

林野庁補助事業

令和5年度
森林技術国際展開支援事業
報 告 書

令和6年3月

国立研究開発法人 森林研究・整備機構

巻頭言

2023 年 11～12 月にアラブ首長国連邦のドバイで開催された気候変動枠組条約第 28 回締約国会議(COP28)では、COP27 において創設を決定した「損失と被害」に対応するための基金の大枠が、会期の初日に決定された。また、「適応のグローバル目標に関する枠組み」については、水資源・水災害などの分野別に 2030 年までの目標が設定された。このように、COP28 において気候変動の適応に向けて大きく進展した。その一方で資金支援についての進展は乏しく、途上国からは不満の声も聞こえたという報道もあった。多くの人々にとって適応策として実施すべき具体的な技術が不明瞭であるために、資金支援についての客観的な議論の進展が困難なためとも考えられる。そのため科学的知見に基づいた適応のための技術開発と普及が求められている。

近年、気候変動に起因するとみられる気象災害はその規模をより一層増してきており、人間の社会生活にも大きな影響を及ぼしてきている。2022 年 2 月に公表された気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第 6 次評価報告書においては、人為起源の気候変動は自然起源の気候変動を超えて幅広い悪影響とそれに関連する損失と損害を自然及び人間に及ぼしていると明記されている。とりわけ、日本を含むアジアモンスーン地域では、人口が集中しており、海岸線も長いことから、巨大化した台風による山地災害や高潮被害などが甚大化しやすい状況にある。特にこの地域に位置する開発途上国においては、人口の急増や生産力増大のためにしばしば無秩序な林地から農地等への人為的な改変や沿岸域の養殖池や農地、水田の開発によるマングローブの消失により、本来、森林が有していた防災・減災機能が損なわれ、大きな自然災害が発生している。このような自然災害が発生する可能性のある地域は広範にわたるため、インフラ整備による対策には自ずと限界があり、森林の維持造成を通じて山地や沿岸域のレジリエンスを高めて自然災害の被害を軽減することが必要である。

令和 2 年 9 月に開設した REDD プラス・海外森林防災研究開発センターでは、こうした問題に対して我が国が蓄積してきた森林機能を活用した防災・減災技術を途上国で適用するため、令和 2 年度以降、林野庁の「森林技術国際展開支援事業」を活用して、森林機能を活用した防災・減災技術を途上国で適用するための課題の調査、海外展開に向けた技術開発、普及啓発を行ってきた。本報告はその令和 5 年度事業の成果を取りまとめたものである。この成果が、海外において森林の機能を活用した防災・減災に関心を持つ国内の団体や、省庁等公的機関、各国政府、国際機関・団体等の活動に貢献することを願う。

令和 6 年 3 月

国立研究開発法人 森林研究・整備機構森林総合研究所
REDD プラス・海外森林防災研究開発センター長 玉井幸治

目次

第1章 令和5年度 森林技術国際展開支援事業実施方針	1
1.1 林野庁補助事業「森林技術国際展開支援事業」の趣旨	1
1.2 事業の実施体制	1
1.3 主たる事業内容	8
第2章 事業運営委員会の開催・運営	11
2.1 事業運営委員会の設置	11
2.2 事業運営委員会の開催	11
第3章 途上国の森林の減災・防災の機能強化に係る課題等の調査・分析	13
3.1 途上国における森林関連の防災技術を活用する案件の形成に関する現状と今後の見通し	13
3.2 防災・減災対策などに活用可能な森林分野の知見や技術	37
第4章 途上国の森林の減災・防災等の機能強化に資する技術等の開発	43
4.1 背景と目的	43
4.2 日本の森林整備・治山技術を効果的に現地のニーズに合わせて適用するための手法の開発	47
4.3 リモートセンシング技術を活用したリスクマップ作成	87
4.4 海面上昇による高潮被害に対するマングローブ林の沿岸域防災・減災機能の評価	115
第5章 事業成果・治山技術に関する情報発信	141
5.1 背景	141
5.2 国際セミナー「森林による防災・減災技術の国際展開」の開催	141
5.3 海外ワークショップ（国際会合サイドイベント）	143
5.4 手引書の作成	144

5.5 技術者養成研修の実施と人材データベースの整備	145
----------------------------	-----

5.6 インターネット等を活用した情報発信	147
-----------------------	-----

巻末資料	153
------	-----

1 事業運営委員会議事要旨	154
---------------	-----

2 令和 5 年度の主な年間行事	198
------------------	-----

3 令和 5 年度国内出張	199
---------------	-----

4 令和 5 年度海外出張	202
---------------	-----

別添資料	
------	--

1 令和 5 年度国際セミナー プログラム	
-----------------------	--

2 令和 5 年度海外ワークショップ プログラム	
--------------------------	--

第 1 章 令和 5 年度 森林技術国際展開支援事業実施方針

1.1 背景と目的

近年、気候変動に起因するとみられる気象災害はその規模をより一層増してきており、人間の社会生活にも大きな影響を及ぼしてきている。2022 年 2 月に公表された気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第 6 次評価報告書においては、人為起源の気候変動は自然起源の気候変動を超えて幅広い悪影響とそれに関連する損失と損害を自然及び人間に及ぼしていると明記されている。

一方、経済発展の著しい開発途上国では、人口の急増や生産力増大のために林地から農地等へ的人為的な改変がしばしば行われる。山岳地域における無秩序な森林伐採や排水機能を考慮しない道路開設は斜面の脆弱性を増大させ、豪雨時の斜面崩壊や表面侵食等の山地災害を引き起こすだけでなく、山麓に生活する人々の生計の手段である農地や家屋に被害が及び、時に人命をも奪う深刻な災害となる。また、沿岸域でのマングローブを伐採して養殖池や農地、水田を開発することにより護岸の機能が失われ、高潮発生時に浸水被害が内陸部へ拡大する結果を招いている。こうした無秩序な土地改変は自然システムの脆弱性や暴露を高め、ハザードの増大と相まって極端現象に対する災害リスクを一層増大させている。

地形が急峻で降水量が多い我が国において発展してきた治山や防災林整備に関する技術は、自然災害の多い途上国においても有益なものとなる潜在性を有する一方、日本とは異なる条件下で技術を展開するために必要な、途上国への適用事例や課題の調査、海外展開に向けた技術開発・人材育成は不十分な状況である。本事業では、我が国の民間企業等が森林関連の防災技術を海外展開できるようにするため、①途上国の森林の防災・減災等の機能強化に関する調査・分析、②我が国に強みのあるリモートセンシング技術や治山技術を、途上国の森林の防災・減災機能の強化に適用するための手法の開発、③事業成果・治山技術に関する情報発信、技術者育成等を実施する。

1.2 事業の実施体制

1.2.1 REDD プラス・海外森林防災研究開発センターについて

国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所では、2010 年に「REDD 研究開発センター」を開設し、REDD プラス(途上国における森林減少・劣化等からの温室効果ガス排出削減)に関する最新動向の分析、科学的な評価手法の開発、開発途上国における実施

体制整備の支援などに取り組んで来た。

近年、地球規模で集中豪雨や巨大台風の増加など極端気象が報告されており、山地災害の大規模化や頻度上昇、沿岸域での高潮被害の甚大化に対する効果的な対策が世界共通の課題となっている。このような問題に対する解決策への期待が高まる中、日本の森林機能を活用した治山技術などの国土強靱化に資する技術的知見の途上国への適用を推進することが求められている。

こうしたことから森林総合研究所では、途上国において森林を活用した減災・防災機能の強化による気候変動適応策についても取り組むため、「REDD 研究開発センター」の役割を拡大した「REDD プラス・海外森林防災研究開発センター」を令和 2 年 9 月 1 日に開設し、本事業実施の中心的な役割を持たせている。

1.2.2 参画メンバーと事業の実施体制

REDD プラス・海外森林防災研究開発センターは、課題等の調査分析、技術等の開発、情報発信を推進する各ユニットと、活動全体の推進を図る事務局から構成されている。本事業に参画している研究者は表 1-2-2-1 のとおりであり、多岐にわたる研究室、支所に在籍しつつ本センターにも所属している。

事業の実施にあたっては、外部専門家から成る事業運営委員会から助言等を受けつつ、林野庁担当部署と密接に連携する。そのため、図 1-2-2-1 のような体制をとっている。

表 1-2-2-1 参画メンバー(令和 5 年度末時点)

氏 名	所 属	氏 名	所 属
玉井幸治	研究ディレクター	岡本 隆	森林防災研究領域
古市剛久	森林防災研究領域	村上 亘	森林防災研究領域
経隆 悠	森林防災研究領域	大澤 光	森林防災研究領域
鈴木秀典	林業工学研究領域	山口 智	林業工学研究領域
宗岡寛子	林業工学研究領域	志水克人	四国支所
岡本 透	関西支所	渡壁卓磨	関西支所
野口宏典	森林防災研究領域	ESTOQUE RONALD CANERO	生物多様性・気候変動研究拠点
藤間 剛	研究専門員	江原 誠	生物多様性・気候変動研究拠点
小野賢二	東北支所	道中哲也	生物多様性・気候変動研究拠点
倉本恵生	森林植生研究領域	森 大喜	九州支所
黒川 潮	九州支所	平田泰雅	研究専門員
小池信哉	国際戦略科	高畑啓一	生物多様性・気候変動研究拠点
所 雅彦	生物多様性・気候変動研究拠点	佐藤大樹	生物多様性・気候変動研究拠点

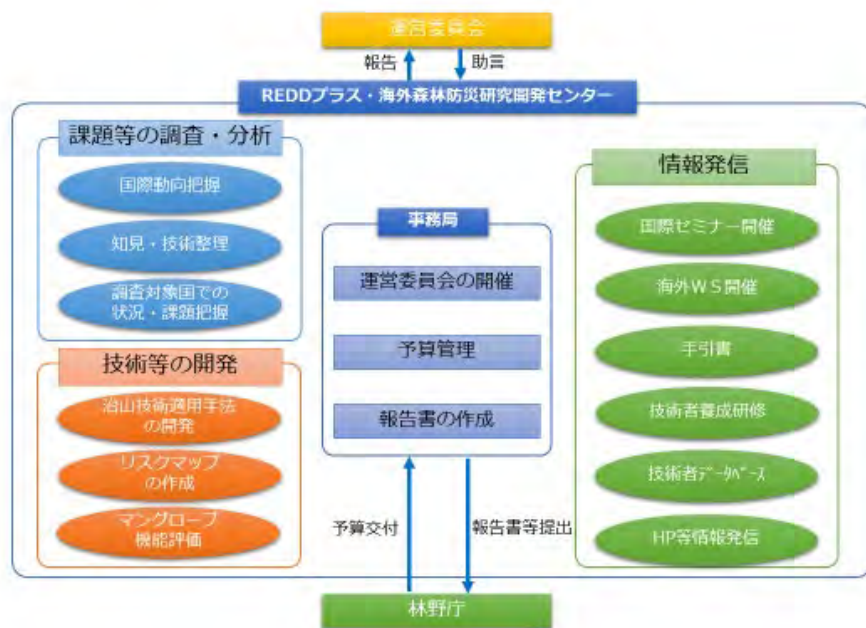


図 1-2-2-1 事業の実施体制

1.2.3 業務分担

研究題目 1 の「事業運営委員会の開催・運営」については高畑啓一が主担当として対応した。研究題目 2 の「途上国の森林の減災・防災の機能強化に係る課題等の調査・分析」については古市剛久が主担当として対応した。研究題目 3 の「途上国の森林の減災・防災等の機能強化に資する技術等の開発」については岡本隆が主担当として対応し、本研究題目のサブ課題 1 の「日本の森林整備・治山技術を効果的に現地のニーズに合わせて適用するための手法の開発」については岡本隆がリーダーを務め、サブ課題 2 の「リモートセンシング技術を活用したリスクマップの作成」については村上亘がリーダーを務め、サブ課題 3 の「海面上昇による高潮被害に対するマングローブ林の沿岸域防災・減災機能の評価」については小野賢二がリーダーを務めた。また、サブ課題 1 とサブ課題 3 の社会系研究開発については江原誠がリーダーを務めた。研究題目 4 の「事業成果・治山技術に関する情報発信」については藤間剛が主担当を務め、研究題目 5 の「報告書等の作成」は高畑啓一が主担当として対応した。

表 1-2-3-1 業務分担(令和 5 年度末時点)

研究題目番号	主担当◎
	平田泰雅（全体統括）
1	◎高畑啓一、各研究題目主担当
2	◎古市剛久
3	◎岡本隆
3-1	◎岡本隆、村上亘、大澤光、経隆悠、鈴木秀典、山口智、宗岡寛子、岡本透、古市剛久、黒川潮、玉井幸治、（社系）◎江原誠、道中哲也
3-2	◎村上亘、志水克人、Ronald C. Estoque
3-3	◎小野賢二、野口宏典、平田泰雅、藤間剛、倉本恵生、森大喜、高畑啓一（社系）◎江原誠、道中哲也
4	◎藤間剛、平田泰雅、高畑啓一、岡本隆、古市剛久
5	◎高畑啓一、全員

1.3 主たる事業内容

1.3.1 途上国の森林の減災・防災の機能強化に係る課題等の調査・分析

途上国で森林関連の防災技術の活用を支援する案件の形成に関する現状と今後の見通しについて、資料調査と聞き取り調査を通じて分析した。JICA においては技術協力事業だけでなく円借款事業（インド）においても森林セクターによる減災防災の取り組みがなされていること、世界銀行やアジア開発銀行については包括的な情報整理には至らなかったものの NbS の主流化に伴って森林を活用した減災・防災が注目を集めていること、今後の案件形成では治山技術を対象地域の景観（起伏）や空間スケールに応じて柔軟に適用しつつ、生物多様性保全、水資源保全、炭素固定といった森林の持つ他の機能とのシナジー（相乗効果）を目指すことに展望が望めることなどが分かった。これらの情報と分析結果を共有し議論するため、資料調査と聞き取り調査に協力頂いた全てのドナーや企業関係者を招いて意見交換会を開催した。

1.3.2 途上国の森林の減災・防災等の機能強化に資する技術等の開発

日本の治山技術の適用手法の開発については、ベトナム北西部のイエンバイ省及びソンラ省において、林地の道路開設などの土地改変が斜面崩壊や土砂流出に与える影響を評価した。また、現地に適した治山施設の提示をおこなうとともに、森林の防災機能への期待や生活実態に関する住民意識調査を実施した。

山岳地域の諸要因（傾斜、土地利用形態、道路に近いかな等）と斜面崩壊の因果関係や危険性を可視化するリスクマップについては、使用した GIS データや開発した衛星画像より崩壊

地を自動抽出するツールでの成果、および衛星画像より分類した土地利用区分履歴、森林攪乱分布履歴の成果の適用性についての検討を行った。併せて、衛星雨量データの解析をおこない、崩壊発生時の雨量の評価手法についての検討を行った。

マングローブ林による沿岸域の防災・減災機能については、スワントウイ国立公園を対象に、樹木引き倒し試験による波や風に対するマングローブの根返り耐性の定量評価と、リモートセンシングによるマングローブ林の防災・減災機能の広域評価手法の検討と提示、および防災・減災インフラとしてのマングローブへの住民意識調査を実施した。

1.3.3 事業成果・治山技術に関する情報発信

参画研究者 2 名を気候変動枠組条約第 28 回締約国会議(COP28)に派遣し、12 月 5 日にはジャパンパビリオン・セミナー「持続可能な森林経営を通じた気候変動の緩和及び適応策の促進」を開催した。また、2024 年 1 月 31 日に、海外から 4 名(うち 1 名は所属先の予算を使つての参加)、国内から 4 名(うち 3 名は森林総研職員)の発表者を迎え、国際セミナー「森林による防災・減災の技術の国際展開」を開催した。

さらに、我が国の治山技術等の海外展開を促進することを目的とした研修会を 11 月 8 日～9 日の 2 日間開催し、14 名の技術者を養成した。

このほか、人材データベースの構築に係る人材情報の収集、手引書の作成、インターネットを通じた情報発信などを行った。

第2章 事業運営委員会の開催・運営

2.1 事業運営委員会の設置

着実に本事業の目標を達成するため、有識者からなる運営委員会を設置した。

運営委員会委員は、リモートセンシング、農村開発・マングローブ、国際林業協力、民間団体、気候変動適応策、治山技術等に関する知見を有する以下の6名である。眞弓委員は8月に都合により委員を辞し、同じ所属先の田中氏が新たに就任した。

表 2-1-1 委員名簿(令和5年度末現在)

氏 名	所 属
太田 徹志	九州大学農学研究院 准教授
長 宏行	公益財団法人 オイスカ 海外事業部 調査研究担当部長
野田 英夫	独立行政法人 国際協力機構 (JICA) 地球環境部 次長 兼 森林・自然環境グループ長
田中 賢治	国土防災技術株式会社 事業本部 取締役本部長
水野 理	公益財団法人 地球環境戦略研究機関 (IGES) 統括研究ディレクター・プリンシパルフェロー
宮城 豊彦	東北学院大学 名誉教授 / 株式会社アドバンテクノロジー 技師長

2.2 事業運営委員会の開催

本事業の実施方針、事業計画および実施方法等のほか、事業の推進過程における諸課題に対する適時適切な助言を受け、最終的な事業成果の取りまとめ方法および内容について検討し決定することを目的に、以下のとおり、運営委員会を3回開催した。なお委員会の座長は、宮城委員が務めた。(議事要旨は巻末資料を参照)

① 第1回運営委員会

日時:令和5年7月13日(木)

場所:TKP 新橋汐留ビジネスセンター(東京都港区新橋 4-24-8)

議事:令和5年度事業計画等について

② 第2回運営委員会

日時:令和5年10月12日(木)

場所:TKP 新橋汐留ビジネスセンター(東京都港区新橋 4-24-8)

議事:令和 5 年度森林技術国際展開支援事業実施状況等について

③ 第 3 回運営委員会

日時:令和 6 年 2 月 21 日(水)

場所:TKP 銀座ビジネスセンター(東京都中央区銀座 8-2-8)

議事:令和 5 年度森林技術国際展開支援事業の成果等について



図 2-2-1 第 2 回運営委員会の様子

第3章 途上国の森林の減災・防災の機能強化に係る課題等の調査・分析

本事業の「課題2. 調査・分析」では、途上国における森林関連の防災技術を活用する案件の形成に関する調査(案件形成基礎調査)、及び防災・減災に活用可能な森林分野の知見や技術に関する情報収集を実施した。本章ではその内容を整理し報告する。

3.1 途上国における森林関連の防災技術を活用する案件の形成に関する現状と今後の見通し

3.1.1 背景と目的

地球温暖化に伴う気候変動や経済成長に伴う開発行為が災害リスクを増大させていることへの認識と危機感が次第に拡がる中、国際社会では国際開発金融機関、国連機関、国際条約資金など(以下、「国際機関」と総称する)を通じて対応への取り組みがなされていること、また東南アジア各国でも近年防災へ取り組みが政策として取り上げられてきていることを令和3年度に実施した調査の結果として報告した。続く令和4年度の調査では、日本政府による国際機関への拠出状況、国際機関の資金動向、国際機関のプロジェクトの動向、日本企業の参画の現状、日本企業の海外展開の意向等を調べ、国際機関プロジェクトへの日本企業の参画へ向けた現状と課題を整理した。この令和4年度調査から見てきたことの一つは、公的資金での実施が一般的な防災事業の特質を踏まえれば、我が国の民間企業等が森林関連の防災技術を海外展開していくためには、その技術を活用する援助案件が実施されていることが前提になるということであった。このことを踏まえて、森林関連の防災技術を活用する援助案件の実施状況や今後の方向性に関する情報・知見を収集・整理するため、令和5年度は途上国における森林関連の防災技術を活用する案件の形成に関する現状について調査を行い、今後の見通しを分析した。

本節(3.1 節)は、本研究所が「森林の減災・防災等の機能強化に関する案件形成調査業務」を委託契約した相手先であるアジア航測株式会社と共同で実施した調査の結果をまとめたものである。

3.1.2 調査方法

本年度の調査分析は、資料調査、ヒアリング調査、意見交換会の3つに分けて実施した。

資料調査は、昨年度までの調査結果が収められている本事業の各種報告書を参照して重

複がないように心がけつつ、既存資料の収集・分析・再整理、及び最新資料の追加を行った。

ヒアリング調査は、資料調査で整理した内容を基礎として作成した質問項目の概要を事前に送り、全て相手先機関を訪問して対面にて 1 時間から 1 時間半の時間で実施した(世界銀行はリモートで実施)。ヒアリング先は 11 機関である。

意見交換会の方法は後述する。

3.1.3 資料調査（一部ヒアリング調査の内容を含む）

資料調査では、(1) 自然・生態系を活用した減災・防災アプローチ、(2) 国際機関等の動向(政策支援等を主体とした機関)、(3) 資金拠出による支援の実施機関(資金メカニズム)、(4) 国内機関の動向、(5) 各国の山地災害の対応部局の整理、について令和 3 年度にとりまとめた「森林を活用した減災・防災の取り組み 国別動向レポート 2021 年度」の内容をレビューした上で、新たな資金メカニズムの立ち上げなどその後の進捗が見られたもの、その後の資料収集で追加的な情報が得られたもの、すなわち「国別動向レポート 2021」では記述されていない内容に限って項目毎に整理した。本節で記載する内容は、各項目に関する情報の一覧性を確保するため、資料調査によって得られた情報に加え、次節で報告するヒアリング調査から得られた内容も含んでいる。

3.1.3.1 自然・生態系を活用した減災・防災アプローチ

(1) 生態系を活用した防災・減災 (Eco-DRR)

- 日本(環境省)は生物多様性条約(CBD)の COP10(2010 年 愛知)で採択された愛知目標の実施を支援する目的で「生物多様性日本基金(the Japan Biodiversity Fund: JBF)」を設立した。CBD-COP12(2014 年 Pyeongchang, Korea)において気候変動のための Eco-DRR を日本(環境省)が提案して推進し CBD の中で市民権を得てきていることから、Eco-DRR に関する取り組みも JBF を使って実施している。Eco-DRR の実施に当たって定性的にどういう基準が必要か、セーフガードとしてどのように意識すべきか等について共通認識を作り出すための活動を行い、その成果として CBD 事務局から Eco-DRR ガイドラインを発行した。
- 環境省から、『持続可能な地域づくりのための生態系を活用した防災・減災(Eco-DRR)の手引き』、『生態系を活用した防災・減災に関する考え方』、『ハンドブック: 自然と人がよりそって災害に対応するという考え方』など普及のための各種資料が公開されている。¹

¹ <https://www.env.go.jp/nature/biodic/eco-drr.html>

(2) 自然を基盤とした解決策 (NbS)

- 国連気候変動枠組条約(UNFCCC)の COP26(2021 年 グラスゴー)で議長国イギリスは、向こう 5 年間で約 30 億ポンドの国際気候資金を自然及び NbS に投資することを表明した。
- UNFCCC-COP27(2022 年 シャルム・エル・シェイク)の議長国エジプトとドイツ連邦環境省(BMU)、国際自然保護連合(IUCN)は、NbS の世界的な活用の必要性を認識し、取り組みと連携を強化するため「自然を基盤とした解決策を通じたイニシアティブ」を策定した。
- UNFCCC-COP28(2023 年 ドバイ)でアジア開発銀行はアジア・太平洋地域向けの「Nature Solutions Finance」を立ち上げ、特に資本市場やその他の民間資本に焦点を当て、自然ベースの解決策を取り入れた投資プログラムに少なくとも 20 億ドルを呼び込むことを目指すことを表明した。
- CBD-COP15(2022 年 昆明及びモンテリオール)において採択された「昆明・モンテリオール生物多様性枠組」では、ターゲット 8「自然を活用した解決策/生態系を活用したアプローチ等を通じた、気候変動による生物多様性への影響の最小化」、ターゲット 11「自然を活用した解決策/生態系を活用したアプローチを通じた、自然の寄与の回復、維持、強化」が含まれ、NbS の推進が謳われている。
- 日本(環境省)は「昆明・モンテリオール生物多様性枠組」を踏まえて生物多様性に関する国家戦略「生物多様性国家戦略 2023-2030」を世界に先駆けて 2023 年 03 月 31 日に閣議決定した。同国家戦略の 5 つの柱のうちの 하나가 NbS の推進である。

3.1.3.2 国際機関等の動向（政策支援等を主体とした機関）

(1) 国際連合食糧農業機関 (FAO)

- 日本(林野庁)が 100%拠出するプロジェクト「国際的山地流域強靱化事業」を 2020 年から実施している。事業内容は、森林・林業分野の知見・技術を活用した山地流域における地域の強靱化方策を普及するための、課題の調査・分析、研修等を通じた能力開発、優良事例の収集やワークショップの開催である。

3.1.3.3 資金拠出による支援の実施機関（資金メカニズム）

(1) 世界防災基金 (GFDRR) ²

- 世界銀行グループは、分野横断的な取組として、GFDRR、GWSP の資金支援のもと、気候レジリエンスのため従来のグレイインフラから Nature-based へのシフトやハイブリッドな統合的アプローチを奨励し、NbS への投資を促進するグローバルプログラム(Global Program on Nature-Based Solutions)を実行している。
- NbS の主流化を促進するため 2023 年に NbS の便益とコストを評価するための設計、

2 本項目の記載は GFDRR ウェブサイトの掲載情報に基づく

実施手法を示し、資金や融資を特定することを目的にしたプロジェクト実施者向けのガイドラインを発表した (Assessing the Benefits and Costs of Nature-Based Solutions for Climate Resilience³)。ネパールでの地すべりリスク軽減プロジェクトがケーススタディの一つとして扱われている。

- シェラレオネでは、GFDRR は 25 万ドルを提供し、地理空間評価を通じて同国の樹冠喪失の詳細な分析を行った。この評価では、森林減少のレベルが定量化され、主なホットスポットと、評価された土地の原因と用途が特定された。これらのデータは、洪水や地滑りを防ぐために不可欠な景観を保護するための NbS 投資の可能性を探る行動計画に反映される。

(2) 緑の気候基金 (GCF) ⁴

- 2024 年 1 月現在、日本を拠点とする AE は国際協力機構 (JICA)、三菱 UFJ 銀行 (MUFG) 及び三井住友銀行 (SMBC) の 3 つの組織で、提案されたプロジェクトのうち 6 件が採択されている (表 3-1-3-1)。

表 3-1-3-1 日本の AE が実施する GCF プロジェクト

AE	案件名	プロジェクト総額 (うち GCF 拠出額)	国名
JICA	モルディブ国気候変動に強靱で安全な島づくり	66.0 百万 USD 25.1 百万 USD	モルディブ
JICA	重要流域における気候変動への強靱性強化と森林伐採抑制のためのコミュニティベースのランドスケープ管理	15.4 百万 USD (10.0 百万 USD)	東ティモール
MUFG	Espejo de Tarapacá 太陽光・揚水水力発電	1,100 百万 USD (60 百万 USD)	チリ
MUFG	Arbaro Fund – 持続可能な林業基金	200 百万 USD (25 百万 USD)	7 ヶ国 (南米と アフリカ)
MUFG	Project GAIA 気候変動投資ローンのためのファイナンスプラットフォーム	1,500 百万 USD (152.5 百万 USD)	ラテンアメリカ、カリブ諸 国、アフリカ、 アジア太平洋
MUFG	Green Guarantee Company ("GGC") 気候資金の 債権保証	363 百万 USD (40.5 百万 USD)	ラテンアメリカ、カリブ諸 国、アフリカ、 アジア太平洋

- 2023 年 4 月より、Project specific assessment approach (PSAA) というアプローチにより、認証機関 (AE) になっていない団体であっても、1 件までであれば認証機関を通さず直接案件申請が出来るという仕組みができた。案件審査、団体審査を同時に行うという考えである。

³ <https://naturebasedsolutions.org/knowledge-hub/58-assessing-benefits-and-costs-nature-based-solutions-climate-resilience-guideline>

⁴ 本項目の記載は GCF ウェブサイトの掲載情報に基づく

(3) グローバル EbA 基金

- ドイツ環境・自然保護・原子力安全・消費者保護省 (BMUV) と国際気候イニシアティブ (IKI) の資金提供を受けて、国際自然保護連合 (IUCN) と国連環境計画 (UNEP) が事務局を務める EbA (Ecosystem-based Adaptation) 実施のための基金であり、2020 年 12 月～2025 年 12 月で約 28 億円の予算を有する。

(4) その他

- 国際赤十字 (IFRC) では NbS による災害リスク軽減の活動の支援を行っている。森林の保護と回復、マングローブやサンゴ礁の保護、湿地の保全と回復、都市の緑地化を主要な活動としている。2020 年から USAID 等の資金提供により、ジャマイカ、フィリピン、ベトナムで NbS による災害リスク削減プロジェクトを実施している。

3.1.3.4 国内機関の動向

(1) 国際協力機構 (JICA)

JICA「自然環境保全分野」のグローバルアジェンダは、「自然環境保全と人間活動の調和を図り、自然環境の減少と劣化を防ぐことで、自然環境からの様々な恵みを享受し続けられる社会の構築を目指す」ことである。この、「自然環境の様々な恵み」は、森林・自然環境の持つ多様な生態系サービスを意味するものであり、減災・防災機能もそのうちのひとつと位置付け、Eco-DRR や NbS を重要な取組みと認識して、案件の実施運営を行っている。

治山コンポーネントを含む具体的なプロジェクトとしては、表 3-1-3-2 のとおり、5 件のプロジェクト実施事例が示された。また、2010 年から開設された JICA 実施プロジェクトの事業概要を紹介する ODA 見える化サイト⁵での情報によれば、「自然環境保全」分野の 242 件のプロジェクトのうち、プロジェクト名に「治山」が入るプロジェクトは 0 件、「Eco-DRR」は 3 件、「防災」は 1 件 (Eco-DRR と重複)、「山地災害」は 1 件、「侵食防止」は 0 件、「地すべり」は 0 件で、表 3-1-3-2 で示されたプロジェクト以外は見つからなかった。表 3-1-3-2 のイラン、ネパールのようにプロジェクトタイトルに治山コンポーネントがあることが明示されないプロジェクトもあることから、この 5 件以外のプロジェクトにおいて、治山コンポーネントがまったく実施されていないということではないが、プロジェクトの主要な目標、成果として森林の減災・防災機能に着目されたのは 6～7 年ほど前からである。JICA 自然環境保全分野において Eco-DRR は一つのテーマであると見られ、Eco-DRR に関する国際的議論が案件形成につながった背景の一つであったと推察できる。地域的な特徴として、バルカン諸国に案件が多いことが挙げられる。

⁵ <https://www.jica.go.jp/oda/index.html>

表 3-1-3-2 治山コンポーネントを含む JICA 技術協力プロジェクト

	案件名	国名	期間
1	持続的な森林管理を通じた、生態系を活用した防災・減災（Eco-DRR）能力向上プロジェクト	北マケドニア共和国	2017/12～2023/12
2	国家森林火災情報システム（NFFIS）と Eco-DRR による災害リスク削減のための能力強化プロジェクト	コソボ・モンテネグロ	2021/3～2026/2
3	ウッタラカンド州山地災害対策プロジェクト	インド	2017/3～2024/3
4	カルーン河上流域における参加型森林・草地管理能力強化プロジェクト	イラン	2018/6～2024/2
5	持続的森林管理を通じた気候変動適応策プロジェクト	ネパール	2022/10～2027/9

また、有償資金協力事業の森林セクターでの実施は過去 10 年以内ではインドでのみ実施されている。現在実施中の森林セクター事業については、全ての案件で水土保持を目的とした治山コンポーネントが含まれている。有償資金協力事業は、技術協力プロジェクトに比べ資金、スケールが大きく、複数のコンポーネントを入れ込むことが期待できる。インドの国土は広大で、州ごとに自然環境や景観は異なり、全ての州で同じタイプの治山活動が行われているわけではない。これら、インドでの実施事例が今後の海外における治山技術展開の有用なヒントとなると考えられる。

表 3-1-3-3 自然環境保全セクターJICA 有償資金協力事業(2013 年以降)

	案件名	国名	期間
1	タミル・ナド州気候変動対策生物多様性保全・緑化事業	インド	2022 年 3 月調印
2	グジャラート州生態系再生事業	インド	2020 年 3 月調印
3	メガラヤ州における住民参加型森林管理及び生計改善事業	インド	2020 年 3 月調印
4	トリプラ州持続的水源林管理事業	インド	2018 年 10 月調印
5	ヒマーチャル・プラデシュ州森林生態系保全・生計改善事業	インド	2018 年 3 月調印
6	オディシャ州森林セクター開発事業（フェーズ 2）	インド	2017 年 3 月調印
7	ナガランド州森林管理事業	インド	2017 年 3 月調印
8	ウッタラカンド州森林資源管理事業	インド	2014 年 4 月調印

（2）農林水産省林野庁（補助事業のうち海外でのプロジェクト）

林野庁補助事業のこれまでのトレンドは気候変動緩和に資する REDD+事業等であった。山地防災、治山技術等に関連したプロジェクトは 2020 年から補助事業と FAO への資金拠出

事業が開始されている。UNFCCC-COP でも気候変動適応への議論が高まっていること、Eco-DRR や NbS の主流化の流れあることが背景となっていると見られる。

表 3-1-3-4 治山コンポーネントを含む林野庁資金拠出事業

	案件名	事業形態	事業内容	期間
1	森林技術国際展開支援事業(本事業)	補助事業	民間企業等が持つ森林整備・治山技術を途上国の防災・減災等の機能強化の展開に向け、調査分析、効率的手法の開発、普及のための WS の開催	2020～実施中
2	国際的山地流域強靱化事業	FAO (日本 100% 拠出事業)	森林・林業分野の知見・技術を活用した、山地流域における地域の強靱化方策を普及するため、課題の調査・分析、研修等を通じた能力開発、優良事例の収集や WS の開催	2020～実施中

3.1.3.5 各国の山地災害の対応部局の整理

前項のインド有償資金協力事業の事例とおり、相手国政府の森林政策や森林防災に関する認識が案件形成においても重要なポイントとなる。しかし、各国の森林部局において山地での森林環境の整備が山地防災につながっていることが必ずしも意識されていないこと、防災部局において山地斜面が土砂流出の起源地であることへの意識が薄いことなどが課題として認識されている。そのため、山地防災にかかる担当部局及びその背景となる政策文書を確認するため、本年度は南アジア地域のインド、スリランカ、バングラデシュを対象として情報収集を行った。

(1) インド

【対応部局】環境・森林・気候変動省 (Ministry of Environment, Forest and Climate Change)

インドの国家森林政策草案 (Draft National Forest Policy, 2018 (Government of India Ministry of Environment, Forest and Climate Change Forest Policy Division)) には、以下の記載がある。

『環境安全保障の国家目標を達成するためには、国土の最低 3 分の 1 を森林と樹木の被覆下に置く必要がある。丘陵地や山岳地帯では、土壌浸食や土地の劣化を防ぎ、安定性を確保するために、森林と樹木に覆われた面積の 3 分の 2 を維持することが目標となる (抜粋)』

このことから、インド森林セクターが山地での森林機能の活用による防災に対する意識を持ち、そのための森林被覆の維持を国家政策で目標として定めていることが分かる。このような国では日本の治山技術の導入がしやすい可能性が高く、JICA 有償資金協力事業では水土保持を目的とした治山コンポーネント活動が全ての事業で行われている。

また、インドは連邦制の政治制度をとっており、州政府に自治権が定められている。そのため州ごとに「州森林政策」、「州気候変動アクションプラン」の方針を持っている。インドは国土が広大で自然環境や景観は州ごとに異なってくる。このことから、州ごとに適切な治山技術、治山タイプが求められる可能性が高く、インドでの導入事例は治山技術の海外展開の有用な参考例となる。

(2) スリランカ

【対応部局】国家建築研究所(National Building Research Organization)

スリランカでは、国家建築研究所がハード、ソフトを含めた土砂災害対策機関として、構造物対策、非構造物対策(ハザードマップ、早期警戒システム、土地利用規制等)の実施、主要国道での法面対策を行っている。

総合災害管理プログラム(Sri Lanka Comprehensive Disaster Management Program)、防災ロードマップ(Roadmap for Disaster Risk Reduction - Safe and Resilient Sri Lanka)では、「地すべりが最も深刻な自然災害の一つであり、地方の土砂災害に関しては非構造物対策が現実的なアプローチである(抜粋)」と指摘されている。森林に対する具体的な言及はなされていない。一方で、渇水対策では、森林による被覆率の増加を一番に掲げており、水資源分野では森林の機能を重要視していることが分かる。

スリランカで森林を所管する組織は、野生生物森林保全省森林保全局(Department of Forest Conservation, Ministry of Wildlife and Forest Resources Conservation)である。そのビジョンは、“木材と林産物の増大する需要を満たし、国民経済の幸福のためのサービス提供のための国有林と森林資源の持続的管理”であり、森林保全、森林生産性向上、林産物需要、国民経済の強化が主要な目的とされ、侵食防止や減災・防災への視点は具体的には言及されていない。

(3) バングラデシュ

【対応部局】森林局(Bangladesh Forest Department)

バングラデシュは、森林マスタープラン(Bangladesh Forestry Master Plan, FMP)、国家適応計画(National Adaptation Plan, NAP)の中で、「森林分野の気候変動適応策への対応」について触れられている。具体的な項目は以下のとおりで、森林マスタープランには、以下の通り植林等による防災・減災対策が掲げられており、治山技術を導入しやすい素地があると考えられる。

- マングローブ、丘陵地、湿地帯の回復のための生態系に基づく適応の拡大(NAP)
- マングローブ等の沿岸グリーンベルトの延長と拡大(NAP)

- 多機能性のある丘陵地と森林の管理保全システムの開発 (NAP)
- 在来種植林による砂漠化対策 (NAP)
- 植林等による防災・減災対策の整備 (FMP)

3.1.4 ヒアリング調査

3.1.4.1 調査の目的、内容

令和4年度に実施した「企業参画基礎調査」のヒアリング調査では、日本が多額の拠出をしている国際機関が実施するプロジェクトへの日本企業の関わりの現状や背景を理解する目的で主としてビジネス面に注目して民間企業と一部のドナー機関への聞き取り調査を実施した。その調査では海外でビジネス展開するための案件が少ないのではないかという指摘があり、その状況について詳しく調べるために令和5年度は主として政策面に注目してドナー機関の認識や方針などをヒアリングし、案件形成を促進するための課題を整理し今後の方向性を検討することを目的とした。

ドナー組織及び日本政府関係部署に対するヒアリングでは、案件立案の基となる政策、制度、戦略、関連予算や、案件実施状況、今後の案件形成方針などについて確認し、将来的な案件形成の促進へ向けた可能性や課題について聞き取りしつつ、意見交換を行った。また、案件形成をする上でどのような情報やインプットがあれば、案件形成を促進できるのかについて意見を伺った。

民間企業に対するヒアリングでは、実施中もしくは実施済みの案件やその技術内容、案件形成プロセスへの関わり方、他セクターとの関連などを聞き取りし、意見交換を行った。

ヒアリング結果の詳細は非公開とすることで幅広い情報収集を得ることに努めた。結果の要点は次節で説明する「意見交換会」においてドナー、政府、企業の担当者へ説明し、共有した。本報告書ではヒアリング結果の要点を記録した。

3.1.4.2 ヒアリング調査の結果

(1) 世界銀行 欧州・中央アジア地域部

- (ア) 世界銀行は Disaster Risk Management の一分野として Nature based Solution を推進しており、現時点で山間地域での NbS を用いた防災案件はまだ少数だが、ポテンシャルは十分にある。
- (イ) Disaster Risk Management において森林機能を用いて土砂流出対策に活用することがプロジェクトレベルで検討されている。例えば中央アジアの一プロジェクトでは、下流部での堤防等グレーインフラの構造物とハイブリッド的に組み合わせ統合的に洪水や土石流対策に活用することが計画されている。

- (ウ) NbS との関連性も含めて治山技術の思想は理解でき、技術的また地域的（気候的）な妥当性がクリアになれば治山技術の活用を進めたいという立場である。ただし、ヒマラヤ山脈など日本とはまったく異なる自然環境（標高 4000m 以上の山岳地帯）でも、日本の治山技術が適用可能か見極める必要がある。
- (エ) 治山技術の活用では相手国政府の納得を得ることが一つの課題だと感じている。借款事業（Loan）では先方政府が施主であるため先方政府の意向が重要であるが、先方政府はエンジニアリングを要する堤防等の構造物を建設し、防災効果を分かりやすく見せたいと考える場合や、植林活動は自国での対応が可能であり、借款資金を使う必要はないと判断をする場合がある。しかし土砂流出対策や経済効果（果樹など）を最大化する目的で、植林する場所の選定、樹種の特選、植栽管理などに関する技術は取り入れたいと考えている。
- (オ) 途上国支援では DRR プロジェクトであっても女性や貧困層のエンゲージメントが重要になる。キルギスでは JICA の OVOP（一村一品運動）と連携して地域住民の、特に女性の参画を促すよう取り組んでいる。こうした気候変動適応対策と貧困対策をリンクさせる工夫も必要になる。
- (カ) 治山とは何か、日本の技術や経験を、相手国の状況を理解したうえで、相手国政府に紹介する機会をもうけることができれば進展が期待出来るのではないかと。特に長期に亘る日本での治山の進捗やその効果を実測したデータや、リモートセンシングを用いた費用対効果の高いモニタリング手法などはニーズが高いと感じられる。

(2) 国際協力機構（JICA）地球環境部 及び 同部森林・自然環境グループ（技術協力プロジェクト）

- (ア) 山地における防災に特化した指針はないが、JICA グローバルアジェンダにて森林の多面的機能の一つとして防災機能を認識しており、Eco-DRR や NbS は重要な取組の一つとして位置づけている。
- (イ) 現状、Eco-DRR 実施対象地域は西バルカン（北マケドニア（2023 年 12 月終了）、コソボ、モンテネグロ）である。また、インド・ウッタラカンド治山プロジェクト（2024 年 3 月終了）はヒマラヤ高山帯での山地防災に関する事業である。特に西バルカンでは国境をまたいで複数国を対象にする「西バルカン協力イニシアティブ」の取組を進めており、森林火災をはじめとする自然災害に対処するための気象情報等に基づく共通指標の導入及び情報共有など地域間連携の促進を目指している（表 3-1-4-1）。
- (ウ) JICA において防災関係の事業を行う主な部署として、地球環境部の「森林・自然環境グループ」と「防災グループ」とがある。将来的には、両グループが連携し、例えば流域単位での取組を検討することが必要になってくる可能性もある。

(エ) 森林は食糧生産、木材供給、水源涵養など複数の機能を備えているため、森林・自然環境グループのプロジェクトで連携の可能性がある。

表 3-1-4-1 治山コンポーネントを含む JICA 技術協力プロジェクト

	案件名	国名	期間
1	ウッタラカンド州山地災害対策プロジェクト	インド	2017/3～2024/3
2	持続的な森林管理を通じた、生態系を活用した防災・減災 (Eco-DRR) 能力向上プロジェクト	北マケドニア共和国	2017/12～2023/12
3	国際森林火災情報システム (NFFIS) と Eco-DRR による災害リスク削減のための能力強化プロジェクト	コソボ	2017/3～2026/2
4	国際森林火災情報システム (NFFIS) と Eco-DRR による災害リスク削減のための能力強化プロジェクト	モンテネグロ	2017/3～2026/2

(3) 国際協力機構 (JICA) 南アジア部 南アジア第一課 及び インド事務所 (有償資金プロジェクト)

(ア) 南アジア部南アジア第一課では、インドの森林セクター円借款事業の案件形成を担当している。インドでの案件形成は各州で行うのが一般的である。また、技術協力と異なり実施機関はあくまでインド側で、調達、施工管理も全てインド主導で行っている。

(イ) インド国家森林政策では、土壌侵食や土地劣化を防ぐためには山岳地域においておよそ 2/3 程度の森林被覆を維持することとされている。

(ウ) インドの森林セクターにおいては、気候変動による災害の激甚化や、土砂崩れ、洪水、水の枯渇等が課題として上げられており、これらに森林機能等のグリーンインフラを活用したアプローチが出来たら良いと考えている。

(エ) 特に関連する案件は以下の 4 案件で、およそ 1 案件 100 億円程度、期間は 8 年程度になる。案件数としては決して少なくないと考えている。

表 3-1-4-2 治山に特に関連するインド森林セクター円借款プロジェクト

	案件名	借款契約調印	借款契約額
1	ウッタラカンド州森林資源管理事業	2014 年 4 月	113.9 億円
2	グジャラート州生態系再生事業	2020 年 3 月	137.57 億円
3	タミル・ナド州気候変動対策生物多様性保全緑化事業	2022 年 3 月	105.35 億円
4	西ベンガル州における気候変動対策のための森林生物多様性保全事業	2023 年 3 月	116.34 億円

(オ) 荒廃した森林の改善のための植林活動を行っている。また、水土保持活動として小規模河川の水域管理や、小さいチェックダムを作って水の流れを整えることも活動の一部として行っている。全案件共通でそういった複合的活動をと

おして治山を行っており、これらが山地防災としての貢献にあたると考えている。

- (カ) インド側は治山関連技術を持っていると考えられ、ローカルでほぼ調達まで可能である。
- (キ) インドにおける治山、防風林、沿岸域でのマングローブ林の整備等が減災・防災に貢献している。また、生物多様性保全活動等を通じた生態系サービスの強化によって、グリーンインフラ、Eco-DRR の強化に貢献している。グレイインフラであるコンクリートの構造物との組み合わせにより、より高い効果を期待できると理解している。
- (ク) 日本の顔を見せるための活動として、学術連携の構築を検討している。円借款の対象地を研究フィールドとして活用し、例えば防災効果が高まる技術の開発を目指した研究との連携なども模索している。
- (ケ) 課題認識が正しいか、対処法が適切であるかなど、相手国政府からの要請書の内容を精査するための協力準備調査を実施しており、その中で JICA が雇用したコンサルタントが案件形成のための詳細計画の作成支援をする。
- (コ) 協力準備調査に関わるコンサルタントが詳細計画の素案を作る中で、NbS としての森林の持つ防災機能をどう認識しているかが素案の内容に影響することはあるだろう。
- (サ) (インド事務所) ウッタラカンド州の技術協力プロジェクトは、2013 年の豪雨による洪水や土砂崩れ等の斜面災害を受け、今後の災害に備えるためのニーズの高まりにより形成され、大型堰堤の建設をする土木技術の導入に軸足が置かれているという特徴があるが、詳細設計は周囲環境によってデザインされ、また現地ニーズに沿ったものである。治山において現地の関心は高く、将来的な森林再生に寄与すると考えている。

(4) 農林水産省 林野庁 森林整備部 計画課 海外林業協力室

- (ア) これまで気候変動「緩和」として REDD+等に重点を置いて進めていたが、Eco-DRR や NbS など「適応」に対応する国際的な議論が近年進んできていることが治山関連事業開始の背景にある。
- (イ) 林野庁で実施している海外向け補助事業の中で治山に関連するものは本事業（令和 2 年～）のみである。一方、FAO への拠出金で「国際的山地流域強靱化事業」（令和 2 年～）という治山関連事業を行っている（表 3-1-4-3）。双方ともほぼ同時期に開始している。FAO が実施機関となっている「国際的山地流域強靱化事業」では、森林・林業分野の知見・技術を活用した山地流域における地域の強靱化方策を普及するため、課題の調査・分析、研修等を通じた能力開発、優良事例の収集や WS の開催を行っている。

表 3-1-4-3 治山コンポーネントを含む林野庁資金拠出事業

	案件名	事業内容	期間
1	森林技術国際展開支援事業（本事業）	補助事業	2020～実施中
2	国際的山地流域強靱化事業（FAO）	日本拠出事業（100%）	2020～実施中

（ウ）「森林技術国際展開支援事業」は非 ODA 枠の予算だが、海外技術班は ODA 予算も持っている。ODA 予算は基本的に途上国支援に軸足を置いて事業を実施する。「途上国森林ナレッジ活用促進事業」、「途上国森林づくり活動貢献可視化事業」の 2 つは ODA による補助事業である。また、「途上国森林プロジェクト環境整備事業」は ODA 委託事業である。

（エ）林野庁の海外協力関係の補助事業では海外に進出する企業への直接補助は行っていない。ODA であれ非 ODA であれ、情報整理、技術開発、手法開発など海外林業協力の実施に際しての環境整備が目的である。大きな考えとしては、ODA 予算は途上国に裨益するもので、非 ODA（国際展開支援事業）は国内の民間業者に裨益するものという方向性になっている。

（5）環境省 自然環境局 自然環境計画課 生物多様性戦略推進室

（ア）生物多様性戦略推進室では、生物多様性条約（Convention on Biological Diversity: CBD）の文脈で「生物多様性日本基金（the Japan Biodiversity Fund: JBF）」を拠出している。基金は CBD 事務局が運用運営している。基金自体は CBD-COP10（2010 年 愛知）の愛知目標の実施を支援する目的で設立されているが、COP12（2014 年 Pyeongchang, Korea）にて、気候変動のための Eco-DRR を日本が提案して推進し生物多様性条約の中で市民権を得てきている経緯から、Eco-DRR に関する取り組みも本基金にて実施している。これまで Eco-DRR の理解醸成のためのワークショップの開催や、Eco-DRR の実施に当たって定性的にどういう基準が必要か、セーフガードとしてどのように意識すべきか等について共通認識を作り出すための活動を行い、その成果として CBD 事務局から Eco-DRR ガイドラインを発行した。

（イ）海外協力政策としては、引き続き生物多様性日本基金の資金で Eco-DRR ガイドラインの実行に取り組もうとしているが、事務局に拠出した資金はパイでは使えずマルチで使うものであるため、事業のためにこういった留意事項が必要になるかななどのサポート支援の役割のものと想定している。

（ウ）「昆明・モンテリオール生物多様性枠組み」は、愛知目標の後継にあたり、ミッション達成のため多様な主体の参画を促している。特に Task Force on Nature-related Financial Disclosures（TNFD：民間主導のネイチャーに関する財務情報開示）の促進など、ビジネスを巻き込んだ現在の潮流を反映したものと

なっているのが特徴である。

- (エ) そのターゲット 8「自然を活用した解決策/生態系を活用したアプローチ等を通じた、気候変動による生物多様性への影響の最小化」、ターゲット 11「自然を活用した解決策/生態系を活用したアプローチを通じた、自然の寄与の回復、維持、強化」、に沿って NbS や Eco-DRR を強力に推進していく方針である。
- (オ) 日本は「昆明・モンテリオール生物多様性枠組」を踏まえて生物多様性に関する国家戦略「生物多様性国家戦略 2023-2030」を世界に先駆けて 2023 年 03 月 31 日に閣議決定した。同国家戦略の 5 つの柱のうちの 하나가 NbS の推進である。
- (カ) Eco-DRR 推進の取組み例として、Eco-DRR ポテンシャルマップ作成がある。5 種類の評価基準で全国を網羅するマップを作った。自治体での環境アセスメントのツールとして利用されている。環境省は生物多様性エリアを守ることから、どういう多面的効果があるかという目線で DRR へも取り組んでいる。
- (キ) DRR の定量的評価、特に金銭的メリットを示すことを目指して IUCN との共同スタディをしたが、世界的に見ても NbS の金銭的メリットを言っている例は殆どなく、グリーンインフラとグレーインフラを比較して、例えば、どれくらいの波に耐えられるか、どれくらいの雨量に耐えられるかの数値を出すことができないので、対応するグレーインフラの建設費を算定できずコストベネフィットを提示することができない。
- (ク) 環境省は ADB と毎年定期的に政策対話を行っており、その覚書にも Eco-DRR を入れている。金融機関は融資や投資が基本なためリターンを見通す必要があり、Eco-DRR や NbS ではまだ証明しきれていないという制約があるようだが、ADB 担当者も NbS や Eco-DRR に意欲があり、資金も潤沢であり、日本がトップドナーであることから、ADB の資金を使った事業展開には可能性があるだろう。
- (ケ) 日本の治山技術の基本コンセプト、事例、各種データあれば役立つかもしれない。

(6) 環境省 地球環境局 総務課 気候変動適応室

- (ア) 気候変動適応室では、気候変動適応関連の国際事業を年間約 10 件実施している。森林や NbS は適応課題に含まれるが、必ずしもそれらに特化した案件ではない。
- (イ) 防災のみならず地域の様々な社会課題を解決することが NbS の概念であり、ODA 資金には限りがあるため、如何に民間資金を呼び込んで地域の経済を回す仕組みを作っていくかということに焦点をあてている。民間資金の呼び水として公的資金を使うという考え方である。
- (ウ) 環境省補助事業として GCF の案件形成を支援している。補助事業実施のコ

ンサルタントが認証機関（AE）と共同でコンセプトノートを作成するところまで行う。ただし、案件が採択された後にどのように運用していくかは AE 次第であり、案件形成に関わった日本のコンサルタントが受注できるかどうかまでの確約はない（制度として出来ない）。

(エ) GCF 等の気候資金は案件受注までの手続きにとっても手間がかかり、コンサルタント自身が営業経費をかけられてない。また、AE の資格を持つ JICA の例でも、二国間協力とは異なる仕組みに適応する体制を作って案件を実施するだけの強いモチベーションはないようにも見受けられ、簡単に申請できるような仕組みにはなっていない。

(オ) 事業の一つとして、災害時にしか役立たない製品ではなく、日常でも使える価値を持った商品開発をするというフェーズフリーのコンセプトを活用して災害製品の市場を拡大する支援を行っている。一時的な資金ではなく、企業が通常の商売として利益を得る仕組みを考える。F-DRR 等の防災分野でも、マネタイズ、マーケティングを考えていくことが重要だと思っている。

(ク) 適応策を実施することにより将来緩和されるかもしれない社会経済被害の緩和総額より、適応策の実施コストを小さくしないと経済効率性があることにはならない。しかし、そのための科学的な根拠を示すことは難しいところに「適応」の難しさがある。

(ケ) 「科学的知見のツール化」、「地方行政官の能力強化」、「民間投資の呼び込み」が重要と考える。

(コ) 国際的な気候資金では GCF の他にも、CTCN、WWF（オランダ機構開発基金）、JAIF（Japan-ASEAN Integration Fund）等が活用できるのではないかな。

(サ) 民間企業の技術や伝統知等を集めたキュレーションサイトを作るなど、外部に向けた情報公開、情報共有も有効だと思われる。

(7) 外務省 国際協力局 気候変動課（GCF 主管課）

(ア) 2023 年 6 月に改定された「開発協力大綱」の中でも「気候変動」はあらゆるところで触れられ、重点政策として明示されている。

(イ) 防災は仙台防災枠組を主導した経緯もあり、日本として力を入れてきている分野である。また、開発協力大綱に「海洋環境・森林・水資源の保護」とあるように、森林という言葉も明示されている。治山は森林分野でもあり防災でもあるので、その意味で重点分野であると理解できる。

(ウ) GCF の資金動員は 2014 年から始まり、2020 年以降は 4 年毎に増資が行われている。GCF 全体の資金量としては、初期資金動員期間（2015-2019 年）が約 93 億ドル、第一次増資期間（2020-2023 年）が約 99 億ドルであり、第二次増資期間（2024-2028 年）に対しては日本含めて約 127 億ドルの拠出が表明されている。気候変動対策分野の基金としては最大規模になっている。日本の拠出

額は、初期資金動員期間は約 1,540 億円（15 億ドル）、次の 4 年間の第一次増資期間は約 1,648 億円（15 億ドル）、これまでに合計約 3,190 億円を拠出済みである。また、第二次増資期間においては最大で 1,650 億円を拠出する用意があることを表明済みである。

(エ) 2024 年から 4 年間の事業戦略（Strategic plan for the Green Climate Fund）は既に定められ、GCF の方針とプロジェクトの方向性等はこの事業戦略に基づいて実行される。森林分野は特定の事項（単語）としては含まれておらず、明示的な優先事項としては位置付けられていない。一方で、8 分野の基本ターゲット（Results area）として「森林と土地利用（Forest and land-use）」が位置付けられているため事業採択の可能性は大いにある。また、事業戦略の 4.3 (e) Supporting activities relevant to averting, minimizing, and addressing loss and damage では、いわゆる「ロス&ダメージ」の回避・最小化に対する活動を掲げており、この項目を根拠とした山地防災への取り組みはありえるかもしれない。以上のように、理事会での議題として総論的に議論していくのは難しいかもしれないが、個別具体的な案件を提案していくことは十分に可能だと考える。

