

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 気候変動や土地改変に伴う山地災害、高潮被害等の世界的な激甚化

1950年頃以降、台風、ハリケーン、サイクロンを含む低気圧の異常な発達等に伴って、山岳地域の山地災害及び沿岸域の高潮災害の災害外力（ハザード）となる豪雨の強度増加や頻度上昇、潮位の異常上昇などの多くの極端現象が地球規模で観測されている。IPCCのRCPシナリオによる将来予測では、これらの極端現象は今後も21世紀にわたってより強く、また頻繁となると指摘されており、今後世界的な災害の激甚化が危惧されている。こうした気候変動に伴う極端現象は先進国のみならず開発途上国においても影響を受け、特に雨季に大雨が降る低緯度のアジア地域の開発途上国では、豪雨の強度や頻度が高まることが懸念されている。

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の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は、高い消波効果を発揮するだけでなく、マングローブの根系が護岸の役割を果たして海岸侵食を軽減することから、これ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。

4.1.2 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(いわゆるコモンズの悲劇)。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。

4.1.3 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・減災機能进行评估するとともに、マングローブ林保全に関する技術的指針を提示する(図 4-1-3-1)。



図 4-1-3-1 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. 4 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多いことから、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。

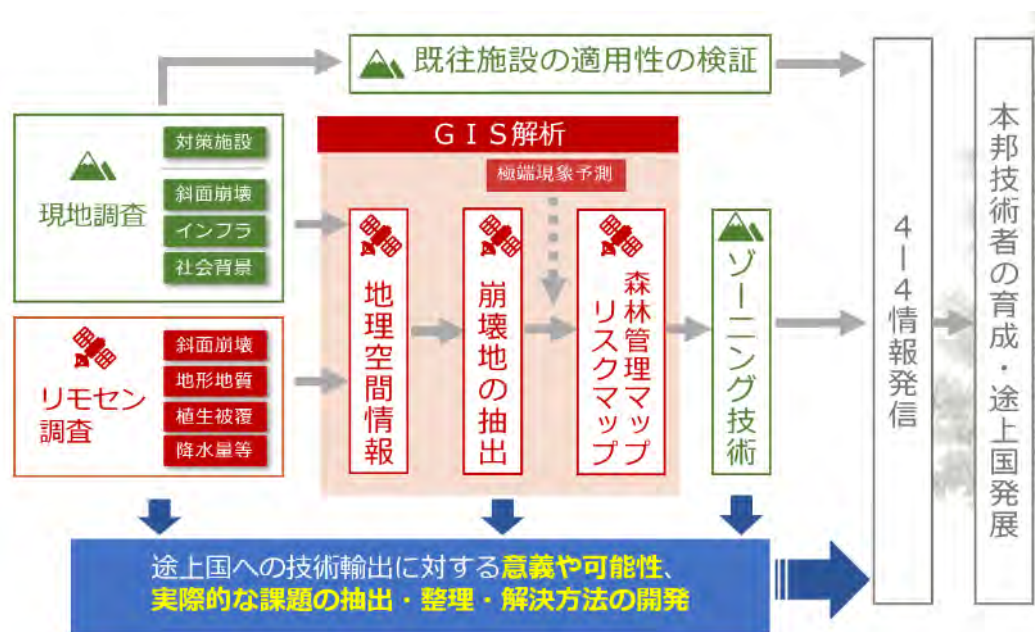


図 4-2-1-1 課題 4.2 及び 4.3 の調査開発フロー

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土砂流量観測

大陸部東南アジアの山地では斜面や溪流の侵食によって上流域から流出した土砂が下流域での災害リスクや環境リスクを高めるといった負のインパクトを与えていることが指摘されている。ベトナム北西部の山地もその例外ではない(図 4-2-2-1)。ベトナム北西部の主要部を成すダー川流域においても、流出土砂が河床に堆積して河床高度を上げることで洪水氾濫リスクを高めている、流出土砂がホアビン・ダム(Hoa Binh Dam)のダム湖を予想以上の早さで埋積し貯水能力を低下させ遂にはダム寿命を短縮する、といった問題が指摘されている。しかし上流域における侵食の実態調査は、土地利用の違いによる侵食量の違いを 10^{2-3} m^2 スケールの調査プロットで計測する、あるいは 10^{3-4} km^2 スケールの流域(ダム等)での既往観測データを分析するものが殆どであり、前者では特定の場所での特定の土地利用における表面侵食プロセスの特徴は理解されるものの災害や環境に有意な影響を及ぼす流域スケールでの侵食プロセスの検討が難しいこと、その対極として後者では複数のプロセスや流出源が広範囲で入り混じり侵食プロセスや流出源を地域ごとに特定することが難しいことなどが課題として挙げられている。本調査では、災害や環境に影響を及ぼす流域スケールで侵食プロセスと流出源を特定し、ベトナム北西部山地での土砂流出実態を明らかにすることを目的に、調査対象流域を設定して現地に土砂流出観測機器を新たに設置し、また調査対象流域内での土砂流出状況に関する

現地踏査を行った。

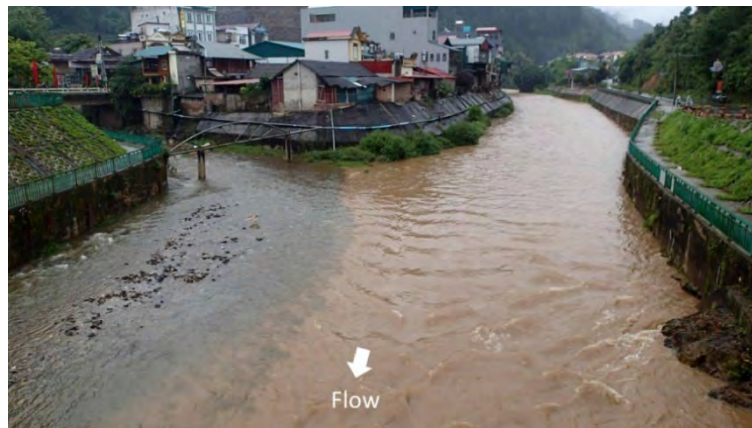


図 4-2-2-1 ムーカンチャイ市街のキム川本流(濁水)と支流(清水)の合流点. 土砂流出源は支流の流域ではなく、濁度の高い本流の流域にあることが分かる

(1) 調査対象地域

調査対象としたのはイエンバイ省ムーカンチャイ郡(Mu Cang Chai District、Yen Bai Province)のキム川(Nam Kim)流域である(図 4-2-2-2-A)。同流域はダー河の支流域であり、面積約 200km²、標高約 970m～約 2000m に立地し(図 4-2-2-2-B)、平均年降水量は 1730mm(1991-2020 年)である。地表地質は流紋岩及び流紋岩質凝灰岩が卓越し、頁岩がしばしば挟まれる(図 4-2-2-2-C)。キム川下流部から中流部まで谷に沿って急斜面が両岸に連続し(低位急傾斜部)、急斜面の上位には旧地形面と考えられる厚い風化層(場所によって赤色を呈する土壌)が分布する尾根状の緩斜面が見られ(緩傾斜部)、その更に上位に傾斜 30～40 度の急斜面が続く(高位急傾斜部)(図 4-2-2-2-D)。上流部は比高が小さくなり、斜面傾斜も概して緩くなる。地形にはこうした斜面形配置や線構造などのパターンが認められ、かつての地殻変動が関わる地質構造にも影響された地形発達が示唆される。斜面崩壊も多数発生しており、高位急傾斜部には 2017 年の大雨時に群発したと見られる表層崩壊、低位急傾斜部には 2010 年に発生しその後拡大を続けている地すべりが見られる。流域の山地斜面には古くからモン族が暮らし、低位急傾斜部及び緩傾斜部に棚田(灌漑により灌水)及び段々畑／棚畑を作り、水稻、キャッサバ、トウモロコシなどを栽培してきた。一方、流域の谷部にはタイ族が古くから暮らし、谷底の平坦面で水稻などを栽培してきた。主として緩傾斜部及び高位急傾斜部に分布する森林には薪炭材確保や農地転換のために住民が様々な強度で伐採した(時には劣化した)森林が見られる。

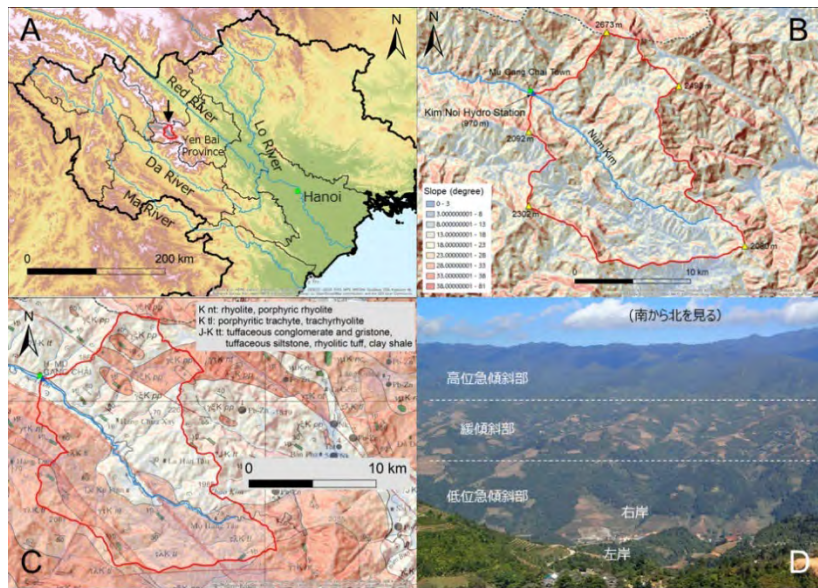


図 4-2-2-2 キム川流域の概要. A: 流域の位置(ベトナム北部の地形図). B: 流域の地形(起伏陰影図と傾斜図の重ね合わせ図). C: 流域の地質(1/200,000 地質図). D: 斜面傾斜による地形区分

