されてきた手法であり、推定された効用パラメータが特定の確率分布に従うと仮定して選考の多様性を評価している。

分析結果は表 3-2-1 に示されている。基準となる属性は支持が最も少なかった政府林での伐採許可と設定した。林業従事世帯が最も重視するのは、収穫物販売価格の安定性であった。インドネシアではコメ以外の販売価格安定化制度がなく、また当該調査地ではコメ以外の作物（トウモロコシ、マメ等）を販売している。調査地では収穫期になると販売価格が安価になると主張する住民が多い為、このような結果は妥当だと考えられる。次いで、耕作地面積の拡大、アグロフォレストリーに対する技術支援とい

う順であることがわかった。当該調査地では畑の周りにチークなどを植林する世帯が多く見られた。これらの世帯は、より効果的なアグロフォレストリーの実施方法に対しても関心が高いものと考えられる。本研究ではリスク選好や農業・林業依存度などが生じている可能性も吟味したが、選好とは有意な関係は見られていない。

Estimation results of the Logit Model (CL and MIXL without correlations)

	CL		MIXL	
Factors	Coefficient		Coefficient	Standard Deviation
Stability of Crop Purchasing Price (stabi_crop)	1.6529	***	2.0065 ***	1.0632 ***
	(0.0587)		(0.0893)	(0.0840)
Expansion of Farmland (exp_farm)	1.2859	***	1.5628 ***	1.2510 ***
	(0.0567)		(0.0923)	(0.0866)
Support for Agroforestry (agroforestry)	1.2820	***	1.4647 ***	
	(0.0563)		(0.0618)	
Extend Taunya Periods (taunya)	0.9320	***	1.0627 ***	
	(0.0552)		(0.0598)	
Employment at Forests (employ_forest)	0.3566	***	0.3936 ***	
	(0.0540)		(0.0573)	
Expansion of Forest Land (exp_forest)	0.3212	***	0.3387 ***	0.9411 ***
	(0.0537)		(0.0761)	(0.0763)
Log-likelihood	-5,433.96		-5,226.18	
Num. of observations	29,880		29,880	

Note: Reference attribute is "Rights to cutting down trees for timbers of the government forests." Mixed logit model without accounting for correaltions among paramters is shown. *** in the "mean coefficient" indicates the mean importance of the policy is statistically significant from the reference category (cutting down trees) at the 1% significance level (p< 0.01). The parameters with positive number in the standard deviation indicates that under the assumption of the those parameters are normally distributed, the estimated parameters parameters has its distribution.

表3-2-1. 分析結果

【技術移転および人材育成】

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ついては、(1) 恒常的なデータ取得を目的としたトレーニングコースの開催、 (2) JICA 短期研修員の受入れ（ガジャマダ大学 Budiadi 教授および Jangukung 准教授；図 3-3）、および(3) 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い、環境評価および社会経済評価に係るデータ取得をカウンターパートおよび当該機関の学生自らが恒常的に実施できる体制が構築できた。

図 3-3：JICA 短期研修員の受入れの様子.（a）国立環境研究所における土壌炭素フラックス観測研修、（b）長崎大学における社会経済調査に係る研究打ち合わせ、（c）土壌炭素フラックス観測サイト視察.

② 研究題目 3 の当該年度の目標の達成状況と成果

課題 3-1「生態系機能への影響評価」では、これまで調査を実施してきた(1)天然林コンセッション型林業、および(2)社会林業に加え、新たに(3)産業造林においても観測サイトを設置し、継続的に観測を行うなど、進捗状況は極めて良好である。また、課題 3-2「社会経済への影響評価」においても、家計調査を実施できる体制を整備するとともに、継続的に人材育成をできるよう博士後期課程の学生として招聘できるよう整備を行ったため、進捗状況は良好である。

上述の調査・研究に加え、当該国研究者の日本への招聘および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。

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。

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 CO_2 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 CO_2 放出・CH_4 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（CO_2, CH_4, N_2O）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の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）

今後のプロジェクトの進め方としては、研究活動をさらに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、樹種によってはゲノム選抜用の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、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行い、具体的なプランの策定を行っている。ファルカタについては、強靭性を有し、林業的にも優良なクローンの選抜を行い、開発した組織培養技術を事業スケールに拡大した上で、種苗の大量増殖を実施する。チークについては、協力企業に研究進捗に関する報告書を提出し、今後の選抜育種について協議を行う。アカシアについては、協力企業にニーズ調査を行い、成長量や強靭性を対象とした育種だけではなく、泥炭の分解にも配慮した育種が必要であることが確認できた。そこで、泥炭の分解を確認しながら、包括的に GHG を減少させる造林手法を探索することとしている。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ーと連携し、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）