(オ) GCF 事業の採択は、理事会にあがる以前に認証機関（AE）や独立専門家の審査があり、理事会にあげられるまでに何度もやり取りが必要であり、その審査プロセスに手間と時間がかかり困っているという話が特に途上国の AE から聞かれ、審査手続きの見直しの動きがある。新たに就任した事務局長もプロセスの改善を重視している。

(カ) 日本では JICA だけでなく三菱 UFJ 銀行（MUFG）や三井住友銀行（SMBC）が AE となっており、民間事業者にとっても環境活動や気候変動対策を行うことが重視されるようになってきていると理解している。海外の金融機関にはそういった企業が環境活動や気候変動対策に取り組んでいるかどうかは融資の判断材料にする動きがあると承知している。

(キ) GCF 案件はその形成段階から AE と連携することも考えられ、日本の AE だけでなく途上国など各国の AE や、世銀や ADB などの AE の資格を持つ国際機関と連携することも可能ではある。また、認証機関を選んでアプローチする方法や、直接 GCF 事務局にこのような案件をやりたいがどこか良い AE を紹介してほしいとアプローチする方法もある。GCF 事務局には日本人スタッフもいる。

(ク) Project specific assessment approach（PSAA）という新たなアプローチは、認証機関でない団体であっても、1 件までであれば認証機関を通さず直接案件申請ができるという仕組みである。AE とのマッチングがうまくいかない場合の有効な選択肢である。

(8) 財務省 国際局 開発政策課 (GEF 主管)

- (ア) 国際的なファイナンスを通じて、防災、国際保健、途上国の債務問題、環境問題などに取り組んでいる。アプローチの主軸がファイナンスであるため、防災分野では、太平洋諸国における気候変動や災害の激甚化により高まるリスクに対応するための災害リスク保険について取り組んでいる。
- (イ) GEF は、生物多様性保全、気候変動対策、土地劣化対策（砂漠化防止）、国際水域の汚染防止、化学物質及び廃棄物対策という主要 5 分野に関するそれぞれの国際条約に対する資金メカニズムとして機能している。その中で気候変動対策や土地劣化対策の要素として減災・防災が含まれることが可能性として考えうる。
- (ウ) 現在は 2022 年 7 月以降の第 8 次増資期間の 4 年間にあたり、各国からの拠出合計は 53.3 億ドル、このうち日本からは 6.38 億ドルについて拠出表明している。1994 年からの第 1 次増資は合計 20 億ドル（うち日本は 4.15 億ドル）であり、総額も日本からの拠出もこれまでは増加傾向にある。
- (エ) GEF は、各国際条約の資金メカニズムとしての機能を有していることから、気候変動枠組条約、生物多様性条約など各条約の趣旨に沿ったプロジェクトが評議会場で承認にかけられる。
- (オ) GEF の認証する 18 の実施機関（ADB、AfDB、EBRD、FAO、IDB、IFAD、UNDP、UNEP、UNIDO、WB、CI、CAF、DBSA、FECO、FUNBIO、IUCN、BOAD、WWF-US）が各途上国政府、企業や NGO と連携してプロジェクトを組成して、GEF 事務局へ提案する。事務局で各条約の趣旨に沿っているか、効率性、効果が期待できるかチェックを行う。
- (カ) GEF の場合は各実施機関からの提案というスキームにはなるが、GEF の資金だけでなく民間資金も含めた co-finance で GEF 基金が触媒として機能していくことが重要なアジェンダとなっている。また、主要 5 分野の環境課題について、一つのターゲットのみよりも integrated project として気候変動と土地劣化など複数のターゲットを含む申請ができることも GEF の特徴の一つであり、複数の課題へ対応する案件の方がより高く評価されると推察される。
- (キ) 治山を含め、森林についての課題をグローバルで共有されたいということであれば、必ずしもプロジェクト実施には限らずとも、国際会合で議論形成を主導していく方法も考えられる。

(9) 日本工営（株）

- (ア) 中近東のある国では、半乾燥地、高山地帯という自然条件下で、放牧の管理をしながら斜面管理もしなければならない状況であったが、森林管理と草地管理が同部署であったため、放牧管理技術を取り入れた斜面管理の活動が実施できた。別の案件では上流部の山地で際限なく生産される土砂を止めなければい

けないという状況であった。大きな原因は斜面崩壊、崩壊土砂の流出、放牧地での土壌侵食であり、日本における治山技術というのはそういったところからの土砂を出さない山を作っていくという意味で、非常に需要があるのではないかと思う。東南アジアの案件ではガリーをどうやって止めるかというよりも、緑化を促進することによって侵食の量を減らしていくために治山技術でのパイロット工事を行いながら試行しているところである。

(イ) 2500m 以上の森林限界を超える地域では植生による土砂侵食防止はできないが、少し下の森林再生が可能な場所で土砂を止めつつコントロールするという基本は日本での治山技術と考え方は変わらない。

(ウ) 乾燥地、半乾燥地では基本的には森林は発達しにくいいため、荒廃地、草地から発生する土砂を森林を使って防ぐというのは難しい場合が多いと思われる。そういったところは森林というより **Shrub** であり、日本のイメージするような森林ではないということである。

(エ) 日本の治山の最終的な目的は森林を作ることに置かれており、そもそも防災概念から発生したものではない。治山の構造物、少なくとも途上国や中進国での小規模のものは防災の観点ではかなり無理があるように思われる。森林の中で本当に防災をやるのであれば、技術的な面から言えば治山にこだわっていると防災はできないのではないかという印象もある。

(オ) 森林再生による治山効果は各国意識していると思うが、実際に活動展開までいくには予算的な優先度が影響しているだろう。堤防やダムなどの構造物は目に見えて威力を発揮して政治的なアピール効果が高いため、優先度が高い。また、森林を復旧しても豪雨が来ればまた山が壊れてしまうということもあり、そこが治山が持つ制約かと思う。つまり治山では完全無欠な防災は出来ないというところがアピールの弱さの基ではないか。災害の後の復旧がしやすくなる、被害を最小限に抑える、といったレジリエンスの強化は理念的には分かるが、十分な理由として理解してもらえるのが課題である。

(カ) 治山技術や製品を民間企業が海外展開する上で、JICA の民間連携事業は非常に有用である。一方で、実際にビジネス化できるかは相手国のニーズやマーケット次第であり、海外展開の中にある様々なリスクを克服する必要があるため、簡単ではない。

(10) (株) パデコ

(ア) これまで森林分野でも主に生物多様性保全の業務に携わってきた中で治水・治山を主たる目的として強く意図してはいなかったし、これまでに関わったいくつもの森林案件では山地防災が活動メニューとしては含まれていなかった。かつては森林減少によって土砂災害が広がるという危機感はそのままで強くなく、むしろインド国シッキム州では森林保全・生物多様性管理事業の傍ら、ダ

ム開発が盛んに行われている状況であった。ただ、生態系アプローチから見ても各課題はつながっているのは間違いなく、現地の地形的な特徴や自然災害による影響を鑑みれば防災的な活動が入る余地はあったかもしれない。

(イ) 2000 年前後にイランで実施したカルーン河防災計画調査では、国際協力において参加型開発がトレンドであったこともあり、住民参加のワークショップを開催し防災ニーズに応えた。他方、生物多様性保全にしても、NbS による治山防災にしても、グローバルで世代を越える課題に応えるものであり、地域住民自身がニーズを強く認識していないことが多々ある。だからこそ、国家ないし国際的枠組みにより対応する必要がある。住民参加型では拾えないニーズを、我々側から説明して認識してもらうことになる。なお、パプアニューギニアでの生物多様性保全プロジェクトでも、我々が調査でニーズを確認し、先行していた東南アジアの生物多様性保全プロジェクトを参考にして、国際保護区登録を通じたキャパビルや流域レベルでの保護区保全などの活動を提案した。相手国政府はその提案を基に要請した。我々が活動を提案する際には、国際的な潮流や援助機関の方針なども踏まえることになる。

(ウ) 「災害リスクアセスメント」の制度化・ガイドラインを作って、そのアセスメントの手順が簡易に示されれば役に立つのではないかと思う。手順が明確であればそれに沿って治山による Nationally Determined Contributions (NDC) も算出できる。例えば、JICA が公開・適用している気候変動対策支援ツール (JICA Climate-FIT) は気候変動についての排出量削減推計、および気候変動リスクアセスメント手法を含んでおり、我々調査でも利用している。植林プロジェクトに Climate-FIT (緩和策) を適用すればまず緩和策として炭素固定量が算出できて、緩和策としての植林の効果も算出される。さらに Climate-FIT (適応策) では、気候変動がプロジェクト実施中・完了後の森林におよぼすリスクの評価が行える。今後、気候変動により植林地においても洪水や土壌侵食の災害リスクが高まることが提示できるだろう。

(エ) イランでは 3000m 級の山地斜面が荒廃しており、斜面災害も発生しているため、政情の問題をのぞけば治山技術の導入がしやすい国柄と思われる。

(11) 国際航業 (株)

(ア) 森林と防災とではどうしても技術的に異なってくるが、それらをミックスしているのが Eco-DRR であろう。現在関わっている国々では、国単位ということより、ある一つの地域、例えば一つの行政単位 (Municipality) の連続するランドスケープの中で、いかにレジリエンスを強化するためにエコシステムを作って管理していくか、それが Eco-DRR なのだと考えている。

(イ) 日本の治山技術基準は、災害からどのように設計していくかが明確で、基本的な概念はほぼどの国でも使えると感じる。その基準に対応する日本の製品

も素晴らしいものなのだが、それを日本から海外へ持っていくことは主としてコストの面で難しく、また海外に進出して現地生産するところまで持っていく日本のメーカーも殆どないことを考えると、現地拠点、現地資材の活用で根付かせる工夫がいる。

(ウ) ある国では現在治山事業を実施する部署がないが、かつては治山技術を担当する部署があり、その後の政変で組織がなくなってしまった。そのため既存の施設は残っているがそれを維持しまた新たに建設する組織が存在しない状況になっている。しかし、全くのゼロからよりは治山に対する素地があると言える。特に民間土木業者の中に一般土木技術としてその素地が十分にある、残っているように感じられた。それらを足掛かりに技術移転を行っていく必要があるとも感じた。

(エ) ある国では森林局に大型堰堤などの構造物を設計する技術者がいないため、土木技術者を雇用しその人たちが今後治山事業を展開していくことを想定しているが、プロジェクト期間終了後にその土木技術者達が組織にどのような形で関わるのか確認できていないのが課題である。

(オ) 事業としては投入に対する便益や採算性を見る必要があり、エコシステムで下流に起こる何らかの被害の軽減になるのであれば、下流に対してどれだけの便益があるか、コストと便益を比べて採算性が示せることが望ましい。

(カ) 定量的な便益がある程度示されれば予算部局への説明などでの効果は大きい。ピンポイントな数値でなくても、ある程度幅をもたせて大・中・小といった形で示すことでもあれば良いように感じた。

(キ) ある地域や国では山地災害のリスクの観点が日本と比重が違っていると感じている。日本は大きな山腹崩壊など mass としての土砂流出を重視する。ある地域や国では、いわゆる雨が降って草地、裸地から土壌が流出するという面的な捉え方をするリスクを加えて考える。またその面的なリスクが量的には主流ではないかと感じている。この点は、おそらく日本企業が海外に出ていく時に、何に焦点をあてるのか、どうやって技術や製品を導入していくかのかに関わる基本的な問題であると思う。

(ク) どうやって日本の企業が援助をきっかけとして海外に進出していけるか考えたが、おそらく最初はコストばかりかかってしまう。ただ海外で技術者を育てていけば、今の日本の治山業界の人手不足を考慮すると、海外人材を逆輸入するような形で、日本での採算性向上に役立つ可能性があるのではないかと感じている。

(ケ) 国際機関資金へアプローチするにはネットワークが必要で、そのためのネットワーク作りが大事である。例えば、UNDP の日本政府拠出金に対してアプローチしたが、今はウクライナが優先というのが外務省の見解であった。そういうところにうまくはまるものを探していけないといけない。日本として、我々

が手の届かないところに資金を拠出するだけでなく、もう少しまい仕組みを考えた方が良いのではないか。

(コ) 森林やエコシステムの機能は必ずしも DRR だけでなくツーリズムや地域の健康増進といった面への便益にもなっている。便益をより多くに切り分ければ切り分けるほど、それらを全て足し合わせることでエコシステムとしての便益も上がり、採算性もよくなっていく。本来はそういう考えで Eco-DRR は考えられたのではないか。

(サ) 地域全体でエコシステムを考えることは農村開発や地域振興とも共通した考えであり、どのような文脈で森林を位置づけるのか、森づくりや山づくり、減災防災を位置付けていくかがポイントとなる。

3.1.5 ドナー意見交換会、ドナー・企業意見交換会

3.1.5.1 目的

途上国における森林技術を活用した山地防災技術を活用するための案件の立案・形成に関する現状を調べ今後の方向性について検討した結果を紹介するとともに、ドナー・政府・企業関係者間が情報を共有し意見交換する機会を設けることで、今後の案件形成を促進することを目的として実施した。

3.1.5.2 日時

2024 年 1 月 12 日（金） 第一部 13:30-15:30
第二部 15:40-17:15
名刺交換・歓談 17:15-17:45

3.1.5.3 会場

日比谷国際ビル コンファレンススクエア 8E 室
東京都千代田区内幸町 2 丁目 2-3 日比谷国際ビル 8 階

3.1.5.4 出席者

＜第一部 ドナー意見交換会＞

岩間哲士 林野庁 森林整備部 計画課 海外林業協力室 課長補佐
石井颯杜 環境省 自然環境局 自然環境計画課 生物多様性戦略推進室
織田知則 環境省 地球環境局 総務課 気候変動適応室 専門官
佐々木ひらり JICA 南アジア部 南アジア第一課 調査役
川口大二 JICA 地球環境部 技術審議役

<第二部 ドナー・企業意見交換会>

出野伸明 林野庁 森林整備部 計画課 海外林業協力室 係長
石井颯杜 環境省 自然環境局 自然環境計画課 生物多様性戦略推進室
織田知則 環境省 地球環境局 総務課 気候変動適応室 専門官
川口大二 JICA 地球環境部 技術審議役
森川悠太 国際航業（株）海外コンサルティング部 森林グループ グループ長
上田具之 国際航業（株）海外コンサルティング部 森林グループ
浅野剛史 日本工営（株）環境技術部 次長
櫻井彰人 日本工営（株）環境技術部 スペシャリスト
井口次郎 （株）パデコ インフラ開発部 チーフコンサルタント
稲田徹 アジア航測（株）海外プロジェクト部 副部長
瀧永佐知子 アジア航測（株）海外プロジェクト部 担当課長
コシェール・トマ アジア航測（株）海外事業推進部
藤村さほり アジア航測（株）海外プロジェクト部
佐藤嘉彦 アジア航測（株）海外プロジェクト部

<森林総合研究所 参加者> 第一部、第二部出席

玉井幸治 研究ディレクター（国土保全・水資源研究担当）
平田泰雅 森林管理研究領域 研究専門員
藤間剛 国際戦略科 研究専門員
高畑啓一 REDD プラス・海外森林防災研究開発センター 主任研究員
古市剛久 森林防災研究領域 特別研究員

3.1.5.5 結果の概要

本年度の調査結果の集大成として、聞き取り調査にご協力いただいた全てのドナー・政府・企業の関係者を招待して実施した。幅広い関係者の出席を得て、有意義な意見交換の場となった。特に、異なる機関の取り組み内容やその背景が共有され、治山に対する多様な視点や議論が紹介されたことで、大変貴重な機会となった。

(1) 総括

- 第一部の『海外における治山案件形成の今日的背景と枠組み（議論のたたき台）』については、参加者の中でもこれまで漠然としていた海外に展開する治山技術の枠組みが改めて整理され示されたことで、共通の理解に立った議論が進んだと考えられる。
- 異なる景観、スケールごとの治山タイプの分類は、治山の具体的な目的や効果が明確になり、外部への説明のためにも分かりやすい分類であるとの意見が聞かれた。
- 気候変動、NbS、Eco-DRR といった分野での取り組みの詳細についての資料調査とヒアリ

ング調査の結果を共有した上で、それぞれの機関の担当者から自分たちの声で補足や解説を頂いたことで、より確かであり深い情報の共有が行われた。

- 第一部での議論は、NbS、Eco-DRR、30 by 30、気候変動適応など、治山技術を展開する案件の形成を促進する際に踏まえるべき様々な国際的トレンドや国内での動きについて、有益な意見やコメントがあげられた。
- 第二部での議論は、第一部の議論を参照する形で、さらに途上国の現場を経験し、案件形成にも関わった経験を持つコンサルタントから治山技術の海外展開と案件形成促進に対する意見、コメントがあげられた。

(2) 第一部の主要なコメント

- NbS 主流化の中で日本が治山技術を海外展開していくという一つの文脈があるが、NbS と言っても具体的に現場にどのように反映させるかについてはまだ具体性に乏しいのではないかと。その際に、日本の治山技術は、NbS、Eco-DRR に対して体系的な技術を提示しているものではないかと。
- NbS が提示している枠組みを他のセクターを巻き込んでいくためのものと捉えていく、つまり森林の持つ多面的な効果を NbS の文脈で読み込むことを強調することが、我々の新規案件形成の上でも役立つのではないかと。
- 生物多様性の面では政策協議が進捗しており、例えば 30 by 30 目標があり、そのことが治山や森林分野にも活用していける可能性がある。
- 森林の持つ多面的機能のシナジーを狙うことが重要である。シナジーに注目することは日本が新たに訴えていく必要はなく、既に国際的な場ではシナジーの議論はなされている。
- シナジー効果というのはつまりベストミックスを生んでいくことではないかと。緩和だけ、適応だけ、防災だけでなく、森林に軸を置いてそれがどういう効果を生んでいるのかというところから治山を位置づけていくという方向性がある。
- 日本の治山技術を展開する際には、相手国の治山技術と日本の治山技術との違いを見極めておく必要があるのではないかと。日本の治山技術にも過去と現在との間にギャップがあるが、そういった時空間での技術的なギャップを見極めておくことは、治山技術を海外展開する際に有益であろう。
- 日本の治山技術の目的は山地防災だけでなく水源涵養もある。森林造成に関して言えば、水源涵養の方が山地防災よりも分かりやすく、また途上国のニーズに合致する場合も多い可能性があり、シナジーが生まれやすい。
- 日本で活躍する治山関係のコンサルタントの海外展開がなかなか進んでいない。一方、

開発コンサルタントの治山分野でのさらなるキャパビルも課題であり、これらをどのように解決していくのかも考えるべきである。

- UNFCCC-COP では、気候変動適応のための資金が圧倒的に足りていないということが盛んに議論されている。
- ベストミックスやシナジーを狙うと言っても、実は減災・防災、炭素固定、生物多様性、水源涵養と各側面すべてが同時に森林造成によってプラスを得るわけではないということが研究面では分かりつつあり、トレードオフの問題を考慮する必要がある。
- 経済的便益評価についてはヒアリングの中でも繰り返し出てきたテーマであってニーズは明確であり、具体的な取り組みもなされてきているが、厳密に見る場合の評価方法には難しさがあるとの経験も聞かれ、依然として検討課題である。
- 適応はリスクでありコストでなるが、緩和はチャンスでありプロフィットを生む。資金は適応からは決して出てこず、緩和の資金を用いて適応に対応していくという道筋で考えていかねばならない。

(3) 第二部の主要なコメント

- JICA プロジェクトの出口戦略として、普及モデルの広い展開をするためには、案件実施前の準備や形成段階にもう少し時間をかけて、その国の戦略や計画にうまくあてはまるかどうか、C/P 機関がその技術の受け皿として適切なキャパシティを有しているかしつかりと検討できると良い。
- 相手国に適用するよう技術や資材のローカライズ化を意識して、これが日本の技術であるというアピールが足りていなかったかもしれない。もっと日本の技術、成果であることをアピールする価値はある。
- 伏工や筋工のような簡単な技術であっても現地では知ってはいるが実践はしたことがない。NbS 型の治山モデルは誰でもできるように見られ、自分たちだけでも出来ると安易に考えられることが多いが、適切に治山の効果を出すためには必須のポイントがあり、特に施工管理や設計では経験豊富な技術者が必要である。
- まったく新しい国で現場レベルの新規のニーズの掘り起こしは簡単ではない。Eco-DRR や生物多様性保全などグローバルなレベルの便益のニーズは現場レベルではなかなか拾えない。相手国の重要な開発課題(アジェンダ)にあわせて、治山という言葉にはこだわらずに、案件形成にからめていくのが良いのではないかと。NbS はまさに複数のセクターを巻き込むキーワードである。
- 今日の資料で流域型防災とされた上流から下流までのパッケージで事業に取り組むことが理想であるが、相手国の組織の所掌範囲も影響し簡単ではない。

- 各国の Nationally Determined Contributions (NDC)の報告義務の中に NbS の取り組みを入れようという動きがある。
- 治山効果のアピールのため、便益を説明できる定量評価があることが望ましい。政策レベルの判断においてはとても重要な情報であり、政策としての位置づけがなければ全国的な横展開がうまくいかない。
- 土砂流出防止に焦点を当てた治山技術(事節のタイプ分けでの「緩斜面侵食防止プロジェクト」、あるいは NbS 型治山)の典型的な事例が現在の日本にはないならば、土砂流出防止型の治山を学ぶ研修として例えば北マケドニアの現場に関係者を集めるなどの第三国研修も効果的ではないか。

3.2 防災・減災対策などに活用可能な森林分野の知見や技術

3.2.1 文献情報

森林を活用した減災・防災に関する学術論文や報告書等の 61 件の文献情報を収集し、リスト化した(表 3-2-1-1)。

表 3-2-1-1 収集文献リスト

	著者	年	タイトル	出典	巻号	頁
1	Osawa, H., Matsushi, Y., Matsuura, S., Okamoto, T.	2023	Semiempirical modeling of the transient response of pore pressure to rainfall and snowmelt in a dormant landslide	Landslides	21	245-256
2	Bathurst JC, Bovoloa CI, Cisneros F	2010	Modelling the effect of forest cover on shallow landslides at the river basin scale	Ecological Engineering	36(3)	317-327
3	Nguyen, Q. K., Tien Bui, D., Hoang, N. D., Trinh, P. T., Nguyen, V. H., & Yilmaz, I.	2017	A novel hybrid approach based on instance based learning classifier and rotation forest ensemble for spatial prediction of rainfall-induced shallow landslides using GIS	Sustainability	9(5)	813
4	Pham, V. T., Le, H. L., Do, M. D., Phan, T. T., Dinh, T. Q., Nguyen, C. L., Dang, T. T., Nguyen, Q. P., Tran, Q. C., Khang, D., Doan, H. L.	2021	Rainfall-induced catastrophic landslide in Quang Tri Province: the deadliest single landslide event in Vietnam in 2020.	Landslides	187	323-232
5	Phuong T.V., Ly H.B., Trinh P.T., Prakash I., Hoan D.T.	2020	Landslide susceptibility mapping using Forest by Penalizing Attributes (FPA) algorithm based machine learning approach	Vietnam J Earth Sci	42(3)	237-246
6	Rickli, C., & Graf, F.	2009	Effects of forests on shallow landslides—case studies in Switzerland	Forest Snow and Landscape Research	82(1)	33-44
7	Schmidt, K. M., Roering, J. J., Stock, J. D., Dietrich, W. E., Montgomery, D. R., & Schaub, A. T	2001	The variability of root cohesion as an influence on shallow landslide susceptibility in the Oregon Coast Range	Canadian Geotechnical Journal	38(5)	995-1024
8	Meinhardt M., Fink M., Tünschel H.	2015	Landslide susceptibility analysis in central Vietnam based on an incomplete landslide inventory: Comparison of a new method to calculate weighting factors by means of bivariate statistics	Geomorphology	234	80-97
9	Claudia Dislich, Andreas Huth	2012	Modelling the impact of shallow landslides on forest structure in tropical montane forests	Ecological Modelling	239	40-53
10	Rickli, C., Bebi, P., Graf, F., Moos, C.	2019	Shallow Landslides: Retrospective Analysis of the Protective Effects of Forest and Conclusions for Prediction	Recent Advances in Geotechnical Research		175-185
11	James C. Bathurst, C. Isabella Bovolo, Felipe Cisneros	2010	Modelling the effect of forest cover on shallow landslides at the river basin scale	Ecological Engineering	36(3)	317-327
12	K M Schmidt, J J Roering, J D Stock, W E Dietrich, D R Montgomery, and T Schaub	2001	The variability of root cohesion as an influence on shallow landslide susceptibility in the Oregon Coast Range	Canadian Geotechnical Journal	38(5)	995-1024
13	Masayasu Nishioka, Haruka Inoue, Tetsuji Ota & Nobuya Mizoue	2023	Impact of forest type and age on shallow landslide susceptibility: a case study from the 2017 heavy rainfall in northern Kyushu, Japan	Journal of Forest Research	28(6)	389-396
14	Ellen Robson, David Milledge, Stefano Utili, Giuseppe Dattola	2023	A Computationally Efficient Method to Determine the Probability of Rainfall-Triggered Cut Slope Failure Accounting for Upslope Hydrological Conditions	Rock Mechanics and Rock Engineering		https://doi.org/10.1007/s00603-023-03694-5
15	TZ Aung, CTT Naing, LC Nguyen, KT Nguyen	2023	A comparison of countermeasures against landslide on the road No.152, Sapa Town, Lao Cai Province, Vietnam	Materials Science	1289	https://doi.org/10.1088/1757-899X/1289/1/012093
16	Raouf, A.; Feng, T.; Zhang, K.; Su, Z.	2024	Field and Numerical Investigation of Taihu Resort Cut Slope Failure in Suzhou, China	Applied Sciences	14(7)	https://doi.org/10.3390/app14072683
17	Aziz, K., Mir, R.A. & Ansari, A.	2024	Precision modeling of slope stability for optimal landslide risk mitigation in Ramban road cut slopes, Jammu and Kashmir (J&K) India	Modeling Earth Systems and Environment		https://doi.org/10.1007/s40808-023-01949-2

表 3-2-1-1 収集文献リスト

	著者	年	タイトル	出典	巻号	頁
17	Aziz, K., Mir, R.A. & Ansari, A.	2024	Precision modeling of slope stability for optimal landslide risk mitigation in Ramban road cut slopes, Jammu and Kashmir (J&K) India	Modeling Earth Systems and Environment		https://doi.org/10.1007/s40808-023-01949-2
18	Ellen ROBSON, Samprada PRADHAN, David G TOLL	2024	A Field Study on the Stability of Road Cut Slopes in Nepal	Geo-Resilience 2023 Conference,		https://doi.org/10.53243/Geo-Resilience-2023-1-8
19	Samprada Pradhan, David G. Toll, Nick J. Rosser, Matthew J. Brain	2022	An investigation of the combined effect of rainfall and road cut on landsliding	Engineering Geology	307	106787
20	Xu Linrong, Aliyu Bamaïyi Usman, Al-Amin Danladi Bello, and Li Yongwei	2023	Rainfall-induced transportation embankment failure: A review	Open Geoscience	15	20220558
21	Yunchang Yao, Liang Cheng, Song Chen, Hui Chen, Mingfei Chen, Ning Li, Zwming Li, Shengkun Dongye, Yifan Gu, Junfan Yi	2023	Study on road network vulnerability considering the risk of landslide geological disasters in China's Tibet	Remote sensing	15	4221
22	Danielsen. F., Sorensen. M. K., Olwig. M. F., Selvam. V., Parish. F., Burgess. N. D., Hiraishi. T., Karunakaran. V. M., Rasmussen. M. S., Hansen. L. B., Quarto. A., and Suryadiputra. N.	2005	The Asian tsunami: a protective role for coastal vegetation	Science	31	643
23	Kamimura. K. and Shiraishi. N.	2007	A review of strategies for wind damage assessment in Japanese forests	Journal of Forest Research	12	162-176
24	Kamimura. K., Kitagawa. K., Saito. K., and Mizunaga. H.	2012	Root anchorage of hinoki (<i>Chamaecyparis obtusa</i> (Sieb. Et Zucc.) Ed.) under the combined loading of wind and rapidly supplied water on soil: analyses based on tree-pulling experiments	Eur. J. For. Res.	131	219-227
25	Nanko, K., Suzuki, S., Noguchi, H., Ishida, Y., Levia, D. F., Ogura, A., ... & Sakamoto, T.	2019	Mechanical properties of Japanese black pine (<i>Pinus thunbergii</i> Parl.) planted on coastal sand dunes: resistance to uprooting and stem breakage by tsunamis	Wood science and technology	53	469-489
26	Todo. C., Tokoro. C., Yamase. K., Tanikawa T., Ohashi. M., Ikeno H., Dannoura. M., Miyatani. K., Doi. R., and Hirano. Y.	2019	Stability of <i>Pinus thunbergii</i> between two contrasting stands at differing distances from the coastline	Forest Ecology and Management	431	44-53
27	Vinh. V. D., Tu. T. A., Thanh. T. Đ., Thai. V. D.	2011	Hydrodynamics and waves attenuation in the mangrove forest in coastal zone of Bang La - Dai Hop (Hai Phong). Hội nghị Khoa học và Công nghệ biển toàn quốc lần thứ V (in Vietnamese with English summary)		126-135	
28	Chen, C., Peng, C., Yan, H., Wei, M., & Wang, T.	2023	Experimental study on the mitigation effect of mangroves during tsunami wave propagation	Acta Oceanologica Sinica	42(7)	124-137
29	De Silva, W., & Amarasinghe, M. D.	2023	Coastal protection function of mangrove ecosystems: a case study from Sri Lanka	Journal of Coastal Conservation	27(6)	59
30	Van Hespen, R., Hu, Z., Borsje, B., De Dominicis, M., Friess, D. A., Jevrejeva, S., ... & Bouma, T. J.	2023	Mangrove forests as a nature-based solution for coastal flood protection: Biophysical and ecological considerations	Water Science and Engineering	16(1)	1-13

表 3-2-1-1 収集文献リスト

	著者	年	タイトル	出典	巻号	頁
31	Michinaka et al.	2024	Has Economic Growth Been Reducing Natural Disaster Damages in Vietnam?	FORMATH SAPPORO 2024	2024.03	7
32	Matthew E. Kahn	2005	THE DEATH TOLL FROM NATURAL DISASTERS: THE ROLE OF INCOME, GEOGRAPHY, AND INSTITUTIONS	The Review of Economics and Statistics	87(2)	271-284
33	Padli, Jaharudin and Habibullah, M.S.	2008	Natural disaster death and socio-economic factors in selected Asian countries: A panel data analysis	MPRA Paper	11921	Online at https://mpra.ub.uni-muenchen.de/11921/
34	Shabnam, N.	2014	Natural Disasters and Economic Growth: A Review	International Journal of Disaster Risk Science	5(2)	157-163
35	Qureshi, M. I., et al.	2019	Natural disasters and Malaysian economic growth: policy reforms for disasters management	Environ Sci Pollut Res Int	26(15)	15496-15509
36	Tasri, E. S., et al.	2020	The effect of economic factors on the level of disasters that occur in the area of West Sumatra	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	485(1):	012110
37	Kumar, P., et al.	2022	Floods and economic growth in India: role of FDI inflows and foreign aid	Management of Environmental Quality	33(5)	1114-1131
38	Baruah, S., Dey, C., & Sanoujam, M.	2023	Preliminary account on the 30th June 2022 Tupul, Manipur landslide of Northeast India	Landslides	20	1547-1552
39	Erika Buscardo, Gerald Forkuor, Alessandro Rubino & Michael Storozum	2021	Land and people	COMMUNICATIONS EARTH & ENVIRONMENT	2	1-4
40	Labrière, N., Locatelli, B., Laumonier, Y., Freycon, V., & Bernoux, M.	2015	Soil erosion in the humid tropics: A systematic quantitative review	Agriculture, Ecosystems & Environment	203	127-139
41	Lavé, J., Guérin, C., Valla, P. G., Guillou, V., Rigaudier, T., Benedetti, L., ... & Galy, V.	2023	Medieval demise of a Himalayan giant summit induced by mega-landslide	Nature	619(7968)	94-101
42	Van Thang, N., Sato, G., Wakai, A., Hung, H. V., Manh, N. D., Kimura, T., ... & Kitamura, N.	2021	Landslide Investigation Results in Sapa Town, Lao Cai Province, Vietnam in December 2019	Journal of Disaster Research	16(4)	547-555
43	Rosi, A., Frodella, W., Nocentini, N., Caleca, F., Havenith, H. B., Strom, A., & Tofani, V.	2023	Comprehensive landslide susceptibility map of Central Asia	Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions	1-33	
44	Salles, T., Mallard, C., Husson, L., Zahirovic, S., Sarr, A. C., & Sepulchre, P.	2021	Quaternary landscape dynamics boosted species dispersal across Southeast Asia	Communications Earth & Environment	2(1)	240
45	Shinohara, Y., & Kume, T.	2022	Changes in the factors contributing to the reduction of landslide fatalities between 1945 and 2019 in Japan	Science of The Total Environment	827	154392
46	Zhang, S., Peng, J. Y., Zhang, M. P., Chen, Y. B., Han, Y. Y., Su, C. X., & Zhuang, D. Y.	2023	Evolution of debris flow activities in the epicentral area, 10 years after the 2008 Wenchuan earthquake	Engineering Geology	319	107118

表 3-2-1-1 収集文献リスト

	著者	年	タイトル	出典	巻号	頁
47	Nguyen, A. T., & Hens, L.	2021	Diversified responses to contemporary pressures on sloping agricultural land: Thai farmer's perception of mountainous landscapes in northern Vietnam	Environment, Development and Sustainability	23(4)	5411-5429
48	Schmitter, P., Dercon, G., Hilger, T., Le Ha, T. T., Thanh, N. H., Lam, N., ... & Cadisch, G.	2010	Sediment induced soil spatial variation in paddy fields of Northwest Vietnam	Geoderma	155(3-4)	298-307
49	Mai, V. T., van Keulen, H., Hessel, R., Ritsema, C., Roetter, R., & Phien, T.	2013	Influence of paddy rice terraces on soil erosion of a small watershed in a hilly area of Northern Vietnam	Paddy and Water Environment	11	285-298
50	Vien, T. D	2003	Culture, environment, and farming Systems in Vietnam's Northern mountain region	Japanese Journal of Southeast Asian Studies	41(2)	180-205

	著者	年	タイトル	出典	巻号	頁
1	松浦純生、大澤光、柴崎達也	1987	融雪期の地すべりによる磐越西線松野隧道(トンネル)の圧潰	日本地すべり学会誌	60(4)	26-32
2	小川泰浩、上條隆志、樂春陽、武藤恵	2022	火山性荒廃斜面における三日月形緑化資材の2年間の植生回復と表面侵食	日本緑化工学会誌	48(1)	99-102
3	山口智、井道裕史、加藤英雄、長尾博文、渋沢龍也、鈴木秀典、宗岡寛子、田中良明、陣川雅樹	2021	排水素材としての利用を想定したモウソウチク(Phyllostachys heterocycla f. pubescens)の暴露期間と曲げ強度との関係	木材工業	76(7)	250-257
4	新田壮真、矢部和弘、今富裕樹、江口文陽、徳永冠哉	2020	微細藻類を用いたのり面保護工の機能評価	森林利用学会誌	35(2)	97-101
5	野口、佐藤、鳥田、真坂、阿部、木村、坂本	2012	2011年東北地方太平洋沖地震津波によるクロマツ海岸林被害の数値シミュレーションを用いた検討 - 青森県三沢市の事例 -	海岸林学会誌	11	47-51
6	野口、鈴木、南光、竹内、金子、新田、渡部、坂本	2014	海岸砂丘地に植栽された広葉樹およびクロマツの倒伏抵抗特性の引き出し試験による評価	海岸林学会誌	13	59-66
7	岩井美佐紀	1996	ドイモイ後の北部ベトナム農村社会の変容 - チャンリエット村合作社の事例を中心に -	東南アジア - 歴史と文化 -	25	83-114

	著者	年	タイトル	学会	番号等
1	大澤光、土井一生、荒井紀之、東良慶、渡壁卓磨、山川陽祐	2023	線状凹地を有する地すべり地における地盤構造の推定	日本地球惑星科学連合2023年大会	HDS10-02
2	岡本隆・古市剛久・大澤光・渡壁卓磨・村上巨・鈴木秀典・山口智・宗岡寛子	2024	ベトナムにおける治山施設の潜在的ニーズと普及に向けた課題	第135回日本森林学会大会	PJ-31
3	渡壁卓磨・古市剛久・大澤光・岡本透・岡本隆	2023	ベトナム北西部の山地斜面における土地利用と土砂流出の関係	第62回日本地すべり学会研究発表講演集	18
4	山口智、加藤英雄、伊藤優子、神原広平、松永浩史、大村和香子、井道裕史、鈴木秀典、大澤智也、藤井厚、永町博満	2021	森林資源由来の材料を活用した路網保全技術の開発	日本森林学会大会学術講演集	132:S8-4

3.2.2 日本地球惑星科学連合 2023 年大会での研究動向と議論

2023 年 5 月に日本地球惑星科学連合 2023 年大会に参加し、森林技術国際展開支援事業においてベトナム北部山地で実施してきた技術開発の成果を発表した(図 3-2-2-1)。

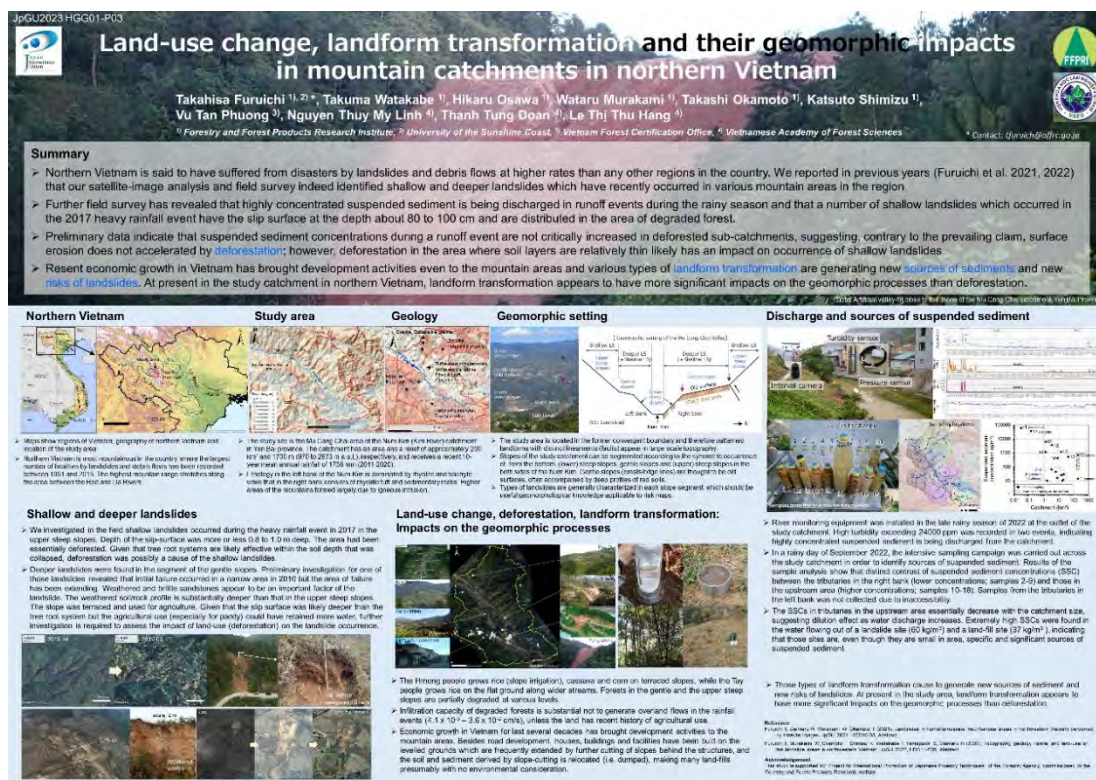


図 3-2-2-1 日本地球惑星科学連合 2023 年大会におけるプロジェクト成果の発表

また、以下のセッションに参加して地球科学分野における斜面災害、気候変動に関する最新の研究動向を調査した。

HDS-05: 地すべり及び関連現象

HDS-10: 湿潤変動帯の地質災害

H-GG01: 自然資源・環境に関する地球科学と社会科学の対話

H-GM02: 地形

A-AS01: 東アジアの異常天候・都市災害と気候変動

3.2.3 日本応用地質学会 2023 年大会での研究動向と議論

2023 年 10 月の日本応用地質学会(秋田市)では、一般研究発表において、ベトナム国の棚田地帯で発生した地すべり(当方ベトナム・プロジェクトの調査対象流域内にある地すべりに関する研究発表)、強度低下に伴う重力変形、変形に駆動された風化に起因する地すべり、重力変形斜面と断層帯との関係などについて情報を収集した。

また特別セッション「アジア地域の自然災害と社会システムにおける応用地質の関り」においては、ネパール・ゴルカ地震による斜面災害、ネパール水力発電開発(山岳地域)、台湾における土砂災害リスク軽減に向けた取り組み、などに関する情報を収集した。

第4章 途上国の森林の減災・防災等の機能強化に資する技術等の開発

4.1 背景と目的

4.1.1 森林の防災・減災機能（F-DRR）を最大化する治山技術の可能性

国家の経済が急速に成長する際に、不適切な土地利用が原因となって山地災害が頻発化する事例は日本を含め世界各地で認められる。一般的に産業活動が活発化し人口が急増する経済成長期には伝統的な土地利用のルールが軽視される傾向が強く、災害リスクの高い土地が利用されることで山地災害の発生につながりやすい。わが国も明治期の近代化や第二次大戦後の復興に伴う木材や薪炭の需要増大が山地の過度な利用を生み、山地災害の多発化を招いたことがある。こうした歴史を教訓に、わが国では現在にわたるまで「砂防」と「治山」の両事業による防災施策が講じられるようになった。前者の砂防事業は主にコンクリート製の防災施設の整備（グレーインフラ）を整備して荒廃流域の保全及び土石流等の土砂災害から人命や財産を直接的に守ることを目的とする。一方で我が国の治山事業は、その豊かな経験を糧に森林整備と補助的な施設を組み合わせ（グリーンインフラ）森林の防災・減災機能（Forest-based Disaster Risk Reduction; F-DRR）を最大化する独自の治山技術を発達させた。治山技術は山地災害に対するレジリエンスを高めるだけに留まらない。居住地周辺や沿岸域に整備された土砂流出防備林、水害防備林、防潮林、防風林、飛砂防備林などの防災林（保安林）は土砂流出や洪水、津波、高潮、強風など自然の猛威から生活空間を保護してくれるバッファゾーンとなる。このように、治山技術で整備された森林の防災・減災効果はきわめて幅広く多岐に渡るうえ、コンクリート構造物に過度に依存することがないため、今後本格的な災害対策を進めようとする開発途上国にとって過剰な財政負担への懸念を抑えられるという観点から適用可能性が高いと期待される。

近年の経済発展が著しい東南アジアの開発途上国は多雨気候のため歴史的に斜面崩壊のみならず洪水による被災者も極めて多く、将来の気候変動による土砂・洪水災害の大規模化が危惧されている。その例として、ベトナム社会主義共和国では2020年の10月から11月にかけて異例の数の台風や熱帯低気圧が続けざまに上陸、接近し、山岳地域及び沿岸地域に深刻な山地災害や洪水災害をもたらした。国際連合人道問題調整事務所（OCHA）によれば、一連の災害は同国に243人の死者・行方不明者の他、約150万人に直接的被害をもたらしたと発表されている。治山技術による山地域の森林整備は山地からの土砂流出量の低減を通じて河床上昇による洪水被害を緩和するため、山地災害のみならず水害までも含めた国

土全体の総合的な防災対策に大きく貢献できると期待される。治山技術はさらに森林の炭素固定による温暖化対策への貢献も期待できるという点でも優れている。

治山技術はこのような多岐にわたる利点を持つ一方で、適切な土地利用計画や土地利用制限、住民の防災・環境意識を向上するための啓蒙を伴わないと効果を発揮しにくい技術体系でもあるという一面を併せ持つ。例えば、居住地の周辺に防災林が整備されても、適切な利用制限が無いと私的な乱獲が放置されて防災林の破壊につながることもある（いわゆるコモンの悲劇）。しかし、世界的に SDGs（持続可能な開発目標）が重視される今日にあっては、このような土地利用計画や啓蒙を必要とするという治山技術の特性は、むしろ、住民の防災意識の向上につながりやすいという利点にもなりうる。

とくに災害が起こりやすいモンスーンアジア地域では、適切な土地利用の制限は局所的・短期的には経済活動を制限する側面もあるが、長期的な国家的視点で見れば、住民の安全につながることは疑いようがない。わが国でも、災害リスクの高い場所での宅地開発が災害につながっていると指摘される事例はきわめて多いが、防災・減災対策の策定がこれから本格化する発展途上国にあって、山岳地域においては計画的な土地利用と防災意識の普及啓発を必須とする治山技術を、沿岸地域においてはマングローブ等による高潮被害に対する沿岸域の防災・減災機能の評価と保全策を早期に導入しておき、土地の持つ災害リスクについて意識を深めておくことは、将来的に防災予算の低減や民生の安定にもつながるもので、未来への投資という点でも費用対効果は極めて高いと考えられる。

政府と住民の間の合意可能性が高く実効性の高いゾーニングを行うには、科学的知見にもとづいて、土地に潜む災害リスクを出来るだけ正確に評価するとともに、迅速・かつ効果的な形で住民に周知する必要がある。そのためには、地域の生態系や社会的文化的な背景の理解を踏まえ、近年発達が著しい情報技術の活用が不可欠であり、とくにリモートセンシングや、AI の技術を導入することで、ゾーニング技術を高度化することが期待できる。本課題では、日本の治山技術が蓄積してきた山地災害予測技術に、リモートセンシングや AI などの最新の情報技術を組み合わせて、途上国に対して森林の防災・減災機能を活用した防災技術の実装に貢献するものである。

4.1.2 本課題の目的

開発途上国のベトナム社会主義共和国（以下、ベトナム）の山岳地域と沿岸地域を調査対象地域に設定し、同国の森林や山岳地域及び海岸地域に関する歴史、社会経済を踏まえた上で、日本の治山技術を同国に効果的に適用させるための技術開発を行う。山岳地域においては、森林の防災・減災機能を強化する日本の治山技術やリモートセンシング技術を現地

に適用し、有効性の検証と課題の改善を通じて適用技術を開発する。沿岸域においては、高い消波効果を発揮するマングローブ林の高潮時における防災・減災機能を評価するとともに、マングローブ林保全に関する技術的指針を提示する(図 4-1-2-1)。



図 4-1-2-1 途上国の森林の減災・防災等の機能強化に資する技術等の開発フロー

4.1.3 現地カウンターパートとの協力体制の構築

本課題を効率的に遂行するため、現地カウンターパートとして、ベトナム北西部山岳域の山地災害及び沿岸域の高潮災害に関する調査研究を推進するベトナム森林科学アカデミー (Vietnamese Academy of Forest Sciences) と令和 2 年度に MOU を締結し、以降、調査・研究における協力体制を構築している。

ベトナム森林科学アカデミーは、同国の農業農村開発省 (the Ministry of Agriculture and Rural Development; MARD) 傘下の特別科学組織 (Special scientific organization) として首都ハノイに本部を置く機関であり、同国における森林研究、開発及び拡大に関する科学研究、技術移転、大学院教育、国際協力等を実施している。

4.2 日本の森林整備・治山技術を効果的に現地のニーズに合わせて適用するための手法の開発

4.2.1 ベトナム北西部山間地における山地災害及び自然・社会環境に関する調査の流れ

調査対象国であるベトナムの山岳地域では、気候変動に伴う極端な豪雨の強度・頻度の増大や、市場経済の拡大等による森林から農地等への無秩序な土地改変によって、斜面崩壊をはじめとする山地災害が多発し林地の荒廃が進んでいる。同国の山地災害を防止・軽減することを目的として、森林の防災・減災機能を最大限に発揮させる日本の治山技術をベトナム国に効果的に適用するために必要な手法を、同国の自然環境条件や社会情勢を考慮しながら開発する。本目的の達成のため、ベトナム北西部山岳地域の荒廃林地を対象に現地踏査を実施し、斜面崩壊等の発生場や発生形態、植生被覆との関係等を把握する。また林地の荒廃には不適切な森林路網の作設に起因することもありことから、林道等の整備状況についても調査する。さらに対象地域における森林の伐採、農地転換、居住地域の変遷など土地利用の実態や地域住民の山地災害に対する意識等を現地調査や文献調査によって把握する。この他、治山事業計画の策定に必要となる、同国の地形・地質・降水量等の広域データセットの整備状況を調査し、GIS 基盤データへの供用可能性を明らかにするための品質確認を行う。本課題の調査フローを図 4-2-1-1 に示す。本課題 4.2 はリスクマップ作成に関する課題 4.3 と強く連携することから、同図は課題 4.3 を含めたかたちとなっている。このようにして得られた、林地の荒廃、林道の整備、土地利用の情報を課題 4.3 に受け渡すことにより、リモートセンシング技術による斜面崩壊リスクマップ及び森林管理マップの作成の一助とする。また課題 4.3 と連携して山地災害リスクと木材生産の収益性に基づいて、土地利用の判断基準となるような森林のゾーニング技術を開発する。

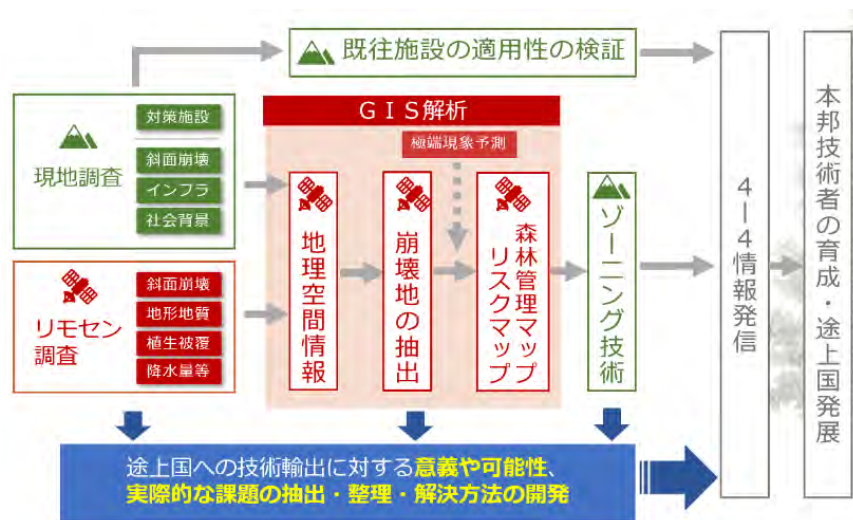


図 4-2-1-1 課題 4.2 及び 4.3 の調査開発フロー

4.2.2 ベトナム北西部における山地災害と防災対策に関する現地調査

4.2.2.1 ベトナム北西部の中山間地域における斜面崩壊の実態と土地利用の関係

(1) Ho Bon 地区における斜面崩壊の緊急現地調査（2023 年 9 月実施）

2023 年 8 月 5 日夜、イエンバイ省ムーカンチャイ郡 (Mu Cang Chai District, Yen Bai Province) の中心部から西へ約 20 km にある Ho Bon 地区において、豪雨によって多数の斜面崩壊が発生した。集落内には、斜面崩壊と土石流によって被災した家屋もあった。また、集落へつながる道路への土砂の流入や損傷のため、現地へのアクセスは困難であると、災害直後には報道されていた。

斜面崩壊の発生日から約 1 ヶ月経過した 2023 年 9 月 7 日に、現地調査を実施した。Ho Bon 地区に近づくにつれて、幹線道路の一部区間に崩土が残り、道路の損傷箇所が多くなっていたものの、車でアクセスできた。Ho Bon の集落の北端に位置する家屋では、土石流による巨礫流入の被害を受けており、重機で土砂を取り除く作業をしていた。細粒な土砂の流入の被害を受けた集落の中心の家屋では、すでに土砂が取り除かれており、住民たちは普段通りに近い生活をしているように見受けられた。

Ho Bon 集落周辺の斜面の観察から、主に 3 種類の崩壊形態を確認できた。1 つ目は表層崩壊、2 つ目は地すべりのようなタイプの崩壊、3 つ目は表層の土層が流出したタイプの崩壊である。これらの崩壊は、地形や土地利用とある程度の関連があるようにみえた。

現地では遠望しかできなかったものの、表層崩壊の主な発生場所は、主稜線の近傍まで発達している急傾斜した凹型地形である (図 4-2-2-1)。山地の灌木帯だけでなく、樹林帯でも崩

壊が発生したことを、衛星画像で確認できる。山腹斜面で、崩落物質が流下したあとの露頭の観察から、軟弱な岩盤の上に土層が薄く被っている様子を確認できた。崩壊源頭部においても、土層と基盤岩の境界ないしその近傍から崩落し、崩壊の深さは 2 m 未満であると推察される。このタイプの崩壊は、日本で発生する表層崩壊と同様のものであろう。



図 4-2-2-1 Ho Bon 地区周辺で発生した表層崩壊。凹型斜面で稜線近くのところから崩落している様子がわかる。

崩壊深が深いタイプの崩壊は、主に棚田やその近くで、地すべりのような崩壊形態で発生している(図 4-2-2-2)。このタイプの崩壊は、凹型斜面に近い場所で崩壊が発生しているようにもみえるが、表層崩壊タイプほど明確に地形と崩壊発生場を対応づけることは難しい。棚田を切るように崩壊が発生していることから、豪雨時に集水した水の漏水が崩壊発生に影響している可能性がある。



図 4-2-2-2 棚田に崩壊の源頭部をもつ地すべりのような崩壊

表層の土層が流出するタイプの崩壊は、トウモロコシ畑やその休耕地など、樹木が伐採されたあとの草本に覆われた斜面を発生源とする(図 4-2-2-3)。崩壊深は 1 m に満たないため、その場に留まっている草本もあった。Ho Bon の集落の周辺ではトウモロコシ畑が多いため、このような崩壊地をいくつか確認できた。観察した崩壊地の源頭部では、源頭部を横切るように道幅が 30–50 cm 程度の未舗装の作業用小道が通っていた。現地住民はこの小道を使って農作業場へ移動を日常的にしているため、路面は固く締まっていた。小道の存在が崩壊源頭部の位置と関係している可能性もある。このような崩壊は、斜面における草地面積の少ない日本であまり見られない形態かもしれない。



図 4-2-2-3 表面の土層が流出するタイプの崩壊。この崩壊地は、樹木が伐採されたトウモロコシ畑などの耕作地で発生していることが多い。

表層の土層が流出するタイプの源頭部で実施した土壌断面の観察から、褐色の森林土壌が強風化した流紋岩質の岩石を覆っていた(図 4-2-2-4)。A 層の厚さは 3 cm 未満と極めて薄く、深度 20 cm 程度までが AB 層であった。表層から 70 cm までが B 層に対応し、所々に

礫の混入が見られ、主要な根系の発達は一層から 60 cm 以内の範囲であった。深度 77 cm よりも深い場所は C 層に対応し、流紋岩の構造を残しつつ鎌で切れるほど強風化した岩盤と、部分的に細粒な土粒子が間隙を埋める構造をなす。深度 150 cm よりも下に位置する岩盤の風化程度は弱くなっていた。崩壊地内の様子と断面観察から、表層の土層が流出するタイプの崩壊は、土層内でせん断破壊が生じたようである。



図 4-2-2-4 表層の土層が流出するタイプの崩壊地の源頭部で作成した土壌断面

集落の北側にある家屋に流入した巨礫は、Kim 川の左岸側から合流する支流が主な供給源であったと、現地観察および衛星画像から判断できた。巨礫の岩種は流紋岩・流紋岩質溶結凝灰岩が大部分を占めており、粒径は 50cm を超え、数メートルの大きさになるものも点在していた(図 4-2-2-5A)。斜面から合流点付近を遠望すると、Kim 川本流には巨礫が少なく堆砂帯も発達していないのに対して、支流には豪雨時に運搬されたとされる巨礫が点在していた(図 4-2-2-5B)。災害後に撮影された衛星画像から、支流では堆砂帯が上流に向かって連続して発達しており、巨礫が点在している状況を確認できた。支流の上流部では、より規模の大きな崩壊が発生し、それが供給源になったのかもしれない。



図 4-2-2-5 (A) 今回の豪雨災害によって Kim 川に供給された巨礫。(B) Kim 川と支流の合流点。この写真から Kim 川の支流から大量の土砂が供給されたことがわかる。