(2) 土砂流出観測機材の設置

キム川流域にはキムノイ(Kim Noi) 気象水文観測所が自然資源環境省 (Ministry of Natural Resources and Environment: MONRE) によって設置され観測が行われている。2022 年 9 月現地調査において観測所敷地内に河川水位を連続観測する水位計(センシズ製レベルメモリーMW)、濁度計(JFE アドバンテック製 Infinity-Turbi; 中濃度濁度センサー(ホルマジン基準:0~1,000 FTU)、高濃度濁度センサー(カオリン基準:0~100,000 ppm)及び水温計を備える)、インターバルカメラ(Brinno 製 TLC200Pro)を設置した(図 4-2-2-3、図 4-2-2-4)。しかし、2022 年 12 月現地調査時にキムノイ観測所長からインターバルカメラが紛失したことが報告され、代替場所を検討・交渉し、2023 年 2 月現地調査時にキム川右岸の宿泊施設に再設置した(図 4-2-2-5)。



図 4-2-2-3 2022 年 9 月に設置した観測機材の位置(インターバルカメラはその後移設)



図 4-2-2-4 水位計及び濁度計設置工事(2022 年 9 月)



図 4-2-2-5 インターバルカメラの再設置工事(2023 年 2 月)

(3) 土砂流出観測・計測状況

3.1) 土砂流出の観測

2023 年 2 月の現地調査時に観測開始以来のデータを回収し、2022 年 9 月 13 日から 2023 年 2 月 14 日までの水位・濁度・水温データが得られた。このうち水位データには 2022

年雨季末期における数回の出水イベントが記録され(9月28日に最大水位イベント)、その後は乾季の低水位期に入ったことが分かる(図4-2-2-6)。10月15日以降の低水位期には周期的な日変動が記録されている(後述)。濁度データでは、最高水位を記録した9月28日のイベントでは約25000度(カオリン)、10月1日の高水位イベントにおいても25000度(カオリン)を超える顕著な高濁度が記録されている。9月28日イベントに比べ水位がより低かった10月1日イベントにおいて9月28日イベントより濁度が高かったことは侵食プロセスや土砂流出源が両イベントで異なっていたことを示唆しており、今後の分析で注目していく予定である。

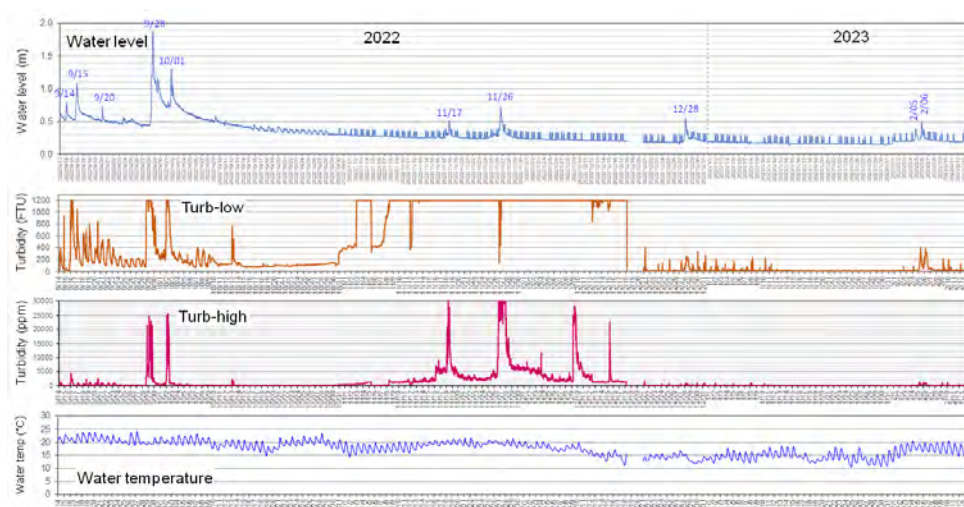


図4-2-2-6 水位、濁度、水温の観測データ(2022年9月13日～2023年2月14日)。10月30日から12月18日まで測器落下のため濁度データは無効(欠損)。

3.2) 浮遊砂濃度の分析

濁度計で計測した濁度を浮遊砂量に換算するため、2022年9月調査時にVAFS及びキムノイ気象水文観測所に対して浮遊砂濃度分析に用いる採水試料の収集を依頼した。採水された試料は2022年12月の現地調査及び2023年2月の現地調査時に観測所から受け取り、ハノイへ持ち帰り、ハノイ滞在期間中にVAFS実験室にて分析した(図4-2-2-7)。分析に必要な資機材(濾過器、フィルター、吸引ポンプ等)は日本から持参した。濁度－浮遊砂量換算に十分なデータを得るためには2023年雨季の出水イベントでも採水を継続して分析する必要があり、そのためのVAFS及び観測所と入念な打合せを2023年2月調査時に行った。



図 4-2-2-7 観測所で収集した採水試料(左)と VAFS 実験室での浮遊砂濃度測定状況(右)

(4) 流域内土砂流出プロセス・流出源に関する現地踏査、現地計測、試料採集

4. 1) 現地踏査

2022 年 9 月、12 月、2023 年 2 月の現地調査で流域内の踏査を行い、地形、地質、土砂流出の概況を把握した。急斜面に村々が立地するためアクセス(道路)は限られているものの、キム川主谷両側の主要な地域(村;commune)での概査はほぼ終わることができた(図 4-2-2-8)。

キム川下流部左岸斜面に立地するキムノイ村(Kim Noi Commune)では低位急傾斜部から緩傾斜部にかけて棚田・棚畑が卓越しており(図 4-2-2-9a)、その棚田・棚畑での斜面崩壊や土砂流出は小規模であった。流域界を跨いだ隣の流域の高位急傾斜部では 2017 年に多数の表層崩壊が発生し、住民が崩壊土砂に巻き込まれ犠牲者が出たという。

キム川下流部右岸斜面に立地するモアゼ村(Mua De commune)での土地利用と斜面崩壊・土砂流出の状況はキムノイ村とほぼ同様である(図 4-2-2-9a)。

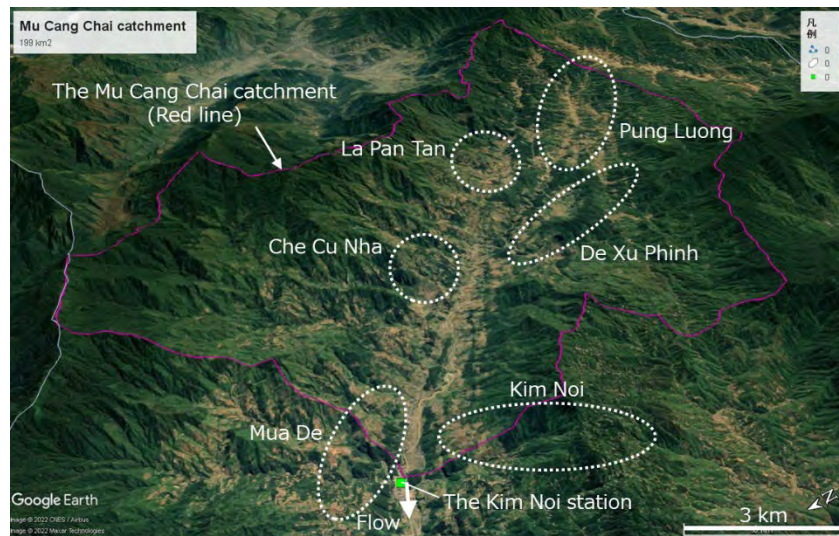


図 4-2-2-8 ムーカンチャイ流域(赤線)での現地踏査地域(白破線;それぞれの記載は村名)

キム川中流部右岸斜面に立地するシェークューニャ村(Che Cu Nha Commune)の低位急傾斜部には 2010 年に発生してその後拡大を続ける地すべりがある(図 4-2-2-2-9a;モアゼ村にも低位急傾斜部と緩傾斜部の境界付近に同様の地すべりがあり、奥山ボーリング(株)が調査を実施している)。この地すべりは土砂流出源となっている可能性が高いものの、その他の棚田・棚畑や劣化した林地からの顕著な土砂流出はみられなかった。村内の支流上流部には鉾山があり、時に灰白色の坑廃水をキム川へ排出し流域環境に影響を与えていると見られる。

キム川中流部左岸斜面に立地するデーシューピン村(De Xu Pinh Commune)には小水力発電所(Ma Lu Thang Dam)がある(図 4-2-2-9a)。3.1)節で指摘した乾季における水位の日変化はこの水力発電所の稼働と関係がある可能性がある。



図 4-2-2-9a 土砂流出に関する流域各地の概況. 説明は本文参照.

デーシューピン村の対岸のラーパンタン村 (La Pan Tan commune) にはキム川沿いに土砂捨て場が見られ、降雨時には顕著な土砂流出源となっている可能性が高い(図 4-2-2-9b)。

最上流部のプルルオン村 (Pung Luong commune) は河床と山地との比高が比較的小さく(流域内傾斜が比較的緩く)、支流域内のアクセスも良く、面的に土地利用が行われている(下流部から中流部での土地利用の拡がりは本流沿いの主要街道からの距離、すなわちアクセスの容易さ、に依存するように見える)。道路に沿った斜面崩壊の頻度も大きく(図 4-2-2-9b; Pung Luong 1)、降雨時にそうした斜面崩壊地あるいは道路や家屋敷地で発生する水流(図 4-2-2-9b; Pung Luong 2)が土砂流出に寄与していると見られる。近年では地形改変と呼べる規模での造成(切土)や盛土も行われており、流域最上流部の谷には近接した他流域の造成地から運び込まれたと見られる大規模な盛土(捨土)が見られた(図 4-2-2-9b; Pung Luong 3)。この盛土は降雨時の主要な土砂流出源としてだけでなく、豪雨時などには崩壊によって顕著な土石流出が生じる可能性がある。



図 4-2-2-9b 土砂流出に関する流域各地の概況(続き). 説明は本文参照.

