

林野庁補助事業

途上国森林づくり活動貢献可視化事業

令和5年度報告書

令和6年3月

公益財団法人 国際緑化推進センター(JIFPRO)

目次

要約	1
Summary	3
1. 事業の背景・目的及び進め方	6
1.1 背景・目的	6
1.2 事業の進め方	8
2. 住民便益および生物多様性を可視化する既存手法の分析	10
2.1 はじめに	10
2.2 Plan Vivo における住民便益と生物多様性の評価手法分析	11
2.3 生物多様性クレジット下での生物多様性評価の仕組み	24
2.4 SBTs for Nature の動向	33
2.5 さいごに ―生物多様性への貢献の評価を中心に―	36
2.6 参考文献	37
2.7 別添	38
3. ケニア半乾燥地における小規模農家向け長根苗植林の貢献度可視化	40
要約	40
3.1 背景・目的	40
3.2 試験対象地の概要	43
3.3 実証試験の方法と結果	44
3.4 検討した可視化手法のコスト試算	58
3.5 対象国における検討した可視化手法の普及説明会	60
3.6 実証試験の総括-実用化に向けた課題を中心に-	61
3.7 参考文献	63
4. マレーシア・サバ州でのアカシア産業植林の炭素蓄積と生物多様性評価	65
要約	65
4.1 マレーシア・サバ州の森林の現状と森林・林業政策	65
4.2 マレーシア・サバ州の産業植林	69
4.3 調査対象地の概況	72
4.4 可視化実証試験の目的及び進め方	81
4.5 可視化実証試験の方法と結果	82
4.6 対象国における可視化手法の普及	99
4.7 可視化実証調査の総括	99
4.8 参考文献	101
5. 普及ツール等による情報発信	104
5.1 情報集積サイトの管理運営	104
5.2 セミナー開催	110
6. 事業運営委員会での検討結果	119

6.1	第1回事業運営委員会での検討結果.....	119
6.2	第2回事業運営委員会での検討結果.....	125
6.3	第3回事業運営委員会での検討結果.....	131
7.	添付資料.....	136
7.1	第1回 事業運営委員会 資料.....	136
7.2	第2回 事業運営委員会 資料.....	154
7.3	第3回 事業運営委員会 資料.....	174
7.4	技術検討委員会 会議次第.....	197
7.5	一般公開セミナー 公開資料.....	200

要約

2021年11月に開催された第26回気候変動枠組条約締約国会合(COP26)において、パリ協定に掲げられた目標を達成するため、気温の上昇を1.5°C以内に抑える努力を追求するという「グラスゴー気候合意」が採択された。この目標を達成しカーボンニュートラルを実現するためには、森林減少からのCO₂排出の抑制に加えて、植林によるCO₂吸収機能(炭素固定)の向上が期待されている。植林活動を、全世界、特にポテンシャルの高い途上国において推進するためには、政府等による公的資金だけでは不十分であり、民間資金を活用していく必要がある。

これまでも、日本を含む世界の民間企業等は、途上国において植林活動を実施してきた。しかし、自然保護を主たる目的とした「環境植林」等は、寄付やCSR活動の一環として行われていたため限定的であった。また「植える」行為に主眼が置かれ、植林後の炭素蓄積や生物多様性等への貢献に関する評価はほとんど実施されてこなかった。近年、気候変動の緩和・適応、及び生物多様性の保護等を考慮したグローバルレベルでの持続的な発展を目的とする「自然を基盤にした解決策」(Nature-based solutions, NbS)が注目されはじめ、世界的に森林の保護、回復、持続的管理の促進が急務となっている。こうした中、環境・社会面及びガバナンスに配慮した投資(ESG投資)の重要性が認識され、ビジネスとして成立しにくい場所でも、環境及び社会貢献を重視した植林(以下、森林づくり活動)を推進する機運が高まってきた。それにともない、民間企業等にとって、「植える」だけでなく、環境・社会面での貢献度を可視化し、投資家や消費者にアピールすることが重要課題となっている。

そこで本事業では、自社の営利活動に対する社会的評価の向上やESG投資の呼び込みをインセンティブとした民間企業等による途上国での多様な森林づくり活動を促進するため、クレジット認証等よりも低コストで、かつ簡易に環境・社会貢献度を可視化する手法の検討を行った。手法開発にあたっては、既存の関連情報・事例を収集・分析するとともに、実際の森林づくり活動を対象とした実証試験を通して、貢献度を評価する項目、指標を設定し、それらの指標を実際の植林地で測定・判断するための適切な方法を検討した。また、情報を集積したWebサイトの構築やセミナー開催により、本事業の成果を提示し、森林づくり活動の促進を図った。

1. 事業運営委員会の開催

本事業の方針、計画、実施方法、及び成果のとりまとめ等に関して検討するため、気候変動、植林・森林経営活動(可視化に関する知見を含む)、国際林業協力、民間部門による途上国の森林保全の取組やESG投資等に関する知見を有する専門家6名により構成される事業運営委員会を設置し、6月、11月、3月に合計3回開催した。

2. 森林づくり活動の貢献度可視化手法の開発

途上国における森林づくりの活動の環境面・社会面での貢献度を評価する項目、指標、及び達成すべき水準(基準値)、並びにそれらの指標を測定(モニタリング)・判断するための適切な方法

について、既存の可視化手法を収集・整理した。令和 5 年度は、国際的なボランティアカーボンクレジットプログラムのひとつである Plan vivo に着目し、炭素ストック、生物多様性、住民便益といった評価項目についての可視化手法や指標を整理・分析した。また、最近の生物多様性クレジットや SBTs for Nature の動向についても整理・分析した。

また、本調査で検討した可視化手法が途上国の現場で適用可能かどうかを確かめるため、実際の森林づくり活動対象地での実証試験を行った。令和 5 年度は、以下の 2 件の実証試験を行った。実証試験で検討した可視化手法は、前述の事業運営委員会に加え、4 名の外部専門家から構成される技術検討委員会でも、技術的なアドバイスを踏まえたうえで、最終化し報告書にまとめた。

実証試験名	実施者	可視化対象	R5 年度までの実証試験の内容
ケニア半乾燥地における長根苗を用いた小規模農家向け植林の貢献度可視化	JIFPRO (コマツと KEFRI に一部委託)	炭素ストック (植林生残木)、住民便益(燃材供給)	R4 年度:長根苗育苗、ドローンによる植栽苗の検出、既存植林地の成長量調査、住民の燃材消費に関するベースライン調査
			R5 年度:長根苗技術開発、衛星画像による小規模農家向け植林のモニタリング手法開発、植林木による燃材供給ポテンシャル予測
マレーシア・サバ州での越井木材工業(株)アカシア産業植林事業地の炭素蓄積と生物多様性評価	JIFPRO (サバ大学に一部委託)	炭素ストック、生物多様性	R5 年度: 用材生産を目的とするアカシア・ハイブリッド植林地における炭素固定と植物多様性保全効果の評価、地元大学との共同体制の構築

3. 普及ツール等による情報発信

令和 5 年度は、令和 4 年度に構築した、民間企業が途上国で森林づくり活動を検討するにあたって役立つような情報を集積した Web サイト「途上国森づくりワークス -植えるを視える化-」の運営管理を行った。具体的には、森林づくりによる貢献度の可視化に関する情報、途上国で森林づくり活動を実施している団体の活動、各国の植林に関する基礎情報等について企業ヒアリングや情報収集を行い Web 上に整理した。

また、途上国における森林づくり活動に関心のある民間企業や団体、援助機関等を対象として、上記 2 の成果等に関する情報を提供するセミナーを 3 月 14 日に開催した。セミナーでは、途上国における植林活動の意義・実態や、本事業で検討した可視化手法の紹介を行なった。セミナーに参加した人数は 124 名であった。

4. 報告書等の作成

本報告書を作成した。本報告書は農林水産省及の Web サイトや本事業で構築した Web サイトにも公表する予定である。

1. 事業の背景・目的及び進め方

国際緑化推進センター(JIFPRO) 柴崎一樹、田中浩

1.1 背景・目的

2021年11月に開催された第26回気候変動枠組条約締約国会合(COP26)において、パリ協定に掲げられた目標を達成するため、気温の上昇を1.5°C以内に抑える努力を追求するという「グラスゴー気候合意」が採択された。この目標を達成しカーボンニュートラルを実現するためには、森林減少からのCO₂排出の抑制に加えて、植林によるCO₂吸収機能(炭素固定)の向上が期待されている。特にポテンシャルの高い途上国において植林を推進するためには、政府等による公的資金だけでは不十分であり、民間資金を活用していく必要がある。

これまで、日本を含む世界の民間企業等は、途上国において植林活動を実施してきたが、その大部分は、製紙原料等の生産を目的とした「産業植林」等の「①サプライチェーン内での植林」であった。地球環境保全を主たる目的とした「環境植林」等の「②サプライチェーン外での植林」は、寄付やCSR活動の一環として行われていたため限定的であった。また「植える」行為に主眼が置かれ、植林後の炭素蓄積や生物多様性等への貢献に関する評価はほとんど実施されてこなかった。Bastin et al.(2019)¹が示した世界の植林可能地域を見ると、乾燥地等を中心に、植林が進んでいない地域が存在する(図 1-1)。その要因の一つとして、これらの土地は、気候・土壌条件が悪いため、「①サプライチェーン内での植林」としてビジネスが成立しにくい場所であるといえる。近年、気候変動の緩和・適応、及び生物多様性の保護等を考慮した地球レベルでの持続的な発展のために、「自然を基盤にした解決策」(Nature-based Solutions, NbS)が注目されはじめ、世界的に森林の保護、回復、持続的管理の促進が急務となっている(Seddon et al. 2019²)。こうした中、環境・社会面及びガバナンスに配慮した投資(ESG投資)の重要性が認識され、ビジネスとして成立しにくい場所でも、環境及び社会貢献を重視した植林(以下、森林づくり活動)を推進する機運が高まってきた。そのため、今後は、民間企業等としては、「②サプライチェーン外の植林」に取り組みつつも、「植える」だけでなく、環境・社会面での貢献度を可視化し、投資家や消費者にアピールすることが求められることになる。

¹ Bastin, J. F., Finegold, Y., Garcia, C., Mollicone, D., Rezende, M., Routh, D., ... & Crowther, T. W. (2019). The global tree restoration potential. *Science*, 365(6448), 76-79.

² Seddon N., Sengupta S., et al. (2019) Nature-based Solutions in NDCs: Synthesis and recommendations for enhancing climate ambition and action by 2020. IUCN and University of Oxford.

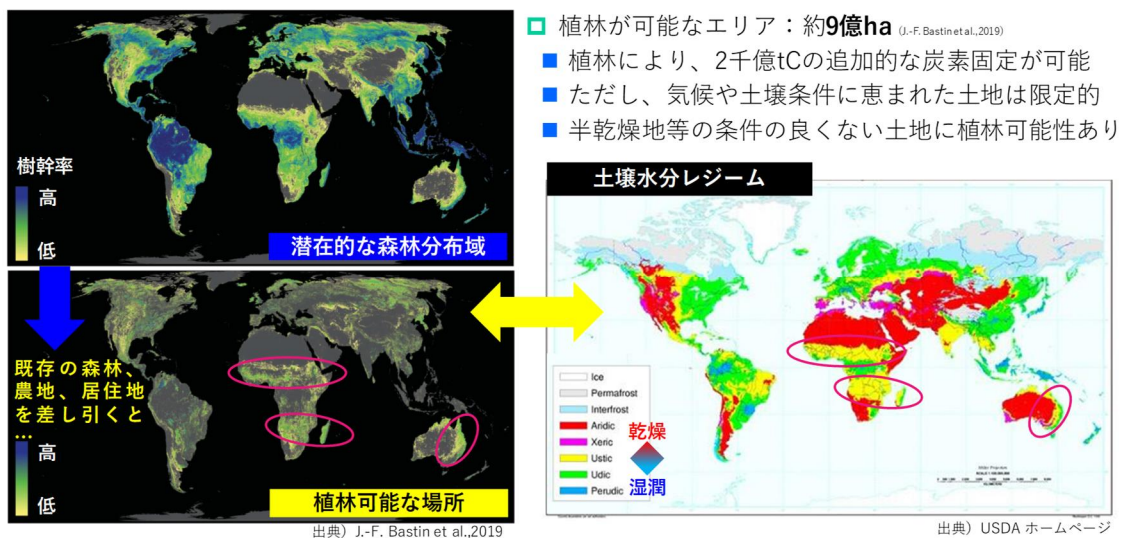


図 1-1 世界の植林可能な場所と土壌水分条件(出典: Bastin et al.(2019)等を基に作成)

森林づくり活動の貢献度を表す指標としては、CO₂ 吸収量や生物多様性といった環境面からの指標のほか、地域住民への配慮や生計向上といった社会面の指標がある。これらの貢献度を指標化し、評価するための国際的な制度としては、既に持続的な森林管理や炭素クレジット量を認証する制度等が存在する。しかし、それら国際的な認証制度で要求される基準・指標をクリアするためには、通例、多大なコスト(労力と時間)がかかる。実際、ボランタリーカーボンクレジットプログラムで最もクレジットが流通している、Verified Carbon Standard (VCS) 下の植林(Arr)プロジェクトの95%は 100ha 以上の植林を実施しており、ある程度面積が大きくないと、コストに対して得られるクレジットが少なく、成立しづらいことが予想される。そもそも、炭素クレジット等はあくまで、流通(売買・転売)可能にするためのものであり、自社の森林づくり活動の貢献度を可視化するにあたり、必ずしも必須なものとは限らない。また、企業によっては、途上国で 100ha 規模の森林づくりを行うのは、ハードルが高いだろう。森林づくり貢献度可視化は、実際に森林づくりを行う現場の状況や企業のニーズにより、重視すべき側面や定量化への要求度も異なるはずであり、それに柔軟に対応できるものである必要がある。

そこで本事業では、自社の営利活動に対する社会的評価の向上や ESG 投資の呼び込みをインセンティブとした民間企業等による途上国での多様な森林づくり活動を促進するため、クレジット認証等よりも低コストで、かつ簡易に環境・社会貢献度を可視化する手法を開発する(図 1-2)。手法開発にあたっては、既存の関連情報・事例を収集・分析するとともに、実際の森林づくり活動を対象とした実証試験を通して、貢献度を評価する項目、指標を設定し、それらの指標を実際の植林地で測定・判断するための適切な方法を検討する。また、情報を集積した Web サイトの構築やセミナー開催により、我が国の民間企業等へ成果を提示し、普及を図る。



図 1-2 本事業の目的

1.2 事業の進め方

1.2.1 事業運営委員会の開催

事業運営委員会(以下「委員会」という。)を設置し、事業方針、事業計画、実施方法、成果の取りまとめ等、本事業の運営に関する事項を検討した。委員会は、気候変動、森林減少・劣化、国際林業協力、民間部門による途上国の森林保全の取組等に関する知見を有する者 6 名の委員で構成される(表 1-1)。今年度はコロナ感染症拡大防止のためオンラインとの併用で 3 回開催した。委員会での検討結果は第 6 章に記した。また、委員会で使用した資料は第 7 章に掲載した。

表 1-1 事業運営委員会の委員

氏名	所属及び役職	専門分野
足立 直樹	株式会社レスポンスアビリティ 代表取締役	民間部門(生物多様性、ESG 投資)
岩田 英治	日本製紙株式会社 基盤技術研究所 主任研究員	民間部門(森林経営)
川口 大二	JICA 地球環境部 技術審議役	国際林業協力
北島 薫	京都大学大学院農学研究科 教授	気候変動(熱帯生態)
鈴木 圭	日本森林技術協会 シニアコーディネーター	植林・森林経営(リモートセンシング)
平塚 基志	早稲田大学人間科学学術院人間科学部 准教授	植林・森林経営(社会林業)

1.2.2 森林づくり活動の貢献度可視化手法の開発

途上国における森林づくりの活動の環境面・社会面での貢献度を評価する項目、指標、及び達成すべき水準(基準値)、並びにそれらの指標を測定(モニタリング)・判断するための適切な方法について、既存の可視化手法を収集・整理した。令和 5 年度は、国際的なボランタリーカーボンク

レジットプログラムのひとつである Plan Vivo に着目し、炭素ストック、生物多様性、住民便益といった評価項目についての可視化手法や指標を整理・分析した。また、最近の生物多様性クレジットや SBTs for Nature の動向についても整理・分析した。

また、既存の文献や事例を基に試算した森林づくり活動の貢献度可視化手法が、途上国で適用可能かどうかを実証するため、実際の森林づくり活動対象地での実証試験を行った。令和 5 年度に行った実証試験は、表 1-2 の 2 件である。実証試験で検討した可視化手法は、前述の事業運営委員会に加えて、4 名の外部専門家から構成される技術検討委員会でも、技術的なアドバイスをいただいたうえで、最終化し報告書にまとめた。各実証試験の詳細は第 3 章と第 4 章に記した。

表 1-2 令和 5 年度に実施した 2 つの実証試験

実証試験名	実施者	可視化対象	R5 年度までの実証試験の内容
ケニア半乾燥地における長根苗を用いた小規模農家向け植林の貢献度可視化	JIFPRO (コマツと KEFRI に一部委託)	炭素ストック (植林生残木)、住民便益(燃材供給)	R4 年度:長根苗育苗、ドローンによる植栽苗の検出、既存植林地の成長量調査、住民の燃材消費に関するベースライン調査
			R5 年度:長根苗技術開発、衛星画像による小規模農家向け植林のモニタリング手法開発、植林木による燃材供給ポテンシャル予測
マレーシア・サバ州での越井木材工業(株)アカシア産業植林事業地の炭素蓄積と生物多様性評価	JIFPRO (サバ大学に一部委託)	炭素ストック、生物多様性	R5 年度: 用材生産を目的とするアカシア・ハイブリッド植林地における炭素固定と植物多様性保全効果の評価、地元大学との協力関係の構築

1.2.3 普及ツール等による情報発信

令和 5 年度は、民間企業が途上国で森林づくり活動を検討するにあたって役立つ情報、本事業で行った実証試験の結果等を掲載する情報集積 Web サイト「途上国森づくりワークス -植えるを視える化-」を構築した。

また、途上国における森林づくり活動に関心のある民間企業や団体、援助機関等を対象として、上記 1.2.2 の成果等に関する情報を提供するセミナーを 3 月 14 日に開催した。セミナーでは、民間企業などと連携して植林を実施している団体の活動や、本事業で検討した可視化手法の紹介を行なった。セミナーに参加した人数は 124 名であった。

セミナーの概要は第 5 章に記し、セミナーの資料は第 7 章に掲載した。

1.2.4 報告書等の作成

本報告書を作成した。本報告書は農林水産省の Web サイト及び本事業で構築した Web サイト上にも公表する予定である。

2. 住民便益および生物多様性を可視化する既存手法の分析

国際緑化推進センター(JIFPRO) 山口 はるか、柴崎 一樹、田中 浩

2.1 はじめに

本章では、植林活動による生物多様性や住民便益への貢献度の可視化手法を分析するにあたり、まず、既存の国際的な取り組みから、令和4年度に検討したCCBSと並びこれら二つの便益を重視するPlan Vivoの植林プロジェクト事例をとりあげ、そこでの生物多様性や住民便益への貢献度評価の手法を分析・整理する。続いて、新たに開始した二つの生物多様性クレジットにおける生物多様性維持・向上への貢献度の評価の枠組みを整理する。また、新たに動き出した、民間セクターに対し自然の喪失と気候変動の両方への取り組みを促す国際的なイニシアティブであるSBTs for Natureの動向を簡単に紹介する。

これら、本章で取り上げる生物多様性と住民便益を評価する枠組みの対象、規模、内容と位置付けは、表2-1のように整理できる。最初に取り上げるのは、Plan Vivoが認証した植林プロジェクトである。Plan Vivoは、生物多様性と住民便益のコベネフィットを担保したボランタリー炭素クレジットであり、認証にあたってこれら二つの便益を非常に重視している点に特徴がある。Plan Vivoが認証した植林プロジェクトにおいて、どのように生物多様性や住民便益の向上のための活動が行われ、またその効果をどのように評価しているのか、すでに認証を受け活動しているプロジェクト事例をとりあげ、整理・分析した(2.2)。

また、新たな動きであるボランタリー生物多様性クレジットについては、2023年12月にPlan Vivo Natureが、同年10月にはVerra SD VISta Nature Frameworkが発表されている。これらは独立認証機関による初めての生物多様性クレジットになる。いずれも、まだ実際のプロジェクトの認証にまでいたってはいないが、Plan Vivoではすでにパイロットプロジェクトによる実行可能性の検証などが進行している。民間セクターによる生物多様性保全への関与が強く求められつつある現在、これらの生物多様性クレジット認証の動きが、今後どのように発展・普及していくのか、注視していく必要があることから、2.3ではこの二つの方法論について、比較・分析を行った。

さらに、民間企業の環境負荷の削減、自然の喪失と気候変動の両方への取り組みを促す国際的なイニシアティブである「自然に関する科学に基づく目標設定(自然 SBTs: SBTs for Nature)」をとりあげる。SBTs for Natureは、TNFD(自然関連財務情報開示タスクフォース)と並び、民間企業はその活動の中で、生物多様性に及ぼすリスクの回避やポジティブな貢献を目標として設定し情報を開示する枠組みとして、現在動き出している。いずれも今後、企業による植林活動を、生物多様性と住民便益の視点から、どのように位置づけ評価していくのかを検討する上でも、重要な枠組みになってくると考えられる。そのような視点から、現時点(2024年3月)では、SBTs for Natureのガイドラインは未だ開発中であるが、先行して公開された土地分野のドラフト中の植林活動に関連する内容について概観した(2.4)。

表 2-1 植林による生物多様性と住民便益を評価する枠組み

対象	ボランタリー炭素クレジット +生物多様性と住民のコ ベネフィット	ボランタリー生物多様性ク レジット(Verra、Plan Vivo)	TNFD 提言/ 科学に基づく目標 (SBTs for Nature)
規模	プロジェクト	プロジェクト	企業バウンダリー
民間/公共	民間主導	民間主導	民間主導
生物多様性の 評価	プロジェクトごと (セーフガードや	生物多様性クレジット算定 のための方法論を規定	開発、試行中
住民便益の 評価	Standard が定める要件あ り)	プロジェクトごと(セーフガ ードや standard が定める 要件あり)	事業ごと
実施段階	実施中	順次実施開始	淡水分野は実施開始 土地と生物多様性分 野は実施前

民間企業による生物多様性保全への貢献が強く求められる背景としては、2022年に開催された第15回生物多様性締約国会議(COP15)において、昆明・モンリオール生物多様性枠組み(Global Biodiversity framework :GBF)が採択され、2050年に自然と共生した社会を実現させるための具体的な数値目標が掲げられたことがある。GBF 目標の中では、生物多様性の保全・回復のために年間2,000億ドルの資金を調達することが挙げられており、その手法の一つとして生物多様性クレジットが明示されている。また、民間事業による生物多様性への影響を評価・開示し、措置を進めていくことも明示されており、SBTs for Nature や TNFD など、民間主導のイニシアティブが、国際的に合意された重要な取組みとして位置づけられることにつながった。

2.2 Plan Vivo における住民便益と生物多様性の評価手法分析

2.2.1 Plan Vivo の概要

令和4年度は、Verra が認証する Climate, Community and Biodiversity Standard (CCBS) に着目し、住民便益や生物多様性の可視化手法について分析を行った。Verra は、ボランタリー炭素クレジットプログラムの中で最も多くのクレジットを発行している VCS の認証機関である。VCS プロジェクトの中でも地域コミュニティや生物多様性への配慮に関しての一定の基準を満たしているものには、CCBS とのダブル認証が認められる。CCBS 自体は、炭素クレジットを認証・発行するものではないが、CCBS 認証を得ることで、そのプロジェクトから生まれる炭素クレジットへの付加価値がつくことになる。令和5年度は、Verra と同様、植林や森林保全のプロジェクトに対して、ボランタリー炭素クレジットを認証・発行している Plan Vivo に着目し、住民便益や生物多様性をどのように可視化しているか、その評価手法を整理した。Plan Vivo は Verra に比べると炭素クレジットの流通量は圧倒的に少ないが、国際的には流通・認知されている(図2-1)。また、Plan Vivo のプロジェクトは、地域コミュニティの生計向上や生態系保全を主たる目的・前提としており、Verra (CCBS) とは異なる基

準・視点で、住民便益や生物多様性を評価していることが予想されることから、本調査においてその詳細を分析することとした。

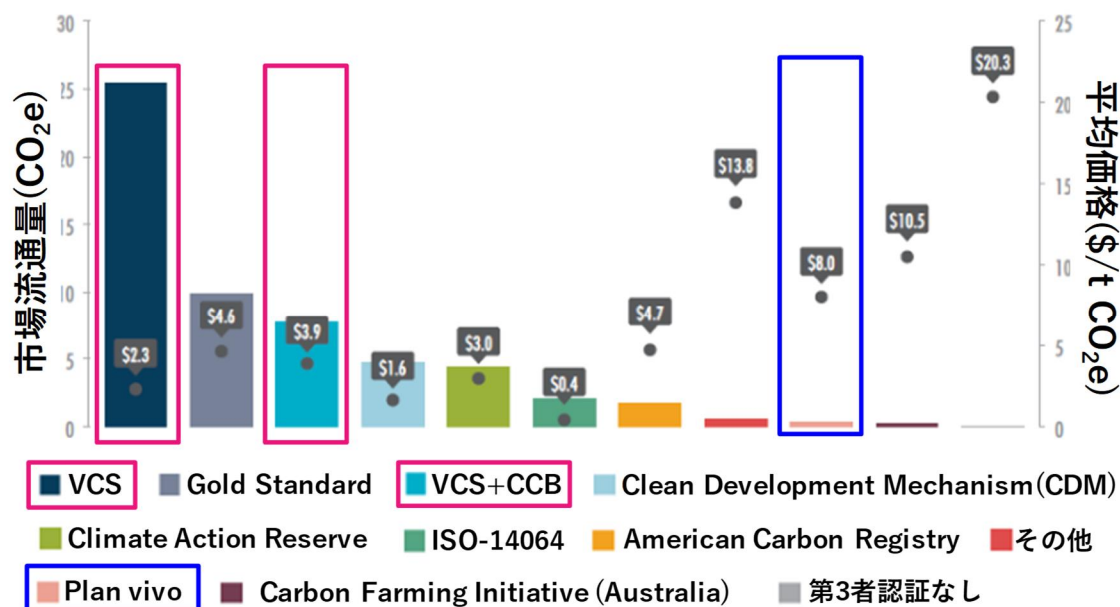


図 2-1 2016 年におけるボランタリー炭素クレジットプログラム別のクレジット流通
(出典: WEF (2021) Consultation: nature and net Zero をもとに JIFPRO 加筆)

Plan Vivo は、元々 1994 年にメキシコで植林を行うコミュニティの支援のために発足した財団で、下の 3 つのコンセプトと掲げている。

- ① 自然環境が悪化したコミュニティに持続可能な生計手段を提供することにより貧困を緩和する
- ② 気候変動や生物多様性の損失から地域コミュニティを守り、地域コミュニティに便益をもたらす環境の回復・保全を行う
- ③ 知識、技術の移転を通じて現地の能力開発を行う

Plan Vivo は、プロジェクトベースで、地域コミュニティを対象とした植林による炭素固定量や森林保全による CO₂ 削減量を炭素クレジットとして認証・発行している(図 2-2)。

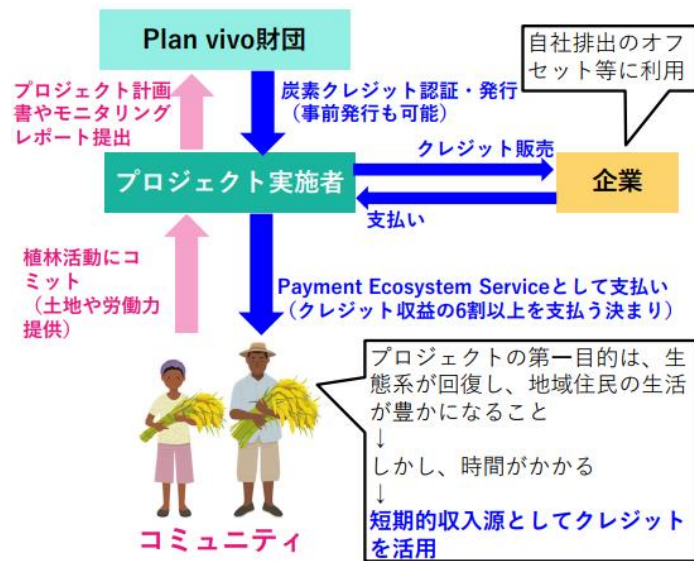


図 2-2 Plan Vivo のコンセプトと炭素クレジット発行の流れ(Plan Vivo HP より JIFPRO 作成)

Plan Vivo のプロジェクト実施や炭素クレジット発行にあたっての要件を Verra (VCS+CCBS) と比較すると表 2-2 の通りになる。Verra (VCS+CCBS) や他のクレジット認証プログラムと大きく異なるのは、クレジット収益の少なくとも 6 割は、参加コミュニティ/住民に直接支払うことを原則としている点である。その背景には、Plan Vivo プロジェクトの第一目的は、地域コミュニティの生活が改善されることであり、クレジット収益はプロジェクト実施者のためではなく、コミュニティ/住民が植林を始めるための一時的なインセンティブとして使われることを想定しており、最終的には植生回復を通して地域住民の生活が豊かになることを目指しているからである。また、通常、炭素クレジット発行は、実際に木が成長したことをモニタリングで示し、第三者による認証を得て発行されるため、事後発行が一般的であるが、Plan Vivo では、植林は成長し炭素を固定するまでに時間がかかることを考慮し、成長予測をベースとした事前発行も認めているところが特徴的である。さらに、Plan Vivo では、炭素クレジット量にも直結する炭素固定量を推定にあたって、Verra (VCS+CCBS) よりも簡便な方法も認めていることが特徴的である(現地でのプロット調査ではなく、将来予測と目標達成率等から推定)。

一方で、生物多様性や住民便益に関しては、プロジェクトによって確実な効果が得られるよう、明確な要件が定められている。例えば、植林する樹種は在来種と帰化種に限定しており外来種は認められていない。帰化種³についても、生態系に悪影響を及ぼさないことが条件になっている。また、住民便益については、炭素クレジット収益を担保することに加えて、プロジェクト対象地の要件として、地域コミュニティによる土地の所有・保有権があることが条件となっている。ここでいう土地の保有権は、法の下での所有だけでなく、慣習的な利用も含まれており (ownership, tenure, user right のいずれかを含むもの)、個人だけでなくコミュニティの共有地も対象としてい

³ Plan Vivo では、帰化種を「外来種のうち、人間による直接的な介入なしに、継続的に繁殖し、1 回以上のライフサイクルにわたって個体群を維持する種」と定義している (Plan Vivo Standard 2013)。

る。地域コミュニティによる所有・保有権が明確な土地において、コミュニティ／住民は植林の管理計画を立て、その目標達成率に応じて PES (Payment for Ecosystem Service) として炭素クレジットの収益の一部を受け取る仕組みになっている。

表 2-2 Verra と Plan Vivo における植林プロジェクト実施や炭素クレジット発行の要件

		Verra (VCS+CCBS) (R4 年度)	Plan Vivo (R5 年度)
炭素 関連	炭素クレジット発行	5年ごとのモニタリングと Verification 後に発行(事後発行のみ)	事前発行/事後発行のどちらか選択可能
	プロジェクト対象地の条件	<ul style="list-style-type: none"> 生態系内での植林の場合は、劣化した自然生態系の回復のための植林に限定 かつその劣化は過去 10 年間に於いてプロジェクト関連活動によるものでないこと (10 年以上前から劣化している土地や優占種が侵略的外来種の場合は、植林対象地として認められる) 地域住民の保有の有無については明記なし(公有地や企業保有地でも可) 	<ul style="list-style-type: none"> 地域住民・コミュニティによる土地の所有・保有権が明確に確保されていること 森林再生・修復を目的とすること
	炭素推定方法	少なくとも 5 年毎に植林地をモニタリング(プロット調査等)して植林地全体を評価	成長予測+目標達成率(植林地での実測を行っていないプロジェクトあり)
生物 多様 性 ・ 住民 便益	全般	炭素クレジット(VS)とは別に、CCBS 認証を申請し通れば評価される →補完的な位置づけ	<ul style="list-style-type: none"> 炭素クレジット認証には、下の事項の担保が必須条件 様々な指標で評価(後述)
	生物多様性	<ul style="list-style-type: none"> 侵略的外来種の植林は認めていない 侵略的でないことが証明できれば、外来種を植えている産業植林でも CCBS 認証可能 	<ul style="list-style-type: none"> 在来種と帰化種を植林すること ※帰化種は住民の合意が得られ、生態系に悪影響を与えないことが条件
	住民便益	炭素クレジットの分配率等、具体的な基準は定められていない	<ul style="list-style-type: none"> 炭素クレジット収益の少なくとも 6 割以上を住民に還元 住民による管理計画の策定

2.2.2 植林を実施する全 14 プロジェクトの概要と調査対象プロジェクトの選定

植林関連プロジェクトは、2023 年 11 月現在 14 件で、そのうち半乾燥地域対象が 3 件、温帯・熱帯地域が 8 件、汽水域が 3 件である(表 2-3)。保全活動が含まれるプロジェクト(ID10~14)は炭素クレジット発行の仕組みが異なることから今回の分析対象外とし、植林を中心に行っている 9 件(ID1~9)について分析を行った。

表 2-3 植林を実施する Plan Vivo プロジェクト一覧

	ID	国	内容	実施者	期間
半 乾 地 域	1	エチオ ピア	コミュニティ強化を通じた共有地の植生 回復 と蜂蜜やアロマオイルの生産向上支援	Ethiotrees（ベルギーとエチオピアの非営利団体）	2016～
	2	タンザ ニア	土地利用の改善を通じた植生 回復	Vi Agroforestry（スウェーデンのNGO）	2008～ 2019
	3	マラウ イ	土地利用の改善を通じた植生 回復	The Clinton Development Initiative （USA クリントン財団）	2007～ 2017
温 帯 ・ 熱 帯 地 域	4	インド ネシア	自然再生補助による流域斜面の植生 回復 と放棄農地の果樹等の収入向上支援	CO2 Operate BV（オランダの企業）	2013～
	5	ティモ ール	自然再生補助による植生 回復 と土地利用の改善	Group Training Northern Territory(GTNT）（オーストラリアの非営利団体）	2011～
	6	ポリビ ア	土地利用の改善と森林認証材生産支援	Sicirec Bolovia（ポリビアの林業会社）	2007～
	7	ウガン ダ	土地利用の改善を通じた保護区間の生態系コリドーの 回復	ECOTRUST（ウガンダの環境保全 トラスト）	2003～
	8	スリラ ンカ	土地利用の改善を通じた保護区間の生態系コリドーの 回復	Conservation Carbon Company（ス リランカのコンサルタント会社）	2010 2018
	9	ニカラ グア	土地利用の改善を通じた植生 回復 と事業支援（製材、木工製品、炭、コーヒー）	Taking Root（ニカラグアの非営利団 体）	2010 ～
	10	メキシ コ	土地利用の改善による豊かな生態系の 回復・保全	AMBIO（メキシコの非営利協同組 合）	1997～
	11	ケニア	土地利用の改善を通じた河川上流域の豊かな生態系の 保全	Water Fund Upper-Tana Nairobi （ケニアの慈善団体）	2017
汽 水 域	12	マダガ スカル	マングロープの 保全・修復 およびナマコや海藻・マングロープ養蜂による生計向上	Blue Ventures（イギリスの慈善団 体）	2018
	13	ケニア	コミュニティ強化によるマングロープ 保全・修復 および地域開発支援（教育・保健・水ニーズ含む）	Association for Coastal Ecosystem Services (ACES) （スコットランドの慈善団体）	2010
	14	ケニア	コミュニティ強化によるマングロープ 保全・修復 および地域開発支援（教育・保健・水ニーズ含む）	Associaation for Coastal Ecosystem Services (ACES)（スコットランド の慈善団体）	2020

2.2.3 植林プロジェクト内の住民便益・生物多様性に関する活動内容

(1) 住民便益に関連した活動

今回対象とした植林プロジェクト 9 件において、住民便益を高める活動は、生計向上につながる

活動と、現金獲得を目的とした活動に分類された(表 2-4)。

生計向上に繋がる活動としては、薪や牧草・用材の確保や、アグロフォレストリー(植林地での野菜や果実の生産)が含まれていた。いずれも自家用が主目的ではあるが、家庭消費の余剰分がある場合は、それを販売し現金獲得につなげている例もあった。他に、土地の境界が明確でない地域(ID2.3)では、植林することで住民の土地を明確にすることも、住民の生活向上につながる活動として挙げられていた。さらにエチオピアの事例(ID1)では、水の確保が課題になっており、コミュニティの植林活動に対する PES の収益により、水確保のための浸透池造成を行っていた。

現金獲得に繋がる活動には、森林に由来する商品(木材や木工製品、コーヒー、果実、蜂蜜、アロマオイル、薬など)の生産支援や、これらを生産するための事業による雇用の創出が含まれる。これらの活動は 9 件中 6 件のプロジェクトで行われており、プロジェクト終了後も、森林を維持することにより住民の暮らしが良くなるように設計されている点が注目される。

表 2-4 Plan Vivo 植林プロジェクトごとの生計向上につながる活動と現金獲得を目的とした活動

ID	国	生計向上	現金獲得を目的とした活動
1	エチオピア	<ul style="list-style-type: none"> ・ 保有権のある土地からの薪や牧草の確保 ・ 浸透池の造成 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 蜂蜜やアロマオイル、お香の生産・技術支援
2	タンザニア	<ul style="list-style-type: none"> ・ 保有権のある土地からの薪や用材の確保 ・ アグロフォレストリー ・ 境界林による土地の明確化 	---
3	マラウイ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 保有権のある土地からの薪や用材の確保 ・ アグロフォレストリー ・ 境界林による土地の明確化 	---
4	インドネシア	<ul style="list-style-type: none"> ・ 保有権のある土地からの薪や用材の確保 	<ul style="list-style-type: none"> ・ コーヒーや果物の生産・販路拡大支援
5	ティモール	<ul style="list-style-type: none"> ・ 保有権のある土地からの薪や用材の確保 ・ アグロフォレストリー 	---
6	ポリビア	<ul style="list-style-type: none"> ・ アグロフォレストリー ・ シルボパスチャー (予定) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 森林認証材の生産・販路確保支援 ・ 果樹等の生産支援
7	ウガンダ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 保有権のある土地からの薪や用材の確保 ・ Saving & Loans Associations (貯蓄貸付組合) 設立支援 	<ul style="list-style-type: none"> ・ プロジェクトによる雇用 ・ 持続的農法によるコーヒーや農業の事業設立支援
8	スリランカ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 保有権のある土地からの薪や用材、非木材林産物の確保 ・ アグロフォレストリー 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 薬や果樹の生産支援
9	ニカラグア	<ul style="list-style-type: none"> ・ 保有権のある土地からの薪や用材の確保 ・ アグロフォレストリー ・ シルボパスチャー 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 事業の支援(コーヒー、炭、製材、木工製品)と市場開拓 ・ 事業による雇用創出

(2) 生物多様性と住民便益を重視した樹種の選定

植林樹種は、在来種(indigenous species, native species)か、帰化種(naturalized species)に限定されており、外来種(exotic species, alien species)は認められていない。具体的な樹種の選定は、プロジェクト関係者や専門家が、住民の要望や土地への適性から候補樹種リストを作成し、その中から住民が実際に植栽する樹種を選択する例、または住民の要望を反映した樹種リストをまず作成し、プロジェクト側が精査して決定する例があった。また、いずれの場合でも、植林の候補樹種リストは第三機関によって検証されていた。

どのプロジェクトにおいても、住民ないしコミュニティが、自らの保有権のある土地に、自ら立てた管理計画に基づき、要件を満たした樹種を選択し、植林している。リスト記載の樹種がすべて植えられているとは限らないが、表 2-5 に示したように、植林の候補樹種リストには多くの樹種が含まれ、多様性のある森林の造成を重視している。特にスリランカの事例(ID8)では、植林だけでなく、天然更新を促し生態系を回復することを目指しており、地域固有種を含む在来種 93 種が選ばれていた。

帰化種については、生態系に悪影響を与えないかが確認された上で植林している(ID2～6、9)。以上のことから、生態系の回復とそこで生活する住民の便益を両立した形で植林が行われていることが分かる。

表 2-5 Plan Vivo 植林プロジェクトごとの候補樹種リスト記載の在来種・帰化種の種数

ID	国	在来種数	帰化種数
1	エチオピア	7	0
2	タンザニア	8	11 (アボガド、マンゴー、窒素固定種等)
3	マラウイ	7	13 (マンゴー、シトラス、窒素固定種等)
4	インドネシア	6	10 (コーヒー、クローブ、ドリアン等)
5	ティモール	3	4 (マホガニー、チーク等)
6	ポリビア	12 (木材生産) 9 (アグロフォレストリー)	3 (チーク、コーヒー、カカオ)
7	ウガンダ	14	0
8	スリランカ	93 (果樹や薬用樹種を含む)	0
9	ニカラグア	5 (果樹) 40 (コーヒーのシェードツリー)	2 (コーヒー、マンゴー)