4. 2. 2. 2 ベトナム北西部山岳地における道路法面崩壊の発生に係る諸条件調査

ベトナム北西部山岳地における道路沿いでは切取法面崩壊が頻繁に見られ、道路開設による斜面災害リスクの上昇、流出土砂量増加等が懸念される。しかし、令和 4 年度の現地調査で確認されたように、ベトナム北西部山岳地における道路は人々の生活に欠かせないインフラとなっており、積極的な整備と、現地の人々による主体的な維持管理が行われている。また、この地域では道路が開設されていない斜面における崩壊も少なくないことから、短絡的に道路開設が斜面崩壊の原因であるとして非難するのではなく、道路開設による斜面崩壊リスク上昇を科学的・定量的に評価することが重要である。その方法の一つが、斜面への降雨浸透とそれによる土のせん断強度低下を再現する数値解析を、道路が開設された場合とされていない場合の両ケースに適用し、斜面の安全率の推移を比較・検証することである。このような数値解析を実行するためには、①対象地における斜面崩壊プロセスが、数値解析で対象としている崩壊プロセスと合致するかを確認したうえで、②パラメータとなる斜面の諸条件(地形、土層の厚さ、透水性、土の物理性等)を把握する必要がある。そこで令和 5 年 9 月に現地調査を行い、ベトナム北西部山岳地における道路切取法面崩壊の発生プロセスを検証するとともに、斜面の諸条件を把握するための調査を行った。

(1) 調査対象路線の概要

調査対象としたのは、イエンバイ省ムーカンチャイ県の中心地であるムーカンチャイ・コミュニティから尾根を越えて南に延びる道路である。このうち、ラオチャイ・コミュニティ内の約 3km の区間を調査対象区間とした(図 4-2-2-6a、図 4-2-2-6b)。この道路は、中心地であるムーカンチャイ・コミュニティと、県南部のコミュニティとの往来に頻繁に利用されている舗装道路である。調査対象とした 3km の区間は、航空写真で道路沿いの崩壊が多数見られ、令和 4 年度の調

査で付近の UAV 空撮も行われていることから、調査対象として好適であると考えた。この区間沿いの斜面の一部では果樹栽培が行われていた。また、道路から森林内に多くの歩道やバイク道が派生していることから、道路沿いの森林は現地の人々に頻繁に利用されていることがうかがわれた。



図 4-2-2-6a イエンバイ省ムーカンチャイ県における調査対象道路の位置



図 4-2-2-6b 調査対象道路の一部

この 3km 区間内に 2 本の重点調査測線(斜面を縦断する測線)を設定して、地形、土層の厚さ、透水性等の詳細調査を行って数値解析に必要なパラメータを得るとともに、崩壊発生プロセスを考察した。その後、3km 区間全体にわたって切取法面崩壊発生位置の記録・観察を行い、重点調査測線で見られた崩壊プロセスが、この地域で一般的なものであることを確認した。重点調査測線の設定にあたっては、まず渡航前に、航空写真を基にして候補となる 18 測線を設定した(図 4-2-2-7(a))。そして現地調査の冒頭に各々の候補の状況を確認し、調査

の安全性等を考慮して、崩壊発生箇所、非発生箇所から各々1 測線(測線 11、12)を選定した(図 4-2-2-7(b1)、(b2))。これらの測線上で、以下に述べる土壌断面調査、簡易貫入試験、透水試験を実施した。測線 11 と 12 は隣接し条件も似ているが、測線 11 では切取法面崩壊が発生し、やや尾根に近い測線 12 では崩壊は発生していない。測線 11 における崩壊は幅 23m と比較的大規模で航空写真でも明瞭に確認できるが、現地で確認したところ、崩壊の深さは 1 m 程度と浅かった。

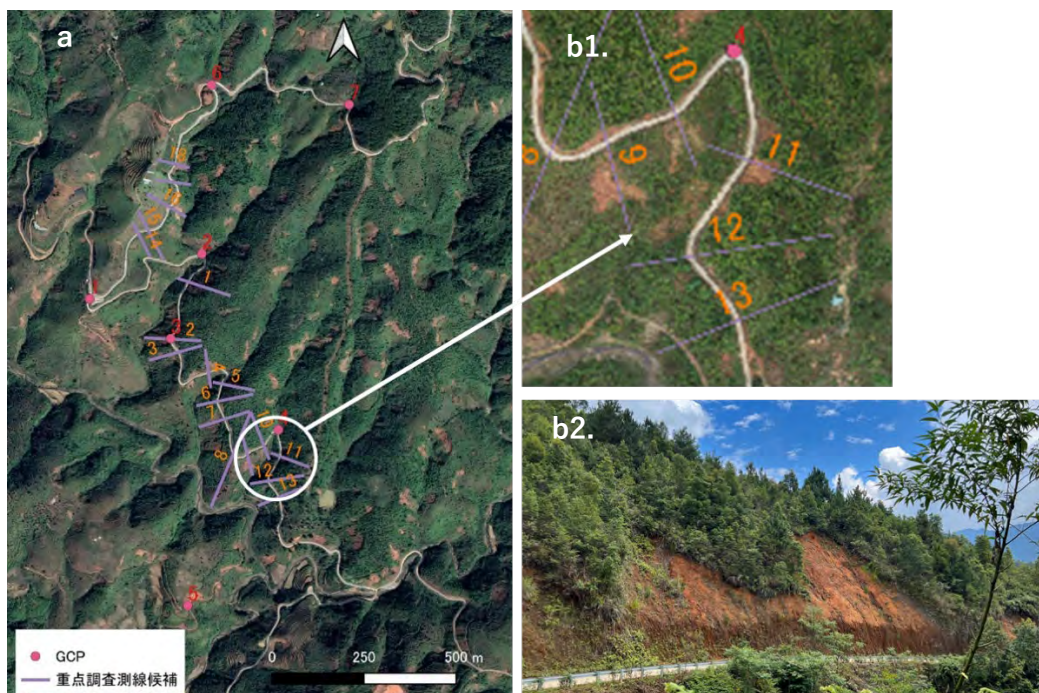


図 4-2-2-7 (a)調査対象区間内に設定した重点調査測線候補と GCP の位置。
(b1)重点調査測線として選定した測線 11、(b2)同測線 12

(2) UAV 空撮による DSM の作成

調査対象とした約 3km の区間沿いの山地斜面の地形を把握するため、対象地の UAV 空撮を行い、画像解析によって DSM(Digital Surface Model)を作成した(図 4-2-2-8)。UAV 空撮時、空撮写真上で認識可能な場所に対空標識を設置し、GPS 測位によりその位置の座標を取得した(図 4-2-2-7(b1)の赤丸)。その位置を(GCPGround Control Point)とすることで、DSM に絶対座標を付与した。

作成した DSM より、測線 11、12 に沿った尾根から沢までの平均傾斜はそれぞれ 21、22 度であった。いずれの測線も、尾根付近の傾斜は 10～15 度と緩やかであるが、斜面下部に向けて徐々に傾斜が急になる凸型斜面であった。特に、崩壊発生地点である測線 11 では、崩壊源頭部の少し上が遷急線になっており、遷急線より下側の傾斜は 35 度以上であった。後

述するように崩壊発生地である測線 11 と非発生地との測線 12 で、土層厚に顕著な差は見られなかったが、法頭付近の傾斜の違いが、崩壊の発生・非発生を分ける要因の一つになった可能性がある。

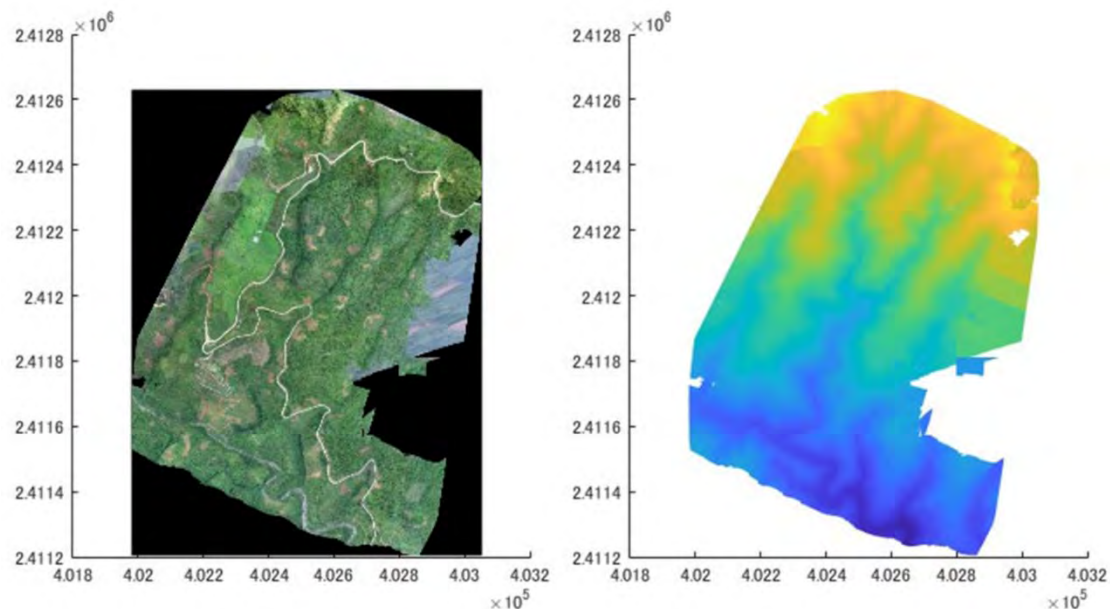


図 4-2-2-8 UAV 空撮写真から作成した調査対象区間周辺のオルソ画像と DSM

(3) 重点調査箇所における土壌断面調査

(4) で述べるように、本調査では斜面の土層の厚さを把握するため測線に沿って簡易貫入試験を行った。簡易貫入試験は 5 kg の重りを高さ 50cm から自由落下させることでコーンを地盤に貫入させ、10cm 貫入させるために必要な落下回数を Nd 値として記録するもので、Nd 値は地盤の固さの指標となる。一般に土層は基岩層よりも Nd 値が低くなるが、土層と基岩層を分ける Nd 値の目安は調査地によってさまざまである。そこで、本調査地における目安を得るため、測線 11 の崩壊源頭部付近で土壌断面の観察を行い、その地点での簡易貫入試験結果と対応させた。

土壌断面調査は、崩壊源頭部の滑落崖を利用し、深さ 177cm の垂直な土壌断面を露出させて行った(図 4-2-2-9a)。観察の結果、地表から 10cm 程度までの黒色の層が堆積有機物層、その下 110 cm 程度までの黄褐色の層が移動歴のある土層、その下の赤色の層が、母岩が原位置で強度に風化した基岩層と考えられた(図 4-2-2-9b)。赤色の基岩層は爪で容易に削り取れるほど風化が進んでいるが、緻密で粘着力が高いと思われ、土壌サンプル採取の際は垂直な側面を持つ円筒型に容易に成型することができた。日本に比べて地殻変動が緩やかであるために、基岩が原位置で長期間にわたり風化し、このような強風化基岩層が形成され

たのではないかと推察された。この土壌断面の背後で行った簡易貫入試験の結果、土層に対応すると思われる表層から深さ 120cm 程度までは Nd 値が 5 以下、120～350cm 程度で 5～20、350～500 cm で 20～35 であった(図 4-2-2-9b)。これらの結果から、本調査地ではおおむね Nd 値 5 以下を土層の目安とすべきと考えられた。また、110cm 程度という土層の深さは、観察された崩壊深と合致することから、測線 11 における崩壊は土層が滑り落ちた表層崩壊であると推察された。

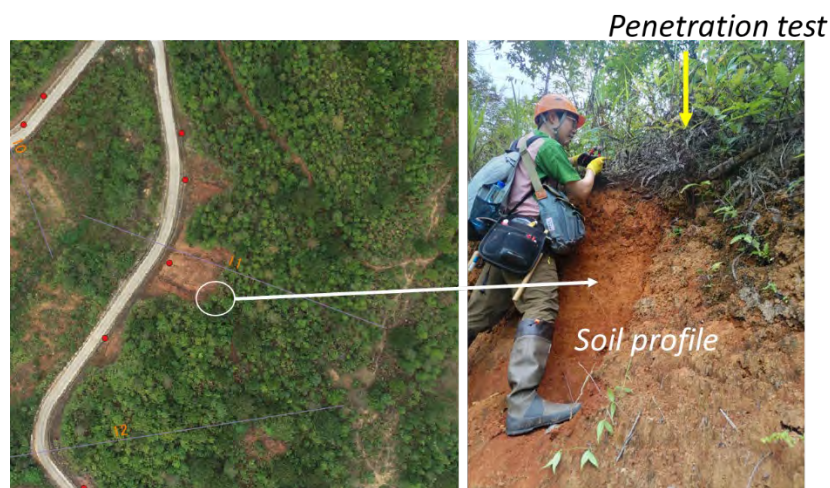


図 4-2-2-9a 土壌断面作成位置と簡易貫入試験実施位置

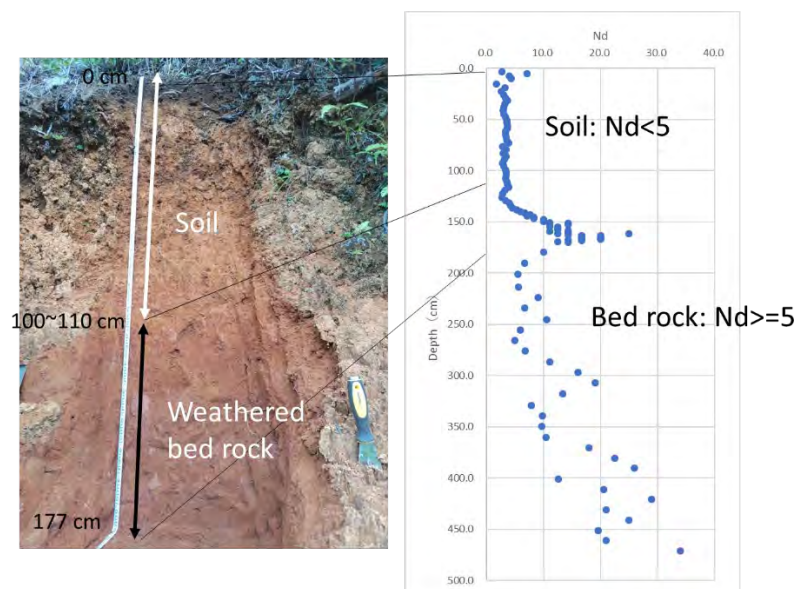


図 4-2-2-9b 土壌断面観察結果と対応する簡易貫入試験結果

(4) 簡易貫入試験による土層厚さの推定

2 本の重点調査測線に沿って約 10m 間隔で簡易貫入試験を行い、各地点の土層厚さを

推定した。崩壊発生地点である測線 11 では崩壊源頭部から尾根にかけて 6 点、崩壊非発生地点である測線 12 では切取法面の法頭から尾根にかけて 10 点で、深さ 3m まで簡易貫入試験を行った(図 4-2-2-10a)。結果を図 4-2-2-10b に示す。図 4-2-2-10b 中の点線は、(3)で得られた土層の目安となる Nd 値を適用して推定した土層の深さである。両測線で、土層の深さは 0.4~1.0 m 程度と推定され、尾根付近ではやや薄くなる傾向が見られた。



図 4-2-2-10a 簡易貫入試験の様子と実施位置

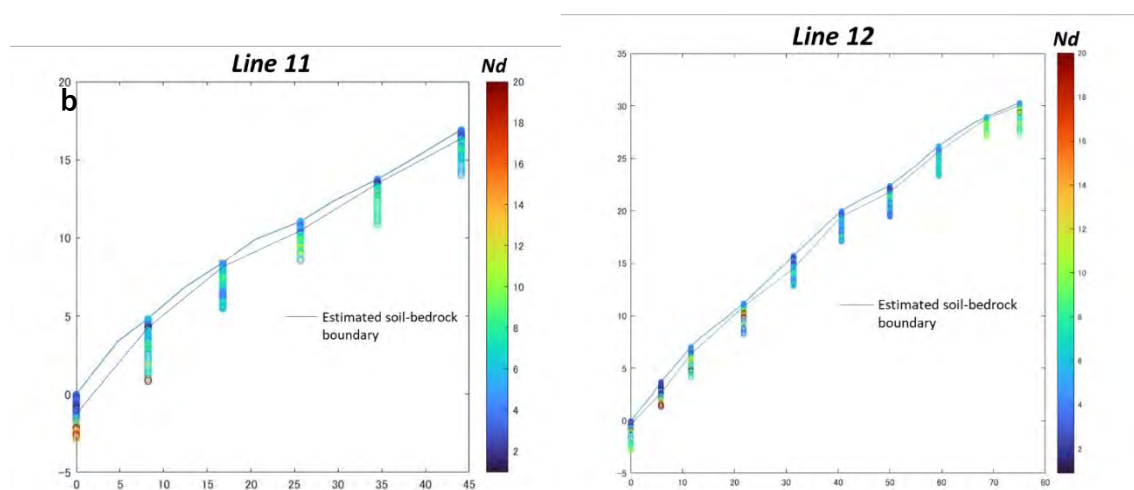


図 4-2-2-10b 簡易貫入試験の結果

(5) 土層と基岩層における透水係数の測定

土壤断面調査を行った地点において、土層と基岩層からそれぞれサンプルを採取し、変水位透水試験により飽和透水係数を求めた。土層については深さ 5cm、15cm、25cm の 3 深度から各 1 サンプル、基岩層については深さ 140 cm から 3 サンプルを採取した。結果を図 4-2-2-11 に示す。土層の飽和透水係数は、深さ 5、15、25 cm のサンプルで各々 2.4×10^{-2} 、

1.1×10^{-2} 、 6.6×10^{-3} cm/sec であった。一方、基岩層から採取した 3 サンプルの飽和透水係数は 7.4×10^{-4} 、 5.5×10^{-4} 、 6.8×10^{-3} cm/sec であった。基岩層の 3 サンプルのうち 1 サンプルは、他の 2 サンプルよりも一桁高い飽和透水係数となったが、これはサンプル採取時の土の乱れ等が影響したものと推察される。それ以外の基岩層 2 サンプルの飽和透水係数は、深さ 5、15 cm に比べて 2 桁、深さ 25 cm に比べて 1 桁低かった。土壌断面調査より、赤色の基岩層は強度に風化しているが緻密な粒子の集合体となっており、それが透水性の低さにつながっていると考えられる。この基岩層が難透水層となり、降雨は上部の基岩の上の土層の飽和度を上昇させると考えられる。

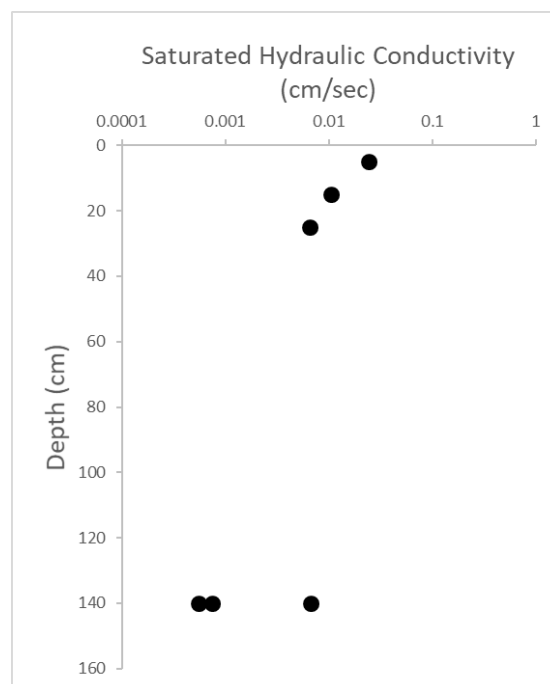


図 4-2-2-11 各深度から採取したサンプルの飽和透水係数

なお、先に述べたように本調査対象地の道路沿いの森林は、果樹栽培、薪等の採集、家畜の放牧等で頻繁に利用されているとみられる。重点調査測線付近に、頻繁な人の立ち入りで強く踏み固められたと思われる林地が見られたため、参考にその地点で現場浸透能試験を実施した(図 4-2-2-12)。その結果、この地点の浸透能は 1.3×10^{-4} cm/sec 程度であった。これは、人の立ち入りの形跡がない林地で同じ方法で測定した浸透能 1.9×10^{-2} cm/sec に比べて極めて低く、人の立ち入りにより大きく低下したものと考えられる。このような、人の立ち入りにより踏み固められたと思われる場所は、本調査地周辺では珍しくないように思われた。日本では一般に林地の浸透能は極めて高く、地表流の発生は林道や作業道の路面等で問題になる程度だが、森林が強度に利用されている途上国では、森林内でも人の立ち入りによって浸

透能が低いエリアが形成される場合があると考えられる。本調査の主題ではないが、そのような低浸透能のエリアで発生する地表流の挙動が、斜面崩壊や土砂流出にどのように寄与するかも、途上国ならではの課題になり得るように思われた。



図 4-2-2-12 人の立ち入りにより踏み固められた林地における現場浸透能試験

(6) 土の物理性の測定

土壌断面調査を行った地点において、土層(地表からの深さ 0.8m)と基岩層(深さ 1.4m)からそれぞれサンプルを採取し、湿潤密度(単位体積重量)、乾燥密度、間隙率、粘着力、せん断抵抗角等の物理性を測定した。各種土質試験はベトナム森林科学アカデミーを通じてベトナム国内の試験機関に依頼して実施した。せん断抵抗角と粘着力は非圧密非排水三軸圧縮試験によって求めた。その結果を表 4-2-2-1 に示す。間隙率や乾燥密度を比較すると、基岩層は土層に比べやや密実であると言える。一方、せん断抵抗角と粘着力に関しては両者に大きな差はなく、いずれも非常に高い粘着力を持つことが確認された。

表 4-2-2-1 土層、基岩層から採取したサンプルの物理性

No.	サンプル名	採取深さ m	採取時 含水比	飽和時 含水比	採取時 湿潤密度	飽和時 湿潤密度	乾燥密度	土粒子 密度	間隙比	間隙率	粘着力	せん断 抵抗角
			W	Wbh	γ_w	γ_{wbh}	γ_c	ρ	e	n	C	ϕ
			%	%	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³		%	kN/m ²	degree
A	基岩層	1.4	34.0	48.1	1.59	1.66	1.19	2.71	1.284	56.2	41.944	18.033
B	土層1	0.8	37.2	47.7	1.56	1.67	1.14	2.72	1.392	58.2	44.394	17.300
C	土層2	0.8	38.8	49.6	1.54	1.63	1.11	2.71	1.443	59.1	42.042	17.967

(7) 調査対象区間内全体における崩壊地点の記録と観察

重点調査測線の調査結果から、これらの測線沿いでは、厚さ 0.4~1.0m 程度の透水性の

高い土層の下に、風化しているが粘着力が高く透水性が低い基岩層が存在する構造であることが明らかとなった。約 1m という土層厚は測線 11 における崩壊深と一致する。これらのことから、測線 11 における崩壊は、土層に降雨が浸透し、せん断強度が低下したことで滑り落ちた表層崩壊であると考えられた。この崩壊形態は、数値解析で取り扱う崩壊形態に合致している。このような崩壊形態が、測線 11 の地点に限らず、この地域において一般的に見られるものであるか確認するため、調査対象区間 3km 全体にわたって切取法面崩壊の位置と規模をその発生形態を観察した。

切取法面崩壊発生位置を図 4-2-2-13a に示す。3km の区間内に計 58 箇所の崩壊が確認された。その多くは崩壊の幅 10m 以下の小規模なものであった。規模別の発生箇所数を図 4-2-2-13b に示す。

観察の結果、崩壊幅の大小に関わらず、深さ 1m 以下の浅い崩壊が大多数を占めることが明らかとなった。また、切取法面崩壊と言っても実際には法頭よりも上部の斜面の土層が滑り落ちたもので、切取法面自体は急勾配(法面勾配 65～70 度程度)のまま保たれているケースが多く見られた(図 4-2-2-13c)。切取法面の大部分は先に述べた土壌断面調査で見られた赤色基岩が露出したもので、その高い粘着力により、急勾配のまま保たれていると考えられる。令和 3、4 年度の調査ではこの地域の道路の切取法面に法面保護工がほとんど見られないことが報告されているが、このような土質条件を反映したものかもしれない。

これらの観察結果から、測線 11 で見られた崩壊形態(深さ 1m 程度の土層が、降雨浸透によるせん断強度の低下により、遷急線付近を源頭部として滑り落ちる浅い崩壊)はこの地域に一般的に見られる崩壊形態であると考えられた。



図 4-2-2-13a 調査対象区間で切取法面崩壊発生位置

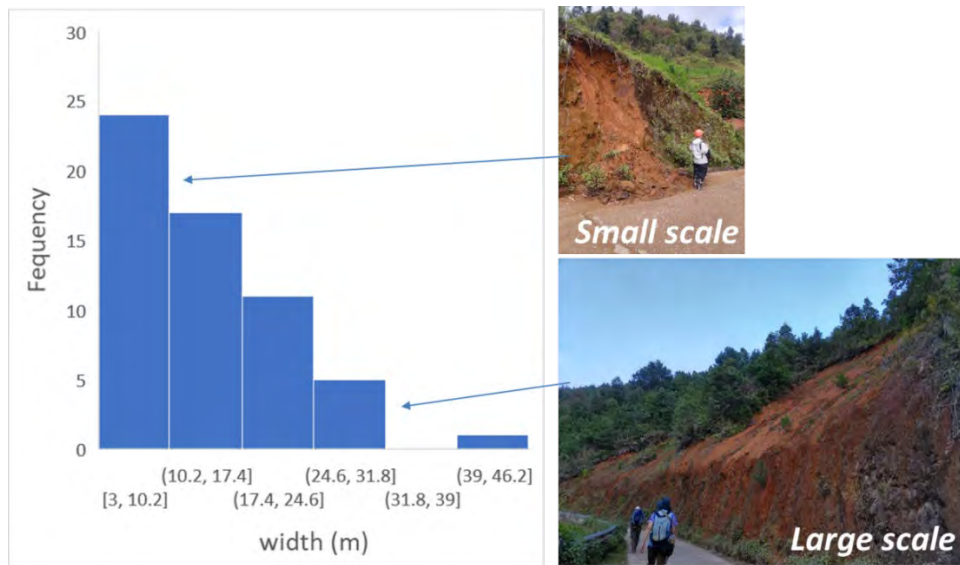


図 4-2-2-13b 崩壊幅別の箇所数



図 4-2-2-13c 調査対象区間で多く見られた崩壊形態

(8) まとめ

本調査を通じて、この地域の道路沿い斜面の一般的な崩壊形態は、深さ 1m 程度の浅い土層が、降雨浸透によるせん断強度の低下により滑り落ちる現象であると考えられた。この崩壊形態は、数値解析で取り扱うことができる崩壊形態に合致している。このような崩壊形態は道路を開設していない斜面でも発生するが、道路開設の影響は、土層の足元を切り取ってしまうことによる不安定化として評価できると考えられる。今後、本調査で得られたパラメータ値を入力として、道路の有無によって降雨時の安全率の推移がどのように違うか、評価を行う。

4.2.2.3 ベトナム北西部の中山間地域における日本の治山施設の効果的な適用手法の検討

日本では、治山施設が山地災害の防止、森林の維持造成、水源の涵養、生活環境の保全など国土保全政策の重要な一環として機能しているが、その一方で、ベトナムなど開発途上国では、治山施設は一般的ではなく、山地災害防止機能が十分に発揮されていない。その背景にはコストの問題や専門的な技術、知識の不足があると推定される。そこで、ベトナム北西部ソラ省及びイエンバイ省において、日本の治山施設を効果的に適用するための手法を明らかにするための調査を実施した。

ベトナム北西部の中山間地域における治山施設については、既往調査によっていくつかの情報が既に整理されている。例えば、治山施設のひとつである「ふとんかご(角型蛇籠)」が広く普及していることが確認されている。ふとんかごは、鉄線で籠状に組んだ金網の内部に石を詰め込むことで、湧水や表流水による法面の侵食防止や、斜面崩壊や地すべり発生後の土留めとしての機能を果たす。また、ベトナムでは、ふとんかごの設計基準(TCVN-10335-2014)で、その使用に関する詳細なガイドラインが提供されていることも判明した。ベトナム北西部モ

ンゾン・コミューン(Muong Gion commune;MGC)の道路沿いに設置されている 10 カ所の治山施設に関しては、施設の種類、使用材料、サイズ、施工者・管理者、資金源、品質評価、使用上の問題などが調査され、ふとんかごや擁壁などの土留工法が施設ごとに異なるサイズや構造で用いられており、斜面の崩壊や侵食の防止を目的として政府主導で設置されていることがわかった。これら施設の品質は様々で、新しく堅牢なものもあれば、劣化や損傷が見られる施設もあり、修繕や更新が必要とされる状況であった。この報告は、ベトナムでの治山施設の現状を基に、日本の治山技術の適用可能性とその際の課題を検討するための重要な基盤となる。これを受けた今後の検討課題として、設置費用、中長期的な維持コスト、地域の特性との親和性を考慮した治山施設の選定が提示された。

以上を踏まえ、本年度は、イエンバイ省内において引き続きふとんかごの詳細調査を実施するとともに、ふとんかごが現地で普及している要因を考慮しながら、ベトナムで適用可能性のある日本の治山施設を選定し、提示する。また、行政機関等への聞き取り調査を通じて、適用に際しての課題を明らかにする。

(1) イエンバイ省ムーカンチャイ地区で建設されたふとんかごの構造

令和 4 年度の治山施設調査(MGC)に引き続き、今年度はイエンバイ省ムーカンチャイ地区(Mu Cang Chai;MCC)での治山施設調査を実施した。調査は 2023 年 9 月 7 日に実施され、とくに道路沿いに設置された 2 カ所のふとんかご(以降、ふとんかごA、ふとんかごB、と呼称する)を対象として、その構造やサイズ、使用材料等を把握するとともに、国家基準で定められた規格との比較も行う。各ふとんかごの位置は図 4-2-2-14 に示すとおりである。

はじめに、ふとんかごの設置理由、構造、材料等について記述する。ふとんかごAは、道路法肩部に設置されている(図 4-2-2-15(左))。設置目的は、道路開設に伴って発生した法肩部斜面で発生した小規模な表層崩壊を含む侵食に対する道路保全であると考えられる。全長は 12.2m で、1 辺の長さが約 0.9m の直方体かごが高さ方向に 3 段積まれた構成になっている。金網のメッシュ間隔は 10~13 cm である。一方、ふとんかご B は、道路法肩部に沿って弓状に湾曲した形状で設置されている(図 4-2-2-15(右))。設置目的はふとんかご A と同様に表層崩壊もしくは表面侵食からの道路保全と考えられる。全長は 28.8m で、1 辺の長さが同じく 0.9m のかごが高さ方向に 4 段積まれた構成になっている。金網のメッシュ間隔は 7~12cm である。ふとんかご A、B ともに、金網を構成する材料は直径約 2mm の鉄線である。観察の限り破断部分は認められないことから、一定の品質と強度が確保されていると推定される。ふとんかご A、B ともに、金網かご内部に栗石(ぐりいし)と呼ばれる碎石が隙間なく充填されている(図 4-2-2-16a)。現地では人工的に破碎、調整された平板形状の栗石が多く使われており、一つあたりのサイズは、長さと幅が 15-35cm 程度、高さは 5-15cm 程度を基本とする(図 4-2-

2-16b)。ただし、かごの上部には調整のためか、相対的に小型の栗石(長さ、幅が 10-20cm、高さは 5 cm 以下)も使用されている(図 4-2-2-16c)。



図 4-2-2-14 調査対象のふとんかごの位置(左)及びふとんかご B の遠景(右)。
ともに、イエンバイ省ムーカンチャイ地区



図 4-2-2-15 イエンバイ省ムーカンチャイの道路法肩部の斜面に建設されたふとんかご A(左)とふとんかご B(右)

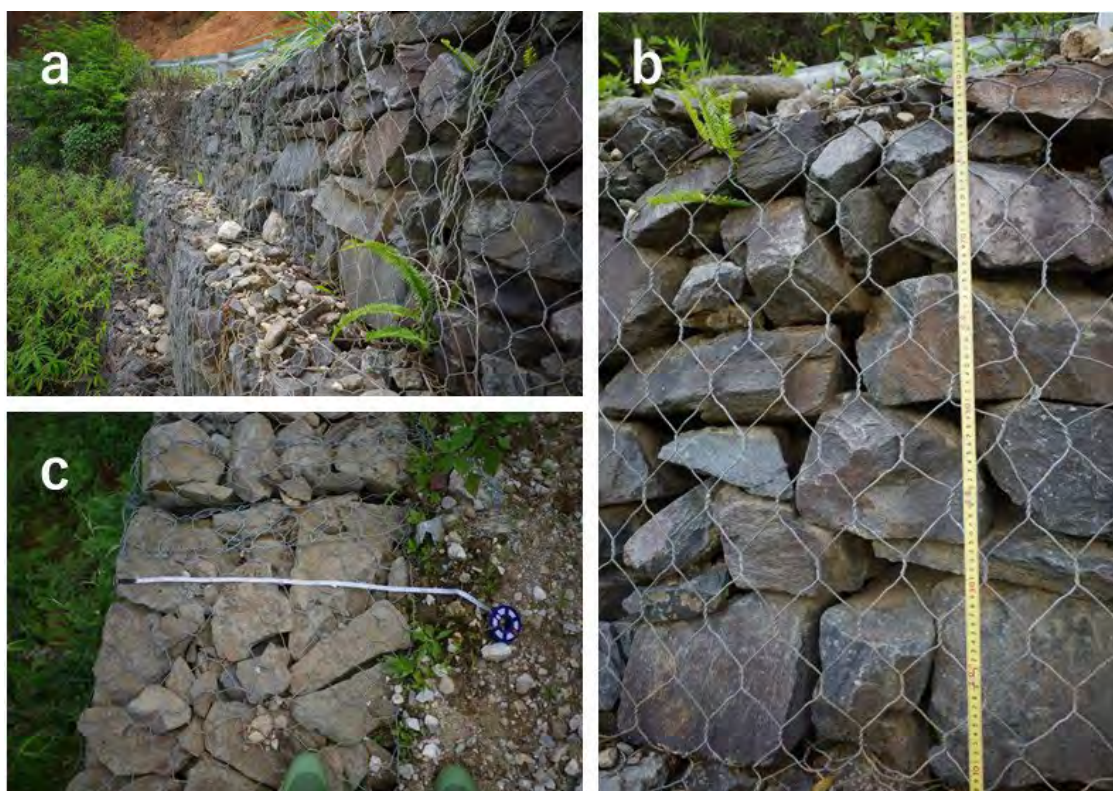


図 4-2-2-16 ふとんかご金網メッシュ内部の栗石(中詰め石)

次に、金網や栗石について国家基準と実際の状況を比較することで、治山施設の規格に対する遵守状況を推察する。ベトナムでは、国家設計基準によってふとんかごを含む蛇籠一般について、金網や栗石の規格が明記されている(図 4-2-2-17、表 4-2-2-2)。現地ふとんかご A、B に使われている金網メッシュは国家設計基準の「10×12」規格に該当すると考えられる。栗石(図中では中詰め石と表記)に対する国家設計基準の規格は、「ふとんかご」の場合、高さが 0.3m、適当なサイズが 102～203mm と規定されている。これに対して、現地で確認されたサイズは、長さ×幅 15～35cm、高さ 5～15cm であり、長さ×高さを逆に読むことで概ね基準に調和的な大きさと判断できる。以上から、ベトナムでは治山施設の施工にあたっては国家設計基準が概ね遵守されていると推定された。

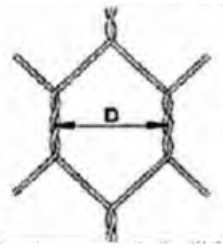
	単位：mm		
	メッシュ規格名	D	公称サイズ
	6x8	63	63 x 85
	8x10	83	83 x 114
	10x12	102	102 x 135
	Dと比較誤差		
			±10%
			±10%
			±10%

図 4-2-2-17 ふとんかご(蛇籠)金網メッシュの規格(ベトナム国家設計基準 TCVN-10335-2014)

表 4-2-2-2 ふとんかご(蛇籠)中詰石の規格(ベトナム国家設計基準 TCVN-10335-2014)

種類	高さ (m)	適当なサイズ (mm)
浸食防止かごマット, 小型	0.17	76~127
浸食防止かごマット, 中型	0.23	76~127
ふとんかご	0.3	102~203
ネールかご	0.5 や 1.0	102~203
円筒型じゃかご	0.6	102~203

(2) 林野庁治山技術基準で示された日本の治山施設

林野庁の治山技術基準は、技術水準の向上と事業の合理化を図ることを目的として、森林整備保全事業における計画、調査、設計、施工のための技術上の基本事項を定めている。最新の改訂は令和 5 年 5 月 1 日に行われ、内容には総則や山地治山、防災林造成、地すべり防止などが含まれる。このうち山地治山事業編では、山地治山事業の基本理念とともに使用される治山施設の適正な選択と配置のための指針が示されている。具体的な治山施設は、溪間工(治山ダム、護岸工、水制工、流路工)と山腹工(山腹基礎工、山腹緑化工、落石防止工)に分類されるが、それらはさらに細分化され、全体では表 4-2-2-3 のとおり 28 種類の治山施設が示されている。

表 4-2-2-3 日本の既存治山施設の一覧とベトナムでの適用性に関する評価(暫定)

第1種別	第2種別	第3種別	第4種別	目的	現地普及	ニーズ	材料コスト	施工技術	総合適用性	備考
渓間工	治山ダム工			渓床の縦侵食及び横侵食の防止、山脚固定、土砂流出の抑止・調整	○		×	×	×	床固工として現地確認
	護岸工			渓岸の横侵食の防止、山腹崩壊の防止、山腹工作物の基礎	×		×	×	×	
	水制工			流路の規制、渓岸の侵食防止、護岸の洗掘防止	×		×	×	×	
	流路工			流路の固定、縦断勾配の規制	×		×	×	×	
山腹工	山腹基礎工	のり切り工		不規則な山腹斜面の整形	◎		○	○	○	
		土留工	コンクリート土留工	不安定土砂の移動抑止、斜面勾配の修正、表面流水の分散	×		×	×	×	要コンクリート
			鉄筋コンクリート土留工		×		×	×	×	要コンクリート
			練積土留工・空積土留工		○		△	×	△	
			鉄線かご土留工		◎		○	△	○	=ふとんかご
			丸太積土留工		×		○	△	△	
			枠土留工		×		×	×	×	
		埋設工		のり切り土砂等の安定	×		△	×	△	堆積土砂の中に施工
		水路工		斜面侵食の防止、浸透による土の強度低下及び間隙水圧増大の防止	○	斜面	△	○	○	道路沿いで確認
		暗きょ工		地下水及び浸透水の速やかな排除	×		△	×	△	
		張工		斜面の風化、侵食及び軽微な剥離、崩壊の防止	○		×	×	×	要石材、コンクリート
		のり枠工		斜面の侵食及び崩壊の防止	×		×	△	×	要コンクリート、アンカー
		アンカー工		斜面の崩壊防止、工作物の安定確保	×		×	×	×	要アンカー
		補強土工		補強材の配置による地山あるいは盛土の安定	×		×	×	×	要補強土
		モルタル(コンクリート)吹付工		崩壊の拡大防止と斜面の安定(緑化不可能な斜面が対象)	○		△	△	△	現地確認(吹付前のラス張り)
	山腹緑化工	緑化基礎工	柵工	斜面表土の流亡防止、植栽木の良好な生育条件の造成	○		○	○	○	
			筋工	崩壊地斜面の雨水分散、地表侵食防止、植生の生育環境整備	×		○	○	○	
			伏工	降雨、凍上による侵食及び崩落の防止、植生の発芽環境の改善	×		○	○	○	
			軽量のり枠工	雨水の分散、斜面の侵食防止、植生の早期導入	×		×	△	△	
		植生工	実播工	播種による早期緑化	×		○	○	○	
			植栽工	樹木植栽による崩壊防止機能の高い森林の造成	○		○	○	○	
落石防止工	落石予防工			転石や亀裂の多い露岩の除去、固定による落石発生の防止	×		○	△	△	
	落石防護工			発生源から保全対象に至る斜面における落石の直接抑止	×		×	△	×	
	森林造成			樹木根系及び樹幹による落石発生の防止及び軽減	○		○	○	○	

(3) ベトナムへの適用が期待される治山施設の検討

ベトナムの中山間地域でふとんかごが普及している背景には、主に三つの理由が挙げられる。第一に、ふとんかごは低コストであること、第二に、必要な材料の調達が容易であること、第三に、施工性が良く工期が短いことである。これらの条件は経済状況に問題を抱える開発途上国にとって重要なポイントである。これら三つの条件を踏まえ、日本の個々の既存施設の適用性を、1) 現地確認、2) 現地ニーズ、3) 材料コスト、4) 施工技術、の4点で◎、○、△、×の4段階で暫定的に評価した(表 4-2-2・3)。ただし、現地ニーズは聞き取り調査が未完了のため空白としている。同表の中では、のり切り工および鉄線かご土留工(=ふとんかご)は、材料コストや施工技術の観点で高評価であり、実際にベトナム国内での普及が進んでいる。一方で、治山ダム工等の溪間工は大量のコンクリートを必要でコスト高となるため、その普及には課題が残ると考えられた。

将来の高い適用性が予想される施設として山腹緑化工があげられる。山腹緑化工は、斜面の植生を回復させ、植生による被覆効果及び根系の緊縛効果により斜面の安定を図ることを目的とする施設であり、荒廃地における森林回復において有効な施設である。植生の生育基盤を造成又は改善する緑化基礎工と、植生を導入する植生工(実播工・植栽工)に分けられるが、本事業では、地域を選ばず汎用性の高い前者の緑化基礎工に注目する。緑化基礎工は、山腹荒廃地における斜面の安定や緑化を目的として設置される施設であり、柵工、筋工、伏工、軽量のり枠工等の工種からなる。この方法は、低コストで行える点、現地で入手しやすい資材を使用できる点、そして技術的に複雑でないため施工が容易である点が特徴で、これらは、ベトナムでふとんかごが普及した理由と非常に似ている。

柵工は、その名の通り、丸太で造られた柵を斜面に設置する工法で、主に表面の土砂の動きを止める役割を有する。丸太を使用し、地上に出ている部分で 40 cm 前後の高さの柵を作り、斜面の土の移動を防止する。この柵工は、とくに植生の生育環境を整える目的で用いられ、大きな土の圧力を受けるような場所には適さないが、表面の土砂の動きを効果的に防ぐことが可能である。

筋工は、斜面に細かい帯を等高線に沿って配置し、斜面を階段状に整える工法である。この工法は斜面の雨水を分散させ、土の侵食を防ぐとともに、植栽に適した環境を創出する。筋工の一般的な形態として、丸太を使用した丸太筋工があり、これは高さが 10 cm 程度で、背面に苗木を植栽することが多い。筋工の材料には他にも土のうや石が使用されることもある。

柵工と筋工の類似点は、どちらも山腹斜面を保護し、植物の生育を促進するための緑化基礎工として機能する点であり、またコンクリートを使用しないことから、材料調達性において高い優位性を持つ。両者の違いは、柵工は主に表面の土砂の動きを防ぐのに対し、筋工は斜面

の雨水を分散させることにより広範囲での土の侵食を防ぎ、より広範囲にわたる植生の促進に貢献する。また、構造的に柵工は柵としての形状をしており、筋工は斜面に沿った階段状の形状をしている点に違いがある。

(4) 日本の治山施設の有用性に関する地域行政機関への聞き取り調査

ベトナムでの適用が期待される日本の治山施設に対する現地行政機関の意見を聞くことを目的に、ムーカンチャイ県人民委員会財務計画部門(「The Office of Planning Finance of Mu Cang Chai」)を訪問し、代表者に対して聞き取り調査を実施した(図 4-2-2-18)。同部門は、ムーカンチャイ地区の土地利用計画を担う行政組織である。聞き取りにあたり、資料(図 4-2-2-19)を用いて、荒廃地復旧に対して貢献が期待できる日本の治山施設を紹介し、とくに筋工についてはその目的、材料コスト、施工性等を詳細に紹介し、現地行政組織としての意見を聞き取った。

聞き取りの結果、代表者からは、日本の治山施設の一種である筋工について、農地整備のための施設としての有効性に関心が示された。このことは、現地住民のみならず行政機関においても山腹斜面の利用形態は農地であり、森林回復に対する意識の希薄さが明らかとなった。このことから、日本の治山施設の中山間地域への適用にあたっては、単なる防災・減災としての利点を伝えるだけではなく、農業生産等の付加価値を含めたアピールが重要であることが分かった。



図 4-2-2-18 Mu Cang Chai 県人民委員会財務計画部門(左)と聞き取りの状況(右)



図 4-2-2-19 聞き取り調査に使用した資料

(5) まとめ

ベトナム北西部の中山間地域で日本の治山施設の適用可能性とその効果を検討した。とくに「ふとんかご」が普及している背景を踏まえ、イエンバイ省にて、ふとんかごの施設の種類や使用材料、品質評価、さらに設計基準への遵守性など多方面から現状を詳細に把握した。その上で、日本の治山技術がベトナムでの荒廃地復旧にどのように貢献できるかを探った。その結果、ベトナムの中山間地域に適用可能な日本の治山施設として「山腹緑化工」を特定し、その低コスト性、材料調達の容易さ、施工の容易さが現地のニーズに合致することを明らかにした。これらの成果は、ベトナムでの治山施設の普及に向けた重要な基盤となる。

一方で、現地行政機関での聞き取り調査から、地元行政は日本の治山施設に対して山地斜面の農地整備への有効性に関心を示した。このことから、日本の治山施設の適用においては、防災・減災のメリットを超えた付加価値の提案が重要であることが明らかになった。

4.2.2.4 住民の意識調査

本事業の主な目的の一つは、日本の治山技術をベトナム国に適用する際に必要な手法を、同国の自然環境条件や社会情勢を考慮しながら開発することである。この目的を達成するためには、対象地域における住民の土地利用の実態や防災意識、防災行動などを把握する必要がある。本調査は、社会経済状況、住民の森林防災機能への認識、政府へのニーズ・期待、防災意識、防災行動を明らかにすることを目的としている。そこで、本年度は本事業が研究対象とするベトナム北部のソララ省に位置する Muong Gion Commune (以下、MGC) を対象

に、世帯調査を行った。

(1) 世帯調査の概況

調査の対象である MGC は、2022 年 12 月に、Huoi Teo Village と Gion Village とが合併し、18 の Village から構成された(図 4-2-2-20)。アンケートを設計し、2022 年 12 月と 2023 年 2 月に予備調査を行った。本調査は、2023 年 9 月 27 日から 10 月 4 日まで、および 11 月 30 日から 12 月 11 日までの 2 回にわたって、11 の Village の 350 世帯を対象に実施された。これら 11 の Village の世帯数の合計は 1,807 であり、Commune の世帯総数 2,474 の 73%を占めている。調査は、Village に住む世帯数、地すべり、鉄砲水、洪水などの自然災害の危険性がある地域にあるかなどの基準に基づいている。Commune 側から世帯数が多い、自然災害が発生しやすい Village を選んでほしい要望があった。また、MGC はタイ族が主な住民であるが、他の民族も存在するから、モン族の Huoi Van、カン族が主流となる Mac Liu、そして多くの京族が居住する Chieng Le も選ばれた。世帯数は一つの Village に少なくとも 26 世帯を予定し、それ以外には、均等割りを設定した。調査対象の世帯は、Village の中に非復元無作為抽出法によって選ばれた。調査対象が外出するなどの制約があったため、最終的に Huoi Van は 21 世帯、他の Village は 25 世帯以上となった(表 4-2-2-4)。



図 4-2-2-20 Muong Gion Commune における調査対象の 11 village の地理的分布

表 4-2-2-4 調査対象の各 village の概況

No.	Village 名	調査世帯数	総世帯数	%	タイ族%	モン族%	カン族%	京族%
1	Bo Xanh	46	280	16.4%	98.3	1.0		0.7
2	Chieng Le	25	98	25.5%	68.3	0.8	1.1	29.8
3	Gion	34	204	16.7%	99.6			0.9
4	Huoi Man	26	99	26.3%	100.0			
5	Huoi Van	21	75	28.0%		100.0		
6	Khop	29	183	15.8%	99.7		0.3	
7	Mac Liu	26	130	20.0%	16.9		82.3	0.9
8	Na Mat	26	110	23.6%	84.5		14.8	0.7
9	Pa Nga	26	102	25.5%	65.9		34.1	
10	Phieng Mut 1	43	255	16.9%	100.0			
11	Xa	48	271	17.7%	100.0			
合計		350	1,807					

注: Village の住民の民族構成は 2022 年 12 月合併前のデータであるが、総世帯数は調査直近の 2023 年 8 月現在のデータである。Huoi Teo が Gion を離れるため、今回の調査には Huoi Teo を含めないように設定した。

(2) 世帯の属性

サンプル世帯の人員は最小 1 人、最大で 10 人であるが、4 - 5 人の世帯が多い(表 4-2-2-5)。夫婦ともに労働する傾向があるが、子供が成長すると労働に参加することが一般的である。そして、1 世帯には通常 2-4 人の労働者がいる。その中で、平均的に 1 世帯に 1 人が Commune 外で労働している。Chieng Le は、世帯構成員が 3.9 人で最も小さく、年間所得が最も高く、出稼ぎ労働経験者数(過去一年間に Commune 外で働いたことがある、または、調査時に Commune 外で働いている労働者の数)も少ない。出稼ぎ労働経験者数が最も少ないのは、モン族の Huoi Van である。モン族はタイ族とは異なり、トウモロコシやキャッサバなどの栽培に力を入れており、標高の比較的高い山地での生活に慣れているとされている。Huoi Van は交通の不便もあるため、所得水準が低いことが調査で分かった。

表 4-2-2-5 調査対象の世帯の社会経済属性

No.	Village 名	世帯人員 (人)		労働者数 (人)		出稼ぎ労働者数 (人)		年間所得 (百万ドン)	
		平均値	中央値	平均値	中央値	平均値	中央値	平均値	中央値
1	Bo Xanh	4.5	5	3.1	3	1.5	1	104.4	86.9
2	Chieng Le	3.9	4	2.4	2	1.7	2	212.6	226.3
3	Gion	4.7	4	3.5	3	2.2	2	129.1	115.8
4	Huoi Man	4.6	4	3.1	3	1.5	1	126.1	84.9
5	Huoi Van	5.0	5	2.5	2	1.0	1	59.0	40.3
6	Khop	5.1	5	3.3	3	1.4	1	107.5	96.6
7	Mac Liu	4.4	4	3.0	3	1.6	2	102.5	83.7
8	Na Mat	4.6	4	3.3	3.5	1.7	1	128.7	104.3
9	Pa Nga	5.1	4	3.5	3	1.6	1	100.6	79.7
10	Phieng Mut 1	5.0	5	3.2	3	1.7	2	102.3	76.4
11	Xa	4.4	4	2.7	3	1.3	1	76.7	77.4

各世帯に対して、過去 10 年間の自然災害の被害額について質問した(表 4-2-2-6)。Khop と Gion が同じ溪流に近く、標高も高かったため、被害が最も大きかったようである。家屋や水田が溪流に近いほど水害が大きいと想定し、溪流までの距離を質問した。しかし、被害額とこの二つの距離との相関係数を計算したところ、それぞれ 0.02 未満であり、無相関であることが分かった。標高と被害額との相関係数は 0.10 でやや高くなったが、無相関の範囲に含まれる。また、自然災害の被害を受けた経験がないと答えた世帯は、350 世帯のうちわずか 9 世帯であった。

調査の結果、Village で発生する主な自然災害の種類は、鉄砲水、地すべり、そして霜、雹、旋風であることがわかった。聞き取り調査を行った地元の人々のほとんどは、Village に住んでいる間に上記のような自然災害を経験している。洪水により家屋が倒壊し、家具が損壊した世帯は 5 億 2,970 万ベトナムドンと最も多く、少なくとも 4 万 8,000 ドン相当の野菜を失った世帯があった。また、全世帯で人命被害はなかった。また、ほとんどの世帯が、近い将来、自然災害は家屋、農作物、樹木、耐久資産(モーターサイクルなど)に降りかかると考え、自然災害が起きれば自分たちも被害を受けると考えている。

表 4-2-2-6 調査対象の世帯の地理的属性及び自然災害の被害額

No.	Village 名	標高 (m)		家屋から溪流までの距離 (m)		農地から溪流までの距離 (m)		過去 10 年間の被害額 (百万ドン)	
		平均値	中央値	平均値	中央値	平均値	中央値	平均値	中央値
1	Bo Xanh	526	523	229	150	133	10	8.3	4.1
2	Chieng Le	526	519	99	50	7	4	2.0	1.6
3	Gion	564	559	201	100	54	10	14.1	10.0
4	Huoi Man	415	415	74	50	11	10	5.0	5.0
5	Huoi Van	650	612	318	200	88	70	10.4	8.0
6	Khop	659	650	195	175	135	25	43.9	11.1
7	Mac Liu	541	537	180	100	35	5	7.9	6.2
8	Na Mat	445	441	99	100	22	10	9.0	7.8
9	Pa Nga	412	413	93	45	83	5	10.8	6.4
10	Phieng Mut 1	699	707	272	200	50	10	5.0	3.2
11	Xa	602	581	286	155	150	20	14.0	4.4

(3) 地域住民の地域愛着

MGC には、タイ族の住民が多く、また、モン族やカン族、京族の住民もいる。調査から明らかになったのは、多くの人が生まれてからずっとこの Commune の中で生活していることである。焼き畑農業が 2002 年頃禁止され、森林地から農地への転用も禁止され、既存の農地を活用するようになった。地域愛着に関して、Raymond ら(2010)に基づいて、五つの項目を設定した。それらは、Place identity(場所のアイデンティティ)、Place dependence(場所への依存)、Family bonding(家族の絆)、Friend bonding/belongingness(友人の絆・帰属意識)、Nature bonding(自然の絆)である。表 4-2-2-7 に示されたように、住民にとって、今の Village が非常に重要である。それは生活の場所であり、家族やコミュニティへの絆があるからである。しかしながら、自然の中の植物や動物への絆が薄いようである。回答の“ややそう思う”と“強くそう思う”を合わせてわずか 14%であった。

表 4-2-2-7 地域愛着(回答者数(%))、以下同じ)

下記の記述に対して、どう思いますか？	強くそう 思わない	ややそう 思わない	どちらも 言えない	ややそう 思う	強くそう 思う
1.この Village は私にとって大きな意味を持つ		2 (1)		7 (2)	341 (97)
2.この Village での生計活動を他の場所で代用することはない	5 (0)	8 (2)	1 (0)	28 (8)	308 (88)
3.この Village に住んでいるのは、家族がこの Village にいるからだ		1 (0)		1 (0)	347 (99)
4.さまざまなコミュニティ活動を通じて培った友情は、私と Village を強く結びつけている			4 (1)	52 (15)	294 (84)
5.この Village に成長する植物や動物がいなくなったら、Village が嫌いになる	175 (50)	119 (34)	8 (2)	14 (4)	34 (10)

(4) 地域住民の森林の防災機能への期待、政府へのニーズ、無力感

地域住民の森林の防災機能への期待・意識を明らかにするため、次の質問をした。“鉄砲水、土石流、地すべりのリスクを軽減する森林の機能について、これらの四つの記述のそれぞれについてどう思いますか?”