4. 2) 浸透能の計測

林地及び利用された(劣化した)林地での降雨時の地表流発生の有無を明らかにするため、地表面の透水性を現地浸透能試験(単管式冠水型浸透能試験)によって調べた(図 4-2-2-10)。これまでに得られた林地 2 ヶ所、劣化林地 2 ヶ所、草地／劣化林地 1 ヶ所、合計 5 ヶ所でのデータでは、林地と劣化林地では浸透能に殆ど差がないこと、測定した草地／劣化林地では浸透能が著しく小さいことが示された。草地／劣化林地でのデータが示すように、浸透能は現況としての土地利用だけでなく、履歴としての土地利用の影響も強く受けることから、現況の土地利用データ(のみ)に基づいた土砂流出特性の分析では留意が必要である。



図 4-2-2-10 林地における現地浸透能試験の様子(2022 年 12 月)

4.3) 各支流及び流出源での採水試料の収集と分析

流域内での土砂流出源を特定するための一手法として、2022年9月(雨季)現地調査において、降雨により土砂流出が起こっている日(2022年9月14日)に流域内の本流と支流、及び明らかな土砂流出源において採水試料を収集した(図4-2-2-11)。収集した19試料はハノイへ持ち帰り、同年12月現地調査時にVAFS実験室で分析した(図4-2-2-12)。

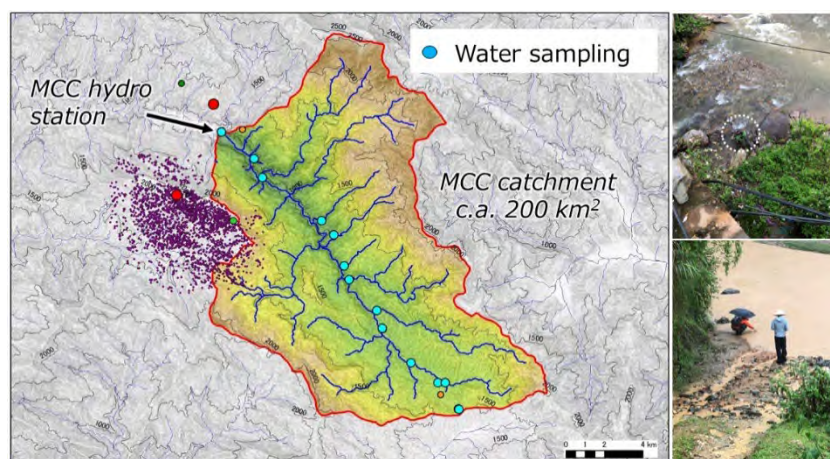


図4-2-2-11 2022年9月14日の採水地点と採水の模様



図4-2-2-12 2022年9月14日の流域内採水調査で得た試料(VAFS実験室にて撮影)

(5) ムーカンチャイ流域での土砂流出に関する所見(治山技術の展開へ向けて)

大陸部東南アジア山地での土砂流出の増加に関しては、既往研究の多くは林地から農地への土地利用変化が主たる原因であるとしている。しかし、ベトナム・イエンバイ省ムーカンチャイ郡の山地流域におけるこれまでの現地調査では、この図式を強く裏付ける観察や計測データは必ずしも得られていない。棚田や棚畑として利用されている急斜面では、斜面灌漑により凸斜面にも広く水が回されて谷部(凹斜面)への過度の水の集中を抑えるなど、農地として

の土地利用が斜面崩壊や土砂流出をむしろ抑制している場合があるとさえ推察することが出来る。棚田・棚畑の設計や利用の実態の詳細は調査途上であるが、今後の調査によって明らかにしていく価値があると考えられる。

しかしその一方、キム川流域においては降雨時に大量の土砂が流出していることは観測データからも明らかである。その主たる土砂流出源は、劣化森林ではなく、人工地形改変に伴って生じた裸地(道路を含む)、盛土地、斜面崩壊地である可能性が高いことがこれまでの調査から見えてきた。

この予察が実態である場合、日本の治山技術は人工地形改変に伴って生じた裸地、盛土地、斜面崩壊地を安定化させ、土砂流出を抑えることに貢献できると考えられる。このことはベトナム(及び類似する地域)における現地の土砂流出実態を踏まえた技術展開を可能にする知見として極めて重要であると考えられる。これまでのデータを詳細に分析しつつ、もし可能となれば、こうした視点からの調査を継続してデータ収集を進め、その実態を解明していく。

4.2.2.2 ベトナム北西部の中山間地域における治山施設の運用状況

日本の治山事業は、森林の維持造成を通じて、山地災害から国民の生命・財産を保全するとともに、水源の涵養、生活環境の保全・形成等を図るための重要な国土保全政策の一つである。同事業の一環として実施される治山施設の配置には、山腹工、溪間工、治山ダムなどの構造物の設置や、生育状況が芳しくない森林の整備、崩壊斜面上の土留工、崩壊斜面に面した溪流の縦横断浸食を防止する治山ダム(谷止工)等がある。これらの構造物は、長期的に森林の形成に寄与しつつ、下流への過剰な土砂流出を抑制するための防災施設としても位置づけられる(林野庁、2022)。日本の治山事業は 100 年以上の歴史を持ち、地域の森林環境の保全に大きく貢献してきた。

一方、開発途上国において、治山施設は一般的ではないため、森林の山地災害防止機能が十分に発揮されていないことが多い。その背景として、一部の治山施設は膨大な費用が必要となることも多く、開発途上国にとっては財政的な負担が大きい。また、治山施設の設計や施工には専門的な技術や知識が必要であり、開発途上国にはそれらを持つ人材が不足していることも大きな理由となっている。

本課題では、開発途上国における日本の治山技術の適用可能性を検討することを目的として、ベトナムの山岳地域における治山施設の運用に関する調査を行った。そのため、ベトナム北西部の Muong Gion commune 内の道路沿いの 10 箇所に設置されている治山施設について、施設の種類、使用された材料、サイズ、施工者と管理者、資金源、品質評価、および使用上の問題に関する詳細等を明らかにした(図 4-2-2-13～図 4-2-2-23、表 4-2-2-1)。

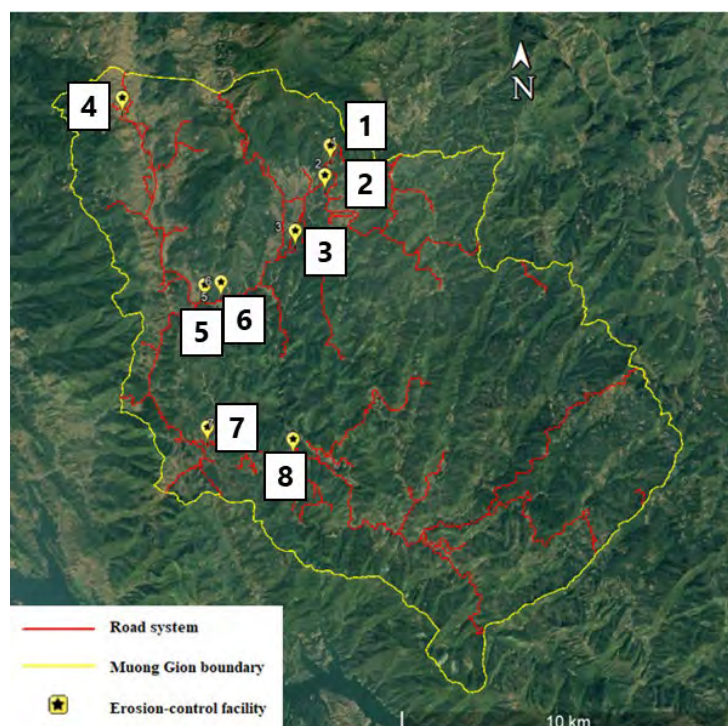


図 4-2-2-13 調査を行った治山施設の位置(図内の番号1～8)

表 4-2-2-1 調査対象とした治山施設の種類と位置座標

ID	施設種類（英名）	座標（UTM Zone 48N）	
		E	N
1	ふとん籠（Gabion） 切土（Cut soil）	366788	2411987
2	切土（Cut soil）	366633	2411140
3	擁壁（Retaining wall）	365741	2409523
4	ふとん籠（Gabion）	360630	2413549
5	ふとん籠（Gabion）	363505	2408045
6	擁壁（Retaining wall）	363017	2407967
7	ふとん籠（Gabion）	363024	2403706
8	ふとん籠（Gabion）	365592	2403316

注：Muong Gion commune の調査ルート上で確認された治山施設は 8 施設に留まった。同 commune の境界付近において施設 9 および 10 を選択した(地図上の記載なし)。

(1) 治山施設 No. 1 ふとん籠及び切土

切土とふとん籠の土留工が組み合わせて使われている。サイズは 4 段階で、合計 30×0.7m のふとん籠が使われ、1 段あたり切土の高さは 7m である。設置業者および管理者は政府であり、設置業者は道路 279 管理ユニット、管理者はベトナム道路総局である。資金提供源

は、ベトナム道路総局による嵐(Storm)や洪水の予防と克服のためのプログラムである。品質は、まだ新しいため堅牢であり、侵食制御に適しているとされる。Muong Gion commune が管理しており、現時点で、使用上の問題(修繕等)は特になく考えられる。

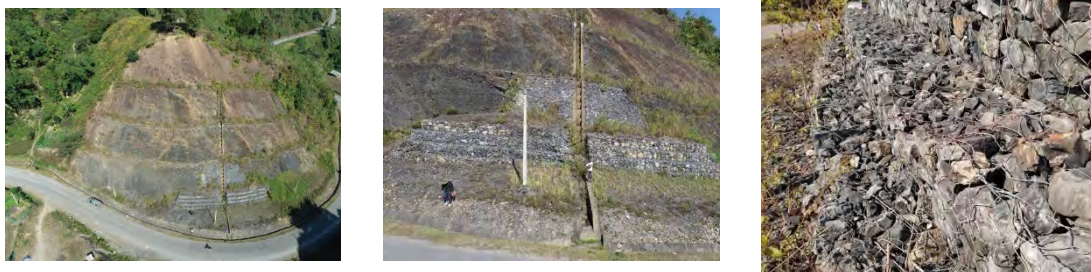


図 4-2-2-14 ふとん籠及び切土(No.1)

(2) 治山施設 No. 2 切土

切土が施工されており、サイズは $80 \times 10\text{m}$ である。設置業者および管理者は政府であり、設置業者は道路 279 管理ユニット、管理者はベトナム道路総局である。資金提供源は、ベトナム道路総局による嵐(Storm)や洪水の予防と克服のためのプログラムである。品質は劣化しており、修繕と更新が必要であると考えられる。



図 4-2-2-15 切土(No.2)

(3) 治山施設 No. 3 擁壁

研磨されたコンクリート擁壁が使われており、サイズは $32 \times 0.4 \times 1.3\text{m}$ である。設置業者および管理者は政府であり、設置業者は道路 279 管理ユニット、管理者はベトナム道路総局である。資金提供源は、ベトナム道路総局による嵐(Storm)や洪水の予防と克服のためのプログラムである。品質は、圧縮されて強固になっている点は高く評価されるが、サイズの小ささが使用上の問題となる可能性がある。