2.2.4 植林プロジェクトにおける住民便益の評価

前述のとおり、Plan Vivo の認証プロジェクトにおいて、住民便益への貢献自体は、炭素クレジット量に影響するものではないが、プロジェクトの本質的な目的として捉え重視し、それを評価しようとしている。したがって、本調査では実際にどのように住民便益への貢献を評価しているかについて分析した。まず、スタンダードに規定された評価の要件とマニュアルの有無について確認し、次に、それぞれのプロジェクト事例について、具体的な評価手法、すなわちプロジェクト開始時の状態

(ベースライン)を調査しているかどうか、どのような指標を用いているか、誰がどのように調査を行っているのか、という点について、プロジェクト文書や監査報告、年次報告等をもとに整理した。

(1) 住民便益の評価のための要件とマニュアル

2013年のスタンダードでは、ベースラインとしての社会経済評価をプロジェクト開始後1年以内に行うことが要件となっており、地域住民が抱える問題を明確にした上で、プロジェクト活動計画やモニタリング指標を設定することになっている。2016年に作成された社会経済マニュアルでは、住民便益を評価する指標として、現地の人々の生活に関係が深く、定期的かつ簡易に測定可能で、生計の変化に焦点を当てたものを4~5つ設定することを推奨している。具体的には表2-6に示した Specific、Measurable、Attainable、Relevant、Time-bound (SMART)の観点から指標を設けることを推奨している。方法については、アンケート調査や質問票による全数調査は時間と費用がかかるため省略することができるとし、その代わりに住民集会の際に聞き取り調査を行うことや、住民自身が変化を認知できる参加型ワークショップを推奨している。

表 2-6 住民便益を評価する指標選定のための5つの観点 (SMART)

特性	内容	例
Specific	特定のグループに焦点を当てたもの	<ul style="list-style-type: none"> NTFP から現金収入を得た女性の数 学校に出席している女児児童の数
Measurable	計測、観察、分析により測定できる指標 必要な時間、コスト、技術力、道具などを考慮し、実用的な方法で挑戦できる指標	<ul style="list-style-type: none"> コミュニティミーティングに参加している家庭の数 コミュニティ基金から借入可能な金額
Attainable	プロジェクトの結果として（コベネフィットとして）実際に達成できる人々の生活の側面を反映したもの	<ul style="list-style-type: none"> 植林に参加している家庭の数 違法伐採の報告数
Relevant	現地の人々にとって何らかの意義があり、生計に関する側面を測定するもの	<ul style="list-style-type: none"> 清潔な水にアクセスできる家庭の数 洪水に弱い地域に住んでいる家庭の数
Time-bound	プロジェクト期間中または終了までに何らかの変化が期待できる指標で、時間的要素が具体的に記述されているもの	<ul style="list-style-type: none"> プロジェクト終了までに十分な薪を自分の土地から入手できる家庭の数 1年あたり10件の放牧の減少

(出典：Plan Vivo 社会経済マニュアル 2016)

(2) プロジェクト事例からみる具体的な住民便益の評価手法

住民便益をモニタリングするために実際に用いられている評価指標は、表2-7のとおりである。ベースラインの社会経済調査は、9件のうち7件のプロジェクトで明示的に行われていた。他の2件については、未記載のため不明である。

モニタリングの評価指標は、住民便益を重視したプロジェクト活動と直接的に結びついているものが多かった。また、社会経済マニュアルで推奨された SMART の条件を満たす具体的で数値化

しやすいものが用いられていた。

モニタリング評価の実施者は、プロジェクト実施組織のスタッフや住民であるプロジェクトが多く、プロジェクト活動自体の中でモニタリングしている事例が多かった。また、インドネシアのプロジェクトのように、コーヒーや果物の国内外での販売に向けて、価格調査を地元の大学と連携し行う事例も見られた。

調査方法は、プロジェクトの活動記録または住民に対するアンケートやインタビューによるものが多くみられたが、活動記録の具体的な記録方法(参加型ツールが用いられているのか否かなど)は記載がなく不明であった。

表 2-7 各 Plan Vivo 植林プロジェクトが住民便益評価のために選定した指標

ID	国	ベースライン評価の有無	指標 (◎はプロジェクト活動と直接関係)	実施者
1	エチオピア	有	<ul style="list-style-type: none"> ・ 財産や収入源 (インタビュー) ◎ 浸透池の数 ◎ 研修の実施数/テストのスコア ◎ 牧草の収量 ◎ 蜂蜜、エッセンシャルオイル、お香の収量 	プロジェクトスタッフ 住民
2	タンザニア	有	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1日3食取れる家庭の割合 (インタビュー) ・ 土地が登記された農家の数 (/) ・ 貯金額 (/) ・ 女性の起業割合 (/) ◎ 女性の参加割合 (/) ◎ 研修の実施数 	プロジェクトスタッフ
3	マラウイ	不明	<ul style="list-style-type: none"> ・ 果樹等の販売による収入 ◎ 果樹の生産量 ◎ 土壌が改善された土地 ◎ 女性のプロジェクト参加数 	不明
4	インドネシア	有	<ul style="list-style-type: none"> ◎ 果樹等の販売による収入増加 ◎ 女性の参加者数 ◎ 研修への参加者数 ◎ 収穫物の加工 (コーヒーやオイル) の参加者数 ◎ 市場で売られた果樹等の数量・価格 (国内外) 	農民、プロジェクトスタッフ インドネシア大学学生
5	ティモール	有	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地域の助成金プログラムへの参加 ◎ 女性の参加者数 ・ 奨学金の数 	プロジェクトスタッフ

			・ マイクロビジネス研修への参加女性数	
6	ポリビア	有	◎ 焼畑、集約的稲作、牧畜と木材収入による比較 ◎ 木材生産量 ◎ 土地利用の変化 (特にアグロフォレストリー面積) ◎ 子どもや女性が労働に動員された数	プロジェクト、外部専門家
7	ウガンダ	有	◎ プロジェクトによる雇用数 ◎ プロジェクトがサポートした Saving & Loan (借入) 数 ◎ プロジェクトが支援した圃場数 ◎ 共有地の数・面積 ◎ コミュニティグループ数 ・ コミュニティミーティングへの参加者数 ・ 学校への就学児童数 ・ 男女別 PES 収入 ・ プロジェクトが支援した事業(圃場含む)での就労数 ・ 女性のプログラム参加者数および事業数 ・ 土地保有権を持つ家庭数 ・ 気候変動会議への参加者数 ・ ウェルビーイング調査の各クラスの割合、および上位に移動した割合	プロジェクトスタッフ、農民グループ
8	スリランカ	有	・ 農民の毎月の収入/収入源 ・ 自営に従事する女性の数 ・ 食料の安全保障が確保されている世帯数 ・ 経済的に自立した女性の数 ・ 食品や水に関連する疫病数の減少 ・ 栄養不良の子供の減少 ・ 換金作物や食用作物を栽培・生産できる人口数	不明
9	ニカラグア	不明	◎ 雇用された一時雇用者数(土地持ち労働者の割合、女性の割合含む) ◎ 正規雇用者数 ◎ ワークショップ開催数/参加者数	プロジェクトスタッフ

2.2.5 植林プロジェクトにおける生物多様性の評価

次に、生物多様性への貢献をどのように評価しているかについて、前述の住民便益と同様の手法(2.2.4)で分析を行った。

(1) 評価要件とマニュアルの有無

生物多様性については、2013 年のスタンダードでは、ベースラインの必要性和モニタリング頻度については、要件として明確には定義されておらず、また評価手法のマニュアルは整備されていなかった。

(2) プロジェクト事例からみる具体的な生物多様性の評価手法

生物多様性をモニタリングするために実際に用いられている評価指標は、表 2-8 のとおりである。なお、プロジェクト参加農家数や植林対象面積は、炭素評価のモニタリングと共通するため掲載していない。プロジェクト開始時のベースライン調査の結果は、プロジェクト 9 件のうち 3 件(予定含む)で明示的に示されていた。他の 6 件のプロジェクトでは、COVID-19 などの影響で実施されていないケースも含め、プロジェクト開始時の多様性の評価は示されていない。

プロジェクトで用いられている評価指標は、【プロジェクト活動と直接つながる指標】と、【在来種・帰化種の植林による間接的な効果を測る指標】に大きく分けられた。

【プロジェクト活動と直接つながる指標】には、植林に関する指標(植林木の在来種の割合、植林された流域の面積、ha あたりの植林木数、被覆面積)と保護区からの薪の採取量、山火事発生件数が挙げられた。

その他の指標は、【在来種・帰化種の植林による間接的な効果を測る指標】になり、生物多様度指数や、動植物の種数あるいは個体数、土壌や水に関するものが挙げられた。

実施者については、いずれの事例でも、プロジェクトのスタッフが、実際にモニタリングに従事している。1 件のみ、コンサルタントに委託予定としているケースがあった。専門度が高い調査については大学と連携して行なっている(または連携予定)例が 3 件みられた。エチオピアの事例では、バイオマス、土壌、水文地質、流水口の水量の変化を炭素のモニタリングと併せて大学と実施していた。いくつかの事例では、現地調査には地域住民も一緒に参加し、彼らの技術向上や生態系回復への認知を上げることも目的としていた。

表 2-8 各 Plan Vivo 植林プロジェクトが生物多様性評価のために選定した指標

ID	国	ベースラインの有無	モニタリングのための評価指標 (◎はプロジェクト活動と直接つながるもの)	実施者
1	エチオピア	有	<ul style="list-style-type: none"> ・ 植生調査に基づく多様度指数 (シャノンの H') ・ 哺乳類と鳥類の種数 (農民インタビュー) ・ バイオマス、土壌、地質、流水口の水量の変化 	住民、プロジェクトスタッフ、ベルギーとエチオピアの大学関係者
2	タンザニア	不明	◎ 植林木の在来種の割合	プロジェクトスタッフ
3	マラウイ	不明	◎ 植林された流域の面積 <ul style="list-style-type: none"> ・ 表面土壌流出の件数 ・ 無計画な火入れの件数 ・ 非持続的な森林利用の減少 	不明
4	インドネシア	予定	◎ ha あたりの植栽本数/在来種の種数 ◎ 被覆面積 (ドローンと衛星) ◎ 山火事発生件数 <ul style="list-style-type: none"> ・ カメラトラップで観測した動物種数 ・ 植物相の多様性 (Plant-diversity 指標) ・ 鳥類・陸上動物・樹上動物・土壌生物の種数/個体数 	農民、プロジェクトスタッフ、インドネシアの大学生
5	ティモール	予定	<ul style="list-style-type: none"> ・ 外来種や病害虫による被害面積 ・ 陸生哺乳類、鳥類、カエル、その他爬虫類の種数/個体数 	プロジェクトスタッフ、農民 オーストラリアの大学 (予定)
6	ポリビア	不明	<ul style="list-style-type: none"> ・ 植生の多様度指数 (シンプソンの α) ・ 葉面積指数 ・ 植生の被覆率 ・ 表面流出の水量 ・ 土壌構造/土壌流出量 	コンサルタント (予定)
7	ウガンダ	有	◎ 保護区からの薪の採取量 ◎ 在来種の植林割合 ◎ プログラムにより回復した流域のリスト (写真)	プロジェクトスタッフ
8	スリランカ	不明	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水質 (BOD) ・ 無秩序な森林への侵入の減少 	不明
9	ニカラグア	不明	<ul style="list-style-type: none"> ・ 固有種の数 	プロジェクトスタッフ

(3) CCBS と Plan Vivo の植林プロジェクト事例からみる生物多様性評価のための指標

植林の目的に応じて、どのような評価指標が選択されているかをみるために、令和 4 年度に分析した VCS+CCBS プロジェクト 11 件の指標と、今回検討した Plan Vivo プロジェクト 9 件の指標を整理した(表 2-9)。各指標は、「脅威/圧力またはそれに対する対策」、「森林被覆による効果(生息地の創出)」、「生態系としての機能・防災」、「組成(種構成)」の 4 つの類型に分類した。なお、Plan Vivo では、住民の土地保有権がある場所がプロジェクト対象地の要件になっているため、産業植林や砂漠化防止の植林は含まれていない。一方、CCBS では、産業植林と砂漠化防止のための植林も対象に含まれ、プロジェクト開始前の荒廃地と比較し、その被覆による効果を定性的な指標で評価している。また、「荒廃地の状態では生息できない野生動物や鳥類の生息地の創出」を定量的に評価するため、そういった種を特定した上でその生息数が指標に含まれている。

Plan Vivo と CCBS に共通する、生態系保全やアグロフォレストリーのための植林では、それぞれの類型について多くの指標での評価が行われ、生物多様性の保全が重視されていることがわかる。また、生態系の組成(種)に関する様々な指標が含まれていた。いずれの植林プロジェクトでも、専門度が高く、時間とコストもかかる調査については、大学機関との連携や住民との協同によりモニタリングを行うというような対応をしているプロジェクトが多くみられた。

表 2-9 植林プロジェクトにおける生物多様性評価のための指標の類型化

(注:本調査対象プロジェクト(CCBS(11件(令和4年度))と Plan Vivo(9件))が選定した指標を4つに分類)

植林の目的	脅威/圧力またはそれに対する対策	森林被覆による効果 (生息地の創出)	生態系としての機能・防災	組成(種)
生態系保全 /アグロフォ レストリー	<ul style="list-style-type: none"> ・天然林からの薪炭材採取量 ・山火事発生件数 ・無計画な火入れの数 ・外来種や病害虫の被害面積 ・無秩序な森林の開拓 	<ul style="list-style-type: none"> ・景観向上 ・回廊、保護区バッファゾーン創出・保全 ・野生生物生息地保全 ・カルスト地帯等の無立木地での植林 ・葉面積指数 	<ul style="list-style-type: none"> ・流域保全 ・山地・土壌侵食防止 ・地滑り・洪水減少の程度 ・地下水・放流水量 ・土壌成分 ・水質 	<ul style="list-style-type: none"> ・絶滅危惧種/在来種/帰化種の植林本数 ・在来種の割合 ・野生動物観察数 ・野生動物、鳥類、昆虫、土壌生物の種類・個体数 ・生物多様度指数(シャノン係数、シンブソン係数)
産業植林 (CCBSのみ)		<ul style="list-style-type: none"> ・コリドー創出/景観向上 ・ゾーニングによる天然林・河畔林の保全/希少種植林 ・荒地には生息できない森林性動物の住処 ・サイクル伐期による裸地化防止 	<ul style="list-style-type: none"> ・土壌侵食の回復 	<ul style="list-style-type: none"> ・野生動物種数
砂漠化防止 (CCBSのみ)		<ul style="list-style-type: none"> ・サイト周辺の野生動物の保護 	<ul style="list-style-type: none"> ・砂防効果 	<ul style="list-style-type: none"> ・鳥類観測数

2.2.6 Plan Vivo スタンダード改変に伴う住民便益と生物多様性の評価の強化

今回の事例分析の対象としたプロジェクトは、2013 年のスタンダードに準拠し(もしくはそれ以前に)実施されていた。2013 年のスタンダードでは、生物多様性の評価要件は炭素を含めた「生態系 (ecosystem)」の 카테고리の中で定められていた。しかし、改編された 2022 スタンダードでは、「炭素」と「生態系 (ecosystem)」が別の 카테고리に分かれ、「生態系 (ecosystem)」も独立に評価要件が定められている(図 2-3)。

具体的には、プロジェクト開始時のベースライン調査、5 年ごとのモニタリングが要件として明示され、シンプルで費用対効果の高い指標を用いることや住民参加型によるモニタリングが推奨されている。住民便益についても同様に強化されている。その背景としては、社会・環境面でのセーフガードやネイチャーポジティブ運動の高まりがあり、プロジェクトの質を高めると同時に、情報開示を行うことで、炭素クレジットの買い手や寄付金のドナーに対する魅力を向上し、より多くの資金獲得につなげたいという意図があると思われる。

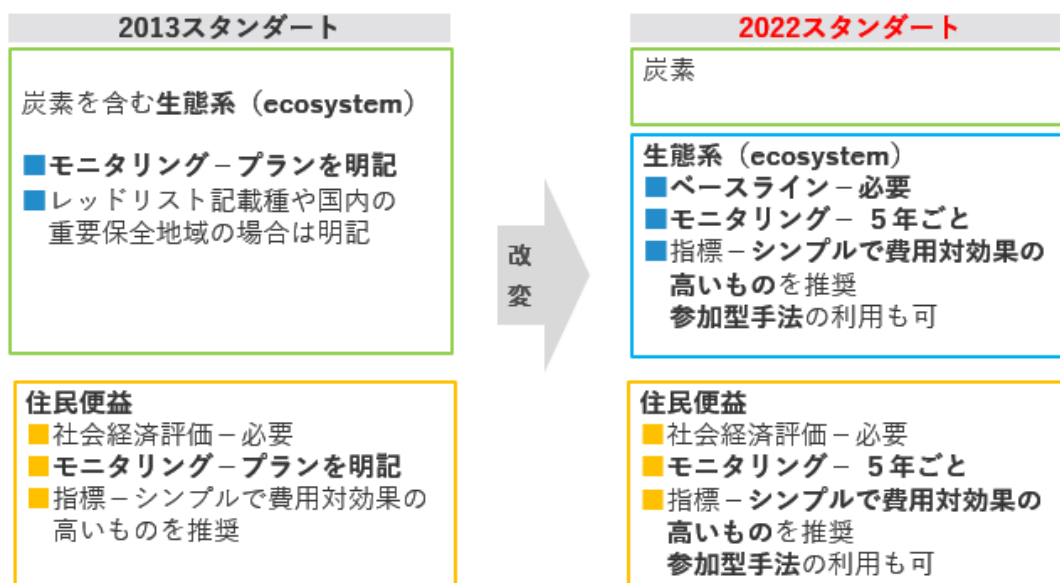


図 2-3 Plan Vivo スタンダードの改変(2013 年と 2022 年のスタンダードの比較)

(Plan Vivo Standard ver4.0 及び ver5.0 をもとに著者作成)

2.3 生物多様性クレジット下での生物多様性評価の仕組み

2.2 では、Plan Vivo の認証プロジェクトにおいて、炭素クレジットの品質を高めるものとして、生物多様性と住民便益に対する貢献がどのように評価されているかを整理した。本節では、生物多様性自体の価値を資産化し、取引できるようにする仕組み、いわゆる生物多様性クレジットの認証に向けた動きを検討し、そこでの生物多様性の定量化の手法について見ていく。

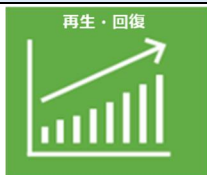
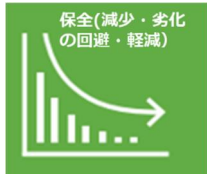

炭素クレジットでは、固定する炭素量が定量化の単一の指標になっているが、生物多様性を測る単一の指標はなく、多種多様な生態系における生物多様性をどのように定量化するかが課題になっている。本節では Plan Vivo が 2023 年 12 月に発表した生物多様性クレジットと、Verra が同年 9 月に発表した生物多様性クレジットのドラフトについて比較分析を行い、こうした指標化、定量化

の課題にどのように対応しているかを検討する。なお、Verra の生物多様性クレジットは、Nature Framework と呼ばれ、SD VISta (Sustainable Development Verified Impact Standard)⁴という認証の下に位置づけられている。

2.3.1 生物多様性クレジット発行の対象となる活動タイプ

生物多様性クレジットの活動タイプは、再生・回復、保全(減少・劣化の回避)、保全(現存量の維持)の3つに分けられる(表 2-10)が、両認証機関で生物多様性クレジット創出のためのプロジェクト活動の分類に違いがみられる。Verra では、生物多様性の減少・劣化の回避といった活動を「保全(Conservation)」としているのに対し、Plan Vivo は減少・劣化のシナリオに対する保全活動は、対象外であり、それらの活動からのクレジットは認められない。また、Plan Vivo では、生物多様性の観点から重要度・危機度が高い地域において、現存量を 90%以上維持する活動を「保全(Conservation)」と位置付けている。登録条件としては、生物多様性重要地域(Key Biodiversity Area:KBA)基準のうち1つ以上、または、重要植物地域(Important Plant Area :IPA)基準のうち2つ以上満たすことが必要とされる。他方、Verra では、地域住民による適切な自然資源管理(活動)を、減少・劣化のシナリオを用いずに評価する「スチュワードシップ(Stewardship)」という仕組みも検討している。この対象地域には、KBA だけではなく OECM (Other Effective area-based Conservation Measures)も含まれる予定で、Plan Vivo の「保全(Conservation)」よりも対象地域が広がることが予想される。

表 2-10 Verra と Plan Vivo の生物多様性クレジットの活動タイプ

	Verra (ドラフト)	Plan Vivo
 <p>再生・回復</p>	Restoration	Restoration 重度汚染地域は対象外
 <p>保全(減少・劣化の回避・軽減)</p>	Conservation (減少・劣化の回避)	減少・劣化シナリオと比較した生物多様性クレジットは対象外
 <p>現存量の維持・評価</p>	Stewardship ※減少・劣化シナリオに基づかないものを検討中 地域住民により適切に自然資源管理されている地域 (KBA や OECM)	Conservation 生物多様性の世界的に重要な地域の保全 ※KBA 基準のうち1つ以上、または、IPA 基準のうち2つ以上満たすことが要件

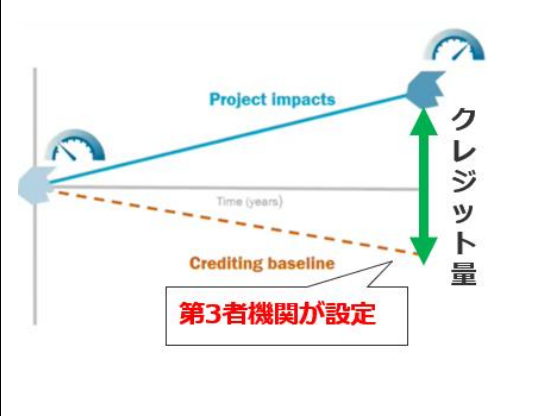
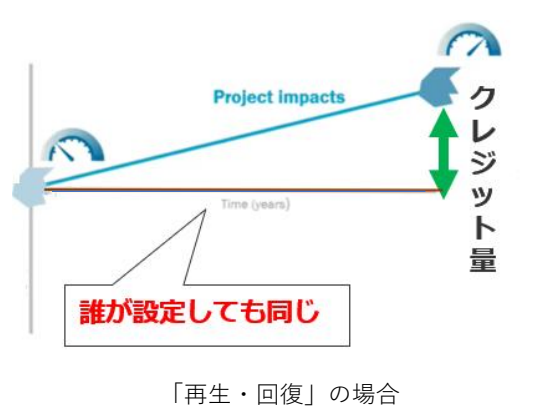
(Verra Newsletter 2022 及び Plan Vivo Methodology をもとに著者作成)

⁴ CCBS は、気候変動プロジェクトを対象とする、地域コミュニティや生物多様性への配慮に関する一定の基準を満たしていることを認証するのに対し、SD VISta は気候変動に限らず持続的な開発に資するプロジェクトを認証するものとしている。

2.3.2 生物多様性クレジット創出に係るベースラインの設定方法

炭素クレジットと同様に、生物多様性クレジットでもベースラインの設定が検討され、両認証機関では、プロジェクトごとのベースライン設定における恣意性をなくし信頼性を担保するための工夫がなされている(表 2-11)。

表 2-11 Verra と Plan Vivo のベースラインの設定方法

Verra (ドラフト)	Plan Vivo
プロジェクト不在の場合の減少・劣化の予測値を加味して評価	プロジェクト後の実質的な変化だけを評価 (減少・劣化予測を用いない)
 <p>第三者機関が設定</p>	 <p>誰が設定しても同じ</p> <p>「再生・回復」の場合</p>

(Verra Nature Framework をもとに著者作成)

Verra では、プロジェクト不在の場合の生物多様性の減少・劣化予測値をベースラインとしている。生物多様性の減少・劣化予測は「CECs: Country Ecoregion Components: (生態学的・政策的に同一地域)」の減少・劣化傾向を幹線道路や住宅地からの距離といった開発要因に基づき、第三者機関がリスクを分配して設定する。このリスクをマッピングし分配するためのツールは Verra が開発中である。同一の CECs 内で複数のプロジェクトがある場合、それぞれのプロジェクト間で整合性が取れた設定値になる。これは Verra が 2023 年 11 月に発表した Consolidated approach (VM0048) と同様の考え方で、炭素クレジットの森林保全プロジェクトの教訓 (REDD 活動における恣意的なベースライン設定の回避の必要性) を踏まえたものになっている。

一方、Plan Vivo では生態系は地域固有のものであるため、他の地域の過去の傾向に基づく予測値は使用しないとしている。そのため、プロジェクト不在の場合の減少・劣化予測のシナリオは用いず、プロジェクト後の実質的な変化だけを評価する。「再生・回復」では、プロジェクト開始時を 0 とし、プロジェクトにより再生・回復させた量が生物多様性クレジットの対象になる。「保全」では、プロジェクト開始時の生物多様性を 100% とし、90% 以上を維持した場合、維持した量に応じてクレジット発行する。基準値はプロジェクト開始時の値になるので、減少・劣化予測にとまなう不確実性が回避され、クレジット量評価の信頼性が担保される。

2.3.3 生物多様性クレジット創出のための評価指標と測定方法

定量化の手法として、両認証機関とも「種」と「生態系」に関するいくつかの指標を組み合わせているが、各認証機関が設定している範囲やサンプリング方法が異なっている(表 2-12)。

表 2-12 Verra と Plan Vivo の生物多様性クレジットの評価指標と測定方法

	Verra (ドラフト)	Plan Vivo
評価指標	<p>組成(種)から2つ以上</p> <p>例)</p> <ul style="list-style-type: none"> -鳥類の種数 -キーストーン種の個体数 <p>構成(生息地)から3つ以上</p> <p>例)</p> <ul style="list-style-type: none"> -地上部バイオマス量 -森林被覆率 <p>※上記とは別に Ecosystem or biome-specific modules を開発中</p>	<p>Pillar1 種数</p> <ul style="list-style-type: none"> •4つの種群の種数の和 (植物と鳥類が必須) <p>Pillar2 生物多様性指数</p> <ul style="list-style-type: none"> •4つの種群の生物多様性指数の和 <p>Pillar3 分類学的非類似性</p> <ul style="list-style-type: none"> •4つの種群内の非類似性の和と種群間の非類似性 <p>Pillar4 生息地の健全性 (植生密度)</p> <ul style="list-style-type: none"> •衛星データを基に毎年植生指数 (NDVI) を測定、指標化 <p>Pillar5 生息地の連続性 (Connectivity)</p> <ul style="list-style-type: none"> •5年毎に高解像度の衛星データと現地調査を基に測定、指標化。Validation, Verificationの一環。
測定方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ サンプリング方法は検討中 ・ 5年ごとに測定 	<ul style="list-style-type: none"> ・ サンプリング地点はアルゴリズムにより Plan Vivo が毎年選定 ・ 少なくとも年1回、同じ時期に測定 ・ 測定したデータは環境分析会社 (PIVOTAL) により分析

Verra のドラフトでは、2 つの種に関する指標と、3 つの生息地に関する指標を、プロジェクトサイトの生態系をよく知るプロジェクト実施者が選択できるようにしている。またこれに加え、生物多様性の豊かな生態系や危機に瀕した生態系を対象にしたモジュール (Ecosystem or biome-specific modules) も開発中である。これは生態系にとってマイナスの影響を与える、外来種や狩猟、土地利用の変化などの「圧力」を含む指標となる予定で、特定の生態系の状態を定量化するツールの一つとして検討中である。

一方 Plan Vivo では、プロジェクト実施者の主観的な選択による恣意性を可能な限り減らすため、測定する指標の範囲やサンプリング方法を詳細に設定している。具体的には Pillar と呼ばれる指標の柱が 5 つあり、種に関する 3 つの Pillar、「種数」、「生物多様度指数」、「分類学的非類似性」と、生息地に関する 2 つの Pillar、「健全性」、「連続性」について内容を詳しく定義している。種に関する Pillar では、プロジェクト地域の生物多様性の変化を捉えるのに適切な 4 つの種群(植物と

鳥類の二つが必須)について計測することを定義している。

また Pillar5 の「生息地の連続性」は、高解像度の衛星データを解析し、生息地のパッチがどのように連続しているかを指数化するものであるが、第三者機関による検証(verification)の際に現地確認を行うことが含まれている。さらに測定したデータの分析や数値化は、指定された環境分析会社(PIVOTAL)が実施することになっており、専門性を高めプロジェクト側の負担を軽減するよう設計されている。

2.3.4 測定値から生物多様性クレジットへの換算方法

次に、測定した指標をどのように生物多様性クレジットに換算するかについて、両認証機関のアプローチを比較した(表 2-13)。

表 2-13 Verra と Plan Vivo の生物多様性クレジット換算方法

	Verra (ドラフト)	Plan Vivo
何をみるか	「プロジェクトによる生物多様性状態の値」と「プロジェクト不在の場合の劣化した生物多様性の状態」の差	生物多様性の状態がプロジェクト開始前と比べ何%変化したか
どのように算出するか	各指標のコンディション値(reference value に基づく)を算出し、平均値を求める	各指標の柱(Pillar)の前年比変化率の累積和を求める

(1) Verra(ドラフト)の生物多様性クレジットの換算事例

Verra では、「プロジェクトによる生物多様性状態の値」と「プロジェクト不在の場合の劣化した生物多様性の状態の値」の差から生物多様性クレジットの量を定めている。

そのためにまず、「reference value」を用いて、各指標の値を算出する。すなわち、コンディション値を「reference value」で割り、0 から 1 の同じスケールの値に揃える(標準化する)。ここでいう「reference value」とはプロジェクト地域の生態系が「攪乱を受けていない成熟した生態系の状態」であった場合の値を指し、第三者機関が生態系ごとに設定する予定になっている。表 2-14 に、マレーシア・サバ州の森林プロジェクトの各指標の「reference value」とプロジェクト開始時のコンディション値と標準化したコンディション値を Verra Nature Framework より抜粋して記載する。

表 2-14 マレーシア・サバ州の森林プロジェクトを例にした
各指標の reference value、コンディション値、標準化したコンディション値

	指標	reference value (※は標準化された 値)	プロジェクト開始時の コンディション値	プロジェクト開始時の 標準化した コンディション値
組成 (種)	鳥類の種数	1※	0.51	0.51
組成 (種)	カエルの種数	1※	0.03	0.03
構造 (生息地)	森林被覆率 (%)	66%	12%	0.12/0.66 = 0.18
構造 (生息地)	地上部バイオマス 半径 250m サンプリ ングプロット (t/ha)	218 (t/ha)	39.6 (t/ha)	39.6/218 = 0.18
構造 (生息地)	地上部バイオマス 半径 100m サンプリ ングプロット (t/ha)	220 (t/ha)	17.5 (t/ha)	17.5/220 = 0.08

出典：マレーシア・サバ州における SAFE (the Stability of Altered Forest Ecosystems) プロジェクト⁵ (Verra Nature Framework 9章より抜粋)

次に標準化した各指標のコンディション値の平均を算出し、t 時点の生物多様性の状態を算出する。t 時点での生物多様性クレジット量は、「プロジェクトによる生物多様性状態のコンディション値(C_t)」x「面積(E_t)」と「プロジェクトがない場合の劣化した生物多様性の状態の値」x「面積」の差になる(図 2-4)。

NBI (生物多様性クレジット量) = $E_t C_t - E_0 C_0 (1 + t \cdot B)$ ※ B はプロジェクトサイトにおける生物多様性劣化率

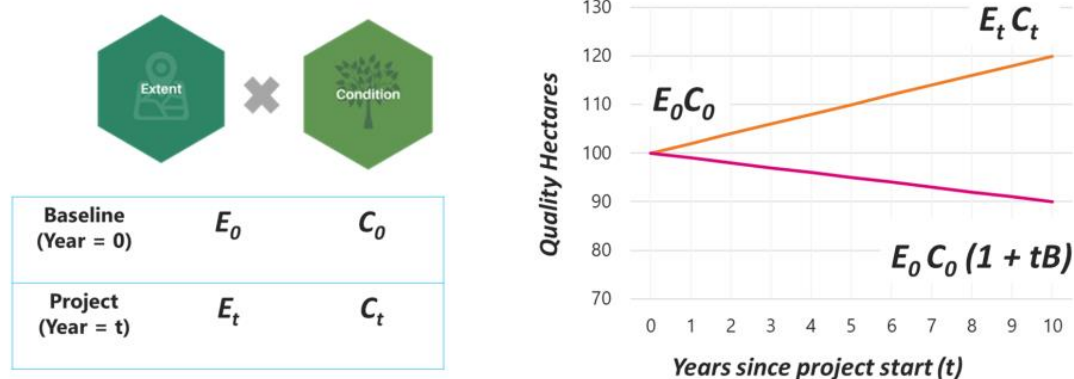


図 2-4 Verra の生物多様性クレジットの算出方法(出典: Verra Nature Framework)

⁵ Ewers, Robert M., Raphael K. Didham, Lenore Fahrig, Gonçalo Ferraz, Andy Hector, Robert D. Holt, Valerie Kapos, et al. "A Large-Scale Forest Fragmentation Experiment: The Stability of Altered Forest Ecosystems Project." *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 366, no. 1582 (2011): 3292-3302.

(2) Plan Vivo の生物多様性クレジットの換算事例

Plan Vivo では、「reference value」としての「攪乱を受けていない成熟した生態系の状態」は生態系のタイプや場所だけでなく、面積や測定方法など様々な要素によって異なるため、多くの文献調査と再現性の検証といった研究が必要であると考えている。他方、Plan Vivo では、そのような研究が不十分でありながらも、生物多様性の保全や回復のために、早急に資金が必要な地域コミュニティに対し支援することを目的としているため、「reference value」は用いないとしている。その代わりに、各年の変化率を用いて生物多様性の状態がプロジェクト開始前(この状態を 100%とする)と比べ何%変化したかを生物多様性クレジットに換算している。

図 2-5 の各バーは1年ごとの変化率を示し、各年のバー内の色の異なる部分は、それぞれ5つの柱となる指標の変化率を表している。各柱の経年変化率の累積和(マルチメトリック:黒線)は、生物多様性の全体的な傾向を指標する値となっている。

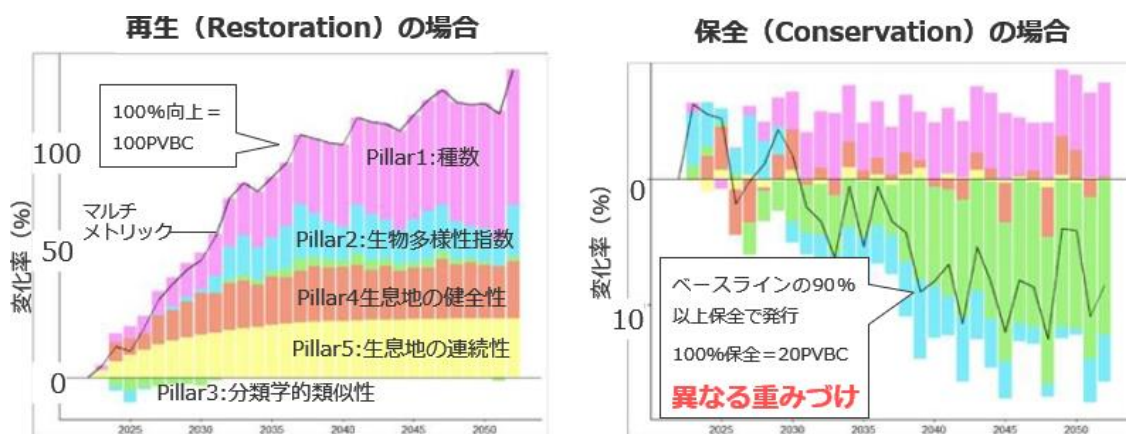


図 2-5 Plan Vivo の生物多様性クレジットにおける再生、保全の経年変化

(出典: Plan Vivo Nature Methodology もとに著者加筆)

再生 (Restoration) プロジェクトでは、この変化率に面積を掛けた量が生物多様性クレジットとして発行される。 保全 (Conservation) プロジェクトの場合は別の重みづけで計算され、ベースラインの 90%以上を維持することで発行される(100%維持で 20PBVC、90%維持で 18PBVC が発行される)。なお、上昇に転じた場合は、再生(Restoration)による生物多様性クレジットの発行が可能とされている。

2.3.5 Significance によるプロジェクトのラベリング

両認証機関とも、プロジェクトの対象となる生態系の重要度や危機度を、プロジェクトの生物多様性クレジット発行量自体には関係しないが、Significance としてラベリングしている(表 2-15)。

表 2-15 Verra と Plan Vivo における Significance の考え方

Verra (ドラフト)	Plan Vivo
4 つの GBF 目標へのプロジェクトの貢献度を全プロジェクトにおいてそれぞれ 5 段階 (A~E) で表示 <4 つの GBF 目標> ①生物多様性が高い地域での損失防止 ②劣化した生態系の効果的回復 ③生態学的に代表的な地域の効果的な保全 ④絶滅の防止と絶滅リスクの軽減	生物多様性の世界的な重要度を該当プロジェクトにおいてラベリング ・IUCN 生態系レッドリスト記載地域 ・IUCN レッドリスト記載の種数 ・IUCN 保護地域に指定されている面積の割合 ・The rarity-weighted richness value ⁶ (希少度に重みづけした豊かさ)

Verra では、4 つの GBF 目標への貢献度を、マップ化されたグローバルデータセットを用いて表示することを検討している。例えば、「④絶滅の防止と絶滅リスクの軽減」では、種の脅威の軽減と回復の指標 STAR (Species Threat Abatement and Restoration Metric) を用いて、スコア (絶滅リスク軽減に寄与する可能性を定量化した値) の 20 パーセンタイルごとに 5 段階 (A から E) で表示している。図 2-6 では、紫/青の地域 (A、B) が「④絶滅の防止と絶滅リスクの軽減」への貢献が大きい地域になる。

同様に、「①生物多様性が高い地域での損失防止」と「②劣化した生態系の効果的回復」では、EII (Ecoregion Intactness Index) を、「③生態学的に代表的な地域の効果的な保全」では、世界保護地域データベース WDP (World Database on Protected Areas) を用いて、プロジェクトの貢献度を 5 段階で表示することを検討している。

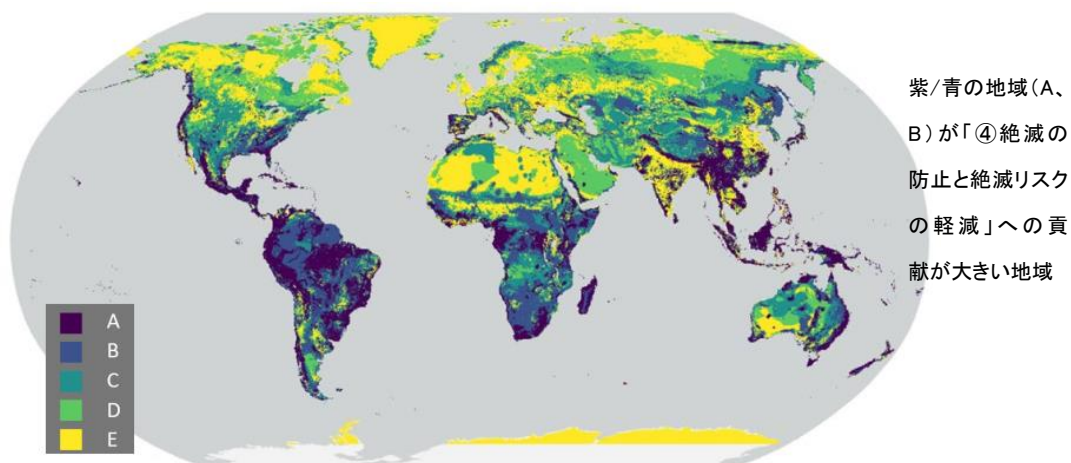


図 2-6 種の脅威の軽減・回復の指標 (STAR) の 20 パーセンタイルによるグローバルレイヤー

⁶ あるエコリージョンにおける種数とそれらの種の希少性を統合した指標で、この指標の値が高いエコリージョンでは希少種が多く含まれる。

このようにプロジェクトごとに 4 つの GBF 目標達成に向けた貢献度をそれぞれ表示することで、プロジェクト間で相対比較することが可能になる。また、企業が GBF 目標への貢献と関連づけて生物多様性クレジットを購入することを想定した設計と言える。

一方 Plan Vivo では、国際標準を用いたラベリングにより、圧倒的に多くの種が生息する生態系、地球上のどこにも存在しない種が生息する生態系、あるいは絶滅の危機瀕している種が生息している生態系など、比較できない生物多様性の重要度・危機度を、生物多様性クレジットの買い手へ情報提供するとしている。

2.3.6 Verra と Plan Vivo の生物多様性クレジットの比較

これまで分析した 2 つの生物多様性クレジットの方法論について、プロジェクト開発者、企業、地域コミュニティの立場からのメリット／デメリット等を比較した(表 2-16)。