Q1. 良好な状態の森林はリスクを軽減する効果があります。

Q2. 河川沿いでの伐採の制限はリスクを軽減するのに効果的です。

Q3. リスクを軽減するには、急傾斜地での伐採を制限することが効果的です。

Q4. 森林の農地への転用の制限はリスクを軽減するのに効果的です。

結果は、表 4-2-2-8 に示されている。森林の防災機能に対して、9 割以上の回答者がとても賛成すると回答した。住民が、森林が伐採されると自然災害が多発し、土壌が流出し、鉄砲水が発生することを認識している。また、森林が水源涵養機能を持つことについてもコメントされた。これは、住民が森林を管理し、保護していることで環境サービスへの支払い(PES)を受け取ることと関係することを示唆している。ただし、質問 1 から質問 4 に移ると、回答の“非常に賛成する”が少なく、“やや賛成する”が増えた。これは、一般的には森林が防災に対して重要であることを認識しているものの、農地の拡大を望んでいる可能性があることを示唆している。しかし、“とても賛成する”と“やや賛成する”の回答と合わせると、賛成する回答が 95%に達した。ここから、森林保護への意識が高いことがわかる。

選択の理由として、以下のような点も挙げられた。「根が長い、大きな木があれば、土砂崩れが発生しにくい」、「大きな鉄砲水がある場合、森林の機能が薄い」、「森林開発を制限すれば、災害のリスクを軽減できる」、「一部の伐採は許容されるが、過度な伐採は問題が生じる」、「すべての森林を伐採して人工林にすると、自然災害を引き起こす可能性がある」、「農地が必要である」。

表 4-2-2-8 森林の防災機能について住民の見解

質問	全く賛成しない	やや賛成しない	どちらとも言えない	やや賛成する	とても賛成する
Q1		2 (1)	13 (4)	8 (2)	326 (93)
Q2		2 (1)	12 (3)	47 (13)	288 (82)
Q3			12 (3)	63 (18)	274 (78)
Q4	1 (0)	2 (1)	15 (4)	98 (28)	233 (67)

また、自然災害(鉄砲水、土石流、地すべり)に対して、政府は以下の活動を行う必要があると思うかという質問について、六つの項目を設定した。回答の“とても期待する”が最も多いのは第一問の「森林面積を増やす」項目であった(93%、表 4-2-2-9)。また、災害時の被災者への支援については、“とても期待する”回答が 88%で、“やや期待する”回答と合わせると、ほぼ 100%に達し、政府への期待が大きいことが明らかになった。その他に、災害防止のための工事や防災教育の強化、気象警報の提供、避難施設の整備についても期待されている。図 4-2-2-21 に示した MGC における橋の排水力は小さく、雨の際に水が溢れることが多発している。

表 4-2-2-9 地域住民の政府へのニーズ

項目	全く期待しない	やや期待しない	どちらとも言えない	やや期待する	とても期待する
1.森林面積を増やす	1 (0)	3 (1)	5 (1)	25 (7)	316 (90)
2.災害防止のための恒久的または一時的な工事		9 (3)	8 (2)	128 (37)	205 (59)
3.防災教育の強化		3 (1)	9 (3)	109 (31)	229 (65)
4.大雨に対する気象警報の提供		3 (1)	7 (2)	108 (31)	232 (66)
5.大雨時の避難施設の整備	3 (1)	19 (5)	11 (3)	135 (39)	182 (52)
6.被災者への支援			1 (0)	42 (12)	307 (88)



図 4-2-2-21 Muong Gion Commune における国道 279 号線と県道 107 号線を横断する橋

地域住民の自然災害の発生や被害に関する認識(無力感)が防災行動に影響を与える可能性があるため、三つの質問を行った。自然の巨大なパワーの前では、人はしばしば無力感を感じる。これが、防災意識や防災行動にどのような影響を与えるかを想定して、質問を行った。

表 4-2-2-10 地域住民の自然災害の発生や被害に関する認識(無力感)

下記の表現についてどう思うか？	強くそう 思わない	ややそう 思わない	どちらも 言えない	ややそう 思う	強くそう 思う
1.鉄砲水、土石流、地すべりは、制御不能な自然現象である	6 (2)	9 (3)	50 (14)	51 (15)	234 (67)
2.鉄砲水が誰かを襲うか、誰かにどれだけの被害が出るかは、結局は運命である	5 (1)	54 (15)	57 (16)	97 (28)	137 (39)
3.鉄砲水、土石流、崖崩れに対して、人間ができることは限られている	4 (1)	7 (2)	49 (14)	98 (28)	192 (55)

結果は表 4-2-2-10 に示される。1 番目の表現に対して、回答の“強くそう思う”が 67%で、“ややそう思う”と合わせると 81%になる。これは、多数の賛成があることを示している。3 番目の表現に対して、回答の“強くそう思う”が 55%で、“ややそう思う”と合わせると 83%になった。1 番目の 81%と比較すると、ほぼ変わらなかった。これは、制御不能な自然現象に対する人間の力への意見が、比較的安定していることを示唆している。2 番目の表現に対して、“強くそう思う”回答が 39%で、“ややそう思う”回答を合わせると 67%になった。“そう思わない”回答

が 17%である。この結果から、個人の自然災害の被害に関して、運命論的な表現に対する賛成が過半数に達したことが分かる。

(5) 地域住民の災害に関する情報収集の手段と避難の場所

調査対象者には、防災情報を収集するために最も重要な 3 種のツールについて順位付けをしてもらった(表 4-2-2-11)。その結果、電話が 1 位、テレビが 2 位、Village や Commune からの知らせが 3 位であった。携帯電話、特にスマートフォンの普及により、携帯電話が便利で重要な情報源となった。Village や Commune からの知らせは 3 位にランクされた。ラジオは 4 位であった。

表 4-2-2-11 災害時の情報収集の手段

手段	1	2	3
1.ラジオ	22 (6)	36 (10)	62 (18)
2.テレビ	133 (38)	106 (30)	29 (8)
3.電話	140 (40)	96 (27)	31 (9)
4.Village や Commune からの知らせ	40 (11)	69 (20)	110 (31)
5.自分自身	14 (4)	13 (4)	39 (11)
6.他の人々	1 (0)	30 (9)	78 (22)

日本では、避難所と言えば小学校の体育館などが想起されるが、ベトナムではどのような場所を選ぶかについて質問した(表 4-2-2-12)。多くの調査対象者はこのことについて考えたことがないようであったが、調査中に考え回答してくれた。最も一般的な回答は、近隣の家や親戚の家であった。その次に、住民の集会場であるカルチャーハウスが挙げられた。3 番目には学校があった。これらの回答は、建築物の品質や場所を考慮して判断されたものと思われる。学校やカルチャーハウスが標高の低い場所に位置しているか、また十分に頑丈であるか心配しているようである。

表 4-2-2-12 災害時の避難所

避難所	回答数	%
1.小学校、中学校、高校	23	6.6
2.カルチャーハウス（住民の集会場）	113	32.6
3.近所または親戚の家	165	47.6
4.自分の家	14	4.0
5.山の頂上	16	4.6
6.その他	5	1.4
7.わからない	11	3.2

(6) 地域住民の自然災害への主観危険度、防災コスト、防災行動への認識

住民の主観危険度や災害被害の重大さ、防災のコストの認識が防災行動に繋がるかという研究内容は多くの防災研究で検討されてきた。しかし、ベトナムを対象とする研究は少ない。本調査は、保護動機理論(Protection Motivation Theory、PMT)に基づいて、Rogers (1983)、Babcicky and Seebauer (2019)、Kurata ら(2022a)、Kurata ら(2022b)、Gumasing and Sobrevilla (2023)などの文献を参考にして調査項目を設定した。

まず、自然災害の発生についての主観的危険度について調査した。次の10年以内に、鉄砲水、土石流、地すべりが発生する可能性についてどの程度考えているかを尋ねた。回答は以下の表 4-2-2-13 に示されている。それぞれの災害の発生に対する主観危険度が示されている。“どちらともいえない”回答が四分の一程度あった。1番目と3番目の項目では、可能性が低いと思われる回答の割合(それぞれ43%と38%)が、可能性が高いと思われる回答(それぞれ38%と35%)よりやや多いことがわかる。2番目の項目、農地を襲う災害の発生に関しては、可能性が高いと思われる回答の割合(57%)が過半数を占め、可能性が低いと思われる回答(17%)よりも高いことが示された。

表 4-2-2-13 主観危険度:災害の発生

項目	非常に可能性が低い	やや可能性が低い	どちらともいえない	やや可能性が高い	非常に可能性が高い
1.自分の建物を襲う鉄砲水、土石流、地すべり	95 (27)	56 (16)	95 (27)	95 (27)	9 (3)
2.自分の農地を襲う鉄砲水、土石流、地すべり	30 (9)	29 (8)	92 (26)	171 (49)	28 (8)
3.自分の耐久資産を襲う鉄砲水、土石流、地すべり	80 (23)	52 (15)	97 (28)	110 (31)	11 (3)

括弧内の数値は割合(%)を示す。

次に、自然災害が発生した場合に、自身がどの程度の被害を想定しているかについて質問した。その結果は表 4-2-2-14 に示されている。全ての項目で、“非常に低い”と回答した割合が95%以上であり、自然災害をあまり受けないと考えていることがわかる。

表 4-2-2-14 主観危険度:想定の経済的な被害の程度

項目	非常に低い	やや低い	低くも高くもない	やや高い	非常に高い
1.鉄砲水、土石流、地すべりが自分の建物で発生した場合	335 (96)	12 (3)	2 (1)	1 (0)	
2.自分の農地で鉄砲水、土石流、地すべりが発生した場合	337 (96)	8 (2)	1 (0)	4 (1)	
3.耐久財で鉄砲水、土石流、地すべりが発生した場合	335 (96)	10 (3)	1 (0)	3 (1)	1 (0)

括弧内の数値は割合(%)を示す。

引き続き、住民の人身と生命、または生計に関する自然災害の重大性について質問した。その結果は表 4-2-2-15 に示されている。鉄砲水、土石流、地すべりが発生した場合、死傷者が出ると考えるかについての質問において、回答の“ややそう思う”と“強くそう思う”の割合が 56%で、回答の“強くそう思わない”と“ややそう思わない”の割合(34%)よりも多いことが分かった。さらに、「生活に影響が出ると思うか」質問については、回答の“ややそう思う”と“強くそう思う”の割合が 87%で、圧倒的に“強くそう思わない”と“ややそう思わない”の割合(7%)よりも多いことが明らかになった。

表 4-2-2-15 主観危険度:生命と生計からみる自然災害の重大さの認識

項目	強くそう思わない	ややそう思わない	どちらともいえない	ややそう思う	強くそう思う
1.鉄砲水、土石流、地すべりなどが発生した場合、死傷者が出ると思う	13 (4)	104 (30)	37 (11)	94 (27)	102 (29)
2.鉄砲水、土石流、地すべりが発生した場合、生活に影響が出ると思う	5 (1)	21 (6)	18 (5)	182 (52)	124 (35)

括弧内の数値は割合(%)を示す。

続いて、調査対象者に対して、脆弱性に関する以下の 3 つの項目を質問した。1) 自身、2) 家族、3) 住んでいる Village の脆弱性についてである(表 4-2-2-16)。結果、自身と家族に関する脆弱性について、“強くそう思わない”と“ややそう思わない”回答の割合の合計がそれぞれ 58%、59%であった。これは、“ややそう思う”と“強くそう思う”回答の合計の 32%、31%よりも高い割合である。一方、Village の脆弱性については、回答の“ややそう思う”と“強くそう思う”の割合の合計が 56%で、回答の“強くそう思わない”と“ややそう思わない”の割合の合計の 14%よりもはるかに高いことが分かった。また、Village の脆弱性については、回答のどちらとも言えないが 30%で多いことも特徴である。

表 4-2-2-16 調査対象者の自身の脆弱性の認識

項目	強くそう思 わない	ややそう思 わない	どちらとも いえない	ややそう思 う	強くそう思 う
1.自分は鉄砲水、土石流、地すべりに対して脆弱だと思う	39 (11)	164 (47)	35 (10)	84 (24)	28 (8)
2. 私の家族は鉄砲水、土石流、地すべりに対して脆弱だと思う	37 (11)	167 (48)	36 (10)	84 (24)	26 (7)
3.私の Village は鉄砲水、土石流、地すべりに対して脆弱だと思う	14 (4)	35 (10)	105 (30)	134 (38)	62 (18)

括弧内の数値は割合(%)を示す。

最後に、MGC での現地調査および予備調査を通じて、以下の 8 つの施策を設定した。そして、これらの施策について、それぞれの有効性、実施のコスト、および防災行動について質問した。

有効性についての質問は、鉄砲水や土砂崩れから自宅を守るために、以下の対策はどの程度で有効であると評価するかというものである。以下の表 4-2-2-17 は、8 つの防災対策の有効性に関する結果である。非常に効果的と絶対に効果的という回答を合わせて、八つの項目のすべてが 75%以上であった。中でも、6 番目の「浸水に備えて道具(懐中電灯、鋤、レインコートなど)、食料、薬を準備する」と、8 番目の「近隣住民と連携し、助け合う」に対する回答は、90%を超えた。個々の回答については、2 番目の「気象情報を積極的に収集する」に対する回答の、“非常に効果的”回答が 208 件で、7 番目の「住宅を増強する」については、“絶対に効果的”回答が 200 件で、最も多かった。

表 4-2-2-17 防災対策の有効性の認識

施策	まったく効果がない	少し効果がある	やや効果がある	非常に効果的	絶対に効果的
1.知識や経験を他の人と共有する	6 (2)	20 (6)	54 (15)	197 (56)	73 (21)
2.気象情報を積極的に収集する	0 (0)	14 (4)	33 (9)	208 (59)	95 (27)
3.浸水に備えて1階にある貴重品を運び出す	4 (1)	5 (1)	55 (16)	153 (44)	133 (38)
4.危険な場所や避難場所をよく知る	2 (1)	13 (4)	73 (21)	146 (42)	116 (33)
5.Village からの勧告があった場合は早めに避難する	4 (1)	13 (4)	66 (19)	123 (35)	144 (41)
6.浸水に備えて道具（懐中電灯、鋤、レインコートなど）、食料、薬を準備する	1 (0)	6 (2)	25 (7)	147 (42)	171 (49)
7.住宅を増強する	2 (1)	9 (3)	53 (15)	86 (25)	200 (57)
8.近隣住民と連携し、助け合う	1 (0)	3 (1)	14 (4)	138 (39)	194 (55)

括弧内の数値は割合(%)を示す。

続いて、施策のコストについて質問した。質問は、これらの8つの施策のそれぞれの実施に関連するコスト(金銭、時間、労力)をどのように評価するかということである。結果は表 4-2-2-18 に示される。7番目の項目「住宅を増強する」について、コストが非常に高いという回答が175件で、一番高かった。回答の、コストが「非常に低い」と「やや低い」を合計すると、1番目の「知識や経験を他の人と共有する」が68%、2番目の「気象情報を積極的に収集する」が69%、4番目の「危険な場所や避難場所をよく知る」が56%であった。これらは、回答の「やや高い」と「非常に高い」の割合の合計よりも高い結果であった。一方、回答のコストが「やや高い」と「非常に高い」の割合の合計から見ると、3番目の「浸水に備えて1階にある貴重品を運び出す」が50%、8番目の「近隣住民と連携し、助け合う」が54%で、それぞれ、回答の「非常に低い」と「やや低い」の割合の合計(それぞれ33%と28%)より高い結果であった。また、6番目の「浸水に備えて道具(懐中電灯、鋤、レインコートなど)、食料、薬を準備する」と7番目の「住宅を増強する」について、回答の「やや高い」と「非常に高い」の割合の合計がそれぞれ73%と75%で、回答の「非常に低い」と「やや低い」の割合の合計(それぞれ7%と14%)より高い結果であった。

これは、他人との知識や経験の共有や気象情報の収集、危険な場所や避難場所の事前把握に関してはコストが比較的安く、貴重品の運び出しや近隣住民との連携と助け合いにはやや高いコストがかかることを示している。さらに、浸水に備えて道具、食料、薬などの準備や住

宅の増強を行うには、金銭的なコストがかかり、その難度も最も高いことが示された。

表 4-2-2-18 防災対策の実施に関連するコスト(金銭、時間、労力)の評価

施策	非常に低い	やや低い	低くも高くもない	やや高い	非常に高い
1.知識や経験を他の人と共有する	148 (42)	90 (26)	65 (19)	36 (10)	11 (3)
2.気象情報を積極的に収集する	137 (39)	105 (30)	41 (12)	35 (10)	32 (9)
3.浸水に備えて1階にある貴重品を運び出す	21 (6)	93 (27)	60 (17)	114 (33)	62 (18)
4.危険な場所や避難場所をよく知る	103 (29)	94 (27)	59 (17)	43 (12)	51 (15)
5.Village からの勧告があった場合は早めに避難する	23 (7)	96 (27)	68 (19)	83 (24)	80 (23)
6.浸水に備えて道具（懐中電灯、鋤、レインコートなど）、食料、薬を準備する	4 (1)	21 (6)	69 (20)	134 (38)	122 (35)
7.住宅を増強する	5 (1)	45 (13)	37 (11)	88 (25)	175 (50)
8.近隣住民と連携し、助け合う	55 (16)	43 (12)	62 (18)	97 (28)	93 (27)

括弧内の数値は割合(%)を示す。

最後に、鉄砲水、土石流、地すべりの対策を取る可能性はどの程度であるかという質問を行った。結果は表 4-2-2-19 に示された。すべての 8 つの施策について、回答の、“非常に可能性が低い”と“やや可能性が低い”の割合の合計が 10%未満で、“やや可能性が高い”と“非常に可能性が高い”の割合の合計が 72%以上という結果であった。

表 4-2-2-19 防災対策の実施

施策	非常に可能性が低い	やや可能性が低い	どちらともいえない	やや可能性が高い	非常に可能性が高い
1.知識や経験を他の人と共有する	20 (6)	15 (4)	55 (16)	220 (63)	40 (11)
2.気象情報を積極的に収集する	2 (1)	21 (6)	33 (9)	220 (63)	74 (21)
3.浸水に備えて1階にある貴重品を運び出す	5 (1)	11 (3)	37 (11)	194 (55)	103 (29)
4.危険な場所や避難場所をよく知る	17 (5)	30 (9)	51 (15)	163 (47)	89 (25)
5.Village からの勧告があった場合は早めに避難する	8 (2)	11 (3)	39 (11)	190 (54)	102 (29)
6.浸水に備えて道具（懐中電灯、鋤、レインコートなど）、食料、薬を準備する	5 (1)	12 (3)	18 (5)	171 (49)	144 (41)
7.住宅を増強する	13 (4)	19 (5)	24 (7)	138 (39)	156 (45)
8.近隣住民と連携し、助け合う	4 (1)	7 (2)	15 (4)	169 (48)	155 (44)

括弧内の数値は割合(%)を示す。

(7) まとめ

本研究はMGCからの協力を得て、現地調査を行い、アンケートを設計し、数回の修正を経て世帯調査を実施した。その結果、住民は森林の防災機能に高い期待を寄せ、政府に対する期待や防災意識が高まっており、防災行動も実施されるようになっていくことが確認された。しかしながら、防災には時間的、金銭的、精神的なコストがかかることも明らかになった。

また、MGC の人々の地域愛着が強いことが確認された。しかし、所得の水準が低く、出稼ぎ労働者も増えていた。

MGC における森林は生産林と保護林に区分される。経済力の高い世帯はセメントで家屋を建築する一方、多くの世帯が森林(保護林および生産林)から建築に必要な木材を採取している。申請は1年に1度しかなく、許可される量には上限(3立方メートルまたは2~3本)があり、4~5年かけて必要な木材を入手して、家屋を建築できる世帯もある。薪炭材は枯死木に限り採取できる。伐採や土地転用には制限があり、また、環境サービスへの支払い(PES)制度があるため、森林は十分に管理されているようである。MGC には、職員として1人の森林警備隊員が配置されて森林管理を行い、違法な行為の取り締まりや森林状況の報告などを行う。

森林から農地への転用は容易ではない。伝統的な焼畑耕作方式は禁止されており、生産力を高める手段としての休耕地がないため、化学肥料を使用して土地の生産力を維持している。Village を離れる際には、土地は Village が別の世帯に配分される。出稼ぎなどの理由で

使わない農地が出る場合、親せきや他人に使用させる。収穫した農産物を地代として支払う場合もある。土地の売買事例は少ないようである。

土地利用の収益性を高めるため、トウモロコシやキャッサバの農地をパラミツやマンゴー、ザボンなどの果樹園に転換したり、水田から魚の養殖の池に転換した例も見られた。

4.3 リモートセンシング技術を活用したリスクマップ作成

4.3.1 リスクマップに対するニーズと課題

気候変動により台風の巨大化や豪雨頻度・強度の増加、それにともない山地地形の国々では土砂災害の多発が懸念される。開発途上国においては限られたリソースで災害対策を立てる必要があることから、災害の発生の可能性と人間の営みを勘案した危険度を評価しておくことが必要である。しかし、開発途上国では危険度評価を行うために必要となる空間情報が未整備のため危険度評価が困難である。また、地上での情報収集には限界がある。このため、人口分布や生態系の防災・減災機能を既存の衛星画像といったリモートセンシングデータからどのように抽出するかが課題であり、AI 等最新技術を活用し信頼性の高い危険度把握の技術の開発が必要である。

本課題では、対象地域においてリモートセンシング技術および現地調査によって収集された既往の崩壊履歴および地形、地質、森林被覆、降水量等の各種情報を GIS 上で重ね合わせ、解析処理することにより、対象地域における森林管理に質する斜面崩壊リスクマップを作成することを目的とする。

本年度は、衛星観測雨量データから、崩壊発生時の雨量を評価するための手法の検討を行うとともに、対象地域において昨年度までに作成した斜面崩壊に対するリスクマップに対して、使用した GIS データや開発した衛星画像より崩壊地を自動抽出するツールでの成果、および衛星画像より分類した土地利用区分履歴、森林攪乱分布履歴の成果の適用性について検討するとともに、リスクマップを作成するにあたっての留意点等を整理した。さらに、これらの成果を基に 2023 年 8 月に発生した土砂災害の被災地域においてリスク評価を行った。

4.3.2 調査（解析）対象地

Yen Bai 省北西部の Mu Chang Chai District の KimNoi Commune を中心とした 2017 年の豪雨にともなう崩壊発生範囲(図 4-3-2-1 の A の範囲、図 4-3-2-2)を対象に、使用した GIS データや本事業において開発した衛星画像より崩壊地を自動抽出するツールでの成果、および衛星画像より分類した土地利用区分履歴、森林攪乱分布履歴の成果の適用性についての検討を行った。また、本年(2023 年)の 8 月上旬に、隣接する HoBon Commune およびその周辺地域(図 4-3-2-1 の B の範囲、図 4-3-2-3)において大雨により多数の崩壊が発生したことから、この地域を対象として衛星観測雨量データの解析を行い(図 4-3-2-1 の C の範囲、図 4-3-2-3)、崩壊発生時の雨量の評価手法について検討を行った。加えて、上記の検討結果を基に HoBon Commune およびその周辺地域においても、斜面崩壊のリスク評価および

リスクマップの作成を行った。



図 4-3-2-1 調査・解析範囲の位置

A(赤色長方形): Mu Chang Chai District(KimNoi Commune ほか)

B(水色長方形): Mu Chang Chai District(HoBon Commune ほか)

C(緑色 Grid): 図 4-3-3-2 の衛星観測雨量の解析範囲(Grid)

背景画像は GoogleMAP の衛星画像より引用



図 4-3-2-2 Mu Chang Chai District(KimNoi Commune ほか)で 2017 年の豪雨にともない発生した崩壊(GoogleMAP の衛星画像より引用)



図 4-3-2-3 Mu Chang Chai District (HoBon Commune) で 2023 年 8 月上旬の豪雨にともない発生した崩壊 (2024 年 2 月 27 日撮影)

4.3.3 衛星観測雨量を用いた斜面崩壊発生時の雨量評価手法の検討

斜面崩壊がその地域でどのような降雨で引き起こされるのかは、関連する災害リスクの評価の重要な指標のひとつである。ベトナムでは地上の気象観測施設が日本ほど充実していないことやレーダー観測により得られる空間雨量データが未整備であることから、崩壊発生時の雨量を評価することが困難であった。近年、JAXA によってベトナム全土をカバーする衛星観測雨量 (1 時間解像度) が公開されたことから、この衛星観測雨量データを利用して、斜面崩壊が発生する危険性の高い降雨を判定する手法を開発した。

4.3.3.1 衛星雨量画像データ (JAXA) の利用と問題点

衛星観測雨量データは、JAXA により衛星全球降水マップ (GSMAP、https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/index_j.htm) として公開されている衛星の雲画像を解析して得られた時間雨量データ (解像度 0.1 度) を利用した (図 4-3-3-1)。本データは GSMAP のサイトに登録することで、2000 年以降の必要なエリアの任意の期間の時間雨量を入手し利用することが可能になる。本データは雨量データの入手が困難な地域においても利用可能であるため、気象観測網が十分に整備されていない開発途上国においての利用が期待されている。

以上のように、衛星観測雨量データは地域によらず入手できる利点があるが、強い雨を過

小評価するという技術的な課題があることが指摘されている (Long Trinh-Tuan et. al., 2019 他)。そのため、降雨強度の高い雨がトリガーとなる崩壊に起因する災害に関しては、災害発生リスクの高い降雨の特徴を正確に評価できない危険性がある。したがって、本年度はこの過小評価の課題を考慮したうえで、斜面崩壊の発生するリスクの高い雨量を、衛星観測雨量を用いて評価する手法を開発した。

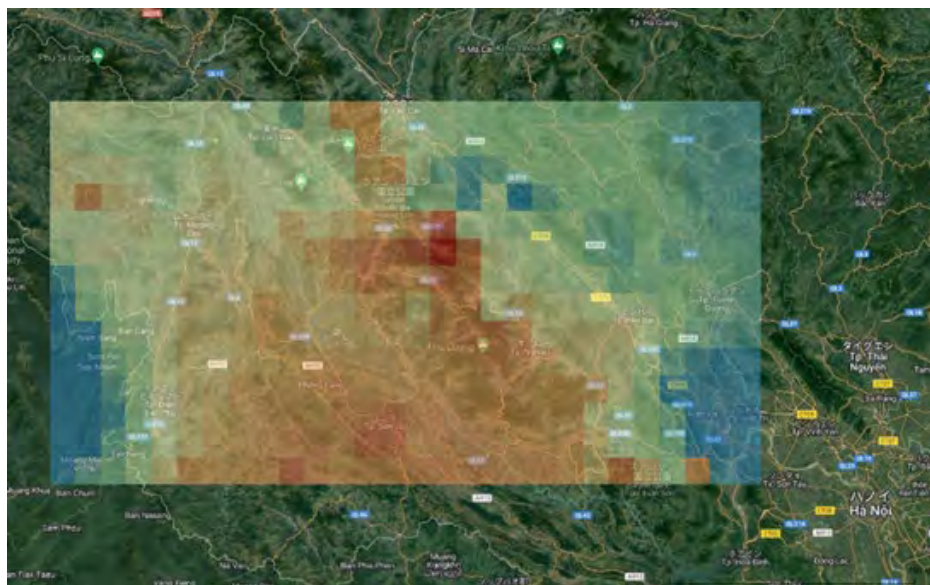


図 4-3-3-1 GSMAP より DL したベトナムの時間雨量データ(データ期間:2000-現在)。画像は 2017/07/05 07:00 のベトナム北西部の時間雨量分布の一例を示す。図は GoogleMAP の衛星画像に時間雨量データ(ラスターデータ)を重ねて表示している。

Reference

Long Trinh-Tuan, Jun Matsumoto, Thanh Ngo-Duc, Masato I. Nodzu & Tomoshige Inoue (2019) Evaluation of satellite precipitation products over Central Vietnam, Progress in Earth and Planetary Science volume 6, Article number: 54.

<https://doi.org/10.1186/s40645-019-0297-7>

4.3.3.2 衛星観測雨量データを基にした評価手法の検討

本事業の調査地である Yen Bai 省 Mu Cang Chai District では、リスク評価対象地である Kim Noi Commune より西に位置する Ho Bon Commune および周辺地域において、2023 年 8 月上旬の豪雨により多数の斜面崩壊が発生し、道路の寸断や人的被害を引き起こした。この災害では斜面崩壊の発生日時が過去の崩壊事例とは異なり、正確に特定されている。よって、災害発生時の降雨の特徴の評価に適しているため、本地域を評価対象地とするこ

とした。

崩壊発生危険雨量の評価手法を開発するにあたり、まず対象地域において、実測値ベースの空間雨量データと衛星観測雨量データを比較した。実測値ベースの空間雨量データとして、文部科学省の補助事業により開発・運用されているデータ統合解析システム(DIAS)の下で収集・提供されているベトナム国グリッド日降水量データ($0.10^{\circ} \times 0.10^{\circ}$; REMOCLIC. (2016))を DL して使用した。この実測値ベースの雨量データは、REMOCLIC. (2016)により開発作成され(1980 年-2010 年: 日雨量、図 4-3-3-2)、DIAS より公開されている。2010 年以降はデータが整備されておらず、崩壊発生危険雨量の検討には利用できない。本調査ではデータが重複する 2000 年-2010 年の 10 年間を対象に、実測値ベースの雨量データと衛星観測雨量データを比較し、衛星観測雨量で過小評価が発生する降雨強度の閾値を調べた。実測値ベースの雨量データは日単位で整備されているため、衛星観測雨量は日雨量に換算して、両者を比較した。具体的な調査地域は、図に示す 2023 年 8 月の豪雨により災害が発生した HoBon Commune を中心とした 9Grid(1Grid は $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ} \approx 10\text{km} \times 10\text{km}$)である(図 4-3-3-3)。

比較結果を図 4-3-3-4 に示す。比較したすべてのグリッドにおいて、日雨量の 96 パーセンタイル値を超えると、実測値ベースの雨量データと衛星観測雨量データの間で雨量やその増加率が顕著に異なることがわかった。日雨量の 96 パーセンタイル値は、図中の両グラフの変曲点と対応することが認められた。このことは上位 3~4%の強い雨で両データの差が大きくなることを示しており、この地域では日雨量の 96 パーセンタイル値が、衛星観測雨量が過小評価される閾値となることが明らかとなった。

Reference

REMOCLIC. (2016). VnGP - ベトナム国グリッド日降水量データ($0.10^{\circ} \times 0.10^{\circ}$) [Data set]. データ統合・解析システム(DIAS).

<https://doi.org/10.20783/DIAS.270>

本データは Vietnam National University, Hanoi (VNU)(プロジェクト番号 QG.15.06) および、日本の文部科学省 GRENE 事業環境情報分野の支援により作成された。

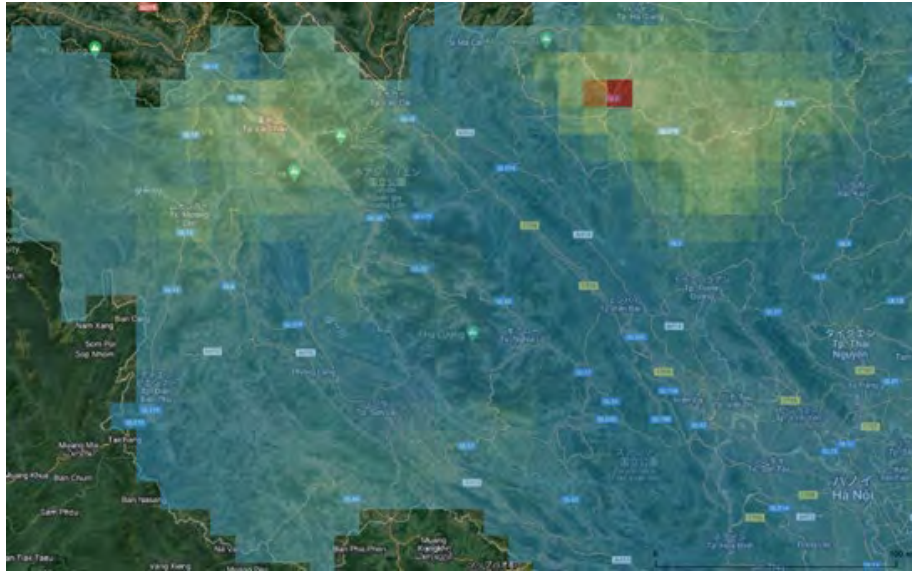


図 4-3-3-2 DIAS より DL したベトナムの実測値ベースの日雨量データ(データ期間:1980-2010)。画像は 2019/07/11 のベトナム北西部の日雨量分布の一例を示す。図は GoogleMAP の衛星画像に日雨量データ(ラスターデータ)を重ねて表示している。



図 4-3-3-3 解析範囲:災害が発生した HoBon Commune(9 の Grid)を中心とした 9Grid(1Grid:0.1°×0.1°≒10km×10km)で解析を行った。図の背景は GoogleMAP の衛星画像より引用。

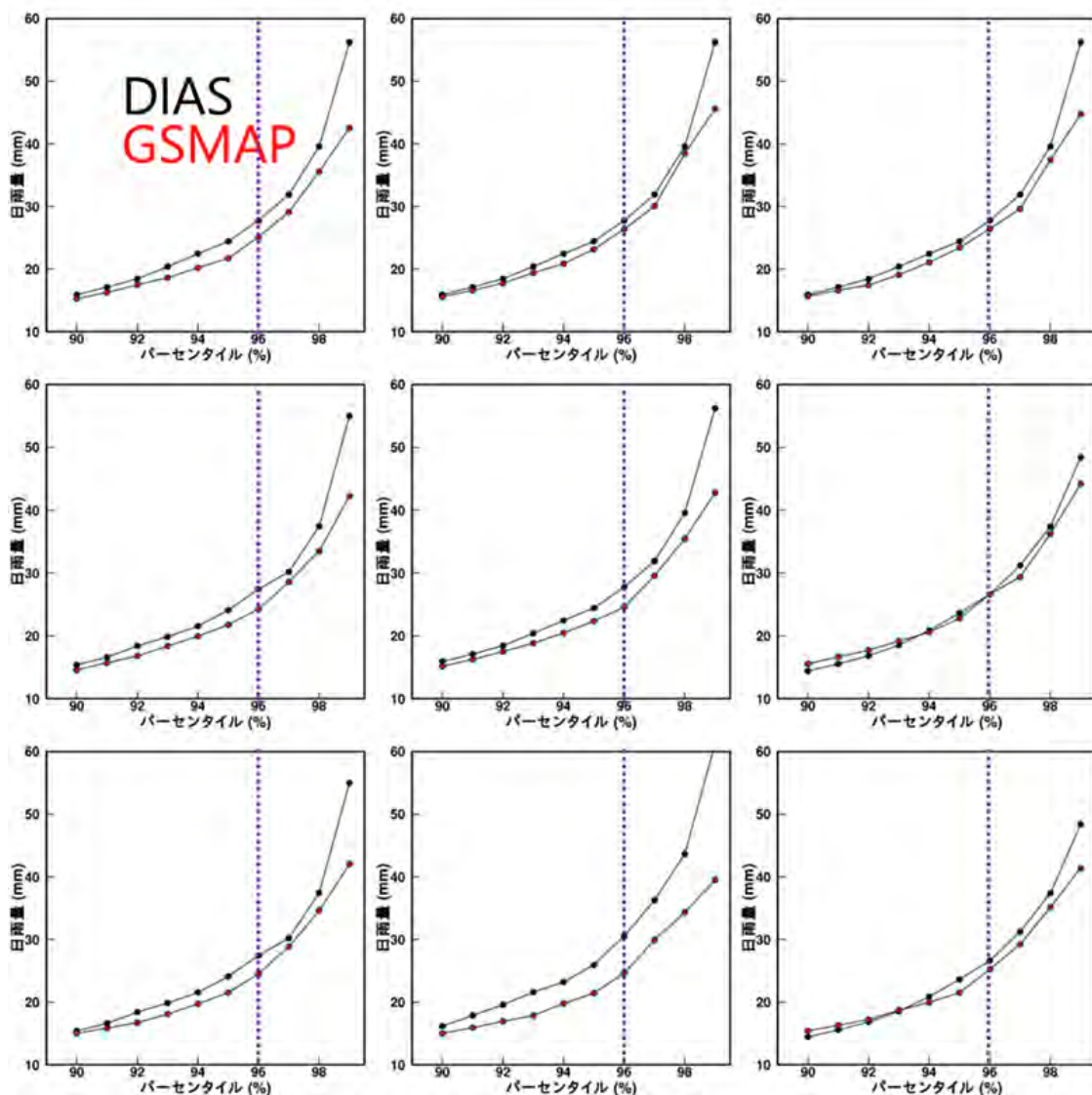


図 4-3-3-4 実測値ベースの雨量データ(DIAS)と衛星観測雨量データ(GSMAP)の Grid ごとの比較結果。各グラフは図 4-3-3-3 の Grid の位置の結果を示している。

4.3.3.3 開発した雨量評価手法による 2023 年 8 月豪雨の評価

前述した衛星観測雨量の過小評価が発生する閾値を超えた雨が崩壊を引き起こす誘因となったかを検討するため、2023 年 8 月に豪雨が発生した HoBon Commune およびその周辺地域の日雨量データを調べた。検討は降雨データの比較と同様の 9 Grid を対象とした。図 4-3-3-5 は 9 Grid の内 2 つの Grid の 2023 年 1 月～10 月までの日雨量データを示したものである。この図からわかるように 2023 年 8 月上旬に 96 パーセンタイル値に匹敵する雨が数日間まとまって降っており、この雨により崩壊が発生したことが推定された。このことから衛星

雨量の過小評価が発生する閾値に基づいて、崩壊発生危険雨量を判定できることが示唆された。一方で、図の期間中には 1~2 日間だけ 96 パーセンタイル値を超える雨が他の時期に複数観測されているが、それらの雨の期間には崩壊は発生していない。このことは、この地域においては、数日間の連続した雨が崩壊を引き起こす可能性が高いことを示唆する。そのため、3 日間雨量などのより長期間の雨の積算値と崩壊の発生との関係を精査することで、より適切な閾値を調べていく必要がある。

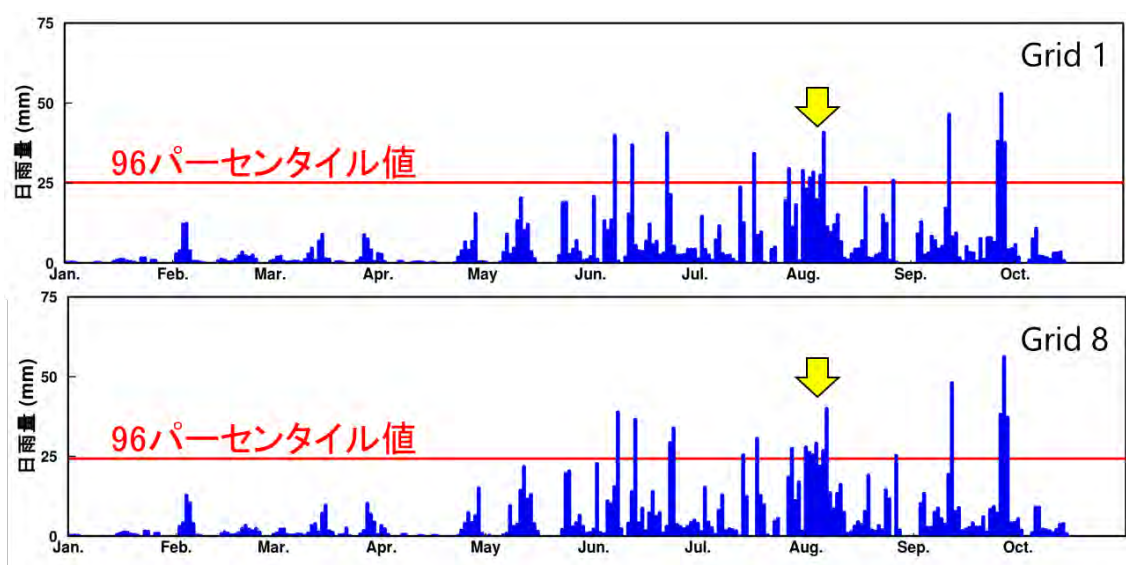


図 4-3-3-5 Grid 1 および Grid 8 の 2023 年 1 月から 10 月の衛星観測雨量(日雨量データ)。黄色矢印は崩壊が発生したと推定される期間を示す。崩壊が発生した期間は衛星雨量の過小評価が発生する閾値である 96 パーセンタイル値を超える雨量が数日間まとまって発生していた。1~2 日間だけ 96 パーセンタイル値を超える雨では崩壊は発生していない。

4.3.4 リスク評価に使用するにあたっての各データの検証

本年度は対象地域において斜面崩壊のリスク評価およびリスクマップを作成する際に本事業の成果となる崩壊地の自動抽出ツールおよび土地利用区分/森林攪乱履歴分布の成果の有効性の検証、および利用するにあたっての留意点および改善方法について検討した。さらに使用した GIS データのうち、DEM に関して、現地でも UAV により撮影された画像から解析により取得した DSM と比較した。

4.3.4.1 崩壊地の自動抽出ツールによる抽出結果の検証

昨年度、Mu Cang Chai District (Kim Noi Commune ほか)において本事業の成果である、災害前後の衛星画像より崩壊地を開発した自動抽出ツールによって抽出した成果につ

いて、目視判読によって抽出した成果と比較した。結果は図 4-3-4-1 および図 4-3-4-2 のとおりである。

開発した自動抽出ツールにより抽出された崩壊範囲は、目視判読結果と比較すると、より広い範囲を崩壊地として誤抽出する傾向が認められた。一方で、小規模な崩壊地を除くと、崩壊地の未抽出は少ない傾向があった。小規模な崩壊地を検出できない理由としては、使用している衛星画像が解像度 10m の Sentinel-2 の画像であることから、崩壊幅が 10m 以下の小規模な崩壊地は検出が難しいことが推測される。誤抽出が多い理由としては、対象地は耕地や草地、それらへ向かうための道路の作設といった人為による影響が大きい地域であり、これらが災害前後の変化から崩壊地(裸地を崩壊地として検出)を検出する本研究で開発された手法において、誤抽出が生じる理由であろうと考える。また、目視判読では可能な限り崩壊の源頭部のみを判読しているが、本研究で開発された手法では、崩壊土砂が移動し、裸地化した範囲(流送域)も抽出することから、この点も誤抽出が多い理由の一つであると考ええる。

以上のことをまとめると以下となる。

- ・開発した自動抽出ツールでは崩壊幅が 10m 以下の小規模な崩壊地の検出は難しい。
- ・人為改変等による崩壊地以外の裸地をうまく除去できない。

本ツールによる崩壊地の自動抽出結果を使用したリスク評価結果の詳細については後述の 4.3.5 において述べるが、上記の点がリスク評価を行うにあたっての問題点となることに留意する必要がある。一方で、災害後の斜面崩壊箇所の早急な把握にはある程度は使用できると考える(図 4-3-4-3)。

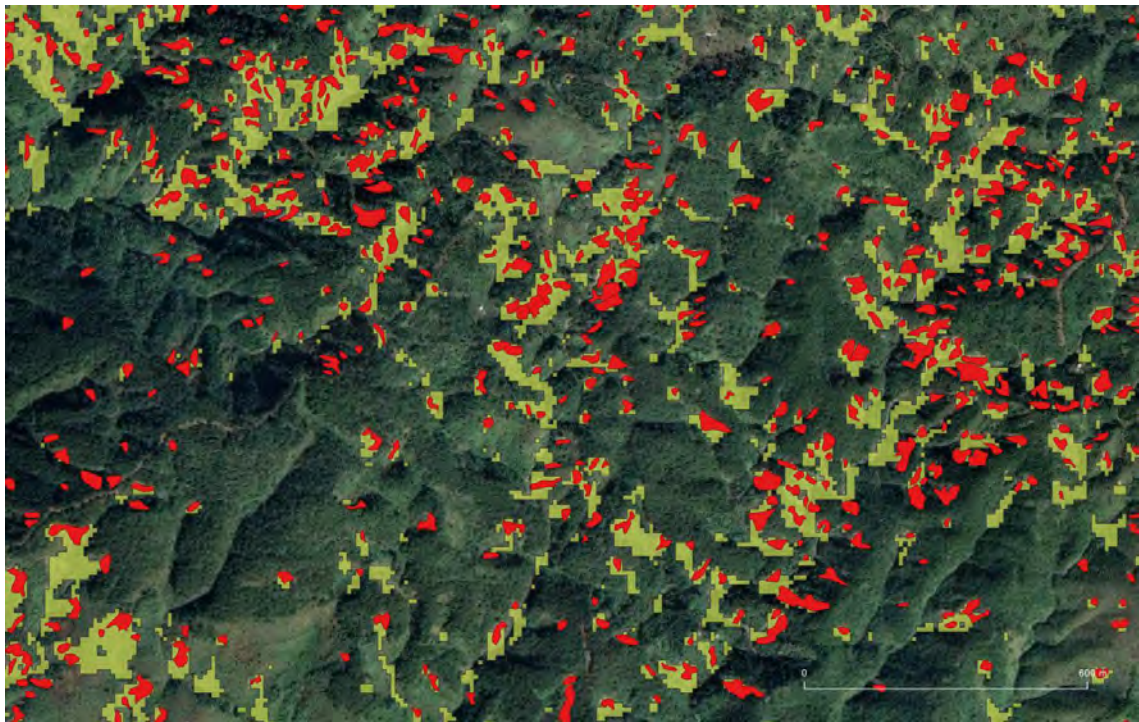


図 4-3-4-1 Mu Chang Chai District (KimNoi Commune ほか) で自動抽出ツールによって抽出された崩壊地(黄色ポリゴン)と目視により判読した崩壊地(赤色ポリゴン)。背景は GoogleMAP の衛星画像。

目視判読	自動抽出	
	崩壊地以外	崩壊地
崩壊地以外	538924	37394
崩壊地	5147	6213
正解率 (Accuracy)	0.927611719	
適合率(Precision)	0.142477125	誤検出が多い
再現率 (Recall)	0.546919014	取りこぼしは相対的に少ない

図 4-3-4-2 Mu Chang Chai District (KimNoi Commune ほか) の調査範囲における自動抽出ツールによって抽出された崩壊地と目視により判読した崩壊地との検証結果。誤検出が多いせいか、適合率は低い。一方で再現率は相対的に高いことから、取りこぼしは相対的に少ないと判断される。

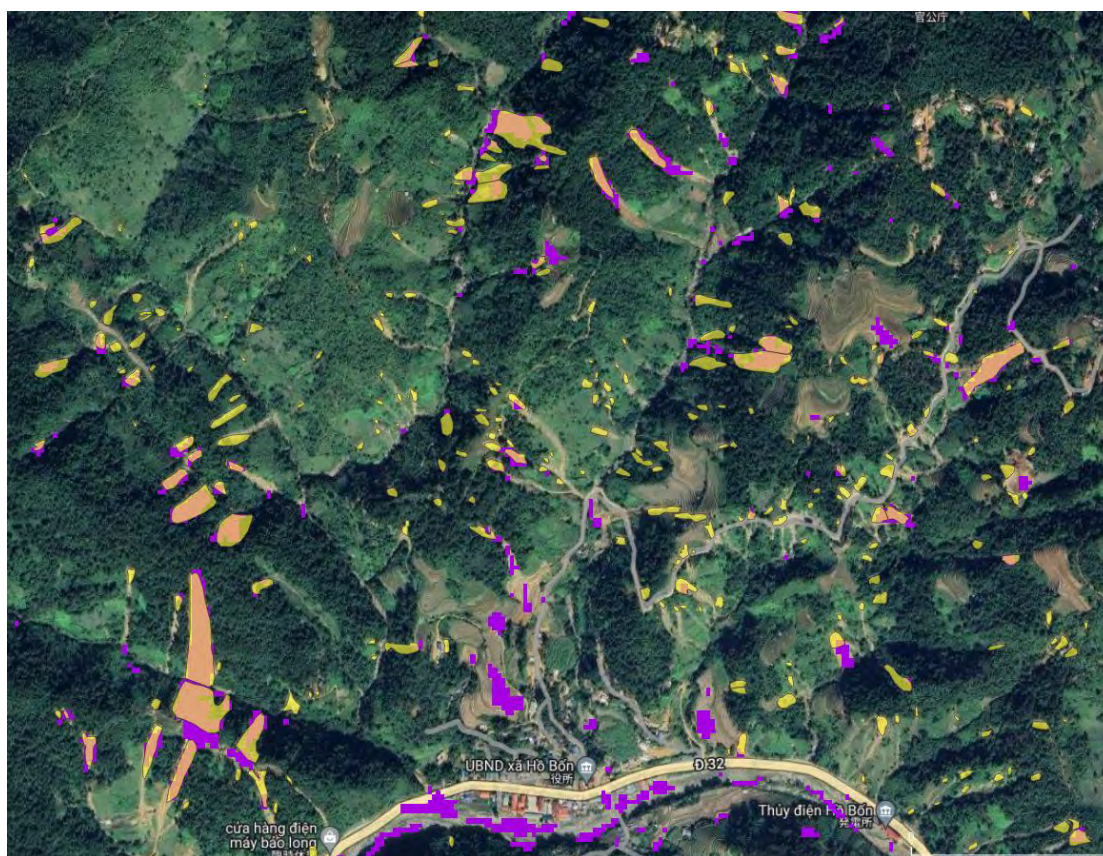


図 4-3-4-3 Mu Chang Chai District (HoBon Commune)において、2023 年 8 月に発生した崩壊箇所の抽出結果。紫色の範囲が自動抽出ツールによって抽出された崩壊地を示す。目視により判読した崩壊地は黄色ポリゴンで示す。比較的大きな崩壊についてはある程度、抽出されている一方で、土石流などの土砂流出の痕跡(流送域)も抽出されている。背景は GoogleMAP の衛星画像。

4.3.4.2 多時期の衛星画像より特定した土地利用区分/森林攪乱履歴分布のリスク評価への利用の検証

本成果を検証するにあたり、目視判読による土地利用区分の結果と本成果の区分は正確には一致しないことから、目視判読によるリスク評価結果と本成果によるリスク評価結果を比較することで、検証した。まず、調査対象地の Mu Cang Chai District (KimNoi Commune ほか)において、開発した土地利用区分および森林攪乱分布を把握する手法からえられた土地利用履歴および森林攪乱分布の結果より、崩壊が発生した 2017 年を基準年の画像として、土地利用を以下のとおり区分した(図 4-3-4-4)。

- A : 農地
- B : 荒地
- C : 集落

D：水域

E：草地・灌木、

F：森林（攪乱無⇨壮齡林）、

G：森林（農地等の土地利用履歴あるいは攪乱履歴あり⇨若齡林）

このうち、G の攪乱有の森林(⇨若齡林)の区分定義については、日本における既往の調査において、樹木根系が崩壊の発生を抑制する効果を発揮するのは 15 年生から 20 年生以上であることが知られていることから、攪乱から根系の機能が回復する期間として、2000 年以降に森林攪乱があった森林を攪乱有の森林(⇨若齡林)とすることとした。上記の区分に基づいて区分した土地利用区分の結果を、目視判読した土地利用区分の代わりに使用してリスク評価を行った。なお、リスク評価の際に使用したほかのデータは昨年度同様、崩壊地（目視判読）を目的変数とし、地形（標高、傾斜、方位：ALOS 12.5mDEM より算出）、1/20 万地質図（ポリゴンデータ）、道路の各データを要因項目としてデータセットを作成し、機械学習（Python の決定木およびランダムフォレスト：それぞれ教師なし分類）を行い、目視判読による土地利用区分図を利用して評価した結果と比較した。

結果を図 4-3-4-5 に示す。比較対象として、昨年度作成した目視判読による土地利用区分図を利用して評価した結果を図 4-3-4-6 に示す。本事業の成果である土地利用区分/森林攪乱履歴の推定モデルより作成された土地利用区分/森林攪乱履歴分布より区分した結果に基づくリスク評価では、目視判読結果に比べ、土地利用（森林攪乱）の崩壊に対する重要度は低いという結果となった。この理由として、解析に使用した画像は LANDSAT 衛星によって撮影された画像で解像度が 30m と粗いことがあげられる。解像度が粗いために過去の土地利用や伐採等の森林攪乱、本地域ではとくに棚田としての利用後に放棄され、森林に戻りつつある草地・灌木林や若齡林の分布が、十分に抽出、区別できていない可能性が考えられる。このことから、本事業の成果により作成された土地利用区分図に基づいて現地に適応可能なリスク評価およびマップ化を行うことは困難であると判断された。

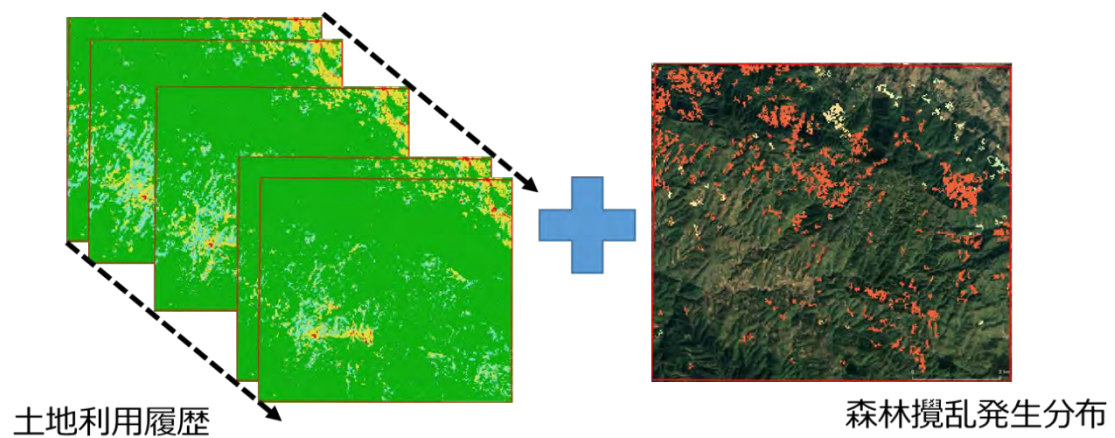


図 4-3-4-4 土地利用区分の模式図。開発された手法によりえられた土地利用履歴と森林攪乱発生分布を組み合わせて、対象年である 2017 年の斜面の土地利用を

A: 農地

B: 荒地

C: 集落

D: 水域

E: 草地・灌木、

F: 森林(攪乱無≡壮齡林)、

G: 森林(農地等の土地利用履歴あるいは攪乱履歴あり≡若齡林)

として区分し、使用した。

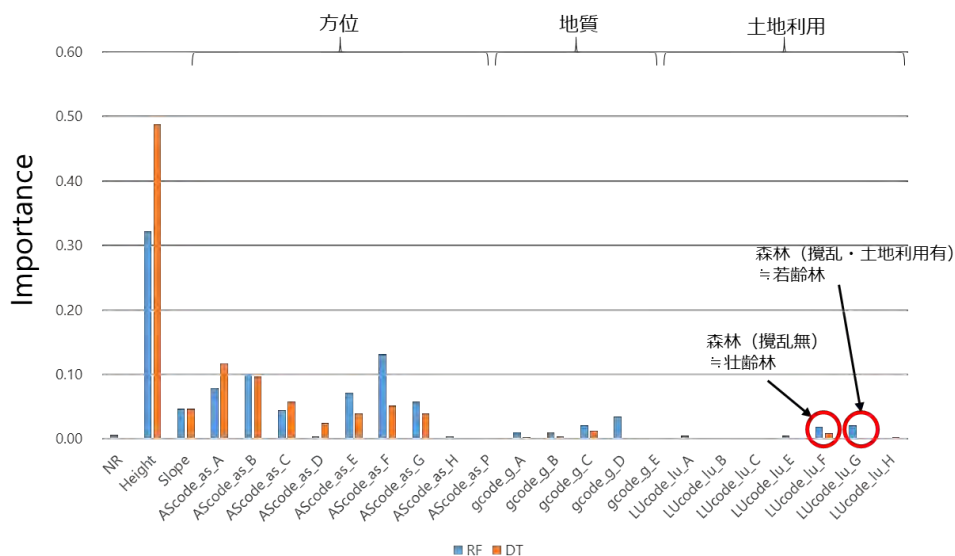


図 4-3-4-5 開発された手法によりえられた土地利用履歴と森林攪乱発生分布より作成した 2017 年の土地利用区分を使用したランダムフォレスト(RF:青色)および決定木(DT:オレンジ;それぞれ教師なし分類)により算出された各要因の重要度。土地利用の区分項目については、森林(攪乱無≡壮齡林)、森林(攪乱有≡若齡林)でほかの土地利用に比べると斜面崩壊に対して重要度が高い結果となるが、ほかの要因項目と比べると、重要度は低いという結果となった。