図 4-2-2-16 擁壁(No.3)

(4) 治山施設 No. 4 ふとん籠

ふとん籠土留工が使われており、サイズは $26 \times 1.3 \times 2.6\text{m}$ (2 段階) である。設置業者および管理者は政府であり、設置業者は道路 279 管理ユニット、管理者はベトナム道路総局である。資金提供源は、ベトナム道路総局による嵐 (Storm) や洪水の予防と克服のためのプログラムである。品質は、硬く安定しており、良好である。Muong Gion commune の管理のもと、現時点では修繕は必要ないと考えられる。

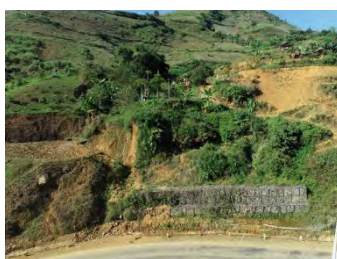


図 4-2-2-17 ふとん籠(No.4)

(5) 治山施設 No. 5 ふとん籠

ふとん籠の土留工が使われており、サイズは $74 \times 1.2 \times 2.4\text{m}$ (3 段階) である。設置業者および管理者は政府であり、設置業者は道路 279 管理ユニット、管理者はベトナム道路総局である。資金提供源は、ベトナム道路総局による嵐 (Storm) や洪水の予防と克服のためのプログラムである。品質は、堅牢であり侵食制御に適しているとされる。ただし一部のふとん籠が損壊しており、修繕が必要と考えられる。



図 4-2-2-18 ふとん籠(No.5)

(6) 治山施設 No. 6 擁壁

研磨されたコンクリート擁壁が使われており、サイズは $125 \times 0.7 \times 2.2\text{m}$ である。設置業者および管理者は政府であり、設置業者は道路 279 管理ユニット、管理者はベトナム道路総局である。資金提供源は、ベトナム道路総局による嵐(Storm)や洪水の予防と克服のためのプログラムである。品質は、圧縮度が高く堅牢になっており、非常に良好である。新しく完成したものであり、特段の修繕は必要ないと考えられる。



図 4-2-2-19 擁壁(No.6)

(7) 治山施設 No. 7 ふとん籠

ふとん籠の土留工が使われており、サイズは $62 \times 1 \times 1\text{m}$ (2 段階) である。設置業者および管理者は政府であり、設置業者は道路 279 管理ユニット、管理者はベトナム道路総局である。資金提供源は、ベトナム道路総局による嵐(Storm)や洪水の予防と克服のためのプログラムである。品質は、草本類に被覆され、古く劣化、損傷しており修繕が必要であると考えられる。



図 4-2-2-20 ふとん籠(No.7)

(8) 治山施設 No. 8 ふとん籠

ふとん籠の土留工に固定された鋼製のパイルが使われており、サイズは $17 \times 1 \times 1\text{m}$ (3 段階) である。設置業者は政府であり、設置業者は道路 279 管理ユニット、管理者はクイン・ナイ地区の人民委員会である。資金提供源は、ベトナム道路総局による嵐 (Storm) や洪水の予防と克服のためのプログラムである。品質は、深刻な損傷と劣化があり、浸食制御に適していないと考えられる。またパイルが曲がっている、ガボンが壊れている、草で覆われているなど、使用上の問題も多い。



図 4-2-2-21 ふとん籠 (No.8)

(9) 治山施設 No. 9 ふとん籠及び切土

ふとん籠の土留及び切土が使われており、サイズは $63 \times 0.1 \times 0.8\text{m}$ (2 段階) である。設置業者および管理者は政府であり、設置業者は道路 279 管理ユニット、管理者はベトナム道路総局である。資金提供源は、ベトナム道路総局による嵐や洪水の予防と克服のためのプログラムである。品質についての評価は、まだ良好であるが劣化しており、保守が必要であると考えられる。一部のガボンが損傷しており、使用上の問題となっている。



図 4-2-2-22 ふとん籠及び切土 (No.9)

(10) 治山施設 No. 10 ふとん籠、擁壁、及び切土

切土法面中に石の混在したコンクリート擁壁が使われており、サイズは $30 \times 30\text{m}$ (3 段階の切土)、 $30 \times 0.3 \times 0.14\text{m}$ (擁壁) である。道路側にはふとん籠土留工も存在する。設置業者および管理者は政府であり、設置業者は道路 279 管理ユニット、管理者はベトナム道路総局

である。資金提供源は、ベトナム道路総局による嵐や洪水の予防と克服のためのプログラムである。品質は、大きくて堅牢であり、品質は中程度で、侵食制御に適していると考えられる。擁壁のサイズがかなり小さいことは使用上の問題であり、更新が必要であると考えられる。



図 4-2-2-23 ふとん籠、擁壁及び切土(No.10)

(11) 治山施設の運用状況のまとめ

本調査では、ベトナム北西部中山間地域の Muong Gion commune の道路沿いに存在する 10 箇所の治山施設についての運用状況を調査した。その結果、これらの 10 件の治山施設は、サイズや構造は施設ごとに異なるが、斜面の崩壊と侵食の防止を目的として、ふとん籠や擁壁などの土留工法が用いられていることが明らかとなった。設置業者および管理者は、すべての施設で政府が関与しており、主に道路 279 管理ユニットが設置業者、ベトナム道路総局が管理者を務めている。資金提供源は、ベトナム道路総局による嵐や洪水の予防と克服のためのプログラムである。施設の品質には差があり、一部は新しく堅牢である一方で、他の施設は劣化や損傷があり、修繕や更新が必要とされている。使用上の問題もいくつか存在し、特に擁壁のサイズが小さいことや一部のふとん籠の損傷が挙げられる。

以上をまとめると、Muong Gion Commune 内の治山施設は、道路沿い斜面の崩壊と侵食防止を目的とした政府主導のプロジェクトで、土留め工法が主に使用されている。品質や状態には差があるが、適切なメンテナンスが行われることで、効果的に機能することが期待される。

これらの結果を踏まえ、設置費用や中長期的な維持コスト、地域の特性を考慮した施設の親和性を検討しながら日本の治山施設の適用可能性について、今後検討を行う必要があることが示された。

引用文献

林野庁(2022) 治山のしおり—国土強靱化に向けて—、林野庁治山課、16p.

4.2.2.3 ベトナム北西部山岳地における道路状況

山岳地の道路は、山地斜面における降雨浸透、流出のプロセスを変化させ、斜面災害や土

砂流出のリスクを高めると言われる。道路を斜面災害の起点にしないためには適切な排水施設の配置が重要となる。一方で、ベトナム北西部では伝統的に山岳地帯に住居を構える民族も多く、山岳地の道路は生活に欠かせないインフラとなっている。人々の生活の維持という観点からも、降雨による道の損壊を未然に防ぐ適切な排水が必要である。また、道の排水機能を維持するためには、定期的な維持管理作業も必要になる。そこで本年は、ベトナムの山岳地における道路排水施設の配置状況及び維持管理状況について調査を行った。

(1) 調査対象路線の概要

2022 年 12 月の現地調査では、規格の異なる 3 種類の山岳地道路で排水施設の配置状況や維持管理状況を調査した(図 4-2-2-24)。1 路線目はソンラ省モンゾン・コミューン内の Inter District Road と呼ばれる道路である。この路線はモンゾン・コミューンと隣接するコミューンとを結ぶ基幹的な路線である。2 路線目は同じくモンゾン・コミューン内の Rural Road で、山岳地帯に点在する住居や農地を結ぶ低規格な道路である。3 路線目はイエンバイ省ムーカンチャイ・コミューン内のバイク・徒歩用道路である。ムーカンチャイは近年「世界で一番美しい棚田」が注目を集め、3 年前に整備されたというこの道路も、観光シーズンには多くの観光客がバイクタクシーで棚田にアクセスする際に利用する。調査を行った 12 月はオフシーズンで観光客の姿はなかったが、山岳地に暮らすモン族の人々が、この道を利用して低地の町から建築資材をバイクで運ぶ姿が見られ、地元住民の生活にも寄与していることが窺えた。



図 4-2-2-24 調査対象路線

- (a) モンゾン・コミューン内の Inter District Road
- (b) モンゾン・コミューン内の Rural Road
- (c) ムーカンチャイ・コミューン内のバイク・徒歩用道路

(2) モンゾン・コミューン、Inter District Road における排水施設配置状況

図 4-2-2-25 に踏査で確認された排水施設の配置状況を示す。また、切取法面崩落等の発生場所も併せて示した。地域の基幹的な路線である Inter District Road は、幅員 6.5 m で、

踏査を行った約 2 km の区間全体がコンクリート舗装されており、現場打コンクリートの側溝が設けられていた。排水の基本的な考え方は、路面水や切取法面からの湧出水を側溝に集め、溪流横断部に設けた集水桝まで導水し、溪流水と共に暗渠で谷側に排水するというものである(図 4-2-2-26)。落葉樹が少ないせいか、あるいは整備からそれほど時間が経っていないためか側溝の閉塞はあまり見られず、十分な通水断面積が確保され良好に機能しているように見受けられた。蓋のない台形断面の側溝であり、側溝清掃作業も比較的容易であると推察される。日本の林道規程では、まとまった量の側溝水を 1 箇所へ排水すると流末箇所の侵食につながるため、短い間隔で横断溝等を設けて側溝水を分散的に排水することが推奨されている。しかし、踏査した区間において横断溝は 1 箇所も設置されておらず、側溝水はすべて溪流横断部の暗渠で排水されていた。長い所では 300 m 以上の側溝の水が 1 箇所の暗渠に排水されており、流末の侵食が認められる箇所もあった。溪流部の不安定土砂がごく少ないようであれば溪流部に集中的に排水するという方針も一つの選択肢ではあるが、現地の降雨強度や山地斜面の流出係数、各暗渠の集水面積等から排水量を推定し、流末部の侵食に対する脆弱性等も考慮しながら横断溝による分散排水の必要性について検討していく必要があると思われる。