Verra の生物多様性クレジットは、プロジェクト開発者にとっては、測定指標が少なくプロジェクトによる柔軟な指標選択が可能になっている。また TNFD 提言や SBTs for Nature と明示的に整合性をとり、GBF 目標との関連を Significance としてラベリングするなど、買い手である企業がこうした国際的な要請に対応する中で生物多様性クレジットを使うことを意識した内容といえる。また、この生物多様性クレジットは、SD VISTa (Sustainable Development Verified Impact Standard) という認証下に設置されており、地域住民や先住民の福祉への配慮という点でも、これらに負の影響を与えないようなガイドラインが整備されている。

一方、Plan Vivo の生物多様性クレジットは、測定指標の範囲を詳細に定義し、多くの種群について精緻に調査することにより、プロジェクトの生物多様性保全への貢献についての買い手への信頼性を高めている点に特徴がある。また、地域コミュニティにクレジット収益の 6 割を還元するとしており、地域コミュニティの暮らしを豊かにすることをより重視する姿勢を明確にしている。

表 2-16 各ステークホルダーからみた Verra と Plan Vivo の生物多様性クレジットの特徴

	Verra (ドラフト)	Plan Vivo
プロジェクト 開発者	測定項目が少なく、柔軟な指標 5年ごとに測定 →測定しやすく、参入しやすい	測定項目が多く、 毎年測定 →難易度・専門度高い
企業 (買い手)	SBTs for Nature との整合性や GBF 目標 へのプロジェクトの貢献度を表示 →企業戦略と一致させやすい	測定精度への信頼度が高い
地域コミュニティ	現金または現物による生計向上に資する ものを還元 (生物多様性クレジットの分 配等、具体的な基準は定められていな い)	生物多様性クレジット収益の 6 割 を還元 →地域コミュニティをより重視

生物多様性保全に対して、民間企業の貢献が一層求められる国際的な動きは、今後一層強まると考えられる。その中で、生物多様性クレジットのスキームはまだ始まったばかりで、今後どのように発展していくかは市場の判断による。しかし、生物多様性をクレジット化するという高いハードルに向けて、二つの国際的な認証団体が方法論の確定に向けて着実に作業を進めていることが、今回の検討でも明らかになった。ただし、いずれの方法論も最終化に向けたプロセスの途上にあり、特に Verra の方法論は、多くの部分が開発中であるため、両者の最終版がどのような形で発表されるのか、今後も注視していく必要がある。

2.4 SBTs for Nature の動向

2.4.1 TNFD と SBTs for Nature 発足の経緯

世界経済フォーラムによると、世界の総 GDP の 50%以上は自然環境に中・高程度の依存をしているとされている。一方、WWF の調査では、世界の生物多様性は過去 50 年で 68% も喪失しており、自然資本の上に成り立っている経済や企業の事業にとって、重要なリスクになっている。しかし現状では企業が自社の事業活動の自然への影響・依存や、自然を巡る問題や変化が引き起こし得る財務的なリスクを十分に理解し、対応しているとは言い難い。そのため気候変動に関しては、TCFD が気候に関連する財務への影響やそれへの対処に関する情報開示の枠組みを提言し、科学に基づく目標 SBT が導入された。これにより日本企業を含め世界の多くの組織がその枠組みに沿った開示を進めている。

このような気候変動の取組みに基づき、自然に関する財務影響について、企業等が自然関連のリスクを報告し、それについて行動する枠組みを提供し、資金の流れを自然にとってプラスの結果をもたらすものへとシフトさせるため、TNFD および SBTN が設立された。

表 2-17 に気候変動と生物多様性に対する情報開示の枠組みと目標設定ツールを比較したものを示す。

表 2-17 気候変動と生物多様性に対する情報開示の枠組みと目標設定ツールの比較

	気候変動	生物多様性
スローガン	ネットゼロ	ネイチャーポジティブ
課題領域	気候	生物多様性、淡水、海水、土地、気候
指標と評価	炭素	単一の指標はない
評価	ロケーションに依存しない	課題領域ごとに評価 ロケーションに依存

財務情報開示の タスクフォース	TCFD	TNFD
設立年	2015	2021
運営主体	金融安定理事会 (FSB) (G20 からの要請に基づく)	国連環境計画・金融イニシアティブ (UNEP FI)、国連開発計画 (UNDP)、

		世界自然保護基金(WWF)および Global Canopy
開示提言項目	1) ガバナンス、2) 戦略、3) リスクとインパクト管理、4) 指標と目標	1) ガバナンス、2) 戦略、3) リスクとインパクト管理、4) 指標と目標 ※計 14 項目のうち 11 項目は TCFD と共通
開示義務	プライム市場上場企業は開示義務有り	任意
ガイダンス v1.0	2017 公開	2023 公開

目標設定ツール	SBT	SBTs for Nature
運営母体	SBT イニシアティブ (CDP、国連グローバルコンパクト (UNGC)、世界資源研究所 (WRI)、世界自然保護基金 (WWF))	SBT ネットワーク (60 以上の NGO などのネットワーク)
ガイダンス v1.0	2015 公開	2023 (一部) 公開

2.4.2 SBTs for Nature の構造と「土地」の位置づけ

SBTs for Nature は、科学に基づく目標設定のツールであり、自然資本の状態をどのように把握し、定量化する際にどのような指標を採用すべきかについて 5 つの STEP で解説している。

はじめに事業のバリューチェーン内の環境負荷を分析・評価し (STEP1)、環境負荷の影響による生態系の状態や生態系の重要度・危機度を理解し・優先順位付けを行う (STEP2)。その後、5 つの課題領域 (淡水、海洋、土地、生物多様性、気候) に分けて具体的な目標設定を行い (STEP3)、SBTN の行動枠組み (AR3T) に基づいて行動し (STEP4)、追跡を行う (STEP5) (図 2-7)。



図 2-7 SBTs for Nature の構成と公開スケジュール (SBTN ガイドラインより著者作成)

行動の枠組み (AR3T) とは、SBTs for Nature のミティゲーション (緩和) ヒエラルキーとも呼ばれており、1) 回避、2) 軽減、3) 復元・再生、4) 変革の順で行動することを推奨している。これは PRI (Principles for Responsible Investment)⁸ などが提唱するミティゲーションヒエラルキーと共通する考え方で、グリーンウォッシュとならないようにまず環境へのマイナスの影響をなくしてから、プラスの活動を行うとしている (図 2-8)。

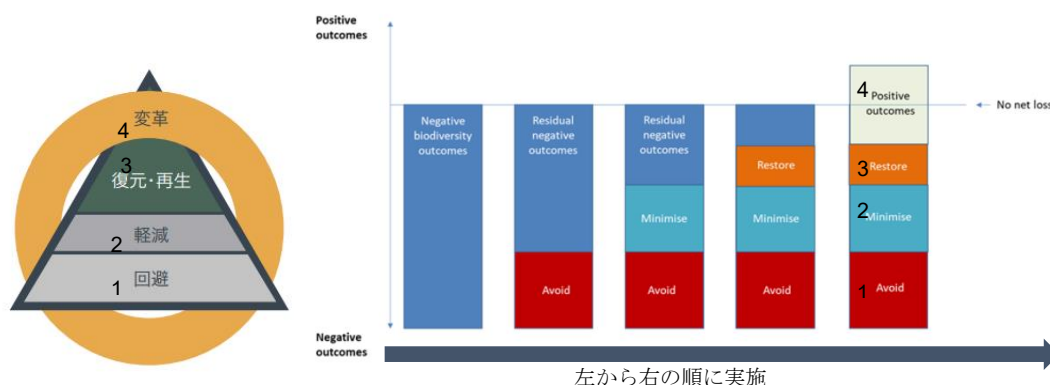


図 2-8 SBTN の行動の枠組み (AR3T) と PRI のミティゲーションヒエラルキーの比較

出典：左：SBTN 企業のための初期ガイダンス 2020/右：PRI INVESTOR ACTION ON BIODIVERSITY DISCUSSION PAPER(2020) をもとに筆者加筆

SBTs for Nature の公開の現状としては、2024 年 3 月現在、STEP1、STEP2 のガイダンスおよび STEP3 の淡水に関するガイドラインと「土地」のガイドラインドラフト、「生物多様性」のショートペーパーが公開されている。

「土地」については、企業による植林活動の位置づけやその評価に関わりが深いと思われるため、ガイドライン v0.3 版について次節で簡単に紹介する。なお、v1.0 版は、2024 年に早い段階で公開される予定となっている。

2.4.3 「土地」に関するガイドライン v0.3 版の概略

「土地」のガイドラインは、バリューチェーン内において「陸域生態系の用途変更、土壌汚染」による環境負荷が高く、優先地域に選定された地域について、目標設定の方法を示している。企業が取るべき行動として、次の3つのターゲットをあげており、これは、前述の図 2-8 で示した行動の枠組み (AR3T) に沿った順序になっている。

ターゲット 1: 自然生態系の転換停止【回避】

2020 年の土地利用形態と比較し、自然生態系の転換をゼロにする。2020 年の土地利用形

⁸ 2006 年当時の国際連合事務総長であるコフィー・アナンが金融業界に対して提唱したイニシアティブである責任投資原則

態については、SBTN で「Natural land map」を開発中である。

ーターゲット 2:ランドフットプリントの削減【軽減】

現時点では、大規模農業企業による農地利用面積の削減を対象としている。

ーターゲット 3:ランドスケープエンゲージメント【再生・変革】

ターゲット 1 または 2 の対策の後、生態系の再生・回復を行う。また、ランドスケープからの調達の方法を変革する。

ターゲット 3 のランドスケープエンゲージメントでは、サプライチェーンを超えたランドスケープレベルでの活動を想定していることが注目される。また、環境負荷を与えている生態系(あるいは十分な行政単位)において、マルチステークホルダーで取り組みを行うことや、透明性が担保されたイニシアティブにコミットすることが明記されている。2024 年に公開予定のガイドラインでは、閾値を含む目標設定のためのツールや方法が提供されることになっている。

企業による植林活動はこの中に含まれると思われ、今後のガイドラインの動向を注視したい。

2.5 さいごに —生物多様性への貢献の評価を中心に—

生物多様性の評価について、Plan Vivo の炭素クレジット認証プロジェクトでは、プロジェクトごとにどのような指標を選択しているかを中心に分析を行った。評価指標を「脅威/圧力またはそれに対する対策」、「森林被覆による効果(生息地の創出)」、「生態系の機能・防災」、「組成(種)」に分類したところ、生態系回復/アグロフォレストリーを目的とした植林では、それぞれの類型について多くの指標での評価が行われ、生物多様性の保全が重視されていることがわかった。また、生態系の組成(種)に関する様々な指標が含まれていたが、これらの評価は難易度・専門度が高く、実施体制やコストの課題が示唆された。他方、CCBS のみが対象としている産業植林では、森林被覆による効果(生息地の創出)の指標が主として取り上げられていることも、産業植林の生物多様性に対する貢献を可視化する上で示唆的である。

住民便益については、Plan Vivo の植林プロジェクト事例において、住民の課題が何かを社会経済調査で把握し、植林を通じてその解決を行うというアプローチが取られていた。そのため、炭素クレジットによる収益以外の現金獲得に繋がる活動とその評価指標が組み込まれたものが多いことが特徴的であった。

Verra と Plan Vivo の生物多様性クレジットについては、生物多様性を定量化しクレジットを創出するための生物多様性評価の仕組みを比較分析した。二つの生物多様性クレジット認証に共通して、「生息地」と「種」について、指標を組み合わせる定量化する方法をとっていた。また Plan Vivo の生物多様性クレジットでは、生息地の健全性や連続性を把握するために、高解像度の衛星画像による評価を取り入れていることが特徴的であった。Verra の生物多様性クレジットでは、生物多様性が豊かな生態系や危機に瀕した生態系を対象にした「圧力」と関係するモジュールも開発されつつある。

モニタリングの実施体制については、Plan Vivo の炭素クレジットの事例では、種の個体数調査や土壌成分調査など専門度の高いものは大学機関が担っている例があり、Plan Vivo の生物多様性

クレジットではデータ分析を環境分析会社と連携し専門性を担保していた。

また定量化とは別の次元の価値を示すものとして、生物多様性クレジットでは **Significance** という形で **GBF** 目標や国際標準との関係を示し、買い手に情報提供しようとしている。プロジェクトを実施する側としても「何に価値を置いているか」というメッセージを含むものであり、民間企業による植林の貢献度を可視化する上でも重要な視点と考える。

さらに **SBTs for Nature** の行動の枠組み (**AR3T**) で示されたように、復元・再生、変革のステップでは、サプライチェーン外の企業の植林の取り組みもスコープに入ってくる。気候変動の分野では、2024年2月に **SBTi** からバリューチェーンを超えた緩和 (**BVCM**) の策定と実施を進める報告書が公表されており、サプライチェーン外の植林活動についても、積極的に効果を可視化し、ネイチャーポジティブに向けた企業戦略と関連づけることで、新たな投資を呼び込むチャンスになると思われる。

今後、どのような評価手法や情報開示が主流になっていくのか、国際的な動向を注視し、国際的にも信頼性が担保された方法で企業植林の貢献度を評価していくことが求められると考える。

2.6 参考文献

Project requirements Verstion5.1, Plan Vivo (2022)

Validation and Verification Requirements Verstion1.1, Plan Vivo (2022)

Plan Vivo Project Design Guidance for use with the Plan Vivo Standard v5.0 Version 1.1, Plan Vivo (2022)

Plan Vivo Standard Version4.0, Plan Vivo (2013)

Procedures Manual, Plan Vivo (2017)

Socio-economic Manual, Plan Vivo (2016)

各 Plan Vivo プロジェクトの Project Design Document (PDD) や Annual Report, Validation/Verification report は、Plan Vivo のサイトから各プロジェクトの詳細ページにアクセスし、ダウンロードした(2023年7月)。

<https://www.planvivo.org/Pages/Category/projects?Take=28>

Plan Vivo Nature Methodology, Plan Vivo (2023)

SD VISta Nature Framework DRAFT Version0.1,Verra (2023)

Investor action on Biodiversity discussion paper, PRI (2020)

SBTN 企業のための初期ガイダンス 2020

SBTs for Nature の各ステップのガイダンスは、**STBN** のサイトからアクセスし、ダウンロードした(2023年12月)。<https://sciencebasedtargetsnetwork.org/resources/>

2.7 別添

表 Plan Vivo と Verra(ドラフト)の要件の比較

		Plan Vivo	Verra (ドラフト)
全般	プロジェクト対象地の条件	<ul style="list-style-type: none"> 過去 10 年間にプロジェクトエリアが意図的に劣化されていないこと ベースライン時の地域固有の生態系を回復すること 地域住民・コミュニティによる土地または資源の所有・保有権が明確に確保されていること 	<ul style="list-style-type: none"> 過去 10 年間にプロジェクトエリアが意図的に劣化されていないこと 10 年以上前にあった地域固有の生態系タイプにネガティブな影響を与えずに回復すること(生態系タイプの改変はしない) 地域住民の保有については明記なし
	活動タイプ	<ul style="list-style-type: none"> Restoration (裸地や重度汚染地域は対象外) Conservation (生物多様性重要地域 (KBA) 基準のうち1つ以上、または、重要植物地域 (IPA) 基準のうち2つ以上満たすことが要件) 90%以上維持 	<ul style="list-style-type: none"> Restoration Conservation (減少・劣化の回避) Stewardship (別アセットで開発中)
	生物多様性の定量化方法	<プロジェクトサイト自体の生物多様性状態の変化率> × 面積	<reference value に対するコンディション値と減少・劣化シナリオのベースラインの差> × 面積
	生物多様性状態の評価指標	4つの対象グループの種に関する3つの Pillar (種数、生物多様性指数、分類学的非類似性) と、生息地に関する2つの Pillar (生息地の健全性、生息地の連続性)	組成(種)に関する2つの指標と構造(生息地)に関する3つの指標 ※特定の生態系に対する指標 (Ecosystem or biome-specific modules) は開発中
	サンプリング地点	アルゴリズムにより Plan Vivo が毎年選定(ランダムサンプリング)	検討中
	モニタリング	少なくとも年1回、同じ時期	5年ごと
	クレジットの発行	2年目以降年間報告書に基づき、毎年発行可 (Verification は5年ごとに実施)	5年ごとのモニタリングと Verification 後に発行
	クレジット期間	10年～50年間	20年～100年間 プロジェクト期間は少なくとも40年以上
	Significance	国際標準による生物多様性の重要度/危機度を対象プロジェクトにラベリング	GBF 目標への貢献について、全プロジェクトにラベリング

	全般	生物多様性クレジット認証には、下の事項の担保が必須条件	SD VISta および Nature framework の中にセーフガードの要件があり →補完的な位置づけ
活動 ・ 環境 ・ 住民 便益	活動進捗	<ul style="list-style-type: none"> 毎年モニタリング シンプルで費用対効果が高い指標、参加型推奨 例) 植林本数、山火事パトロール回数	不明
	環境	<ul style="list-style-type: none"> ベースライン要 5年ごとにモニタリング シンプルで費用対効果が高い指標、参加型推奨 外来種の導入は認めていない 例) 炭素プール、土壌の質の改善、流域の改善、硝酸塩汚染の削減、受粉の改善、洪水管理の改善、砂防の改善	<ul style="list-style-type: none"> 外来種の導入は認めていない
	住民便益	<ul style="list-style-type: none"> ベースライン要 5年ごとにモニタリング シンプルで費用対効果が高い指標、参加型推奨 生物多様性クレジット収益の少なくとも6割以上を住民に還元 法定または慣習上の土地または資源の権利 住民主導の活動計画の策定 	<ul style="list-style-type: none"> 現金または現物による生計向上に資するものを住民に還元(生物多様性クレジットの分配等、具体的な基準は定められていない)

3. ケニア半乾燥地における小規模農家向け長根苗植林の貢献度可視化

国際緑化推進センター(JIFPRO) 柴崎 一樹、田中 浩

要約

NGO や企業による途上国での植林支援において、多くの苗木を素早く植えることができる植林形態として、小規模農家向け植林が多く実施され、ケニアでも広まりつつある。しかし、不均一で細分化された植林区が多数点在する小規模農家向け植林では、植林地全体の評価(モニタリング)が困難であるため、多くの支援プロジェクトが植林本数や面積を報告するのみで、植林による貢献度の可視化には至っていないのが現状である。また、ケニアにおける小規模農家向け植林の支援は湿潤地に限られており、国土の 80%を占める乾燥・半乾燥地(ASAP)での植林は進んでいない。本試験では、ケニアの ASAP での小規模農家向け植林(の支援)を促進するべく、①長根苗の育苗・植林試験による技術開発を行うとともに、②実際に長根苗を用いた小規模農家の植林地において、衛星画像と全植林木の高精度位置情報を用いたモニタリング手法(生残木のカウント)の開発を試みた。また、③住民便益の一つとして、植林木による薪炭材供給に着目し、農家の薪炭消費量に対して、将来的に植林木からどの程度の薪炭を供給できる可能性があるのか明らかにした。

3.1 背景・目的

ケニア政府は、2032年までに森林(樹冠)被覆率を30%にする目標を掲げている(Kenya, 2023a)。それを達成するための方策として、特に、小規模農家が保有する土地での植林(以下、「小規模農家向け植林」とする)を重視し、その潜在的規模は100万ha以上と見込んでいる(Kenya, 2023b)。小規模農家向け植林には、参加する農家を多く募ることで、植林できる場所を確保し、多くの苗木を素早く植えることができるメリットがあることから、ケニアだけでなく、途上国全般において、国際機関、企業、NGO 等による小規模農家向け植林プロジェクトの数や規模が増加しつつある(柴崎ら、2023)。しかし、各農家の土地に植えるため、参加農家の数だけ1ha前後の小さな植林区が点在し、それと同時に、農家によって植栽樹種・密度等が異なることが多い(図3-1)。このように不均一で細分化された植林区が多数点在する小規模農家向け植林では、通常衛星画像やプロットサンプリングによる植林地全体の評価(モニタリング)が困難だと予想される。

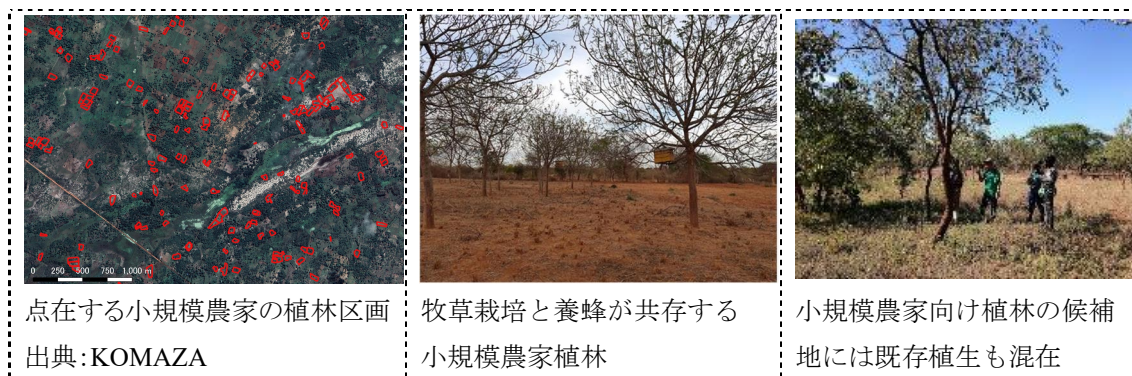


図 3-1 ケニアの小規模農家向け植林

これに対し、Verra が認証するボランタリー炭素クレジットプログラム(VCS)では、2023 年 9 月に新たに植林由来の炭素固定量を推定しクレジット化する方法論(VM0047: ARR)が開発され、その中では、プロット調査の代わりに全木調査を前提とした Census-based approach が新たに提示された。これは、植栽した全樹木本数に、全生残個体数の悉皆調査、又はサンプリング調査により得られる生残率を乗じて生残木数を特定し、それに単木あたりの平均炭素量を乗じることで、植林地全体の炭素量を推定するアプローチである(植栽本数(本)×生残率(%)×1本あたりの平均炭素量(t/本))。Census-based approach が適用される条件は、「1 ha 以上の広がり樹冠被覆をもたらない植林」、「植林によって森林への土地利用変化が起きないこと」と VM0047 に明記されており、農地での 1 ha 未満の植林、すなわちアグロフォレストリー的に列状や農地の周囲に木を植えるといった、小規模農家向けの植林がその対象となり得る。実際、これまで実施されている VCS での小規模農家向け植林の大部分は、同アプローチに沿って推定された炭素量をもとにクレジット創出がされており、ケニアで実施される KOMAZA や TIST といった 1 万戸以上の小規模農家を対象とした VCS 植林でも、同アプローチによりモニタリングが行われている(柴崎ら、2024)。

今後、炭素クレジットだけでなく、ESG 投資なども念頭においた企業からの植林支援を促進するためには、植えた本数や面積ではなく、実際に植えた木が育ったことを根拠やデータとともに示したうえで、気候変動の抑制、住民便益、及び生物多様性の向上等への貢献を主張することが求められる。そのような中、国際的にも認知度が高い VCS 植林方法論の中で、生残本数からの炭素固定量推定が正式に承認されたことにより、炭素クレジットを目的としない植林プロジェクトにおいても、少なくとも生残本数をモニタリングできれば、ある程度の信頼性が担保された形で、炭素固定量をはじめとする植林の貢献度の可視化が可能になる。一方で、1 万戸以上にも及ぶ小規模農家の土地に植えられた植林木の生残を全てチェック、カウントするのは、現実には大変な作業であり、それに係るコストは高くなる。実際、企業が支援する非クレジット型の小規模農家向け植林では、植林本数や面積が報告されているだけで、どの程度木が育っているのかをモニタリングしている形跡がないものも散見される。今後は、コストを抑えながらも、最低限、生残本数だけでも確実に把握できるようにモニタリング手法の開発が求められるだろう。

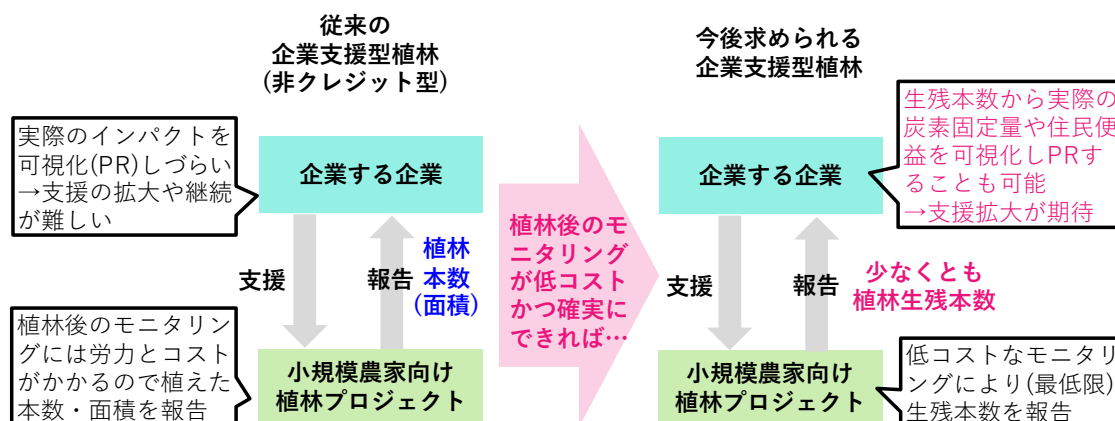


図 3-2 今後求められる企業支援型植林

さらに、ケニアにおける企業による植林支援は湿潤地に限られており、国土の約 80%を占める乾燥・半乾燥地(ASAP)では、植林コストが高い、枯死リスクが高い等の原因で植林が進んでいないのが現状である。そこで、JIFPRO では、2021 年度から林野庁補助事業の下で、ケニア森林研究所(KEFRI)と協力し、乾燥地での植林用に通常よりも深い容器(40~60cm 程)で育てた苗(以下、長根苗)の開発を行ってきた。長根苗は、土壌深部の水により早くアクセスできるため、植栽直後の厳しい水分条件下にも耐えられることが期待される。JIFPRO は、M-StAR と呼ばれるシート状のコンテナ苗容器に用いることで、長根苗を容易に育苗できるようにした。また、植栽後の効果もモニターにて実証済みである(詳細は令和 2 年度 途上国森林再生技術普及事業 報告書を参照)。

このような背景を踏まえ、本試験では、ケニアの ASAP での小規模農家向け植林(の支援)を促進するべく、①長根苗の育苗・植林試験による長根苗の技術開発を継続するとともに、②実際に長根苗を用いた小規模農家向け植林を通して、そのモニタリング手法(生残木のカウント)の開発を試みた。また、ケニアでの小規模農家のエネルギー源は薪炭材であり、特に ASAP では天然林からの過剰採取によりその劣化が深刻化していることを踏まえ、③住民便益の一つとして、植林木による薪炭材供給に着目し、農家の薪炭消費量に対して、将来的にどの程度の薪炭を供給できる可能性があるのかを明らかにした。なお、本試験は、令和 4 年度からの継続で行われており、令和 5 年度はこれまで明らかになった課題を整理しつつ試験を実施した(表 3-1)。また、本試験は JIFPRO による直営で行われたが、一部、コマツ、KEFRI に業務を委託することで行った(図 3-3)。

表 3-1 本試験の検討項目

実施項目	令和 4 年度の実施内容	令和 5 年度の実施内容
① 長根苗技術の開発・普及	・長根苗の効果検証のための植栽試験 ・トラクターオーガによる長根苗用の植穴掘削の試行	・長根苗の育苗コスト削減のための育苗試験 ・長根苗の効果検証のための植栽試験 ・油圧式建機オーガによる長根苗用植穴掘削
② 小規模農家向け植林のモニタリング手法開発	・小規模農家向け植林用の長根苗育苗 ・既存植林地でのドローンによる生残木の自動検出	・長根苗を用いた小規模農家向け植林の実施 ・既存植林地での衛星画像による生残木の自動検出
③ 住民便益の可視化	・農家の薪炭消費量等を把握するためのベースライン調査	・既存植林地での薪炭供給の見込み量を調査



図 3-3 本試験の実施体制

3.2 試験対象地の概要

育苗・植林試験を通した長根苗の技術開発は主に Kitui 郡の KEFRI 保有地、長根苗を使った小規模農家向け植林は、Kibwezi 準郡内の農家の保有地で行った。どちらも年降水量 450-900 mm の半乾燥地に位置する。図 3-4 のとおり、比較的湿潤エリアでは、企業から資金を基に、TIST や KOMAZA と呼ばれる小規模農家向け VCS 植林が実施されているのに対し、半乾燥地では潜在的には植林可能な条件があるにも関わらず、企業による植林支援がほとんど行われていない。

長根苗を使った小規模農家向け植林の対象地である Kibwezi は、10 地区 (Location) とその周りを取り囲む Tsavo 国立公園等の保護区により構成されている (図 3-5)。Kibwezi の 10 地区の人口は約 5.5 万世帯 (1 世帯平均 3.78 人)、面積は 20 万 ha 程度である (Kenya, 2019)。1983 年の Chyulu hills 国立公園等の制定以降、入植が本格化し、土地を保有する農家が現れた (Emerton, 1999)。KEFRI によると、現在、Kibwezi 内のほぼすべての土地は、法制度上では信託地または民有地に分類され、住民に保有・利用権が帰属している状態である。ただし、Kibwezi は比較的入植歴史が浅いことに加え、降水量が少なく栽培できる農作物が限られているため、農家に保有・利用権が帰属したまま、開墾 (集約的に利用) されていない未・低利用な場所が残っている。また、入植前は森林が成立していたようだが、入植が本格化されたのを契機に、薪炭採取や過放牧による森林劣化が広範囲に進み、現在は国立公園内にしか原始的な森林は見られない。これらのことから、小規模農家向け植林を通した植生回復や薪炭林造成の適地が多く残っていることが予想される。

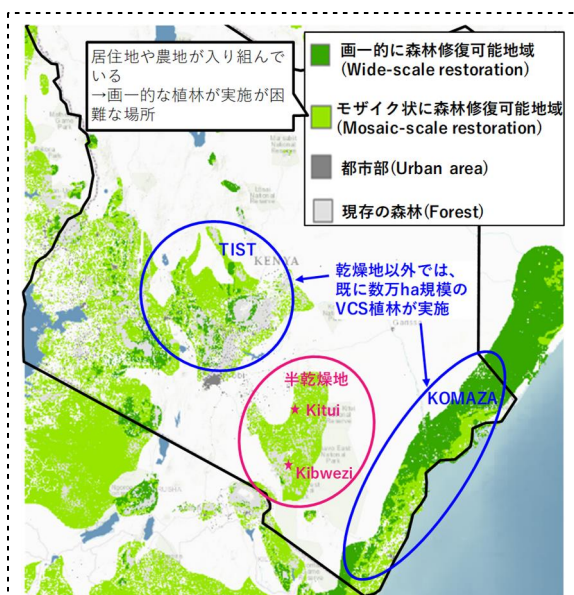


図 3-4 試験対象地 (Kitui 及び Kibwezi) と潜在的に植林 (修復) 可能なエリア (背景地図の出典: Atlas of Forest Landscape Resoration Opportunities¹より)

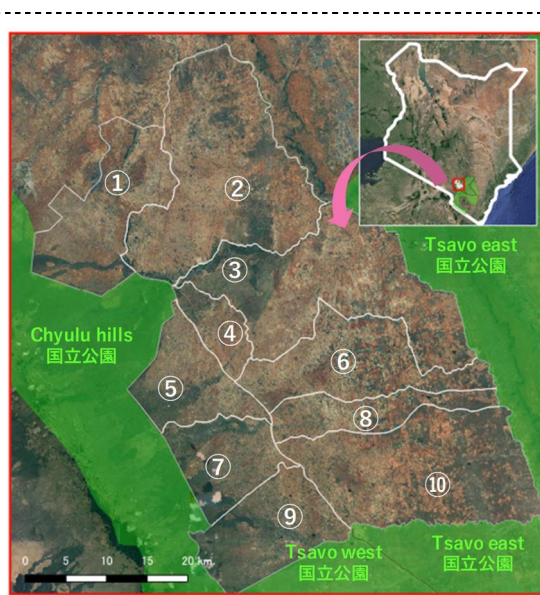


図 3-5 小規模農家向け植林を実施した Kibwezi の行政区 (①~⑩)、国立公園の外は入植が進み原生林は残されていない (背景地図の出典: Google)

¹ IUCN, WRI, メーランド大学が提供する Web サイト (<https://www.wri.org/applications/maps/flr-atlas/#>) であり、世界の森林修復 (植林) 可能なエリアが把握できる。

3.3 実証試験の方法と結果

3.3.1 長根苗技術の開発・普及のための育苗・植栽試験

(1) 長根苗のコスト削減のための育苗試験

現在、長根苗の育苗容器には、M-StAR コンテナ (Multi-Stage Adjustable Rolled Container、以下 M-StAR) と呼ばれるシート状のコンテナ苗の容器が使われているが、M-StAR はケニアの市場には流通しておらず、日本から輸出する必要がある。近年、ケニアでは、環境保護の観点から、ポリエチレンの育苗ポット (ビニルポット) の利用禁止が検討されており、代替の育苗容器として、再利用可能、もしくは生分解性の育苗容器の発掘・開発を進めているところである。再利用可能な M-StAR は、KEFRI もビニルポットの代替になり得るとして着目はしているが、現時点では輸入コストが高いということもあり、本格的に日本から輸入するまでは至っていない。そこで、令和 5 年度は、ケニア国内で簡単に安価で入手できる竹で作った竹コンテナを考案し、竹コンテナでも M-StAR と同様に苗の育苗ができるかを明らかにするために、図 3-6 に示す 3 つの育苗容器を用いて育苗試験を行った。竹コンテナは、竹を縦に半分に割り、その中に培地を詰めた後、再接合したものである。容器の違いによる苗の成長を評価するために、3 つの容器の深さや径は統一し、*A.tortilis*, *Dmelanoxylon*, *M.volensii*, *S.siamea*, *T.brownii* の 5 樹種を用いて育苗試験を開始した。2024 年 3 月時点では、育苗が育っていないが、来年度以降、それぞれの苗についてその成長を評価する予定である。



図 3-6 育苗試験で使用した 3 つの長根苗育苗容器

(2) 長根苗の効果検証のための植栽試験

長根苗を使った小規模農家向け植林の実施にあたって、長根苗がケニア半乾燥地で適した植栽方法なのかを証明するために、長根苗による生残率への効果を検証する植栽試験を半乾燥地に位置する Kitui と Kibwezi にて行った。

ケニア半乾燥地では、植栽時期が雨季の初めと限定され、農繁期に重なるうえ、降雨が不安定であることから、植林のタイミングを逃しやすい。そこで、まず、Kitui では、半乾燥地での植栽可能期間を広げることを目的に、あえて乾季前半に植栽し、その後、無灌水・無降水でも最初の雨季までに高い生残率を維持できるかどうかを検証した。植栽試験の設計は、図 3-7 のとおりであり、半乾燥地の代表的な造林樹種である *Acacia tortilis*, *Dalbergia melanoxylon*, *Melia volkensii* の 3 樹種

を対象に、長根苗の他に、通常コンテナ苗と中根苗（長根苗と通常コンテナ苗の中間サイズ）の 3 つのサイズの M-StAR コンテナ苗として、10 か月程度育苗した苗を 2022 年 6 月に植栽した（育苗条件の詳細は令和 3 年度 途上国森林再生技術普及事業報告書を参照）。植栽時に 1 回灌水をしたが、その後は無灌水で、6 か月間は降水量 0mm であった（図 3-9）。

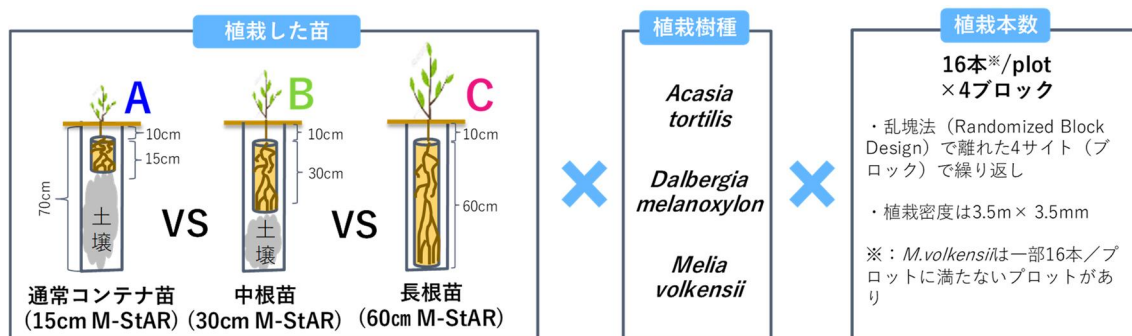


図 3-7 Kitui での長根苗を用いた植栽試験の設計（乾季前半（2022 年 6 月）植栽）



図 3-8 Kiuti で植栽した長根苗及び植栽試験地の状況

植栽後の降水量と土壌水分の推移は図 3-9 の通りであった。降水量は、植栽地近くに設置した雨量計により、土壌水分は、定期的に各ブロックで一か所ずつ（n=4）、0-100cm での土壌を 20cm 毎にサンプリングし、質量含水比をモニタリングした。2022 年 6 月の植栽後から、2022 年 11 月に雨季に入るまでの約 6 か月間は降水がなかった。その間、土壌表層部（0-20cm）の質量含水比は、常に低いのにに対して、土壌深部（60-80cm、80-100cm）は、表層部よりも高い質量含水比を保ち続けた。2022 年 11 月の雨季直前においては、深度の浅い層から深い層にかけて、質量含水比が増加するような勾配がみられた。2022 年 12 月頃から降水がみられ、雨季に入ると、その勾配の方向は逆になり、深度の浅い層から深い層にかけて、質量含水比が減少していた。また、降水が少なくなってくると、勾配が戻り、深層になるほどに、質量含水比が高くなった。この傾向は、それ以降も見られた。このことから、土壌表層（0-20cm、20-40cm）は、雨季時は土壌水分が高いが、乾季は比較的低いのにに対して、土壌深部（60-80cm、80-100cm）は、通年を通して、土壌水分が安定して保たれていることが分かった。植栽後の活着のためには、土壌表層の土壌水分が少なくなる前に、深さ 60cm 程度まで根を到達させることが重要であることが示唆された。

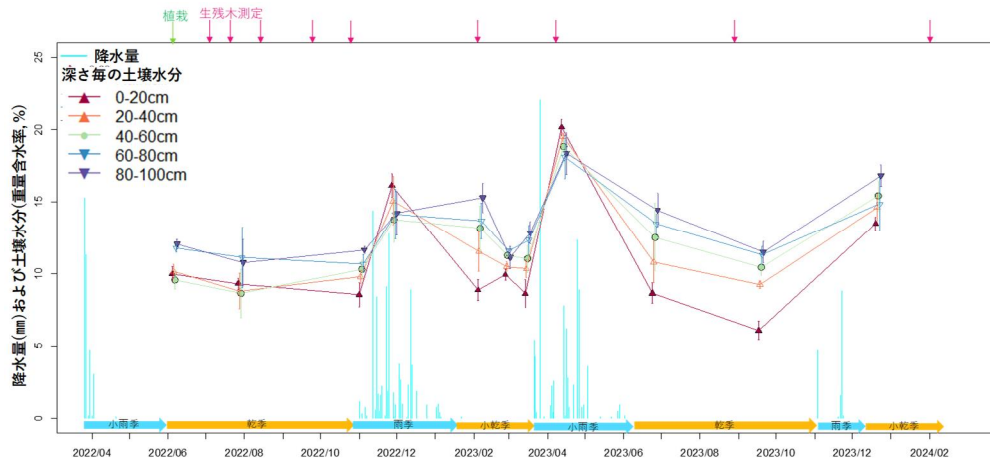


図 3-9 植栽試験地(Kitui)の降水量と土壌水分の推移(土壌水分のサンプル数は n=4)

乾季終了時点(2023年11月)の生残率は、図 3-10 の通りであった。*D.melanoxylon*, *M.volkensii* については、コンテナ深さが深くなるほど、生残率が高まる、長根苗の効果が証明できた。*A.tortilis* については、長根苗の生残に対する効果は見られなかった。

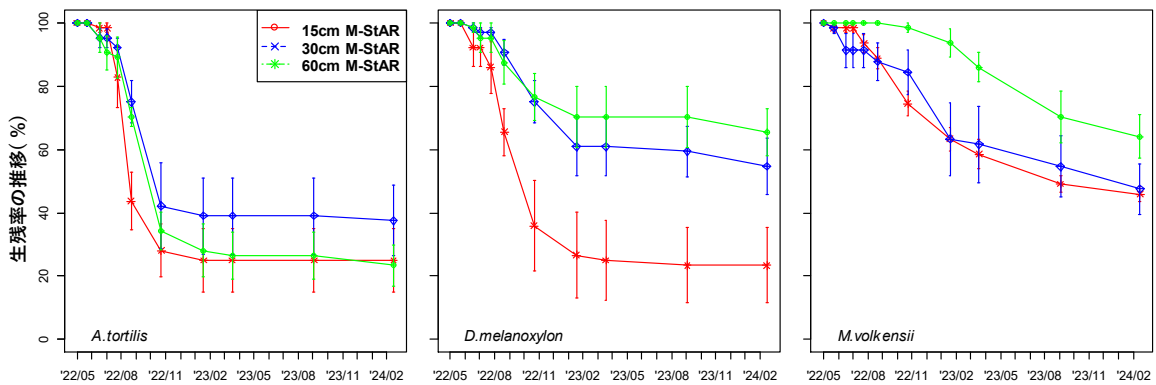


図 3-10 植栽後の生残率の推移(Kitui、乾季植栽)