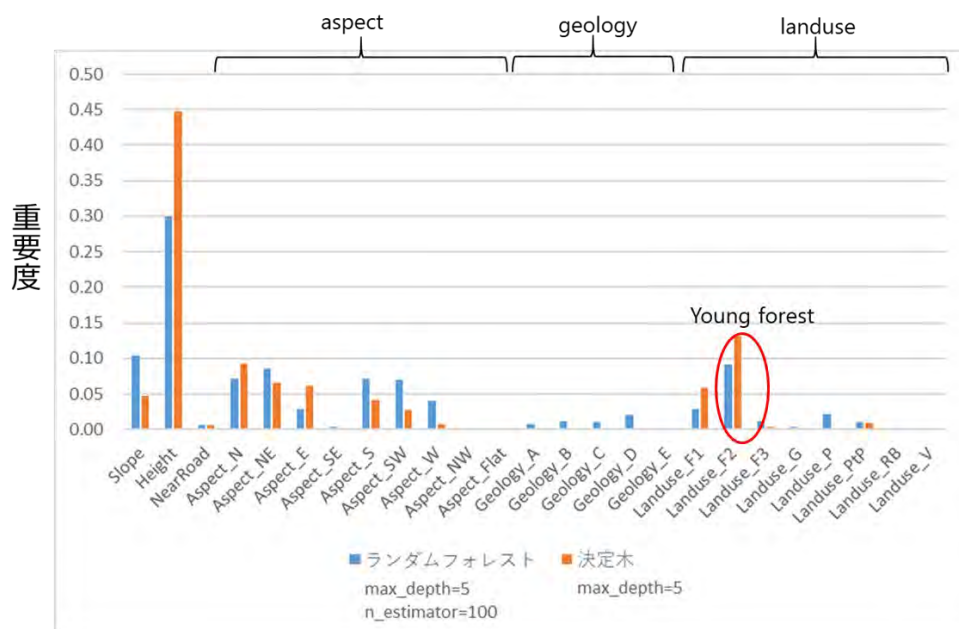


図 4-3-4-6 目視判読により分類した土地利用区分結果をもとにランダムフォレスト(青色)および決定木(オレンジ;それぞれ教師なし分類)により算出された各要因の重要度。若齡林(グラフの Young forest)が決定木では 2 番目、ランダムフォレストでは 3 番目に重要な要因であることが推定されている。

4.3.4.3 DEM データの検証

リスク評価にあたって利用した DEM は ALOS 画像より得られた 12.5m の DEM である。実際の地形面とどのくらい整合性が取れているのかを確認するために、現地で UAV 撮影により得られた画像データより得られた DSM と比較を行った。

比較に使用した DSM は UAV により撮影された画像を 3DF Zephyr というソフトウェアを用いて、SfM-MV 解析により作成した(図 4-3-4-7A、図 4-3-4-7B)。作成にあたっては、位置情報として現地で GPS 計測により取得された GCP を使用した。作成した DSM の解像度は 0.1m である。

撮影画像より作成した DSM と同じ範囲の ALOS の 12.5mDEM でそれぞれ横断面図を取り、比較した(図 4-3-4-8)。図 4-3-4-8 の DSM の横断面の結果は樹木の高さも反映しているが、a の範囲は裸地あるいは草地のため、地表の断面として、比較できる。比較結果をみると、ALOS の 12.5mDEM と DSM はある程度、一致していることが確認された。一方で、ALOS の 12.5mDEM では流路沿いの急傾斜を正確に計測されておらず、相対的に緩傾斜となっており、斜面の起伏も DSM に比べて相対的に小さい傾向が認められた。これは実際の斜面よりも傾斜が緩く算出されるということを示唆している。このことから、リスク評価に使用の際には標高や傾斜の情報は上記の点に留意して、使用する必要があることが判断された。

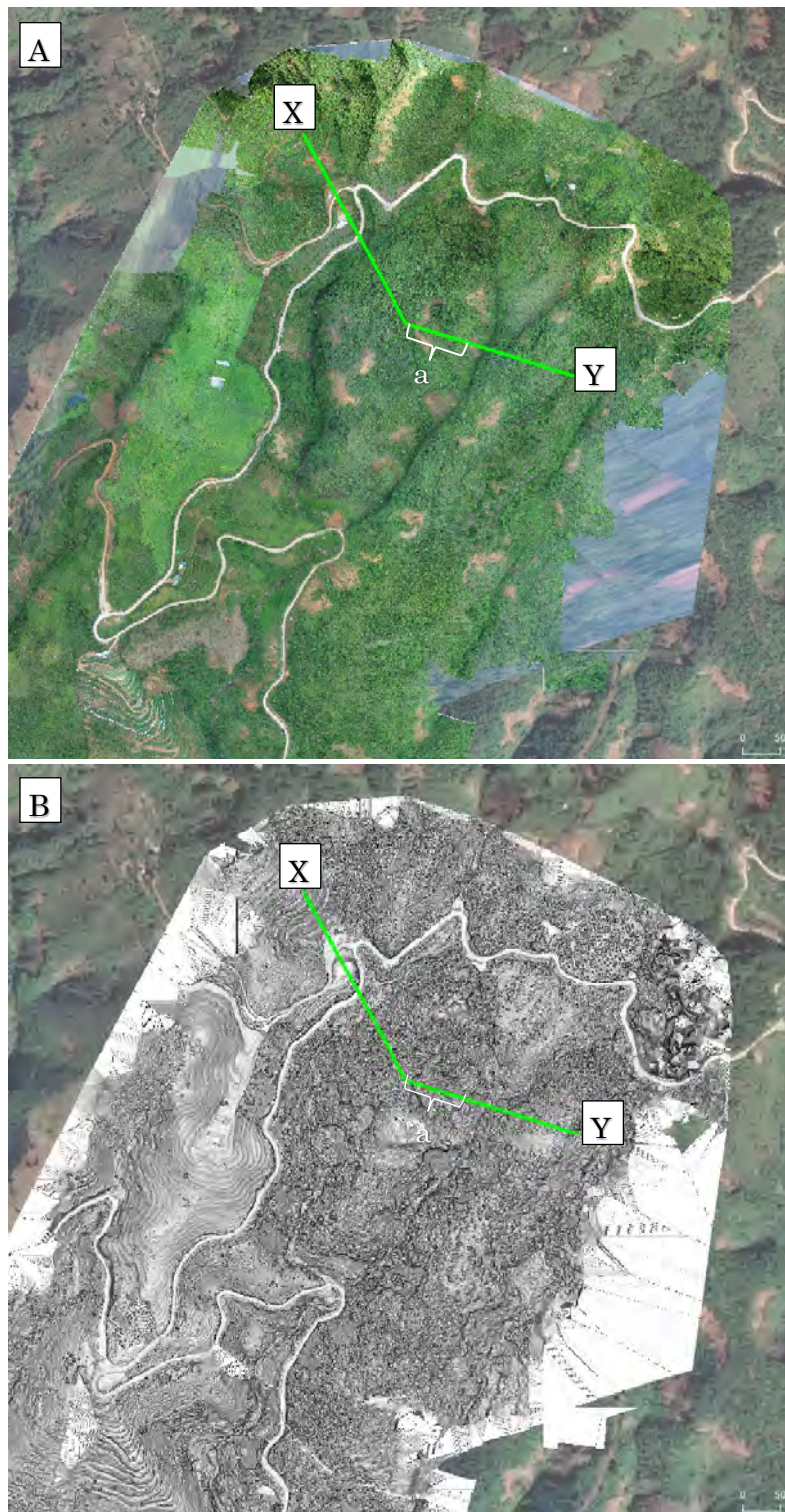


図 4-3-4-7 Mu Chang Chai District (KimNoi Commune ほか) の調査地において撮影された UAV 画像より作成したオルソ画像(A)、および DSM(B: 画像は DSM より傾斜量図を算出し、グレースケールで表示したもの)。X-Y の緑色の線、および a は図 4-3-4-8 の横断面図および崩壊地(裸地)の位置を示している。

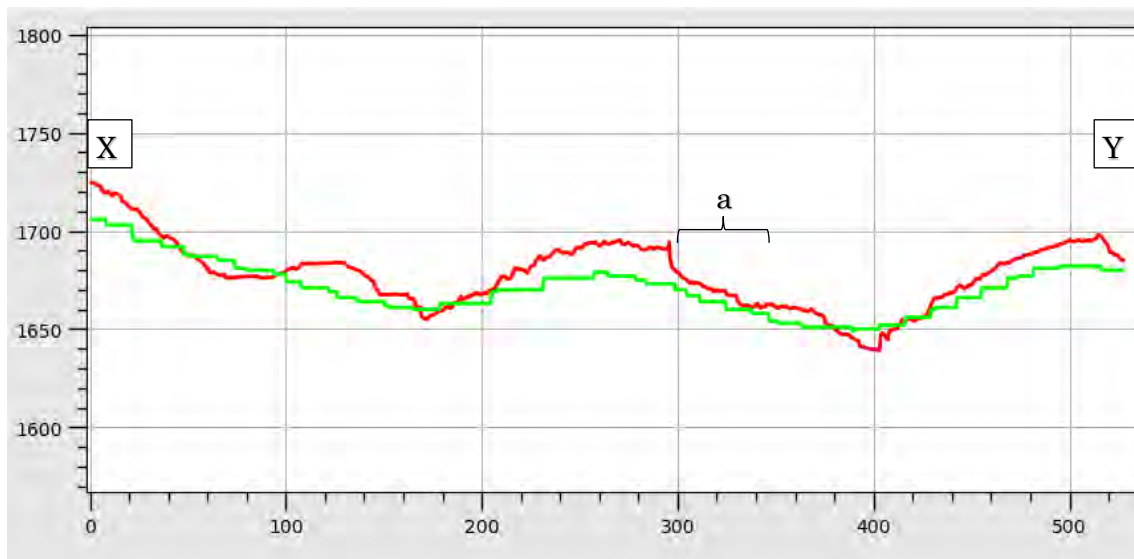


図 4-3-4-8 図 4-3-4-7 の X-Y の範囲の横断面図。赤色が UAV の撮影画像より作成した DSM の横断面図。緑色は ALOS DEM(解像度 12.5m)の横断面図。a は図 4-3-4-7 の崩壊地(裸地)のおおよその範囲を示す。

4.3.5 各データにより算出されたリスク評価結果およびリスクマップ

各データのリスクマップ作成に利用するに際しての検証とともに、実際に対象地域において、それぞれのデータを組み合わせてリスク評価およびマップ作成を行い、比較した。このうち、土地利用/森林攪乱については、4.3.4.2 で述べたとおり、本事業の成果をそのまま利用することは不適であることが、推定されたことから、ほかの土地利用データを利用して評価することを検討することとした。2023 年現在、ベトナム国の土地利用については JAXA より衛星画像を解析することでえられた 10m 解像度の 2016 年の土地利用区分図(ラスタデータ)が公開(https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/jp/dataset/lulc_j.htm)されていたことから、土地利用についてはこのデータの利用が可能かどうかの検討を行った。作成したデータの組み合わせは以下のとおりである。

1. 崩壊地：衛星画像の目視判読；土地利用/森林攪乱：目視判読
2. 崩壊地：目視判読；土地利用/森林攪乱：JAXA 土地利用区分+本事業成果（森林攪乱）
3. 崩壊地：自動抽出（本事業成果による）；土地利用/森林攪乱：JAXA 土地利用区分+本事業成果（森林攪乱）
4. 崩壊地：目視判読；土地利用/森林攪乱：本事業成果（土地利用区分/森林攪乱）
5. 崩壊地：自動抽出（本事業成果による）；土地利用/森林攪乱：本事業成果（土地利用区分/森林攪乱）

JAXA が公開している土地利用区分図のうち、高解像度(10m)のデータは 2007 年、2016

年、2020 年のデータが公開されている。本地域で発生した災害は 2017 年の豪雨によるものであることから、本地域のリスク評価にあたっては 2016 年のデータを利用することとした。一方で土地利用の区分において、森林は「森林」とのみ区分されており、若齢林か壮齢林かの区別がなされていない。これについては本事業の成果である森林攪乱分布の履歴のデータを組み合わせ、対象年である 2016 年の基準として、2000 年以降に何らかの攪乱が認められた範囲の森林を「若齢林」として、区分して使用することとした(図 4-3-5-1)。なお、攪乱の期間を 2000 年以降としたのは、日本における既往の調査において、樹木根系が崩壊の発生を抑制する効果を発揮するのは 15 年生から 20 年生以上であることが知られていることから、攪乱から根系の機能が回復途上の期間として、2000 年以降に森林攪乱があった森林を若齢林とすることとした。

上記のデータのほかに利用したデータは地形(標高、傾斜、方位:ALOS 12.5mDEM より算出)、1/20 万地質図(ポリゴンデータ:CP より提供)、道路(ポリラインデータ:目視判読)、および河川(ポリラインデータ:目視判読)の各データを要因項目として評価に使用した。

上記の 1. から 5. の崩壊地と土地利用の判読、抽出方法のデータの組み合わせにおいて、崩壊地を目的変数、その他のデータを説明変数としてデータセットをそれぞれ作成し、リスク評価を行った(図 4-3-5-2)。マップは、R のランダムフォレスト(RF)を利用し、それぞれの調査範囲で整理したデータセットを用いて教師あり分類を行い、その結果を基に構築されたモデルからリスク評価を行い、結果をマップ化した(図 4-3-5-3、図 4-3-5-4、図 4-3-5-5、図 4-3-5-7、図 4-3-5-8)。また、崩壊に影響すると判断された要因がどの程度、重要であるかについては、崩壊に対する各要因の重要度を機械学習(Python の決定木およびランダムフォレスト)の教師なし分類を行うことで、推定した(図 4-3-5-6、図 4-3-5-9)。

結果を図 4-3-5-3 から図 4-3-5-9 に示す。図 4-3-5-3 は前述した 1. 崩壊地:衛星画像の目視判読;土地利用/森林攪乱:目視判読(以降、とくに説明がない限り「1.」とのみ記述する)の評価結果をもとにマップ化したものである。図 4-3-5-4 は前述の 2. 崩壊地:目視判読;土地利用/森林攪乱:JAXA 土地利用区分+本事業成果(森林攪乱)(以降、2.)、図 4-3-5-5 は 3. 崩壊地:自動抽出(本事業成果による);土地利用/森林攪乱:JAXA 土地利用区分+本事業成果(森林攪乱)(以降、3.)の評価結果をもとにマップ化したものである。図 4-3-5-6 は 2. および 3. における崩壊に対する各要因の重要度を評価した結果である。2. については 1. と同様なリスク評価結果となっていることが図 4-3-5-4、図 4-3-5-6 より判断された。一方で、3. については、河川の近傍や道路の周辺が崩壊に対して重要度が相対的に高く出るという結果となり(図 4-3-5-6)、図 4-3-5-5 においても道路沿いや河川沿いでリスクが高くなる傾向が認められた。この理由として、自動抽出された崩壊分布範囲には崩壊地以外の裸地(土砂の流

送域、道路の法面、耕作跡地など)も含まれるため、それらがリスク評価を行う際に影響を与えたことが推測され、そのことが結果として河川の近傍や道路の周辺が崩壊に対して重要度が相対的に高く出ることになったと考えられる。

図 4-3-5-7、図 4-3-5-8 および図 4-3-5-9 は 4. 崩壊地:目視判読;土地利用/森林攪乱:本事業成果(土地利用区分/森林攪乱)(以降、4.)および 5.崩壊地:自動抽出(本事業成果による);土地利用/森林攪乱:本事業成果(土地利用区分/森林攪乱)(以降、5.)の結果を示しているが、図 4-3-5-3 の 1. の結果と比べると相対的にリスクが高い範囲が認められないという結果となり、実際に発生した崩壊箇所とリスク評価が一致しないという結果となった。これについては土地利用区分が本事業成果による土地利用区分であり、現地に適応可能なリスク評価が難しいものであるためであること、5. についてはさらに自動抽出された崩壊分布範囲には崩壊地以外の裸地(土砂の流送域、道路の法面、耕作跡地など)も含まれるため、このことが実際の崩壊箇所と一致せず、道路や河川沿いにリスクが高く評価される結果となったものと考えられる。

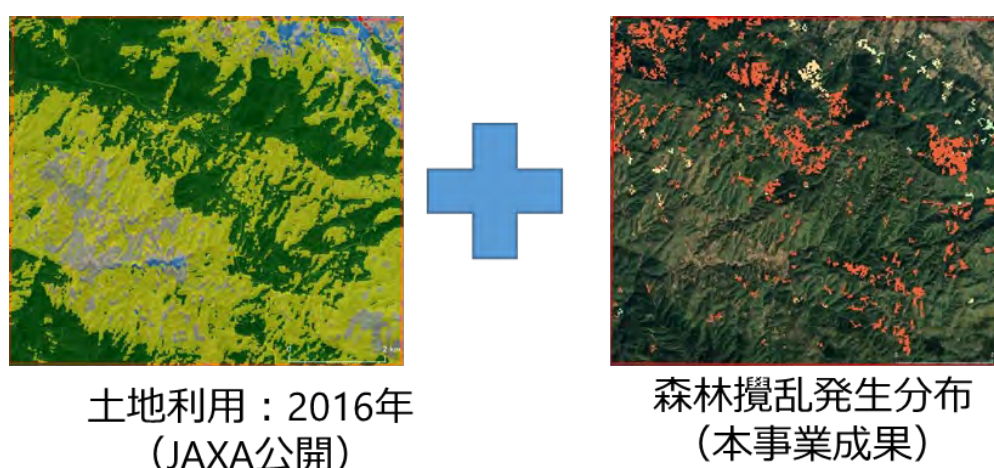


図 4-3-5-1 土地利用区分の模式図。JAXA が公開するベトナムの 2016 年の土地利用図と本事業の成果である森林攪乱発生分布を組み合わせ、土地利用を
A:農地
B:荒地
C:集落
D:水域
E:草地・灌木、
F:森林(攪乱無≡壮齢林)、
G:森林(農地等の土地利用履歴あるいは攪乱履歴あり≡若齢林)
として区分し、使用した。

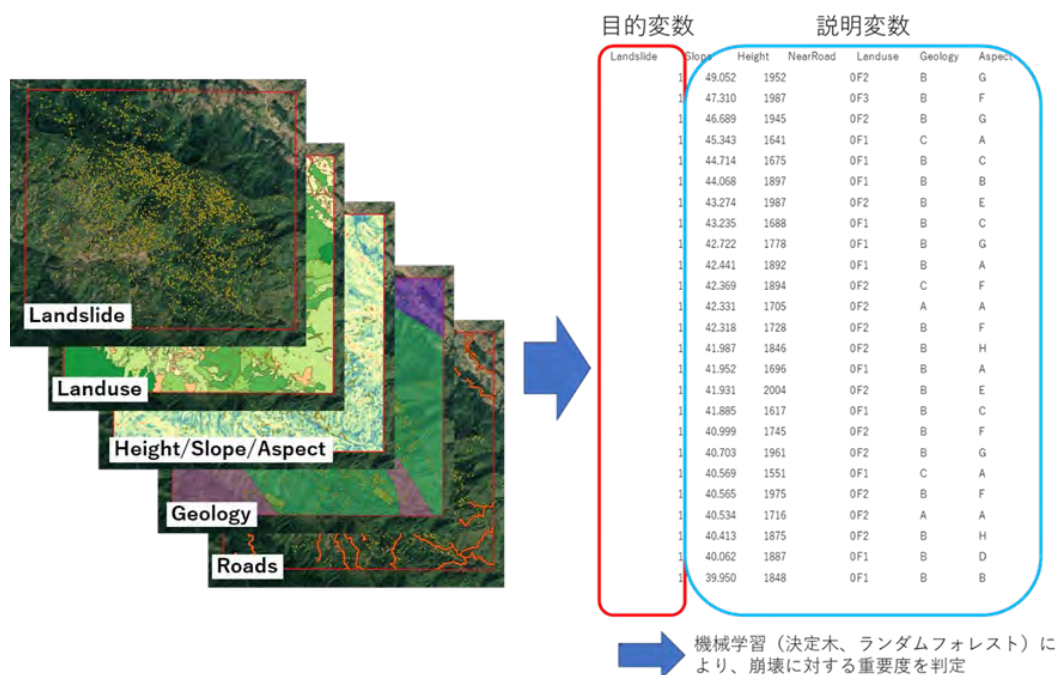


図 4-3-5-2 利用した要因項目（左図）。解析範囲に 10m メッシュを作成し、メッシュごとに崩壊地の有無（目的変数）および各要因項目（説明変数：土地利用、標高、傾斜、方位、地質、道路、河川）を集計し、データセットを作成し、解析に使用した（右表）。

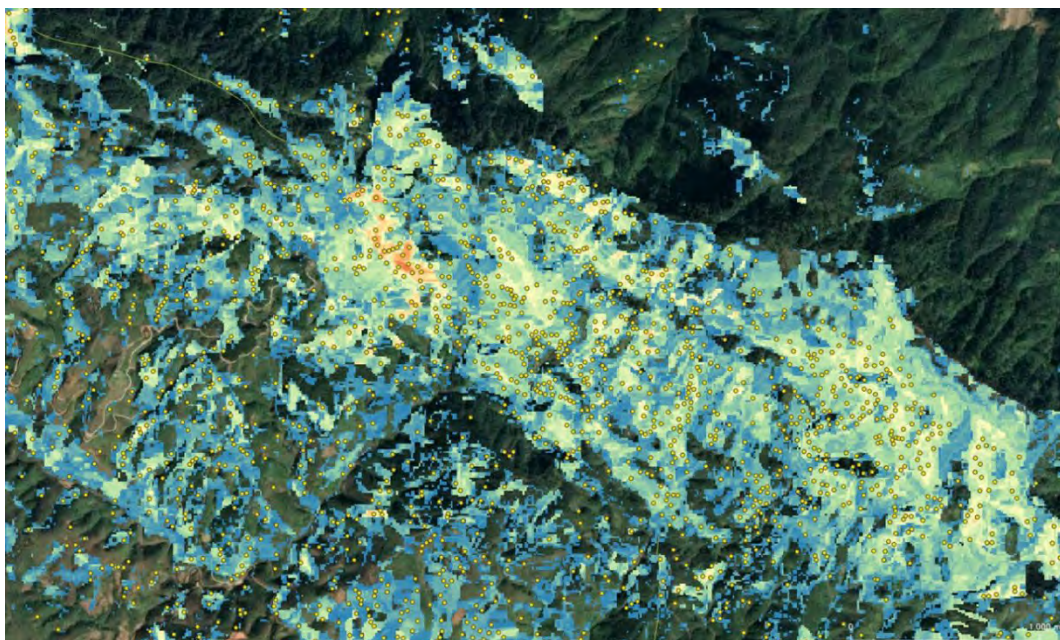


図 4-3-5-3 崩壊地（衛星画像の目視判読）、土地利用/森林攪乱（衛星画像の目視判読）に基づき作成したリスクマップ。暖色の範囲ほどリスクが相対的に高いことを示す。黄色いポイントは目視判読した崩壊地。以降の図 4-3-5-4、5、7、8 の配色は比較のために同じ値で区分している。

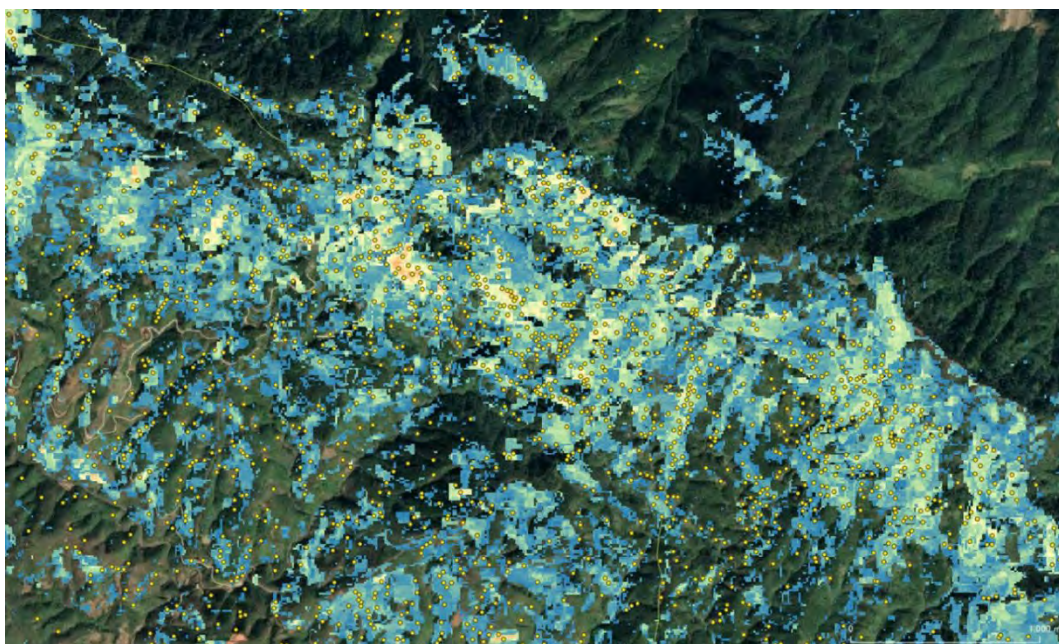


図 4-3-5-4 崩壊地(衛星画像の目視判読)、土地利用/森林攪乱(JAXA+本事業成果)に基づき作成したリスクマップ。図 4-3-5-3 と比較すると、リスクの高い範囲はやや狭くなるが、ほぼ同じリスク評価結果となった。



図 4-3-5-5 崩壊地(自動抽出)、土地利用/森林攪乱(JAXA+本事業成果)に基づき作成したリスクマップ。図 4-3-5-3、図 4-3-5-4 と比較すると、相対的にリスクが高い範囲は狭くなる。道路沿いや河川沿いでリスクが高くなる傾向が認められた。

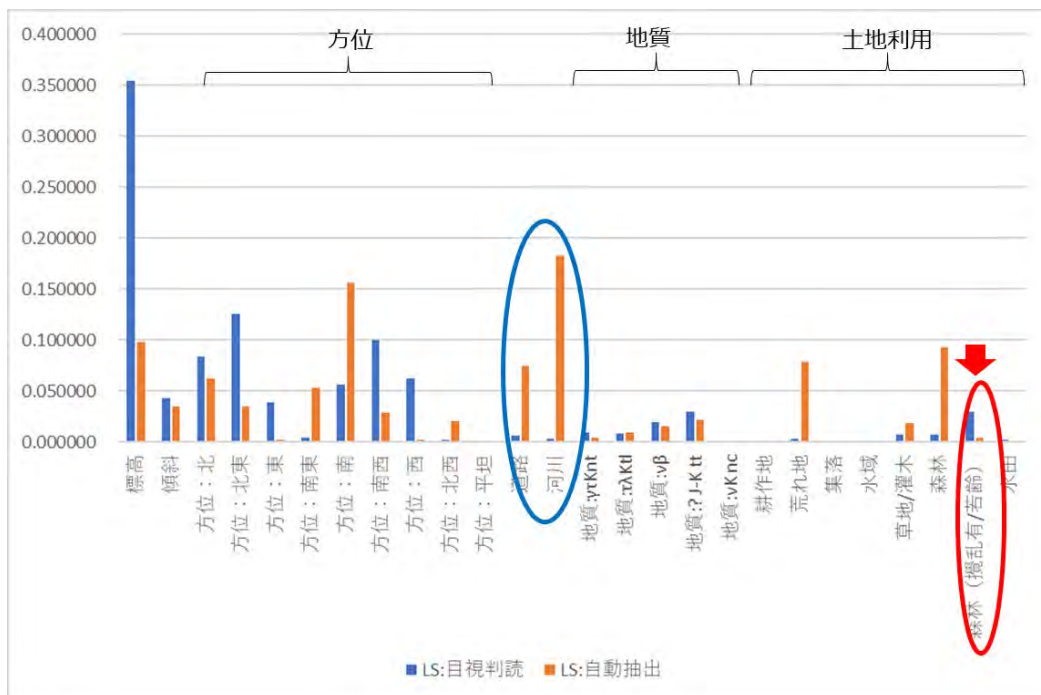


図 4-3-5-6 ランダムフォレスト(教師なし分類)により算出された崩壊(目視判読と自動抽出)に対する各要因の重要度。土地利用は JAXA が公開しているベトナムの土地利用区分図(解像度 10m:2016 年)を利用。森林については本事業成果の森林攪乱分布図と組み合わせて、攪乱有(≡若齢)と無で区分。目視判読+JAXA では土地利用では森林攪乱有(≡若齢)で重要度が相対的に高い(赤枠および矢印)傾向となる。自動抽出+JAXA10m では道路や河川といった項目で重要度が高い(青枠)結果となった。



図 4-3-5-7 崩壊地(衛星画像の目視判読)、土地利用/森林攪乱(本事業成果)に基づき作成したリスクマップ。図 4-3-5-3 と比較すると、相対的にリスクが高い範囲が認められない結果となった。実際に発生した崩壊箇所とリスク評価結果が一致しない。



図 4-3-5-8 崩壊地(自動抽出)、土地利用/森林攪乱(本事業成果)に基づき作成したリスクマップ。図 4-3-5-3 と比較すると、道沿いや河川沿いにリスクが相対的に高い結果となった。実際に発生した崩壊箇所とリスク評価結果が一致しない

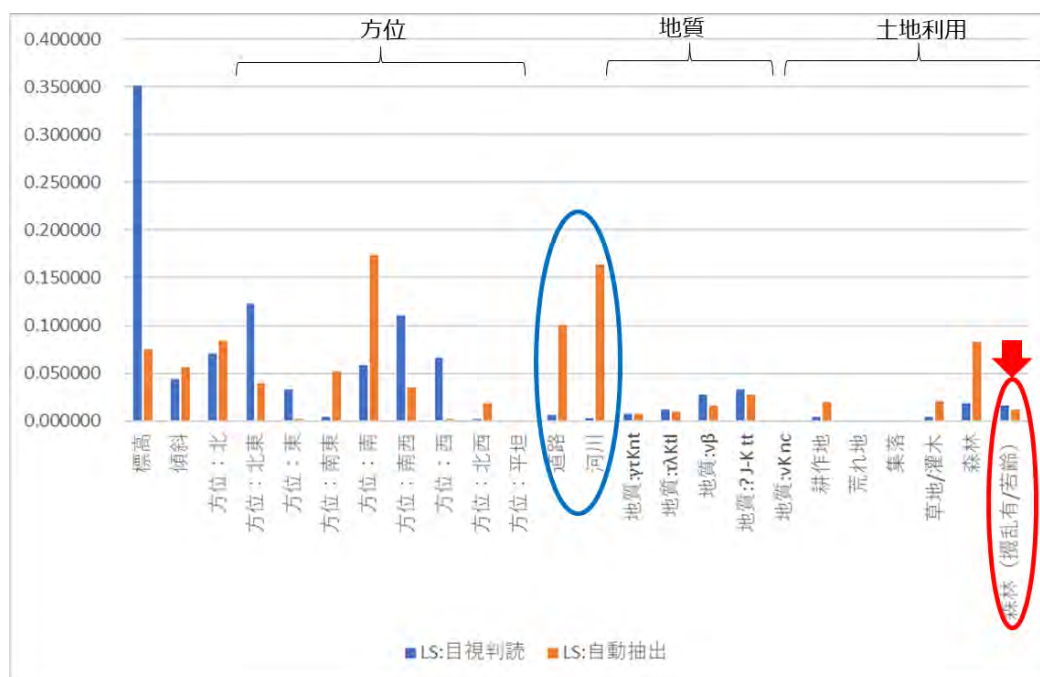


図 4-3-5-9 ランダムフォレスト(教師なし分類)により算出された崩壊(目視判読と自動抽出)に対する各要因の重要度。土地利用は本事業の成果の土地利用分類を使用。森林については本事業成果の森林攪乱分布図と組み合わせて、攪乱有(≡若齢)と無で区分。目視判読+本事業成果では土地利用における森林攪乱有(≡若齢)の重要度は攪乱無しの森林よりも相対的に低い(赤枠および矢印)傾向となる。自動抽出+本事業成果では道路や河川といった項目で重要度が高い(青枠)結果となった。

4.3.6 まとめと今後の課題ーリスク評価およびリスクマップを作成するにあたっての留意点ー

本年度は、衛星観測雨量データから、崩壊発生時の雨量を評価するための手法の検討を行った。併せて、対象地域において昨年度までに作成した斜面崩壊に対するリスクマップに対して、使用した GIS データや開発した衛星画像より崩壊地を自動抽出するツールでの成果、および衛星画像より分類した土地利用区分履歴、森林攪乱分布履歴の成果の適用性および問題点の抽出、およびリスク評価およびマップ化にあたっての留意点について検討した。

衛星観測雨量データについては、衛星観測雨量の過小評価が発生する閾値(日雨量で 96 パーセンタイル値を超える雨)に基づいて崩壊発生危険雨量を判定可能であることが示唆された。調査地域である Yen Bai 省 Mu Cang Chai District Ho Bon Commune の周辺地域で斜面崩壊が発生した 2023 年 8 月の期間中には、数日にわたって日雨量が閾値を超える雨が観測されているが、それ以外の期間で日雨量が閾値を超える雨が 1~2 日しか観測してい

ない時には崩壊は発生していないことから、衛星観測雨量においては、数日間の連続した閾値を超える雨を観測した際に崩壊を引き起こす可能性が高いことを示すことが考えられた。これについては、3 日間雨量など雨の特徴を精査することでより適切な閾値を調べていく必要があると考えている。

斜面崩壊に対するリスク評価およびマップ化を行う上で、本事業で作成した自動抽出ツールにより抽出された崩壊分布をそのまま利用することは、不適であると判断された。理由としては、1:自動抽出された崩壊分布範囲には崩壊地以外の裸地(土砂の流送域、道路の法面、耕作跡地など)も含まれるため、それらがリスク評価を行う際に影響を与えてしまう、2:河川の近傍や道路の周辺が崩壊に対して重要度が相対的に高く出る、さらに、3:使用している衛星画像の解像度の問題から、崩壊幅が 10m 以下の小さな崩壊が抽出されないといった理由があげられる。これらのことから、本事業で作成した自動抽出ツールによる崩壊地の抽出結果をそのまま使用するのではなく、目視判読などにより精査することが、リスク評価を行う際には必要であることが判断された。

本事業の成果により作成される土地利用分類図は LANDSAT 画像からの作成のため、解像度が粗く(30m)、現地に適応可能なリスク評価およびマップ化が難しいことが示唆された。これについては JAXA より衛星データを利用したベトナム国全土の 10m 解像度の土地利用分類図(ラスターデータ、2016 年)が公開されており、この JAXA の土地利用分類図に本事業の成果である森林攪乱履歴の成果を組み合わせることで使用することにより、目視判読結果と同じような結果が求められることが確認された。このことは、高解像度の衛星画像を利用した土地利用分類のデータであれば、本事業の目的のひとつである、斜面崩壊に対するリスク評価およびマップ化をおこなうにあたって適用が可能であることが判断された。また、JAXA の土地利用分類では森林の状態(若齢林、壮齢林、攪乱および過去の土地利用の有無)までは区分することができないため、このような森林の状態を判断し、区別するためには本事業の成果となる森林攪乱履歴分布の利用し、上記の土地利用分類データと組み合わせることでリスク評価およびマップ化に適応できることが判断された。なお、現地により適応可能なリスクマップを目指すのであれば、目視判読および現地調査による確認は必要不可欠であるとする。

これまでの検討結果から、斜面崩壊に対するリスク評価およびマップ化に必要なデータとなる既存の崩壊地の抽出は、目視による判読が現時点では有効(自動抽出した際でも、目視判読による精査は必要)であり、土地利用分類については、ベトナム国においては JAXA が公開している 10m の土地利用分類図に本事業の成果である森林攪乱分布を組み合わせることで適応が可能であることが示された。それ以外の GIS データについて、とくに DEM といった地形データについては解像度と、特徴、例えば今回利用した ALOS の 12.5m の

DEM については、実際に比べて、傾斜が緩く、起伏が小さくなる傾向があったことから、その特徴に留意したうえでリスク評価およびマップ化に利用する必要性が求められると考える。このように、作成するリスクマップに必要なデータの種類(項目)と作成するリスクマップの空間スケールに応じて必要となるデータの解像度や特徴、留意点等を整理したうえで利用すれば、目的に応じたリスク評価およびリスクマップを作成することが可能となることが判断された。

これまでの検討結果に基づいて、2023 年 8 月の豪雨により災害が発生した Yen Bai 省 Mu Cang Chai District の HoBon Commune 周辺地域で作成したリスクマップを図 4-3-6-1 に示す。本課題の目的である森林管理に質する斜面崩壊リスクマップを作成するためには、これまでの報告でも記述してきたことではあるが、現地調査等から、より現地のとくに土地利用の形態(棚田、焼き畑、あるいはそれらが放棄され、森林化しているかどうか等)を理解することが重要であると考え。本地域においても、現地調査などを通じて、リスク評価結果および作成したリスクマップの整合性を検討し、改善を進めたうえで、今後の森林管理(土地利用)に質するものにしていくことが重要であると考え。



図 4-3-6-1 2023 年 8 月の豪雨により災害が発生した Yen Bai 省 Mu Cang Chai District の HoBon Commune 周辺地域で作成したリスクマップ。本地域において発生した崩壊箇所を災害後に公開された高解像度衛星 (Pleiades Neo、30 cm) より目視判読 (黄色ポイント) し、KimNoiCommune ほかの地域と同じ手法 (土地利用は JAXA のデータ+本事業の森林攪乱分布データを利用) で、崩壊に対してのリスク評価を行い、マップ化した。

4.4 海面上昇による高潮被害に対するマングローブ林の沿岸域防災・減災機能の評価

4.4.1 気候変動下においてマングローブ林への期待が高まる沿岸域防災・減災

マングローブは熱帯・亜熱帯沿岸域の潮間帯に分布し、海域と陸域の間で緩衝帯としての役割を果たしている。すなわち、マングローブは、高い一次生産能を背景とした膨大な炭素貯留機能(地球温暖化緩和機能)や、木材や燃料の生産、海陸双方に由来する生物への住み処提供など多様な生態系サービスに加え、防風・防潮・波力減衰等沿岸域の防災・減災を担っている。一方で、近年の地球規模での気候変動の進行を背景にした海面上昇や大型台風の頻発により、これまでよりも大きな高波や強い暴風が発生し、沿岸域の災害リスクが増していることから、マングローブ生態系を含む沿岸部における防災・減災機能の発揮に大きな関心が集まっている。

IPCC の第 6 次評価報告書(IPCC 2021, Climate Change 2021: The Physical Science Basis)では「人間の影響により大気、海洋、陸地が温暖化したことは明白である」とされた。すなわち、観測や複数の気候モデルシミュレーションの結果から、近年、世界平均海面水位の上昇が加速しており、1902～2010 年の間 0.16m 上昇し、2006～2015 年の海面上昇速度は 3.6 mm/年と報告された(環境省 2021)。これは、直近 100 年間では例がないスピードで、20 世紀における海面水位の上昇率に比べ、約 2.5 倍に相当するとのことである。地球規模での気候変動によって、海面上昇は着実に進行し、中心気圧が低下し大規模化した台風の発生も多発すると予測されている。このような気象環境の変化により、高波・暴風等による沿岸域における災害リスクの高まりが懸念される中、沿岸域潮間帯に分布するマングローブも存立の危機に曝されている。

一方で、潮間帯にのみ生育可能なマングローブは、クロマツ等の陸性の樹木で構成される海岸林と同様に、古来、防風・防潮・波力減衰・浸食防備など沿岸域の防災・減災を担ってきた(海津 1998、佐藤 1992、2010、松田 2011)ことは周知である。2004 年のインド洋大津波では、マングローブは津波被害の低減に貢献し、改めて注目を集めた(Forbes & Broadhad 2007、Yanagisawa et al. 2009 など)。気候変動による海面上昇や大型台風による沿岸災害リスクの高まりが懸念される現在、熱帯・亜熱帯地域の沿岸部に分布するマングローブ林には、気候変動による海面上昇に伴う沿岸域の浸食防止や、海水温の上昇に起因して強大化が想定される台風による高潮リスクの軽減など、国土保全・沿岸護岸のための防災・減災を含む気候変動の適応策の一翼としての期待が高まっている(International Federation of Red

Cross and Red Crescent Societies 2011a, b, Huxham et al. 2017)。

しかし、現状は、港湾開発や魚介の養殖池造成、商業伐採などによりマングローブ林の消失や劣化は近年進行しており(宮城ほか 2003)、さらには海岸侵食や表層侵食が顕在化している地域もみられる。このため、海面上昇のリスクに曝されている沿岸域のハザードを低減する行動として、近年、マングローブの再植林による沿岸域の保全活動が積極的に推進されている(環境省 2021)。

こうしたことを背景に、海面上昇による高潮被害に対する沿岸域の防災・減災に関しては、激甚化する高波や強風に耐えうるマングローブの閾値やマングローブによる防災・減災機能を定量的に理解したうえで、予測されるリスクに対するマングローブ保全策を構築することが急務となっている。

4.4.2 波や風に対するマングローブの根返り耐性の定量評価：樹木引き倒し試験結果から

4.4.2.1 背景と目的

既述のように、潮間帯にのみ生育可能なマングローブは、古来クロマツ等の陸性の樹木で構成される海岸林と同様に、防風・防潮・波力減衰・浸食防備などの沿岸域の防災機能を担ってきた(海津 1998、佐藤 1992、Mazda 1997、松田 2011)。2004 年のインド洋大津波では、マングローブは津波被害の低減に貢献し、注目を集めた(Forbes & Broadhad 2007, Yanagisawa et al. 2009 等)。その他にも、炭素固定、景観保全、保健休養、水産資源の提供等多面的機能を有する。これらのマングローブによる多面的機能を維持していくためには、激甚化する高波や強風に耐えうるマングローブの閾値を理解したうえで、予測されるそれらのリスクに対するマングローブ保全策を構築することが不可欠である。

波や風等の流体に対し樹木は抵抗体として働き、波や風からの外力を減衰する。波や風から受ける流体力(外力)が樹木の抵抗力を下回れば、樹木は抵抗体として働き続けるが、反対に外力が上回れば、幹折れしたり、根返りを起こしたりして、樹木に被害が発生する。こうした力に対する樹木の物理的耐性の「しきい値」は、主に陸域の森林を対象に数多く評価されてきた。これらの研究内容は、主に潮害、風害、津波被害を受けた被災地を対象とする「疫学的調査」(Kamimura & Shiraishi 2007, 首藤 1985 等)と、樹木を引き倒し、倒伏抵抗性を力学的に解析する「実験的調査」(Peltola et al. 2000)に大別できる。

マングローブでもスマトラ沖やサモア沖地震に伴う津波抵抗性に関する「疫学的調査」(Kathiresan & Rajendran 2005, Yanagisawa et al. 2009, 2021 等)は行われてきた。マングローブ構成種の一つである *Rhizophora* 属の破壊限界は、胸高直径 0.2m の個体で約

9kNm、0.4m では約 30kNm と試算されている(Yanagisawa et al. 2009)。一方、現生のマングローブを対象とした「実験的調査」例は稀で、「疫学的調査」を検証した例はない。その理由としては、スマトラ沖地震以前にはマングローブの防災機能があまり注目されていなかったこと、近年のエビ養殖池への転換や薪炭利用等で劣化したマングローブに対する保全活動の世界的な高まりから各国で措置された伐採禁止により破壊的な調査が自重されてきたこと等が考えられる。

そこで、ここでは、潮間帯に存立するマングローブの、波や風で引き起こされる根返りに対する「しきい値」(破壊限界)を明らかにすることを目的として、マングローブの生立木数種を対象として「実験的調査」を実施した。具体的には、マングローブ対象木をハンドウィンチによって引き倒し試験を行い、樹木の牽引力による回転モーメントと重力モーメントを測定して、マングローブの根返り耐性特性を評価した。

4.4.2.2 調査地の概要

引き倒し試験は、沖縄県竹富町西表島浦内川河口部(URE、24°24'N、123°46'E)およびベトナム社会主義共和国ナムディン省の Xuan Thuy 国立公園(XTNP、20°12–13'N、106°31–32'E)で実施した(図 4-4-2-1)。どちらもマングローブの自然分布の北限に位置する。URE のマングローブは自然定着したもので、矮性の *Rhizophora stylosa* Griff. (ヤエヤマヒルギ)の優占する林分で、*Bruguiera gymnorrhiza* (L.) Lam. (オヒルギ)や *Lumnitzera racemosa* Willd. (ヒルギモドキ)等が混じる。XTNP は、ナムディン省トンキン湾の紅河河口に位置するマングローブ林である。1989 年に東南アジアで初めてラムサール条約に登録され、2003 年には国立公園に指定された。XTNP は、植林されたマングローブと自然定着のマングローブが混在しており、主な種は *Kandelia obovata* (S., L.) Yong (メヒルギ)、*Sonneratia caseolaris* (L.) Engler (ベニマヤブシキ)、*Sonneratia apetala* Buch.-Ham. (ナンヨウマヤブシキ)で、面積は 15,000 ha 余にわたる(Hien et al. 2018)。URE と XTNP における堆積物は、それぞれ、主に有機砂質ロームと有機粘土から構成される。

URE 近隣のアメダス西表島観測所(24°26'N、123°46'E)における 2003 年から 2022 年の年平均気温は 24.1℃、年平均降水量は 2,211mm であった(気象庁 2023, <https://www.data.jma.go.jp/risk/obsdl/index.php>)。また、XTNP の年平均気温は 23.4～24.5℃、年平均降水量は 1,750～1,800mm であったと Hien ら(2018)が報告している。大潮、中潮、小潮の平均潮位は、西表島北西部の白浜港でそれぞれ 1.3、1.0、0.7m (<https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/suisan/suisan.php>)、ベトナム北東部の Hon Dau 潮位観測所で 3.1、1.9、0.8m(The Vietnam Agency of Seas and Islands, tide

table 2022) である。

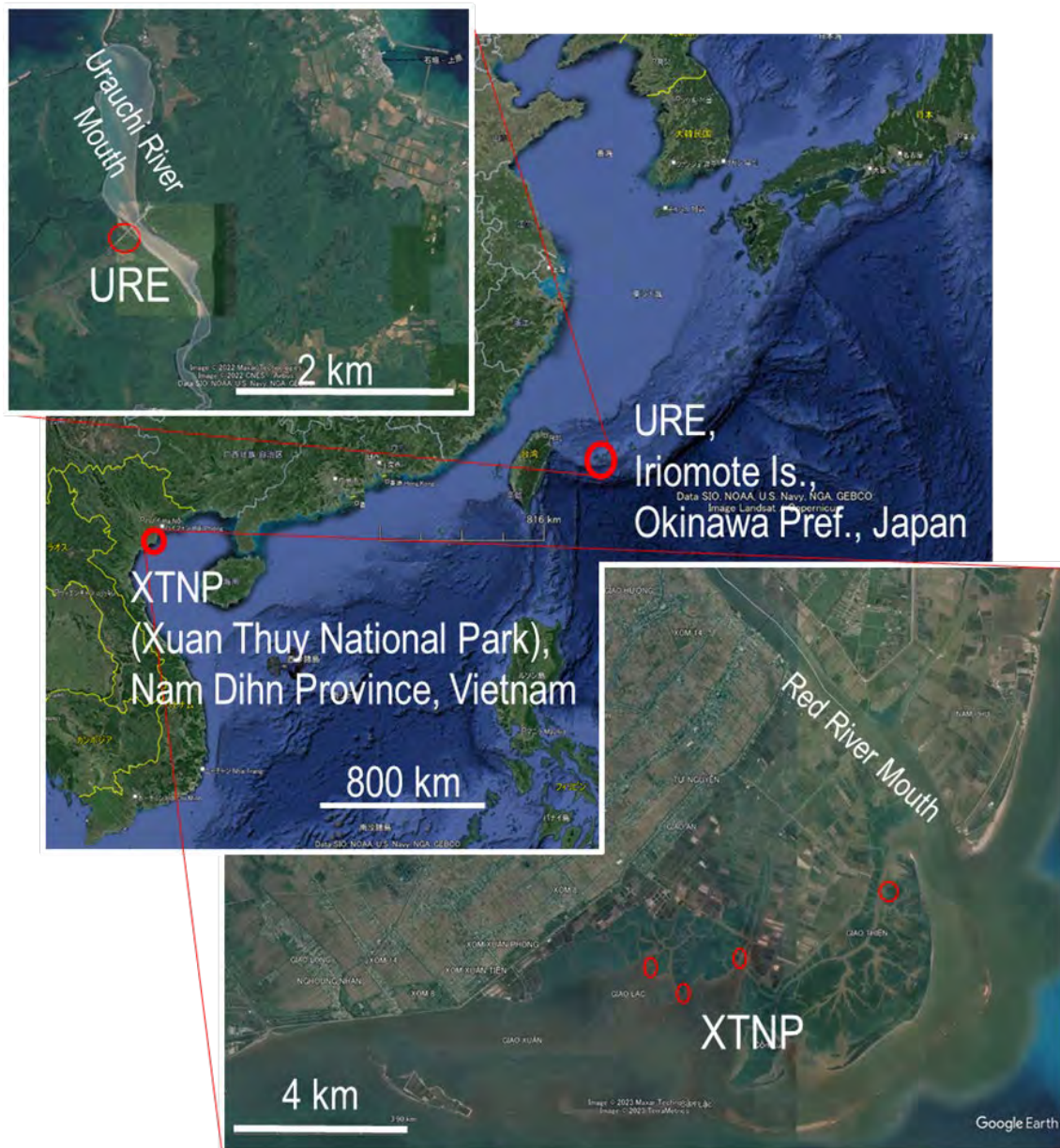


図 4-4-2-1 調査地位置図

4. 4. 2. 3 試験対象木の選定

本研究では、海からの波や風にさらされることの多い海岸線の前縁に分布するマングローブの樹種を対象とし、その根返り耐性を評価した。URE では、最上部の支柱根発生部から 30cm の高さにおける幹直径 ($D_{0.3 \text{ m APR}}$) が 3.9~10.8 cm の *R. stylosa* を 9 本、XTNP では、DBH が 2.9~16.1 cm の *S. caseolaris* を 12 本、5.0~12.8 cm の *S. apetala* を 8 本

選定した(表 4-4-2-1)。また、URE では、*B. gymnorrhiza* 4 本と *L. racemosa* 2 本を参考樹種として試験対象に選定した。*R. stylosa* については $D_{0.3\text{ m APR}}$ を、*S. caseolaris* と *S. apetala* については地上 30cm の高さにおける直径($D_{0.3\text{ m AG}}$)を、*R. stylosa* を除く支根を持たないすべての樹種については DBH を、すべての樹種については樹高(H)を測定した。従来、*R. stylosa* の DBH と $D_{0.3\text{ m APR}}$ の両方がアロメトリックな関係を仮定したバイオマス推定に用いられてきたため、本研究では *R. stylosa* の $D_{0.3\text{ m APR}}$ を他の樹種の DBH と等しいものとみなした。引き倒し試験を実施した樹木はすべて試験後に伐倒し、茎、枝、葉(*R. stylosa* は支柱根を含む)を携帯デジタル吊り秤(Model: 393-50; CUSTOM Corp. Tokyo, Japan)で計測し、地上部バイオマスを計算した。

表 4-4-2-1 調査対象木の特性値諸元

表4.4.1:調査対象木の特性値諸元

最上部支柱根の根元から30 cm高の幹直径 ($D_{0.3\text{ m APR}}$), 地上高30 cm部分の幹直径 ($D_{0.3\text{ m AG}}$), 胸高直径 (DBH), 樹高 (H), 幹断面積合計 (BA), 幹直径の2乗に樹高を乗じた値 ($D_{0.3\text{ m APR}}^2\text{H}$ or $D^2\text{H}$), 地上部バイオマス (TAB), および引き倒し試験時における幹角度 (β)

Study site, Species	Tree ID	$D_{0.3\text{ m APR}}^*$ (m)	$D_{0.3\text{ m AG}}^{**}$ (m)	DBH ^{***} (m)	Tree height (H) (m)	Sum of basal area (BA) ^{****} (m ²)	square of trunk diameter multiplied by H ($D_{0.3\text{ m APR}}^2\text{H}$ or DBH^2H) ^{****} (m ³)	Total above- ground biomass (TAB, raw weight) (kg)	Stem angle (β) at M_{max} (°)
Site: URE, <i>R. stylosa</i>	R1	0.056	n.d.	n.d.	3.8	0.002	0.012	15.7	14
	R2	0.055	n.d.	n.d.	3.4	0.002	0.010	14.2	0
	R3	0.091	n.d.	n.d.	3.1	0.007	0.026	34.3	11
	R4	0.108	n.d.	n.d.	4.5	0.009	0.052	41.2	10
	R5	0.039	n.d.	n.d.	2.9	0.001	0.004	8.4	10
	R7	0.072	n.d.	n.d.	3.1	0.004	0.016	37.5	0
	R8	0.041	n.d.	n.d.	2.7	0.001	0.005	3.9	20
	R9	0.040	n.d.	n.d.	2.4	0.001	0.004	5.0	0
	R10	0.041	n.d.	n.d.	2.5	0.001	0.004	6.3	3
<i>B. gymnorrhiza</i>	B1	n.d.	n.d.	0.059	5.3	0.003	0.018	26.9	15
	B2	n.d.	n.d.	0.067	5.5	0.004	0.025	22.7	0
	B3	n.d.	n.d.	0.040	2.9	0.001	0.005	12.9	14
	B4	n.d.	n.d.	0.028	2.0	0.001	0.002	7.4	19
<i>L. racemosa</i>	L1	n.d.	n.d.	0.047	3.2	0.002	0.007	12.7	19
	L2	n.d.	n.d.	0.039	3.6	0.001	0.005	9.0	36
Site: XTNP, <i>S. caseolaris</i>	SC1	n.d.	0.098	0.072	5.1	0.004	0.026	20.4	29
	SC2 ^A	n.d.	0.132	0.129	5.2	0.013	0.087	57.5	10
	SC3 ^A	n.d.	0.083	0.035	3.2	0.001	0.004	5.4	29
	SC4	n.d.	0.093	0.069	4.7	0.004	0.022	18.1	29
	SC6 ^A	n.d.	0.078	0.069	3.9	0.004	0.019	12.5	29
	SC7 ^A	n.d.	0.112/0.055	0.094	3.6	0.007	0.032	33.6	15
	SC9 ^A	n.d.	0.238	0.161	9.0	0.020	0.233	102.9	25
	SC10 ^A	n.d.	0.160	0.133	8.0	0.014	0.141	98.9	20
	SC11	n.d.	0.054	0.029	3.3	0.001	0.003	4.5	29
	SC12 ^A	n.d.	0.068	0.057	3.4	0.003	0.011	12.1	20
	SC17 ^A	n.d.	0.059	0.039	3.2	0.001	0.005	16.2	27
	SC18 ^A	n.d.	0.058	0.046	3.3	0.002	0.007	5.9	26
<i>S. apetala</i>	SA8	n.d.	0.174	0.128	7.8	0.013	0.128	90.6	5
	SA13 ^A	n.d.	0.108	0.079	4.2	0.005	0.026	34.0	29
	SA14	n.d.	0.088	0.058	4.3	0.003	0.014	24.4	31
	SC15 ^A	n.d.	0.134	0.103	4.5	0.008	0.048	65.6	29
	SC16 ^A	n.d.	0.080	0.061	4.0	0.003	0.015	6.1	20
	SA19	n.d.	0.097	0.068	5.5	0.004	0.025	29.7	30
	SA20	n.d.	0.073	0.050	5.6	0.002	0.014	18.2	30
	SA21	n.d.	0.079	0.051	5.2	0.002	0.014	15.6	30

n.d.: not determined

* $D_{0.3\text{ m APR}}$ indicates stem diameter at 30-cm height above prop root (those height ranged from roughly 80 to 150 cm in height above ground) for *Rhizophora stylosa*. The positions at which $D_{30\text{ cm APR}}$ was measured for *R. stylosa* in the present study ranged from roughly 80 cm to 150 cm height above ground. $D_{0.3\text{ m APR}}$ was not determined for *Sonneratia*. spp., *B. gymnorrhiza*, and *L. racemosa* because of no prop root.

** $D_{0.3\text{ m AG}}$ indicates stem diameter at 30-cm height above ground for *Sonneratia*. spp. $D_{0.3\text{ m AG}}$ was not determined for *R. stylosa*, *B. gymnorrhiza* and *L. racemosa*.

***DBH for *Rhizophora stylosa* substituted with $D_{30\text{ cm APR}}$. Therefore, BA, and DBH^2H for *R. stylosa* were calculated on the basis of the $D_{30\text{ cm APR}}$.

^AThose trees indicate that the stem two or more branched at breast height.