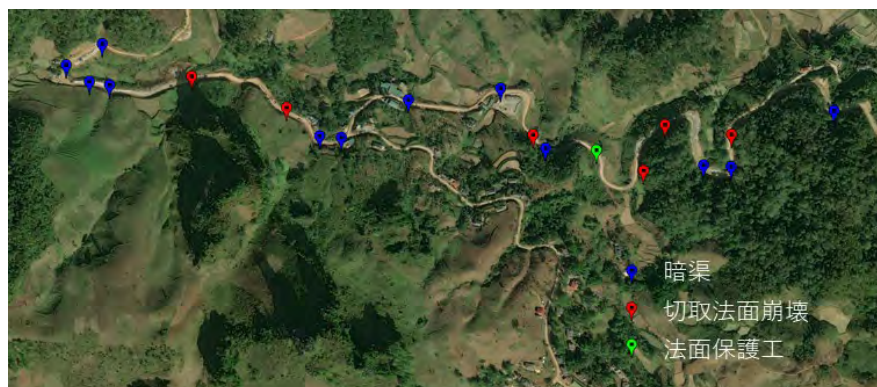


図 4-2-2-25 排水施設配置等の調査結果

横断溝は 1 箇所も設けられていなかった。切取法面崩壊にはごく小規模の物を含む。

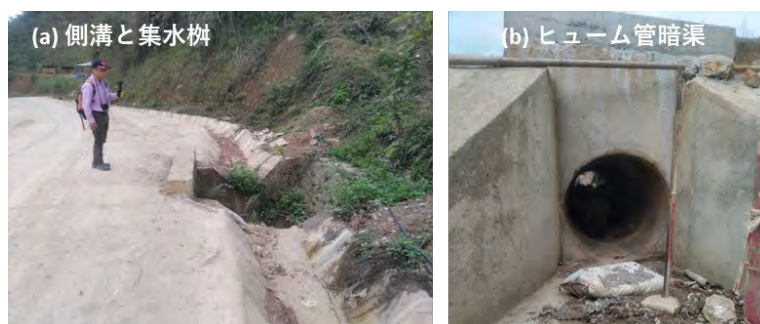


図 4-2-2-26 側溝、集水樹、暗渠による基本的な排水システム

(a) 側溝と集水樹。側溝への土砂や落葉の堆積は少ない。

(b) ヒューム管暗渠

踏査で確認された 12 箇所の暗渠のうちの一部は土砂で閉塞し、十分に通水断面積が確保できていない状態であった(図 4-2-2-27)。閉塞が見られる暗渠は設置勾配が緩く、排水の流速が小さいために土砂が堆積したものと考えられる。Minematsu and Akita (1987)によれば、管内で土砂堆積を起こさないための暗渠の設置勾配は、調査路線で多く見られた直径 60 cm 程度のヒューム管の場合、20%程度となっている。これは日本の溪流水の流送土砂粒径を考慮したもので、ベトナムでは多少異なる可能性もあるが、踏査で閉塞が確認された暗渠の設置勾配は 2~4%程度とかなり小さかった。河床勾配が緩い場所では暗渠の設置勾配も緩くなるのはやむを得ない面もあるが、呑口側での土砂捕捉等の対策が必要であると考えられる。調査路線を見る限り、側溝水もすべて暗渠で排水する方針が取られていることから、暗渠の機能維持は重要な課題と考えられる。



図 4-2-2-27 土砂堆積による暗渠の閉塞

法面保護工については、令和 3 年度現地調査の報告同様、この路線でもほとんど見られず、ふとんかご(角型じゃかご)が 1 箇所で設けられていたのみであった。切取法面の崩壊や侵食は、浅い凹地形の箇所を中心に大小さまざまな規模のものが散発していた(図 4-2-2-28)。ただし、風化の度合いの低い岩が露出する場所など、保護工無しでも崩壊せずに法面勾配を保つ場所も多く、全体として法面崩壊の発生頻度が極端に高いわけではなかった。法面崩壊発

生場所では、路面に崩落した土砂は撤去されていたが、側溝をふさいだ土砂はそのまま残されていた。道路機能維持のための最低限の復旧作業だけでなく、排水機能の回復も図られれば望ましいが、現地ではまず道路機能の維持が優先され、排水機能への配慮は希薄である可能性がある。



図 4-2-2-28 法面保護工と切取法面崩壊

- (a) 調査区間で確認できた法面保護工はこのふとんかご工のみであった。
- (b) 切取法面崩壊発生場所では土砂が側溝をふさいでいた。

引用文献

Hirohiko Minematsu and Osamu Akita(1987) A New Design Criterion for a Forest Road Culvert. 日林誌 69(12): 489-491.

(3) モンゾン・コミュニン内、Rural Road の維持管理体制

この Rural Road は、山岳地域に点在する住居や農地を結ぶごく小規模な道路で、幅員は 3 m 程度、基本的に砂利舗装あるいは未舗装であったが一部コンクリート舗装された区間もあった。Inter District Road と異なり、計画的に配置された排水施設は見られなかったが、家庭からの排水や水田からの漏水が路面を流下するのを防ぐため、図 4-2-2-29 (a) のようなパイプで道路外に導水している様子が見られた。住民の生活に密着したこのような Rural Road の維持管理は、コミュニンがコンクリート等の材料を支給するが、作業自体は住民が自ら行うということであった。調査を行った Rural Road も、路面侵食が懸念される急勾配の区間はコンクリート舗装されるなど、住民自らの手できめ細かな維持管理作業が行われていることが窺えた(図 4-2-2-29 (b))。Rural Road は住民の生活に必須のインフラであるため、住民は自らそれを維持管理しなければならないという意識を強く持っているようである。生活の利便性確保をモチベーションとして行われる維持管理作業であるが、結果的に道が良好な状態に保たれ、土砂流出の抑制や災害リスクの抑制にもつながるように思われた。とはいえ、路面侵食や小規模な切取法面崩壊は散発していた(図 4-2-2-30)。地形改変の規模が小さい Rural Road ク

ラスの道でも、その密度が過度に増加すれば、土砂流出への寄与が無視できない水準に至る可能性もある。また、ムーカンチャイ・コミュニティでは、もともと Rural Road のように未舗装で小規模であったものが近年になって拡幅・舗装されたと思われる道で切取法面崩落が多発している様子も目にした。一方でその道の拡幅・舗装により、山岳地帯に住む人々の生活の利便性は大きく向上しているようにも思われた。Rural Road クラスの道の密度の変化、あるいは拡幅・舗装といった動向は、山岳地域の人口動態や人々の生活スタイルの変化に影響されると考えられる。道路が土砂流出や災害リスクに及ぼす影響を考えるうえで、そのような社会的動向も併せて注視する必要がある。

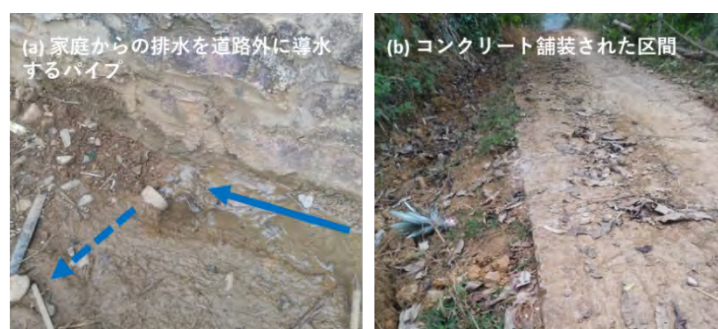


図 4-2-2-29 Rural Road に見られた排水施設と部分的なコンクリート舗装



図 4-2-2-30 Rural Road で見られた路面侵食、小規模な切取法面崩壊

(4) ムーカンチャイ・コミュニティ内、バイク・徒歩用道路における排水施設配置状況

この道路は棚田への観光アクセスに利用されることもあり、全線コンクリート舗装されているが、自動車の通行は禁止されており、バイクと徒歩用道路ということであった。この路線に側溝は設けられておらず、特徴的であったのは、路面流下水を排水するため、コンクリートを畝状に盛り上げた「水切り」が設けられていたことである。日本の作業道でも土を畝状に盛り上げた水切りが見られるが、それによく似ている。しかしながら、その多くが摩耗・破損し、機能していない状態であった(図 4-2-2-31)。これは恐らく、バイクが頻繁に通行することで摩耗・破損した

ものと推察される。畝状に盛り上げた水切りの上を通過する際は、4 輪車でも十分に減速しないと大きな衝撃を感じるが、2 輪のバイクでは危険を感じることもあると推察される。この路線は特にバイク用として整備されたものであるが、他の山岳地道路でもバイクの通行は非常に頻繁に見られた。ベトナム北西部の山岳地域に暮らす人々にとってバイクは生活に必須の「足」であることから、バイクの通行に十分配慮した路面排水施設が必要であると考えられる。

棚田の広がる一帯は地すべり地帯にもなっており、この路線沿いにも地すべりの滑落崖や後背亀裂が見られる場所もあった。細粒の粘土鉱物も見られ、水を含んで強度を失い洗堀されたのか、コンクリート舗装の下部に空洞ができている例もあった(図 4-2-2-32)。そのような地すべり地帯であるが、道路沿いには一面に棚田が広がっており、伝統的に共存してきたことが感じられた。道路開設前から強度に人為的な地形改変が行われてきた棚田地帯だが、伝統的な棚田と道路とで、土砂流出や災害リスクへの影響がどのように異なるかという視点からの評価も必要であると思われる。



図 4-2-2-31 バイク・徒歩用道路で見られた「水切り」

矢印の部分が摩耗あるいは破損しているため、路面流下水は道路外に排水されず、路面を流下し続ける。



図 4-2-2-32 コンクリート舗装下部にできた空洞

4.2.2.4 Muong Gion Commune における社会経済状況

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うえで必要な手法を、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。この目的の達成のためには、対象地域における人口や地域住民の生計手段、土地利用の実態等を現地調査によって把握する必要がある。そこで本年度は昨年度に続き、本事業が研究対象とするベトナム北部 Muong Gion Commune(以下、MGC)を対象に、社会科学分野の事前調査を行った。

この調査の対象は MGC を構成する全 19 の village¹である(図 4-2-2-33)。これら全 19 village において、(1)人口と主な生計手段、(2)土地利用、(3)住民が認識する土地利用変化とその要因、(4)災害の種類と被災内容、(5)インフラ情報及び住民の日常的な目的地について、文献調査および主要情報提供者へのインタビュー、フォーカスグループディスカッションといった手法を用いて、事前予備調査を実施した。以下、項目ごとに概要を報告する。