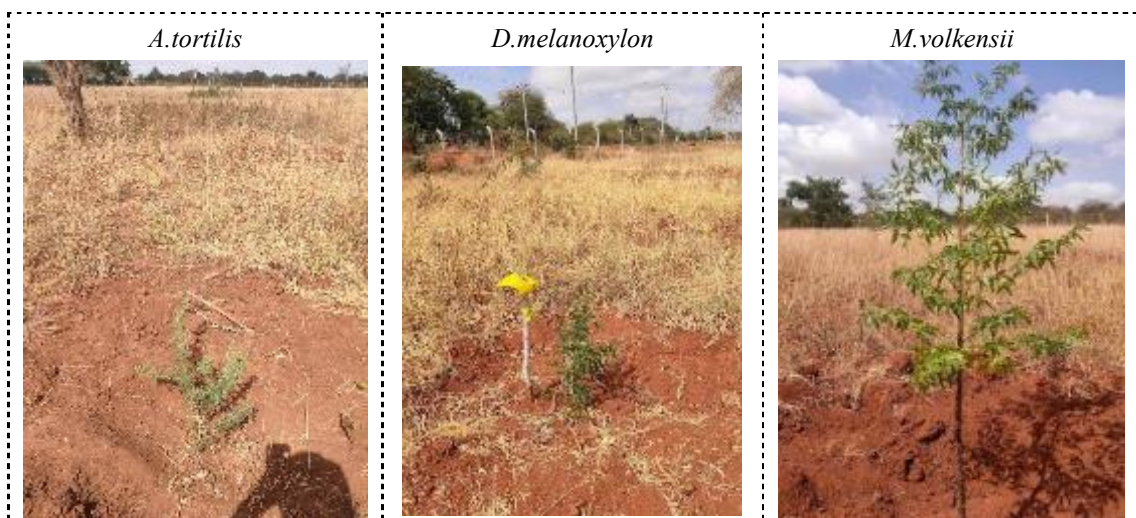


図 3-11 雨季途中(2023年2月)の長根苗

今回の植栽試験から、少なくとも *D.melanoxylon* と *M.volkensii* は、長根苗は乾季前半に植栽し、その後無灌水でも最初の乾季を乗り越えられる可能性が高いことが示された。植林して 2 年以降は、長根苗でも生残率の若干低下している原因として、下草の影響が考えられる。長根苗はあくまで植栽直後の干ばつリスクを抑えるためのものであり、雑草木との競合を避ける雨季の下草刈りや水分環境を維持する集水キャッチメントといった管理は必要であろう。*A.tortilis* で長根苗の効果がみられなかった原因の一つとしては、白蟻等の食害が考えられるが、他の要因の可能性も含めて、引き続き KEFRI と精査していく必要がある。実際の植林では、あえて乾季前半の厳しい時期に植えることは想定していないが、例えば、農繁期と重なり植林のタイミングが遅れ、雨季后半に植えないといけない、または植栽直後に干ばつが来てしまうような場合でも、長根苗であれば、通常苗よりも高い確率で生残させることが期待でき、小規模農家向け植林において使用する価値のある植林技術であることが確かめられた。

小規模農家向け植林を実施する Kibwezi でも長根苗の効果を検証するための植栽試験を行った(図 3-12)。Kibwezi での植栽試験では、長根苗による生残だけでなく、初期成長の効果を検証するために雨季(2023 年 11 月)に植えた。また、Kitui ではエンジン式ハンディオーガにより植穴掘削を行っていたが、Kibwezi では油圧式建機オーガを用いて、より大きくて深い植穴を掘削した(図 3-15)。植栽後 4 か月経過時点の生残率は、図 3-13 の通りであり、*M.volkensii* 以外は 80%以上の生残率を保っている。今後は成長に対する効果を検証する予定である。

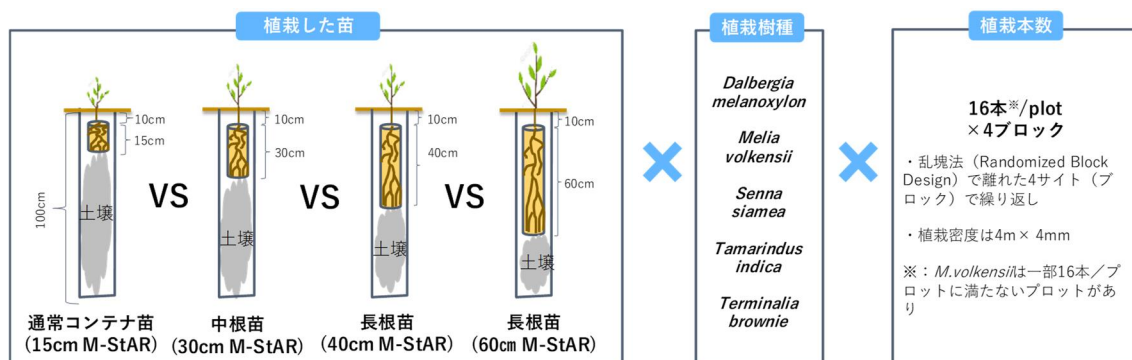


図 3-12 Kibwezi での長根苗を用いた植栽試験の設計(雨季(2023 年 11 月)植栽)

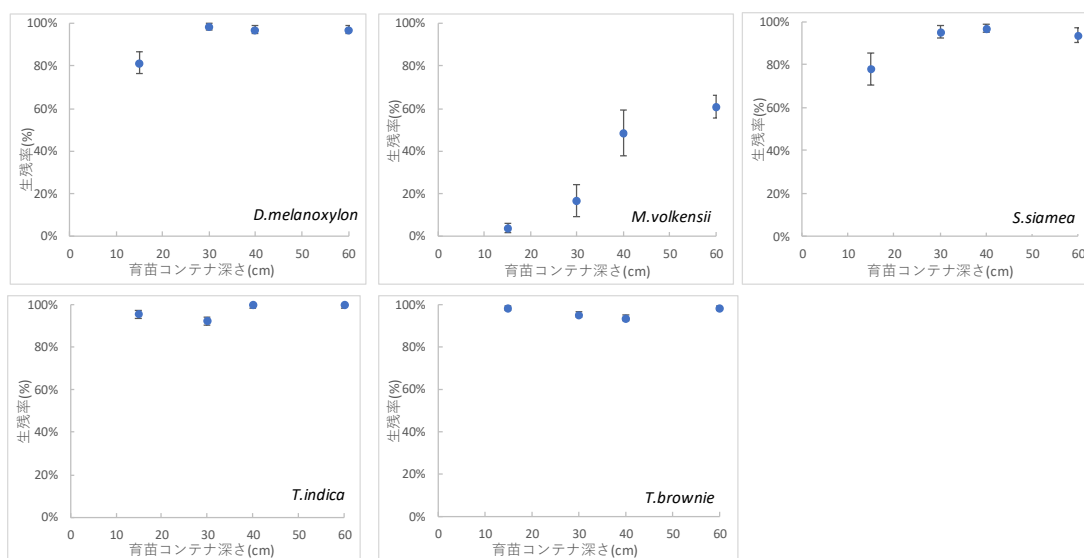


図 3-13 植栽後 4 か月経過時点の生残率の (Kibwezi、雨季植栽)

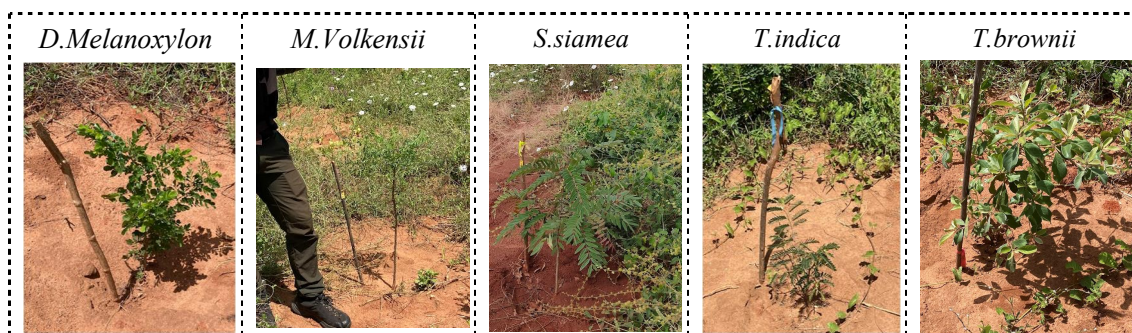


図 3-14 植栽して 4 か月経過時点の苗 (4 深度のコンテナ苗が混在)

(3) 長根苗の植穴掘削の効率化

ケニアの乾燥・半乾燥地 (ASAP) では、フェラルソル (Ferralsol) が多く分布し、ペトロプリンサイト (Petroplinthite) と呼ばれるような硬い土壌層が点在している。比較的浅い部分にそれがある場所に植林した場合、根系発達が妨げられ、数年後に一斉に枯れる現象 (ダイバック) が報告されており、ASAP での植林を妨げている。固い土壌層が出現する深さは、場所により異なり、地表からは分からないため、ダイバック回避のためには、なるべく深い植穴を掘削する必要がある。また、深い植穴の掘削は乾燥地における植栽直後の苗木の深部成長を促すことにもつながる。令和 4 年度までは、エンジン式ハンディオーガやトラクターオーガを用いて長根苗の植穴掘削を行ったが、硬い土壌層にあたると掘削できないことや、硬い土壌層がない場合でも深い植穴を掘削するのに時間と労力を要していた。そこで、令和 5 年度は、油圧式建機オーガを用いて植穴掘削を行ったところ、径 20cm 程度で、深さ 1m 程度の植穴が、1 分弱/穴程度の速度で掘削できるようになり、これまでの植穴掘削の生産性が大幅に改善された (図 3-15)。ただし、小規模農家向け植林の現場における幅の狭い道や植林区面積の狭さに対して、建機車体が大きすぎて機動性に欠けることや、雨季になるとさらに機動性が低下し、建機の稼働率が下がることから、実用化のためには課題が残されている (図 3-16)。



図 3-15 植穴掘削方法の比較



図 3-16 油圧式建機オーガの実用化に向けての課題

3.3.2 長根苗を用いた小規模農家向け植林のモニタリング手法開発

(1) 長根苗を用いた小規模農家向け植林の実施

長根苗を使った小規模農家向け植林は、図 3-17 に示したようなアプローチで、Kibwezi 内において、自身が保有する土地内で植林を希望する農家を対象に行なった。希望する農家には、KEFRI を通じて育苗された長根苗を無料配布(上限は 50 本程度)し、建機による植穴掘削も無料で行なった。近隣農家の間でも、土地利用方法は様々であり、植林に使える土地の大きさや形状が違うことから、農家の希望に柔軟に対応できるように、植栽配置の指定は特に行わず、列状植林、境界植林、ギャップ植林、Woodlot 植林等、どんな植林形態でもよいこととした。ただし、植栽間隔は 4m 以上開けることと、植林後の管理(除草、家畜防除、集水域)は確実にを行うことを条件とした。樹種は、主に薪炭材として用いられる在来樹種を中心とした 12 樹種から、農家の希望に応じて配布した。今回の植林の目的は、主に薪炭材供給であり、特に伐採規制等は設けておらず、将来的には農家自らの判断で自由に利用できることになってはいる。植林木からの薪炭供給が最適かつ持続的にできるように、Pollarding 等による枝萌芽更新や、枝の選択伐採等といった施業方法を KEFRI とともに普及していく予定である。

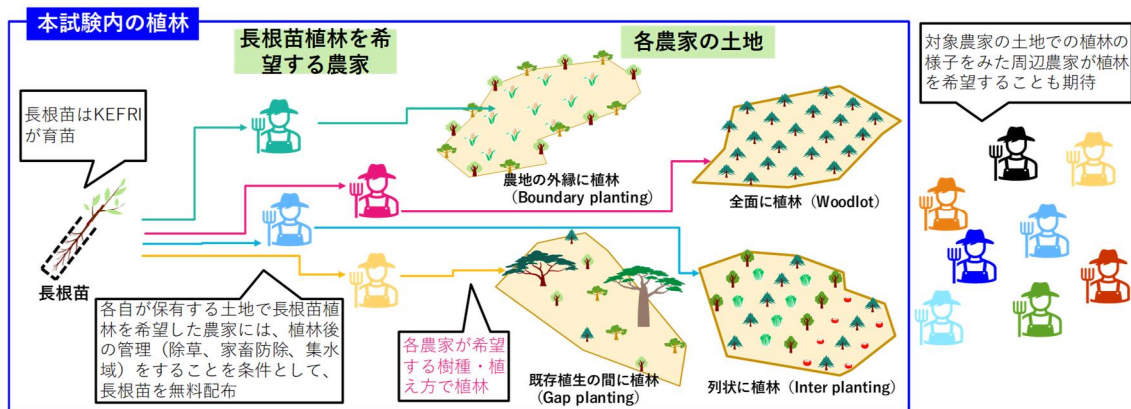


図 3-17 長根苗を使った小規模農家向け植林のアプローチ

小規模農家向け長根苗の植林は、2023年10月7日から12月22日までの約2か月半(実質稼働日は34日間)行われ、全部で72農家の保有する土地で、3,533本の長根苗の植林が行われた(図 3-18、表 3-2、図 3-19)。全72農家の植林形態は図 3-20の通りであり、列状、境界、ランダム、各農家で様々な配置で植林していることが見て取れる。



図 3-18 小規模農家向け植林の対象 72 農家の位置 (●は農家の位置を示す、背景地図は Google)

表 3-2 小規模農家向け植林で植林した樹種

樹種	在来・外来	主用途	植栽本数
<i>Azadirachta indica</i>	外来	薪炭	208
<i>Acacia mellifera</i>	在来	薪炭	407
<i>Acacia polyacantha</i>	在来	薪炭	717
<i>Acacia tortilis</i>	在来	薪炭	555
<i>Balanites aegyptiaca</i>	在来	薪炭	22
<i>Dalbergia melanoxylon</i>	在来	高級材	413
<i>Gmelina arborea</i>	外来	用材	242
<i>Melia volkensii</i>	在来	用材	146
<i>Senna abbreviata</i>	在来	薪炭	96
<i>Senna seamea</i>	外来	薪炭	302
<i>Tamarindus indica</i>	在来	果実	169
<i>Terminalia brownii</i>	在来	建材	256
合計			3,533



図 3-19 小規模農家向け植林の様子



図 3-20 対象 72 農家の植林形態(●は植林木の位置、樹種で色異なる、背景地図は Google)

植林して 4~5 か月経過後の小規模農家向け植林地は図 3-21 の通りである。現時点では経過観察のみであり、すべての植林木を確認してはいないが、概ね順調に生育していることが確認された。



図 3-21 小規模農家向け植林で植林した苗の様子(植林して4~5か月経過時点)

(2) 植林生残木の自動検出(カウント)

前述の通り、小規模農家向け植林のモニタリングをするにあたっては、最低限、定期的な植林生残木のカウントが必要である。令和4年度は、解像度2cmのドローン画像(NDVI)から2年生植林木の単木レベルの自動検出を行ったが、その検出精度は低かった。さらに、植林区が多数点在する小規模植林農家向け植林では、全ての植林区にドローンを飛行させ撮影するには時間とコストがかかり、現場での実用性は低いと判断した。一方で、樹冠がうつ閉しない乾燥地においては、衛星画像による単木レベルの自動検出が既に行われている(図3-22)。ただし、植林による貢献度を示すためには、天然木と植林木を区別してカウントする必要があるが、図3-20のように各農家が自由に植えるような場合、植栽のルール・パターンに規則性がないので、高解像度衛星画像でも植林木だけを見分けて自動検出することは難しい。また、2時期の衛星画像を重ね合わせ、その期間内での木の増減をカウントすることは理論的には可能だが、それだけでは、天然更新による増減と植林による増減の区別ができないので、衛星画像単体での植林生残木のカウントは難しい。

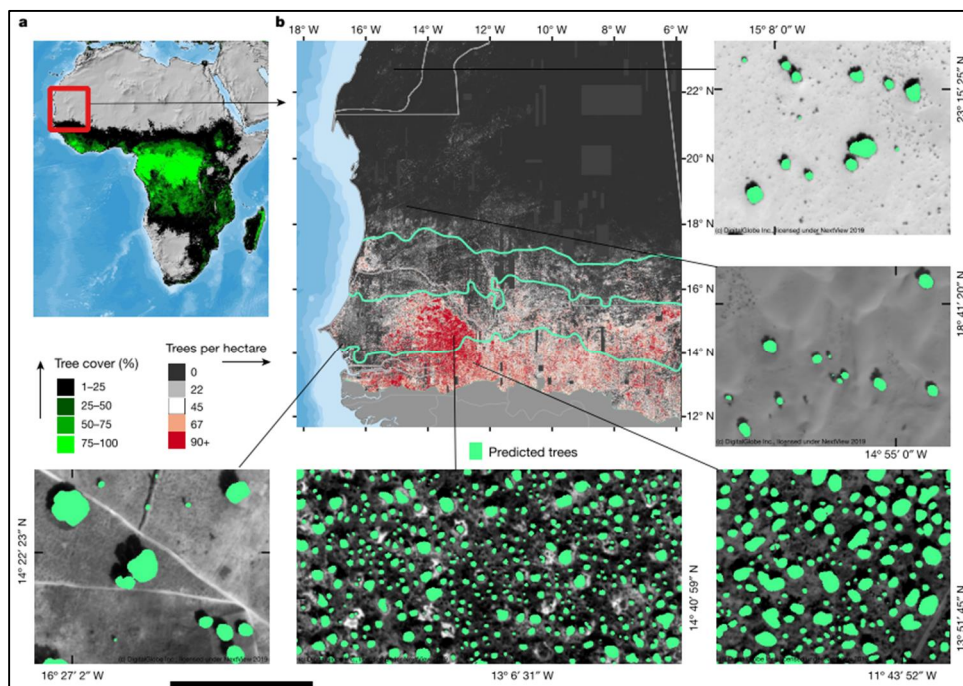


図 3-22 衛星画像と機械学習による単木レベルの自動検出(出典:Brandt et al., 2020)

そこで、本試験では、植栽するすべての苗木の位置情報を、植栽時に記録した。ガーミン等のハンディGPSの精度は5m前後であるが、本手法ではそれよりも精度が高いGNSSローバーにより、植林木の位置情報を記録した(図3-23)。その位置情報は図3-20の通りであり、50cm以内の精度で全ての植林木の位置情報が記録できたことが確認された。植林木の高精度位置情報を記録することで、不規則に植えたとしても、木が大きくなり樹冠が成立するにつれ、解像度50cm程度のグーグルアース等で、誰でもどこからでも1本1本の生育状況(樹冠)を確かめカウントすることもできる。また、全木の位置情報があれば、現場にIDタグがなくても、農家自らがスマホで自分の現在位置と植栽位置情報を照らし合わせることで、植林木にたどり着くことができるので、その生死や成長を確かめやすくなる。さらには、全植林木の位置情報に、農家、樹種、植栽年、支援者等の様々な情報を紐づけることにより、GIS上で全てデジタル管理もでき、生残率の高い樹種、適切な管理を行っている農家等も特定や、支援者毎の植林木の成長も可視化できるようになる。



図 3-23 GNSS ローバーを用いた植林木の位置情報取得方法

今回のように 3,500 本程度であれば、衛星画像やグーグルアースから目視でもその生残本数をカウントすることができるが、将来的に植林木が数百万本以上になると、目視での生残確認は手間がかかることが予想される。そこで、本試験では、今回取得した植林木の高精度位置情報と高解像度衛星画像を使って、機械学習により植林木の自動検出ができないか検討した。具体的には、図 3-24 に示した通り、まず、植林して数年後、樹冠が成立した際に、全植林木の高精度位置情報(ポイント)を衛星画像に重ね合わせることで、すべての植林木に対して、その位置を中心に、任意のサイズの四角枠で、機械・自動的に衛星画像を切り出す。画像枠の一部は、目視や現場確認等により木の有無を判別したうえで、その枠全体の画像パターンで、木がある画像枠と木がない画像枠を Python 等のフリーソフトを用いた機械学習により学習させ、木の有無を判別する予測モデルを作る。最後に、作成した予測モデルに、残りの画像枠を入力することで、自動的に木の有無を判別し、植林生残木をカウントするという手法である。樹種や植林年によって、樹冠の形が変わり、切り出した画像枠のパターンも異なることが予想されるので、それぞれについて予測モデルを作ることになる。この手法により、ある程度の精度で生残木が自動検出できれば、前述の *Census-based approach* による炭素固定量推定に必要な生残本数が瞬時にカウントできるようになる。

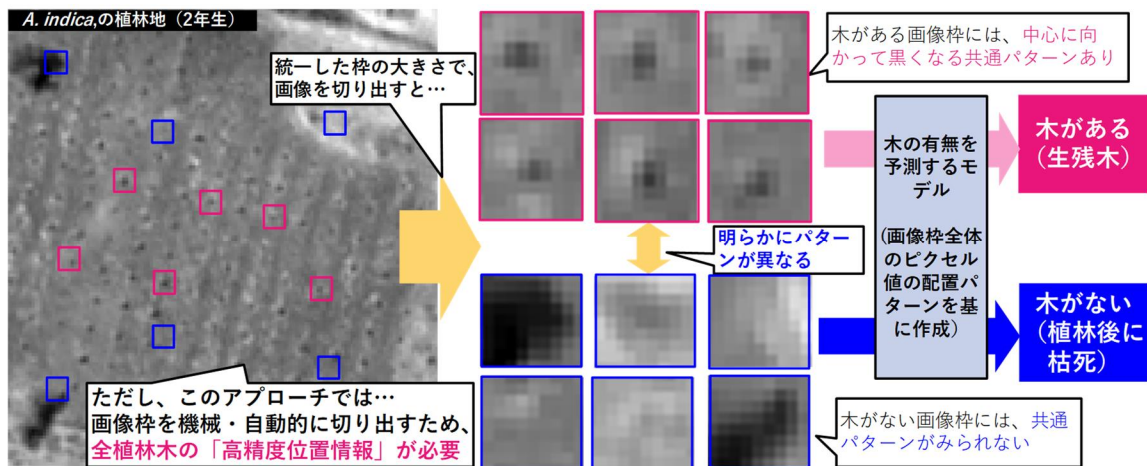


図 3-24 本試験で試行した機械学習による植林生残木カウントのアプローチ

前述の高精度位置情報を取得した小規模農家向け植林の植林木は、植栽して1年未満であり樹冠が未成立であったために、令和5年度は、KEFRIが保有する7年生 *A.tortilis* と2年生 *A.indica* の既存の植林地の衛星画像を用いて自動検出の実証試験を行った。ただし、当該植林地では、植林木の位置情報がないため、今回は図3-25の通り、衛星画像からの目視+ドローン画像による木の有無の確認で、木の位置を特定し、それを中心に4m四方の画像枠を切り取った(実際は、植栽時の位置情報(点)を基に自動的に任意の大きさの画像枠を切り取ることが可能)。

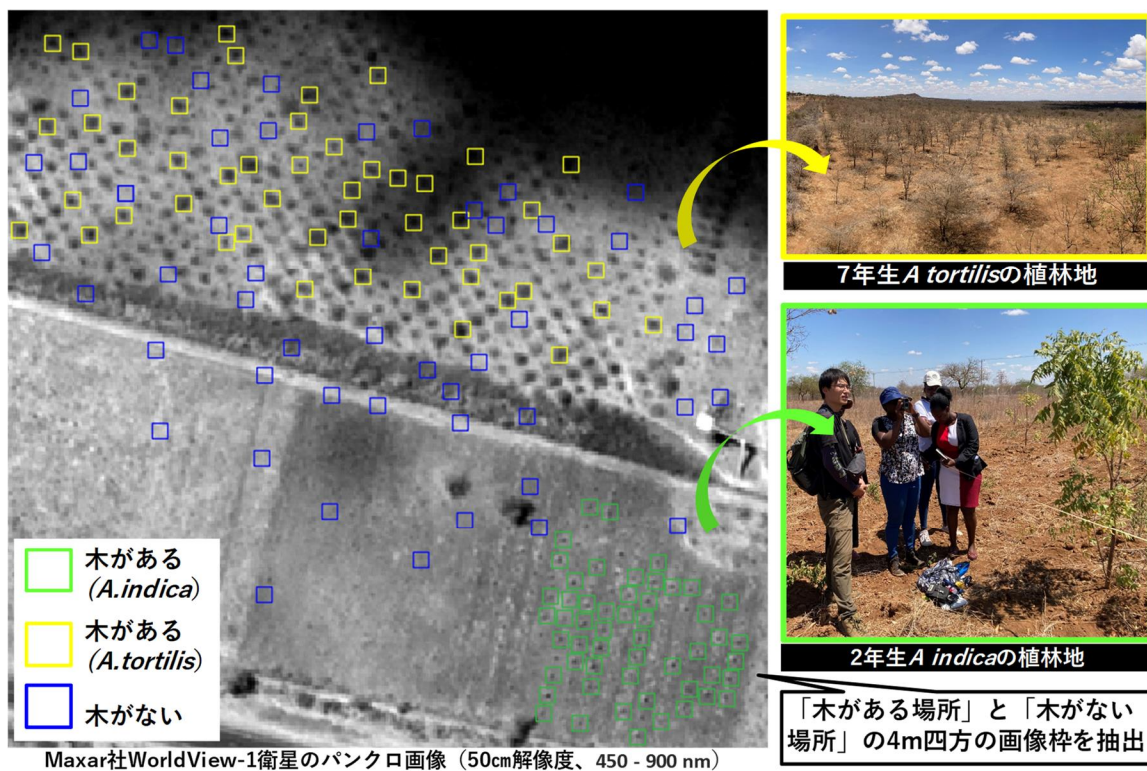


図 3-25 既存植林地(7年生 *A.tortilis* と2年生 *A.indica*)の植林木の画像枠の抽出

7年生 *A.tortilis* の機械学習による自動検出結果は図 3-26 の通りである。7年生 *A.tortilis* の樹冠の画像枠 50 枠と木がない画像枠 50 枠のうち、それぞれ 40 枠を木の有無を予測するモデル作成用に使用し、残りの 10 枠を検証用として、作成した予測モデルの結果と実際の有無の結果を比較した。その結果、誤識別は 2/20 で 80%の精度で木の有無を自動検出できることが分かった(誤識別はした画像枠は同図に示す)。

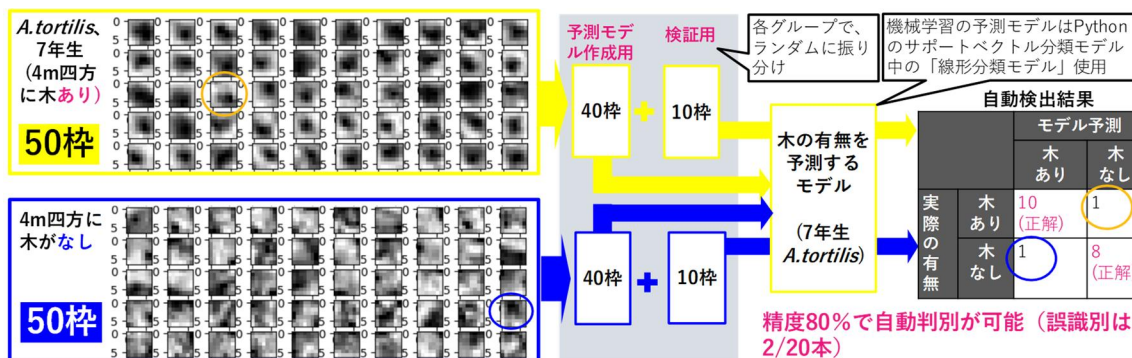


図 3-26 7年生 *A.tortilis* の機械学習による自動検出結果

次に、2年生 *A.tortilis* の機械学習による自動検出結果を図 3-27 に示す。前述の7年生 *A.tortilis* と同様、樹冠の画像枠 50 枠と木がない画像枠 50 枠のうち、それぞれ 40 枠を木の有無を予測するモデル作成用に使用し、残りの 10 枠を検証用として、作成した予測モデルの結果と実際の有無の結果を比較した。その結果、誤識別は 1/20 で 90%の精度で木の有無を自動検出できることが分かった(誤識別はした画像枠は同図に示す)。

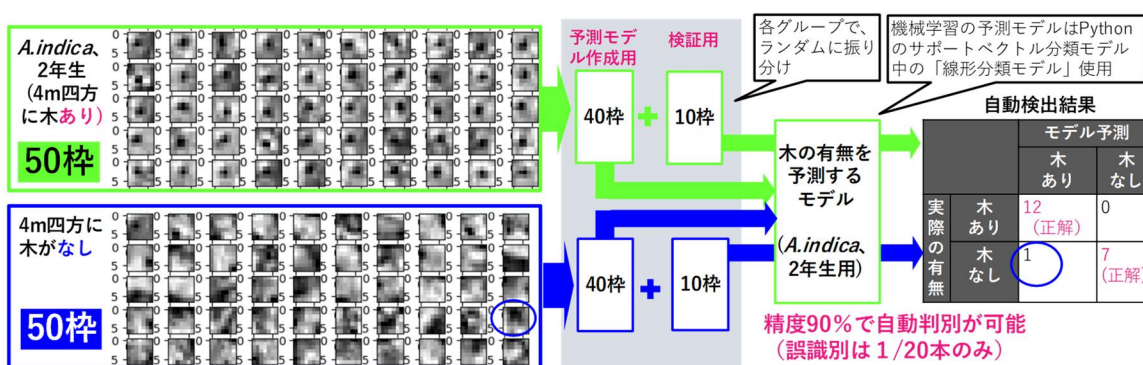


図 3-27 2年生 *A.indica* の機械学習による自動検出結果

3.3.3 住民便益の可視化(植林による薪供給ポテンシャルの把握)

(1) 小規模農家向け植林対象地域での薪炭材の消費量(令和4年度実施)

今回、Kibweziで実施した小規模農家向け植林の目的は、主に薪炭材の供給である。そこで、本試験では、可視化する住民便益の指標として、長根苗植林による薪炭材供給ポテンシャルを選定し、①現時点での薪炭材消費量(ベースライン)に対し、②長根苗植林によって期待される薪炭材の供給量を明らかにすることとした(図 3-28)。

まず、①現時点での薪炭材消費量等を把握するためのベースライン調査として、令和4年度に、Kibwezi 行政区内に住む 93 世帯の農家に対して、図 3-28 の左に示したような質問項目で、インタビューを行った。その結果、1 世帯当たりの薪炭消費量は 2,349 kg(気乾重)／年程度であることが分かった。また、半分以上の 66%(=62/93 世帯)の農家は、天然木由来の薪のみを使っていることが分かった。さらに、植林のために使える土地が 0.4ha／世帯程度はあることが分かった(詳細は令和4年度同事業報告書参照)。

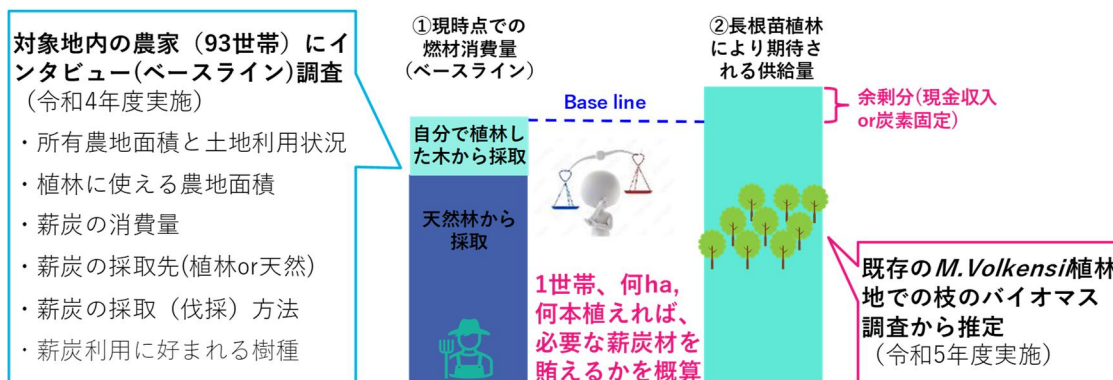


図 3-28 長根苗植林による薪炭材供給ポテンシャルの可視化の考え方

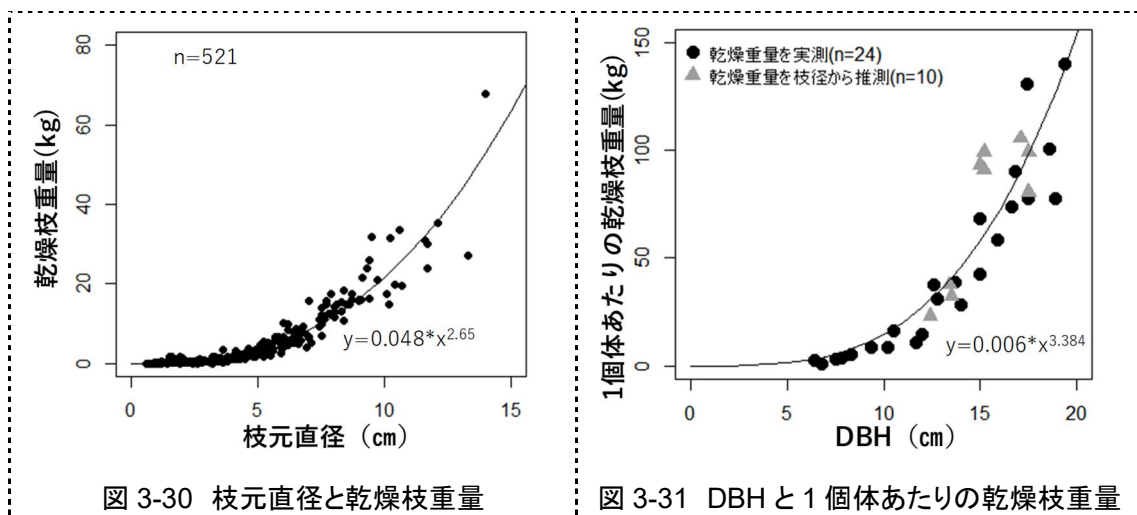
(2) 植林による薪炭供給ポテンシャルの推定(令和5年度実施)

①現時点での農家の薪炭材消費量(ベースライン)に対して、②長根苗植林によって期待される薪炭材の供給量がどの程度かを明らかにするためのバイオマス量調査を行った。令和4年度に実施したベースライン調査から、90%以上の農家は枝の選択伐採により薪炭材採取をしていることが分かったので、枝のバイオマス量に着目し、植林して何年でどの程度の枝が薪炭として利用できるかを予測した。KEFRI が保有する 7~10 年生の *M. volkensii* の植林地から様々な DBH の立木 34 本を選定し、主幹以外の枝を伐採し、生重量を測定後、乾燥重量を推定した。



図 3-29 *M. volkensii* の枝のバイオマス量把握調査

得られた乾燥重量から、①枝元直径と乾燥枝重量の関係式(図 3-30)、ならびに②DBH と 1 個体あたりの乾燥枝総重量の関係式を構築した(図 3-31)。同サイトの *M.volkensii* は植林して 10 年程度で DBH が 20cm 程度になるとされている(Ndufa et al.,2018)。②から DBH が 20cm 程度の枝のバイオマスは約 154kg/本と推定でき、10 年後にはそれだけの薪炭材が採取できると見込める。



今回の枝のバイオマス量調査と令和 4 年度のベースライン調査の結果は、図 3-32 のようにまとめられる。1 世帯当たりの薪炭消費量が 2,349kg(気乾重)/世帯・年程度なので、10 年後に植林木(枝)から薪炭材消費をすべて賄えるようにするには、15~20 本/年のペースで植林すればよいことになる。植林のために使える土地が 0.4ha/世帯程度であり、4m×4m の植栽間隔なら最大 250 本は植えられることから、必要な薪炭材の全てを植林木から賄える可能性は高いことが分かった。

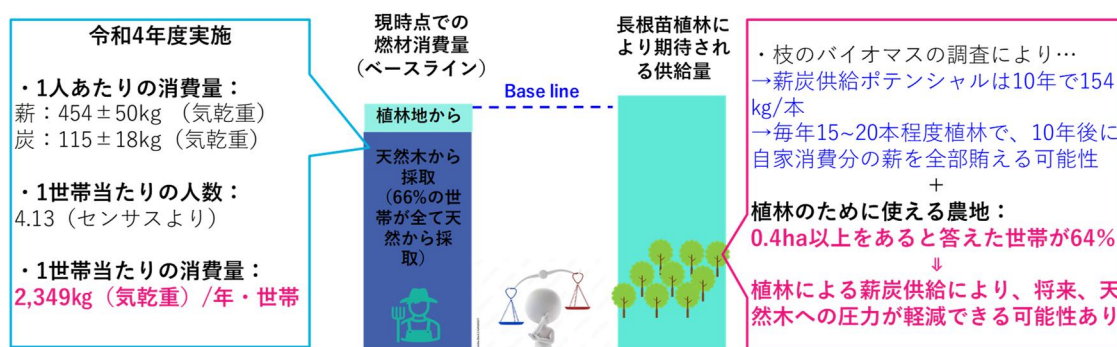


図 3-32 薪炭消費長に対する薪炭供給ポテンシャル

ただし、今回は植林して 10 年後に初めて枝の収穫をすることを想定し、その供給可能量を予測したが、2 回目以降は、更新枝を収穫することになり、その供給量は増減すると予想される。また、農家にとっては、より短い期間で枝の収穫を開始できるほうがよいと同時に、短い期間で伐採更新させたほうが、最終的な植林木 1 本当たりの枝の生産量は多くなるかもしれない。さらに、今回の調査対象樹種である *M.volkensii* 以外の樹種では、枝の薪炭材としての供給量も異なってくる。

今回の調査は、あくまで、現時点の薪の消費量や植林可能な土地面積に対して、植林による薪炭材供給ポテンシャルがどの程度あるか目安を測るものであり、それが十分高いことが分かったが、どの時期にどれだけ収穫することで、最大限の薪炭材を供給できるのか、更なる調査が必要である。

3.4 検討した可視化手法のコスト試算

3.4.1 長根苗の育苗コスト(従来のポット苗に対する追加コスト)

長根苗の育苗期間は従来ポット苗と同様に1シーズン(5か月程度)であるが、長根苗の育苗には、育苗容器のM-StARに加え、培地であるココナツピートや育苗棚といった資材が必要なので、従来ポット苗よりも20円/苗以上は高くなる(図3-33)。しかし、従来のポット苗は、植栽までに何度も根切りのためにポットを移動や雑草除去する必要があり、植栽まで苗畑に置いておく限りはその作業コストが発生する。M-StAR苗であれば、自然に空中根切りができるので、灌水さえ続ければ放置していても、根巻きしない苗ができる。また、乾燥地では、育苗よりも植栽のコスト²が割高になりやすく、長根苗により得られるメリット(灌水不要、植栽可能期間が長い、補植費用の軽減、成長促進)を考えると、長根苗の育苗コストが高くて普及する可能性は十分あると考える。ただし、現時点ではM-StARを日本から輸送する際のコストが高く、その体制も確立していない。現在、本格的なM-StAR輸出に向けて、製造会社とそれを取り扱う商社と交渉中であり、20フィートコンテナ1台単位での輸出であれば、現地でも受け入れやすい値段になる見込みである。今後も、M-StARの輸出検討を続けるとともに、竹等の代替資材も検討する予定である。また、長根苗の育苗用培地であるココナツピートの価格も毎年値上がりしているため、代替品も模索する必要がある。

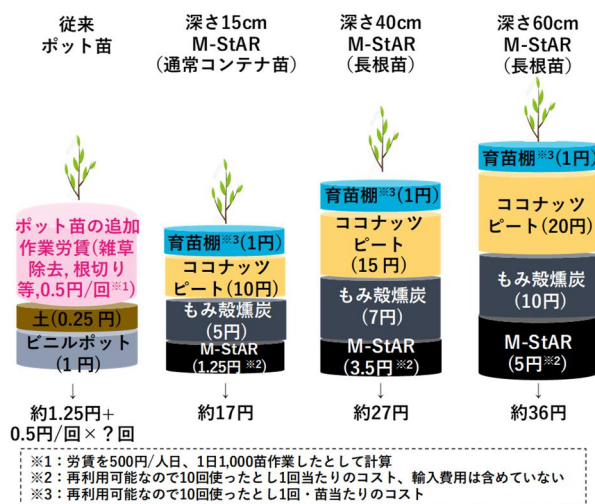


図 3-33 長根苗の育苗にかかるコスト(概算)

3.4.2 長根苗の植穴掘削用の油圧式建機オーガのコスト

本試験で使用した油圧式建機オーガによる植穴掘削に掛かった費用実績から、深さ1mの植穴掘削に係るコストは約250円/穴であった(表3-3)。人力で深さ1mの植穴を掘るのは難しく、掘れたとしても5~10穴/人日程度である。エンジンオーガで50穴/人は掘れるかもしれないが、固い

² 植栽コストは、その大部分が人件費であり、各国の相場や熟練度により変動しやすいことに加え、灌水の有無や補植の程度等でも大幅に変わるため単純には比較できない。少なくとも長根苗の植栽コストが従来法よりも高くなることはないといえる。