4. 4. 2. 4 引き倒し試験

2022 年 5 月に URE で *R. stylosa* を 9 本、*B. gymnorrhiza* を 4 本、*L. racemosa* を 2 本、2023 年 2 月に XTNP で *S. caseolaris* を 12 本、*S. apetala* を 8 本、それぞれの引き倒し試験を行った。この試験は、風や波に対する根に対する抵抗力の指標として、海岸線の前縁にあるマングローブの限界回転モーメント(M_{max} :kN m)を定量することを目的としている。

引き倒し試験は、Peltola et al. (2000)、Nicoll et al. (2005)、Kamimura et al. (2012)、野口ら(2014)に準じて行った。すなわち、ポリエステル製ソフトスリング(安全使用荷重:3.2トン)を、地上高約 1m の高さで幹に装着し、それを金属製ワイヤーと連結して、引き倒し荷重がピークに達するまで人力で引いた(図 4-4-2-2 および図 4-4-2-3)。引き倒し荷重は 20kN 容量のロードセル(SW3-20kN、株式会社イマダ、または LUX-B-20KN-ID、協和電子工業)を用いて測定し、50Hz データロガー(eZT、株式会社イマダ)、または 100Hz データロガー(EDS-400A、協和電子工業)をインストールしたノートパソコンで記録した。ロードセルで測定した引き倒し荷重と各 1m の高さにおける樹木の重量から、Nicoll ら(2005)が報告しているように、樹木の引き倒しによる回転モーメント(M_{pulled} , kN m, Eq. 1)と樹木の重量による回転モーメント($M_{gravity}$, kN m, Eq. 2)を算出した。 M_{pulled} と $M_{gravity}$ の和を、根元を中心とした回転モーメント(M_{total} , kN m, Eq. 3)を算出した。

$$M_{pulled} = F H_p \cos(\beta - \alpha) \quad \text{Eq. 1}$$

$$M_{gravity} = g m H_g \sin\beta \quad \text{Eq. 2}$$

$$M_{total} = M_{pulled} + M_{gravity} \quad \text{Eq. 3}$$

ここで、 F は樹木に対するウインチによる引き倒し荷重(kN)、 H_p と H_g は測定した樹木に巻いたスリング高と測定樹木の重心高(m)、 β および α は鉛直方向と幹のなす角、水平方向と引っ張り方向のなす角、 m は樹木の質量(kg)、 g は重力加速度(9.8m/s^2)を表す。角度 α と β は、引き倒し試験の最中に撮影したビデオ動画より確認して測定した。試験対象木の引き倒し荷重が大きくなるにつれて、 M_{total} は増加する。試験対象木の引き倒し荷重の計測は、ウインチによる樹木の引き倒し前に開始し、荷重がピークに達し、減少に転じた時点、または幹角度(θ)が 30° を超えた時点で終了とした。波や風に対する根返り耐性の指標である M_{max} は、記録された M_{total} の最大値、すなわち最大回転モーメントと定義した。



図 4-4-2-2 XTNP における *S. caseolaris* の引き倒し試験の様子

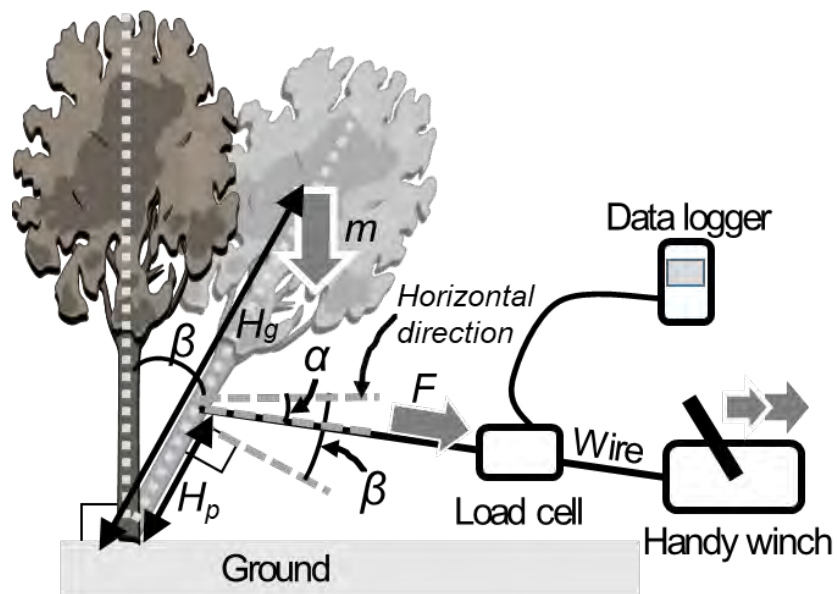


図 4-4-2-3 引き倒し試験における測定項目の概念図

4.4.2.5 統計解析

各樹種の Mmax と樹木サイズとの関係に関する回帰分析は、JMP 9.0.0 (SAS Institute, Cary, NC, USA) を用いて行った。有機基準は $P < 0.05$ とした。

4.4.2.6 結果 1 引き倒し試験による破壊パターンの樹種間比較

Rhizophora stylosa の支柱根は幹を中心に様々な方向に放射状に伸びていた。具体的には、樹木が倒れる方向の支柱根は折れ曲がり、反対方向の支柱根は引きちぎれた。壊されずに残った支柱根は、その他の 1 本または数本の支柱根が屈折したりちぎれたりしても、根返りに対する抵抗性を維持し、引き倒し荷重をかけ続けると再び M_{total} が回復する傾向があった (図 4-4-2-4)。*S. caseolaris* と *S. apetala* は支柱根を持たないが、地中を這うケーブル根は放射状に様々な方向に伸びていた。引き倒し実験の中では、樹木の引き倒し方向とは反対側で地中のケーブル根がちぎれる音がしばしば聞こえた。引き抜き実験では、ほとんどの試験対象木は根返りしたが、一部の樹木 (*Rhizophora stylosa* で 1 本、*Sonneratia caseolaris* で 1 本) では幹折した様子が観察された。これらの幹折れた試験対象木は、以降の解析には用いなかった。

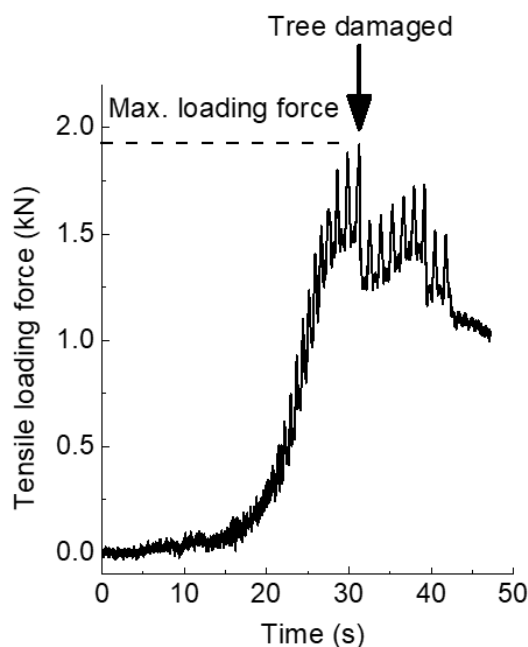


図 4-4-2-4 引き倒し試験時における引き倒し荷重と時間経過の関係

4.4.2.7 結果2 幹角度 (β) と M_{total} の関係

図 4-4-2-5 に *R. stylosa* (tree ID: R4)、*S. caseolaris* (tree ID: SC9)、*S. apetala* (tree ID: SA8) の幹角度 (β) と M_{total} の関係を示した。試験対象木に取り付けたワイヤーをハンドウインチで徐々に引っ張ると、幹は徐々に傾斜し (β が増加し)、 M_{total} は徐々に増加した。*S. apetala* の一部の樹木 (すなわち SA8 と SA9) は、引き倒し試験開始前からともと幹角度 (β) がマイナスで、幹が引き倒し方向とは逆方向に傾斜していた。*R. stylosa* では支柱根の一部、*S. caseolaris* と *S. apetala* ではケーブル根の一部が損傷したとき、あるいはしなった幹が十分に傾き、枝が地面に接したとき、それ以上引き倒し試験の継続が困難になる。この時点で、 M_{total} はおおむね最大値に達し、その後は一定か、わずかに減少する傾向を示した。

R. stylosa の M_{max} 時の β は樹木の大きさに関係なく 0° から 20° の間であった (表 4-4-2-1)。*S. caseolaris* と *S. apetala* は、小径木 (DBH < 11 cm) は引き倒し試験の最中に非常によく傾く傾向がみられ、大径木 (DBH > 11 cm) はあまり傾かない傾向がみられた。小径木と大径木の M_{max} 時の β は、それぞれ 15° から 31° 、 5° から 25° であった (表 4-4-2-1)。しかし、調査した樹木の数が少ないため、樹木の大きさ、樹種、地盤堆積状況等の違いによるこれらの傾向の有意な違いは確認されなかった。

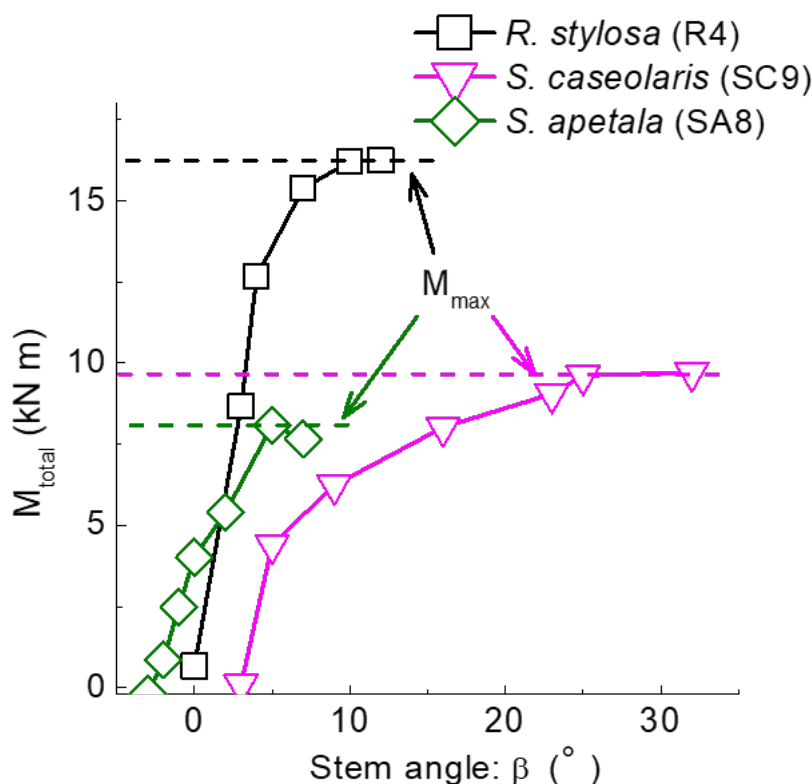


図 4-4-2-5 マングローブ引き倒し試験時における M_{total} と幹角度の関係

4.4.2.8 結果3 樹木サイズと Mmax の関係

$M_{\max}$ と幹直径 ($D_{0.3 \text{ m APR}}$ または DBH)、幹直径の2乗に H を乗じたもの ($D_{0.3 \text{ m APR}}^2 H$ または $DBH^2 H$)、地上部バイオマス (TAB) の3種の樹木サイズを示す特性値との関係を図 4-4-2-8 に示す。*R. stylosa* の $D_{0.3 \text{ m APR}}$ を測定した位置は、地上高約 80~150cm の範囲であった。*S. caseolaris* と *S. apetala* の胸高直径は、胸高断面積 (BA) に応じて平均値を算出した。

$M_{\max}$ に対する樹木サイズとマングローブ樹種の影響は有意であった (図 4-4-2-8)。すなわち、引き倒し試験の結果、 $M_{\max}$ は $D_{0.3 \text{ m APR}}$ または DBH、 $D_{0.3 \text{ m APR}}^2 H$ または $DBH^2 H$ 、TAB の増加に伴って、いずれも増加した (図 4-4-2-8)。*R. stylosa* (R_s)、*S. caseolaris* (Sc)、*S. apetala* (Sa) について、 $M_{\max}$ と $D_{0.3 \text{ m APR}}$ または DBH、 $D_{0.3 \text{ m APR}}^2 H$ または $DBH^2 H$ 、TAB との間の回帰式および調整済み決定係数 (R^2_{adjusted}) は以下のものであった：

$$M_{\max (Rs)} = 9.60 \times 10^3 D_{0.3 \text{ m APR}}^{2.80} (R^2_{\text{adjusted}} = 0.908, p < 0.0001^*) \quad \text{Eq. 4}$$

$$M_{\max (Rs)} = 3.41 \times 10^2 D_{0.3 \text{ m APR}}^2 H + 160 (R^2_{\text{adjusted}} = 0.882, p < 0.0001^*) \quad \text{Eq. 5}$$

$$M_{\max (Rs)} = 3.54 \times 10^{-1} TAB - 1,329 \quad (R^2_{\text{adjusted}} = 0.842, p = 0.0003^*) \quad \text{Eq. 6}$$

$$M_{\max (Sc)} = 2.70 \times 10^2 DBH^{1.98} \quad (R^2_{\text{adjusted}} = 0.919, p < 0.001^*) \quad \text{Eq. 7}$$

$$M_{\max (Sc)} = 4.26 \times 10^2 DBH^2 H + 350 \quad (R^2_{\text{adjusted}} = 0.971, p < 0.0001^*) \quad \text{Eq. 8}$$

$$M_{\max (Sc)} = 8.12 \times 10^{-2} TAB - 357 \quad (R^2_{\text{adjusted}} = 0.967, p < 0.0001^*) \quad \text{Eq. 9}$$

$$M_{\max (Sa)} = 5.93 \times 10^2 DBH^{2.19} \quad (R^2_{\text{adjusted}} = 0.886, p = 0.0003^*) \quad \text{Eq. 10}$$

$$M_{\max (Sa)} = 6.18 \times 10^2 DBH^2 H + 271 \quad (R^2_{\text{adjusted}} = 0.976, p < 0.0001^*) \quad \text{Eq. 11}$$

$$M_{\max (Sa)} = 8.25 \times 10^{-2} TAB - 466 \quad (R^2_{\text{adjusted}} = 0.913, p < 0.0001^*) \quad \text{Eq. 12}$$

B. gymnorhiza と *L. racemosa* については、樹木のサイズが小さく、サンプル数も少なかったため、引き倒し試験は実施したものの $M_{\max}$ と樹木サイズの関係についての回帰分析は行わなかった。

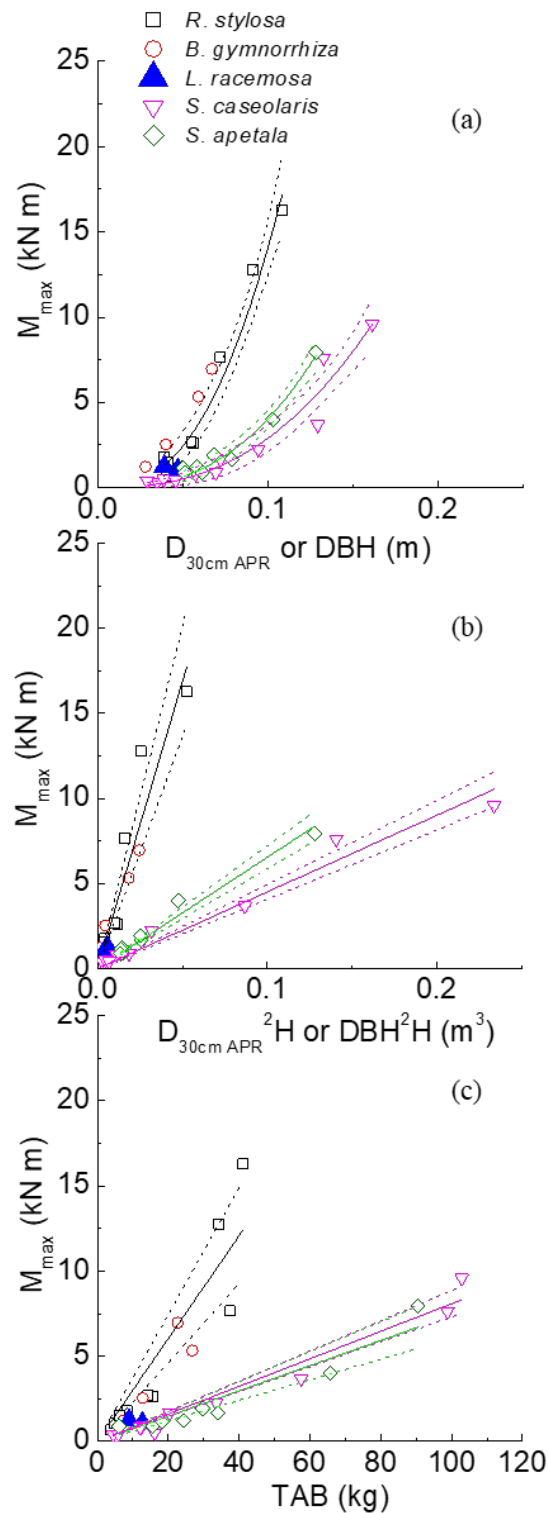


図 4-4-2-8 限界根張りモーメント($M_{\max}$)と、(a)幹直径(すなわち、最上部の支柱根の元から 30cm 上の高さでの直径[$D_{0.3\text{m APR}}$]または胸高直径[DBH])、(b)幹直径の 2 乗に H を掛けたもの($D_{0.3\text{m APR}}^2 H$ または $\text{DBH}^2 H$)、および(c)地上部バイオマス(TAB)との関係。実線は回帰直線、破線は 95%信頼区間を表す。

4.4.2.9 考察 マングローブ樹種ごとの樹木サイズと $M_{\max}$ の関係

沿岸域においてマングローブ林およびそれらの多面的機能を維持するためには、これらの樹木の破壊限界を理解することはとても重要である。なぜなら、マングローブ林は、しばしば、強風、高潮、高波などの外力によって被害を受けるため、その際には沿岸域の減災・防災機能が喪失したり、低下したりしてしまうからである。故に、マングローブの外力に対する破壊限界を理解した上で、防災インフラとしての海岸防災林の配置を検討することが求められる。

引き倒し試験の結果、 $M_{\max}$ は樹種や樹木サイズによって異なることがわかった(図 4-4-2-8)。 $M_{\max}$ は、すべてのマングローブ樹種において、 $D_{0.3 \text{ m APR}}$ 、DBH、 $D_{0.3 \text{ m APR}}^2H$ 、 DBH^2H 、TAB の増加に伴って概ね増加した。一般に、陸上林域の樹木では相対成長関係が観察されており(吉良ら、1956、荻住 1974)、マングローブも、 $D_{0.3 \text{ m APR}}$ 、DBH、H を従属変数として相対成長式を作成する場合、同様な関係性が報告されている(Komiyama et al. 2005、2008)。したがって、本研究における樹木サイズに関するパラメータは、マングローブの幹を支える地下根の量を示す相対的な指標であり、根による地盤の緊縛力を表すものであると考えられた。樹種ごとの $M_{\max}$ は、 $D_{0.3 \text{ m APR}}$ または DBH に対して、これらのパラメータをべき乗関数で表すと有意に回帰した(図 4-4-2-8a)。さらに、 $M_{\max}$ は $D_{0.3 \text{ m APR}}^2H$ または DBH^2H 、および TAB に対して有意に線形回帰した(図 4-4-2-8b、c)。これらの結果は、同じ場所の同じ条件下で生育する同じ種のマングローブにおいて、木の大きさの形質が根に対する抵抗性の程度を決定する重要な要因であることを示唆している。

樹種間の根系構造の違いや地盤の堆積状況も、根返り耐性の特性に影響する。 $D_{0.3 \text{ m APR}}$ または DBH がそれぞれ 0.05m と 0.1m の場合のマングローブ樹木が有する $M_{\max}$ を回帰式から算出したところ、*R. stylosa* ではそれぞれ 2.2 kN m と 15.2 kN m、*S. caseolaris* では 0.72 kN m と 2.8 kN m、*S. apetala* では 0.84 kN m と 3.8 kN m であった(図 4-4-2-8a)。幹直径の大小にかかわらず、 $M_{\max}$ を根に対する抵抗性の指標とした場合、泥質な堆積物上に生育し、ケーブル根タイプのマングローブである *S. caseolaris* や *S. apetala* では、幹周囲に多くの支柱根を持ち、砂質堆積地に生育していた *R. stylosa* よりも根返り耐性は低い傾向を示した。この違いは、幹周囲に放射状に広がる太く密な支柱根が幹を支える役割を果たし、他のマングローブ種に比べて根返り耐性が高いことを示唆している。地盤の安定性は、地下根系による土壌緊縛力を介して $M_{\max}$ に影響を与えると推測された。同様に、幹の比重は、外力に対する幹の曲がりやすさや固さを通じて、 $M_{\max}$ に影響すると考えられる。したがって、引き倒し試験の結果を考慮する場合、マングローブ林における地盤の堆積状態が URE と XTNP で異なっていること、また、幹の比重もマングローブ種によって異なることに留意しなけ

ればならない。地盤状態や幹比重の違いについては今回の調査では解析していないため、今後の研究で明らかにしていくことが必要である。

B. gymnorrhiza の $M_{\max}$ と DBH、DBH²H および TAB の関係は、*R. stylosa* の関係と同様の傾向を示したが、*B. gymnorrhiza* の回帰はサンプル数が少ないため実施できなかった(図 4-4-2-8)。本研究の結果とは対照的に、Yanagisawa ら(2009)はタイでの現地調査から、*B. gymnorrhiza* は *R. stylosa* に比べて津波によって根返りしやすいと報告している。マングローブ種の根返り耐性については、今後さらに調査を行い、追加的なデータを得る必要があるだろう。本研究の結果から、熱帯・亜熱帯の海岸マングローブ林の再植林には、防災・減災機能(高潮や強風に対する根返り耐性)の観点から、*S. caseolaris* や *S. apetala* よりも、*R. stylosa* を選択して植えることが有利であることが示唆された。

4.4.3 リモートセンシングによるマングローブ林の防災・減災機能の広域評価

4.4.3.1 マングローブ林が防災・減災機能を果たす条件

台風や発達した低気圧が通過する場合、潮位が大きく上昇することがあり、これを高潮という。高潮は、台風や低気圧の中心では気圧が周辺より低いため、気圧の高い周辺の空気は海水を押し下げ、中心付近の空気が海水を吸い上げるように作用する結果、海面が上昇する吸い上げ効果と、台風や低気圧に伴う強い風が沖から海岸に向かって吹くと、海水は海岸に吹き寄せられ、海岸付近の海面が上昇する吹き寄せ効果により生じる。

高潮は周期が約 10 分から数時間の範囲であるのに対し、強い風によって発生する周期の短い波が高波である。高潮被害は、月や太陽の引力による通常の潮位(天文潮位)、高潮や高波による海面の上昇と堤防の高さとの関係によって引き起こされる(図 4-4-3-1)。IPCC の第 6 次評価報告書では、2006 年から 2015 年の海面上昇速度は過去 100 年間で前例のないスピードであり、20 世紀の海面上昇速度の約 2.5 倍に相当する 3.6mm/年で上昇していると報告されている。このペースで海面が上昇し続けると、その上昇分が天文潮位に加わるため、高潮被害の頻度が増すことになる。

通常の潮位と高潮の高さの合計が堤防の高さを超える場合、潮位も高潮もその変動が長周期であることから、海水が長時間に亘って堤防を越えて陸地に浸水してくるため、被害が大きくなる。これに対し、通常の潮位と高潮の高さの合計は堤防の高さを超えないが、これに高波の高さを加えた合計の高さが堤防の高さを超える場合、マングローブ林がない場合には、高波による海水が陸地に浸水してきて被害が発生するが、マングローブ林がある場合には、マングローブの立木に波が当たる際に発生する渦による波の力の減衰(渦粘性効果)により、堤防

を乗り越える波を抑え、被害を軽減することができる(図 4-4-3-2)。

マングローブ林の渦粘性効果による防災・減災機能は、波が当たるマングローブの立木の面積に依存する。そのため、波の方向に対するマングローブ林の林帯幅、立木の根系を含む樹種ごとの樹形、直径や樹高、立木密度や立木配置が影響する(図 4-4-3-3)。なかでも林帯幅は、波の方向に対するマングローブの立木の投影面積を大きくする効果が高い。そこで、本項では、リモートセンシング技術を活用して、林帯幅や波の方向に対する投影面積を積算する手法について述べる。

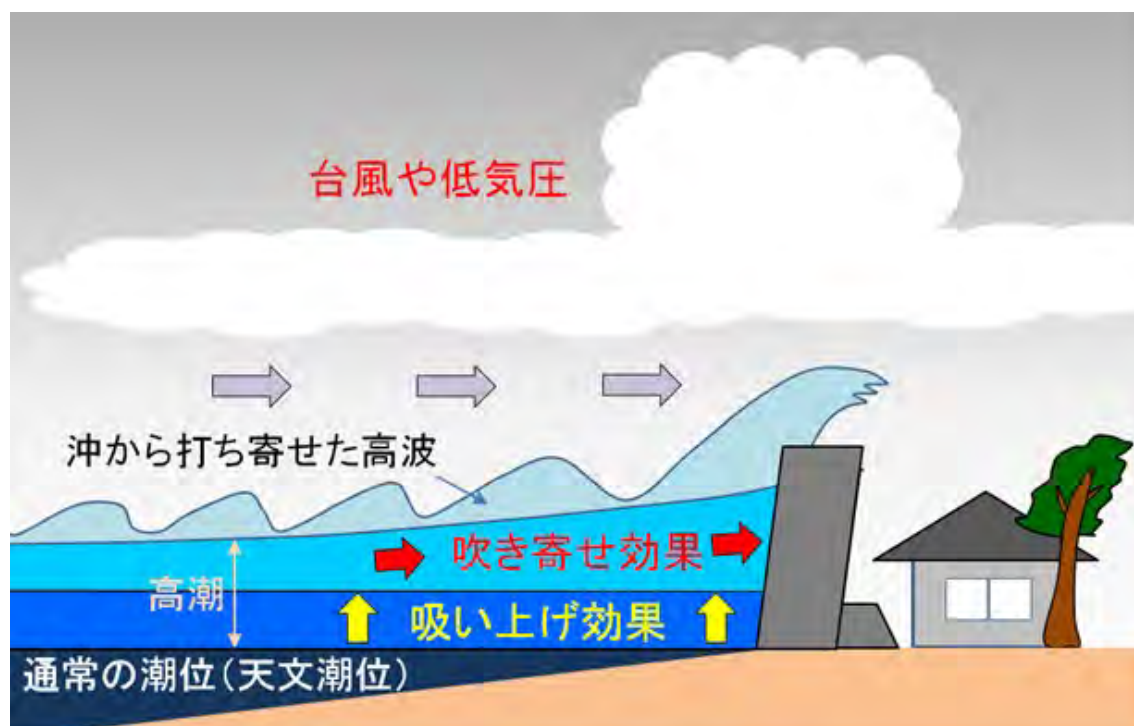


図 4-4-3-1 潮位、高潮、高波による被害の発生(気象庁ホームページより)

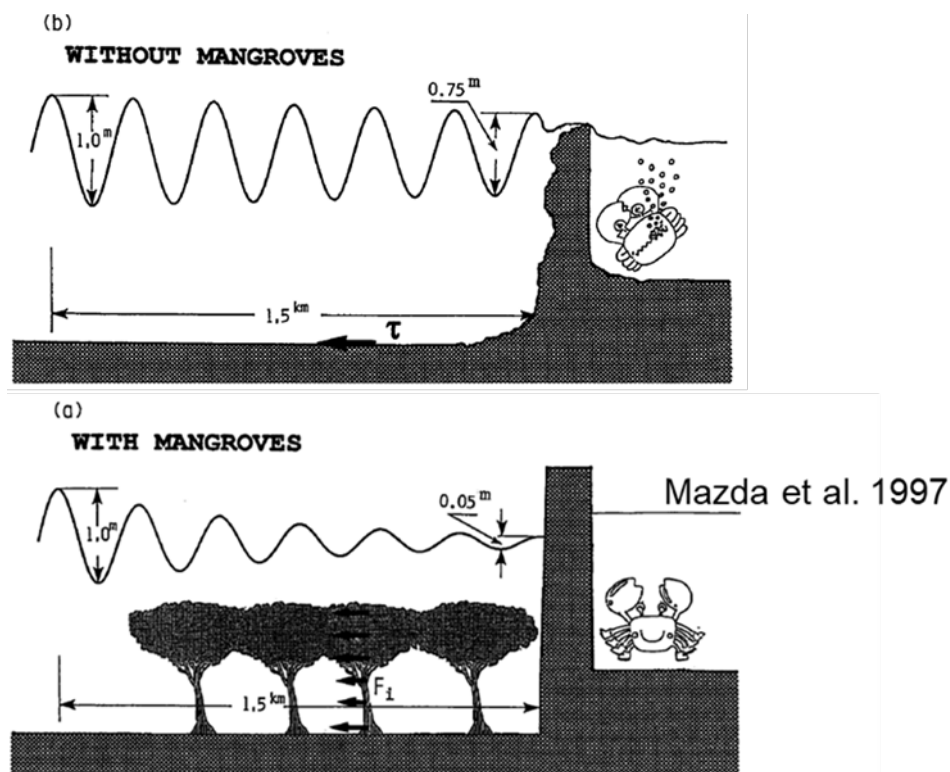


図 4-4-3-2 マングローブ林による波の減衰 (Mazda et al. 1997)

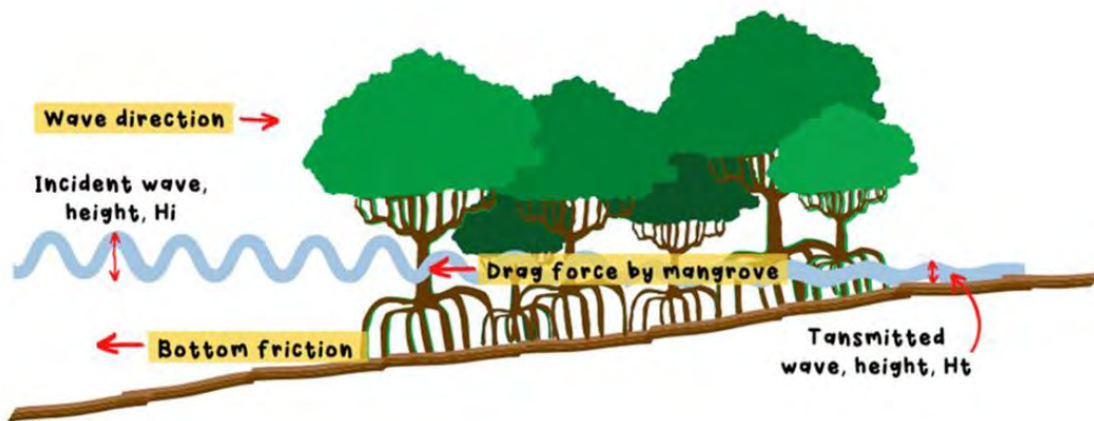


図 4-4-3-3 マングローブ林の防災・減災機能に影響する要素 (Kamil et al. 2021)

4. 4. 3. 2 マングローブ林の防災・減災機能の広域評価手法の開発

マングローブ林の防災・減災機能を広域に評価するためには、マングローブ林の空間情報と林分情報、樹種固有の情報が必要になる。具体的には、林帯幅を求めるためのマングロー

ブ林の広がりに関する情報が必要であり、これに加えて、波の方向に対するマングローブ林の投影面積を算出するために、林分の平均直径や平均樹高、樹種ごとの樹形、立木密度などが必要となる。これらの情報を地上調査から広域に取得するのは困難であり、リモートセンシングを用いた手法の開発が求められる。そこで本事業では、以下に挙げる広域評価の手順を提案する。

1. 高分解能衛星からのマングローブ林の抽出
2. 波の方向に対する堤防までのマングローブの面積の算出
3. 林分高の推定（ドローン、衛星 LiDAR、林齢-樹高曲線）
4. 直径-樹高曲線、樹形の推定
5. 立木密度の推定
6. 波の方向に対する全立木の投影面積の積算

（1）高分解能衛星からのマングローブ林の抽出

波の方向に対する林帯幅を求めるためには、高分解能衛星を用いた分類によりマングローブ林を抽出するのがよい。高分解能衛星の分解能の定義は様々あるが、分解能が 30m の Landsat 衛星や分解能が 10m/20m の Sentinel-2 衛星でも広域の林帯幅を求めるのに用いることは可能である。これらのデータは無償で入手できる。但し、堤防などの構造物を正確に抽出できない可能性があり、自動抽出以外の手法が求められる。また、手順 5 の立木密度を推定する際に衛星データを用いる場合、サブメートルの分解能を持つ衛星データが必要なることから、この手順 1 において高分解能衛星を用意するのがよい。

XTNP のマングローブ林を抽出するために、パンクロバンド 50cm、マルチバンド 2m の分解能を有する 2019 年 9 月 25 日に撮影された WorldView-2 衛星のデータを用いた。誤分類を極力避けるため、マングローブとその周辺に対してマスク処理を行い、北西の陸地を解析から外して解析を行った。また、防災、減災の観点から便宜上、モクマオウをマングローブ林のクラスに統合した。地上で十分なグラントゥルース調査が難しいことから、機械学習法のうちの教師なし分類を行い、類似した分類クラスを統合することでマングローブ林の生育域を抽出した（図 4-4-3-4）。複数の教師なし分類手法を用いて解析結果を比較したところ、分類手法による分類精度の差はほとんど見られなかった。これはマングローブの生育域が海域やエビの養殖池、水田など、地表からの反射特性が大きく異なる土地被覆クラスに囲まれているためであると考えられる。

マングローブ林として分類されたエリアには 1、それ以外の分類クラスには 0 の値を割り当てることにより、2 値化画像を作成し、手順 2 で使用するマングローブの生育域データとした。



図 4-4-3-4 高分解能衛星からのマングローブ林の抽出

(2) 波の方向に対する堤防までのマングローブの面積の算出

波が岸に向かって進行する際に、マングローブ林を通過してくる距離、すなわち林帯幅が波の減衰に大きく影響する。ただし、波は樹木によって進行方向を変えることがあり、また、広域での 1 本 1 本の樹木配置を捉えることも難しいことから、林帯幅を長さで捉えるより、ある一定の幅にどれだけマングローブの面積があるかを推定する方が、現実に応じた結果が得られ、対策にも反映させやすい。そこで、海から陸地に向かう様々な方向に対して、波の方向に対する堤防までの一定幅でのマングローブの面積を計算する。

ここでは、堤防までの南から北、南東から北西、南西から北東の方向に幅 100m のポリゴンを作成し、各ポリゴン内のマングローブ面積を算出した(図 4-4-3-5)。幅の設定に対しては、マングローブの広がりや過去の被害からの危険性などを考慮して、よりきめ細かな対策が必要な場合は、より狭い幅で、また、XTNP のように十分な林帯幅がある場合、より広い幅で設定することが可能である。

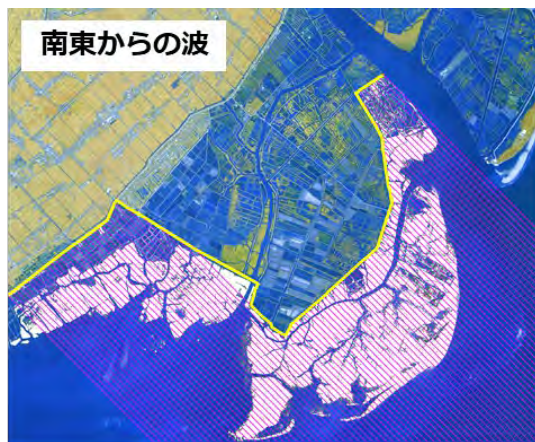


図 4-4-3-5 波の方向に対する堤防までのマングローブの面積の算出

図 4-4-3-6 は、幅 100m の波の方向に対する堤防までのマングローブの面積を、堤防上に色分けして示したものである。堤防上に付された色で、緑に近い色ほど、波が通過するマングローブの面積が大きく、このためマングローブによる波の減衰効果が相対的に大きいと考えられる箇所である。これに対して赤に近い色ほど、波が通過するマングローブの面積が小さく、マングローブによる波の減衰効果が相対的に小さいと考えられる箇所である。XTNP の場合、全体的に大きな林帯幅を取っているため、堤防の大部分では、マングローブの防災・減災機能により堤防を高波が超えないと考えられるが、一部の箇所では、マングローブ林を通過してくる面積が小さく、ややこの機能が低いと考えられる箇所がある。防災対策を進めるに当たっては、台風や発達した低気圧が通過する場合、どの方向から風が吹きやすいかを調べ、その方向から波が来た場合に防災・減災機能が低い箇所から対策を進めるのがよいと考えられる。

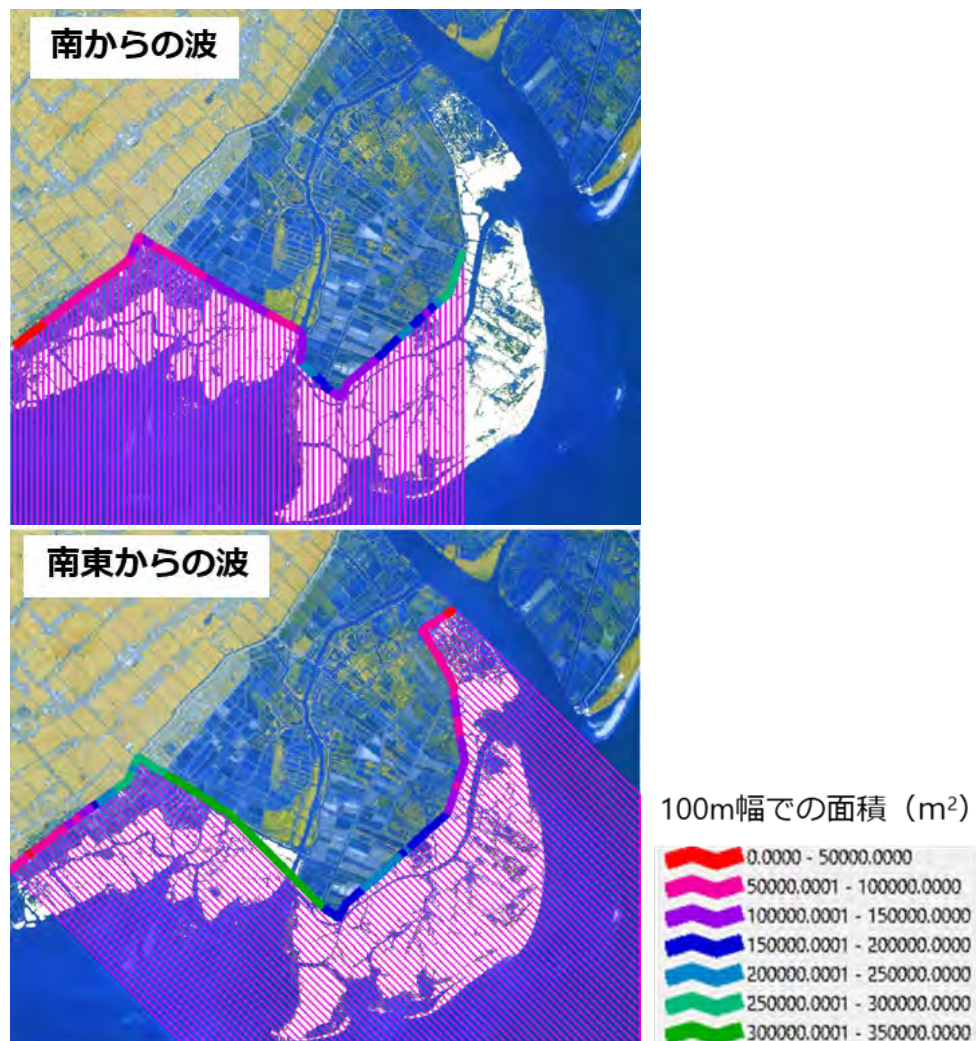


図 4-4-3-6 100m幅での波の方向に対する堤防までのマングローブの面積

(3) 林分高の推定（ドローン、衛星 LiDAR、林齢-樹高曲線）

マングローブ林の防災・減災機能进行评估する際に林帯幅が一番大きく影響する要素であるが、そこに生育・植栽されている樹木によって当然その機能は変わってくる。特に、どれぐらいの太さ(直径)の樹木があるのかは、波が樹木に当たる面積を決め、その減衰効果を決定する。しかし、防災・減災機能の評価を行う際に、林分の平均的な直径を広域で推定することは難しい。そこで、ここでは、地上調査から直径-樹高曲線を推定し、リモートセンシング技術により推定した樹高から直径を逆推定する手法を提案する。

リモートセンシング技術を用いて、広域で林分高を推定する技術としては、ドローンを用いた方法と、衛星 LiDAR を用いた方法が考えられるが、ドローンは搭載できるバッテリーの容量から、また、衛星 LiDAR はその観測システムから、対象となるマングローブ林全域の wall-to-wall のデータを取得することはほぼ不可能である。そこで、高分解能衛星データのテクスチャ情報等を用いて分類を行い、これに、ドローンや衛星 LiDAR により作成された DCM(デジタル林冠高モデル)と類似するエリアに同じ林分高を割り当てるという処理を行う。

XTNP では、2022 年に VAFS のスタッフが 4 つのエリアでドローン撮影を行い、ここで得られた空中写真をもとに、SfM(Structure from Motion: 多視点画像からの 3 次元形状復元)という技術によって、DSM(デジタル表層モデル)を作成した。この DSM から多点での海面の標高の平均値を減ずることにより、DCM を作成した。

衛星 LiDAR としては、NASA が ISS(International Space Station: 国際宇宙ステーション)に搭載した GEDI という LiDAR センサのデータを用いた。但し、すでに GEDI は観測を停止しているため、2019 年のデータを用いた。観測地点の林冠高については、NASA が提供しているデータを割り当てた。

2 つのセンサによる推定結果(図 4-4-3-7)では、衛星 LiDAR の方がやや大きな林冠高の値を取ったが、どちらもほぼ 3~5m に値が集中した。これは、この地域の植栽時期がある一定の時期に集中していることと関係していると考えられる。

リモートセンシングによる観測は、林冠表面を観測しており、正確に地盤高を捉えられないことから、ここで提示したアプローチは地盤高の違い反映していない。また、海水面を地盤高と仮定しているため、観測時点での潮位による誤差も生じることになる。潮位表が入手可能な場合、ある程度補正が可能であるが、ドローンでは観測が一定時間続くことや潮位 0m が樹木の根元の高さとは限らないことを理解しておく必要がある。

このようなリモートセンシング技術を用いることのできない場合で、マングローブの植栽した年が明らかな場合、林齢と樹高の関係から林分高を推定することが可能である。例えば、植栽計画に基づいて植栽が行われ、植栽年ごとの空間配置がわかる場合、このようなアプローチを

取ることが可能である。但し、植栽時期がある一定の時期に集中していると、継続的に調査を行っていない限り、林齢-樹高曲線を作成することは難しい。また、この場合、前述のリモートセンシング技術による樹高からの直径推定というアプローチを取らなくても、同じく現地調査から、林齢-直径曲線得ることができ、林齢ごとの平均直径を推定することができる。

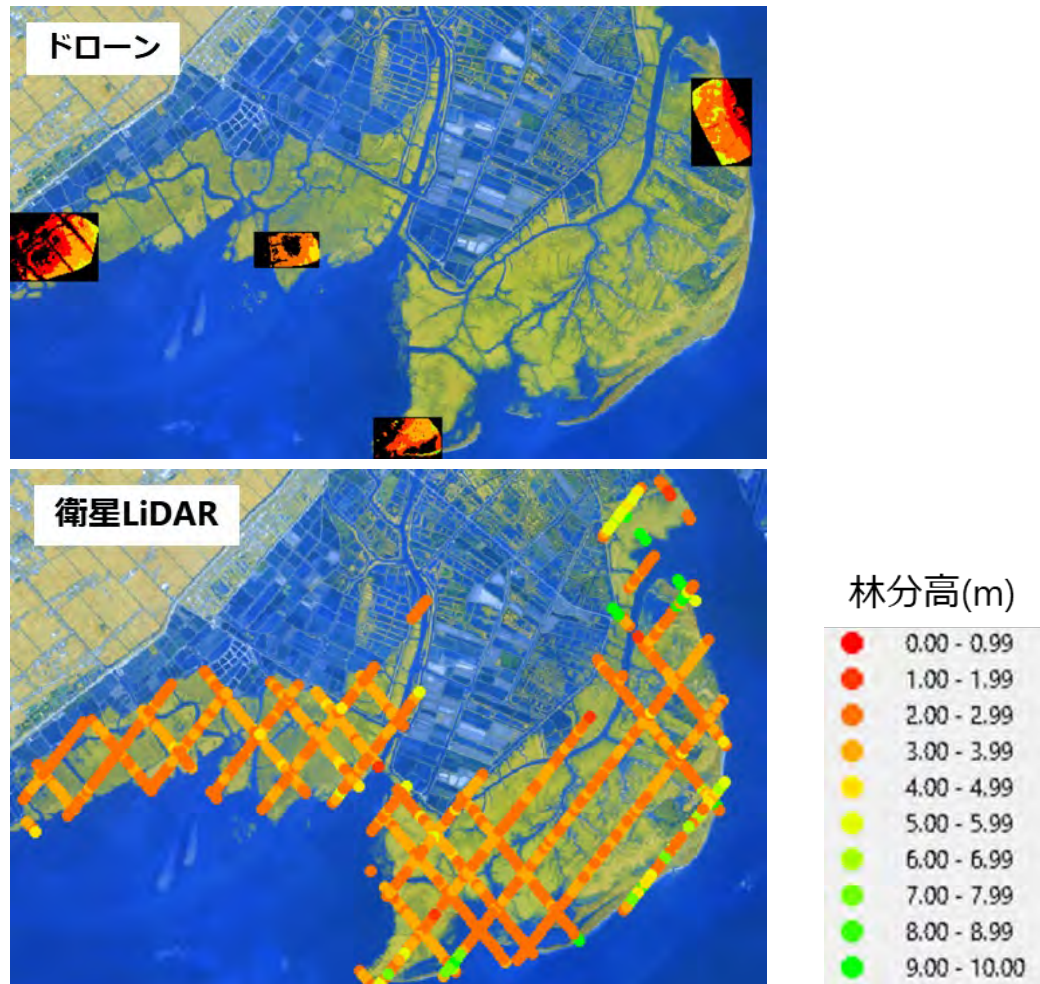


図 4-4-3-7 林分高の推定(ドローン(左)、衛星 LiDAR(右))

(4) 直径-樹高曲線、樹形の推定

手順 3 で必要となる直径-樹高曲線は、マングローブの樹種ごとに胸高直径と樹高を計測することにより得られる。この場合、立地の違いが影響することがあり、留意が必要である。本事業では、現在、樹種ごとの直径-樹高曲線を作成ための現地調査を進めている。

手順 6 の波の方向に対する全立木の投影面積の積算で必要となる樹種ごとの樹形については、前述の SfM の技術を用いて、地上で 1 本の樹木に対して 360°の方向からデジタルカメラで撮影した写真を用いて再現することができる。その際、ビデオ撮影の画像を利用することも可能であるが、マングローブの立地環境により撮影のために樹木の周囲を歩行することが難

しいため、一定速度で樹木の方にカメラを向け続けて撮影することが困難である場合が多い。このような条件で撮影された画像からは、樹木のきれいな 3 次元復元モデルを作成できないので、3 次元復元モデルの作成には写真での樹木の撮影を推奨する。

復元された 3 次元復元モデルは、ある特定の樹木サイズのモデルであるが、それぞれの樹種においては、樹形が相似形であるという仮定をおいて、胸高直径と樹高からそれぞれの樹木サイズでの相似形の樹形を復元する。

(5) 立木密度の推定

取得された画像の地上分解能に応じて、リモートセンシング技術により立木密度の推定が可能である。最も用いられる手法としては、局所最大値フィルタを用いる方法が挙げられる。これは、樹頂点が周囲のエリアよりもより明るく見える(光を強く反射する)特徴を利用した方法である。この方法では、樹頂点が回りのエリアより強く光を反射していることがフィルタで抜き出せるように、1 つの樹冠に対して十分な周辺部分の画素が必要である。すなわち、小さな樹冠ではより精細な地上分解能の画像が求められる。ドローンにより撮影された写真は通常数cmの地上分解能を持つので、マングローブが密植されたエリアでも応用可能であるが、前述のように撮影できる面積がバッテリーの容量によって制限されるため、広域評価の目的では必ずしも利用できない。サブメートル級の衛星データでは、1000 本/ha 程度以下の立木密度の推定には用いることができるが、それ以上の立木密度の林分では、1 本の樹冠に十分な数の画素が含まれず、局所最大の画素が発生しない樹木が多くなって、立木密度の推定が極端に過小推定になる。

局所最大値フィルタを用いることが難しい場合、樹木の混み具合で作り出される画像のテクスチャ(肌理)の情報を利用する方法を用いることになるが、この方法を用いるためには、どのような立木密度でどのようなテクスチャになるのかを事前に知る必要があり、そのため立木密度に関するグラントゥルース調査を実施する必要がある。

植林計画に基づき植栽された林分では、植栽記録により植栽密度が分かることがある。このような場合、自然枯死などで立木密度が低下している可能性があるが、リモートセンシング技術による推定より真値に近いことが多く、十分利用可能なデータとなる。

(6) 波の方向に対する全立木の投影面積の積算

波の方向に対する全立木の投影面積は、高波が減衰する度合いの指標となる。樹木群の波の減衰については、様々なモデルが提案されているが、これを広域評価に用いるには、モデルを実装するために必要となるパラメータの不確実性が高かったり、パラメータの取得が困難であったりするため、実用的でない。相対的ではあるが、マングローブ林による防災・減災機

能の低い箇所を明らかにすることにより、防災・減災対策を進めることが可能となる。

波の方向に対する全立木の投影面積を算出するには、いくつかの波の高さ(天文潮位+高潮の高さ+高波の高さ)を仮定して、これに対し、それぞれの波の方向に対する一定幅(例えば 100m幅)での波の高さまでの樹木の縦方向の断面積の合計を算出する。波は樹木が障害物として存在する場合、回り込んでその樹木の後方に進むので、全ての立木の断面積を合計として指標とする。

本項で提示したマングローブ林の防災・減災機能の広域評価手法は、実用性を考慮した手法であり、機能の相対的評価が可能である。これに対し、高波の越堤が発生した箇所の情報を集積することにより、この指標からどの箇所に対策を優先的に実施するのがよいか明確になる。

4.4.4 防災・減災インフラとしてのマングローブへの住民意識調査

防災・減災インフラとしてのマングローブへの住民意識調査については、カウンターパート機関であるベトナム森林科学アカデミー (Vietnam Academy of Forest Science) とスアントゥイ国立公園管理事務所 (XTNP management office) とともに調整し、調査票の作成作業を進めてきた。令和 5 年 9 月に XTNP 周辺に居住・生活する 5 villages、3 communes の 300 余世帯を調査対象世帯として抽出し、作成した調査票を用いてヒアリング調査を開始した(図 4-4-4-1)。

以降、ヒアリング調査は順次進められ、令和 6 年 2 月 26 日に予定していた全戸の調査を完了した。現在はその調査結果を整理、とりまとめを行っている段階である。本調査結果については本年度報告書には盛り込まないが、今後解析を進め、XTNP 周辺に居住・生活する住民が持つ防災・減災インフラとしてのマングローブへの意識を明らかにしていく。



2023/9/22



2023/9/23

図 4-4-4-1 XTNP 周辺に居住する住民世帯を対象とした意識調査の様子

4.4.5 まとめおよび今後の検討課題

今年度の当課題の調査では、①樹木引き倒し試験による波や風に対するマングローブの根返り耐性の定量評価、②リモートセンシングによるマングローブ林の防災・減災機能の広域評価、③防災・減災インフラとしてのマングローブへの住民意識調査を実施した。

高潮等の波に対するマングローブの根返り耐性特性を評価するための、マングローブ林における樹木引き倒し試験からは、マングローブの波や風に対する根返り耐性は樹木サイズが大きいほど高いこと、樹種別の比較ではヤエヤマヒルギで根返り抵抗性が高く、ナンヨウマヤプシキ、ベニマヤプシキで根返り抵抗性が低いことが明らかとなった。本課題で得られた成果は、沿岸域においてマングローブを活用した防潮効果等の減災機能強化を検討する上で、マングローブ樹木の植栽、配置や樹種選択を計画する際の科学的根拠を提供するものとなることが期待できる。今後は、評価対象のマングローブ種を増やして樹種特性の比較をさらに進めるとともに、樹木の倒伏耐性に関わる地盤安定性等の堆積環境の影響評価、さらにはマングローブ林の後背地に配置される陸域海岸林の樹木の根返り耐性特性との比較を進める必要がある。

リモートセンシングによるマングローブ林の防災・減災機能の広域評価については、高潮発生時におけるマングローブ林が防災・減災機能を果たす条件を既往文献から検討し、波に対する抵抗体のマングローブによる高波の減衰に関わる樹木形態的因子として、樹木地上部の累積投影面積がマングローブ林の防災・減災機能の評価指標となり得ることを提示した。その上で、スアントウイ国立公園を解析対象として、リモセン技術によるマングローブの累積投影面積の広域評価手法を提案した。今後は、ドローン、衛星 LiDAR、林齢・樹高曲線から林分高や SfM による樹形の推定、立木密度の推定を行い、マングローブの累積投影面積の広域評価を進め、高波に対するマングローブ林の防災・減災機能の面的評価を進めていく予定である。

また、防災・減災インフラとしてのマングローブへの住民意識調査については、令和 5 年 9 月から令和 6 年 2 月末にかけて、XTNP 周辺 5 villages、3 communes の 300 余世帯を対象としたヒアリング調査を実施した。現在は調査結果の整理、とりまとめを行っており、それに基づいて解析を進める。今後は、XTNP 周辺に居住・生活する住民が持つ防災・減災インフラとしてのマングローブに対する意識を明らかにしていくこととしている。

引用文献

Forbes K, Broadhad J (2007) The role of coastal forests in the mitigation of tsunami impacts. FAO 30 pp

- Huxham M., Dencer-Brown A., Diele K., Kathiresan K., Nagelkerken I., Wanjiru C. (2017) Chapter 8: Mangroves and People: local ecosystem services in a changing Climate. In Rivera-Monroy, V. H., Lee, S. Y., Kristensen, E. Twilley, R. R. (Eds.). Mangrove ecosystems: a global biogeographic perspective on structure, function and services. Springer Nature, 245-274
- International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (2011a) Breaking the waves. Impact analysis of coastal afforestation for disaster risk reduction in Viet Nam, Geneva 51pp.
- International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (2011b) Planting protection. Evaluation of community-based mangrove reforestation and disaster preparedness programme, 2006-2010, Geneva 67pp.
- IPCC (2021) Climate Change 2021: The Physical Science Basis
- Kamil EA, Takaijudin H, Hashim AH (2021) Mangroves as coastal bio-shield: A review of mangroves performance in wave attenuation. Civil Eng. J. 7:1964-1981
- Kamimura K, Shiraishi N (2007) A review of strategies for wind damage assessment in Japanese forests. J. For. Res. 12:162-176
- 環境省 (2021) IPCC AR6 特別報告書 環境省地球環境局総務課脱炭素化イノベーション研究調査室 企画・監修 22pp
- Kathiresan K, Rajendran N (2005) Coastal mangrove forests mitigated tsunami. Estuarine Coastal Shelf Sci. 65: 601-6-6
- 松田義弘 (2011) マングローブ環境物理学 東海大学出版 378pp
- Mazda Y, Magi M, Kogo M, Hong PN (1997) Mangroves as a coastal protection from waves in the Tong King delta, Vietnam. Mangrove and Salt Marshes 1: 127-135
- 宮城豊彦、安食和宏、藤本潔 (2003) マングローブーなりたち・人びと・みらいー. 古今書院 193pp
- Peltola H, Kellomäki S, Hassinen A, Granander M (2000) Mechanical stability of Scots pine, Norway spruce and birch: an analysis of tree-pulling experiments in Finland. For. Eco. Manage. 135:143-153
- 佐藤一紘 (1992) 6. 海岸浸食防備およびその他の機能. 日本の海岸林: 多面的な環境機能とその活用 (村井宏他編) ソフトサイエンス社 513pp
- 佐藤一紘 (2010) 海面利用科学と海水科学ーマングローブによる海上林から見えるものー 日本海水学会誌 64:82-90
- 首藤伸夫 (1985) 防潮林の津波に対する効果と限界 海岸工学講演会論文集 32:465-469
- 海津正倫 (1998) ガンジスデルタの地形と高潮災害. 地形雑誌 107:137-141
- Yanagisawa H, Koshimura S, Goto K, Miyagi T, Imamura F, Ruangrassamee A, Tanavud C (2009) The reduction effects of mangrove forest on a tsunami based on field surveys at Pakarang Cape, Thailand and numerical analysis.
- Yanagisawa H, Miyagi T, Baba S (2021) Mitigation effects of mangrove forests on tsunami impacts in Upolu Island, Independent State of Samoa – Field surveys and numerical modeling of the 2009 event. Mangrove Sci. 12:3-10