¹このうち R2 年度に 10 village、R3 年度に残りの 9 village においてデータ収集を行った。2022 年 12 月に、Huoi 村と Gion 村と合併した。本報告書では、合併前の実態を反映している。

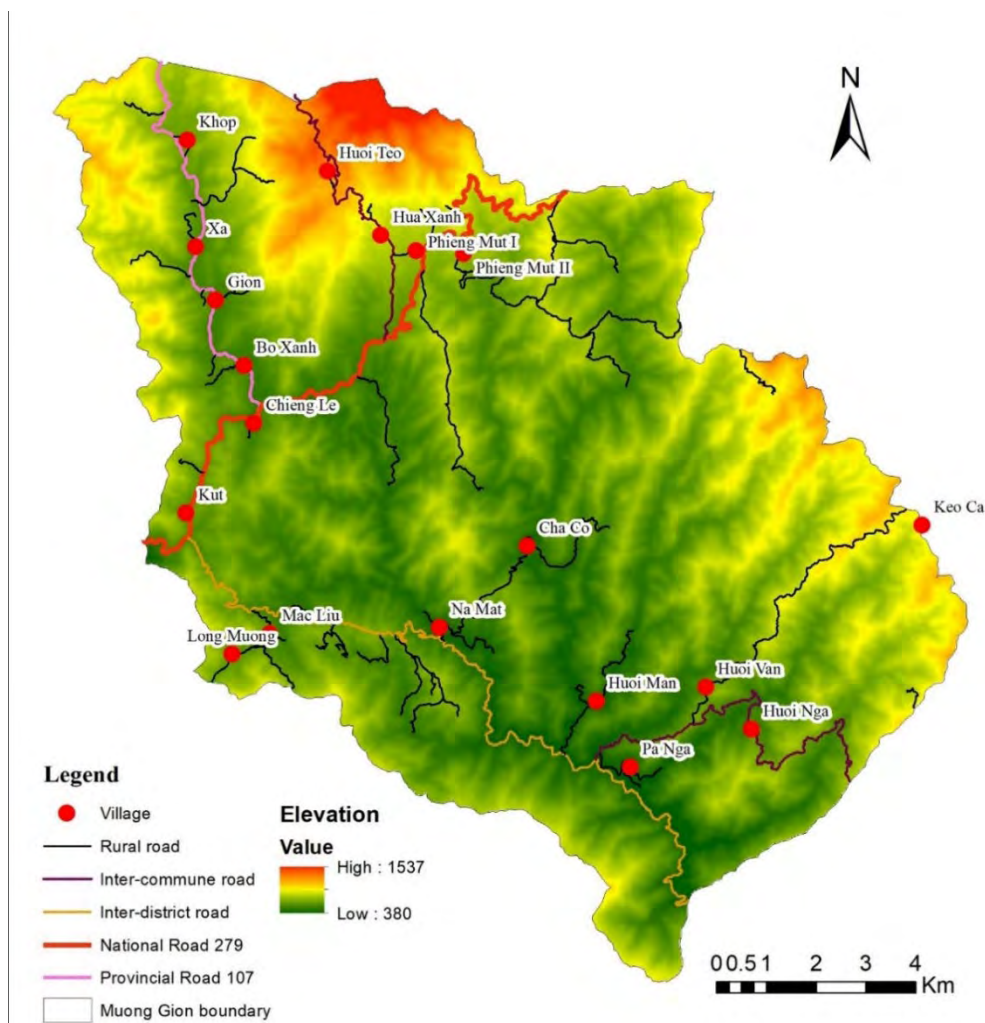


図 4-2-2-33 Muong Gion Commune における調査対象の全 19 village の地理的分布

(1) 人口と主な生計手段

全 19 village の人口の中央値が 553 人だが、人口が最も多い village は Xa 及び Bo Xanh で共に 1,283 人、最も少ない village は Huoi Teo で 152 人と、village の人口にはばらつきがある($SD=336.2$)。住民の平均年収は 1,000 米ドル前後である(図 4-2-2-34)。住民の収入は MGC 役所の所在地である Chiềng Lề を除き、農作物生産および家畜生産から成る農業から得られている(図 4-2-2-35)。Village において耕作面積が比較的広い農産物は、水稲米(平均値:16.2ha、中央値:12.0ha)、トウモロコシ(平均値:17.0ha、中央値:7.5ha)、キャッサバ(平均値:10.7ha、中央値:6.0ha)、大豆(平均値:2.2ha、中央値:2.0ha)、ピーナッツ(平均値:2.1ha、中央値:2.0ha)である。

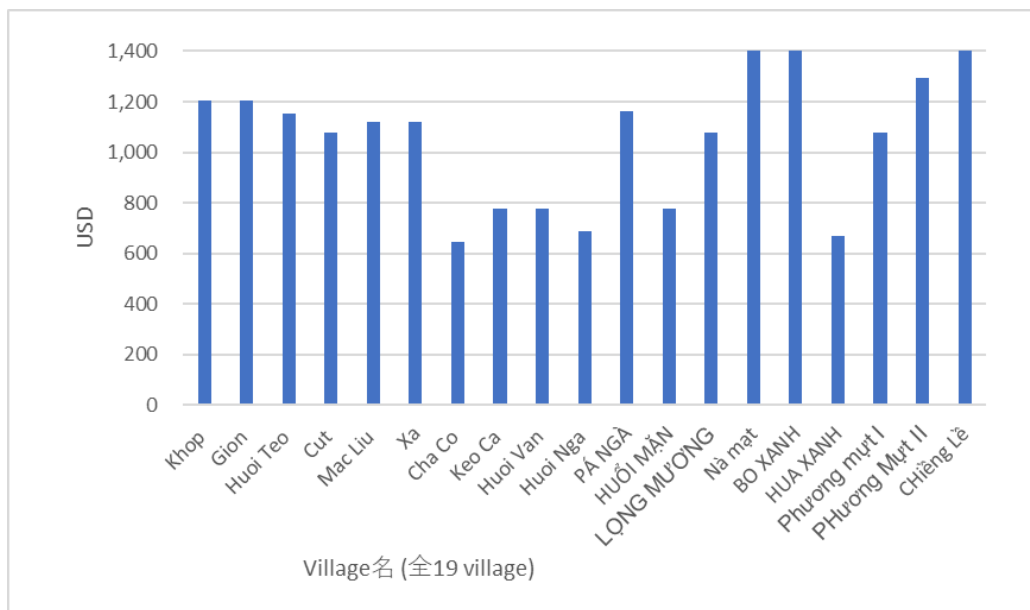


図 4-2-2-34 Village ごとの住民の平均年収(1USD=23,200VND)

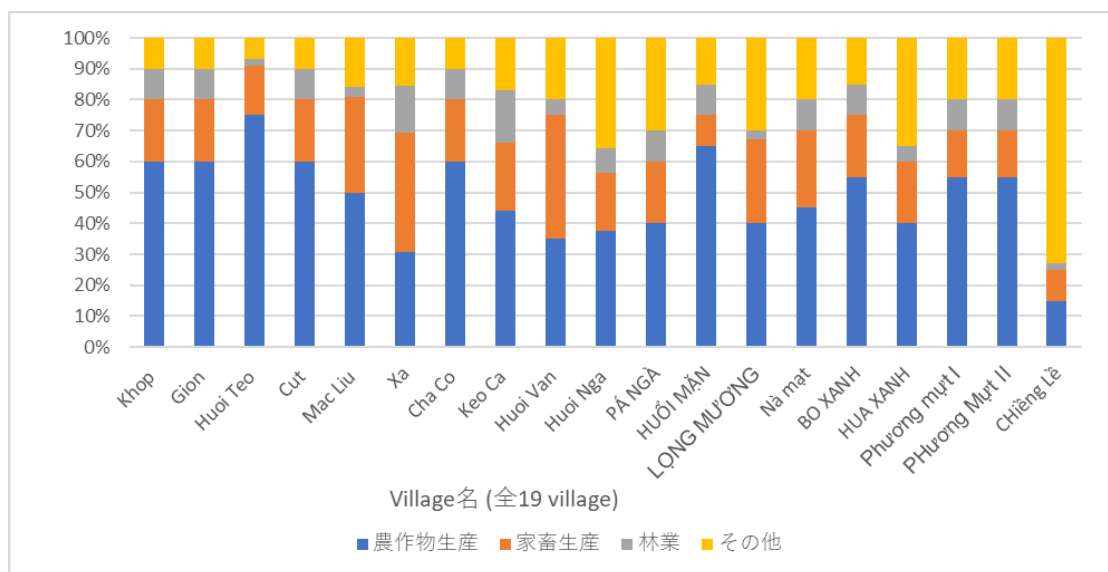


図 4-2-2-35 村民の平均年収の収入源の産業別内訳

(2) 土地利用

全 19 village の土地利用は、「住宅・特別利用地」、「農地」、「森林」²、「その他」に区分され、「その他」には、放棄された土地 (abandon land)や非森林地 (non forest)などが含まれている。「森林」が最も大きい割合を占めるのは BO XANH village (88.6%)となっている(図

² ここで示す「森林」は“Forested land in planned forestry land”のみを意味する。“Forested land in planned forestry land”に含まれない森林である“Forested land outside planned forestry land”も存在するがデータが不十分のためここでは割愛する。

4-2-2-36)。

「森林」は機能面から生産林と保安林に区分されるほか、管理主体の側面からは Community forest (CF)と Households forest (HF)に区分される(図 4-2-2-37)。ベトナムでは政府の森林割り当てプログラム(Forest Land Allocation Program: FLA) の下で Forest land は長年にわたり世帯または個人にのみ割り当てられてきたが、2004 年に施行された土地法の改正により、森林を含む土地の割り当てが、従来の世帯やコミュニンだけでなく、コミュニティにも行われるようになった(Sunderlin, 2006)。MGC にて CF に割り当てられている森林は、かつて主に択伐施業や焼畑耕作の対象だった森林が自然に再生した森林である。CF 内の森林の保護と利用については village が規則を策定することとなっており、いくつかの village は既に規則を策定・承認済みとなっていることが報告されている。