土壌では掘れない、柔らかい土壌でも深さ 60cm 程度までしか掘ることができない。現地の人件費が約 700 円/人日程度であることを鑑みると、油圧式建機オーガによる植穴掘削のコスト(約 250 円/穴)は高いかもしれないが、深い植穴のほうが植林木の成長が良いことやダイバックの回避ができることが証明できれば、普及の可能性は十分ある。また、今回は現地業者からレンタルで建機を調達しており、そのコストが高く、大部分を占めている。建機を保有すれば大幅にコスト削減が可能である。さらに、実際の油圧式建機オーガによる植穴掘削の所要時間は、1 分弱/穴程度であり、1 日の半分以上は植林地までの移動に費やされている。建機の稼働率はコストに直結するので、コスト削減のためには、効率的かつ確実な移動経路・手段の確保することが重要である。例えば、予め農家に植林する場所をスマホ GPS で共有してもらったり、近隣の対象農家の中から 1 農家を、現地調整役として選定し、植穴掘削当日の各農家への連絡調整や移動経路の確認を担当してもらう等が考えられる。

表 3-3 油圧式建機オーガのコスト(実績から概算)

No	項目	費用	単位	備考
①	機械レンタル費	55,000	円/日	オペレータ費用含む
②	燃料費	7,000	円/日	214 円/リットル、燃費:約 6 リットル/時間
③	植穴掘削の日当たりコスト	62,000	円/日	①+②
④	植穴掘削の日当たり数量	250	穴/日	
⑤	植穴掘削 1 個当たりのコスト	248	円/穴	③/④

3.4.3 植林木のモニタリングのための高精度位置情報取得にかかるコスト

今回、植林木の高精度位置情報を記録するために使用した GNSS ローバーの製品名は、Stonex S9 II で、ケニアの現地航測会社からオペレータ込みで、16,550 円/日でレンタルした。同製品は、市場では 10 万円程度で購入可能であり、GIS 等の知識がある者なら誰でも操作可能である。従って、実際に運用する場合は、プロジェクト実施者が購入し、現地雇用、もしくは KEFRI スタッフのような関係者に操作を覚えてもらい、操作してもらったほうがコストは格段に安くなる。

3.4.4 植林木のモニタリングのための衛星画像のコスト

本試験で使用した解像度 50cm の衛星画像は、Maxar 社と Planet 社で新規撮影購入可能である。Maxar 社の場合、最低注文面積が 10,000ha で、約 6,000 円/100ha である。Planet 社の場合は、サブスクリプション契約になり、条件にもよるが約 225 万円で 12.5 万 ha 分の新規撮影が可能である。よって、今回、小規模農家向け植林の対象地である Kibwezi 全体の約 20 万 ha を全てカバーするとなると、Maxar 社であれば 1,200 万円、Planet 社では 450 万円程度と概算できる。衛星画像の費用対効果を高めるためには、購入する衛星画像の中に、なるべく多くの対象農家(植林区)が含まれるようにしたほうがよく、例えば、実際の運用にあたっては、対象域を 10 万 ha 程度に絞り込んだうえで、その中から 1,000 農家以上の対象農家を選定する等すれば、衛星画像を購入して、今回検討したような手法でモニタリングすることの実行可能性も出てくるだろう。

3.5 対象国における検討した可視化手法の普及説明会

令和5年度は以下の通り、KEFRI や JICA に対して本試験の活動内容の紹介等を行った。また、2023年11月には、KEFRI が開発中の乾燥地に適した苗として長根苗がケニア現職大統領に紹介され、植林の体験もしていただいた。

開催日時:2023年6月7日	
場所: KEFRI (Kitui)	
参加者: KEFRI の職員(10名程度)、JIFPRO(田中、柴崎)	
JIFPRO から本試験を開始するにあたり、試験の目的や計画を説明	
開催日時:2023年9月29日	
場所: KEFRI (Kitui)	
参加者: BGF のシニアダイレクター、KEFRI の職員(1名)、JIFPRO(柴崎)	
2万農家以上、300万本以上の小規模農家向け植林を実施する BGF のシニアダイレクターに長根苗や M-StAR を説明	
開催日時:2023年10月9日	
場所: JICA プロジェクトオフィス(ナイロビ)	
参加者: JICA 専門家(井上、斎藤、本庄、横山)、JIFPRO(柴崎)、コマツ(水野)	
JIFPRO とコマツから本試験の進捗状況を説明	
開催日時:2023年11月頃	
場所: Kibwezi 近郊	
Kibwezi 近郊の植樹祭にて、KEFRI が開発中の乾燥地に適した苗として長根苗がケニア現職大統領に紹介され、植林の体験もしてもらった。	

3.6 実証試験の総括-実用化に向けた課題を中心に-

ケニアでは、2032年までに森林率30%達成にむけて、小規模農家向け植林への期待が高まっている。しかし、国土の大部分を占めるASAP(乾燥・半乾燥地)での植林が進んでいない。また、植栽後のモニタリング方法が未確立、もしくはコストが高いため、このままでは、モニタリングが行われず、植えた本数や面積だけが報告されるだけのケースが多くなることが予想される。本試験では、ケニアのASAPでの小規模農家向け植林(の支援)を促進するべく、①長根苗の育苗・植林試験による技術開発を行うとともに、②実際に長根苗を植栽した小規模農家の植林地において、衛星画像と全植林木の高精度位置情報を用いたモニタリング(生残木カウント)手法の開発を試みた。また、③住民便益の一つとして、植林木による薪炭材供給に着目し、農家の薪炭消費量に対して、将来的に植林木からどの程度の薪炭を供給できる可能性があるのかを明らかにした。

3.6.1 ①長根苗の育苗・植林試験による技術開発

Kituiでの長根苗の植林試験(乾季植栽)により、*D.melanoxyton*と*M.volkensii*については、長根苗は乾季前半に植栽し、その後無灌水でも、最初の乾季を乗り越えられる可能性が高いことが示された。実際の植林では、あえて乾季前半の不適な時期に植えることは想定していないが、例えば、農繁期と重なり植林のタイミングが遅れ、雨季後半に植えなければならない、または植栽直後に干ばつが来てしまうような場合でも、長根苗であれば、通常苗よりも高い生残率が期待でき、小規模農家向け植林において使用する価値のある植林技術であることが確かめられた。

長根苗は、すでにケニア現職大統領にもASAPでの有望な植林技術として認知されており、今後もKEFRIと共同で育苗・植栽試験を通してその技術開発や普及を続ける予定である。特に、長根苗の育苗容器であるM-StARを日本から輸送するためのコストが高いのが課題である。日本の製造会社や商社とM-StARの本格的な輸出体制構築に向けた検討を始めたところであり、もし実現すれば現地でも受け入れやすい値段になる見込みである。それと同時に、竹などのM-StARの代替資材となる育苗容器の検討も進めつつある。

長根苗用の深い植穴掘削については、これまで現地に多く見られる硬い土壌では掘削ができなかったが、令和5年度に新たに試行した油圧式建機オーガにより、固い土壌でも短時間で1mほどの植穴が掘削できることが実証できた。今回は、日本の大手建機メーカーであるコマツの協力の下、現地業者から油圧式建機オーガをレンタルし、そのコストが非常に高いが、建機を保有することができれば大幅にコスト削減が可能である。コマツも、本試験への参画を、自社のICT技術がアフリカでの植林に貢献できる機会ととらえており、将来的には、植穴掘削に使う建機のアームの先端に高精度位置情報を取得するキットをとりつければ、植穴掘削と位置情報の取得が同時に可能になると見込んでいる。今後も、コマツとともに油圧式建機オーガによる植穴掘削の実用化に向けた検討をする予定である。

3.6.2 ②小規模農家向け植林の実施とそのモニタリング(植林生残木カウント)手法の開発

Kibweziでの長根苗を用いた小規模農家向け植林では、全部で72農家の保有する土地で、3,533本の長根苗の植林を実行できた。Kibweziには5.5万程の世帯が住んでおり、その大部分

が小規模農家である。小規模農家が 250 本/農家の植林を実施すると、1 万世帯でも 250 万本規模の植林ができることになり、そのポテンシャルは非常に高い。今回植えた長根苗が順調に育てば、土地を提供した参加農家だけでなく、それを見た近隣の農家の植林に対する意欲が高まることも期待できる。

また、本試験で実施した小規模農家向け植林の一番の特徴は、農家の希望や土地利用に合わせて、自由度の高い植林を実施していることである。各農家の既存の土地利用や土地利用方法は様々であり、植林に使える土地の大きさや形状が違うことから、各々植林のニーズ(植えたい場所・本数、利用したい樹種)も異なる。そこで、植栽配置や樹種の指定は特に行わず、希望する樹種を好きな植林形態で植えてもらった。農家の希望に柔軟に対応した植林を実施することで、植林後の各農家の自発的な管理が促され、植栽木の枯死や家畜被害を防ぐことが期待される。

今後、規則性なく不均一に植えた植林木のモニタリングを可能にするのが、全植林木の高精度位置情報である。位置情報があれば、植林地に標識や ID タグがなくても、農家自らがスマホで自分の現在位置と植栽位置情報を照らし合わせることで、全ての植林木にたどり着き、その生死や成長を確かめることができる。木がある程度大きくなれば、解像度 50 cm 程度衛星画像やグーグルアースで、誰でもどこでも 1 本 1 本の生育状況(樹冠)を確かめることもできる。

さらに、今回の試験では、植林木の高解像度位置情報が、衛星画像から植林生残木のみを自動検出する際の有効なフィルタとして使う可能性を示すことができた。全植林木の位置情報には、農家、樹種、植栽年等の様々な情報が紐づいており GIS 上で全てデジタル管理できるので、それに衛星画像による全植林木の生残情報も組み合わせれば、資源量や炭素固定量の推定にも役立てることができる。また、農家ごとに実際に生育した樹木の数が分かれば、薪炭材を植林木からどの程度供給できたかといった住民便益の可視化にも使える。さらに、モニタリングにより、植林後の管理を適切に行なっている農家を特定し、やる気のある農家に優先的に苗木を配ることもできるので、より適切で確実な植林支援が可能になるだろう。

ただし、衛星画像によるモニタリング(自動検出)の実用化にあたっては様々な課題があげられる。例えば、今回は、試験的に自動検出をした 7 年生 *A.tortilis* と 2 年生 *A.indica* の植林木は樹冠が発達しているため高い精度で自動検出できたが、樹冠が成立してない植栽直後の幼樹や成木になっても樹冠形成がしにくい樹種は検出精度が下がることが予想される。また、今回は樹冠サイズに切り取った画像枠のピクセル配置(パターン)によって、木の有無を判断(自動検出)しているが、高い精度で検出するには植林木の高精度位置情報が画像枠の中心($\pm 1\text{m}$ 以内)にくる必要がある。通常、衛星画像の経度と緯度は実際と数 m ずれているため、取得した植林木の高精度位置情報と完全に重ならない可能性がある。GIS ソフトでは、衛星画像の経度緯度を補正するジオリファレンスと呼ばれる機能があるが、1m 未満のレベルで補正できるかは、実際に試してみないと分からない。さらに、解像度 50cm の衛星画像は、通常、学術目的以外では有料である。購入する衛星画像範囲の中に、なるべく多くの対象農家(植林区)が含まれるようにすることで、衛星画像の費用対効果を高めることは可能だが、それでも 100 万円以上はかかるだろう。

以上のように、衛星画像を用いた小規模農家向け植林のモニタリングの実用化に向けては様々な課題がある。実際、多くの炭素クレジット目的の小規模農家向け植林は、衛星画像でなく、住民参加によってモニタリング(主に植林生残木カウント)が行われ、そのためのスマホアプリも開発され

ている。住民参加のほうが、コストは安いかもしれないが、対象農家が数万にも及ぶ場合、全農家に正確に報告してもらうのは膨大な作業になることが予想される。衛星画像か住民参加のどちらのほうがコストや精度に優位性があるかは、今後も検討していく必要があるだろう。

3.6.3 ③住民便益としての植林木からの薪炭材供給ポテンシャルの評価

令和 4 年度の薪炭消費量等に関するベースライン調査と今回の枝のバイオマス調査により、15~20 本/年といった少ない本数の植林でも、自家消費に必要な薪炭材を十分賄える可能性があることが分かった。ただし、今回は植林して 10 年後に初めて枝の収穫をすることを想定し、その供給可能性を予測したが、2 回目以降は、萌芽した更新枝を収穫することになり、その供給量は増減する。また、農家にとっては、より短い期間で枝の収穫を開始できるほうがよいと同時に、短い期間で伐採更新させたほうが、最終的な植林木 1 本当たりの枝の生産量は多くなるかもしれない。さらに、今回の調査対象樹種である *M.volkensii* 以外の樹種では、枝の薪炭材としての供給量も異なってくる。あくまで、今回の調査では、現時点の薪の消費量や植林可能な土地面積に対して、植林による薪炭材供給ポテンシャルがどの程度あるか目安を知るものであった。将来的には、Pollarding 等による枝萌芽更新も含めて、植林木からの薪炭供給を最適かつ持続的にできるような施業方法を検討・普及する必要がある。

最後に、今回のような油圧式建機オーガ、GNSS ローバー、衛星画像等を使った小規模農家向け植林は、農家だけで実施することは不可能である。将来、企業からの金銭的支援もしくは炭素クレジット獲得等のための投資があり、現地コーディネータ付きの植林支援プロジェクトとして行われることが前提条件にある。そういった企業に、植林して終わりではなく、植林後の状況やそれによる貢献度等を報告することを見据えて、モニタリング手法まで検討している。近年、欧米企業や中国の企業を中心に、炭素クレジット獲得目的はもちろんのこと、カーボンニュートラルへの貢献や SDGs を語った途上国での植林支援が大々的に行われているが、それが日本企業にも浸透すること、そしてその際に今回開発した小規模農家向け植林の技術が活用されることを期待している。

3.7 参考文献

Emerton Lucy. 1999. Economic potential of natural woodlands as a component of dryland farming systems in Kibwezi Division, Makueni District, Kenya. No. 8. Regional Land Management Unit, Swedish International Development Cooperation Agency.

Government of Kenya. 2019. Kenya Population and Housing Census Volume II DISTRIBUTION OF POPULATION BY ADMINISTRATIVE UNIT. Kenya National Bureau of Statistics. Nairobi.

Government of Kenya. 2023a. STRATEGIC PLAN 2023-2027. Ministry of Environment, Climate Change and Forestry. Nairobi.

Government of Kenya. 2023b. Forest and Landscape Restoration Implementation Plan (FOLAREP) 2023-2027. Ministry of Environment, Climate Change and Forestry. Nairobi.

Ndufa, J.K., Miyashita, H.. 2018. Preliminary Results on *Melia volkensii* Clonal Variation in Growth and Wood Properties in the Drylands of Kenya. In Project on Development of Drought Tolerant Trees for Adaptation to Climate Change in Drylands of Kenya. 90–95.

VCS. 2023. VCS Methodology AFFORESTATION, REFORESTATION AND REVEGETATION (VM0047) Version 1.0.

柴崎一樹、仲摩栄一郎、田中浩. 2023. 途上国での植林活動の方向性(1) -VCS植林プロジェクト事例からみる最近の植林形態-. 海外の森林と林業. 118: 13-17.

柴崎一樹、仲摩栄一郎、田中浩. 2024. 途上国での植林活動の方向性(2) -小規模農家向け植林のモニタリング手法-. 海外の森林と林業. 119: 42-47.

国際緑化推進センター(JIFPRO). 2021. 途上国森林再生技術普及事業 令和2年度報告書. 林野庁補助事業.

国際緑化推進センター(JIFPRO). 2022. 途上国森林再生技術普及事業 令和3年度報告書. 林野庁補助事業.

国際緑化推進センター(JIFPRO). 2023. 途上国森林づくり活動貢献度可視化事業 令和4年度報告書. 林野庁補助事業.

4. マレーシア・サバ州でのアカシア産業植林の炭素蓄積と生物多様性評価

国際緑化推進センター (JIFPRO) 高原 繁、仲摩 栄一郎、田中 浩

要約

本実証調査においては、マレーシア・サバ州での越井木材工業株式会社によるアカシア・ハイブリッド産業植林地の炭素蓄積及び生物多様性保全への貢献の可視化を行った。本植林地の植林前の状況は、森林火災等により草地化した荒廃地であり、天然林転換による植林ではない。また、現在は周辺にオイルパーム農園が広がっている。主伐が始まっており、伐採された木材は日本でトラック荷台床板として使用されている。植林地の炭素蓄積量の評価について、周辺の代表的な土地利用であるオイルパーム農園に比べ、植林地の樹木の地上部バイオマスと土壌の炭素蓄積量は顕著に高く、植林地が炭素蓄積に貢献していることが示された。また、伐採木材が利用されているトラック荷台床板の炭素蓄積量の推計を行った。植林地による生物多様性保全への貢献度の評価について、アカシア植林地内にも、アカシア以外の一定の在来植物種が維持されていることが分かった。また植林地域内で保全されている天然生二次林、溪畔林では在来植生保全と希少種の保全に貢献していることが示された。さらに、ケランガスについては、植林による攪乱はあってもウツボカズラ等の特異なケランガス植生保全へ貢献していることが示された。

4.1 マレーシア・サバ州の森林の現状と森林・林業政策

4.1.1 マレーシア全体の概況

マレーシアの国土は、マレー半島の中中部から南部の半島部、ボルネオ島の北西部及び周辺の島嶼部から構成される(図 4-1)。ボルネオ島の北西部については、西部のサラワク州及び北部のサバ州からなる。マレーシアの 2021 年国家森林計画によれば、国土面積は 33 万 km² である。各地域の土地面積は次の通りである(表 4-1)。



図 4-1 マレーシアの国土(出典:Google マップ)

表 4-1 マレーシアの地域別土地面積

国土	半島マレーシア	サラワク州	サバ州	合計
土地面積(千 ha)	13,181	12,397	7,413	33,010

マレーシアは、マレー半島の 11 州と、ボルネオ島のサラワク州、サバ州、さらに 3 つの連邦直轄領で構成されている。各州政府が土地や森林などの所有権を有し、州法を制定して土地を管理している。森林行政については、マレー半島は、各州の林業局を統括する半島マレーシア林業局 (Forestry Department Peninsular Malaysia: FDPM)、サラワク州はサラワク森林局 (Forest Department Sarawak: FDS)、サバ州はサバ林業局 (Sabah Forestry Department: SFD) が、それぞれ独自の林業関連法を施行し、管理している。

4.1.2 サバ州の森林の現状

ボルネオ島北部は、かつては豊富な森林資源に恵まれ、第二次世界大戦後、商業伐採が増加し、州の主要な輸出産品として丸太、木材製品が日本などへ輸出されるようになった(内藤 2014)。木材伐採や農地開発等により、森林資源が減少した結果、持続的森林管理の必要性が認識され、サバ州政府は、1993 年に原木丸太の輸出を禁止するとともに森林認証制度の積極的な導入などの対策を進めてきている。また、サバ州政府は、1976 年にサバ森林開発公社 (Sabah Forestry Development Authority: SAFODA) を設立し、伐採跡地や、焼き畑耕作などに起因する草原、ゴム園放棄地等への植林事業を推進してきた。これら植林事業の技術的課題を解決するために、1987 年～1992 年にかけて、JICA による技術協力プロジェクト「サバ州造林技術開発訓練計画」が実施された(林 1987)。その後、1990 年代以降は、オイルパーム農園の拡大が顕著である。

サバ州の森林のカテゴリーは法的規制や土地の管理主体によって、森林保全区 (Forest Reserve)、保護地域 (Protected Forest)、その他州有地 (State Land) 内の森林、及び譲渡地 (Alienated Land) 内の森林に分類される(表 4-2)。

表 4-2 サバ州の土地の管理主体等による森林カテゴリー

森林カテゴリー	根拠となる法律	商業伐採の可否
森林保全区	<ul style="list-style-type: none"> 1968 年森林法 森林制定法 (森林保護区の構成・改正) 	商業林のみ伐採可能。 持続可能森林管理ライセンス協定 (SFMLA)、Form1 ライセンスによる商業伐採は可能。
保護地域	<ul style="list-style-type: none"> 1984 年サバ公園法 1997 年野生生物保護法 	商業伐採不可。
その他州有地内の森林	<ul style="list-style-type: none"> 1956 年土地条例 	Form1 ライセンスによる商業伐採は可能。
譲渡地内の森林	<ul style="list-style-type: none"> 1956 年土地条例 	Form1 ライセンスによる商業伐採は可能。ただし、輸出は不可。

出典: 林野庁「クリーンウッド生産国報告」(令和 3 年)

このうち森林保全区は、サバ林業局の管轄する区域であり、目的別に7つのクラスに分類される。クラスⅠ保護林、クラスⅥバージンフォレスト及びクラスⅦ野生生物保護林は、厳格に保護されている森林保全区であり、クラスⅡ商業林や、クラスⅣアメニティ林では伐採が可能とされている。保護地域には、サバ公園、野生生物サンクチュアリ、及び野生生物保全区域が含まれており、厳格に保護されている森林に該当する。その他州有地内の森林や譲渡地(Alienated land)内の森林においては伐採が可能であり、サバソフトウッド社やサバ森林開発公社(SAFODA)が森林管理を実施している。

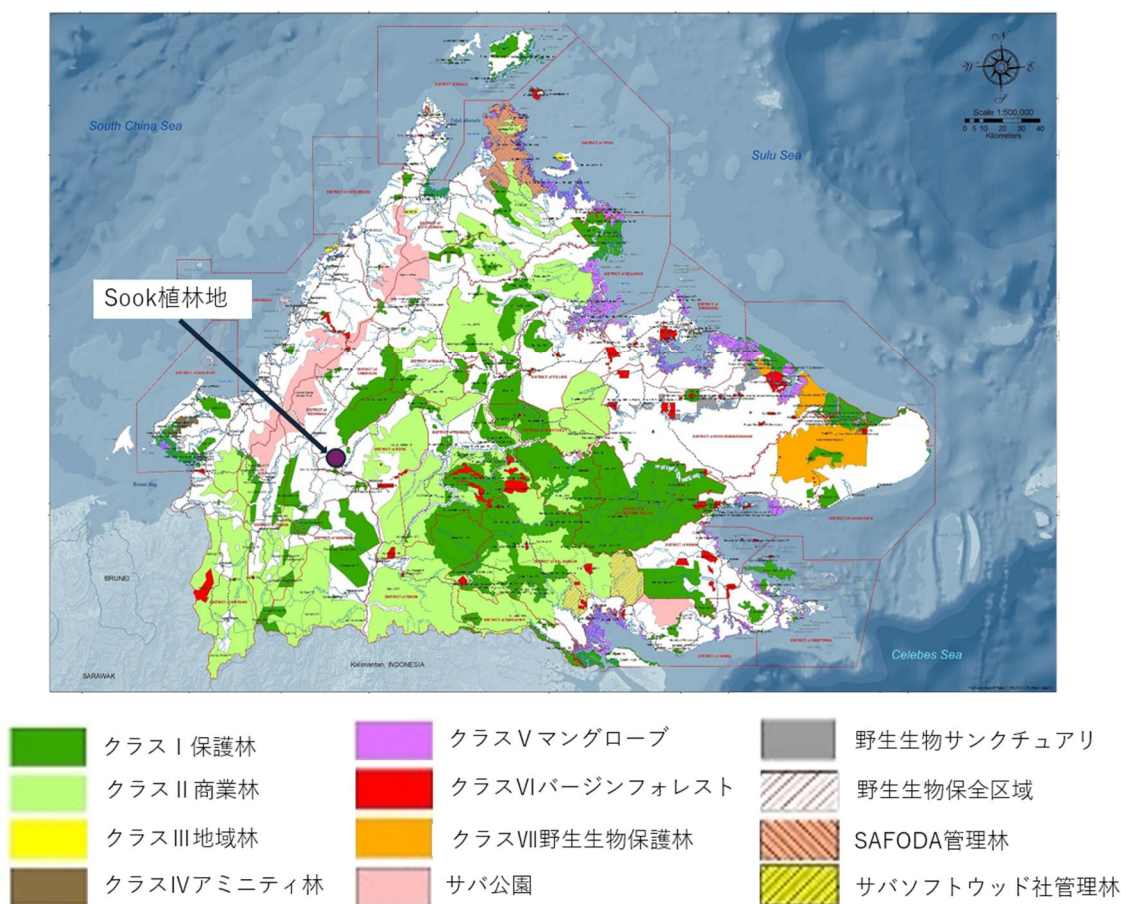


図 4-2 サバ州のタイプ別森林分布

出典: サバ州林業局ウェブサイト

4.1.3 サバ州の森林・林業政策

マレーシアは、2021年に新たな森林政策を公表しており、その中で半島マレーシア、サラワク州、サバ州がそれぞれ個別に森林政策を示している。このうち、サバ州の森林政策は、2018年にサバ州内閣が承認したものである。サバ州の森林政策では、現在サバ州の土地面積約7.9百万haの59%を占める森林の大部分を恒久的に森林として維持するとともに、持続的森林管理をキーワードに、生物多様性、環境サービス、炭素蓄積による地球温暖化緩和への貢献、木材生産を通じた経済的貢献、地域住民の参画などの幅広い施策を進めることとしている。

この政策では特に、サバ州の森林が生物多様性の観点から重要な位置づけにあると言及されている。これは、2007 年から進められているボルネオ島(カリマンタン島)中央部を対象としたハート・オブ・ボルネオ(Heart of Borneo:HOB)イニシアティブとも関連している。この取り組みは、マレーシア、インドネシア、ブルネイの 3 か国の合意に基づき、WWF のサポートのもとに、対象地域の生物多様性を、保護区域のネットワーク、持続的森林管理及びその他の持続的な土地利用を通じて、地域の人々のために保全しようとするものである。なお、本事業の調査対象地であるスック植林事業地は生物多様性が重視されるハート・オブ・ボルネオ地域の中に位置している。

4.1.4 サバ州におけるオイルパーム農園

アフリカ原産のオイルパーム(又はアブラヤシ, oil palm, 学名:*Elaeis guineensis*)の果実から生産されるパーム油は、加工食品の製造、洗剤・石鹼の原料として広く使われ、世界で最も利用されている植物油の一つと言われる(田中 2010)。オイルパームはアジアを中心とした熱帯地域で広く栽培され、マレーシアやインドネシアの島嶼地域で世界のオイルパーム農園の約 90%を占めている(UNDP ウェブサイト)。

サバ州の主要換金作物は、1960 年代後半には天然ゴムであったが、1961 年に初めてサバ州に導入されたオイルパームの生産面積は、1970 年から 80 年に 2.4 倍、1980 年から 1990 年に 3.2 倍に拡大し、ゴム林面積を凌駕し、さらに 1990 年から 2000 年に 3.5 倍に拡大、2017 年にはオイルパーム農園の栽培面積は州面積の約 23%、約 171 万 ha に達している(図 4-3、武岩・立花, 2020)。

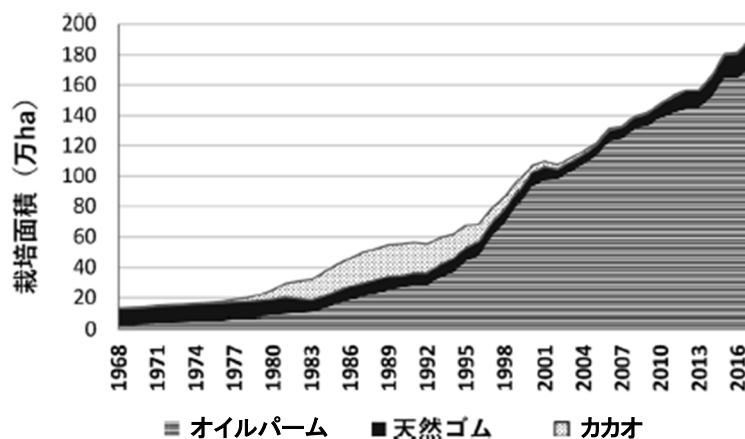


図 4-3 サバ州における換金作物面積の推移

出典:武岩・立花 2020

オイルパーム農園の拡大が及ぼす影響について、CIFOR (2011) がサバ州のサンダカン周辺のオイルパーム農園地域で地域住民の聞き取りなどを行っている。調査地域では、1950 年代以降の商業伐採により森林の劣化が進行したが、1970 年には大部分で森林被覆が残存していた。しかし、1970 年～80 年代にかけてオイルパームなどの農地転換が急速に進み、1991 年にはほとんどがオイルパームに転換されている。

このようなオイルパーム農園の拡大が及ぼす環境影響として、もともとは森林保全区として指定

されていた地域のかなりの部分がオイルパーム農園に転換されたことに伴い、残存した森林保全区が野生生物の残された生息地となっていることや、周辺からの人為的影響により保全区の森林劣化が進んでいることが挙げられている。また、居住する住民からは、水質の劣化等が指摘されている。他方、社会・経済的な影響として、住民の収入向上という好影響ももたらされている。

サバ州におけるオイルパーム農園分布状況を図 4-4 に示す。本事業の調査対象地であるスック植林事業地は、オイルパーム農園が拡大している地域に位置している。現地での聞き取り調査の結果、スック植林事業地の南側で森林保全区の指定が解除され、オイルパーム農園の拡大が認められている。このようなオイルパーム農園への転換に対して、植林地として森林を持続的に維持することによる炭素蓄積や生物多様性保全への貢献を適正に評価することは重要であると考えられる。

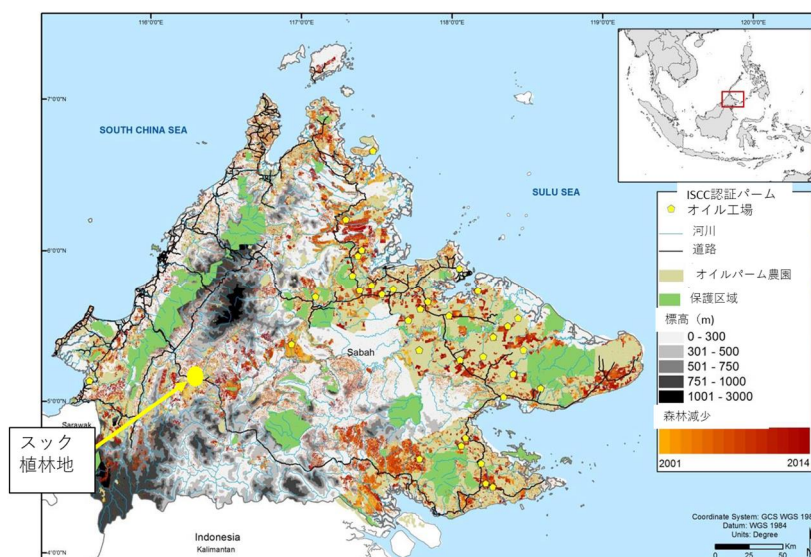


図 4-4 サバ州におけるオイルパーム農園の分布

出典: Blumroeder et al. 2018

4.2 マレーシア・サバ州の産業植林

4.2.1 熱帯地域における産業植林の特徴

産業植林とは、主として民間企業が、土地を所有又はコンセッションなどの利用権を取得し、一般的には木材やパルプ用材生産のため、伐採前提で植林する。植栽樹種は通常単一で、大面積で効率的な施業を目指すものが多い。ゴム林も産業植林として植林されたものが多い。また、近年ではバイオマスエネルギー源としての産業植林も注目されている。このように、産業植林は林産物を大規模に生産しようとするものであり、収穫材の用途として、主に A) 製材用材と B) パルプ・チップ材に大別できる(浅川 1992)。

A) 製材用材

植林木の成長量のみならず、通直で完満な幹材が求められ、大径材の生産に適した樹種が植栽される。代表的な樹種としては、針葉樹ではイトスギ類やアローカリア類、広葉樹ではマホガニーやチーク、あるいは一部のマメ科樹木などであるが、伐期を長くすればユーカリ類やマツ類も製材

用材として利用できる。

B) パルプ・チップ材

成長が早く、幹の通直な植林樹種が望ましい。過去にはユーカリ類、マツ類、メリナ、モルッカネムなどが主体であったが、アカシア類などのマメ科早生樹が多く植栽されるようになった。ただ、近年はアカシアの樹病蔓延のため、他樹種への転換も行われている。パルプ・チップ材の伐期は、収穫量最多伐期齢(年平均成長量が最大となる伐期齢)が合理的であることから、製材用の目的に比べ短伐期になることが多い。

本調査対象地であるスック植林事業地は、越井木材工業(株)が、高付加価値で広範囲に利用可能な材をもつ早生樹として、調査・研究の上選定したアカシア・ハイブリッド(*Acacia hybrid*)を、製材・合板用として植栽したものであり、比較的長伐期(15年)で、通直で形質の良い幹材の生産を目指している。

産業植林は、単一樹種を用いて大規模に植栽される場合がほとんどであることから、天然林を転換して産業植林を実施する場合には、生物多様性や生態系に悪影響を及ぼすことが指摘されている。他方、荒廃地に植林地を造成することによる、生物多様性や生態系へのポジティブな効果も指摘されている(Kha 2001, Mang & Brodie 2015)。

4.2.2 植栽樹種

東南アジアで植えられているアカシア樹種は、アカシア・マンギウム(*Acacia mangium*)、アカシア・アウリキュリフォルミス(*Acacia auriculiformis*)、若しくはアカシア・クラシカルパ(*Acacia crassiparpa*)の3種、又はアカシア・アウリキュリフォルミスとアカシア・マンギウムの種間交雑種であるアカシア・ハイブリッドがほとんどである(栗延 2014)。アカシア・ハイブリッド、並びにその交配親であるアカシア・マンギウムとアカシア・アウリキュリフォルミスの特徴は次の通りである(国際緑化推進センター:森林再生テクニカルノート)。

① アカシア・マンギウム

オーストラリアのクインズランド北部、ニューギニア島、インドネシア・モルッカ諸島が原産。マメ科で根に共生する根粒菌が空気中の窒素を固定するため、成長が早く、樹高は最大で25~35m程度になる。酸性土壌には強いが、塩分濃度の高いアルカリ性土壌、及び乾燥条件下では成長が低下する。熱帯多雨林内には存在しないが、その周辺部に良く見られる。先駆種的な特徴を持ち、被陰には弱い、裸地のような強光・高温環境でも生育する。導入地域では野生化した集団も多くみられ、火災跡地や道路沿いなどかく乱を受けた環境や荒廃地にも侵入し生育している。ただし、幹の芯腐れの問題がある。

② アカシア・アウリキュリフォルミス

オーストラリアの北部(クインズランド、北部準州)、インドネシア、パプア・ニューギニアが原産。アカシア・マンギウムと同じくマメ科で根粒菌が空気中の窒素を固定するため、やせ地でも良く育ち、

成長が早く、樹高は最大で 25m、胸高直径は 50cm に達する。pH 3 程度の強酸性土壌から pH 9 程度のアルカリ性土壌まで生育可能。乾燥耐性は極めて強く砂質土場にも生育可能である。ただし、幹の曲がり、節が多く、製材用としては適さない。

③ アカシア・ハイブリッド

両者の種間交雑種であるアカシア・ハイブリッドは、自然条件下で天然交配による雑種がマレーシアのサバ州で 1972 年に発見された。アカシア・ハイブリッドは、両親種の形質を受け継ぎ、成長、幹の通直性、枝の細さ(枝打ちのしやすさ)、樹皮の柔軟さ、病虫害への抵抗性(アカシア・マンギウムに見られる芯腐れが発生しにくい)などの点で優れていると言われている。このため、現在、中国、ベトナム、マレーシア、タイ、及びインドネシアなどで広く植栽されている。アカシア・ハイブリッドは稔性を有するため、同一世代同士の交配によって第二世代の雑種が生じたり、親種との交雑(戻し交雑)が生じたりすると、2 親種のゲノムの比率が異なる様々な雑種個体が形成される(玉木 2022)。このため、造林用の苗木は、優れた性質を持つ個体を挿し木で増殖したクローン苗を用いる。ただし、クローンにより性質が異なるため、造林対象地の諸条件に適したクローンを適切に選択する必要がある。

過去に国際緑化推進センター(JIFPRO)の事業で実施したサバ州産材の材質試験によると、アカシア・ハイブリッドの容積密度は両親樹種の間値を示し、マンギウム < ハイブリッド < アウリキュリフォルミスの順となっている。また、交錯木理の程度を示す繊維交錯度ではアカシア・ハイブリッドが最も小さい値を示し、木材利用の際の優位性が示唆されている(表 4-3)。

表 4-3 アカシア・ハイブリッドと両親樹種の材質比較

	樹齢	容積密度 (kg/m ³)	曲げヤング係数 (Gpa)	曲げ強さ (MPa)	圧縮強さ (MPa)	せん断強さ 板目面 (MPa)	せん断強さ 柱目面 (Mpa)	平均繊維 交錯度 (%)	最大繊維 交錯度 (%)
アカシア・マンギウム	30	498	12.2	106.5	59.4	8.8	10.2	5.8	13.3
	13	480	12.3	105.5	50.1	9.0	9.5	-	-
アカシア・ハイブリッド	24	525	14.1	119.3	68.3	9.2	10.0	4.7	9.2
アカシア・アウリキュリフォルミス	30	681	14.3	139.0	82.3	12.7	13.0	8.0	16.3

出典:藤本ほか 2002

4.2.3 アカシア植林の課題(樹病)

アカシア植林で問題となる樹病としては、従来から芯腐れ病や根腐れ病が挙げられてきた。しかし、新たに *Ceratocystis* 属の糸状菌³による枯死が蔓延し、深刻な問題となっている(栗延 2014, Nasution et al. 2019)。根腐れ病及び *Ceratocystis* による枯死については、現段階では決定的な対策が打ち出されておらず、インドネシアなどでは、植林樹種としてアカシアからユーカリへの転換が進みつつある。

³ Tarigan et al. 2011 によれば、主として *Ceratocystis manginecans* と考えられる。

アカシア・ハイブリッドは、マンギウム等と比べ、この病菌に対する耐性が高いと考えられているが、やはり病害・枯死を生じる。現在も、育種による、耐性の強いアカシア・ハイブリッド品種の開発研究が進められている。調査対象地であるスック植林事業地のアカシア・ハイブリッドにも *Ceratocystis* による病害が侵入・進行している状況であり、今後の大きな課題となっている。

4.3 調査対象地の概況

4.3.1 調査対象地の位置

本事業で調査対象としたスック植林事業地は、サバ州南西部の内陸に位置する(図 4-5)。

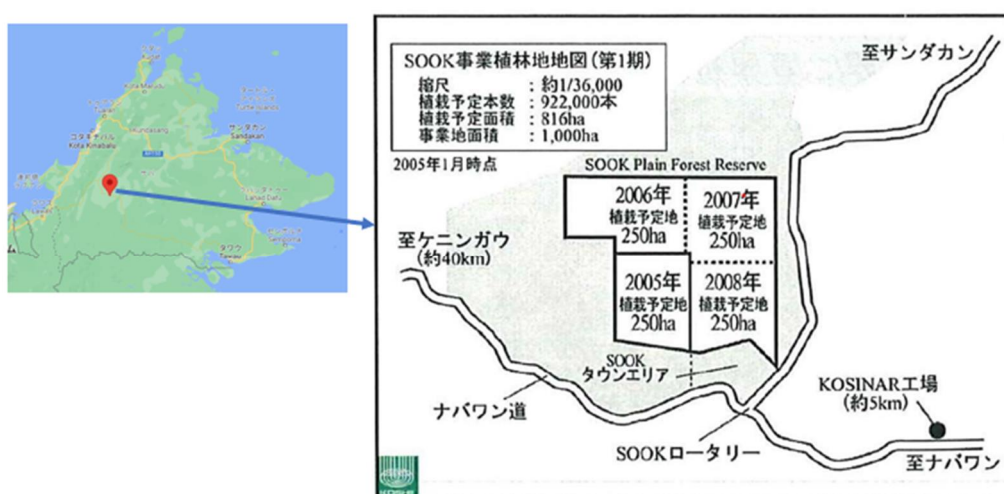


図 4-5 スック植林事業地の位置図

出典:越井木材工業(株)提供資料

スック植林事業地は、前述のハート・オブ・ボルネオの対象地内に位置する。隣接した土地には、サバ州林業局によって指定された保護林が存在するが、伐採後の二次林であり、火災等により劣化が進んでいる。それ以外の周辺地ではオイルパーム農園への転換等の農地化、及び宅地化が進んでおり開発が進んだ地域である。

スック植林事業地は、サバ州の中でも地形が平坦な内陸部に位置し、比較的降水量の少ない地域に位置する(図 4-6)。また、植栽前は、その大部分が草酸化した荒廃地であった。

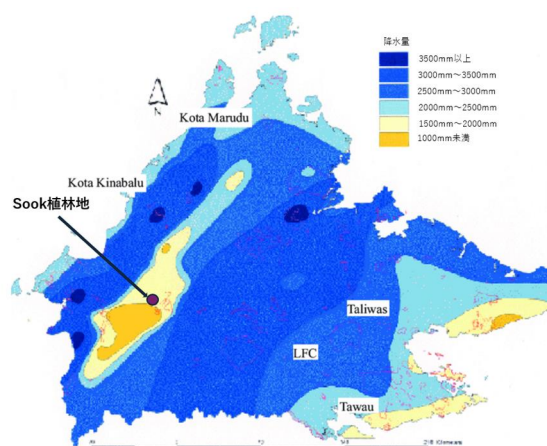


図 4-6 サバ州の降水量分布

4.3.2 越井木材工業(株)による植林の経緯

(1) アカシア・ハイブリッド植林の背景と目的

越井木材工業(株)では、1988年にサバ州において単板工場を設立したが、森林資源の減少により、1990年代にサバ州の原木生産量が激減した(図 4-7)。そのため、自社で植林地を造成管理することを構想したが、当時の主要植栽木であるアカシア・マンギウムは、樹幹形状の不良、芯腐れ等の欠点が多く、合板用途には適さないことが懸念された。これに対して、アカシア・ハイブリッドは樹幹形状も良く、芯腐れもないことから、合板製造用に使用可能と考えられた。