Ⅲ-1．プロジェクト全体の現状と課題、相手国側の状況と問題点、その解決のために取り組んだ事項

プロジェクト全体として、2022 年度前半は新型コロナによる渡航制限の影響を受けた。JICA 技術プロジェクトは最初の専門家派遣とともに 2022 年 9 月 25 日に開始されたが、JICA による調整員の配置は 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た。その結果、インドネシア国内での調査や供与機材の供給に遅れが生じた。この状況の下で、可能な課題については国内にサンプルを輸入し、分析を先行させるなどの対策を講じた。現地調査が必要な課題（特に課題 3 や課題 2）については、カウンターパート機関の学生の調査への参加、協力企業の職員や作業員の協力などを得て、加速化を計っている。しかしながら、1 年 5 ヶ月もの遅れを加速化だけで解消することは厳しいため、JICA インドネシア事務所に JICA プロジェクト機関の延長について申し入れを行った。

Ⅲ-2. 研究プロジェクトの妥当性・有効性・効率性・インパクト・持続性を高めるための工夫

研究プロジェクトの有効性やインパクト、ひいては持続性を高めるためには、社会実装を確実に実施し、成果の見える化が有効であると考えている。本プロジェクトにおいては技術開発課題（課題 1）において、ゲノム選抜育種を活用した個体選抜を実施しているが、優良個体の選抜はプロジェクト期間の後期に達成するスケジュールになっている。よって、社会実装を確実に実施するための時間的猶予がない。そこで、課題 2-2 と連携し、既存の産地試験林や次代検定林、人工林などから優良個体を

選抜し、強靭性に関わる機能的形質を評価した上で、これらの個体を課題 1-2 で開発する増殖技術によって大量増殖し、植林に実装していくスキームを用いる。今年度は対象の林分より、優良個体の選抜を実施した。来年度より、協力企業内に事業スケールの増殖施設を整備し、本スキームで選抜した優良個体の増殖を開始する。これにより、事業スケール増殖施設の運用を改善していき、プロジェクト後期に課題 1-1 のゲノム選抜育種によって優良個体が選抜された際には、速やかに大量増殖が実施できる体制を整備する。

選抜された優良個体の普及のためには、インドネシアの代表的な 3 つの林業形態について、ステークホルダーの抱える問題点、ニーズを把握する必要がある。そのためには、行政を含めたステークホルダーとの対話関係を構築する必要がある。そこで、企業が中心となる天然林コンセッション型林業と産業造林では協力企業を選定し、インドネシア側代表機関であるガジャマダ大学と MoU に基づいた協力体制を構築した。また、適宜ヒアリングや会議を実施し、施業、経営上の問題点や研究、社会実装ニーズを把握に努めた。特に産業造林のアカシアにおいては、地中有機物の分解による温室効果ガス放出を阻止しながら、植林木の成長を維持、加速させる技術開発に関心が高く、課題 3-1 において、土壌からの温室効果ガスをモニタリングしながら、課題 1-1 においてゲノム選抜育種を実施し、課題 2-1 より、人工林および既存の産地試験林より優良個体を選抜、課題 1-2 において優良個体の大量増殖を行う連携関係を構築し、これらに関わる研究を今年度開始した。社会林業においては、行政、企業、コミュニティーとステークホルダーが多く存在し、利害関係が複雑である。そこで、課題 3-2 においてコミュニティーでの経済や植林に対する投資嗜好性の調査を実施し、基礎データを得るとともに、コミュニティーの代表者らに対して、プロジェクトの説明を実施し、プロジェクト後期の社会実装時の協力を前提とした関係の構築に努めた。さらに企業に関しては既存増殖施設を拡充させ、特に課題 1-2 の増殖技術の成果を実装可能な状態に整備する。また、これらの種苗をコミュニティーに配布可能な状態にするため、企業にはコミュニティーに関与するよう要請するとともに、ガジャマダ大学の種苗施設に関してもスケールアップを行う。