第 5 章 事業成果・治山技術に関する情報発信

5.1 背景

我が国の森林整備・治山技術を途上国に提供するためには、本事業で収集した国際的議論や二国間及び多国間の支援枠組みの最新動向、また相手国のニーズに合わせて開発した技術など、事業成果に関する情報を、国内の民間事業者等に対して提供する必要がある。また気候変動枠組条約締約国や国連食糧農業機関の森林関係者等に対して、本事業の成果を、パリ協定の実施や国際的な山地災害防止のための支援メカニズムの議論へ効果的に反映することや、我が国の森林整備・治山技術が有する途上国での防災・減災対策における優位性等を情報提供することにより、途上国の治山技術導入への関心を高め、民間企業による治山事業の海外展開を促進することが期待される。

令和 5 年度は、会場参加とオンライン参加を併用したハイブリッド形式での国際セミナー開催、海外ワークショップとして国際会合でのサイドイベント開催とおよび講演を実施した。また治山技術の海外展開に関心のある技術者等を対象とする、治山技術の海外展開に関する国際動向や、途上国に適用可能な治山技術等を盛り込んだ手引書の作成を行った。さらに治山技術の海外展開に関心のある民間企業等の技術者等を対象として、ハイブリッド形式による技術者養成研修を実施した。また当該研修を受講者の情報を、昨年度構築したデータベースに追加し、国内外の関係機関等からの依頼に応じ人材情報を提供する体制の充実を図った。当事業の成果について、REDD プラス・海外森林防災研究開発センター Website やメーリングリストを活用した情報発信を行った。また、7 月にイタリア(ローマ)で開催された第 21 回国際第四紀学連合 2023 ローマ大会でのポスター講演と、3 月にベトナム(ハノイ)においてベトナム森林科学アカデミーと共催したワークショップでの口頭発表をはじめ研究集会等において研究成果を発信した。さらに国際協力機構(JICA)からの依頼を受け、本事業の成果を活用した講義を実施した。

5.2 国際セミナー「森林による防災・減災技術の国際展開」の開催

開催概要

テーマ: 森林による防災・減災技術の国際展開

開催日時: 令和 6(2024)年 1 月 31 日(水) 13:00-17:00

会場: TKP ガーデンシティ PREMIUM 神保町 プレミアムボールルーム

主催:国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所

後援:林野庁、環境省、内閣府政策統括官(防災担当)、独立行政法人 国際協力機構 (JICA)

本セミナーは、森林技術国際展開支援事業の一環としてこの 4 年間取り組んできたベトナム北部山地での研究成果や国際機関及び日本政府などの資金を使った国際展開での課題や可能性に関する調査結果を紹介するとともに海外からの登壇者による現地からの展望をフィードバックし、森林による防災・減災技術の海外展開における今後の可能性や課題について議論することを目的とした。

開会セッションでは、森林総合研究所所長と林野庁森林整備部長が、気候変動の緩和と適応に森林が果たす役割について、それぞれの立場から言及しセミナーへの期待を述べた。

セッション 1 基調講演「森林根系にある防災・減災機能の科学的評価」では、阿部和時(日本大学)が、森林の根系が崩壊を防ぐ機能は万能ではないこと、森林根系が表層崩壊を防ぐ機能について、実証的なデータにより説明した。セッション 2「日本の治山技術の国際展開」では、森林総研の研究者が、日本の治山技術を海外展開する際の資金獲得、現地の実態と原因に関する理解の重要性、リモートセンシング技術を使った災害リスク評価について、研究成果を紹介した。セッション 3「途上国での F-DRR 技術の適用ニーズと可能性」では、ベトナム、フィリピン、インドネシアおよび FAO からの招へい者が登壇し、それぞれの国と国際機関における森林機能を用いた防災・減災アプローチに関する現在の課題と今後の方向性について紹介した。これらの話題提供を踏まえ、「森林による防災・減災技術の国際展開」をテーマに登壇者がパネルディスカッションを行い、参加者からの質問も交えた議論をおこなった。

セミナーでの話題提供とパネルディスカッションでの討論により、樹木根系が防災・減災に果たす役割についての最新の知見、日本の治山技術およびリスク評価手法の海外展開の可能性を発信するとともに、海外からの報告を受けて森林による防災・減災技術の海外展開における可能性や課題について議論を深めることができた。

国際機関から民間企業まで国内外から合計 204 名(講演者を除く、会場 53 名、オンライン 151 名)が参加した。オンライン参加国は、日本を含め 12 ヶ国であった。



図 5-2-1 セミナーの様子

5.3 海外ワークショップ（国際会合サイドイベント）

5.3.1 第28回気候変動枠組条約締約国会議（COP28）サイドイベント

2023年11月30日から12月12日にドバイにて開催された気候変動枠組条約 COP28 における、日本の環境省が主導する「ジャパンパビリオン・セミナー」の枠に、「持続可能な森林経営を通じた気候変動の緩和策及び適応策の促進」を応募し、採択された。

森林総研主催、林野庁及び ITTO 共催のセミナーとして12月5日(火)14:45～16:00(ドバイ時間)に、オンライン視聴も可能とする方式で実施した。

- | | | |
|----|-------------|---|
| S1 | 開会あいさつ | 川島裕（林野庁） |
| S2 | プレゼンテーション | <ul style="list-style-type: none"> ・越前未帆（林野庁） ・Mr. George Tarus（ケニア環境・気候変動・林業省 保全局長） ・Ms. Sheam Satkuru（ITTO 事務局長） ・岡本隆（森林総研治山研究室長） |
| S3 | パネルディスカッション | （モデレーター：平田泰雅） |

岡本からは「持続可能な森林経営による土砂災害の防災・減災戦略と途上国への展開」と題して、「日本では防災・減災に特化した独自の森林管理技術が生まれた。これらの技術は途上国の森林再生に大きく貢献する可能性を秘めている。これを成功させるためには、各国の

社会的・経済的課題にも取り組む必要がある」という内容でプレゼンを行った。

会場は一時立ち見が出るほど盛況であり、また、オンタイムのオンライン視聴者は 40 名程度であった。セミナーの様子は、YouTube の「森林総研チャンネル」で視聴可能であり、2024 年 2 月時点で約 270 回にわたって視聴されている。



図 5-3-1 COP28 サイドイベントの様子

5.4 手引書の作成

本事業で開発する森林を活用した防災・減災等の機能を強化する技術を、途上国に展開する本邦技術者を養成するため、治山技術の海外展開に関心のある技術者等を対象とする、治山技術の海外展開に関する国際動向や、途上国に適用可能な治山技術等を盛り込んだ手引書に必要な項目の記載と編集を進めた。手引き書の構成は、REDD プラス・海外森林防災研究開発センターで出版した「REDD-plus COOKBOOK」を踏襲し、「導入編」、「計画編」、「技術編」、「情報編」の 4 部とし、各編の下に、章と Recipe が並ぶ構造とした。

導入編

第 1 章 森林の機能を活用した防災・減災とは

第 2 章 森林の機能を活用した防災・減災の重要な概念

計画編

第 3 章 森林の機能を活用した防災・減災の基礎知識

第 4 章 途上国における自然災害の概要と森林を活用した防災取組事例

技術編

第 5 章 山地災害の防止に向けた技術

第 6 章 自然災害リスクマップの作成

第 7 章 高潮に対する海岸林・マングローブの活用

情報編

第8章 発展途上国における森林を活用した防災・減災の取組動向

「導入編」、「計画編」、「技術編」には事業報告書の内容を、項目ごとに Recipe として示すとともに、「情報編」にはカントリーレポートの要約を掲載し、内容の充実を図った。

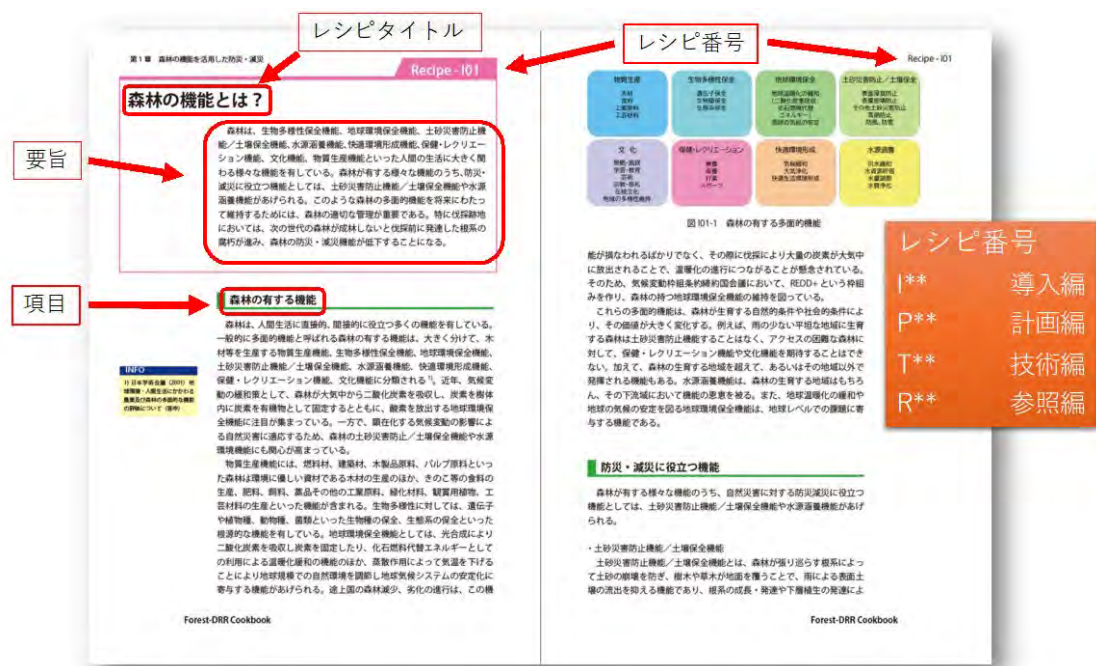


図 5-4-1 治山技術の海外展開に関する手引書(Forest-DRR Cookbook)のレイアウト

5.5 技術者養成研修の実施と人材データベースの整備

令和 5 年 11 月 8 日と 9 日に、我が国の治山技術等の海外展開を促進することを目的とした技術者研修を実施した。会場受講生は 10 名、オンライン受講生は 4 名だった。



図 5-5-1 技術者養成研修の様子

表 5-5-1 技術者養成研修プログラム

月日	時刻	講義名	講師（所属）
11 月 8 日	09:00-09:30	開会式・事務連絡	玉井幸治、高畑啓一（森林総研）
	09:30-11:00	気候変動適応策としての Eco-DRR 概論:森林の機能に注目して	中村太士（北海道大学大学院）
	11:10-12:10	日本における治山事業の歴史とその 優位性	山名佑樹（林野庁）
	13:10-14:10	JICA による治山関連分野の取組と 今後の展望	川口大二（JICA）
	14:20-15:50	途上国における住民の土地利用と防 災に関する意識	岩永青史（名古屋大学）
	16:00-17:30	我が国の治山技術のベトナムでの適 用に向けた技術開発	岡本隆、鈴木秀典、江原誠（森林総 研）
11 月 9 日	09:00-12:00	治山事業の海外展開に係る資金ソー スと事業とのリンク	花井あかね（JICA） 古市剛久（森林総研） 鈴木聡（奥山ボーリング株式会社） 菅野孝美（川崎地質株式会社） 高見純平（株式会社 Synspective） 水口洋二（日本工営株式会社）
	13:00-16:30	途上国における Google Earth Engine 等を用いた斜面崩壊地の自 動抽出	大丸裕武（石川県立大）、村上亘（森 林総研）
	16:30-17:15	閉会式・事務連絡	

研修受講生からは、次のような感想を得ることができた。

- ・ 1 日目に治山に関する基礎知識を得てから 2 日目に様々な組織の具体的な取り組みや資金ソース、海外展開への障壁、リモートセンシングの活用法を学ぶというプログラム構成は理解しやすかった。
- ・ グリーンインフラ、ECO-DRR、NbS などは海外だけでなく日本国内での治山技術を駆使する場合にも意識しておく必要があることを再認識した。

- ・相手国のニーズをしっかりと把握し、その土地の事情にあった技術を展開することの重要性がよくわかった。
- ・途上国との防災意識のギャップや現地の方とのコミュニケーションの難しさなど、海外展開での障壁、抑えておくべきポイントを学ぶことができた。
- ・資金リソースについて、海外ドナーの資金が膨大にあり、日本企業による受注実績もあることから海外ドナーからの資金調達を視野に入れた計画の重要性を感じた。

海外において森林技術を用いた防災・減災事業を実施する能力を有する技術者と需要者をつなぐための、昨年度開発した人材データベースの整備を進めた。データベースには、今年度技術者養成研修の受講生のうちデータベースへの情報搭載に同意が得られた方の情報を搭載した。データベースへの収録情報は、氏名、所属、連絡先、専門分野、実績、活動地域、希望等とした。データベースは REDD プラス・海外森林防災研究開発センターで管理し、個人名、企業名等の個別データは公開せず、技術者および所属企業数、専門分野等のメタデータをウェブで公開する計画である。メタデータ公開後は、民間企業等から人材情報提供依頼を受けた場合、登録者に情報提供の承諾を得てから依頼者に伝えることとする。令和 6 年 2 月末現在 登録数 24 名うち民間企業 8 社 17 名で、前年度末より 4 社 8 名増加した。

5.6 インターネット等を活用した情報発信

5.6.1 ウェブサイトとメーリングリスト

治山・森林整備技術の国際展開を目指すポータルサイトとして、REDD プラス・海外森林防災研究開発センターのウェブサイト(日本語版・英語版)の充実を図った。同ウェブサイトでは、センターが主催する、セミナー・ワークショップの開催、文献等について情報発信を行った。

REDD プラス・海外森林防災研究開発センターでは、国内外の関係者に向け、動画の公開、センターのウェブサイトの掲載情報の速やかな周知、関連イベント、文献・報告書などのタイムリーな情報発信等を図るためメールマガジン「森林総研 REDD プラス・海外森林防災研究開発センターだより」を発行し、より広く国内の関係者への情報発信を図った。



図 5-6-1-1 REDDプラス・海外森林防災研究開発センターウェブサイト、トップページ



図 5-6-1-2 同、イベント(国際セミナー)のページ

5.6.2 研究集会等での情報発信

5.6.2.1 第21回国際第四紀学連合 2023 ローマ大会

2023年7月14日から7月20日にかけてイタリア共和国ローマ市サピエンツァ大学で開催された第21回国際第四紀学連合 2023 ローマ大会に出席した。ヨーロッパ各国からの参加者が大勢を占めていたが、日本、インド、中国、韓国といったアジアの国々からの参加者もみられた。出張者によるポスター発表「Sediment sources and discharge as disaster and environmental risks in an upstream mountainous catchment in northwestern Vietnam」は7月15日(土)に行われ、イギリス、ロシア、スイス、南アフリカ、アルゼンチンなどからの参加者の他、日本からの参加者に対しても説明を行った。森林劣化ではなく人工地形改変が主要な土砂流出源を作っているとの結果については、一般化された議論(森林劣化＝土砂流出促進)とは異なる結果として注目され、プロジェクトの進捗と成果をアピールすることが出来た。得られた主要なコメントとしては、斜面崩壊など土砂流出プロセスとのリンクを明確にすること、土質についてのデータを提示して議論することなどについて示唆を得ることができた。

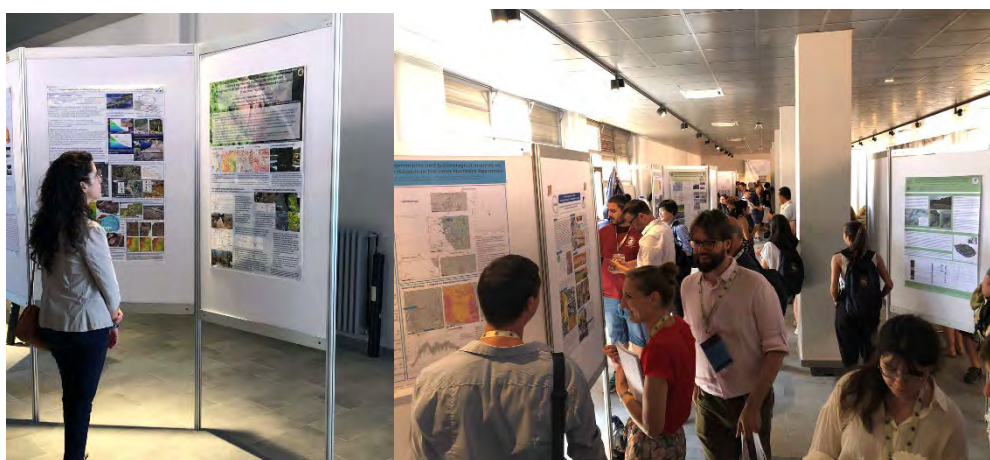


図 5-6-2-1 第21回国際第四紀学連合 2023 ローマ大会 ポスター会場

5.6.2.2 「ベトナムにおける防災・減災のための森林機能強化技術開発」に関するワークショップ (Vietnam-Japan Joint Project workshop “Development of technologies to enhance the functions of forests for disaster prevention and mitigation in Vietnam”)

このワークショップは、森林技術国際展開支援事業の成果共有と意見交換を目的として開

催され、森林総研からは、次の 4 題の発表を行った。①「Feasibility of Deployment of Simplified Forest Conservation Facilities in Vietnam(ベトナムにおける簡易治山施設の展開可能性)」、②「Development of landslide risk map considering land use change(土地利用変化を考慮した地すべりリスクマップの作成)」、③「Field Survey of Forest Functions in Preventing and Mitigating Landslides and Sediment Discharge(地すべりと土砂流出を防止・軽減する森林機能の現地調査)」、④「Strategic Placement of Mangrove Forests for Storm Surge Impact Reduction(高潮影響軽減のためのマングローブ林の戦略的配置)」。

ベトナム森林科学アカデミーやベトナム天然資源環境省(MONRE)、JICA ベトナム事務所など、約 50 名がオンラインを含めて参加した。このワークショップは、ベトナム国内の多くの組織に事業の成果を広く知らせる機会となった。またベトナム森林科学アカデミーの若手研究者が多く参加し、積極的に質疑に加わってくれたため、森林の防災・減災機能の活用に関して充実した議論が出来た。ワークショップを通して、森林を活用した防災・減災施策に対するベトナム側の大きな期待とともに、施策の意思決定に寄与する科学的根拠を強く求められていることを確認できた。



図 5-6-2-2 「ベトナムにおける防災・減災のための森林機能強化技術開発」に関するワークショップ(質疑応答の様子)

5.6.2.3 その他の研究発表

2023 年 5 月 22 日 2023 年日本地球惑星科学連合大会 発表(英語)

Takahisa Furuichi, Takuma Watakabe, Hikaru Osawa, Wataru Murakami, Takashi Okamoto, Katsuto Shimizu, Vu Tan Phuong, Nguyen Thuy My Linh, Thanh Tung Doan, Le Th Thu Hang: Land-use change, landform transformation and their geomorphic impacts in mountain catchments in northern Vietnam

2023 年 10 月 5 日 第 61 回治山シンポジウム「森林生態系を活用した防災・減災対策 (Eco-DRR)としての治山対策の今後の展開」

パネラーとして「我が国の治山技術の Eco-DRR としての海外輸出の可能性」と題する話題提供及び意見交換を行った。

2024 年 1 月 15 日 国際緑化推進センター主催「フォレスト・カーボン・セミナー (COP28 報告会)」において、本事業により開催したサイドイベントの内容を紹介した。

2024 年 9 月 日本地すべり学会研究発表会

渡壁卓磨、古市剛久、大澤光、岡本透、岡本隆 「ベトナム北西部の山地斜面における土地利用と土砂流出の関係」

2024 年 3 月 日本森林学会大会

岡本隆、古市剛久、大澤光、渡壁卓磨、村上亘、鈴木秀典、山口智、宗岡寛子 「ベトナムにおける治山施設の潜在的ニーズと普及に向けた課題」

5.6.2.4 独立行政法人国際協力機構 (JICA) 研修対応

独立行政法人国際協力機構 (JICA) の依頼により、本事業の成果を活用した講義を行った。

2023 年 9 月 7 日 課題別研修「REDD+実施に向けた政策立案(行政幹部職員向け)」

2023 年 9 月 26 日・10 月 6 日 課題別研修(オンライン)「自然災害に対する森林の防災機能など生態系を活用した防災・減災 (Eco-DRR)機能強化のための能力向上」

2023 年 9 月 15 日 「ネパール持続的森林管理を通じた気候変動対策プロジェクト」

2023 年 10 月 16 日 課題別研修「Eco-DRR(生態系を活用した防災・減災)を軸とした防

災・減災」

2023 年 12 月 1 日 JICA 中南米 Eco-DRR 講義(オンライン)

2023 年 12 月 7 日 インド国別研修「持続的森林管理及び生物多様性保全(幹部クラス)」



図 5-6-2-3 JICA 研修での講義の様子

卷末資料

令和 5 年度森林技術国際展開支援事業

第 1 回事業運営委員会

議事要旨

日 時:令和 5 年 7 月 13 日(木曜日)14:00-16:30

場 所:TKP 新橋汐留ビジネスセンター ホール 201
(東京都港区新橋 4-24-8 2東洋海事ビル 2 階)

出席者:

1. 事業運営委員会委員(五十音順・敬称略)

太田徹志 (九州大学農学研究院 准教授)

長 宏行 (公益財団法人 オイスカ 海外事業部 調査研究担当部長)

水野 理 (公益財団法人 地球環境戦略研究機関(IGES) プログラムディレクター)

宮城豊彦 (東北学院大学 名誉教授 / 地域情報カスタマイズユニット 代表)

2. 林野庁

岩間哲士 (計画課海外林業協力室 課長補佐)

出野伸明 (計画課海外林業協力室 係長)

3. 森林総合研究所

玉井幸治 (REDD プラス・海外森林防災研究開発センター長、研究ディレクター)

平田泰雅 (森林管理研究領域)

岡本 隆 (森林防災研究領域)

村上 亘 (森林防災研究領域)

小野賢二 (東北支所)

藤間 剛 (企画部国際戦略科)

道中哲也 (生物多様性・気候変動研究拠点)

江原 誠 (生物多様性・気候変動研究拠点)

高畑啓一 (生物多様性・気候変動研究拠点)

所 雅彦 (生物多様性・気候変動研究拠点)

小池信哉 (企画部国際戦略科)

(以下、敬称、肩書略)

【開会】

1.森林総合研究所挨拶

○森林総研(平田)

・本事業におきましては、委員のみなさまにはいろいろなご指導をいただき感謝する。昨年の COP27 ではグラスゴー・シャルム・エル・シェイク行動計画の中で気候変動と適応が取り上げられ、国際社会における気候変動適応に対する意識の高まり、あるいはニーズの高まりを感じている。また、国内では線状降水帯の被害が多々出ている。このプロジェクトが目指している森林の機能を活用した防災減災を考えても、森林を保全したために被害から守られたのか、それとも森林を保全していなくても被害は出なかったのかを明らかにすることは難しい。しかし、それでも、山地災害や沿岸域での災害を少しでも減らすために、いま持っている科学的知見を十分に集積して途上国での防災減災に役立てたい。今年もすでに活動を始めている。ベトナムのカウンターパートと 9 月に調査に入る計画であり、また COP28 でも防災減災に関するサイドイベントを開催するべく準備を進めている。今回の運営委員会では、現在の準備状況等も含めて報告させていただくので、忌憚なきご意見をいただきたい。

○森林総研(玉井)

・本日は、事業運営委員会にご出席いただき感謝する。この事業がより実りあるものとなるよう、みなさまからのご意見等をよろしくお願いする。

2.林野庁挨拶

○林野庁(岩間課長補佐)

・本日は、委員のみなさまにおかれましては、お忙しい中をご出席いただき感謝する。また、森林総研のみなさまには、日頃から本事業に精力的に取り組んでいただき御礼申し上げる。本事業は今年で 4 年目を迎える。これを取り巻く最近の情勢として、昨年カナダのモントリオールで開催された生物多様性 COP15 では、2030 年までに生物多様性の損失を止めて反転させることを目的とした昆明・モントリオール生物多様性枠組みが採択され、気候変動を含めた

自然を活用した解決策(NbS)の重要性が改めて共有された。また、今年の 4 月に開かれた G7 中の気候エネルギー環境大臣会合では、成果文書において森林の消失と土地の劣化を阻止し反転させることが取り上げられ、森林を活用した防災減災に取り組む本事業の意義は改めて大きくなってきている。本事業では、これまでベトナム森林科学アカデミーと連携しながら森林における防災減災の体制と課題、また山地防災のリスクマップ作成、マングローブ林における防災減災機能の強化などに関する調査分析を進めてきた。また、国際セミナーやワークショップを開催して積極的に普及活動に取り組んでいただき、技術者育成も開始するなど、本事業の目標達成に向けて着実に進んでいただいている。今年度も引き続き、これまでの成果の蓄積を踏まえつつ、成果を最大化できるように戦略的かつ効果的に事業を進めていただきたい。そのためにも、技術面はもとより、本事業の運営面も含めた幅広い観点から委員のみなさまの忌憚のないご助言をいただきたい。よろしくお願いします。

3.委員の紹介

○森林総研(高畑)

・本日は 4 名の委員が出席している。野田委員と眞弓委員は欠席である。

4. 令和 5 年度森林技術国際展開支援事業計画

○宮城座長

・「4-1 事業全体概要」の説明をお願いします。

○森林総研(平田)

【資料4「4-1 事業全体概要」に基づいて説明】

○宮城座長

・「4-2 途上国の森林の防災・減災等の機能強化に係る課題等の調査・分析」の説明をお願いします。

○森林総研(高畑)

【資料5「4-2 途上国の森林の防災・減災等の機能強化に係る課題等の調査・分析」に基づいて説明】

○宮城座長

・「4-3 途上国の森林の防災・減災等の機能強化に資する技術等の開発」の説明をお願いする。

○森林総研(岡本)

【資料6「4-3 途上国の森林の防災・減災等の機能強化に資する技術等の開発」に基づいて説明】

○宮城座長

・「4-3 途上国の森林の防災・減災等の機能強化に資する技術等の開発 1)日本の森林整備・治山技術を効果的に現地のニーズに合わせて適用するための手法の開発」の説明をお願いする。

○森林総研(岡本)

【資料7「4-3 途上国の森林の防災・減災等の機能強化に資する技術等の開発 1)日本の森林整備・治山技術を効果的に現地のニーズに合わせて適用するための手法の開発」に基づいて説明】

○宮城座長

・「4-3 途上国の森林の防災・減災等の機能強化に資する技術等の開発 2)リモートセンシング技術を活用したリスクマップ作成」の説明をお願いする。

○森林総研(村上)

【資料8「4-3 途上国の森林の防災・減災等の機能強化に資する技術等の開発 2)リモートセンシング技術を活用したリスクマップ作成」に基づいて説明】

○宮城座長

・「4-3 途上国の森林の防災・減災等の機能強化に資する技術等の開発 3)海面上昇による高潮被害に対するマングローブ林の沿岸域防災・減災機能の評価」の説明をお願いする。

○森林総研(小野)

【資料9「4-3 途上国の森林の防災・減災等の機能強化に資する技術等の開発 3)海面上昇による高潮被害に対するマングローブ林の沿岸域防災・減災機能の評価」に基づいて説明】

○宮城座長

・「4-3-4 世帯調査に関する説明」の説明をお願いします。

○森林総研(道中・江原)

【資料 10「4-4 世帯調査に関する説明」に基づいて説明】

○宮城座長

・リスクマップの絵姿が理解できなかった。たとえば英語で言うと disaster risk susceptibility zoning なのか、ranking map なのかを教えて欲しい。

○森林総研(村上)

・私は susceptibility map のイメージでやっている。昨年度は、主にムーカンチャイの崩壊地と土地利用について目視判読したものを使っていた。しかし、このプロジェクトの趣旨としてリモートセンシング技術を使うことになっており、崩壊地を自動抽出し、さらに森林の攪乱履歴等を自動判別するツールを作って取り込んだときに、どこまで評価できるか検証していない。今年度は、それをどこまで使い込めるのか検証したい。

○宮城座長

・そのときに、ベトナムではすでに MONRE が susceptibility ranking map を作っているの、それをどのように introduce させたかについても考えていただきたい。

○森林総研(村上)

・その図はカウンターパートから入手して、私も見た。かなり広域であり、また、おそらく地形と地質でほとんど評価している。このプロジェクトではコミュニケーションレベルの 10km²から 100km²くらいまでを想定しており、これまでベトナムで作られたものでは対応できないだろう。これまで集めた情報から土地利用の履歴が一番重要な崩壊要因になっていると判断でき、これはベトナムの susceptibility map になると感じている。土地利用履歴をどのように取り込んで評価できる

のか、それが現地で使い物になるのかを考え、より現場に適応できるような形にし、最終的には森林管理の造林に利用できるものにしたい。

○宮城座長

- 基本的にはそれでよいが、森林管理の技術に繋がる sustainability では脆弱性、もしくは地すべり災害等の発生可能性しか言えない。具体的な土地の identify をしていないからだ。残念ながら、今の段階では一般化はなかなかできない。しかし、ムーカンチャイではとても役に立つと思うので、そのシナリオを明確にしていきたい。
- リモートセンシングでベトナム側から 10m グリッドの DEM をもらったとあるが、その DEM をどうやって作ったのかを確認しないといけない。DEM をどのように取得したか不明であることが、いま、世界中で問題になっている。10m の DEM を取っても、resolution (解像度) をどうやって取ったのかのバックがまったく薄弱なので気をつけた方がいい。

○森林総研(村上)

- 私がカウンターパートから取得した DEM は ATOS を使ったという情報しかわかっていないので、どこまで信頼性があるのかはわからない。

○宮城座長

- ATOS のデータは場所と手法とで評価が変わるので、そこを考えて欲しい。

○森林総研(村上)

- わかった。

○宮城座長

- マングローブで広く植えているのは *Kandelia obovata* だが、サンプルとして引き倒し試験をやったのは *Sonneratia caseolaris* である。この *S. caseolaris* の根はとても浅く、しかも粘土の上に立っている。また、太さはだいたい直径 15cm くらいで、成長周期も 5~10 年とすごく早い。このような特性を報告では示してほしい。こういった特徴を考えると、今年は *K. obovata* をやって欲しい。

○森林総研(小野)

- 昨年度はリハーサルとして 2 種を経験した。*K. obovata* はかなり混んでいて、地盤も変わると

昨年と結果も変わる可能性があるので、今年度、取り組みたい。変わったデータが出てくるかもしれないので、非常に楽しみにしている。ご指摘のように、根が浅く、地盤も泥質なところだと、Sonneratia は、日本でやった Rhizophora stylosa よりもかなり弱めに出ている。また、成長が早いこともあるので、今後、樹種を増やしながら検討していく。

○宮城座長

- ・Kandeliaも植林で7、8本/m²とかなり密植していて、密生林という度合いを超えている。ただ、昔から Kandelia を植えていて、それによって土砂をトラッピングして土地がどんどん締め固まっている。つまり、10年、20年でかなり土地が締まってしまうので、力学的な評価しないといけない。

○森林総研(小野)

- ・地盤の評価も必要だと考えて、簡単な評価法として、引き倒し試験で三角パイプのような比較的丈夫なものを50cmから1mほど差し、同じ材質、同じ条件で引き倒しの負荷をかけたときに、どのくらいまで耐えるのかに取り組むことを検討している。

○宮城座長

- ・「4-3-4 世帯調査に関する説明」のようなアンケートはとても重要なことだ。ただ、ベトナムの斜面地域では、地域の人は debris flow と flash flood と landslide という3つのカテゴリーで土砂災害を把握している。また、ベトナムでは地域の防災の取り組みに関する法律が2013年にでき、2018年には法律改正があつて、コミューンの誰がどのように災害対応に当たるのかという構造が基本的にはできている。そこには、ホーチミンから始まったベトナムの国是でもある「地域の人々が自分で気がつき」、「自分で対策を取り」、「自分で避難し」、「自分で防災の対応策をやる」という4つのモットーがある。そういう中で「必要ですか」と問われたら「必要です」と答えるに決まっている。質問の仕方がとても難しく、役人が言ったとおりに答えるので情報が死んでしまう。そこで、私は、これについてどうでしたかと一回質問をし、さらにもう一回、こんな答えが出たが、それをどう思うかとさらに質問をする。そのへんを考えていただきたい。

○長委員

- ・マングローブの根返り耐性評価は、いろいろな条件があるので一概には言えない。しかし、とてもおもしろい。これから調査対象樹種を拡大するというが、ベトナム北部というマングローブの北限という条件もあつて、できないことがあるのかもしれない。私どもがフィリピン、タイ、イン

ドネシアなどで植えているもの、また現地の政府や NGO が植えているものはほとんどが *Rhizophora* で、あとは *Avicennia* である。*Sonneratia* 系は非常に少ない。やはり、採種のやりやすさや植えやすさなどがある。防災減災のために適切な樹種を選ぶためにも、メインコンポーネントとして植える樹種が調査対象種に入っているとすぐわかりやすくなる。インドのベンガル湾では *Sonneratia* 系なども植えている。*Avicennia* 系は育苗しやすい、採種しやすい、御しやすい。*Rhizophora* 系でも *R. mucronata* や *R. apiculata* がある。これらの試験をしてみると、Eco-DRR 的にはこれだということがより明確にわかってくる。また、ベトナムにもあるモクマオウも引き倒し耐性の違いが出ておもしろいかもかもしれない。チッタゴンの林業局がモクマオウを植えている。ベトナムにもモクマオウをはじめとした海岸林が植栽されているので、引き倒し試験の対象に加えることを検討して欲しい。

○森林総研(小野)

- ・植栽の主要樹種も対象に含めればよりいいものになるというご意見はもつともである。残念ながら、ベトナム北部にサンテや *Avicennia* はないと思うが、*R. stylosa* は一応ある。ただ、海外調査では、マングローブの破壊調査をする許可の取りにくさがあり、今回の調査の申請にはベトナム森林科学アカデミーの協力が大きく関わっていて、とても感謝している。樹種についても、その許可の範囲内でやっている。モクマオウは後背地の一番高いところにあるのでおもしろそうだなと見ており、機会を見つけてやってみたい。樹木の直径が最大で 15cm、胸高直径で 17、18cm くらいであればやれると思うが、そのサイズを人力で引き倒すのはかなり限界に近い。海外に機材を持ち出すことはハードルが高く、これから経験を積み、法に則ってやれることを見極めながらご指摘に答えられるように努力したい。

○森林総研(平田)

- ・このプロジェクトを起ちあげる時、マングローブよりもモクマオウの海岸線が圧倒的に長いので、モクマオウを入れられないかという打診があった。ただ、予算的制約に加えて、モクマオウは波で倒れているのではなく、海岸浸食で手前の砂がえぐられることによって倒れるということが非常に多く見られたため、今回の高潮に対する被害を考えたときに、防災減災機能という意味で難しいので、今回の事業から外した。

○宮城座長

- ・モクマオウはあれだけ海岸に広がっており、またマングローブよりも少し高いところにいて、一見強そうに見える。マングローブとモクマオウの数字が出てこない、なかなか理解をしてもら

えない。やれるなら、やったほうがいい。

○森林総研(平田)

- ・我々はこの事業をベトナム北部でやっているが、南部はだいぶ違った立地で生育しているので、比較手法を検討したい

○宮城座長

- ・是非、やっていただきたい。

○水野委員

- ・本年度は最終年に向かっていくが、全体のとりまとめに向けてどういうふうな成果があるのか、また、いま何をやっているのかが気になっている。そろそろ、どうまとめていくのかを念頭に置いて検討していただきたい。たぶん、全部がしっかりインテグレートされる感じではないだろうが、全部がばらばらでもない。ある部分とある部分は関係し、ある部分とある部分は独立していることもあるだろう。その関係性によって、事業の取り組みのデザインも場合によっては見直しておく必要が出てくる可能性があるので、そろそろ出口を見据えて、どれとどれがどういうアウトプットに繋がり、関係性を持っていくのかを考えつつ、上手くまとめて欲しい。
- ・一番やりたいことは防災なのか、治山なのか、あるいは森林管理なのか、施設も含めた治山なのか、その焦点が資料によってずれている感じがどうしてもする。もともとは森林の防災減災機能が前面に出ていた。しかし、植生があるかどうかのインパクトはそれほど多くないという図を以前に見たときに、その示し方を工夫する必要があると指摘した記憶がある。先の話にも繋がるが、成果をどうまとめるかによって、目的を多少変えてもいいと思う。森林の防災減災機能だけを前面に押し出すことで本当にうまくいくのかが心配である。成果物と見合う、どういうストーリーが一番いいのかを最後までよく考えていただきたい。また、これまでは気候変動の話があったが、今回、その話が出なかったことが気になった。
- ・マングローブは技術指針として汎用性を持たせた形で成果をアピールしていくと思うが、リスクマップはすごく specific な地域でやっているのだから、そこからどういう展開を想定していくのだろうか。他の地域にも普及できる情報として展開することまで検討し、それをアピールしていくのか。それとも、そこだけに留まるのか。留まるとしたら何のためにそこだけやったのか、そこを考える必要がある。さらに、気候変動とも関係するが、いまのリスクマップはヒストリカルデータと現状の土地利用に基づいてやっている。しかし、気候変動の影響が顕著になる将来を考えると、降雨パターンも土地利用も当然変わってくる。いまのマップの将来的な有効性をどう考

え、またどうアピールしていくのか。汎用性のある情報としてどういう形で提供するのか。あるいは、汎用性がないとしたら、そういった事柄についてどういうメッセージを出すのか、が気になった。

- ・マングローブの引き倒し試験の目的も理解できないところがあるが、この図の一番のメッセージは地域差が大きいということだと思う。樹種よりも、西表とベトナムとでは引き倒し試験の結果が違うということだ。そこで、指針の汎用性をどのように考え、地域差が出てきた結果をどのように指針に生かしていくのかを考えていただきたい。
- ・アンケート調査をやること自体は重要だが、たとえば政府への依頼例として出している選択肢が河川のインフラ整備、道路のインフラ整備、橋、気象情報とあって、最後に植林が出てくる。しかし、たとえば国土交通省がやるような仕事ばかりが重要だという話になった場合、どういう落としどころにするのだろうか。また、植林はあっても治山施設がないが、これはなぜなのか。アウトプットに繋げるときに各要素がどう関連するのも、アンケートをするときに考えておく必要がある。

○森林総研(平田)

- ・貴重なご意見に感謝する。特に5年目のアウトプットをどうするのかについては個々では話合っていたが、それを上手く表現する資料になっていなかった。いまの水野委員のお話のように、それぞれが目指しているところが少しずれているというご指摘は確かに重要だ。我々は汎用的に、民間の方々が簡単に参照できるものを作っていきたいと考えているので、どういう形で繋げていくのかをきちんと整理して提示できるようにしたい。

○宮城座長

- ・いまの水野委員の指摘は、まったくもつともである。この森林技術国際展開支援事業は森林の防災減災機能を最大化する治山技術ということ以上を言っていないのがミソだと思っている。手探りで始め、現場に行き、いくつかの気づきがあった。そして、木の引き倒しが必要だということで、実際にやってみた。斜面についても現場での流出解析から始めて、土地の状態を把握した。水野委員のご指摘は、今年一年はこの大きなタイトルにそれぞれをどうフィッティングさせるのかを考えて欲しいということだと思う。この先に報告会もある。先ほどの話では、今年度ではできるだけ中から話をしてもらおうと言っていたので、そこで集約してもちょうどいいと思う。1年前に具体的な絵姿を持ち、研究をフォーカスインしてきれいな答えに持っていく。このきれいな答えというのは、こんなに立派な成果が出たということではなく、この分野の、この部分で、この新しい発見があり、この部分が進歩したということである。そして、それが、たとえばガイド

ラインやマニュアルに反映される。また、それを相手国側に持っていこうとしたときに、もっとも新しいと言える状況が研究の落としどころとして考えられていなければならない。

○森林総研(平田)

- ・誤解のないようにいうと、この森林技術国際展開事業は、海外で森林の防災減災に貢献できる本邦技術者を 40 人程度育成するというのが政策目標である。そのための方法論や知見をこの事業で作上げ、民間企業が海外でできる体制を研修で整備するというのが、この事業の目標として掲げられている。我々が好きにできる部分は、それほどあるわけではない。しかし、その一方で、水野委員ご指摘のように、民間企業に、あるいは海外で活躍しようとしている方たちにどういう形で引き渡すのかというイメージがはっきりしていないという点はまさにそのとおりであり、我々は反省し、整理していきたい。

○森林総研(岡本)

- ・ご指摘のとおり、今年度は最終的な出口をどのようにまとめていくのかを明確にするべきだということは、まさにそのとおりである。実は、昨日、それを出さなければいけないことに気がつき、急遽、スライドに紛れ込ませた。平田の話しにもあったように、このプロジェクトの大きな出口は科学的に新しいことを見つけることでも、現地の方々への啓蒙普及でもなく、日本の治山事業者が現地で治山事業を展開していこうとしたときに、どういうところに気をつけなければいけないのかを提示することだと考えている。

○水野委員

- ・マングローブも同様か。

○森林総研(岡本)

- ・同じである。そして、最終的な出口として、たとえば「森林管理手法の例」のゾーニングを提出した。日本の治山業者が現地に入り、防災のための森林管理を行おうとすると、当然無理が出てくる。そこで、現地にうまく合わせていくにはどうしたらいいかを考えるとき、現地と日本とで治山のあり方や山地災害のあり方がどう違うのかが非常に重要になる。それこそが、我々が 1 年目から収集していることである。たとえば、日本ではあり得ない、山地斜面での大がかりな農地開発、農地利用といった違いを見据え、それを森林管理手法の中に埋め込んでいくといった作業ができればよいと思っている。一つだけではわからないかもしれないが、実はいろいろと調べたことがエッセンスとして入っている形にしていきたい。

○宮城座長

- ・大きな目的についての話はよくわかった。日本の技術を業者のために使うので、現場をよくわかった上で考えていくことが必要だろう。

○森林総研(小野)

- ・マングローブも、日本の技術を本邦の技術者に紹介するという話である。また、資料 4-3-3 の 9 ページ目の図は樹種差が出ていると考えており、今年度はそれを明確に示せるデータを取っていきたい。

○宮城座長

- ・同じ地盤なので、これは地域差ではなくて樹種差になる。

○水野委員

- ・見せ方がミスリーディングである。

○森林総研(小野)

- ・説明不足で申し訳ない。

○長委員

- ・そもそも研究目的は樹種差であるが、条件が違う二箇所でもあり、地域差に見えるのも当然だ。論文や実証実験としたら適切とは言えないかもしれない。しかし、そうであっても、こういう試験は大学の一研究者や NGO ではなかなかできない。パイオニア的なデータが出たということだけでも評価してもいい。

○森林総研(小野)

- ・点数がまだ足りないので、今後、データを蓄積していきたい。日本国内ではマングローブ林が保安林として認定されている場所はないが、日本の技術で海外の植林活動が活発に行われている。今まで、ベトナムやフィリピンなどの各地で、日本の方によってマングローブが植えられている。しかし、その目的は炭素クレジットなどであって、防災機能を強化するためにマングローブの樹種選択をするという視点はこれまでなかった。きちんと樹種特性を評価し、この樹種を植えれば高波に対する防災機能が高まるというデータを示せば、そういう目的で樹種

を選択してもらえる。これまでは、種子の入手のしやすさや植えやすさによって樹種選択が行われてきたが、そこに防災的観点から樹種を選択するというモチベーションを与えられる知見、情報になることを目指してやっている。

○森林総研(村上)

・私のリスクマップは、森林管理のゾーニングのベースとして使うことを想定している。最終的な出口は、これまで行ってきたベトナムの2地域での成果を踏まえてリスク評価をするときに、どういうスケールで、どういうデータが必要なのか、それは現場で利用できるものなのかを表のようにして示すことである。また、今回、触れていないが、斜面崩壊に関しては、やはり雨の評価になると思っている。今後、ベトナムで崩壊が多発したときの雨が、それまでに収集したデータの中でどういう位置づけになるのかという評価を行いたい。そのためのデータセットの入手と、担当者の協力が得られる目処が立ったので、今年度から来年度の早い段階で進めたい。将来予測データをこのプロジェクトの中でどこまで評価していけるのか。少なくとも、これまでにベトナムで発生した崩壊に対する雨の位置づけの評価は行いたい。

○宮城座長

・ゾーニングするターゲットエリアはコミューンや省、あるいは流域単位になるのだろうか。そして、それは森林の管理や水のコントロール、伐採などに繋がるのか。

○森林総研(岡本)

・そのようにご理解いただきたい。これまでのリスクマップは広すぎて、森林管理にはそぐわない。より細かいところに焦点を当て、森林の利用と管理にまで目が届くレベルに落とさなければいけない。また、おそらくリスクマップや感受性マップに一般性を持たせて提供することは難しいだろう。さらに、日本のリスクマップとベトナムのリスクマップとでは大きな違いがあることが、今回、行っている小さな流域の中でも出てくると思う。たとえば、山地斜面の農地利用があり、それについてはリスクマップの考え方を变える、あるいはある程度は許容しなければいけない。そういうことを我々が実際に体験し、まとめることによって、後に日本の治山業者が現地に入って防災のための山地管理をしようとなったときに、我々の知見を生かせるようにしたい。

○太田委員

・水野委員と同様、残りの時間が少ない中で全体の整合性をどうするのが一番気になった。

また、今回、新たに「4-3-4 世帯調査に関する説明」が加わっているが、これは実際には 4-3-1、2、3 に組み込まれていくものなのだろうか。もしそうであれば、4-3-1 と 4-3-2 ではあまり明確になっていなかったのもう少し中身を整理するときれいになるだろう。さらに、学会参加等をして情報を収集するというが、今年の World Landslide Forum が 11 月にイタリアである。その中で、landslide sustainability modeling の弱点と問題点が議論される。もしできることなら、参加したらよい。また、インタビュー調査のマングローブの方では保全崩壊の認識という明確な outcome があって影響を評価することだと思うが、山地災害の方ではどういう outcome で、最終的にどういう落ちを得るのがイメージできなかった。山地災害とマングローブとで方法とセオリーは一緒だが、最終的に分析する outcome は変わるのだろうか。違っていてもいいが、違うことと一緒にすることがわかると理解しやすくなる。

○森林総研(平田)

- ・太田委員のお話のように、「4-3-4 世帯調査に関する説明」は 4-3-1、2、3 の中に入っていく。今回、現地で集中的に調査できるようになったことから「4-3-4 世帯調査に関する説明」として詳しく説明したが、今後は 4-3-1、2、3 の中で説明する。

○宮城座長

- ・「4-4 事業成果・治山技術に関する情報発信」の説明をお願いします。

○森林総研(藤間)

【資料 11「4-4 事業成果・治山技術に関する情報発信」基づいて説明】

○宮城座長

- ・出口を想定していることがわかった。2024 年 1 月 31 日の国際セミナーが大きな結節点になる。それまでには、プログラムやガイドブックの章立てにもさらに磨きがかかるだろう。

○森林総研(藤間)

- ・2024 年 1 月 31 日の国際セミナーで提示するのは、事業の全体像ではなく、各々を切り出したものになる。事業全体については、第 2 回運営委員会時に、今日いただいたコメントなどを整理して示すことになるだろう。
- ・気候変動への適応として、森林による防災・減災への期待が増えつつある。JICA など外部からの研修依頼に対して、本事業の成果を活用している。

○宮城座長

・マイルストーンがだんだん明確になり、嬉しく思う。

5.全体討議

特段の質疑なし。

○宮城座長

・討議を終える。

6.その他

○森林総研(高畑)

・本日の議論に感謝する。

<閉会>

以上

令和 5 年度森林技術国際展開支援事業

第 2 回事業運営委員会

議事要旨

日 時:令和 5 年 10 月 12 日(木曜日)14:00-16:30

場 所:TKP 新橋汐留ビジネスセンター ホール 401
(東京都港区新橋 4-24-8 2東洋海事ビル 4 階)

出席者:

1. 事業運営委員会委員(五十音順・敬称略)

太田徹志 (九州大学農学研究院 准教授)

田中賢治 (国土防災技術株式会社 取締役 / 事業本部長)

野田英夫 (独立行政法人 国際協力機構(JICA)地球環境部 次長 兼 森林・自然環境
グループ長)

水野 理 (公益財団法人 地球環境戦略研究機関(IGES) プログラムディレクター)

宮城豊彦 (東北学院大学 名誉教授 / 地域情報カスタマイズユニット 代表)

2. 林野庁

谷本哲朗 (計画課海外林業協力室 室長)

出野伸明 (計画課海外林業協力室 係長)

3. 森林総合研究所

玉井幸治 (REDD プラス・海外森林防災研究開発センター長、研究ディレクター)

平田泰雅 (森林管理研究領域)

岡本 隆 (森林防災研究領域)

村上 亘 (森林防災研究領域)

古市剛久 (森林防災研究領域)

小野賢二 (東北支所)

藤間 剛 (企画部国際戦略科)

高畑啓一 (生物多様性・気候変動研究拠点)

所 雅彦 (生物多様性・気候変動研究拠点)

小池信哉 (企画部国際戦略科)

(以下、敬称、肩書略)

【開会】

1.森林総合研究所挨拶

○森林総研(玉井)

- ・本日は、第2回事業運営委員会にご出席いただき感謝する。本事業も4年目の半分が終わり、最後を目指して頑張らなければならない時期になっている。委員のみなさまには、この事業の至らない点、改善すべき点についての忌憚のないご意見を願います。

2.林野庁挨拶

○林野庁(谷本室長)

- ・委員の皆様には、本事業にご協力とご理解をいただき感謝。また、森林総研の皆様も、調査等で精力的な活動をしていただき感謝。本事業は5年間の事業で、現在4年目の折り返しを迎え、成果が見えてくる段階。

先日、FAOのアジア太平洋州林業委員会がオーストラリアで開催され、参加する機会があった。いろいろなアジェンダについて議論が行われたが、その中に気候変動に対するレジリエンスの構築という議題が設けられており、その中で防災、減災に対する森林の貢献における日本の取り組みを紹介した。また、FLR(Forest and landscape restoration)という森林と景観の回復、再生をテーマとしたサイドイベントでも、戦後荒廃した森林を再生していく中で、防災、減災の意識が日本の国民の間で高まり、治山技術も発展していったことをアピールした。本日の運営委員会では、技術開発、リスクマップ等々の進捗、技術者の育成、またUAEで開催されるCOP28などでの情報発信といったことの説明、紹介があると承知している。忌憚のないご意見をいただき、実りある成果に結びつくことを期待しており、よろしくお願いします。

3.委員の紹介

○森林総研(高畑)

- ・現在、5名の委員が出席している。長委員は欠席である。都合により、眞弓委員は田中委員

と交代した。

4. 令和5年度森林技術国際展開支援事業中間報告

○宮城座長

・「4-1 事業全体概要」の説明をお願いします。

○森林総研(平田)

【資料4「4-1 事業全体概要」に基づいて説明】

○宮城座長

・「4-2 途上国の森林の防災・減災等の機能強化に係る課題等の調査・分析」の説明をお願いします。

○森林総研(古市)

【資料5「4-2 途上国の森林の防災・減災等の機能強化に係る課題等の調査・分析」に基づいて説明】

○野田委員

・「国際動向レポート 2021 年度」は公開されているのか。

○森林総研(古市)

・センターのホームページで公開している。

○野田委員

・JICA の案件を多く紹介していただき感謝する。この表にある「アルバニアの森林火災情報システム」の案件など、西バルカン地域では5ヶ国で森林火災情報システムとEco-DRRのパイロットプロジェクトが実施される。これらのプロジェクトで特徴的なことは、カウンターパート機関が森林や環境を担当している省庁ではなく、たとえば危機管理を担当している省庁であることが多いことである。もちろん、森林を担当している部門も入っているが、現地では、防災、減災は危機管理といった話しの中で考えられることが多いのだろう。これは地域的な特

徴とも思われ、他のアジアやアフリカでは、また別な話なのかもしれない。

- ・世界銀行へのインタビューに関する報告で、治山技術を NbS の中に位置づけることに関するコメントがあったとのことだが、IUCN が NbS の標準を定めるなどの動きの中で、日本の意向どおりに技術をうまく位置づけられるのかどうか、逆にやりにくくなるのかもしれないという趣旨だった可能性があると思う。

○森林総研(古市)

- ・貴重な情報に感謝する。バルカン地域でカウンターパートが危機管理担当であることは、大変重要な点である。国によって事情が違っていることは、コンセプトを作るときに重要なキーとなる。森林機能を活用する治山技術が防災に役立つことを危機管理担当の省庁にもわかる形でコンセプトを作っていきたい。

○水野委員

- ・資料 5 の 6 ページ以下にある「JICA 案件の動向」の表をどう見たらいいのか。FDRR なのでキーワードの交点は「森林」と「防災」だと思うが、それが「森林」と「治山」と「Eco-DRR」になっている。何を、どう見るためにこうしているのかがわからない。「治山」や「Eco-DRR」に○がついていないものの中にも、持続可能な森林経営に関係するものがたくさんあり、自分たちがやりたいことにマッチしているものがあるのではないか。本当にプロジェクトが少ないとしたらどこに問題があるのかを調べる際に、キーワードの選択を含めた調べ方を検討する余地があると思う。
- ・資料 5 の 9 ページに聞き取り調査に関する関係機関のリストがある。例えば環境省なら、自然環境局でも、地球環境局でも、その回答は基本的に同じだと思うが、世界銀行ではいくつかの立場があり、それぞれにポリシーもアプローチも違っている。また、GCF の資金を取るための仲介者としての役割や、自らの資金を直接活用してプロジェクト形成を手伝う役割もある。このように、機関の中の立場や基金の方針などによってアプローチが違うので、Forest DRR のプロジェクトがないのはどうしてなのかという質問は、そのそれぞれの立場・役割に対して行っていないと、よくわからない感じになると思う。

○森林総研(古市)

- ・この表は「森林」のキーワードを持つプロジェクトに治山コンポーネント等がどう入っていくのかをまとめたものである。ご指摘のとおり、「森林」のキーワードがないプロジェクトでも治山のプロジェクトがあるので、調査範囲を広げていきたい。

- ・水野委員がおっしゃるような調査をやろうとすると、この調査の体制ではやりきれない。しかし、今回の聞き取り調査を通じて世界銀行に食い込み、先方から具体的な山地防災案件を基に治山コンポーネントと砂防コンポーネントを組み合わせる検討(エクササイズ)をしないかという申し出さえ頂いている。このような形で世銀との対話が始まったということだけでも森林総研にとって大きな前進であると考えている。将来の調査研究へのきっかけになる取り組みとして位置付けて欲しい。

○宮城座長

- ・水野委員のご指摘はおっしゃるとおりだと思うと共に、古市さんの状況も理解できる。ただ、国によって違いがあるので、もう少し細かいところまで気配りをしたらいい。どのように要点整理をすれば民間企業が入っていくときの足がかりになるのかというスタンスで考えを整理しておくことが必要だ。水野委員が詳しそうなので、相談して欲しい。

○森林総研(古市)

- ・今後、お知恵をお借りしたい。ただ、この調査では先方政府は対象外にしている。日本の JICA や林野庁、国際機関ドナーが先方政府と渡り合うときに、どういう形で forest based な DRR 案件作りを考えているのかを調べるつもりである。

○宮城座長

- ・それを十分に考えていないというところで、世界銀行などは止まっているのではないか。

○森林総研(古市)

- ・十分に考えられていないということがわかれば、それは調査成果の一つだと思う。研究機関として現状をあぶり出すことまでしかできないが、今回はさらに一步踏み込み、ドナーのそうした傾向を踏まえて、我々の調査を踏み台にして森林機能を活用する山地防災技術の海外進出を促進するところまで考えていきたい。

○宮城座長

- ・民間の案件形成には、まだまだ遠いということか。

○森林総研(古市)