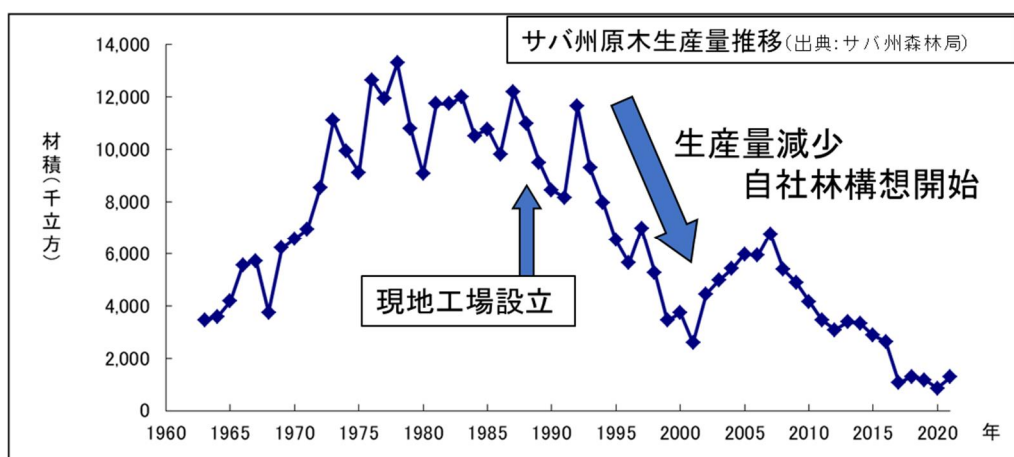


図 4-7 サバ州の原木生産量推移

出典:越井木材工業(株)提供資料



写真 4-1 単板工場の開所式



写真 4-2 アカシア・マンギウムの芯腐れ

出典:越井木材工業(株)提供資料

(2) アカシア・ハイブリッドの試験研究

サバ森林開発公社(SAFODA)の管理する森林内に形質の良いアカシア・ハイブリッドの母樹が発見された(写真 4-3)のを契機に、同社は SAFODA と共同研究を開始し、苗木の大量生産、試験植林地を造成し、植栽密度、整姿、枝打ち、除伐、間伐等の施業方法の検討を 2000 年から開

始した。なお、この研究は JICA(国際協力機構)より技術・資金的支援を受けた。また、アカシア・ハイブリッドの強度性能、合板製造適性試験を実施した(写真 4-4)。



写真 4-3 アカシア・ハイブリッドの母樹(SAFODA ウルクク林内、胸高直径 70cm)
出典:越井木材工業(株)提供資料

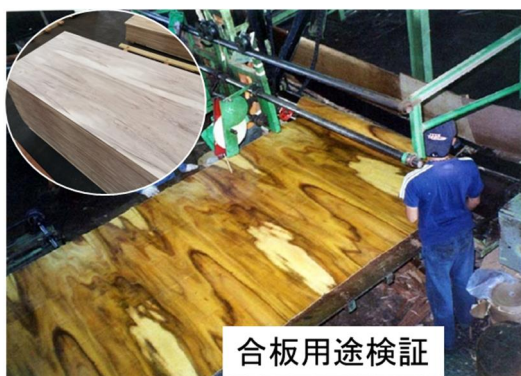


写真 4-4 アカシア・ハイブリッド植林の実施に向けた検討
出典:越井木材工業(株)提供資料

(3) アカシア・ハイブリッドの植林事業

このような経緯を経て、2004年にサバ州政府との合弁で、KM Hybrid Plantation Sdn. Bhd 社(以下 KHP 社という)を設立してアカシア・ハイブリッド植林事業を開始した。スック地域の草地化した荒廃地を対象として、2005年1月から植栽を開始した。2010年9月には、1,441haに約149万本の植栽を行った。しかしながら、2009年及び2010年の森林火災で植林地の相当部分が焼失したため、2010年に被害地の一部に再植林するとともに、南側の火災被害地及び植栽未了であった飛び地をサバ州に返却した。その後、残る746haで植林事業を実施している(図4-8)。2013年当時の、植栽年別の面積、植栽樹種、及び立木本数等を表4-4に示す。

2012年には、SAFODAとの共同により、アカシア・ハイブリッドの19品種のクローン品種登録を申請し、マレーシア連邦政府農業省により木本として初めての第1号登録品種として登録された。

越井木材工業(株)は、合板製造に加え、アカシア・マンガウムの集成材を用いたトラック荷台床板を開発し、日本における市場を獲得している。アカシア・ハイブリッドについても、集成材としてトラック荷台床板に利用可能なことを実証済みである。

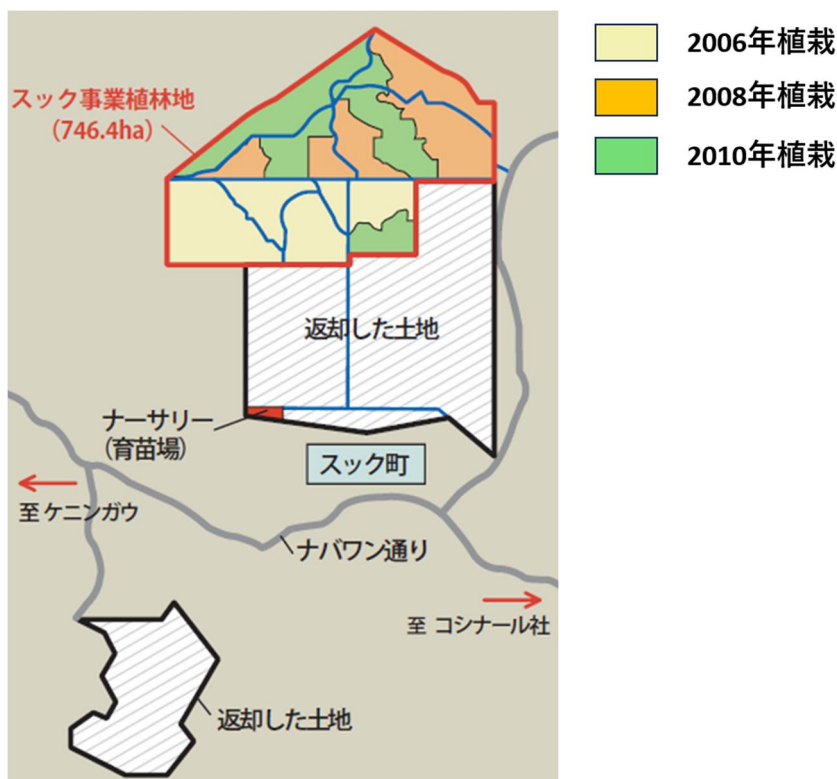


図 4-8 スック植林事業地のエリア区分
(越井木材工業(株)提供資料)

表 4-4 2013 年当時のスック植林事業地の状況

項目		林齢区分		
		三年生	五年生	七年生
植栽した年		2010 年	2008 年	2006 年
植栽時の樹種 と本数 (本)	ハイブリッド	148,000	126,000	142,000
	マンギューム	0	42,000	86,000
	その他	4,300	3,000	1,300
	合計	152,300	171,000	229,300
植林面積 (ha)		170	150	185
施業進捗状況	枝打ち	20%	50%	完了
	除伐	20%	50%	完了
	間伐	未完了	未完了	現状維持
2013 年 11 月のアカシア立木本数 (本)		121,000	63,000	59,000
アカシア立木密度 (本/ha)		710	420	320

(越井木材工業(株)提供資料)

4.3.3 調査対象地の森林概況及び自然植生

調査対象地であるKHP社(越井木材工業(株))のスック植林事業地周辺の衛星画像(写真 4-5)によれば、植林事業地内は森林に覆われているのに対し、その周辺の土地は開発されており、森林被覆が失われていることが分かる。また、写真左側には、州により保護林が設定されているが、現地視察の結果、劣化している状況が見受けられた。

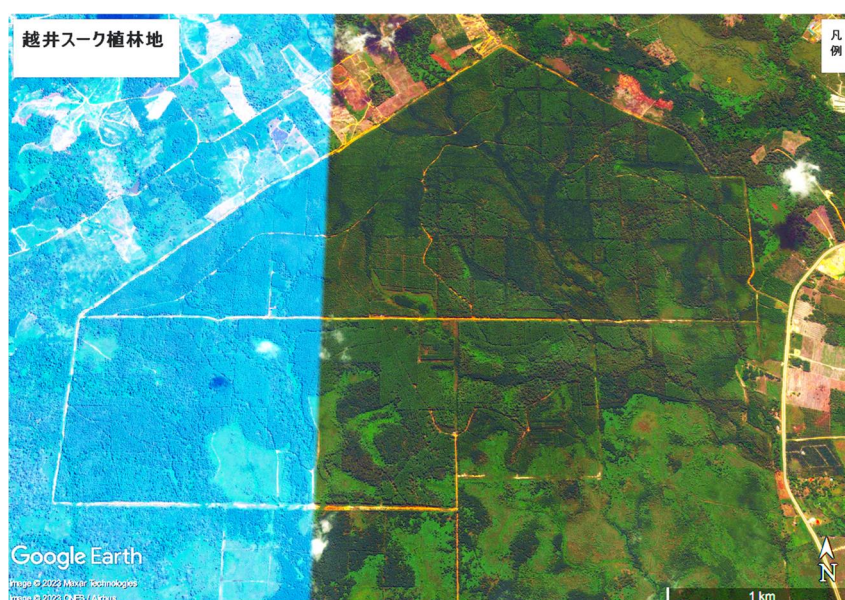


写真 4-5 スック植林事業地の衛星写真

出典: Google Earth

スック植林事業地は、アカシア植林の均一な林分ではなく、いくつかの森林タイプ別にゾーニングできる。主な森林タイプは、林齢ごとのアカシア・ハイブリッド植林地（13年生、15年生、17年生）、小河川沿いの溪畔林、ケランガス林、及び天然生二次林である（図 4-9）。

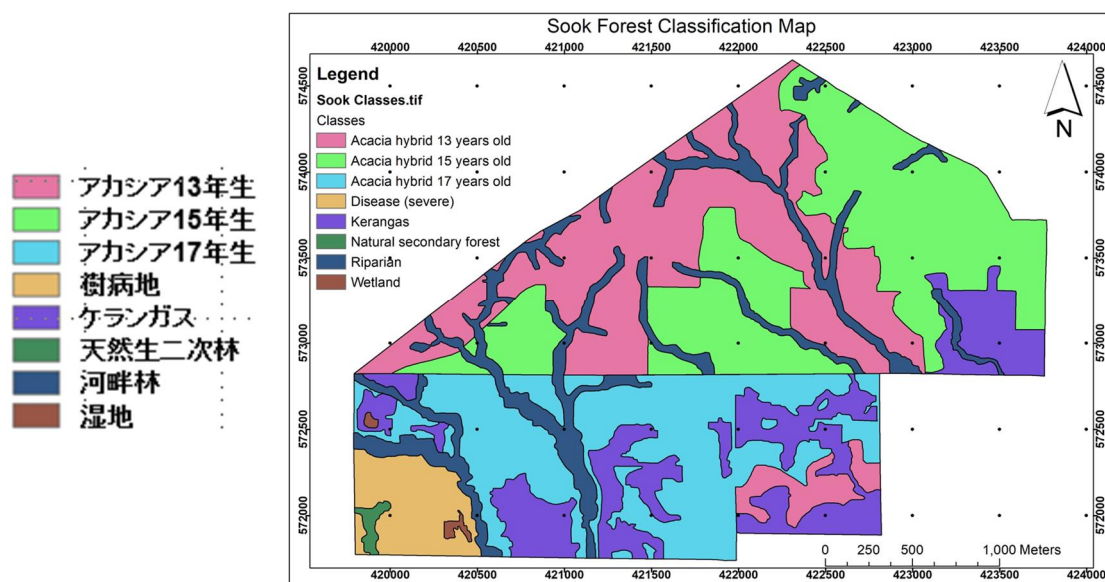


図 4-9 スック植林事業地の森林タイプ別ゾーニング

森林タイプ別の面積を表 4-5 に示す。

表 4-5 スック植林事業地の森林タイプ別面積（単位:ha）

区域	アカシア・ハイブリッド植林地				ケランガス	溪畔林	天然生二次林	湿地	その他(建物)	計
	17年生	15年生	13年生	樹病被害						
Assy-5, 6	—	158.7	211.1	—	19.3	49.5	—	—	—	438.6
Assy-2	128.4	—	—	34.3	40.9	25.6	2.5	1.0	—	232.7
Assy-3	23.9	—	15.6	—	34.3	—	—	—	1.2	75.0
計	152.4	158.7	226.7	34.3	94.6	75.1	2.5	1.0	1.2	746.4
(割合)	20.4%	21.3%	30.4%	4.6%	12.7%	10.1%	0.3%	0.1%	0.2%	100.0%

森林タイプ別の林況は以下の通り。

(1) アカシア・ハイブリッド林

アカシア・ハイブリッド林は、良好な樹高成長、肥大成長を示していた。樹高は、13年生と17年生でそれほど差はなく、10年を超えると樹高成長が緩やかになると見受けられた（写真 4-6）。本植林地では、枝打ちや間伐を実施しており、林分により差はあるが、優良林分では形質の良い立木が生育していた（写真 4-7）。



写真 4-6 アカシア植林地(17 及び 13 年生)



写真 4-7 アカシア植林地の
優良林分

17 年生のかなりの部分は、既に伐採搬出済みの伐採跡地となっていた。伐採跡地には、アカシア・ハイブリッドの植栽がされているが、植栽木と天然更新木が混在していた。なお、天然更新木は、親種であるアカシア・マンギウムやアカシア・アウリキュリフォルミスの形質が再び出現した個体が混在する(写真 4-8)。



写真 4-8 伐採後の新植地(アカシア植栽木と天然更新木が混在)

(2) 溪畔林、天然生二次林

KHP 社(越井木材工業(株))は、アカシア植栽に当たり、比較的良好に残っていた天然生二次林の一部を、自主的に保全区域としてアカシア・ハイブリッドの植栽対象外とした。その後、サバ州の環境影響評価規則が施行され、溪畔林の保全が義務付けられ、溪畔林について保全措置が取

られた。溪畔林や、天然生二次林の林内には、大径の天然木が見られた。天然木の大径木については、単木レベルでも保全を試みたが、孤立するとその多くは枯死したとのことである。



写真 4-9 溪畔林及び天然生二次林の林況

(3) ケランガス林

ケランガスは、白砂林(white-sand forests)やヒース林(heath forests)とも呼ばれ、有機酸によって鉄やアルミニウムが溶脱し白砂が主成分となった(ポドソル化) 土壌層を含む貧栄養の土壌が特徴である(写真 4-10)。滞水しやすい条件下でケランガス土壌が形成されると言われているが、目視では植林地内の現在の地形とケランガス土壌の分布に関連性は感じられず、一定の傾向は見いだせない。



写真 4-10 ケランガスのポドソル化した土壌

当初このようなケランガスにも、アカシア・ハイブリッドが植栽されたが、成績不良のため、一部に

在来種のゲロンガン(*Cratoxylon arborescens*)を補植している。ケランガスに植栽されたゲロンガン(十数年生)は、一部で良好な生育を示し、胸高直径が 20cm 程度まで成長している。ゲロンガンは、アカシア・ハイブリッドが育たないケランガスにおける有用な造林候補樹種として注目に値する(写真 4-11)。



写真 4-11 ケランガスに植栽されたゲロンガン

また、ケランガスには、木本ではモクマオウ(*Casuarina* sp.)や草本ではウツボカズラ(*Nepenthes* spp.)などの特徴的な植物が観察された(写真 4-12)。



モクマオウ

ウツボカズラ

写真 4-12 ケランガスに特徴的な植物

(4) スック植林事業地周辺の状況

スック植林事業地の植林前は草地化した荒廃地であり、植林後も 2010 年に大規模な火災が発生して植林地の大部分が被害を受けた。近年では、前術の通り、周辺にオイルパーム農園が広がっており、植林地の北西側隣接地にはオイルパーム農園が存在していた。また、現在の植林地の南側隣接地は、当初アカシア・ハイブリッドを植栽したが、2010年の火災により被害を受け、州政府に返還した区域である。最近、この区域が州の森林保全区から解除され、小規模農家によるものと思われる新たなオイルパームの植栽が行われていた(写真 4-13)。



植林地南側の地域(最近、州の森林区域から解除され、新たにオイルパームが増加)

植林地北西隣接地のオイルパーム農園

写真 4-13 スック植林事業地周辺のオイルパーム農園

4.4 可視化実証試験の目的及び進め方

4.4.1 背景と目的

上記の KHP 社(越井木材工業(株))のスック植林事業地は、順次主伐期を迎えつつあり、2006年に植栽した17年生(2023年現在)のアカシア・ハイブリッド植林地では2023年に主伐が行われた。伐採された材は、サバ州内において製材及びフィンガージョイント加工された集成材として、日本においてトラック荷台床板として利用されている。

近年、地球温暖化等の気候変動緩和に国際的な関心が高まる中、越井木材工業(株)としても、取引先や投資者等から、植林地及びトラック荷台床板の炭素貯蔵機能や、植林地における生物多様性保全への貢献を評価し、的確に示すことが求められている。

そこで、本実証試験では、KHP 社(越井木材工業(株))によるマレーシア・サバ州でのアカシア・ハイブリッド植林事業地の炭素蓄積量及び生物多様性の評価を通じて、それらの貢献度の評価手法や可視化手法について検討することを目的とする。

4.4.2 進め方・実施体制など

本実証調査は、KHP 社(越井木材工業(株))によるデータ等の提供、及び現地調査のサポート等全面的な協力を得て、国際緑化推進センターが実施した。また、調査に当たっては現地サバ大学(Universiti Malaysia Sabah: UMS)の熱帯森林学部の研究協力を得て、Phua 教授ほかサバ大研究者による植林地のプロット調査により、地上部バイオマス、土壌有機炭素、及び植物多様性の評価を実施した。

4.5 可視化実証試験の方法と結果

4.5.1 固定プロットデータに基づく植栽木の炭素蓄積量の推計

KHP 社(越井木材工業(株))は、スック植林地の植栽木の成長を調査するため、アカシア・ハイブリッド植林地内に方形の長期固定プロットを設置し、毎年植栽木の胸高直径と樹高を測定している。この固定プロットのデータを用いて、植栽木の生体バイオマス炭素蓄積量を推計した。

(1) 固定プロットデータに基づくアカシア・ハイブリッドの幹材積の推計

アカシア・ハイブリッド植林地の植栽間隔は、基本的に 3m×3m(一部 4m×4m)である。固定プロットのサイズ・面積、及び測定対象の植栽木本数は様々であるが、プロット数は 17 年生区で 5 プロット、15 年生区で 8 プロット、13 年生区で 32 プロットの計 45 プロットである(表 4-6)。

表 4-6 KHP 社の設置している固定プロット情報

植林地 情報	植栽間隔 (m)	3×3	4×4	3×3	3×3	3×3	固定 プロット 数計	植栽木 本数計
	植栽密度 (本/ha)	1,111	625	1,111	1,111	1,111		
固定 プロット 情報	タイプ	A	B	C	D	E		
	サイズ (m)	18×18	20×20	30×30	39×36	48×48		
	面積 (m ²)	324	400	900	1,404	2,304		
	測定対象植栽木本数	36	25	100	156	256		
17年生区	(2006年植栽)	2	0	3	0	0	5	372
15年生区	(2008年植栽)	7	1	0	0	0	8	277
13年生区	(2010年植栽)	0	0	0	24	8	32	5,792
固定プロット数計		9	1	3	24	8	45	6,441
測定対象植栽木本数計		324	25	300	3,744	2,048	6,441	

まず、これら固定プロットの樹高及び胸高直径データに基づき、SAFODA と JICA 専門家が当地で、アカシア・マンギウム用に開発した以下の材積式(Inose et al. 1991)を用いて、アカシア・ハイブリッド植栽木の幹材積を推計した。

$$v = 0.00005168 \times DBH^{1.728} \times H^{1.091}$$

ここで、

v: 皮なしの単木幹材積(m³)

DBH: 胸高直径(cm)

H: 樹高(m)

(2) アカシア・ハイブリッド植栽木幹材積の成長曲線の推定

次に、植栽木の ha 当たりの立木幹材積と林齢の関係について、以下のゴンペルツ式を用いて曲線回帰を行い、植栽年別の成長曲線を作成した。

$$V = K \times b^{\exp(-c \times \text{age})}$$

ここで、

V: ヘクタール当たり立木幹材積 (m³/ha)

age: 林齢(年)

K, b, c: 係数

植栽年別のアカシア・ハイブリッド植栽木の幹材積を求めるために、ゴンペルツ式を用いて作成した成長曲線を図 4-10 に示す。

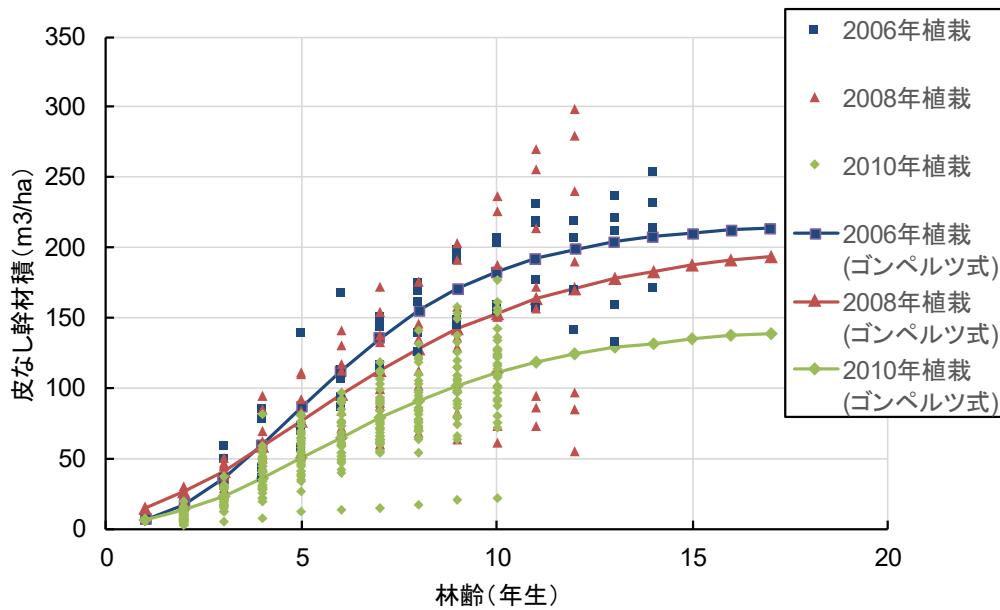


図 4-10 植栽年別のアカシア・ハイブリッド植栽木幹材積の成長曲線

(3)ゴンペルツ式によるアカシア・ハイブリッド植林地の炭素蓄積量推計

上記のアカシア・ハイブリッド植栽木幹材積の成長曲線、及び文献資料の係数を用いて、アカシア・ハイブリッド植林地の植栽木の林齢別の炭素蓄積量を推計した(表 4-7)。なお、本推計値は植栽木のみ炭素蓄積量であり、天然更新木は含まれていない。

表 4-7 アカシア・ハイブリッド植栽木の炭素蓄積量の推計

項目	17年生区 (2006年植栽)	15年生区 (2008年植栽)	13年生区 (2013年植栽)	計	推計方法
ha当たり幹材積 (m ³ /ha)	213.6	187.3	128.6	—	該当するゴンペルツ式から計算
ha当たり地上部バイオマス (t d.m./ha)	150.2	131.8	90.4	—	幹材積(皮なし) $\times 0.88088^{*1} \times$ 容積密度 $(0.525^{*2}) \times$ バイオマス拡大係数 (1.18^{*3})
ha当たり地下部バイオマス (t d.m./ha)	28.6	25.0	17.2	—	地上部バイオマス \times 地下部比率 (0.19^{*4})
ha当たり樹木バイオマス計 (t d.m./ha)	178.8	156.8	107.6	—	地上部+地下部バイオマス
ha当たり炭素貯留量 (tC/ha)	84.0	73.7	50.6	—	ha当たりバイオマス \times 炭素係数 (0.47^{*5})
林齢別面積 (ha)	152.4	158.7	226.7	537.8	KMH社提供データ
炭素貯留量計 (tC)	12,804	11,697	11,465	35,966	ha当たり炭素貯留量 \times 面積

17年生区(2006年植栽)は主伐前の蓄積量として推計

※1: サバ州の *A. mangium* の値皮なし幹材積/皮つき幹材積(猪瀬, Saridi 2004)

※2: サバ州産 *A. hybrid* の容積密度(瀧澤 2000)

※3: インドネシアの *A. mangium* 10年生林分のバイオマス拡大係数(Miyakuni ら 2004)

※4: インドネシアの *A. mangium* 10年生林分の地下部/地上部バイオマス比(Miyakuni ら 2004)

※5: 熱帯及び亜熱帯における地上部森林バイオマスのデフォルト値(IPCC 2016)

4.5.2 サバ大のプロット調査データに基づく森林タイプ別の炭素蓄積量の推計

スック植林事業地の森林タイプ別の炭素蓄積量を推計するために、サバ大学熱帯森林学部の協力により、調査対象植林地において、森林タイプ別に調査プロットを配置して、立木調査、土壌調査、及び簡易な植物種調査を行った。

(1) サバ大調査プロットの配置

調査プロットは森林タイプ別に配置し、計 29 プロットを配置した(図 4-11)。

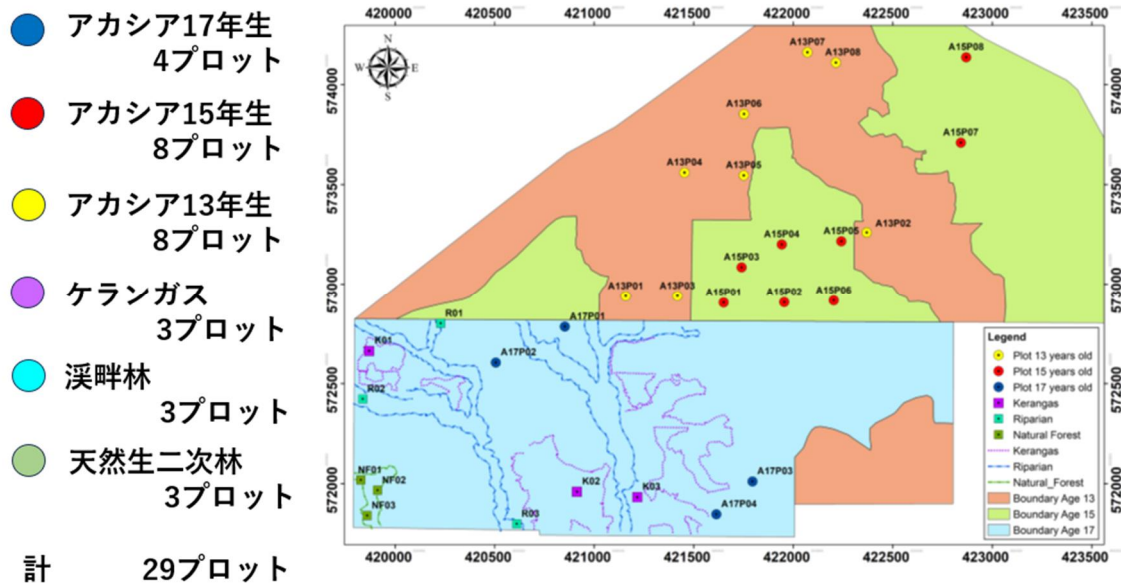


図 4-11 スック植林事業地内に設置したサバ大調査プロットの分布

(2) サバ大調査プロットの形状

各プロットには、半径 10m を標準として円形プロットを設置し、プロット内の胸高直径 (DBH) 5cm 以上のすべての立木について樹種名を記録するとともに樹高及び胸高直径を計測するとともに、林床の草草も含めた出現植物種を記録した。また、土壌調査のため、1辺 30cm の方形のサブプロットを設置し、地表からの深さ 0~8cm, 15~30cm, 15~30cm の深度別に土壌サンプルを採取し、土壌有機炭素量等の分析を行った(図 4-12)。

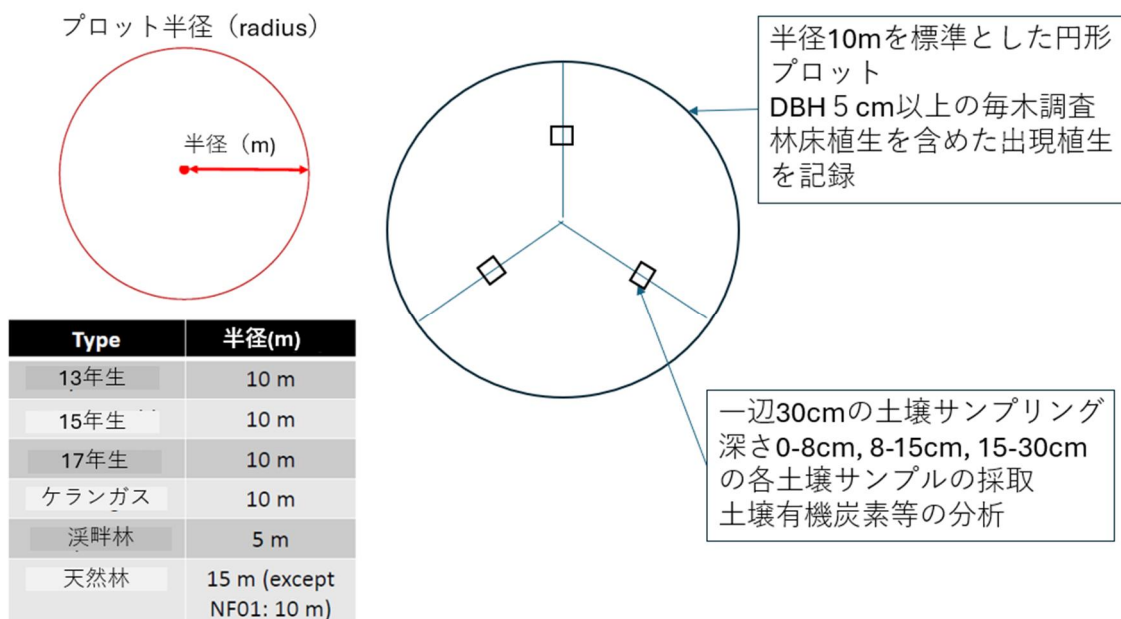


図 4-12 サバ大調査プロットのデザイン

(3) サバ大調査プロット内立木の胸高直径分布

森林タイプ別のプロット内出現立木の胸高直径分布を図 4-13 に示す。いずれの森林タイプにおいても胸高直径 10cm 以下の小径木が多い。このうち、アカシア植林地内の小径木は、植栽木ではなく、植栽後の天然更新木であると考えられる。

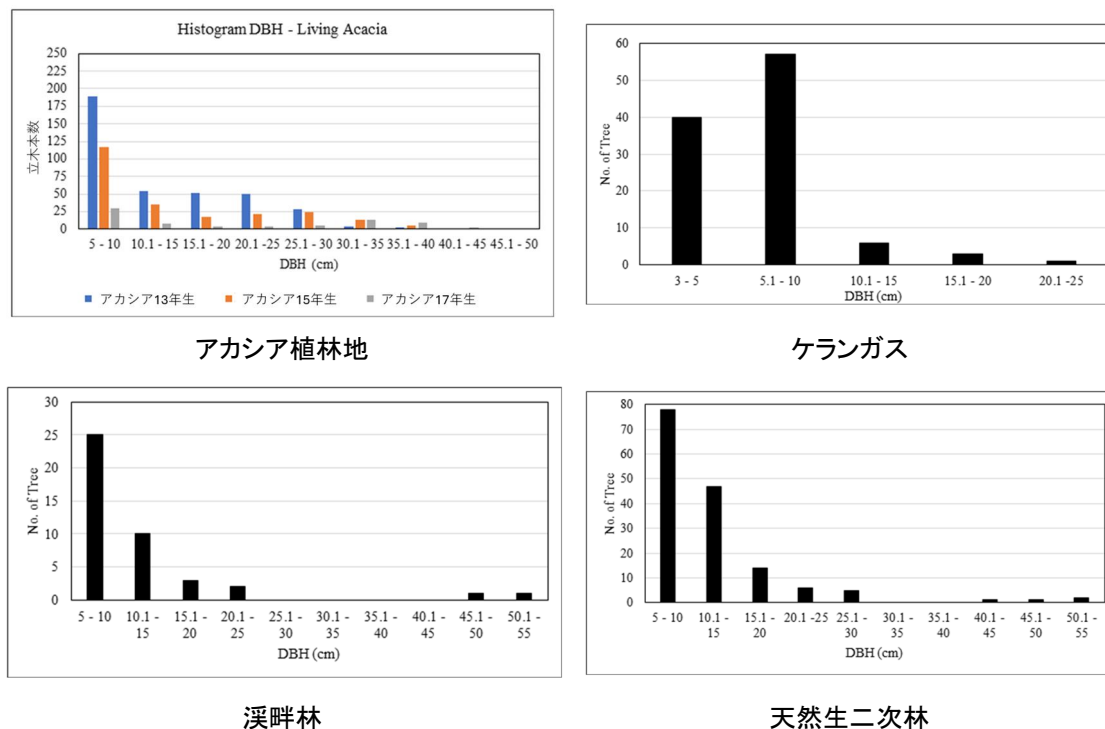


図 4-13 森林タイプ別の立木の胸高直径分布

(4) サバ大調査プロット内立木の樹高

森林タイプ別のプロット内出現立木の樹高を図 4-14 に示す。アカシア植林地の平均樹高は 5 ~17m で、他の森林タイプよりも高い。他方、ケランガス林の平均樹高は 8.1m で最も低かった。

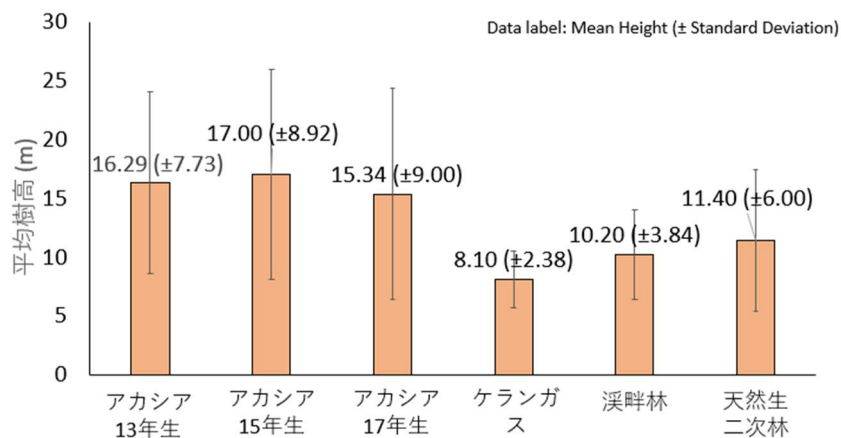


図 4-14 森林タイプ別の平均樹高と標準偏差

(5) サバ大調査プロットデータに基づく立木地上部バイオマスの炭素蓄積量

サバ大調査プロット内出現立木について樹種別の胸高直径データに基づき、表 4-8 のアロメトリー式を用いて地上部バイオマスの炭素蓄積量を推計し、森林タイプ別に集計した。

表 4-8 立木地上部バイオマスの推計に用いたアロメトリー式

樹種	アロメトリー式	出典
アカシア・ハイブリッド	$AGB = 0.175 \times DBH^{2.35}$	Adam & Jusoh 2018
アカシア・マンギウム	$AGB = 0.1173 \times DBH^{2.454}$	Adam & Jusoh 2018
その他の樹種	$AGB = 0.0673 \times (\rho DBH^2 H)^{0.976}$	Chave et al. 2014 熱帯樹木用汎用式

森林タイプ別の地上部バイオマスの炭素蓄積量(最小値・最大値・平均値)、並びに標準偏差(SD)、標準誤差(SE)、90%信頼区間(CI)及び不確かさを表 4-9 に示す。また本表では、仮にスックで植林事業がなされなかった場合には、周辺同様にオイルパーム農園に転換されていた可能性が高いことから、比較対照として、既往文献(Runesson 2019)のオイルパーム農園の地上部バイオマス炭素蓄積量も併せて示している。

表 4-9 サバ大プロット調査による森林タイプ別の地上部バイオマス炭素蓄積量

森林タイプ	炭素蓄積量 (tC/ha)			標準偏差(SD)	標準誤差(SE)	90%信頼区間	不確かさ
	最小値	最大値	平均値				
アカシア 13 年生	60.2	108.9	80.7	19.6	6.9	13.1	16.3%
アカシア 15 年生	41.7	97.9	73.3	21.0	7.4	14.0	19.2%
アカシア 17 年生	73.6	124.2	95.5	21.0	10.5	24.7	25.9%
ケランガス	5.4	13.0	8.7	3.9	2.2	6.6	75.5%
溪畔林	10.9	275.5	111.1	143.5	82.9	241.9	217.9%
天然生二次林	17.3	98.4	55.8	40.7	23.5	68.6	123.0%
オイルパーム 18 年生	-	-	47.43	20.0	5.0	8.7	18.4%

本調査の結果、アカシア植林地の炭素蓄積量の平均値は 70~100 tC/ha と推計され、天然生二次林の蓄積量を上回っていた。一方、ケランガスは、8.7 tC/ha と他の植生に比べて炭素蓄積量という点では顕著に小さい値を示した。また、アカシア植林地の炭素蓄積量は、オイルパーム農園の炭素蓄積量文献値の約 1.5~2 倍となっており、炭素蓄積の観点からより優れた効果があることが示唆された。

なお、溪畔林や天然生二次林については、今回の調査ではサンプル数が少ないことに加えて、立木ごとの胸高直径のバラツキが大きいため、炭素蓄積量推計値の不確かさが大きい。このように、サンプル調査では、プロットの取り方(配置や数)によって推計値が異なる可能性がある。真の値を得るためには全数調査するしかないが、サンプル調査で精度の高い推計値を得るためには、統計

学的な精度推定が出来るように無作為又はシステマティックにプロットを配置し、かつプロット数を増加して、不確かさを減らす必要がある。

4.5.3 土壤有機炭素の推計

森林タイプ別の土壤調査のために、サバ大調査プロット内に、1辺30cmの方形のサブプロットを設置し(図4-12)、地表から深さ3深度別(0~8cm, 15~30cm, 15~30cm)に土壤サンプルを採取し、土壤含水率、かさ密度、有機物含有率、土壤pH、及び土壤有機炭素等の分析を行った。このうち土壤pHと土壤有機炭素の分析結果を示す。

(1) 森林タイプ別の土壤pH

天然生二次林の土壤に比べて、アカシア植林地15年生及び17年生の土壤はやや強い酸性を示した。それに対してアカシア植林地13年生の土壤は比較的弱い酸性を示した(図4-15)。13年生の植林地は過去に山火事被害を受けた後に再植林された場所であり、有機物が燃焼した灰の影響で土壤の酸性度が若干弱まった可能性が考えられる。また、ケランガスの土壤はばらつきが大きい、比較的弱い酸性を示した。

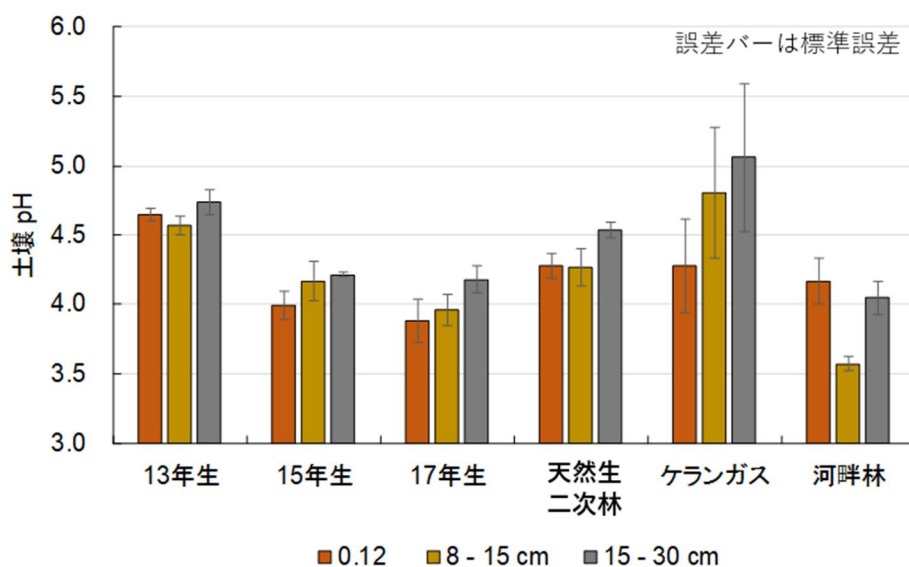


図 4-15 森林タイプ別の土壤 pH

(2) 森林タイプ別の土壤有機炭素量

森林タイプ別の土壤有機炭素量を深度別に示したのが、図4-16である。深度15~30cmで炭素量が大きい傾向がみられる(が、これは深度15~30cmの採取深度幅(15cm)がその他と比べて大きく、採取した土壤容積が大きいためである。単位容積当たりの土壤有機炭素含有率は、表層ほど高い傾向がみられる。アカシア植林地の表層(0~8cm)の土壤有機炭素含有量は、天然生二次林に比べて高い傾向がみられた。また、河畔林の土壤有機炭素量は比較的小さく、ケランガスの土壤有機炭素量は顕著に小さい傾向がみられた。