インドネシアでは森林の減少・劣化が依然として深刻であり、本プロジェクトで扱う林業樹種に関しても遺伝資源の供給源である天然分布域の森林減少・劣化が深刻化している。将来、これら遺伝資源の利用度が減少し、植林のための種子供給や育種のための遺伝資源が不足し、生産力の低下、病害虫への抵抗性や気候変動への適応性の喪失が懸念される。そこで、プロジェクト終了後も本プロジェクトのインパクト・持続性を発揮できるよう、ファルカタにおいて、複数の天然分布域や植林地から種子を集め、産地試験林を造成した。アカシアについてもガジャマダ大学が造成した産地試験林を今後、拡充させる。これらは遺伝資源の域外（ex situ）保存と、地域適応性などの研究、将来の育種のための遺伝資源として活用される。

Ⅲ-3.プロジェクトの自立発展性向上のために、今後相手国（研究機関・研究者）が取り組む事項

インドネシア側代表機関であるガジャマダ大学は、特にチークにおいて PT. Perum Perhutani と共同でスーパーチークを開発するなど、森林遺伝資源の探索と保存、精英樹の選抜やその評価について基盤技術を有している。一方で、本プロジェクトで使用するゲノム選抜育種や遺伝資源評価に必要な DNA 解析や組織培養技術、温室効果ガス測定技術などは有していない。これらについては、短期研修員や

長期研修員を日本へ派遣し、技術移転を行なっているとともに、本プロでは短期専門家派遣時に必ず相手国研究者が調査や実験に同行する体制をとっており、OTJ を実施している。ゲノム選抜育種を用いても、林木育種はある程度の時間を要するため、学んだ技術や知識を若手研究者に伝え、若手の研究者、技術者を養成することが必要である。

Ⅲ-4.諸手続の遅延や実施に関する交渉の難航とその解決プロセス

JICA インドネシア事務所は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い、JICA 発行のプロジェクト実施の手引き所や準備期間における A1 及び A4 フォーム作成時に JICA インドネシア事務所より言及がなかったため、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。しかし、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、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。来年度、第 1 回目の免税措置が取られた物品について輸出を実施する。

Ⅳ．社会実装に向けた取り組み（研究成果の社会還元）（公開）

- マレーシア森林研究所主催、国際農林水産業研究センター共催で DNA プロファイリング技術を用いた森林遺伝資源管理のための技術ワークショップを開催し、インドネシア側カウンターパート及び東南アジア第 3 国から参加者を招聘し、DNA 解析技術の普及を行うとともに、本プロジェクトからの開発技術の第 3 国への普及を行った。
- 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実施した。
- 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。

Ⅴ．日本のプレゼンスの向上（公開）

マレーシア森林研究所主催、国際農林水産業研究センター共催で DNA プロファイリング技術を用いた森林遺伝資源管理のための技術ワークショップを開催し、本プロジェクトの成果を東南アジアの第 3 国に紹介し、本プロジェクトを核としたネットワーク形成を実施することで、公共財としての熱帯林管理技術への我が国のプレゼンス向上に寄与した。