- ・ドナーが現場の情報を踏まえた案件を作っておらず、また、民間企業は案件形成の可能性

が低いと見て案件形成の努力をしていないのではないかとのことである。それが治山案件の少ない理由であると推察しており、そこに対して一石を投じたい。

○宮城座長

- ・「4-3 途上国の森林の防災・減災等の機能強化に資する技術等の開発」と「4-3 途上国の森林の防災・減災等の機能強化に資する技術等の開発 1)日本の森林整備・治山技術を効果的に現地のニーズに合わせて適用するための手法の開発」の説明をお願いします。

○森林総研(岡本)

【資料6「4-3 途上国の森林の防災・減災等の機能強化に資する技術等の開発」に基づいて説明】

○森林総研(岡本)

【資料7「4-3 途上国の森林の防災・減災等の機能強化に資する技術等の開発 1)日本の森林整備・治山技術を効果的に現地のニーズに合わせて適用するための手法の開発」に基づいて説明】

○宮城座長

- ・「4-3 途上国の森林の防災・減災等の機能強化に資する技術等の開発 2)リモートセンシング技術を活用したリスクマップ作成」の説明をお願いします。

○森林総研(村上)

【資料8「4-3 途上国の森林の防災・減災等の機能強化に資する技術等の開発 2)リモートセンシング技術を活用したリスクマップ作成」に基づいて説明】

○宮城座長

- ・「4-3 途上国の森林の防災・減災等の機能強化に資する技術等の開発 3)海面上昇による高潮被害に対するマングローブ林の沿岸域防災・減災機能の評価」の説明をお願いします。

○森林総研(小野)

【資料9「4-3 途上国の森林の防災・減災等の機能強化に資する技術等の開発 3)海面上昇による高潮被害に対するマングローブ林の沿岸域防災・減災機能の評価」に基づいて説明】

○宮城座長

- ・「マングローブ保全指針」はすでにたくさんある。しかし「高潮災害軽減の観点から」にも焦点をあててマニュアルを作ることは、新しい展開としてすごくよい。北部のマングローブは冬の北東貿易風によって大きく変化するので、北東貿易風のデータも入れていただきたい。

○森林総研(小野)

- ・検討していきたい。

○森林総研(平田)

- ・この調査地ではいろいろな方角から解析を行っているが、マングローブが北東からの波に対して保全対象となるものがあるような場所はない。

○宮城座長

- ・その説明をしておかないといけない。現場では、北東貿易風が一番大変だと思っている。

○森林総研(平田)

- ・海岸線を見ればわかるように、北東から南西に海岸線が伸びているので、北東から波が来ても岸には向かわない場所である。

○宮城座長

- ・マングローブの分布は、北東からの強い風の影響を受けそうだ。

○森林総研(小野)

- ・研究成果とガイドライン(マングローブ保全指針)の内容は別であるが、ご指摘の視点は研究では重要であり、知識としてガイドラインに反映させることも考える。

○田中委員

- ・ベトナムの山腹の崩壊が、劣化森林と耕作放棄地とに分けられている。タイにおける農地利用を見ると、まず中腹部の土地を利用し、崖錐堆積物が貯まったところに新たな農地を作るという形になっている。場所の利用にあたっては、どういう経済的効果があるのかに重きが置かれていることが多い。この抽出した場所も、その後の利用形態がどんどん変わっていくと

いう認識を持っていただきたい。

○森林総研(岡本)

- ・ご指摘のとおり、耕作放棄地で崩壊が起きた斜面で何が行われているかは非常に重要である。今回、見に行った場所では、大規模地すべりによる崩壊斜面があった。そこは何年もそのままになっていたが、次第に安定していそうな場所を住民が見つけて、トウモロコシ畑などの農地を作っていた。崩壊跡地の変遷という視点は重要なので、よく見ていきたい。

○水野委員

- ・資料 6 の 6 ページに「出口を見据えた課題遂行の流れ」と書いたことはよいと思う。これに関連するが、リスクマップや土地利用計画図について特定のサイトを選び、そこで研究を行っている。そこには具体的なデータも、地形も、住民との対話等もあるので、それらに基づいて何をするべきかの提案は直接的に出てくるだろう。しかし、この調査で目指す成果は海外展開の可能性であって、非常に一般的、普遍的な課題である。だから、目指すところまでには、もうワンステップがいるのではないか。普遍化にあたって、地域による違いを分析し、何が追加で必要なかを想定するなど、特定のサイトから一般化するにあたっての何らかの検討ステップが必要なはずなので、それについて考えていただく必要がある。ハザードマップでは、今後の検討課題として、必要とされるリスクマップのデータの解像度に応じた分析が示されており、一般化に繋がることを想定していると思う。ただ、全体ではそうになっていないので、全体についてもどうやって一般論に繋げていくのか、日本の治山技術を普及するにあたって、どういうことを提案し、そのためには何が必要なのかという思考実験をした上で、ステップに応じた取り組みをすることが必要なのではないか。
- ・気候変動があまり出てこなくなったことはやむを得ないのかもしれない。ただ、気候変動の影響は経時的に変化していくし、また、国の開発計画によっても土地は変わっていく可能性がある。将来に向けたタイムというディメンジョンへの配慮は必要ではないか。短期的な更新を提案する前提でハザードマップを作っているのであればよいが、土地利用の計画は 30 年、50 年のスパンで影響してくるので、将来的な変化を視野に入れないで提案することはリスクである。いずれにしても、タイムというディメンジョンがないので、ハザードマップなどにタイムというディメンジョンをどう入れるかを考えた方がよい。

○森林総研(岡本)

- ・個別から一般化への展開をどうするのかということと、また時間軸をどう考えるのかということは

非常に難しいことである。一般化は、できればよいと思っはいる。たとえば、3 箇所、5 箇所といった複数箇所の地形、地質、そして社会構造を比較することが、もっともストレートなやり方である。しかし、調査できる範囲と期間に制限があり、現状では難しい。現在、我々は2 箇所調査を行っている。1 つはイエンバイ省のムーカンチャイで、ここは地形構造の急峻な地形が多いので選んだ。もう 1 つはサパ州のモンズンで、ここは少し斜面が緩く、また居住する民族が違い、生活スタイルも少し違う。もし可能であれば、こういった地形と社会背景が違う 2 箇所を見据えながら一般化への道筋を最終成果の中に少しでも記していくことができるのではないかと考えている。

- ・気候変動については、資料 6 の 8 ページにある「誘因」に「気候変動に伴う降雨量の変化」として過去からの雨量の変化等の解析を入れている。これで、どこまで考慮できるかはわからないが、トライはしてみたい。社会構造の変化が難しいのは、国の経済成長によって人々の意識が変わってくることである。それまでは農地開発一辺倒だったが、豊かになると、山地斜面をどう利用していくかという生活面での変化が出てくる。それを踏まえた予測をし、土地利用計画を作ることは、現在は解決策が見あたらない。こういう考え方があるということがあれば、ご教示いただきたい。

○宮城座長

- ・社会状況の変化を想定することは、次の課題だと思う。基本的に、今、あるものが、どのような条件で、どのような反応を示しているのかをきちんとやることが大事だ。そして、なぜ、この 2 つの地域を、どういう代表性のもとで設定したのかを振り返れば、自ずと適応範囲が見えてくと思う。
- ・資料 8 の 12 ページにある「リスク要因」で、リモセンの寄与率として高さが一番強くなっているものがあるが、どうして、こんなに圧倒的なインパクトがあるのか。

○森林総研(村上)

- ・これは、この方法の問題点でもある。まず標高と傾斜と方位を入れるが、この 3 要素は同じ DEM から作っているために、傾斜と方位が従属関係になってしまう。その上で標高を入れると、どうしても標高が大きくなる傾向が出る。その理由については、いくつかの考えがある。

○宮城座長

- ・いろいろな可能性があると思うが、標高を抜いて、傾斜と方向の 2 つのパラメータだけにしてしまうほうがよいのではないかな。

○森林総研(村上)

- ・私も、そう思う。地形要因を DEM から作ると、どうしても従属関係になってしまう。標高を抜けば、傾斜か方位のどちらかが大きくなることはわかっているが、それがいいことなのかどうかは検討の余地がある。

○宮城座長

- ・地形と勾配の対応がもっともわかりやすいが、このプロジェクトではそれは前提であって、植林のパラメータを大事にすると言ってくればよいと思う。

○森林総研(村上)

- ・わかった。

○太田委員

- ・どの係数を入れるのかという議論は、予測をしたいのか、推論をしたいのかによる。予測したいのであれば、何らかの係数を入れさえすればよい。たとえば、国毎のノーベル賞の数を予測したいのであれば、チョコレートの消費量で作ってもいい。しかし、チョコレートをみんなが食べたらノーベル賞が増えるかといえ、それは増えない。予測はチョコレートでもできるが、推論はチョコレートではできない。予測と推論のどちらをしたいのかによる。

○森林総研(村上)

- ・この手のモデルは、とにかく何かを入れれば何らかの結果が出る。それこそ、米の生産量を入れてもよいが、それでは別な話になってしまう。ここでは、これまでに災害調査をした中で関係していると思われる因子を入れ込むというスタンスでやっている。実は、今日の議論を通じて、これを入れれば絶対に上がるだろうと思ったのが地形区分である。地形判読をして、その結果を入れ込めば、そして高度を入れていなければ、それが一番効くだろう。ただ、それを入れようとするものすごい努力を要するので、いまは DEM の解析でできるものだけにしている。

○太田委員

- ・資料 6 の 9 ページにある土地利用計画では「自然現象のみを考慮した場合の最適な土地利用戦略を提案する」となっている。ただ、日本では、たとえば市町村の「森林整備計画図」は

自然現象だけでは決まっておらず、たとえば健康増進という文化的な側面や、土砂災害による住宅の危険性の高さなどで決まっていることもある。一方、自然現象だけで決めているものとして、たとえば林野庁の「山地災害危険地区調査要領」があり、これは危険な箇所をポイント制で表している。それゆえ、この箇所の表現は変えた方がよいのではないか。なお、市町村の森林整備計画は場所によって力の入れ具合が違っていて、これを元に一貫した評価を行うことは難しいと感じた。また、水野委員のご指摘にあった気候変動と社会の変化にも関連するが、市町村の森林整備計画は10年で見直されることを前提として伐採計画などを立てる。今回のムーカンチャイでも、たとえば10年の中でどういう森を指向するのか、最終的にここをどうするのかかわからないと、重要な対話ができないかもしれない。時間的変化は難しいかもしれないが、今後10年間について、たとえば伐採はやめようといった提案だけでもできればよいと思う。

○野田委員

- ・「マングローブ保全指針」は、誰を対象にして作るのか。途上国に向けた英語版も作るのか。また、作成されたものは公開されるのか。今回の研究内容が反映されるのは、目次案の5番目と6番目なのか。

○森林総研(小野)

- ・この事業の対象は海外展開を考えている日本の企業であり、この保全指針も同様である。また、事業目的から、日本語を考えている。現在、日本のマングローブ植林技術には多くの蓄積があり、世界的に貢献している。ただ、それは沿岸域の環境保全、生物多様性、炭素蓄積といった視点で行われてきた。そこに、防災的な機能でも貢献できるという視点で保全指針を提供できればいいと考えている。

○森林総研(平田)

- ・日本の技術者が保全指針を海外で使うときに、英語版があればよいだろうと思う。来年度の努力目標としたい。

○宮城座長

- ・マングローブの保全、植林等のガイドラインは、すでにたくさん出ている。それでもあえて、これから企業として海外事業に参入しようとする人たちのために **Japanese investment** として作るのであれば、それはそれでありうることだ。かなりの批判にさらされるだろうが、それでも、こうい

うことだと思います。やるべきことだと思う。

○林野庁(谷本室長)

- ・林野庁の令和3年度補助事業として「途上国森林再生技術普及事業」があり、その成果の一つとしてマングローブの再生ガイドブックが作成され、ネットにも掲載されている。今回の保全指針は高潮の被害、災害軽減の観点という特徴を出せると思うが、他の事業成果でマングローブを扱ったものがあることを参考までに共有させて頂く。

○森林総研(小野)

- ・当該ガイドブックは承知している。非常に参考になるガイドブックである。

○田中委員

- ・資料9の6ページではマングローブの梢端枯れだけで健全と不健全とに分けているが、海外では科学的に要件がどう変化するかを明確に見せないと、相手が理解しないことが多い。比較するだけでは「何？」で終わってしまう。もしできることなら科学的性状も測り、それを相手に見せて論理的に展開するとよい。

○宮城座長

- ・「4-4 事業成果・治山技術に関する情報発信」の説明をお願いします。

○森林総研(藤間)

【資料11「4-4 事業成果・治山技術に関する情報発信」に基づいて説明】

- ・特段の質疑なし。

5.全体討議

○宮城座長

- ・本事業は5年間のプロジェクトだが、当初の大きな目的の成果は、事業終了の半年くらい前には見えてくるだろうか。

○森林総研(平田)

- ・今年度に技術開発の基本的な形を作り、来年度にその修正を行う。また、調査分析も粛々と進めていく。さらに、政策目標に掲げられている人数の技術者育成と情報発信は、公開も含めて進めていく。技術開発は、コロナの影響で遅れて始まったにも関わらず、当所の計画に近づいてきている現地データの足りない部分は如何ともいたしがたいものの、来年度は形を作った技術を検証し、データを加えながらやっていく。

○宮城座長

- ・コロナの時には隔靴搔痒だったが、現場に行ってくることで話が非常に生き生きとしてきたし、いろいろな質問がたくさん出てきた。最後には、収まる場所に収まるだろう。よろしくお願いします。

○森林総研(平田)

- ・今回の技術開発では、ベトナム森林科学アカデミーが協力的に働いてくれている。それもあって、次の渡航時に森林科学アカデミーでワークショップを開き、関係するメンバー以外にも広く声をかけて、科学的知見を元にしたアプローチの大切さを共有しようと考えている。

○宮城座長

- ・大事なことなので、ぜひ、お願いします。
- ・討議を終える。

6.その他

○森林総研(高畑)

- ・第3回目は2月あるいは3月に開催する予定である。本日の議論に感謝する。

<閉会>

以上

令和 5 年度森林技術国際展開支援事業

第 3 回事業運営委員会

議事要旨

日 時:令和 6 年 2 月 21 日(水曜日)14:00-16:30

場 所:TKP 銀座ビジネスセンター カンファレンスルーム 6A
(東京都中央区銀座 8-2-8)

出席者:

1. 事業運営委員会委員(五十音順・敬称略)

田中賢治 (国土防災技術株式会社 取締役 / 事業本部長)

長 宏行 (公益財団法人 オイスカ 海外事業部 調査研究担当部長)

野田英夫 (独立行政法人 国際協力機構(JICA)地球環境部 次長 兼 森林・自然環境
グループ長)

水野 理 (公益財団法人 地球環境戦略研究機関(IGES) プログラムディレクター)

宮城豊彦 (東北学院大学 名誉教授 / 地域情報カスタマイズユニット 代表)

2. 林野庁

岩間哲士 (計画課海外林業協力室 課長補佐)

出野伸明 (計画課海外林業協力室 係長)

3. 森林総合研究所

玉井幸治 (REDD プラス・海外森林防災研究開発センター長、研究ディレクター)

平田泰雅 (森林管理研究領域)

岡本 隆 (森林防災研究領域)

村上 亘 (森林防災研究領域)

古市剛久 (森林防災研究領域)

小野賢二 (東北支所)

藤間 剛 (企画部国際戦略科)

高畑啓一 (生物多様性・気候変動研究拠点)

佐藤大樹 (生物多様性・気候変動研究拠点)

小池信哉 (企画部国際戦略科)

(以下、敬称、肩書略)

【開会】

1.森林総合研究所挨拶

○森林総研(玉井)

- ・本日は、第3回運営委員会にご出席いただき感謝する。今回は事業4年目の最後の運営委員会であり、最終年度に残された課題とやるべきことをご指摘いただきたい。それを実行することによって、この事業が非常に実り豊かになることを願っている。忌憚のないご意見をよろしく願います。

2.林野庁挨拶

○林野庁(岩間課長補佐)

- ・本日は、委員の皆様にはお集まりいただき感謝する。また、森林総研の皆様にも、日頃のご努力に感謝する。第2回運営委員会後の動きとして、11月末から12月にかけて、UAEのドバイでCOP28が開催され、適応に関する世界全体の目標、GGAに関するフレームワークの採択、世界的な災害リスクの提言、そして強靱な社会の構築に向けた取り組みが強化された。治山事業の推進に取り組んでいる本事業は、自然を活用した解決策の提供という点で、あらためて重要性が増した。また、11月の技術者研修では13名が修了した。さらに、1月の国際セミナーでは、本事業の成果について、森林総研から3名が、また海外からも3名を招いて情報を発信し、いよいよ成果が出つつある。本日は今年度の最後の運営委員会であり、最終年度に向けて取り組むべき点、改善すべきこと等について、委員の皆様からの忌憚のないご意見をいただきたい。よろしく願います。

3.委員の紹介

○森林総研(高畑)

- ・本日は、5名の委員が出席している。太田委員は欠席である。

4. 令和5年度森林技術国際展開支援事業成果報告

○宮城座長

・「4-1 事業全体概要」の説明をお願いします。

○森林総研(平田)

【資料4「4-1 事業全体概要」に基づいて説明】

○宮城座長

・「4-2 途上国の森林の防災・減災等の機能強化に係る課題等の調査・分析」の説明をお願いします。

○森林総研(古市)

【資料5「4-2 途上国の森林の防災・減災等の機能強化に係る課題等の調査・分析」に基づいて説明】

○宮城座長

・今回の報告は、大きなターニングポイントになる。いま、網羅的な説明をしたが、全体として、この先を考える上でキーとなるようなことが、たとえば Nature based Solution のようなものがあれば教えて欲しい。

○森林総研(古市)

・むずかしいが、一つは、もう日本の資金に頼らないということがある。つまり、JICA に頼らないで展開していく時代になっているということだ。世界銀行やアジア開発銀行と交流することで、その敷居が高いように思えても、実はそうではないことがわかった。去年から対応している Synspective 社に敷居は高くないことを説明してアジア開発銀行を紹介したら、すぐに動いて、本部の担当者と面談をし、案件をとった。やりようによっては、国際資金を使って、いくらでもできる。日本の経済が縮小する中で、治山分野でも海外の資金を使っていくことが大事になる。

○宮城座長

- ・今回の話の中でも、英語の発信力が弱いということがあった。どうも日本で蓄積された技術をそのまま英語に翻訳しても、相手国の人も国際資金の機関の人もピンとこない。どうしたら、ブレイクスルーできるだろうか。

○森林総研(古市)

- ・一つは、研究機関が一定の役割を果たせる可能性があると思っている。包括的ではなく限られた取り組みだが、治山技術用語を一つ一つ英訳することにも取り組み始めた。自分たちでもやるし、既存の海外プロジェクトの中には治山技術指針を参照した技術ガイドラインを英語で作っている例もある。我々の英訳については先般の国際セミナーでも部分的に紹介し、報告書等でも報告していく。国際セミナーの内容は論文としても出したいと思っており、そうした取り組みの中で我々としても貢献できればと考えている。

○宮城座長

- ・それは、具体的に展開できそうだ。

○水野委員

- ・全体として、ずいぶんと整理が進んでいいと思う。しかし、JICA との面談で治山案件は少ないということが示されて意識を改めたという。そうだとすると、少ない案件をふさわしい数に増やすことが元々の目的だったので、その前提が崩れたなら、そのことをどう成果物に生かすのかを考える必要がある。たとえば、日本の資金の活用において治山の案件はちゃんとあるが、外国資金の活用は少ないので、そこにもっと入れていくにはどうしたらいいかという形でまとめるなどして、成果物に生かすことを考えられたらいい。
- ・JICA のヒアリングでは、地域をすごく特化している感じがする。この地域の特化は、純粹に自然的な、たとえば地質や植生などで選んでいるのではなく、もっと政治的、政策的な観点からここを重点的にやるべきだという思想があると思う。だから、事業成果として、今後、どうやって治山事業を広めていくかについても、自然環境的なことだけに基づいてアプローチするのではなく、政策的にどう考えたらいいのかについてもあった方がいい。
- ・治山を理解してもらうために英語で治山を整理するのはいいが、それと合わせて、外国で使われている Land Use Management などの概念だけではなく、なぜ治山という概念を積極的に使っていく必要があるのかということもやったほうがいい。治山という言葉に拘らない方がいいというコメントも踏まえた上で、治山という言葉はどう打ち出していくのかも整理したらい

○森林総研(古市)

- ・まず、日本の資金として技術協力が 5 件、円借款が 8 件あり、日本の資金の中では決して少ない割合ではないということが JICA との面談であり、なるほどとわかったということである。一方、海外の資金を使って Eco-DRR として山地の防災をしていく可能性はまだまだあるので、案件が全面展開されているとは言えないということだ。
- ・JICA の地域特化はご指摘のとおりで、ここに記した **Conduct project finding thoroughly** とはそういう意味である。JICA は、バルカンでは主として技術協力を行い、インドでは円借款をやっている。そこに自然条件や治山技術のニーズがないわけではないが、政策的なところが非常に大きく、これは現実として仕方がない。しかし、それだけではなくて、前の案件があるとやりやすいからそこでやっているということもある。そこで、あらためて展開しようというときには、コンサルタントだけではなく、我々のような技術の人間が入って、公平に技術と知識をインプットすることが大事だ。
- ・私の治山の理解では、治山とは森林分野が担っている防災である。そして、森林分野が防災を担っている国は、それほどあるものではない。この点で、日本の治山は非常に特異である。このことは、これまで防災について手をつけてこなかった海外の森林セクターが防災もやるというときに、日本は気候変動や NbS でいろいろやってきたので協力していけるので、非常に意味と活路があると考えている。その一例がインドのウッタラカンドである。インドの森林セクターは防災をやってこなかったが、2013 年に大雨被害があったことから、JICA がアテンドして、防災に取り組んだという経緯がある。こういった国は、まだたくさんある可能性があることを踏まえると、治山というのは、まだまだ海外展開していけると思う。

○宮城座長

- ・治山を英語で言えば、私は **Watershed management** と言って推していくことに問題はないと思っていた。治山という言葉の厳密な定義や日本のヒストリーを踏まえた言葉にしなくてもいいと思う。言葉を新たに定義することよりも、すでにある言葉を上手く使い回すことを考えてもらいたい。また、説明でシナジー効果という言葉があったが、シナジーは逆に一般化しすぎている。私の場合、マングローブのグリーンインフラと、港湾や堤防などのグレーインフラのシナジー効果と言うよりも、ベストマッチングと言った方がみんなもピンときているみたいだ。

○森林総研(古市)

- ・今回、チーム内で話し合った結果、**Mountain slope management** ということにした。当初は

Mountain management にしたが、やはり、浸食防止が治山の目的なので Mountain slope management とした。林業白書の英語版では Forest management である。日本の治山は森林管理だが、海外では別に森でなくてもよい。Slope が適切に Management されるということが大事なので、海外での治山はこれがいいと思った。また、シナジーについてだが、環境省の石井氏は、Eco-DRR というのはシナジーを生むためのもので、どんどん連携していくことにこそ意味があると言う。また、あるコンサルタントも、治山や NbS は、どんどん効果を切り分けていき、それを合算するところにこそ意味があると言っている。そういうものだと思う。

○宮城座長

- ・そのとおりだが、シナジーは究極目標であって、そこに至るたくさんのステップがある。私は、いま、JICA の案件をやっており、マネージメントする立場からだと、Vulnerability と Resilience のバランスがどうなっているのか、またターゲットのインデックスは何かを考えていくと、斜面のパラメーターと Social のパラメーター、そしてインフラストラクチャーの三つでシナジーに繋がりがやすいようなシナリオができる。去年から比べたら圧倒的に進歩したと思うが、議論がぎくしゃくしている感じするので、もう少し頑張ってもらいたい。

○宮城座長

- ・「4-3 途上国の森林の防災・減災等の機能強化に資する技術等の開発」と「4-3 途上国の森林の防災・減災等の機能強化に資する技術等の開発 1)日本の森林整備・治山技術を効果的に現地のニーズに合わせて適用するための手法の開発」の説明をお願いします。

○森林総研(岡本)

- 【資料6「4-3 途上国の森林の防災・減災等の機能強化に資する技術等の開発」に基づいて説明】

○森林総研(岡本)

- 【資料7「4-3 途上国の森林の防災・減災等の機能強化に資する技術等の開発 1)日本の森林整備・治山技術を効果的に現地のニーズに合わせて適用するための手法の開発」に基づいて説明】

○宮城座長

- ・「4-3 途上国の森林の防災・減災等の機能強化に資する技術等の開発 2)リモートセンシ

グ技術を活用したリスクマップ作成」の説明をお願いする。

○森林総研(村上)

【資料8「4-3 途上国の森林の防災・減災等の機能強化に資する技術等の開発 2)リモートセンシング技術を活用したリスクマップ作成」に基づいて説明】

○宮城座長

・「4-3 途上国の森林の防災・減災等の機能強化に資する技術等の開発 3)海面上昇による高潮被害に対するマングローブ林の沿岸域防災・減災機能の評価」の説明をお願いする。

○森林総研(小野)

【資料9「4-3 途上国の森林の防災・減災等の機能強化に資する技術等の開発 3)海面上昇による高潮被害に対するマングローブ林の沿岸域防災・減災機能の評価」に基づいて説明】

○森林総研(平田)

・第2回委員会で、宮城座長から冬の北風についても注意するようにと指摘されたので、そのことを調べてみた。その結果、調査地では海岸線が北東から南西に伸びているため、マングローブの場所には、北や北西からの波は来ていなかった。

○長委員

・*Rhizophora* は形状から耐性があることは想定できたが、モクマオウが、それ以外の多くのマングローブ樹種とほぼ変わらない耐性があったことには意義がある。私共も、多くのところでマングローブと海岸林を並列で植えている。特にモクマオウは非常に容易に育つので、現地の人たちもすごくやる気が出る。そこに、モクマオウも Eco-DRR 的に十分に機能するという情報を入れることができれば、現地の人たちのモチベーションがますます湧くと思う。マングローブの手引きにも、こういうモクマオウの意義などにも触れていただけると幅が広がると思う。

○森林総研(小野)

・モクマオウは、*Rhizophora* 以外のマングローブと同等の根返り耐性を持っているという結果を示した。ただ、地盤の違いや調査地の違いがあるので、手放しでモクマオウは良いとはなかなか言いづらい。もちろん、私たちは研究者として、データをもってマングローブと同等であ

るということを公表していく。ただ、推奨するかどうかは、やはり、専門家と相談することが必要だ。

○森林総研(平田)

- ・ベトナムでモクマオウを植えているところでは、問題が起きている。波に強いかもしれないが、海面上昇で砂がえぐられて、けっこう倒れている。

○長委員

- ・私も海岸林の造林試験をフィリピンでやったが、樹種はとても重要である。モクマオウはオールマイティではないが、しっかりと根を張って、ある程度、エロージョンにも耐える他の樹種もあるので、複数樹種を植える工夫が必要だろう。

○宮城座長

- ・「4-4 事業成果・治山技術に関する情報発信」の説明をお願いします。

○森林総研(藤間)

【資料 11「4-4 事業成果・治山技術に関する情報発信」に基づいて説明】

○宮城座長

- ・技術者データベースに対して、こういう人を探しているといった問い合わせはあったか。

○森林総研(藤間)

- ・まだ、問い合わせはない。

○宮城座長

- ・データベースの人数が増えていけば、新しい展開に繋がるのだろうか。

○森林総研(藤間)

- ・森林を用いた防災・減災に対して興味を持つ方が増えると、問い合わせがあると思う。森林総研で行った JICA 関係等の研修では、森林による防災・減災、また森林による気候変動適応に関する講義の依頼が複数件あり、徐々に認知度とニーズが上がってきている。

○宮城座長

- ・森林の防災機能に関するぼんやりとしたイメージはあると思うが、科学的知見はここまではつきりしているということ具体的に見せていくことが、このプロジェクトで大きく問われる。

5.全体討議

○宮城座長

- ・リスクマップでは、こうやったら上手くいったなどを虚心坦懐に見せてもらい、とても大きな意味があった。さらに、たとえばベトナム北部の 14 省全体に *speculate* すると、どれくらいの予算が必要なのか、手間がかかるのか、また特に目視をどうやったらいいのかというアルゴリズムを加えると大きく変わると思う。それというのも、この間、数百人の人たちに、空中判読とは頭の中で見えているということであると、やっと理解してもらえたからだ。

○森林総研(村上)

- ・私も宮城座長も、空中写真の目視判読が当たり前になっているのだろう。いま、指摘されて、あらためて、どうやって目視判読を教えたらいいのだろうかと考えている。今回、自動検出はリスク評価には使いづらく、別の結果になってしまうおそれがある。しかし、多くの部分ではかなり当たっているので、まず一次フィルタリングとしてやってもらう。その上で目視判読を加えることで、より正しいものにしていけるだろうということまでは想定している。しかし、どうやって目視判読を教えるのかについて、まだ答えが出ていない。

○宮城座長

- ・ぜひ、お考えいただきたい。また、リスクマップでは、土地利用のレイヤー以外に、少なくとも道路のレイヤーが明示されているとよい。今回、それがなかった。

○森林総研(村上)

- ・実は、土地利用のレイヤーの他に、道路のレイヤーと河川のレイヤーを作ってある。今回は、説明が煩雑になりそうだったので省略した。

○宮城座長

- ・素人には、水系と道路のレイヤーがあった方がわかりやすい。

○森林総研(村上)

・わかった。

○田中委員

- ・海外の緑化では、急速緑化できるような種子がなかなか手に入らない。周辺から種子が飛んでこない所も結構あり、かなり悩ましいのでご留意いただきたい。
- ・日本の森林整備計画では傾斜区分と道からの距離とが大元になり、高機能の林業機械を入れるような状況を想定している。しかし、海外の場合、そのような道がない場合が多いので、これを持っていても、そのままでは難しいかもしれない。
- ・古市さんの治山案件の中で、NbS 型、斜面型防災型、流域型、インフラ保全型に分けているが、その保全対象は各々でどのように考えているのか。

○森林総研(岡本)

- ・種子の問題は、基本的には待ち受けにしかならないと思っている。現地に根ざした苗については、我々はそこまで手を出せず、まだ考えていなかった。また、森林計画の適用にあたっては気をつけたい。

○森林総研(古市)

- ・NbS 型などの 4 区分は、プロジェクト対象地域の傾斜と空間スケールに基づいている。その結果、対象とする地形プロセスにも特徴が生まれる。NbS 型は斜面崩壊を想定していないことが特徴である。逆に斜面型防災型は主として斜面崩壊を対象としている。流域型は治山・砂防・河川のベストマッチで侵食プロセス、流出土砂、洪水という様々な災害リスクを軽減する。保全対象はプロジェクト対象地域毎に様々な状況で決まっていくものであり、4 つの区分で予めその対象を特定していくということは馴染まない。但し、インフラ保全型は法面の緑化によるインフラの保護なので最も保全対象と直結しているといえる。

○田中委員

- ・保全対象からの距離という概念はあるのだろうか。

○森林総研(古市)

- ・保全対象は町の近くでやるのか、山奥でやるのかなどでそれぞれ異なる。プロジェクト毎に保

全対象が特定されて、どこに、どういう施設を入れればよいのかが計画されていく。今の4つの分類は、その少し前段での区分である。

○水野委員

- ・資料6の5ページに「出口を見据えた課題遂行の流れ」をまとめている。まず、「リスクマップ」と「土地利用」と「治山工法」があり、「海外展開の可能性と課題」を提示して、「民間企業等が海外展開できる体制を整備」となっている。いずれにしても、個別のケースを元にして、普及のための一般化を考えていると思う。資料6の6ページでは、リスクマップについて、「マップの課題や解決策を抽出・整理し、体系化する。」と一般化を目指す意図が明示されている。しかし、7ページでは、土地利用計画について、「土地利用計画を作成する。」で終わってしまっている。ここは、土地利用計画を作成した後に、リスクマップと同じように、「担当部局や住民との対話により」土地利用計画の作成上の課題や解決策を抽出評価、整理をして、一般的なものに繋げるというプロセスが必要なのではないか。
- ・資料6の5ページにあるアウトプットの3つの関係がよくわからなかった。リスクマップや土地利用計画は将来の話である。しかし、資料7では、治山技術について、6ページから始めて10ページの治山施設の調査に繋げている。この流れでは、10ページで「復旧のための」と書いてあるとおり、すでに土地が改変されている所を復旧するために治山技術を入れると読めて、過去の問題の回復になっている。これでは、将来に向けて土地利用計画を作った後にどういう治山技術が入ってくるのかが見えない。過去の反省と将来の対応について整理をする必要がある。
- ・資料7の10ページで、コストや調達材料の容易さで「山腹緑加工」がよいと示しているが、この治山技術によって災害を抑える効果があるということが一番基礎にないとおかしい。やはり、効果があることが評価の視点に入らないとおかしい。また、現地の方は知らないものの説明を受けただけでニーズをと言われてもどういうものかわからないので、効果を考える必要はある。

○宮城座長

- ・「土地利用計画」の下に(森林管理)と書いてあるが、リスクマネジメントがあり、治山対策があり、その間に森林管理があるということで、この(森林管理)を上にしたらどうか。

○森林総研(岡本)

- ・土地利用計画に関して、現地の方との対話が必要だという水野委員のご指摘はおっしゃると

おりで、資料 7 の 11 ページで「作成した計画は、現地の将来計画と相反しないかなど、住民や行政機関に聞き取りながら改善を進める。」とある。

○水野委員

- ・今の話は一般に展開するための材料としての一つの例であって、たまたま、住民との対話と申し上げたが、それ以外の事柄も含めて、計画を一般化するにはどうしたらよいかを考える必要があるということだ。ある経験で得られたことから、他の地域でやる時にはこういうことに留意すべきといったことをまとめていくことが重要だということである。

○森林総研(岡本)

- ・たとえばプロトタイプの地図を作り、それを見せて、現地にどういう具体的なニーズがあるのか、どこを重視したらよいのかも考えながらブラッシュアップしていく。

○宮城座長

- ・今の話は、大事なところだと思う。私の経験から、相手の理解力、興味の方向や経験値を知っていないといけない。古市さんの説明で、モン族は災害リスクが高いとあったが、ムーカンチャイの平地にはタイ族が住んでいるので、モン族は仕方なく高いところに住んでいる。そういう観点を持っていると、モン族にはどういうことを聞いたらいいのかが自ずとわかってくる。また、彼らは地図を見たことがなく、等高線は誰も読めないし、これは何ですかと言ってくる。是非、相手がピンと来るような地図を作って、相手に、ここがわからないということ言わせて欲しい。

○森林総研(岡本)

- ・資料 6 の 5 ページの「出口を見据えた課題遂行の流れ」にある 3 つの関係についてであるが、基本的な治山の考え方として、予防治山と復旧治山があり、それぞれで治山事業の対応が必要となる。新しい崩壊が発生しないようにすることが重要で、予防治山としての土地利用計画は非常に重要になる。一方、現地には、すでに荒廃した土地が存在しており、その土地利用を云々する前に、まず森林に戻すための何らかの仕掛けをしなければいけない。これが復旧治山に当たる。そして、森林が回復することを助け、森林が戻ってくれば、次に予防治山としての土地利用にもっていく。説明が不足していたが、そういう意味を踏まえて、5 ページの「土地利用計画(森林管理)」と「治山工法」の間に線を引くイメージを持っていただきたい。

- ・コストに言及した提言についてはご指摘のとおりであり、現地で効果があるかどうかを確かめる必要があることは十分に理解している。ただ、実際に現地である工法を実施して効果を強化することは、このプロジェクトの中では難しいので、事前調査として位置づけていることをご理解いただきたい。
- ・宮城座長のご指摘があった「土地利用計画」の下に(森林管理)となっている箇所は、なかなか悩ましい。林野庁としては、森林管理とは単なる土地利用だけではなく、そこにどのような樹種を植えるのかまでを組み込まなければならない。そこで、あえて「土地利用計画」という言葉にした。

○野田委員

- ・JICA は治山というよりも自然環境保全という分野で案件を実施している。そのときに、一番大変なことは、自然環境保全分野のプライオリティを各国政府で上げてもらうことである。ここに挙げられているインドやネパールは、長年の協力を通じて日本の協力の価値と質を認めている国であり、そういう国々では協力ができている。一方、北マケドニアやコソボでは、2018年の西バルカン協力イニシアティブという政府間合意に基づいて政策的に行われている。いろいろな理由があるが、その国でプライオリティを上げてもらうことがとても大事である。そこで、こういった視点を持って JICA を活用していただき、案件を考えていただけるといい。
- ・治山分野を解説する英語資料がないという話があったが、インドのウッタラカンドのプロジェクトでは、英語と日本語、そして現地語のマंगाで治山の解説をしている。これは、治山などにあまり詳しくなくてもこのプロジェクトをサポートしてくれる方々に説明する資料として作った。マンガ以外に、動画を作ることもある。さらに、本邦研修は格好の機会であり、研修員が日本で実際の現場を見て、彼ら自身がレポートにまとめている。それは、各自の国に帰ると説明資料にもなっている。こういったものも活用していただけるとよい。
- ・JICA も、ますますマングローブの取り組みを強化していこうと考えている。資料 6 の 9 ページで「本事業の最終目標」に「日本の NPO 等が」と書いてあるが、是非、民間企業も意識していただきたい。民間企業の方々の中には、間違いなくマングローブに関心があり、私たちにも相談に来られている。10 ページの「目指す成果の内容」にある「日本の事業者が」でも民間企業の方々を意識していただきたい。さらに、手引き書の目次にある「多面的機能」は防災・減災が主眼だろうが、企業は気候変動対策や適応策にも関心があるので、ここで簡単な紹介があるとありがたい。
- ・資料 7 の 9 ページにある「聞き取り結果の一例」に「森林の防災機能に対する住民の期待が高い。」とあり、次の 10 ページでは「現地行政組織は治山施設に対して関心が低い。」とあ

る。このギャップは我々がよく感じていることで、住民はすごく期待するが、行政機関がよくわかっておらず、案件として上がってこないという問題につながっている。このギャップを埋めることが大事で、たとえば西バルカン諸国では、森林や自然環境を担当する機関ではなく、市民を災害から守る役割を持つ機関がカウンターパートであることで、このギャップが埋まっている。今度、ベトナムで開催されるセミナーに、MARD 中の防災総局である Vietnam natural Disaster management Department が載っており、この機関は鍵になるので、ここのコネクションを強くしておくといだろう。

○森林総研(平田)

- ・我々は、マングローブの多様性の適応とシナジーの効果を考えている。また、先日のセミナーで、防災・減災だけで資金を投入することは非常に難しく、他のことと合わせたらどうだろうかというご意見もあったことから、多様性維持によって地域住民の生計向上等のいろいろなところで役に立つということを示し、資金を投入しやすくすることを考えている。

○宮城座長

- ・マングローブのエコシステムは世界中のどこにでもある。だから、きちんとしたフィールドで、きちんとしたマニュアルを作ったら、それはグローバルな可能性を持つことになる。それをイギリスやアメリカなどが主導してやっているが、そのデータの乏しさには驚くものがある。過去 20 年間に世界のマングローブ分布図は、最大から最小までに 4 割もの数字の違いがある。そこで、グローバルスタンダードを目指すことを日本で考え、きちんと成果を出せばグローバルリティを持つので、このプロジェクトでもスワントウイをきちんと位置づけて報告してもらいたい。

○森林総研(古市)

- ・JICA が自然環境保全という枠組みで行っていることは、すごく共感するところだ。オーストラリアでは土砂流出は牧草地の管理が課題になるが、実は治山の技術が使える。そこが森林ではないから治山が入っていかないというのは、不要な議論だと思う。自然環境保全として行うことは、海外で展開するときの大事な視点だろう。
- ・英語資料について、ウッタラカンドのものはすでに使わせていただいている。また、研修レポートが英語の教材になるということは盲点であり、これから注意していきたい。JICA のマケドニアのプロジェクトでガイドラインを作られたが、それは大事なレファレンスである。しかし、それが共有されるためには、フォーカルポイントがあるといいのかもしれない。我々も、そういったことができないかを考えたい。

○長委員

- ・資料 5 で案件形成基礎調査をしているが、治山技術を盛り込んだ事業はもっとたくさんあるのかもしれない。大災害後の復興支援として、山や沿岸に治山技術がたくさん入っている。我々にも、そういうときにニーズが来る。そこで、JICA の治山ハンドブックにも、そういうところにも治山技術を入れられることを載せてもらったら、もっと日本の技術が生きるのかもしれない。

○森林総研(藤間)

- ・ご指摘のように、大災害時には植林がいろいろなところに入っている。マングローブでも、インド洋の津波の後に防災機能が注目された。そういうことを、どうやってみなさんに伝えていくのか。その一つとして、JICA の集団研修が非常に大きな機会になる。いろいろな研修があり、現場の技術者や政策レベルの人も来るので、森林総研以外の成果も使って、相互に協力し合えばいいのかもしれない。また、それを日本で広く伝えるには、新しいガイドラインができたタイミングで、JICA と森林総研が共同で行っている「森から世界を変えるプラットフォーム」で防災・減災に関するセミナーを行えばいいだろう。

○森林総研(古市)

- ・案件がもっとあるのではないかというご指摘は、我々も感じていることである。しかし、データからそれらを拾いあげることは、とても難しい。検索キーワードに治山がなければ、引っかかってこない。そうすると、一つ一つの案件のアブストラクトやディテールを読み込んでいかないといけない。それを世銀や ADD、JICA で全部やることは本当に難しく、マンパワー的にできないのであきらめた。今回は検索用語で引っかかるものだけをピックアップし、また JICA から紹介してもらった案件を載せている。ただ、ご指摘のとおり、森林が持つ多面的な機能の一つとして防災・減災があり、そういった視点で人知れずにやっているプロジェクトがたくさんあるだろう。それを意識的に入れていく方向にしたいということが、プロジェクトの意図なのかもしれない。

○宮城座長

- ・討議を終える。

6.その他

○林野庁(岩間課長補佐)

- ・ご議論にあったように、治山の案件は、実はそれほど少なくはない。また、長年、JICA が取り組みを行ってきた地域では治山への理解が進み、要望が上がってきて案件が形成されているということで、JICA が果たしている役割が非常に大きいと感じている。この事業の目的は日本の事業者が海外に進出していくことだが、その先にはオールジャパンで気候変動に貢献していき、なおかつ、経済的なメリットも取るということがある。そのためには、実行面での JICA の協力が欠かせないということを今回の議論でも感じたし、我々も、常々、JICA との協力関係と意見交換をやっていかなければいけないと考えている。また、この事業でやったことを民間事業者の海外展開を支援していくために一般化し、民間事業者が使える形に残すことについては、また相談しながら検討していきたい。本日は、長時間の議論に感謝する。

○森林総研(高畑)

- ・本日の議論に感謝する。

<閉会>

以上

令和5年度の主な年間行事

開催日	行事名	開催場所
4月25日	農林水産大臣より交付決定通知	
7月13日	第1回事業運営委員会	TKP 新橋汐留ビジネスセンター
9月4日 ～9月21日	ベトナム現地調査（山岳地域）	ベトナム
9月17日 ～9月30日	ベトナム現地調査（マングローブ）	ベトナム
9月24日 ～10月7日	ベトナム現地調査（山岳地域、社会調査）	ベトナム
10月12日	第2回事業運営委員会	TKP 新橋汐留ビジネスセンター
11月8日 ～11月9日	技術者研修	ビジョンセンター 永田町
12月5日	COP28 の Japan Pavillion セミナー「持続可能な森林経営を通じた気候変動の緩和策及び適応策の促進」	ドバイ
1月12日	途上国における森林防災案件の形成に係る意見交換会	日比谷国際コンファレンススクエア
1月31日	国際セミナー 「森林による防災・減災技術の国際展開」	TKP ガーデンシティ PREMIUM 神保町
2月21日	第3回事業運営委員会	TKP 銀座ビジネスセンター
2月24日 ～3月9日	ベトナム現地調査（3月7日にワークショップ開催）	ベトナム
3月31日	事業完了日	

令和5年度国内出張

出張期間	出張先	出張者	出張目的
5月9日 ～5月10日	北海道勇払郡厚真町、北海道支所	古市剛久、村上亘	災害跡地における土砂流出状況調査
5月21日 ～5月26日	幕張メッセ（千葉県千葉市）	古市剛久	日本地球惑星科学連合での情報収集
6月8日 ～6月9日	北海道勇払郡厚真町、北海道支所	古市剛久	災害跡地における土砂流出状況調査
6月30日	林野庁（千代田区）	高畑啓一	事業の進め方に関する打ち合わせ
6月30日 ～7月8日	西表島マングローブ林（沖縄県八重山郡竹富町）	小野賢二	マングローブの根張り耐性に関する調査
7月8日 ～7月10日	北海道勇払郡厚真町、札幌市	古市剛久	災害跡地における土砂流出状況調査
7月13日	TKP 新橋汐留ビジネスセンター（東京都港区）	古市剛久、藤間剛、平田泰雅、道中哲也、小野賢二、小池信哉、高畑啓一、村上亘、所雅彦、江原誠、岡本隆	第1回事業運営委員会
8月10日	アジア航測（神奈川県川崎市）	古市剛久	途上国における治山案件の形成に係る打ち合わせ
8月24日 ～8月26日	北海道勇払郡厚真町、札幌市	古市剛久	災害跡地における土砂流出状況調査
9月19日 ～9月22日	高山市民文化会館（岐阜県高山市）	渡壁卓磨、村上亘	日本地すべり学会における成果報告
9月25日	ビジョンセンター永田町（千代田区）	高畑啓一	技術者研修の事前検討
9月28日	TKP ガーデンシティ PREMIUM 神保町（千代田区）及びTKP 市ヶ谷カンファレンスセンター（新宿区）	藤間剛	国際セミナーの事前打ち合わせ
10月4日 ～10月7日	あきた芸術劇場ミルハス（秋田県秋田市）、青葉の森緑地（宮城県仙台市）	古市剛久	日本応用地質学会での情報収集
10月12日	TKP 新橋汐留ビジネスセンター（港区）	高畑啓一、小池信哉、藤間剛、村上亘、古市剛久、平田泰雅、岡本隆、所雅彦、小野賢二	第2回事業運営委員会
10月17日	林野庁、JICA 本部	古市剛久	途上国における森林防災案件の形成に係るヒアリング
10月19日	日本大学生物資源科学部（神奈川県藤沢市）	岡本隆	国際セミナーの基調講演予定者との打ち合わせ
10月25日	新御成門ビル（東京都港区）	古市剛久	途上国における森林防災案件の形成に係るヒアリング

出張期間	出張先	出張者	出張目的
10月26日	日本工営（千代田区）	古市剛久	途上国における森林防災案件の形成に係るヒアリング
11月8日	ビジョンセンター永田町（千代田区）	岡本隆、鈴木秀典、高畑啓一、江原誠	技術者研修
11月9日	ビジョンセンター永田町（千代田区）	村上亘、古市剛久	技術者研修
11月10日	環境省（千代田区）	古市剛久	途上国における森林防災案件の形成に係るヒアリング
11月29日	国際航業株式会社（東京都新宿区）	古市剛久	途上国における森林防災案件の形成に係るヒアリング
12月2日 ～12月10日	アラブ首長国連邦	平田泰雅、岡本隆	COP28
12月19日	日比谷国際ビルコンファレンススクエア	古市剛久	途上国における森林防災案件の形成に係る意見交換会の事前打ち合わせ
12月21日	外務省（千代田区）	古市剛久	途上国における森林防災案件の形成に係るヒアリング
12月27日	林野庁（千代田区）	高畑啓一	事業実施要綱に基づく遂行状況の報告に係る打ち合わせ
1月10日 ～1月12日	森林総合研究所（茨城県つくば市）	小野賢二	マングローブ調査に関する打ち合わせ
1月11日	財務省（千代田区）	古市剛久	途上国における森林防災案件の形成に係るヒアリング
1月12日	日比谷国際ビルコンファレンススクエア	高畑啓一、平田泰雅、藤間剛、古市剛久	途上国における森林防災案件の形成に係る意見交換会
1月22日 ～1月26日	沖縄県西表島マングローブ林（沖縄県八重山郡竹富町）	野口宏典、高畑啓一、平田泰雅、小野賢二	マングローブの根張り耐性に関する調査
1月23日	東京大学伊藤謝恩ホール（東京都文京区）	藤間剛	世界銀行主催イベントでの情報収集
1月30日	TKP ガーデンシティ PREMIUM 神保町（千代田区）	古市剛久、藤間剛、平田泰雅、岡本隆	国際セミナーの登壇予定者の打ち合わせ
1月31日	TKP ガーデンシティ PREMIUM 神保町（千代田区）	古市剛久、藤間剛、小池信哉、江原誠、道中哲也、高畑啓一、浅野透、山口智、宗岡寛子、鈴木秀典、村上亘、大澤光、佐藤大樹、平田泰雅	国際セミナー
1月30日 ～2月1日	TKP ガーデンシティ PREMIUM 神保町（千代田区）	小野賢二	国際セミナー出席及びマングローブ調査の打ち合わせ
2月1日 ～2月2日	宮城教育大学・東北大学	古市剛久	治山工法のタイプ別の海外展開促進に係る打ち合わせ
2月5日 ～2月6日	森林総合研究所（茨城県つくば市）	小野賢二	マングローブ調査に関する打ち合わせ
2月15日 ～2月17日	北海道勇払郡厚真町、札幌市	古市剛久	災害跡地における土砂流出状況調査

出張期間	出張先	出張者	出張目的
2 月 21 日	TKP 銀座ビジネスセンター（東京都中央区）	岡本隆、村上亘、小野賢二、平田泰雅、佐藤大樹、高畑啓一、古市剛久、藤間剛、小野賢二、小池信哉	第 3 回事業運営委員会
3 月 10 日	東京都世田谷区（日本森林学会大会参加）	岡本隆	日本森林学会における成果報告
3 月 15 日 ～3 月 18 日	札幌医科大学（北海道札幌市）	道中哲也	FORMATH における成果報告
3 月 24 日 ～3 月 26 日	北海道勇払郡厚真町	高畑啓一、古市剛久	災害跡地における土砂流出状況調査

令和 5 年度海外出張ベトナム現地調査

日程: 2023 年 9 月 4 日～9 月 17 日 (14 日間)

調査対象地: 北西部山間地イエンバイ省ムーカンチャイ

出張者名	用務
岡本隆	ベトナムにおける治山施設の種類や整備状況の調査。中山間地域の治山施設（溪間工、山腹基礎工、地すべり防止工等）の規模や材料、及び実際の使用状況を詳しく調査し、日本の治山施設がどのように現地へ適用できるかを明らかにする。
古市剛久	ベトナム森林科学アカデミー（ハノイ市）においてカウンターパートとの協議を行う。さらに、イエンバイ省ムーカンチャイ県で、カウンターパート関係者及び同行者と協力して斜面崩壊や土砂流出の実態把握と対策検討に必要なデータ収集を継続する。また、ベトナム森林科学アカデミーにて土砂試料の分析を行う。
宗岡寛子	ベトナムにおける山岳地道路の斜面地形計測に関する調査。山岳地道路の斜面地形を調査し、地表を流れる雨水の解析を行い、斜面の崩壊リスクを明らかにする。
黒川潮	ベトナムにおける森林による山地災害軽減機能の調査。山地斜面における森林の状況を詳しく調査し、表層崩壊や表面侵食に対する森林の防止機能の解明を試みる。
鈴木秀典	ベトナムにおける山岳地道路の排水施設・構造物に関する調査。山岳地道路の排水施設に関する調査を行い、道路からの排水状況および道路排水に起因する土砂流出状況を明らかにする。
渡壁卓磨	山地斜面における土砂流出源に関する調査。中山間地域の山地斜面からの土砂流出に関する調査をし、どのような土地利用・地質・地形の条件の場所が顕著な土砂流出源になっているのかを特定する。
大澤光	ベトナムにおける林地及び林地外の地表面浸透能や崩壊地の地質構造の調査。流域内の土地利用形態と土砂流出の影響を明らかにするため、林地内外などの各土地利用形態における地表面の浸透能を測定する。加えて、流域内に複数の地質が存在するため、岩石種と地層の走向・傾斜を調査する。

日程:2023 年 9 月 17 日～9 月 30 日(14 日間)

調査対象地:北部海岸域ナムディン省スワントゥイ国立公園

出張者名	用務
平田泰雅	スアントゥイ国立公園内のマングローブ植林地に設置した 13 カ所の毎木調査プロットにおいてドローンによる空中撮影を実施する。
江原誠	スアントゥイ国立公園周辺住民への社会科学的意識調査。住民のマングローブ防災・減災機能についての意識や経済状況の聞き取り等を実施する。
森大喜	マングローブ植林地の現地調査と施肥試験の実施。マングローブの毎木調査による立地環境、葉面施肥試験による栄養状態と成長速度および防災機能との関係性を評価する基礎情報を取得する。
小野賢二	スアントゥイ国立公園内のマングローブ植林地における立地・潮汐環境調査と引き倒し試験の実施。マングローブ防災機能と立地環境、群落特性の関係評価のための基礎情報を取得し、樹種、群落別にマングローブの倒伏耐性評価のための手法的な課題を抽出、安全且つ確実な評価手法を明らかにする。
野口宏典	スアントゥイ国立公園内のマングローブ植林地における立地・潮汐環境調査と引き倒し試験の実施。樹木の挙動解析のための動画撮影により、マングローブ防災機能と立地環境の関係評価のための基礎情報を取得し、マングローブの倒伏耐性評価のための手法的な課題を抽出、安全且つ確実な評価手法を明らかにする。
倉本恵生	スアントゥイ国立公園内のマングローブ植林地におけるマングローブの植栽・生育状況の把握。これまでの植林事業地における成績不良地/良好地の判別を行うデータを収集し、マングローブ植林に適した生態学および社会科学的条件の検討に資する。

日程:2024 年 2 月 24 日～3 月 7 日(13 日間)

調査対象地:北西部山間地イエンバイ省ムーカンチャイ及び北部海岸域ナムディン省ス
ントゥイ国立公園

出張者名	用務
村上亘	イエンバイ省ムーカンチャイ試験地で、今年度発生した災害に関する調査を行う。作成したリスクマップの検証を行い、リスクマップの改善および利用する際の留意点を取りまとめる。カウンターパートとの協議、およびワークショップで成果を発表する。
平田泰雅	カウンターパートと研究打ち合わせを行う。マングローブ植林地において、マングローブ林の沿岸域防災・減災機能を広域評価するためのグランドトゥールズ調査を行う。イエンバイ省ムーカンチャイ県の現地調査の進捗状況を確認し、概況調査を行う。プロジェクト成果の普及のためのセミナーを開催する。
小野賢二	カウンターパートと研究打ち合わせを行う。ナムディン省スアントゥイ国立公園内のマングローブ植林地で調査プロットの設営と毎木センサスを実施し、マングローブによる沿岸域高潮災害の軽減機能の評価に資するマングローブバイオマスの推定に活用する基礎情報を得る。
倉本恵生	カウンターパートと研究打ち合わせを行う。ナムディン省スアントゥイ国立公園内に調査プロットを設営し、主要植栽樹種の現立本数やサイズの計測調査を実施し、植林事業地の防災機能評価の基盤となる主要植栽樹種の成長ポテンシャルの推定に要するデータを取得する。
野口宏典	カウンターパートと研究打ち合わせを行う。ナムディン省スアントゥイ国立公園内に調査プロットを設営し、主要植栽樹種の現立本数やサイズの計測調査を実施する。マングローブ分布北限域におけるマングローブのバイオマスを明らかにする。
道中哲也	ベトナム森林科学アカデミー西北支所においてカウンターパートと世帯調査の結果について議論を行う。ソンラ省モンゾンコミュニティにおいて、住民ニーズに合わせた森林伐採、利用、管理について現地調査を行う。
玉井幸治	イエンバイ省ムーカンチャイ県で、斜面崩壊や土砂流出の実態を把握する研究現場を視察する。ベトナム森林科学アカデミーと、プロジェクト成果の普及のための国際ワークショップを開催する。
岡本隆	ベトナム・ハノイで開催される国際ワークショップで本事業の研究成果について話題提供を行い、海外研究者と議論する。
古市剛久	カウンターパートと協議し、イエンバイ省ムーカンチャイ県で、土砂流出や斜面崩壊の実態把握と対策検討に必要なデータを収集する。2023 年 8 月に試験流域近傍で発生した表層崩壊の現地踏査を行う。現地諸機関との意見交換を行うセミナーにおいて発表を行う。

編 集

〒305-8687 茨城県つくば市松の里 1
国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所内
REDD プラス・海外森林防災研究開発センター