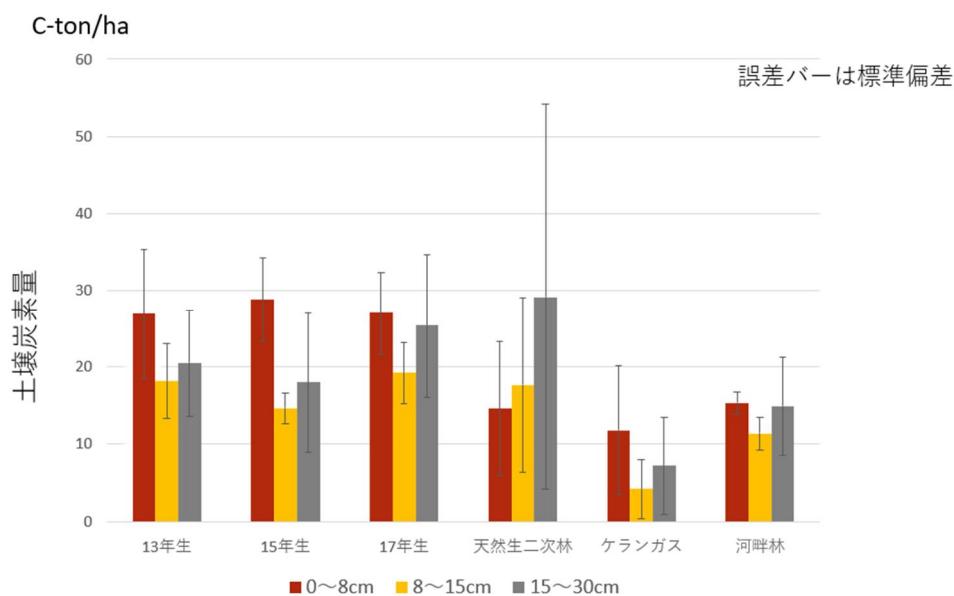


図 4-16 森林タイプ別の土壌有機炭素含有量

(3) スック植林事業地の土壌有機炭素量と文献値との比較

スック植林事業地の土壌有機炭素量と文献値との比較を表 4-10 に示す。スック植林事業地のアカシア植林地の土壌有機炭素量は、サバ州 Long Mio の天然林(原生林や択伐林)の文献値よりも小さいが、サバ州 Tawau のオイルパーム農園と比較すると1.5~2 倍程度の値を示しており、土壌有機炭素についてもアカシア植林地の方がオイルパーム農園よりも炭素蓄積量大きいことが示唆された。

表 4-10 スック植林事業地の土壌有機炭素量と文献値との比較

箇所	標高	土地利用タイプ	土壌有機炭素(深さ30cm) (tC/ha)
サバ州 スック植林事業地	350 - 400m	13 年生アカシア	65.62
		15 年生アカシア	61.45
		17 年生アカシア	71.68
		天然生二次林	61.47
		ケランガス	23.26
		河畔林	41.65
サバ州 Tawau (Besar et al., 2018)	300 - 470m	アグロフォレストリー(オイルパーム、沈香)	39.12 - 49.75
		オイルパームモノカルチャー農園	43.09 - 45.46
		熱帯天然林	36.30
サバ州 Long Mio (Suhaili et al., 2021)	1000 -1600m	原生林	96.42
		択伐林	91.14
		人工林	88.92

4.5.4 アカシア植栽木の病害の状況

前述したように、アカシア植林事業の課題として、近年、糸状菌 *Ceratocysis* による植栽木の立ち枯れが蔓延し、インドネシア等、及びマレーシアにおいても深刻な問題となっている。本調査対象のスック植林事業地においても *Ceratocysis* によると思われる立ち枯れが発生しており、植林地経営上の大きな課題となっている。

上記 4.5.1 及び 4.5.2 の炭素蓄積量の推計は、生存している立木のみを対象として行ったが、サバ大の調査では森林タイプ別にアカシア枯死木の発生状況に関する調査も実施している。その結果、合計 29 プロットのうち 8 プロットでは枯死率が 20%を超えており、アカシア植林地の立木に対する枯死木の割合は 11.63~21.48%であった(表 4-11)。なお、*Ceratocysis* による病害は、若齢木よりも壮齢木や高齢木で発生することから、植栽木だけを見ると枯死率はもっと高いと考えられる。

表 4-11 森林タイプ別の立木の枯死状況

森林タイプ	立木本数計	生残木本数	枯死立木本数	枯死立木割合 (%)
13年生	430	380	50	11.63
15年生	303	241	62	20.46
17年生	135	106	29	21.48
ケランガス	111	107	4	3.60
溪畔林	45	42	3	6.67
天然生二次林	180	156	24	13.33

また、サバ大の調査結果、スック植林事業地内において、アカシアの立ち枯れが特に多数発生している箇所があり、30%を超える枯死率を示すプロットもあった(図 4-17)。

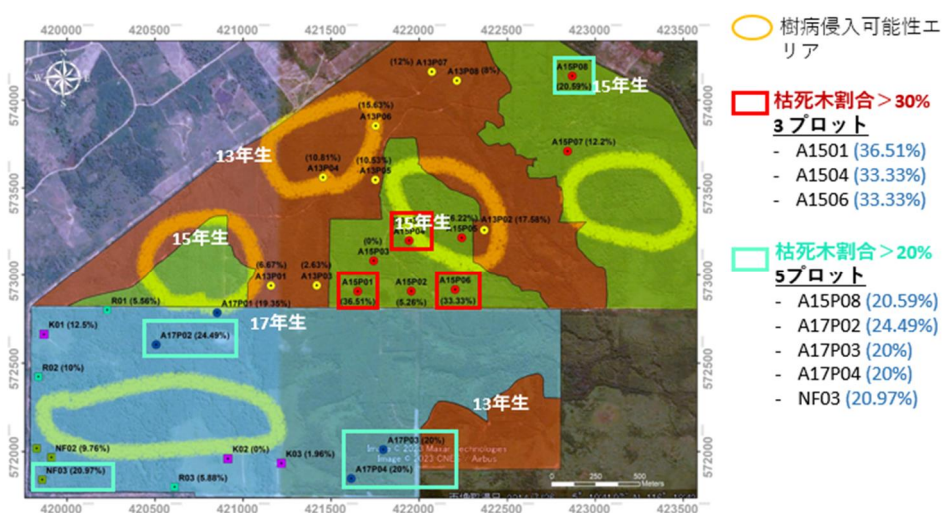


図 4-17 立木枯死率の高いプロットの分布

4.5.5 生物多様性

(1) 植物多様性調査及び解析の手法

i) 現地調査及び植物同定

炭素蓄積の評価の方法の節で記述した通り、アカシア植林地を構成する各森林タイプ(アカシア 13、15、17 年生植林地、溪畔林、天然生二次林、ケランガス林)に設定したプロット内の 5cm 以上(ケランガス林は 4cm 以上)の樹木の種の同定に加え、プロット内外で発見した未記載の植物種を記録した。すべての種について写真を撮影した。現地で同定されなかった種については標本を採取した。種の同定は、サバ州サンダカンの森林研究センターのハーバリウムで確認した。

ii) データ解析

異なる森林タイプにおける種の出現状況を分析し、アカシア植林地とアカシア植林地以外の森林の両者に共通して出現する種、それぞれの森林のみに出現する種に分類し、在来種、外来種の区分、レッドリスト記載の有無、侵略的外来種指定の有無などを確認した。ケランガス林や二次林など、残存林分の景観要素に依存する種の存在を分析した。また、木材利用などの有用性について、出現した植物種の特徴を分析した。

(2) アカシア植林地の景観レベルの植物多様性

i) 各森林タイプの植物多様性

調査地域のすべての森林タイプを通じて、45 科 76 種が確認された。記録された植物のほとんどは木本種で、アカシア植林地では 27 種、その他の森林タイプでは 37 種であった(表 4-12)。その中で、両方の森林に出現した種は 11 種であった。草本種の数も、アカシア植林地で 17 種、その他の森林タイプで 13 種、共通で出現した種が 7 種と、アカシア植林地で多く出現した。この中で、IUCN レッドリスト記載の種としては、その他の森林タイプで、CR 種が 1 種出現したのみで、その他はすべて低懸念(LC)種であった。

表 4-12 アカシア植林地とその他の森林タイプに出現した種数とレッドリストへの記載

森林タイプ別分類	木本種	草本種	計	IUCN レッドリスト種	
				深刻な危機 (CR)	低懸念 (LC)
アカシア植林地のみに出現した種	16	10	26	—	4
アカシア植林地と天然生二次林・溪畔林に共通して出現した種	11	7	18	—	8
天然生二次林・溪畔林のみに出現した種	26	6	32	1	10
合計	53	23	76	1	22

出現した植物種のタイプとしては、高木種に次いでシダ類がアカシア植林地で 10 種、その他の林で 4 種、低木類がアカシア植林地で 9 種、その他の林で 4 種出現した(図 4-18)。ランは、アカシア植林地以外の森林タイプでのみ記録され、ウツボカズラはケランガス林のみに出現した。

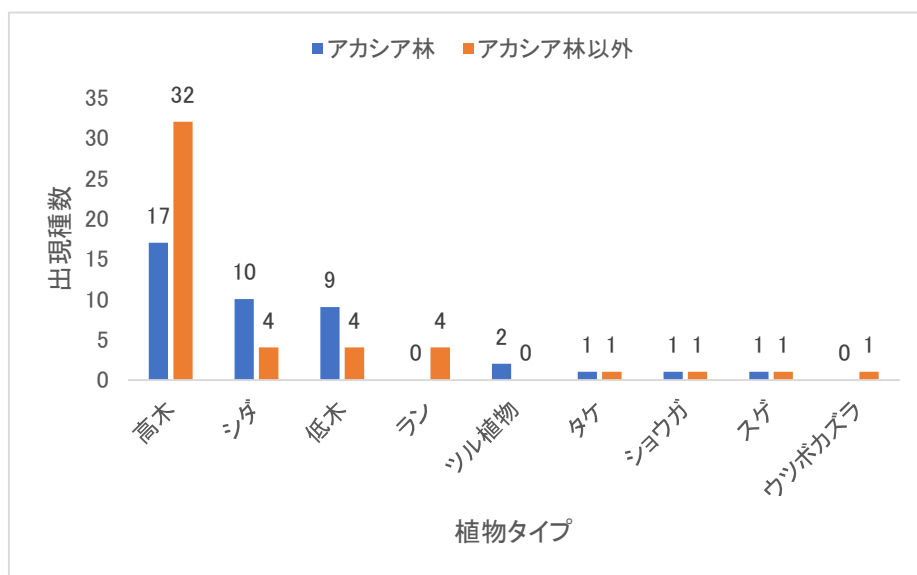


図 4-18 アカシア植林地とそれ以外の森林で出現した植物タイプ

科レベルで見ると、アカシア植林地で最も多く出現した木本種(アカシア以外)はトウダイグサ科とマメ科、それぞれ3属、草本種はイネ科で 3 属であった。アカシア植林地以外の森林タイプでは、木本種ではウルシ科が 3 属、草本種ではラン科で4属が出現した。

ii) 出現した植物種の特徴

アカシア植林地と非アカシア植林地の両方で最も多く見られた樹木種は、*Syzygium lineatum* と *Vitex pinnata* であった(表 4-13)。これらの樹種の優占には、交換性アルミニウム濃度が高く、pH 値が低い植林地の土壌との関連が考えられる。さらに、森林攪乱の指標種のひとつであるマカラング属の *Macaranga pinnata* が、アカシア植林地と非アカシア植林地の両方で多く見られた。非樹木種では、ウラボシ科のコシダ (*Dicranopteris linearis*) と、タケの *Dinochloa* sp. が調査プロットで最も多く出現した種であった。コシダは乾燥地に侵入する雑草性のシダであり、アカシア植林地では攪乱地に優占する傾向を示した。

表 4-13 アカシア植林地とそれ以外の森林タイプに共通に出現した種とレッドリストへの記載

種名	分類		由来		IUCN								
	木本	草本	在来	外来	レッドリスト								IAS
					EX	EW	CR	EN	VU	NT	LC	DD	
<i>Acacia hybrid</i>	T	-	-	E	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Acacia mangium</i>	T	-	-	E	-	-	-	-	-	-	○	-	●
<i>Miconia crenata</i>	T	-	-	E	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Camptosperma auriculatum</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-
<i>Cinnamomum sp.</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	△	△	▲
<i>Dracaena angustifolia</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dyera costulata</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-
<i>Eurycoma longifolia</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Macaranga indica</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-
<i>Syzygium lineatum</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Vitex pinnata</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-
<i>Dicranopteris linearis</i>	-	H	N	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-
<i>Dinochloa sp.</i>	-	H	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Etilingera brevilabrum</i>	-	H	N	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-
<i>Nephrolepis biserrata</i>	-	H	N	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-
<i>Pteridium arachnoideum</i>	-	H	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scleria sp.</i>	-	H	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Stenochlaena palustris</i>	-	H	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
総計	11	7	15	3	0	0	0	0	0	0	8	0	2

注) レッドリストのカテゴリーは、EX:絶滅、EW:野生絶滅、CR:深刻な危機、EN:危機、VU:危急、NT:準絶滅危惧、LC:低懸念、DD:データ不足、また IAS:侵略的外来種、○、●は該当、△、▲は該当の可能性を示す。

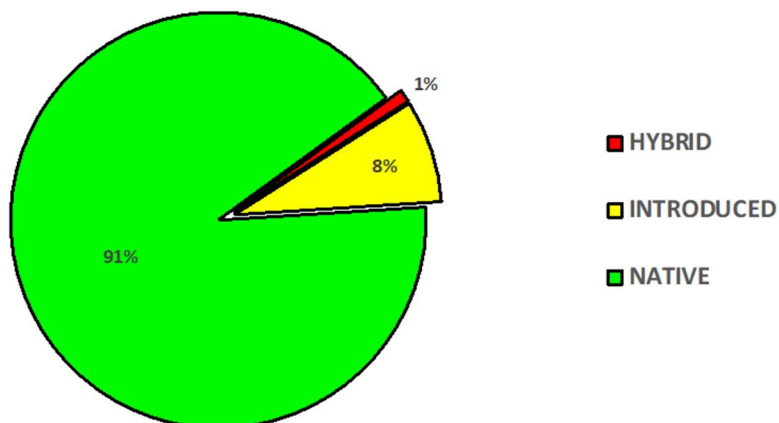


図 4-19 出現した植物種中、アカシア・ハイブリッド(HYBRID)、在来種(NATIVE)、外来種(INTRODUCED)が占める割合(%)

表 4-14 アカシア植林地以外の森林タイプだけに出現した種とレッドリストへの記載

種名	分類		由来		IUCN									
	木本	草本	在来	外来	レッドリスト								IAS	
					EX	EW	CR	EN	VU	NT	LC	DD		
<i>Hevea brasiliensis</i>	T	-	-	E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Aquilaria malaccensis</i>	T	-	N	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-
<i>Artocarpus nitidus</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●
<i>Baekkea frutescens</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-
<i>Beilschmiedia sp.</i>	T	-	N	-	-	-	-	△	△	-	△	-	-	-
<i>Bridelia insulana</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-
<i>Chassalia curviflora</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cratoxylum sp.</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	△	-	-	-
<i>Crotoxylum arborescens</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Diospyrus sp.</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ficus microcarpa</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	●
<i>Glochidion littorale</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-
<i>Gluta sp.</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	△	△	-	-	-
<i>Koordersiodendron pinnatum</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lophopetalum javanicum</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-
<i>Myristica maxima</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-
<i>Neolamarckia cadamba</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Polyalthia lateriflora</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sandoricum koetjape</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-
<i>Schefflera sp.</i>	T	-	N	-	-	-	△	△	△	△	△	△	▲	-
<i>Sterculia macrophylla</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Syzygium borneensis</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Syzygium grandea</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Terminalia catappa</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	●
<i>Utania cuspidata</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Vanilla sp.</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Alocasia longiloba</i>	-	H	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Bulbophyllum sp.</i>	-	H	N	-	-	-	△	△	△	△	△	△	-	-
<i>Cucurlogo latifolia</i>	-	H	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dipodium sp.</i>	-	H	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Malaxis sp.</i>	-	H	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nepenthes rafflesiana</i>	-	H	N	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-
総計	26	6	31	1	0	0	1	0	0	0	9	0	4	

注) レッドリストのカテゴリーは、EX:絶滅、EW:野生絶滅、CR:深刻な危機、EN:危機、VU:危急、NT:準絶滅危惧、LC:低懸念、DD:データ不足、また IAS:侵略的外来種、○、●は該当、△、▲は該当の可能性を示す。

表 4-15 アカシア植林地だけに出現した種とレッドリストへの記載

種名	分類		由来		IUCN								
	木本	草本	在来	外来	レッドリスト								IAS
					EX	EW	CR	EN	VU	NT	LC	DD	
<i>Adenanthera pavonina</i>	T	-	-	E	-	-	-	-	-	-	○	-	●
<i>Adenanthera sp.</i>	T	-	-	E	-	-	-	-	△	-	△	-	▲
<i>Rubus moluccanus</i>	T	-	-	E	-	-	-	-	-	-	-	-	●
<i>Anisophyllea sp.</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	△	-	△	△	-
<i>Aralidium pinnatifidum</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-
<i>Atrocarpus integer</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Atrocarpus odoratissimus</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Garcinia sp.</i>	T	-	N	-	-	-	△	-	△	-	△	-	-
<i>Homalanthus sp.</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	△	-	-
<i>Hoya sp.</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mallotus paniculatus</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-
<i>Melastoma malabathricum</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Polyalthia bullata</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pouteria obovata</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Syzygium leucoxydon</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Uncaria sp.</i>	T	-	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pteris tripartita</i>	-	H	-	E	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Adiantum sp.</i>	-	H	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Centotheca sp.</i>	-	H	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Deris sp.</i>	-	H	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lygodium microphyllum</i>	-	H	N	-	-	-	-	-	-	-	○	-	●
<i>Pyrosia longifolia</i>	-	H	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pyrosia piloselloides</i>	-	H	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Saccharum sp.</i>	-	H	N	-	-	-	-	-	-	-	△	-	▲
<i>Smilax calophylla</i>	-	H	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tectaria sp.</i>	-	H	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
総計	16	10	22	4	0	0	0	0	0	0	4	0	5

注) レッドリストのカテゴリーは、EX:絶滅、EW:野生絶滅、CR:深刻な危機、EN:危機、VU:危急、NT:準絶滅危惧、LC:低懸念、DD:データ不足、また IAS:侵略的外来種、○、●は該当、△、▲は該当の可能性を示す。

調査プロット内に出現した樹木種のほぼ 91%は在来樹種であり(図 4-19)、*Acacia mangium*、*Hevea brasiliensis*、*Miconia crenata*、*Pteridium arachnoideum* などの外来樹種が、残りの 8%を占めた。二次林では、深刻な絶滅の危機に瀕している *Aquilaria malaccensis* (沈香、Agarwood、現地語で Gaharu として知られる)が記録された。この樹種は、サバ州では伐採が禁止されている「禁止種」のひとつでもある。この樹木は、その芳香性の樹脂のために、乱獲されてきた歴史がある。この種が産出する樹脂は菌類や細菌の感染に対する防御機構として形成され、アロマオイルと樹脂の生産が誘導される。香水やお香の生産に利用されるだけでなく、この沈香の木を伝統的な薬として、消化器系の問題や不安、癌などの健康問題の治療に使う国もある。

ケランガス林では、ウツボカズラ的一种 *Nepenthes rafflesiana* が出現した。貧栄養土壤に特有な低懸念(LC)種であるが、生息地であるケランガス林の開発による消失にともない、地域個体群は

絶滅の脅威にさらされている。

アカシア・ハイブリッド 17 年生林に出現したクワ科のニオイパンノキ *Artocarpus odoratissimus* (サバ州では果樹としてよく植栽される)、及び二次林に出現した *Artocarpus nitidus* の 2 種は、低地の混交フタバガキ林の構成種でもあり、サバ州では伐採が禁じられた「禁止種」に指定されている。なお、低地の原生林や二次林に普通に見られる種ではあるが、経済的に有用性の高い(用材利用や薬用成分の抽出、果樹など)樹種が、二次林、溪畔林、ケランガス林だけでなく、アカシア植林地内にも出現した(表 4-16)。

表 4-16 出現した経済的な有用樹種

種名	在来/外来	出現林分	特性
<i>Acacia hybrid</i>	外来(植栽)	アカシア林(13, 15, 17年生)、ケランガス林	木材生産。高い材質。
<i>Acacia mangium</i>	外来	アカシア林(13, 15, 17年生)、ケランガス林	木材生産。サバ州で多く植栽。
<i>Aquilaria malaccensis</i>	在来	二次林	深刻な危機(CR)種。低地から低地山岳林に分布。沈香、Gaharu、Agarwood。造林樹種。
<i>Artocarpus nitidus</i>	在来	二次林	低地林から山岳低地林、攪乱された混交フタバガキ林に分布。果実は、不味いが、可食。サバ州では、「禁止種」。
<i>Crotonyllum arborescens</i>	在来	ケランガス林	低地林から山岳低地林に広く分布。ケランガス、泥炭湿地林に生育。用材利用。ゲロンガン。
<i>Dyera costulata</i>	在来	アカシア林(15年生)、二次林	開放地、林内両方に生育。造林樹種。ポコック、ジェルトン。
<i>Eurycoma longifolia</i>	在来	アカシア林(13, 15年生)、河畔林	原生林、二次林、水はけの良い砂地で見られる。トンカットアリ。薬用植物。
<i>Hevea brasiliensis</i>	外来	河畔林	パラゴムノキ。ゴムプランテーションからの逸出。
<i>Neolamarckia cadamba</i>	在来	二次林、河畔林	原生林、二次林、湿性な沖積地で見られる。ララン、ケヤンパヤン。造林樹種。街路樹としても植栽。
<i>Polyalthia bullata</i>	在来	アカシア林(15, 17年生)	低地林。トンカットアリヒタム。薬用植物。
<i>Sandoricum koetjape</i>	在来	二次林、河畔林	標高1200m以下のさまざまな森林で野生化。サントル。農家で果樹として植栽。
<i>Sterculia macrophylla</i>	在来	二次林	落葉高木。ゆるやかな地形の水はけの良い場所に生育。ケランパン。造林樹種。
<i>Vitex pinnata</i>	在来	アカシア林(17年生)、二次林、河畔林、ケランガス林	原生林、二次林で見られるが、特に二次林に多い。サバ州では、クリンパバと呼ばれる。農家にも植栽。用材樹種。

4.5.6 伐採木材の使用(トラック荷台床板)による炭素貯蔵量

(1) スック植林事業地のアカシア・ハイブリッド材の利用状況

本スック植林事業地は、もともと越井木材工業(株)が現地で操業する合板工場(コシナール社

ケニンガウ工場)に合板用原木を供給する目的で計画された。現在、同合板工場では、外部調達した原木を用いて、日本の住宅市場向けの JAS 合板を製造している。ただし、スック植林地で収穫されたアカシア・ハイブリッド原木を用いて試験的に合板の製造を開始しており、将来的には商業ベースに乗せることを検討している。



写真 4-14 コシナール社ケニンガウ合板工場



写真 4-15 スック植林地から収穫されたアカシア・ハイブリッドを用いて試験的に製造された合板

現在、スック植林事業地から収穫されたアカシア・ハイブリッド原木は、トラック荷台床板用のフィンガージョイントスティック集成材を製造するために現地企業の加工工場に納入されている。納入された原木は、製材・乾燥させたうえで、床板に適する材を選別し、フィンガージョイント加工した上で、縦継ぎ加工を行い(フィンガージョイントスティック)、集成材として日本に輸出され、日本国内でトラック荷台床板に加工される(図 4-20)。トラック荷台床板用として適さない材は、現地の建築内装用にも使われているほか、端材やおが粉は工場ボイラーの燃料として消費されている。

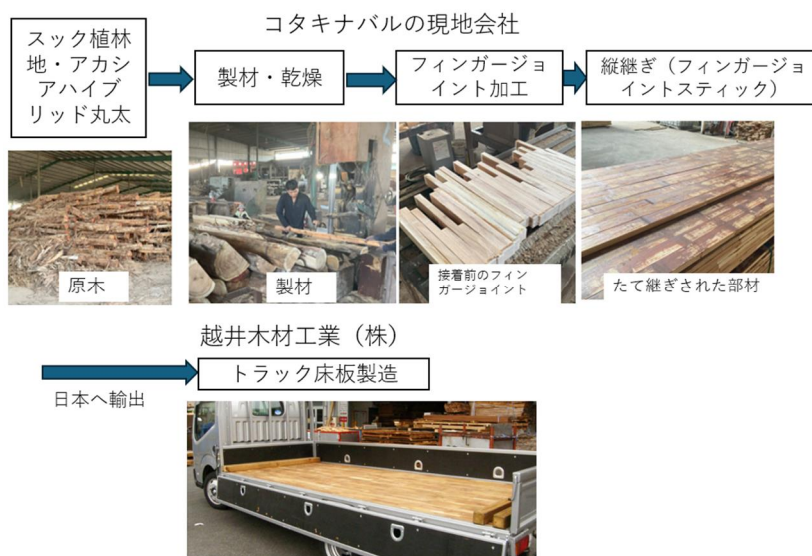


図 4-20 アカシア・ハイブリッド材からのトラック荷台床板製造の流れ

(2)トラック荷台床板の炭素貯蔵量

樹木は、伐採された後も、木材として使用されることにより、その間炭素を貯蔵することが可能である。国連気候変動枠組条約 (UNFCCC) においては、そのような木材製品による炭素貯蔵量を、伐採木材製品 (Harvested Wood Products: HWP) として、算定・報告することとされている。また、日本の林野庁は、「建築物に利用した木材に係る炭素貯蔵量の表示に関するガイドライン⁴」を公開している。このように近年、使用中の木材製品に貯蔵される炭素量の重要性が注目されており、越井木材工業 (株) の取引先等からは、トラック荷台床板の炭素貯蔵効果を定量的に示すことが求められている。そこで、アカシア・ハイブリッド材及びアカシア・マンギウム材で製造されたトラック荷台床板一台当たりの炭素貯蔵量 (CO₂ 換算) を試算した (表 4-17)。

表 4-17 トラック荷台床板一台当たりの炭素貯蔵量 (CO₂ 換算)

車種	荷台床板使用材積量 (m ³ /台)	炭素貯蔵量 (tCO ₂ /台)	
		A. hybrid	A. mangium
大型車	0.46	0.48	0.46
中型車	0.25	0.26	0.25
小型車	0.10	0.10	0.10

試算に当たっては、上記の林野庁が示している「建築物に利用した木材に係る炭素貯蔵量の表示に関するガイドライン」に示されている以下の計算式を適用した。

$$\text{炭素貯蔵量 (tCO}_2\text{)} = \text{荷台床板使用材積 (m}^3\text{)} \times \text{木材の密度 (気乾状態の材積に対する全乾状態の質量の比 (t d.m./air-dry m}^3\text{))} \times \text{炭素係数 (0.5)} \times \text{CO}_2\text{ 換算係数 (44/12)}$$

また、車種ごとの一台当たりの荷台床板の使用材積は、越井木材工業 (株) から提供された数値 (表 4-17) を用いるとともに、木材の密度 (気乾状態の材積に対する全乾状態の質量の比) は既往文献の気乾比重と含水率のデータを基にして以下の式により求めた (表 4-18)。

$$\text{木材の密度 (気乾状態の材積に対する全乾状態質量の比)} = \text{気乾密度} \div (1 + \text{含水率}/100)$$

表 4-18 樹種別の木材の密度 (気乾状態の材積に対する全乾状態の質量の比)

樹種	文献値			計算値
	気乾密度 (ton _{気乾} /m ³ _{気乾})	含水率	出典	木材の密度 (ton _{全乾} /m ³ _{気乾})
アカシア・ハイブリッド	0.640	11.9%	瀧澤 2000	0.572
アカシア・マンギウム	0.625	13.6%	瀧澤 1999	0.550

⁴ <https://www.rinya.maff.go.jp/j/mokusan/mieruka.html>

なお、炭素係数は、HWPの製材用のIPCCデフォルト値である0.5を用いるとともに、炭素量からCO₂量へ換算するためのCO₂換算係数は分子量比44/12を用いた。

(3) アカシア植林地から生産されるトラック荷台床板の炭素貯蔵量

さらに、1haのアカシア・ハイブリッド植林地から生産されるアカシア材のトラック荷台床板の炭素貯蔵量を試算した。越井木材工業(株)への聞き取り調査の結果、アカシア・ハイブリッド植林地の1ha当たりの主伐による素材生産量(材積)を200m³/haと設定した。また、アカシア植林地から生産された素材について用途別歩留まりを考慮した利用可能材積は表4-19に示す通りであり、植林地1haからトラック荷台床板用のフィンガージョイントスティック集成材が40m³生産されると試算された。

表 4-19 アカシア・ハイブリッド植林地から生産された木材の用途別歩留まりと利用材積

ha 当たり素材生産量(m ³ /ha)	用途	歩留まり(%)	ha 当たり利用材積(m ³ /ha)
200	フィンガージョイントスティック集成材	20	40
	建築内装材	6~7	12~14
	パレット材	2~3	4~6
	燃料材・おが粉	65~68	130~136
	インボイスロス(厚み交差分)	4~5	8~10
	計	97~103	194~206

上記の試算の結果、スック植林事業地のアカシア・ハイブリッド植林地1haから生産されるフィンガージョイントスティック集成材(40m³/ha)は、大型車約87台分、中型車で160台分、小型車で400台分に相当し、それぞれ42tCO₂に相当する炭素が貯蔵されると推計された。

4.6 対象国における可視化手法の普及

本実証調査の成果については、越井木材工業(株)が、サバ森林開発公社やサバ州政府傘下の組織であるサバソフトウッド社と、定期的な情報交換を行っており、これらの場を通じて成果を共有していく予定である。

4.7 可視化実証調査の総括

本実証調査においては、マレーシア・サバ州でのアカシア・ハイブリッド植林地における炭素蓄積及び生物多様性保全への貢献の評価とその可視化手法の検討を行った。

4.7.1 調査対象地の要約

本実証調査で対象とした植林地は、トラック荷台床板の原材料、及び将来的には合板用の原木として使用することを目的として、越井木材工業(株)が造成した産業植林事業地である。植林開始

から2023年で17年が経過し、17年生の林分は既に主伐が行われており、残りの林分についても今後順次主伐期を迎えていく。

この越井木材工業(株)のスック植林事業地は、サバ州の内陸に位置し、サバ州の中でも比較的降水量の少ない地域にある。また、その周辺地域では開発が進んでおり、特に土地利用としてはオイルパーム農園が広がっている。植林事業開始前は、森林火災等により草地化した荒廃地であったため、天然林であった場所を伐採して植林したものではない。また、政府の森林保全区が解除された隣接地では、草地化した荒廃地にオイルパーム農園が広がりつつある実態も見受けられた。したがって、炭素蓄積や生物多様性への貢献度の評価は、この周辺地域のオイルパーム農園を比較対照として行うことが適切であると考えられた。

4.7.2 調査方法の要約

貢献度の評価手法として、炭素蓄積量については、(1)越井木材工業(株)が設置している固定プロットで、植栽木を経年調査(胸高直径及び樹高)したデータにもとづき、既存のアロメトリー式を用いて、植栽木の地上部バイオマス及び炭素蓄積量を評価した。これに加えて、(2)サバ大学熱帯森林学部との研究協力により、森林タイプ別にプロットを配置し、現存する木本及び草本種の調査、並びに土壌調査を行い、このデータをもとに、木本種の地上部バイオマス及び炭素蓄積量、並びに土壌炭素蓄積量を評価した。

生物多様性については、上記サバ大学熱帯森林学部の森林タイプ別に配置したプロットにおいて、簡易な植物種調査(インベントリ)を行い、森林タイプごとの植物多様性の評価とともに、植林地全体の景観で保持される植物多様性を評価し、植林地内にパッチ状に自然植生を保全する意義について検討した。

4.7.3 調査結果の要約

本可視化実証調査を通じて次の結果が得られた。

(1)アカシア・ハイブリッド植林地における炭素蓄積量の評価

炭素蓄積量の評価においては、周辺の代表的な土地利用であるオイルパーム農園に比べ、植林地の樹木の地上部バイオマスと土壌の炭素蓄積量は顕著に高いことを明らかにし、植林地の炭素蓄積への貢献が定量的に示された。さらに、伐採して植林地から持ち出された木材が、トラック荷台床板として利用されることによる炭素蓄積への貢献も示すことができた。木材製品を製造する企業の産業植林による炭素蓄積への貢献度を示す上では、重要な評価と考えられる。

また、事業者による固定プロットでの継続調査が炭素蓄積量評価において重要な役割を果たせること、同時に地元の研究者(サバ大)の協力により、生態系としての炭素蓄積量の評価が可能となり、専門機関との連携の重要性も明らかになった。

(2)アカシア・ハイブリッド植林地による生物多様性保全への貢献度の評価

調査の結果、アカシア・ハイブリッド植林地内にも、アカシア以外の一定の森林性の植物種が維持されていることが評価できた。また、アカシア植林地自体の直接の植物多様性保全効果は限られているとしても、植林事業地の中に、部分的に天然生二次林や溪畔林の保全を図ることが、地

域の在来植生保全と希少種の保全に貢献していることを示すことができた。保全された自然林そのものが物多様性を維持すると同時に、それがソースとして植林地内への在来植物種の供給源として機能していると考えられた。さらに、ケランガス林については、植林による攪乱はあっても、それ以上の開発が回避されることで、ウツボカズラ等の特異なケランガス植生の維持に貢献していることが示された。

今回の調査を通じ、植林事業地全体の景観の中での生産林と保護林のゾーニングによる管理の重要性が関係者に共有され、またそれを対外的に発信する意義は大きいと考える。

また、生物多様性の調査においては、専門的な知識を有する地元の研究者(サバ大、サバ森林研究センター)の協力による生物種の調査・同定の重要性も改めて明らかになった。

4.7.4 今後の課題

今後の課題として、次のようなことが考えられる。

- (ア) 今回は時間的な制約から収集できなかった、ベースラインの土地利用である荒廃地やオイルパーム農園における炭素蓄積量や生物多様性についての調査を行うことで、より明確な植林による貢献の可視化につなげる
- (イ) アカシア植林地が、鳥類など他の生物群に生息地を提供することを通じて生物多様性保全に貢献している可能性の検証のために、他の生物群について簡易な生物多様性の評価手法を検討すること
- (ウ) 対象となる植林地内には、住民等の居住実態がなく、また政府の森林保全区として指定されていることもあり、これまでは周辺住民とのつながりはそれほど強い状況にはなかったが、地域住民の生計向上への貢献の視点から、今後の森林火災防止など植林地の適切な管理に向けた地域の住民との協働体制構築の可能性など、周辺住民に対する調査を行うこと

4.8 参考文献

浅川澄彦 熱帯の造林技術, 国際緑化推進センター, 1992

猪瀬光雄, Z. Saridi, アカシア・マンギウム of 幹材積及び収穫予想表 熱帯林業 No.61, 2004

栗延晋, ACACIA に参加して 一東南アジアにおけるアカシア植林の最近の動向, 森林遺伝育種 3, 2014

国際緑化推進センター: 森林再生テクニカルノート. 主な植栽樹種.
<https://jifpro.or.jp/tpps/category/conditions/conditions-cat06/>

瀧澤忠昭, 熱帯早生樹造林木の新たな用途開発のための材質及び加工適正の評価(4) 熱帯林業 No.46, 1999

瀧澤忠昭, 熱帯早生樹造林木の新たな用途開発のための材質及び加工適正の評価(5) 熱帯林業 No.47, 2000

武若藍子, 立花敏 マレーシア・サバ州における 1960 年代以降の主要換金作物栽培の変遷, 海外の森林と林業 No.108, 2020

田中良平 オイルパーム～木質バイオマス資源としての新展開, 繊維と工業 66 (8), 2010

玉木一郎 樹木の自然種間交雑. 森林のたより FEB 2012. 岐阜県立森林文化アカデミー. 2012

- 内藤大輔 マレーシア・サバ州における森林管理の変遷と地域住民の生業変容 東南アジア研究 52 (1), 2014
- 長縄肇, 浅川澄彦, 熱帯樹種の造林特性(XII) *Acacia auriculiformis*, 熱帯林業 No.72, 1984
- 藤本高明, 阿久津久, 瀧澤忠昭, アカシア属造林木の基礎的性質, 北海道林産試験場報 16 (2), 2002
- 森徳典ほか編 熱帯樹種の造林特性, 国際緑化推進センター, 1996
- 林野庁, 平成 28 年度林野庁委託事業「クリーンウッド」利用推進事業のうち生産国情報収集事業報告書 2018
- 林野庁, 「クリーンウッド」普及促進事業のうち違法伐採関連情報の提供 2022.
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/goho/kunibetu/mys/info.html#houkoku>
- 林野庁, 建築物に使用した木材に係る炭素貯蔵量の表示に関するガイドライン, 2021.
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/press/mokusan/211001.html>
- Adam N.S., I. Jusoh, Allometric model for predicting aboveground biomass and carbon stock of *Acacia* plantations in Sarawak, Malaysia, *BioResources* 13 (4), 2018
- Besar, N.A., Suardi, H., Phua, M.H., James, D., Mokhtar, M.B., Ahmed, M.F., Carbon stock and sequestration potential of an agroforestry system in Sabah, Malaysia. *Forest* 11, 2020
- Blumroeder J., P.R. Hobson, U.F. Graebener & S. Winter, Ecosystem-based evaluation of two sustainability standards applied to oil palm cultivation in Sabah, Malaysia, 24th international sustainable development research society conference, 2018
- Chang J., S.S. Kong, J. Sentian & J. Dayou, Synoptic analysis and mesoscale numerical modelling of heavy precipitation: a case study of flash flood event in Kota Kinabalu, Malaysia, *Meteorology and Atmospheric Physics* 132 (2), 2020
- Chave, J., Rejou-Mechain, M., Burquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M.S., Delitti, W.B.C., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P.M., Goodman, R.C., Henry, M., Martinez-Yrizar, A., Mugasha, W.A., Muller-Landau, H.C., Mencuccini, M., Nelson, B.W., Ngomanda, A., Nogueira, E.M., Ortiz-Malavassi, E., Pelissier, R., Ploton, P., Ryan, C.M., Saldarriaga, J.G., and Vieilledent, G., Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology* 20(10), 2014.
- Chaw, C.S., Mitlöhner, R., *Acacia* hybrid: Ecology and silviculture in Vietnam, 13p. Bogor, Indonesia, Center for International Forestry Research (CIFOR), 2011.
- CIFOR, *Acacia* hybrid -Ecology and silviculture in Vietnam, 2011
- CIFOR, The local impacts of oil palm expansion in Malaysia, 2011
- Inose M., Nakamura T. & Saridi Z.B., Yield prediction table and estimation of site-class by site-class indicators on *acacia mangium* in SAFODA plantation. 1991.
<https://libopac.jica.go.jp/detail?bbid=0000074170>
- IPCC 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia, et al. (eds). 2006
- Kha, L.D., Studies on the use of natural hybrids between *Acacia mangium* and *Acacia auriculiformis*,

- Vietnam. Agricultural Publishing House, Hanoi, Vietnam, 2001.
- Mang, S. L. and Brodie, J. F., Impacts of non-oil tree plantations on biodiversity in Southeast Asia, *Biodivers Conserv* 24:3431–3447, 2015.
- Ministry of Energy and Natural Resources Malaysia, Malaysia Policy on Forestry 2021
- Miyakuni K., I. Heriansyah, N.M. Heriyanto & Y. Kiyono, Allometric biomass equations, biomass expansion factors and root-to-root ratios of planted *Acacia mangium* Willd. forests in West Java, Indonesia, *J. For Plann* 10, 2004
- Nasution A., M. Glen, C. Beadle & C. Mohammed, *Ceratocystis* wilt and canker – a disease that compromises the growing of commercial *Acacia*-based plantations in the tropics, *Australian Forestry*, May 2019
- Sabah Forestry Department Official Website. <https://forest.sabah.gov.my/index.php/discover/forest-resources.html>
- Suhaili, N.S., Hatta, S.M., James, D., Hassan, A., Jalloh, M.B., Phua, M.H., and Besar, N.A., Soil carbon stocks and litterfall fluxes from the Borneon tropical Montane Forests, Sabah, Malaysia. *Forest* 12, 2021.
- Tarigan M, Roux J, Van Wyk M, Tjahjono B, Wingfield MJ., A new wilt and die-back disease of *Acacia mangium* associated with *Ceratocystis manginecans* and *C. acaciivora* sp nov. in Indonesia. *South African Journal of Botany*. 77:292–304, 2011.