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
2024	国内学会	小沼 佑之介（筑波大）, Sawitri (UGM), Baskorowati L （BRIN）, Widiyatno (UGM), Indrioko S (UGM), Na'iem (UGM), 谷 尚樹 (JIRCAS), 津村 義彦（筑波大）、熱帯アジア有用樹種・ファルカタの遺伝構造と集団動態の解明、森林学会、札幌、2025年3月	ポスター発表
2024	国内学会	Hapsari MT (筑波大), Abe H (森林総研), Kuroda K (森林総研), Kojima M (森林総研), Widiyatno (UGM), Na'iem M (UGM), Indrioko S (UGM), Purnomo S (SBK), Kawai K (JIRCAS), Tani N (JIRCAS), Intra-specific variation of wood property in Red Meranti and an attempt to study their genome-wide association, 第136回日本森林学会大会, 札幌市, 2025.03	ポスター発表
2024	国内学会	Meinata A (筑波大), Widiyatno (UGM), Na'iem M (UGM), Indrioko S (UGM), Faridah E (UGM), Wibowo A (Perhutani), Novita Sari D (Perhutani), Kawai K (JIRCAS), Kenzo T (JIRCAS), Tani N (JIRCAS), Genome Wide Association Study of Teak (Tectona grandis L.f.) Growth and Leaf traits in Ngawi Progeny trial, 第136回日本森林学会大会, 札幌市, 2025.03	ポスター発表
2024	国際学会	Hapsari MT (筑波大), Abe H (森林総研), Kuroda K (森林総研), Kojima M (森林総研), Widiyatno (UGM), Na'iem M (UGM), Indrioko S (UGM), Purnomo S (SBK), Kawai K (JIRCAS), Tani N (JIRCAS), Intra- and Inter-Specific Variation in Wood Density of Planted Red Meranti, International Symposium on Wood Science and Technology, 仙台, 2025, 03	ポスター発表
2024	国内学会	小沼 佑之介（筑波大学大学院）, Sawitri （ガジャマダ大学）, Liliana baskorowati（INRA）, Widiyatno, Sapto Indrioko, Mohammad Na'iem（ガジャマダ大学）, 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・Falcataria falcataの遺伝構造と気候変動下での遺伝的強靭性の解明、生態学会、札幌、2025年3月″	口頭発表
2024	国内学会	小沼 佑之介（筑波大学大学院）, Sawitri （ガジャマダ大学）, Liliana baskorowati（INRA）, Widiyatno, Sapto Indrioko, Mohammad Na'iem（ガジャマダ大学）, 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・Falcataria falcataの遺伝構造と気候変動下での遺伝的強靭性の解明、森林遺伝育種学会、東京、2024年11月	ポスター発表
2024	国際学会	Hapsari MT (筑波大), Abe H (森林総研), Kuroda K (森林総研), Kojima M (森林総研), Widiyatno (UGM), Na'iem M (UGM), Indrioko S (UGM), Purnomo S (SBK), Kawai K (JIRCAS), Tani N (JIRCAS), Variety of Wood Density in Red Meranti Species, The 10th Pacific Regional Wood Anatomy Conference, 2024.09	ポスター発表
2024	国内学会	Faridah E (UGM), 河合清定 (JIRCAS), Figyantika A (UGM), Romadini N P (UGM), 田中憲蔵 (JIRCAS), 市栄智明 (高知大), Sawitri (UGM), Widiyatno (UGM), Na'iem M (UGM), 津村義彦 (筑波大), 谷尚樹 (JIRCAS)、熱帯早生樹ファルカタにおける成長と光合成特性の産地間変異、第34回日本熱帯生態学会年次大会（JASTE34）、福井、2024.06	口頭発表
2024	国内学会	Meinata A (筑波大), Faridah A (UGM), Na'iem M (UGM), Widiyanto (UGM), Indrioko S (UGM), Wibowo A (Perhutani), Novitasari D (perhutani), Kawai K (JIRCAS), Tani N (JIRCAS), Growth-physiological relationships in teak progeny trial in East Java, Indonesia, 第34回日本熱帯生態学会年次大会（JASTE34）、福井、2024.06	ポスター発表
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
2022	国内学会	阿久津 春人（筑波大）, Mohammad Na'iem（ガジャマダ大）, Widiyatno（ガジャマダ大）, Sapto Indrioko（ガジャマダ大）, Sawitri（ガジャマダ大）, 内山 憲太郎（森林総研）, 津村 義彦（筑波大）, 谷 尚樹（国際農研）、Shorea macrophyllaの成長特性に関するゲノム予測モデル作成手法の比較、日本森林学会、鳥取、2023/3/25-27	ポスター発表

招待講演	0	件
口頭発表	3	件
ポスター発表	10	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	強靭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.jacom.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	
2022	2022/10/4	REPUBLIKA	UGM-JIRCAS Gelar Riset Kolaborasi untuk Lestarikan Hutan Indonesia	https://sindikasi.republika.co.id/berita/rj87zs291/	1.当課題研究の成果である	
2022	2022/10/4	AsiaToday	UGM-JIRCAS Kolaborasi Riset untuk Konservasi Hutan Indonesia	https://asiatoday.id/read/ugm-jircas-kolaborasi-riset-untuk-konservasi-hutan-indonesia	1.当課題研究の成果である	
2022	2022/10/4	IndonesiaKini	UGM dan Jepang Kerja Sama Pengembangan Klon Unggul Tanaman Hutan Indonesia	https://indonesiakini.go.id/berita/9258319/ugm-dan-jepang-kerja-sama-pengembangan-klon-unggul-tanaman-hutan-indonesia	1.当課題研究の成果である	
2022	2022/10/7	News Adi.tv	FAKULTAS KEHUTANAN UGM DAN JIRCAS JALIN KERJA SAMA PENELITIAN	https://www.youtube.com/watch?v=6YYoPxML828	1.当課題研究の成果である	
2022	2022/10/5	Bernas	UGM Dan Jepang Kerjasama Riset Klon Unggul Tanaman Hutan Indonesia	https://www.bernas.id/2022/10/154698/ugm-dan-jepang-kerjasama-riset-klon-unggul-tanaman-hutan-indonesia/	1.当課題研究の成果である	
2022	2022/10/9	TribunJogja	UGM dan Jepang Kerja Sama Pengembangan Klon Unggul Tanaman Hutan Indonesia	https://jogja.tribunnews.com/2022/10/09/ugm-dan-jepang-kerja-sama-pengembangan-klon-unggul-tanaman-hutan-indonesia	1.当課題研究の成果である	
2022	2022/10/10	Berita Terbaru	UGM dan Jepang bekerjasama mengembangkan klon unggul tanaman hutan Indonesia	https://beritaterbaru.news/ugm-dan-jepang-bekerjasama-mengembangkan-klon-unggul-tanaman-hutan-indonesia-179257/	1.当課題研究の成果である	