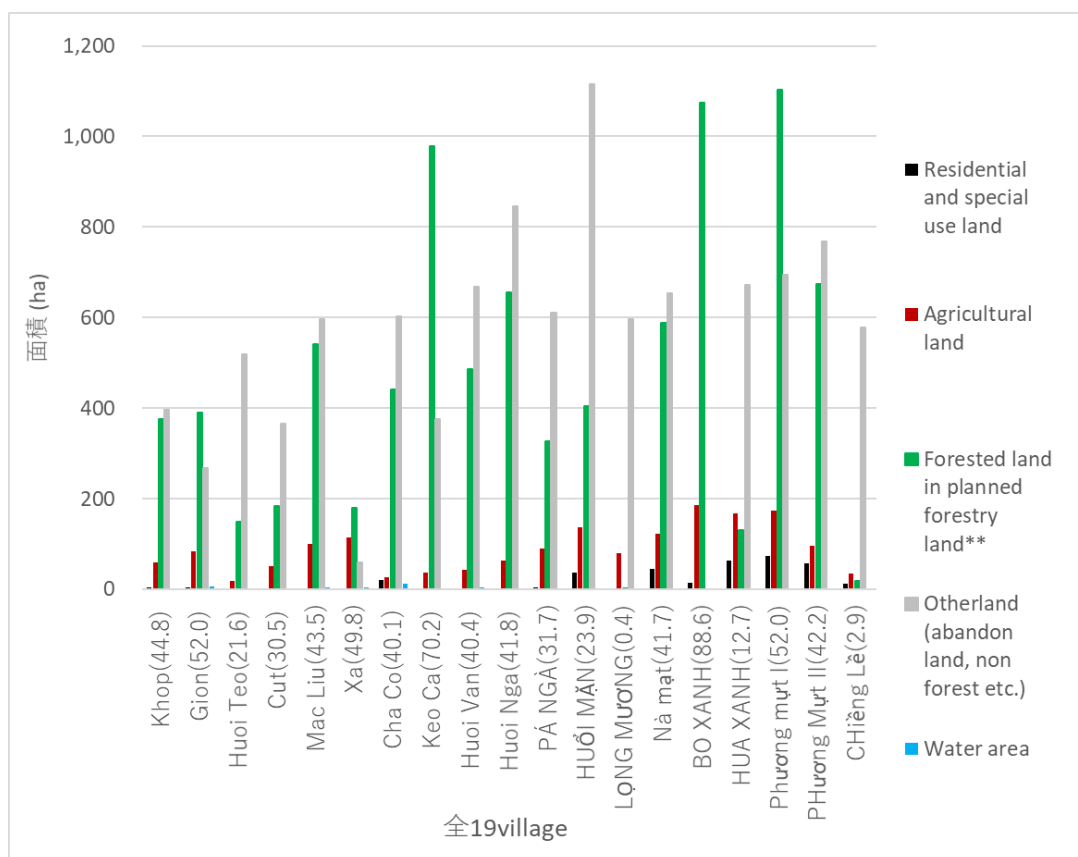


図 4-2-2-36 全 19village の土地利用区分(括弧内の数値は森林被覆率(%))

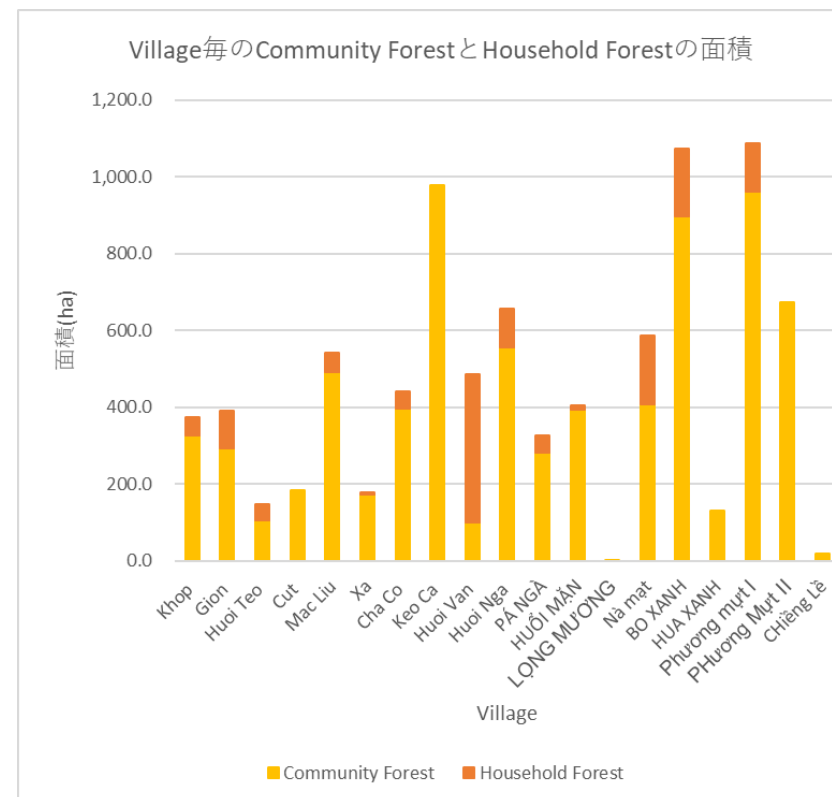
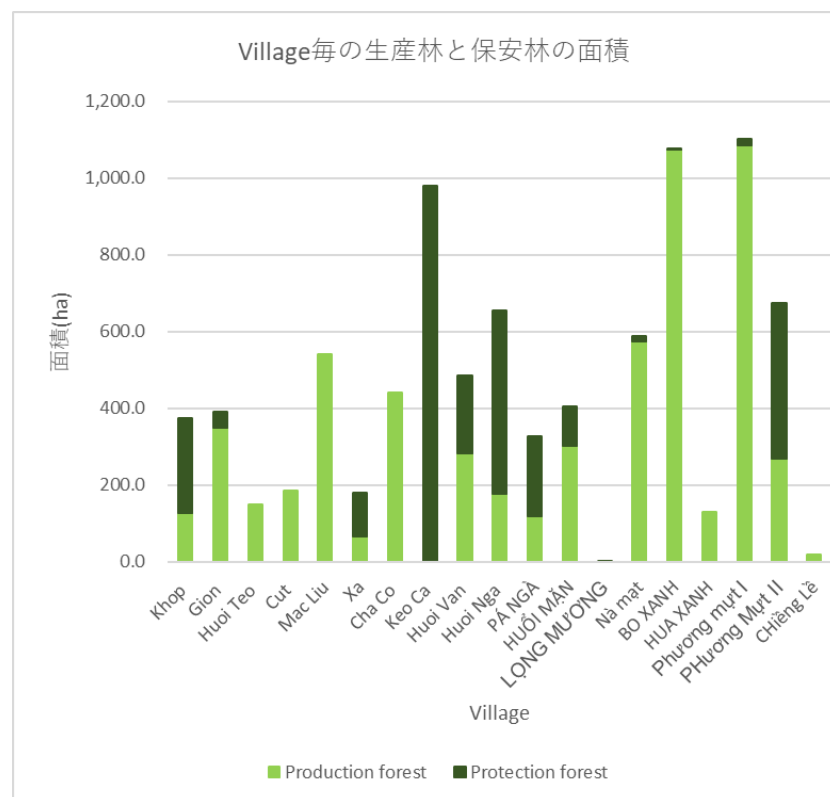


図 4-2-2-37 MGC 全 19village の森林の機能区分(左)及び管理主体区分(右)に基づく面積の比較(2020/21 年)

また CF の森林エリアには、森林環境サービスに対する支払い(PFES)制度が適用されている³。Village 毎の PFES 対象森林面積は図 4-2-2-38 の通り。PFES 制度により CF に対して支払われる額はコミュニティにより管理され、森林のパトロールや保護、森林火災の防止、新しい農村開発(道路や文化施設の維持・補修など)、その他の社会活動など、村の共通業務に使用されている。

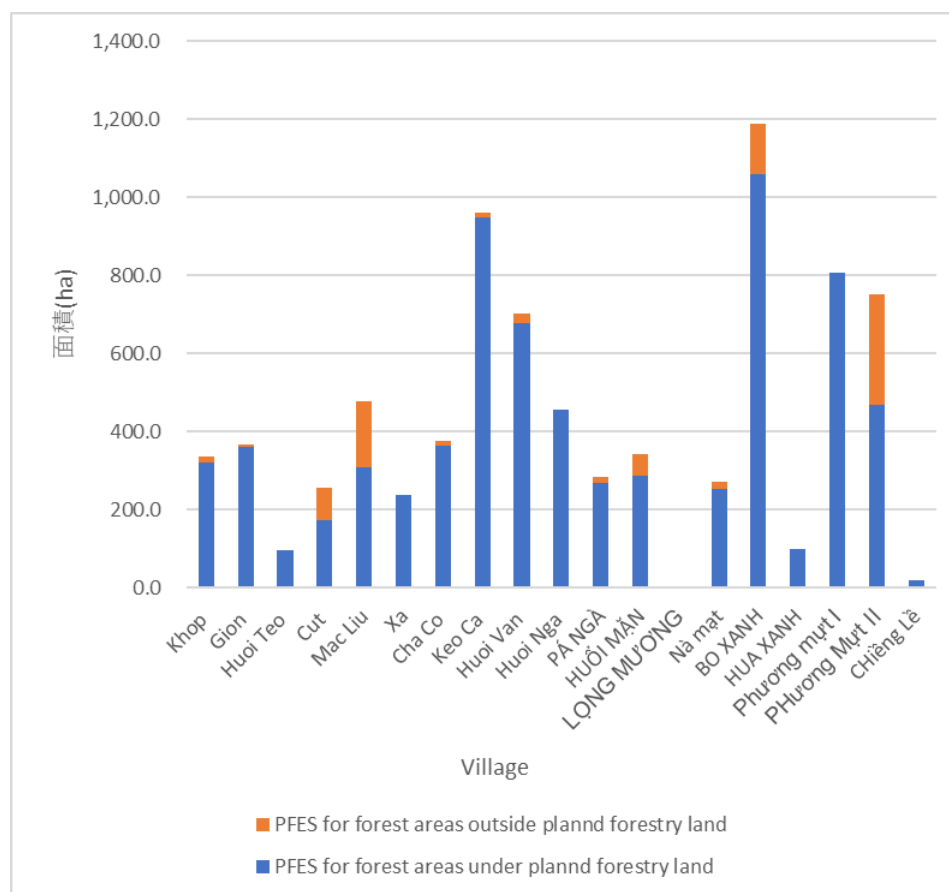


図 4-2-2-38 全 19village の森林環境サービスに対する支払い(PFES)制度対象森林面積

(PFES の支払い対象となる森林は Planned forestry land として区分された森林とその区分に入らない森林の両方である)