5. 普及ツール等による情報発信

国際緑化推進センター (JIFPRO) 倉本 潤季

5.1 情報集積サイトの管理運営

途上国における森林づくり活動を促進するためには、主体となる民間企業に対する適切な情報提供が重要である。昨今 SDGs や ESG の観点から森林づくり活動への関心を持つ民間企業が増えているが、必ずしも企業の担当者が専門性を有しているわけではない。さらに、関心を抱き情報収集を始めた段階、森林づくり活動の実施を検討・計画している段階、実際に森林づくり活動を実施している段階など、森林づくり活動との関わりの段階によって、企業にとっての重要度の高い情報は異なってくると考えられる。そこで、それぞれの段階に応じた総合的な情報及びサポートを民間企業に提供するため、令和 4 年度事業において「途上国森づくりワークス」(<https://jifpro.or.jp/moriwaku/>)というウェブサイトを構築した(図 5-1)。本年度は、サイトを構成するページの中から、主に「植林ポテンシャルエリア」「企業による森づくり事例」「植えるを視える化の試み」について、情報収集や企業へのヒアリングを実施してコンテンツを拡充した。

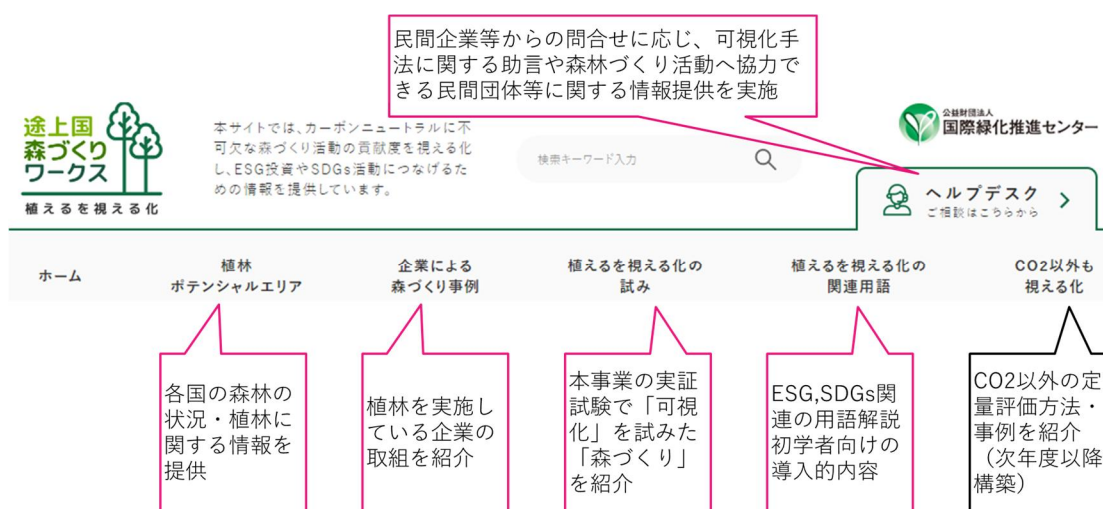


図 5-1 途上国森づくりワークスの構造

5.1.1 植林ポテンシャルエリア

企業が海外での植林活動を実施する対象・候補となるような途上国の植林関連基礎情報について、以下のような構成で重要事項をとりまとめた。

1. 当該国の森林概況
2. 基礎情報
 - (ア) 既存の植林面積
 - (イ) 実施されている植林のタイプ
 - (ウ) 植栽樹種

など

3. 植林ポテンシャル

- (ア) 植林可能エリア
- (イ) 当該国の森林関連政策
- (ウ) 森林利用圧
- (エ) 炭素クレジット関連情報
- (オ) 植林の際の課題
- (カ) 当該国で活動する団体

など

4. 参考文献など

この記事コンテンツについては、JIFPRO 内部で文献調査や現地情報を取りまとめて作成したほか、航測会社やコンサルタントなど、当該地域での活動実績があり現地情勢に詳しい外部の組織にも原稿執筆を依頼して作成した。ページのレイアウト見本及び本年度の対象国を図表(図 5-2 及び表 5-1)に示す。

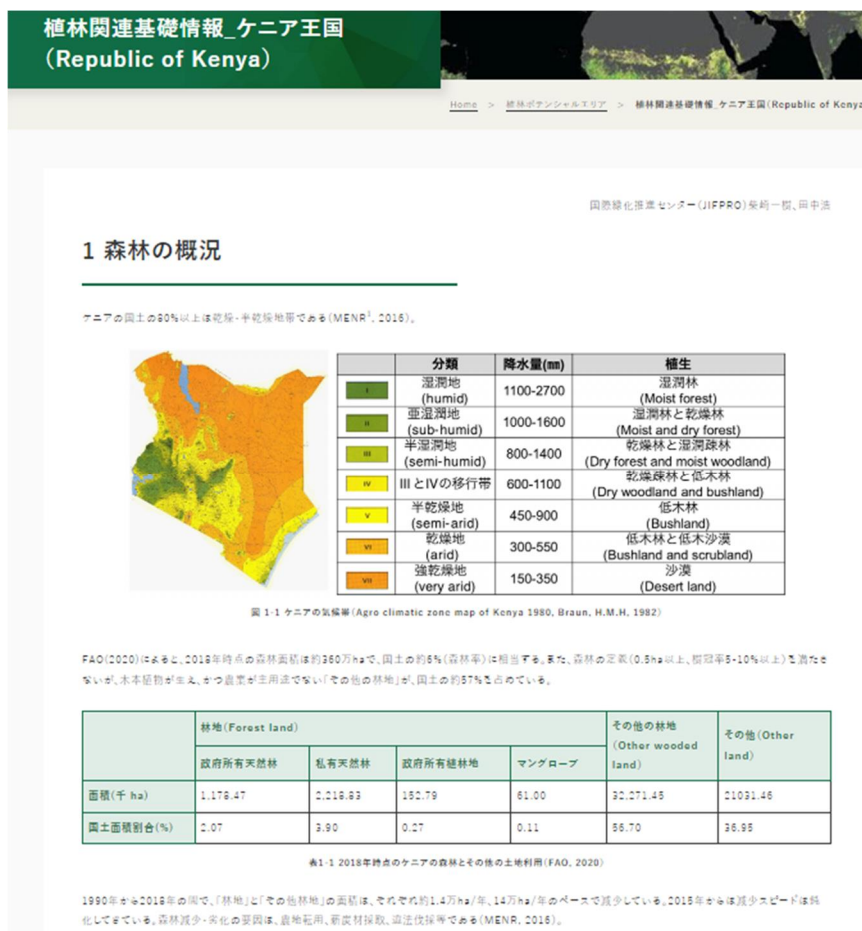


図 5-2 「植林ポテンシャルエリア」のレイアウト

表 5-1 本年度対象とした国一覧

ケニア	コンゴ民主共和国
モザンビーク	モンゴル
ラオス	フィリピン
カンボジア	ウズベキスタン

5.1.2 企業による森づくり事例

(1) 拡充内容

民間企業による森林づくり活動の先行事例について、公開情報及び個別ヒアリングによって収集した情報を取りまとめた。ヒアリング及び取りまとめにあたっては、下記のような項目の内容を確認、整理した。

- 当該企業と植林活動との関係(事業として実施しているのか事業外の活動なのか)
- 個別の植林プロジェクト紹介
 - 植林規模
 - 活動内容
 - カウンターパートやステークホルダーなど現地の体制と企業・日本の消費者などとの関係
- 社内での実施体制
- 社内の認知や植林活動の社内での位置づけ
- 植林活動の成果の公開状況・可視化状況
 - 国際的なイニシアティブに基づく情報開示の中で植林活動を位置づけているか
 - 外部機関や消費者などからの評価やイメージ向上などに役立っているか

今年度ヒアリングを実施した企業は、以下の表にまとめた通りである。さらに、後述するヒアリング内容の分析や委員会での議論から、日本企業の植林活動が欧米の大企業のものに比べて規模的に小さく、今後国際的な要請の中での対応を考えるためには、欧米企業の事例を注視する必要があることが示唆された。そこで、大規模な植林活動を実施する欧米企業の主要な事例や、そうした大企業と連携する国際 NGO について概説する記事を併せて作成した。

表 5-2 本年度のヒアリング対象企業

ダイキン工業	三井住友海上火災
トヨタ紡織	リコー
ヤマハ	

(2) ヒアリング・文献調査による日本企業の取り組み分析

ヒアリングを実施した企業の内訳は、事業内で植林活動を実施している 1 社、事業外で実施して

いる企業が 4 社であったが、消費者を巻き込んだキャンペーンなどで事業活動と連携した活動を展開する企業も見られた。これら 5 社の企業に対するヒアリングの分析から、企業の取り組みの傾向性に関して、以下のような傾向が明らかになった。

第一に、一部には二酸化炭素吸収量の算出を行ったり CDP レポート(気候変動)で植林活動に言及していたりという例も見られたが、概ね生物多様性保全・回復や地域住民便益を重視する傾向にあった。図 5-3 に示した昨年度のセミナー参加者に対するアンケートでも同様の傾向がうかがえる。さらに、生物多様性保全・回復や地域住民便益といった貢献度に関しては、独自にモニタリングを行うなどきめ細かな対応を実施している企業が多くみられた。

今回ヒアリングを実施した企業では、事業活動のフットプリントに見合うような大規模な植林を実施しているわけではないため、あえて二酸化炭素吸収量については取り上げていないと考えられる。ただし、こうした現状に対して欧米企業並みの大規模な植林の必要性を考えている企業もあった。

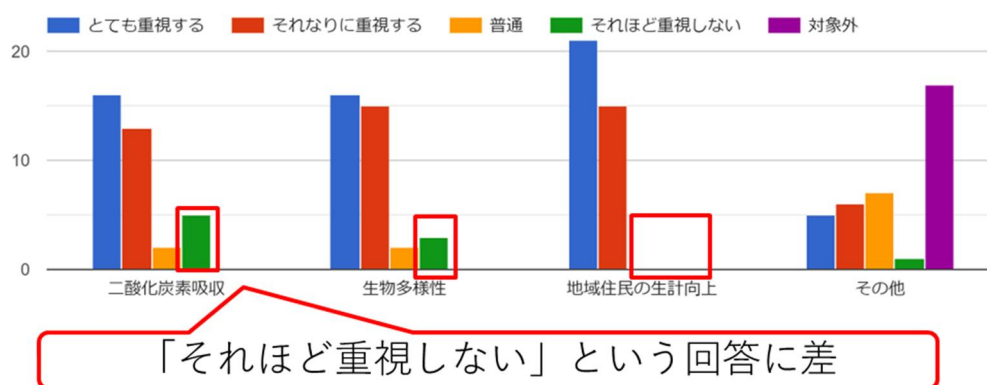


図 5-3 植林活動の成果として可視化を期待するもの(令和 4 年度セミナーアンケート)

第二に、社員のエンゲージメント⁵向上という観点を重要視している場合が多いことが明らかになった。社員や家族のボランティア参加や現地イベントへの参加、現地法人の植林地での活動報告の取りまとめなど、自社内で活動の認知を高めるとともに、エンゲージメント向上のツールとして活用している例が多くみられた。

第三に、ESG 評価機関からの評価を踏まえた情報開示や国際的なイニシアティブに基づく情報開示、CDP レポートへの回答などといった国際的なスタンダードを意識して活動を実施している例が多くみられたことも注目される。さらに、三井住友海上火災の場合など、独自のモニタリングと評価指標の設定によって生物多様性保全・回復への貢献を可視化している例もあった。

その一方で、今回ヒアリング対象とした企業は比較的早い段階から長期間にわたり植林活動に携わっていることから、植林活動の実施に昨今の社会情勢が与えている影響については、業種により温度感が異なっていた。金融業界では、生物多様性の危機を本業へのリスクに直結するものと捉えて植林活動の意味づけを改めているという意見もあった。

⁵ 従業員の企業に対する信頼の度合いや自社の活動を誇りに思う気持ち

(3) 欧米企業による活動レビュー

前述の通り、国際的な要請へ対応するためには日本国内の事例だけではなく、欧米企業による活動も注視する必要がある。そこで公開情報をもとに欧米企業による森林づくり活動の主要な事例のレビューを行い記事として取りまとめた。

欧米企業による森林づくり活動では、資金規模・活動規模ともに一般の日本企業によるものよりも大きなスケールでの活動が実施されている事例が多くみられる。一例として、マイクロソフトはアグロフォレストリーにより約 40 億本の木を植え、150 万 t 以上の CO₂ を削減する目標を掲げる Acorn (<https://acorn.rabobank.com/en/>) というプロジェクトに取り組んでおり、その活動規模は、2024 年 2 月現在で南米・アフリカ・インドなどで約 28 万 ha に及んでいる。

現在は二酸化炭素排出削減・緩和を主たる目的とした活動が多いが、今後は生物多様性保全・回復などを目的としても同様に大きな資金規模で活動が実施されていくことが予想される。欧米企業によるこうした大規模な活動の背景には、気候変動対策やネイチャーポジティブに対する捉え方が関連しているものと考えられる。つまり、欧米企業は「機会」と捉えることで資金規模としても大きな活動を積極的に実施できているが、日本では「リスク」ないし「追加的な作業負担」と捉える向きが多いためそれほど積極的な活動ができていないと推察される。

一方で、欧米企業による大規模な植林活動においても、植林本数や面積だけが報告され、植栽後の生存率や管理についての情報が十全には公表されていない場合があり、適切なモニタリングによってプロジェクトエリアが森林として持続していることを示しつつ、実際にどの程度の炭素固定が見込まれるのかについて説明することが今後の課題となると考えられる。

5.1.3 植えるを視える化の試み

本事業で実施した実証試験の経過及び成果について取りまとめた。それぞれの対象国の森林の状況、植林活動における課題や機会について整理したうえで、実証した可視化手法について図や現地の様子を伝える写真も併せて掲載して概説した。また、当該実証試験に関する報告書へのリンクを掲載することで、より詳細に内容を知りたい利用者が簡便にアクセスできるようにしている(図 5-4)。

本年度は、令和 4 年度に実証試験を実施した下記の 2 案件についてとりまとめ、公開した。

- ケニア半乾燥地における長根苗植林の貢献度可視化
- モンゴルにおける低木林育成と経営の貢献度可視化

概要

- ケニア政府は、2032年までに森林率を現在の約7%から30%にするため植林活動を積極的に行っている。
- 特に、国土の約70%を占める小規模農家が個人で保有する低・未利用の土地での植林(以下、「小規模農家向け植林」)が重視されている。
- 実際、炭素クレジットのための植林プロジェクトをはじめ、民間企業からの資金を基にした小規模農家向け植林が大規模に行われている。
- しかし、国土の約80%を占める乾燥・半乾燥地においては、不安定な降雨や木の成長が遅い等が原因で、民間企業による小規模農家への植林プロジェクトは行われていない。
- このような中、国際緑化推進センター(JIFPRO)は、厳しい乾燥下でも植栽後の活着率を高めるための方法として、深い育苗容器で育てた長い根の苗(以下、「長根苗」)に着目し、2021年から林野庁補助事業下でケニア森林研究所(KEFRI)と共同でその開発・普及をしてきた。
- 2022年度からは、JIFPROとKEFRIに加えて、日本の大手建機メーカーであるコマツも参画し、ケニア半乾燥地のKibwezi地区内の小規模農家の保有地に長根苗の植林を行っている。
- 小規模農家への植林を通して、長根苗を普及するとともに、植林による貢献度の可視化するための実証試験も行っている。
- 具体的には、植林後のモニタリングを簡易かつ正確に行うための、ドローンや衛星画像による植林木の自動検出技術の開発や植林による小規模農家への薪炭材供給ポテンシャルの把握等である。



実証試験の様子



詳細

詳細は下記報告書をご覧ください。

- 2022年度報告書: https://jifpro.or.jp/moriwaku/wp-content/uploads/2024/03/R04_report_kenya.pdf

図 5-4 「植えるを視える化の試み」のページ

5.2 セミナー開催

途上国における民間企業の森林づくり活動を推進し、本事業で開発する森林づくり活動の貢献度を可視化するための手法・事例を広く普及することを目的として、途上国における森林づくり活動に関心のある民間企業や団体、援助機関等を対象としたセミナーを開催した(図 5-5)。本年度は、講演者のみが配信会場に集合し、参加者はオンライン参加とするオンラインのウェビナー形式で開催した(図 5-6)。なお、セミナー映像について期間限定・申込者限りの配信を行った。また、セミナー後、参加者にアンケートを実施した。

5.2.1 開催概要

日時	令和6年3月14日(木)13:30~16:00
実施方法	オンライン(zoom ウェビナー)
配信会場	林友ビル6階 中会議室 〒112-0004 東京都文京区後楽 1-7-12
テーマ	途上国森づくりワークス植えるを視える化—2023年度の取り組み紹介
目的	1. 途上国で植林活動を実施している民間企業による事例紹介 2. 本年度に実施した実証試験の取り組み紹介
参加者	森林づくり活動を実施している／関心を抱く民間企業、NGO、各種研究機関、政府関係者他 合計124名、セミナー終了後動画視聴48名
プログラム	

タイトル	発表者
林野庁挨拶	谷本 哲郎／林野庁
事業概要「民間企業による森林づくり活動促進のために」	高原 繁／国際緑化推進センター
企業による植林活動の傾向と展望／インドネシアの事例	水谷 伸吉／more trees
質疑応答	
ケニア半乾燥地での小規模農家向け植林のモニタリング手法開発	柴崎 一樹／国際緑化推進センター
マレーシア・サバ州での越井木材工業アカシア産業植林地の炭素蓄積と生物多様性評価	仲摩 栄一郎／国際緑化推進センター
総合討論	各発表者 コメンテーター:コマツ・越井木材 進行:田中 浩／国際緑化推進センター



林野庁補助事業 途上国森林づくり活動貢献度可視化事業 一般公開セミナー

途上国森づくりワークス —植えるを視える化— 2023年度の試み



2024年3月14日(木) 13:30~16:00

PROGRAM オンライン (Zoom) 参加無料

ゲスト講演

企業による植林活動の傾向と展望/インドネシアの事例
水谷 伸吉 (more trees)



質疑応答

事業概要とセミナー開催趣旨 ~民間企業による森づくり活動促進のために~
高原 繁 (JIFPRO)

ケニア半乾燥地での小規模農家向け植林のモニタリング手法開発
柴崎 一樹 (JIFPRO)

マレーシア・サバ州での越井木材工業アシア産業植林地の炭素蓄積と生物多様性評価
仲摩 栄一郎 (JIFPRO)

総合討論 (質疑応答)

田中 浩 (JIFPRO) / 全登壇者 & コマツ・越井木材

詳細：<https://jifpro.or.jp/infomation/21598/>

申込：https://us06web.zoom.us/webinar/register/WN_Llo3r6tfTh6ryPW0Xemucg

主催：公財 国際緑化推進センター (JIFPRO)



図 5-5 セミナー広報チラシ



図 5-6 セミナーの様子

5.2.2 アンケート分析

適切な普及啓発活動のためのみならず、事業全体の方針を検討する際にも、森林づくり活動の主体となる民間企業の様態やニーズ、抱えている課題などを把握することは重要である。今回のセミナーでは204名の参加申込を受けたが、このうち55%が民間企業からの申込であった(図 5-7)。さらに当日参加者では59%が民間企業であった(図 5-8)。本セミナーに参加申込している民間企業は海外での森林づくり活動及び ESG、SDGs、ネイチャーポジティブなどの観点に基づく成果の可視化について関心を抱いているものと想定される。そこで、海外での森林づくり活動の主体となる民間企業とその活動を支援する団体などを主たるターゲットとしたウェブアンケートを実施した。アンケート項目とそれぞれのねらいは表 5-3 に示した通りである。このアンケートは当日の参加如何によらず申込者全体に協力を依頼し、47件の回答を得た。

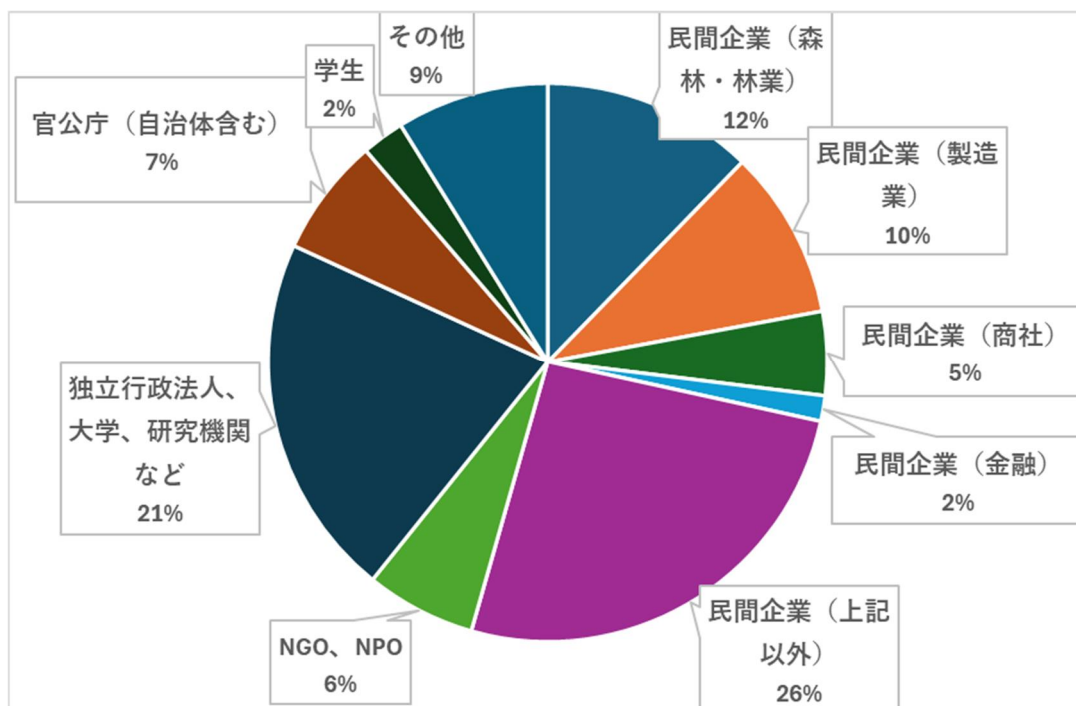


図 5-7 申込者の業種

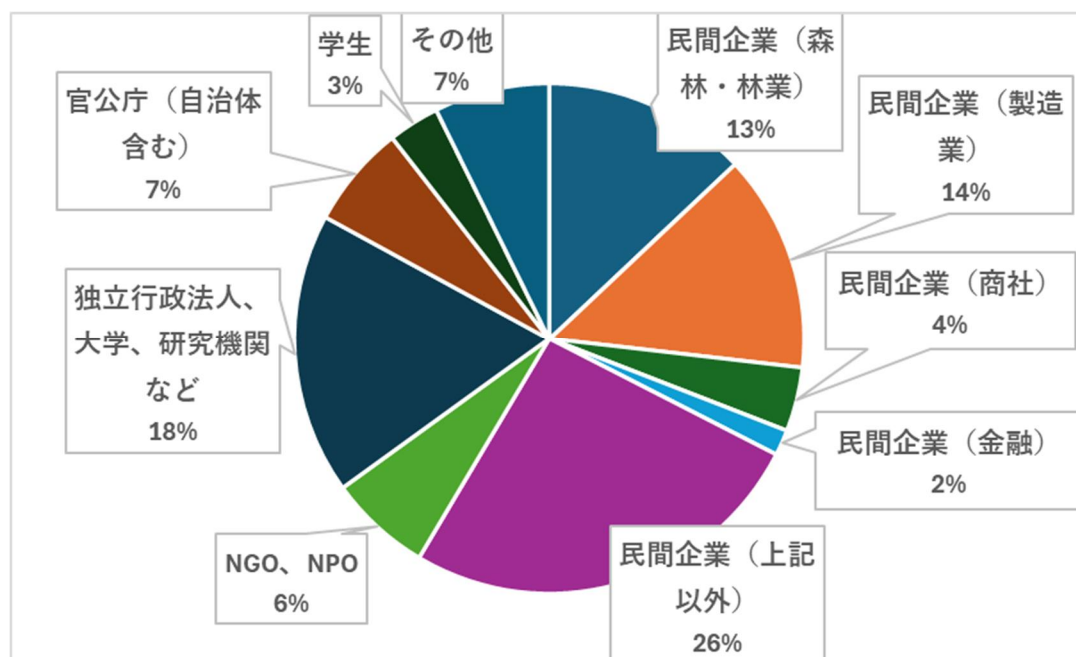


図 5-8 当日参加者の業種

表 5-3 アンケート項目とねらい

設問	ねらい
Q0.海外での森林づくり活動への関心	森林づくり活動の実施状況の把握
Q1. ESG 活動全般で重視すること	森林づくり活動に限らず ESG・サステナビリティ活動を実施することの企業にとっての意義を把握
Q2.植林活動の成果として重視・期待するもの	可視化手法のスコープを検討
Q3.活用・参照している媒体やイニシアティブ	可視化手法のスコープを検討
Q4.植林活動の実施に関する課題	企業の問題意識・障壁を把握
Q5.課題の解決にむけて日本政府や JIFPRO への要望	森林づくり活動の拡大・参画にむけた要望を把握

(1) 海外での森林づくり活動への関心

参加申込フォームのアンケート機能により、海外での森林づくり活動の実施状況を把握するため、途上国での森林づくり活動について「実施している・していた」「計画・検討している」「関心はあるが計画段階にはない」の3択で回答を得た。これを参加者の業種属性とクロス集計し民間企業からの回答のみをまとめたところ、図 5-9 のような結果を得た。「実施している・していた」「計画・検討している」を合わせると 58%と、途上国での森林づくり活動に積極的に参画している企業が過半数を占めた一方で、42%と少なくない数が「関心はあるが計画段階にはない」としている。計画段階に進むことについての障壁についてはこれ以降の設問において検討する。

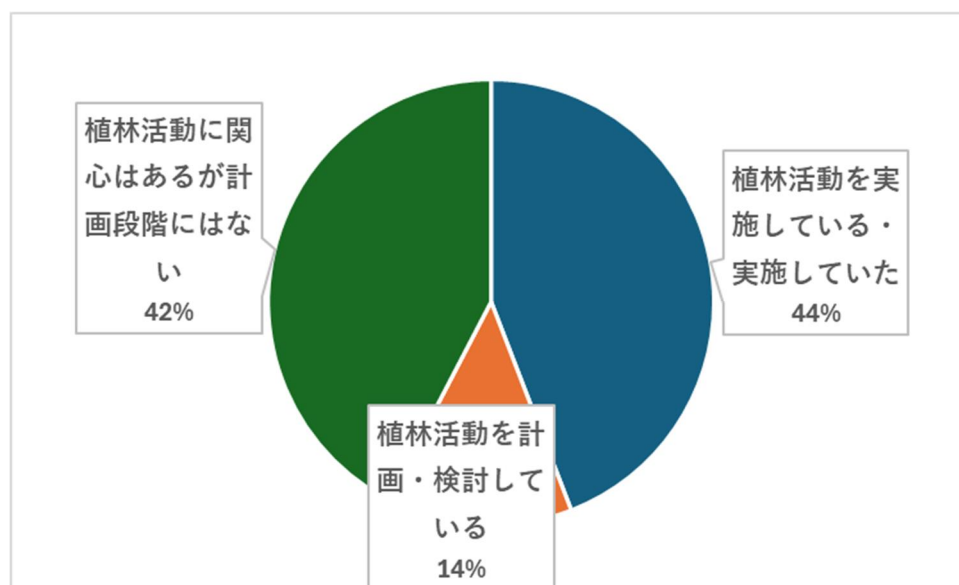


図 5-9 参加者(民間企業)の海外での森林づくり活動への関心

(2) ESG 活動全般で重視すること

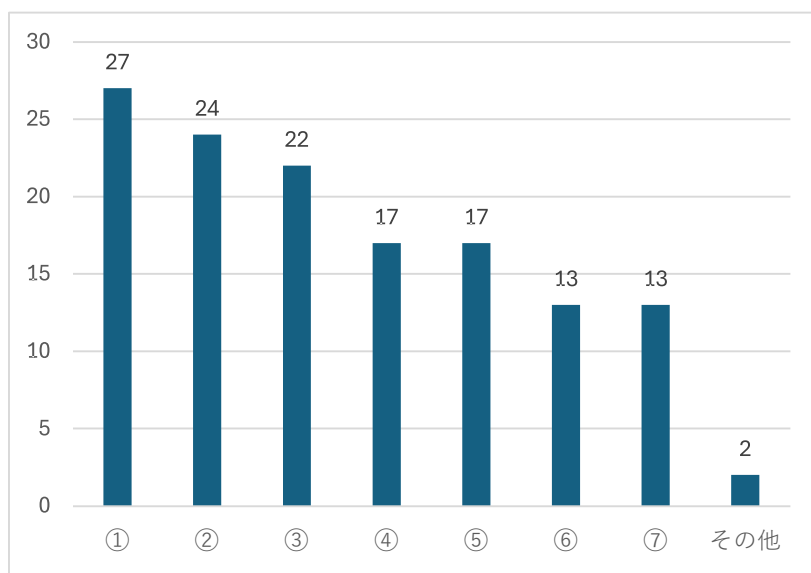
民間企業に ESG や SDGs、サステナビリティ活動としての森林づくり活動に参画してもらうために

は、植林活動に限らずサステナビリティ活動全般において企業が重視することや期待することを把握し、そのうえで企業が重視・期待することに対して効果的な形で、森林づくり活動の成果を可視化していくことが求められる。そこで、CSR、ESG、SDGs、ネイチャーポジティブ等に関する活動を行うにあたって重視・期待していることについて、複数回答で質問した。有効回答数 47 に対して「TCFD や TNFD、ISO などといった国際的な情報開示への対応」「二酸化炭素や生物多様性に関する自主的／任意機関による評価」が過半数を占めた。二酸化炭素の排出削減や生物多様性保全・回復といったグローバルな目標への貢献を成果の指標として捉えている企業が多数であることが明らかとなった一方で、必ずしも TCFD や TNFD といった国際的なイニシアティブへの活用を重視していない企業も 4 割程度みられた。この点については、上場企業であるかどうかによって国際的な財務情報開示のイニシアティブを重視する度合いが異なることが一因としてあると予想できる。今後の課題として、企業規模や上場／非上場の別によって国際的なイニシアティブに対する捉え方がどのように異なるかについても検討していきたい。

また、「企業所在地や事業周辺地域を重視する」という回答が 3 番目に多かった。活動場所の選定において企業所在地や事業周辺地域を重視するという傾向は、途上国に活動拠点を持たない企業にとっては海外での森林づくり活動に参画することの障壁になっているとも考えられる。

なお、「その他」としては以下のような回答があった。

- 生態系サービスの向上
- 表面的なアピールではなく本質的に目標達成に貢献すること



①	TCFD や TNFD、ISO などといった国際的な情報開示への対応
②	二酸化炭素や生物多様性に関する自主的／任意機関による評価
③	サステナビリティ活動の場所(企業所在地や事業周辺地域を重視するか)
④	事業活動や団体活動との関連性
⑤	消費者や取引先団体からの評価、企業・団体イメージの向上

⑥	投資家や格付け機関からの評価
⑦	職員や従業員の自社活動を誇りに思う気持ちや共感

図 5-10 ESG 活動全般で重視すること

(3) 植林活動の成果として重視・期待するもの

森林づくり活動の成果を可視化するための手法を開発する際に、具体的にどのような成果への貢献が重視・期待されているのかを把握することが重要である。そこで、「炭素クレジットとしての資産化」「二酸化炭素吸収量の可視化(炭素クレジットとしての資産化を目的としない)」「生物多様性への貢献」「地域住民の暮らしの向上」「森林由来の製品の調達」の5つの観点それぞれについて、「とても重視する」～「対象外」の5段階評価を得た。

「とても重視する」の回答数では「地域住民の暮らしの向上」(32件)、「生物多様性への貢献」(26件)が過半数を獲得したが、これは昨年度のセミナーアンケートとも同様の結果であった。「とても重視する」と「それなりに重視する」を合わせた数では、特定の企業が対象となることが想定される「森林由来の製品の調達」が計31件と最も少なく、次いで手続きなどが複雑で時間のかかる「炭素クレジットとしての資産化」が計32件と少なかった。また、「炭素クレジットとしての資産化」「二酸化炭素吸収量の可視化(炭素クレジットとしての資産化を目的としない)」については「それほど重視しない」「対象外」とする回答があった一方で、生物多様性や住民生活に関してはこうした評価はなかった。これは、日本企業の実施する植林活動が、排出削減の観点からは大きな成果を得るのが難しいような、あまり大規模ではないものが多いことによるものと考えられる。

これらの結果から、生物多様性や地域住民の生活向上に関する貢献度可視化の需要が高いということが示唆された。また、二酸化炭素吸収量に関しては、信頼性があるが複雑ではない手法の開発が求められていると考えられる。

なお、「その他」の重視・期待するものとして以下のような回答があった。

- 活動を通しての①企業価値向上、②社員のモチベーションUPと③社会課題の解決による社会貢献の実感、④CSVに繋がられる持続可能な事業化
- 人々の環境意識の向上による植林活動の普及と持続性の担保
- 植林活動の収益性・経済性

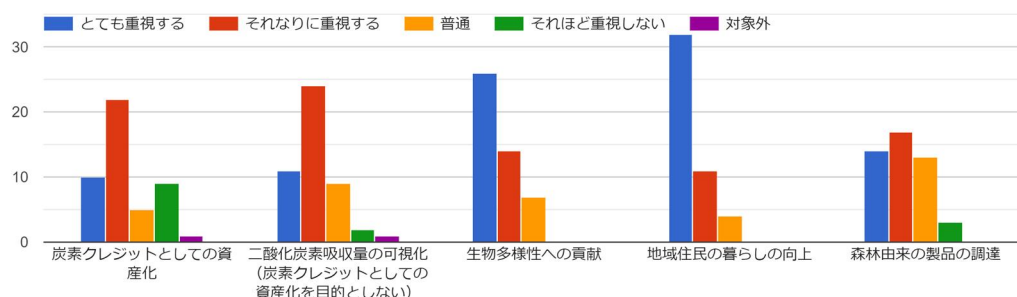


図 5-11 植林活動の成果として重視・期待するもの

(4) 活用・参照している媒体やイニシアティブ

森林づくり活動の貢献度を可視化する際に、その成果を企業がどのように情報開示において活

用するのかを把握することは重要である。そこで、ESG や SDGs に関する活動を外部に公表するために活用・参照している媒体や国際的イニシアティブについて、複数回答を認める形で問うた。「自団体の WEB サイト」と「サステナビリティレポート」とする回答が多くみられた一方で、「統合報告書」についてはそれらとは差があり、非財務情報として ESG や SDGs に関する活動の成果を位置づけられていない場合が多くみられた。また、CDP レポートへの回答や TCFD に基づく情報開示については、今後本格的に始動していく TNFD とほとんど変わらない回答数であった。

こうした結果から、現時点では森林づくり活動をはじめとする ESG や SDGs に関する活動の成果を公表するための手法が確立されておらず、WEB サイトやサステナビリティレポートなどで報告する以上の活用が難しいと感じていることと考えられる。前項での考察結果と併せて、特に生物多様性や地域住民の生活に関する貢献度の可視化手法の開発の重要性が示唆された。

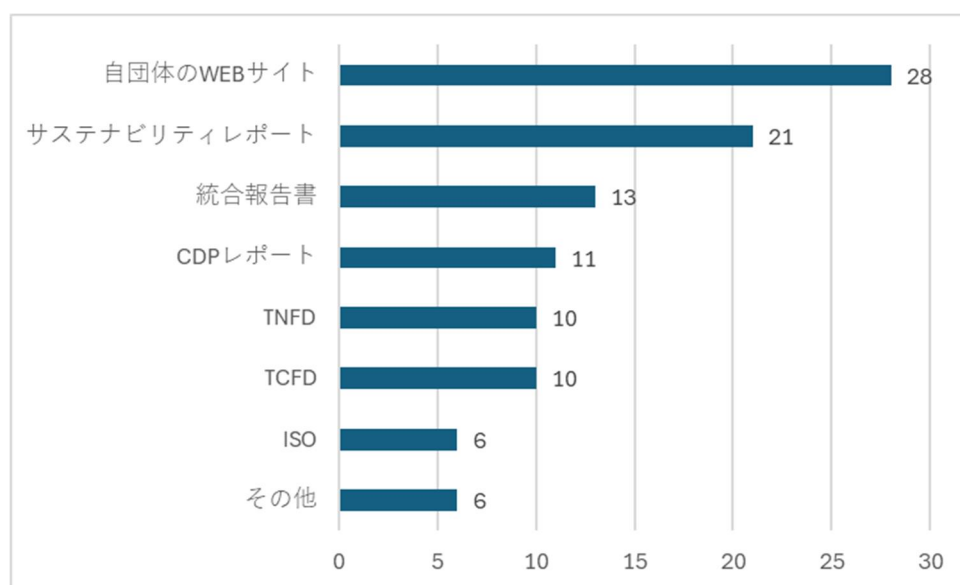
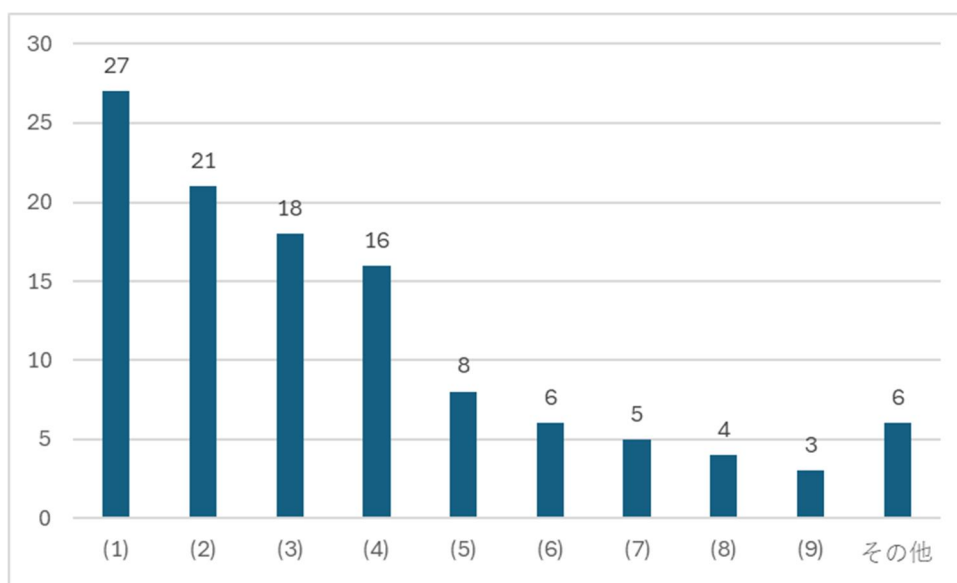


図 5-12 活用・参照している媒体やイニシアティブ

(5) 植林活動の実施に関する課題

途上国での森林づくり活動を実施・計画する際の課題や障壁について、複数回答を認める形で問うた。コストや時間がかかることや成果がみえにくいことが多く指摘されたが、両者をまとめると、現状ではコストに見合った成果が可視化できていないということになり、植林以外の活動とも比較可能なような貢献度の可視化手法が求められる。また、「自社の事業活動と結びつけにくい」についても 16 件と一定以上の回答を集めており、これに関連する「その他」の回答もみられた（「社内での関心が得られない」「現地に行くのが困難」）。4 件の回答があった「国内での活動を重視している」とも共通した問題と考えられるが、事業外で実施する企業の場合、途上国で森林づくり活動を実施することの目的や意義についての社内外に向けての説得力が求められる。途上国での森林づくり活動は気候変動・ネイチャーポジティブ・地域住民の生活など様々な目標に対して同時に貢献できる可能性のある活動であることを示せるような可視化手法について、国際的な情報開示のイニシアティブへの活用可能性も考慮に入れながら検討していくことが必要である。



(1)	植林活動はコストと時間がかかる
(2)	植林活動の成果が見えにくい
(3)	植林に関しての知識・人材が不足
(4)	自社の事業活動と結びつけにくい
(5)	植林を実施する現地パートナーがない
(6)	自団体の目指す ESG や SDGs に関する活動成果として成立しにくい
(7)	TCFD や TNFD 等の国際的・第三者的枠組みとの整合性がとりづらい
(8)	国内での活動を重視している
(9)	特になし

図 5-13 「途上国での植林活動」の実施に関する課題

(6) 課題の解決にむけて日本政府や JIFPRO への要望

上述した課題の解決に向けて日本政府や JIFPRO、本事業へ要望することなどを自由記述式で問うたところ、下記のような回答が得られた。

- 民間企業と信頼できる NPO・NGO 団体の架け橋的なプラットフォーム
- ローカル NGO と企業のマッチングを(日本語で)仲介できるプラットフォーム
- 植林に関する課題の整理及び住民や現地 NGO との情報共有
- 幅広い関係者間の情報共有の推進
- 実用化を重視した実践的な方法論に係る調査、計画、実施
- 地域住民の生計向上に関する貢献度の可視化及びそうした活動の社会的認知の向上
- 今回のような普及啓発セミナー
- 事業への調達参加の機会提供や資金面での欧米並みの援助