2022	2022/10/5	NNA ASIA	日本6機関、ガジャマダ大と熱帯林強靭化	https://www.nna.jp/news/2412438	1.当課題研究の成果である	
2022	2022/10/5	共同通信アグリラボ	インドネシア国立大と熱帯林強靭化事業　JICA、高適応の品種開発	https://agrilab.kyodo.co.jp/2022/10/jica-1.html	1.当課題研究の成果である	
2022	2022/10/5	47NEWS	日本6機関、ガジャマダ大と熱帯林強靭化	https://www.47news.jp/economics/nna/840263.html	1.当課題研究の成果である	
2022	2022/10/6	じゃかるた新聞	日イ8機関が連携　熱帯林で品種改良	https://www.jakartashimbun.com/free/detail/60808.html	1.当課題研究の成果である	
2022	2022/10/6	DIGIMA NEWS	日イ8機関が連携　熱帯林で品種改良	https://www.digima-news.com/20221006 64922	1.当課題研究の成果である	
2022	2022/10/13	環境ビジネス	住友林業、気候変動に強い樹種の共同研究を開始	https://www.kankyo-business.jp/news/d8930de2-4f8f-4a19-9846-e797e7d2553e	1.当課題研究の成果である	
2022	2022/10/7	日本経済新聞	住友林業、インドネシアを対象にした「気候変動適応型育種プロジェクト」を本格稼働	https://www.nikkei.com/article/DGXZRSP641707 X01C22A0000000/	1.当課題研究の成果である	
2022	2022/10/17	NIKKEI GX	住友林業、気候変動に強い樹木開発へ　インドネシアで	https://www.nikkei.com/prime/gx/article/DGXZQOUC14A6G0U2A011C2000000	1.当課題研究の成果である	
2022	2022/10/18	日本経済新聞	国際農研や住友林業、気候変動に強い熱帯樹木を開発	https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC13CRI0T11C22A0000000/	1.当課題研究の成果である	
2023	2023/2/20	ANTARA	Tim JIRCAS Jepang-BRIN teliti genetik sengon terbaik di Itera	https://megapolitan.antaranews.com/rilis-pers/3405312/tim-jircas-jepang-brin-teliti-genetik-sengon-terbaik-di-itera	1.当課題研究の成果である	

20 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
2024	2月24日- 2月27日	Workshop on DNA Profiling and DNA Barcoding for the Management and Utilisation of Forest Resources	クアラルンプール （マレーシア）	14名 （2名）	非公開	森林資源管理のためのDNAプロファイリングの活用について技術講習を兼ねた情報交換のワークショップを開催し。技術の水平展開を行った。
2024	1月30日	千葉大学公開シンポジウム「東南アジアを知るために」	千葉市	172名	公開	一般向けの公開講座
2024	12月18日	高大連携事業に基づく模擬授業	佐世保市（長崎県）	40名程度	非公開	高校生向けの特別授業
2024	12月5日	熊本県宇土高校SSH「研究所訪問」	つくば市	30名程度	非公開	高校生向けの特別授業
2024	10月11日	高大連携事業に基づく模擬授業	島原市（長崎県）	30名程度	非公開	高校生向けの特別授業
2024	8月24日	長崎大学移動オープンキャンパス	福岡市	80名程度	公開	高校生向けの公開講座
2023	11月17日	JIRCAS国際シンポジウム2023「強靭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。
2023	10月2日- 10月4日	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ン林業について情報交換、発信を行なった。

8 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
2024	10月29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	36	各課題の進捗状況を報告し、計画変更点として日本側及びインドネシア側参画研究者の追加、学位取得者数の明確化を行った。
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。

2 件

公開資料

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靭性の創出
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.

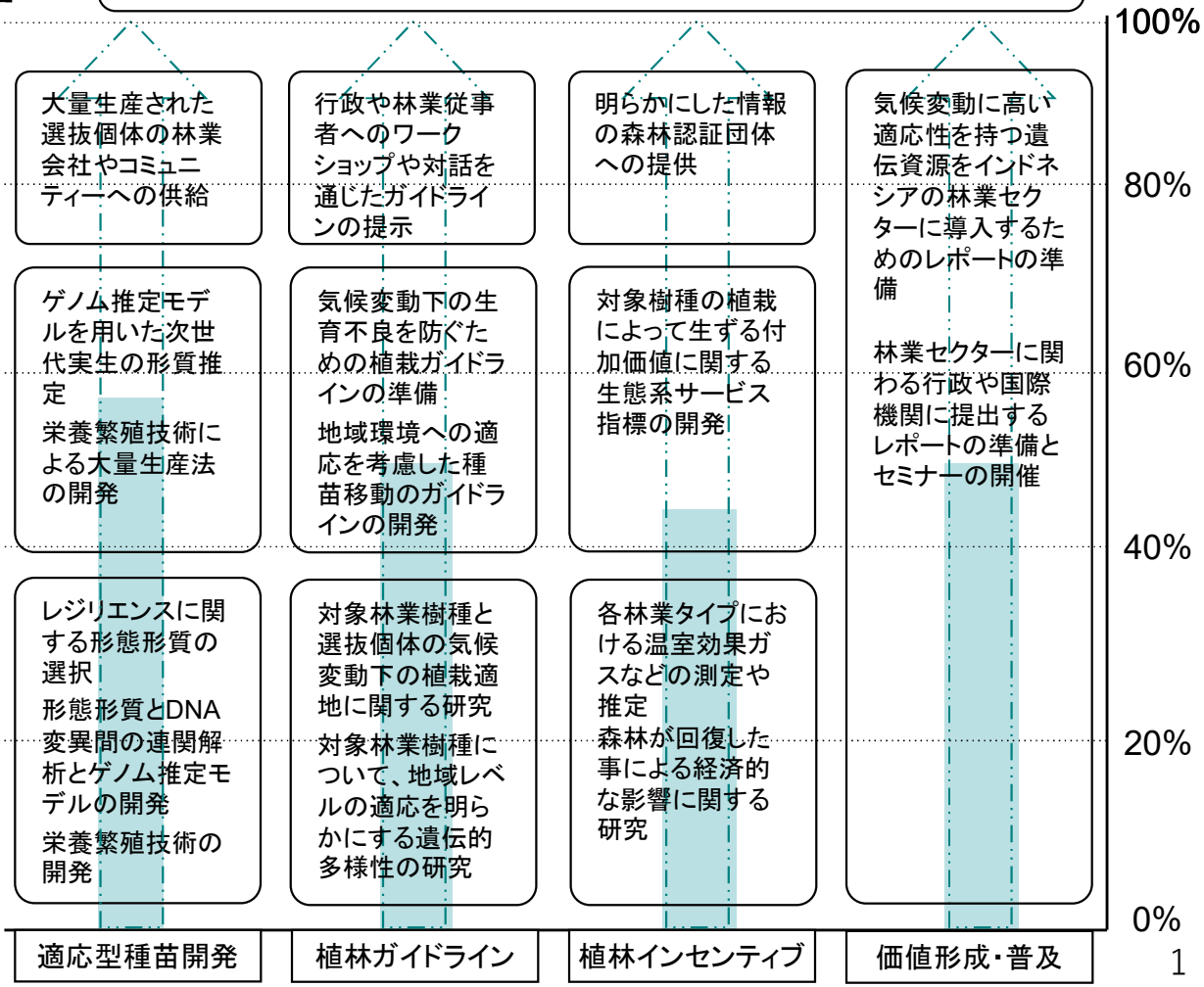
上位目標

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	気候変動に強靭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・再生の実現に向行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

Ver.170401