(3) 住民が認識する土地利用変化とその要因

³「森林環境サービスに対する支払い(PFES)」の運用は、中央と地方の両レベルで設立された森林保護開発基金(FPDF)に大きく依存している。Pham et al. (2013)によれば、2012 年 12 月現在、国内 63 州のうち 35 州が、法的要件に従って PFES の実施を監督する運営委員会を設立しており、そのうち 27 州は州の FPDF も管理している。こうした政府の支援により、PFES の実施(2009～2012 年)は、政府機関の能力強化、森林や森林保護・開発の役割に対する国民の意識向上につながり、1 兆 7820 億ドン(約 8500 万米ドル)の総収入となった。このうち水力発電所からの支払いが約 98%、水企業が約 2%、観光が 0.1%を占めている。PFES の収入は、国家森林予算の 0.8%に相当する。

2010~2020/21年の間にサンプル village における住民が認識した森林と農地の面積変化は表 4-2-2-2 の通りである。森林面積については、ほぼすべての village において住民は拡大したと認識している。この拡大の主な理由は JICA の持続可能な自然資源管理プロジェクト (Sustainable Natural Resources Management, SNRM) またはベトナム政府の 661 プログラムによる植林(マツ、*Pinus massonianna*)のほか、天然植生更新補助、森林保護パトロール活動、そしてそれらを下支えする PFES 制度の効果が挙げられた。すべての農地面積変化についての住民の認識は village ごとに異なる。農地面積拡大は主に新規の棚田や水田によるもので、農地面積縮小の理由には、土地劣化による生産性の低下や農業に投入する労働量が低下したことなどが挙げられた。

表 4-2-2-2 全 19village の住民が認識した森林と農地の面積変化とその要因

Village	森林面積	森林面積変化の要因	農地面積	農地面積変化の要因
Khop	↑	- 政府の支援による植林 (2014) ➢ 26.7ha: <i>Manglietia glauca</i> - SNRM/JICA (2016-2019) ➢ 28.3ha: 森林保護と ANR ➢ 7.8ha: <i>Pinus massoniana</i> を HF に植林 - 森林保護効果の向上と農地転用の制御 - PFES 制度での支払い受領による地元住民の意識向上と責任の強化	→	
Gion	↑	661 プログラム(2010) ➢ 28ha: <i>Pinus massoniana</i> - SNRM/JICA (2016) ➢ 19ha: 森林保護と ANR - PFES による森林保護効果の向上 - 地元住民の意識の向上と責任の強化	→	
Huoi Teo	↑	- SNRM/JICA (2017-) ➢ 19.8ha: 森林保護と ANR ➢ 8.9ha: <i>Pinus massoniana</i> を HF に植林 - 森林保護効果の向上 - PFES 制度での支払い受領による地元住民の意識向上と責任の強化	→	
Cut	↑	661 プログラム (2008-2010) ➢ 217ha: <i>Pinus massoniana</i> - SNRM/JICA (2016) ➢ 52.6ha: CF の ANR - ANR の改善 - 森林保護効果の向上と農地転用の制御 - PFES 制度での支払い受領による地元住民の意識向上と責任の強化	→	

Village	森林面積	森林面積変化の要因	農地面積	農地面積変化の要因
Mac Liu	↑	• SNRM/JICA (2017-2018) ➢ 23.5ha: <i>Pinus massoniana</i> を CF と HF に植林 • 新規植林面積と ANR 面積の拡大 • 森林保護効果の向上と農地転用の制御 • PFES 制度での支払い受領による地元住民の意識向上と責任の強化	↓	土地劣化（生産性低下）
Xa	↓ (2010-2015) ↑ (2016-2020)	• 宅地化 • SNRM/JICA (2017-2018) ➢ 55ha: <i>Pinus massoniana</i> を HF に植林 • 伐採や焼畑からの森林再生 • 森林保護効果の向上 • PFES 制度での支払い受領による地元住民の意識向上と責任の強化	↑	灌漑システム
Cha Co	↑	• 政府の支援による植林(2015) ➢ 20.8ha: <i>Manglietia glauca</i> • SNRM/JICA (2016-2019) ➢ 30.8ha: 森林保護と ANR • 森林保護効果の向上 • PFES 制度での支払い受領による地元住民の意識向上と責任の強化	↑	水田拡大
Keo Ca	↑	• SNRM/JICA (2016-2019) ➢ 8.2ha: 森林保護と ANR • 新規植林面積と ANR 面積の拡大 • 森林保護効果の向上と農地転用の制御 • PFES（支払い額の享受）による地元住民の意識向上と責任の強化	↓ (高地) ↑ (平地)	土地劣化（生産性低下） 最新機器導入（生産性向上）
Huoi Van	↑	• SNRM/JICA (2017) ➢ 6ha: CF での森林再生 • 地元住民が耕地耕作を諦め天然林がより良く保護され自然再生した • PFES 制度での支払い受領による地元住民の意識向上と責任の強化	↓	農業分野の労働力不足（他分野への移行）

Village	森林面積	森林面積変化の要因	農地面積	農地面積変化の要因
Huoi Nga	↑	• SNRM/JICA (2016-2019) ➢ 102.8ha: CF 等での ANR • 661 プログラム (2008) ➢ 82ha: マツ • 休閑地が多かったこと • 上手く機能した森林管理・保護策により森林火災、違法伐採、焼畑が皆無だった • PFES 制度での支払い受領による地元住民の意識向上と責任の強化	↓	土地劣化（休耕地化）
PÁ NGÀ	↑	• コミュニティと世帯の参加を伴う政府による植林及び森林再生事業（2015-2020） ➢ 156ha: <i>Pinus massoniana</i> (2016) ➢ 57ha: <i>Pinus massoniana</i> (2020) • 森林保護策の改善により農地への転用が管理され、森林火災、違法伐採は皆無だった • PFES 制度での支払い受領や NTFP 採取といったベネフィットによる地元住民の意識向上と責任の強化 • 植林面積と自然再生による森林の面積の拡大	↑	農家が機械を使って新規に棚田を開発
HUỒI MẶN	↑	• コミュニティと世帯の参加を伴う政府による植林及び森林再生事業（2016-2020） ➢ 10.2ha: <i>Pinus massoniana</i> を CF に植林 (2016) • 森林保護策の改善により農地への転用が管理され、森林火災、違法伐採は皆無だった • PFES 制度での支払い受領や NTFP 採取といったベネフィットによる地元住民の意識向上と責任の強化 • 植林面積と自然再生による森林の面積の拡大	→	
LỘNG MƯỜNG	↑	• 森林面積は 2017 年より微増 • 森林保護策の改善により農地への転用が管理され、森林火災、違法伐採は皆無だった • PFES 制度での支払い受領や NTFP 採取といったベネフィットによる地元住民の意識向上と責任の強化 • 一部世帯が自身の土地に小規模植林を行った	→	

Village	森林面積	森林面積変化の要因	農地面積	農地面積変化の要因
Nà mạt	↑	661 プログラム (2001-2006) ➢ 36.25ha: <i>Pinus massoniana</i> - コミュニティと世帯の参加を伴う植林事業 ➢ 12.3ha: <i>Pinus massoniana</i> (2010) ➢ 51.6ha: <i>Pinus massoniana</i> (2016-2017) - 森林保護策の改善により農地への転用が管理され、森林火災、違法伐採は皆無だった - PFES 制度での支払い受領や NTFP 採取といったベネフィットによる地元住民の意識向上と責任の強化 - 植林面積と自然再生による森林の面積の拡大	↑	水田の拡大
BO XANH	↑	- SNRM/JICA (2017&2019) ➢ 42.55ha: 森林再生 - コミュニティと世帯の参加を伴う植林事業 ➢ 3.2ha: <i>Pinus massoniana</i> (2010) ➢ 39.0ha: <i>Pinus massoniana</i> (2006) - 森林保護策の改善により農地への転用が管理され、森林火災、違法伐採は皆無だった - PFES 制度での支払い受領や NTFP 採取といったベネフィットによる地元住民の意識向上と責任の強化 - 植林面積と自然再生による森林の面積の拡大	→	
HUA XANH	↑	- 森林面積は 2015-2020 年間に拡大 - 森林保護策の改善により農地への転用が管理され、森林火災、違法伐採は皆無だった - PFES 制度での支払い受領や NTFP 採取といったベネフィットによる地元住民の意識向上と責任の強化 - 休閑地での森林再生	→	
Phuong Mưtll	↑	- 森林面積は 2010-2019 年間に拡大 - コミュニティと世帯の参加を伴う植林事業 ➢ 10.8ha: <i>Pinus massoniana</i> (2010) ➢ 26.5ha: <i>Pinus massoniana</i> (2011) - 森林保護策の改善により農地への転用が管理され、森林火災、違法伐採は皆無だった - PFES 制度での支払い受領による地元住民の意識向上と責任の強化 - 植林地と自然再生林の拡大	→	

Village	森林面積	森林面積変化の要因	農地面積	農地面積変化の要因
Phường Mực II	↑	- 森林面積は 2010-2019 年間に拡大 - 政府の支援による植林 ➢ 71.5ha: <i>Pinus massoniana</i> (2016) 3.3ha: <i>Pinus massoniana</i> (2017) - 植林地の拡大 - 休閑地の森林再生 - PFES 制度での支払い受領による地元住民の意識向上と責任の強化	↓ (高台) 土地劣化 (生産性低下) ↑ (平地) 最新機器を導入して棚田を開発	
CHIềng Lề	↑	- ほとんどの世帯が高地での作物栽培をやめ、森林が適切に管理・保護されている - PFES 制度での支払い受領による地元住民の意識向上と責任の強化 - 自然再生による森林の面積の拡大	↓	殆どの世帯が MG 市場での取引や他の職で生計を立てている

↑:面積の拡大、↓:面積の縮小、→:面積維持

SNRM/JICA:Sustainable Natural Resources Management(JICA の持続可能な自然資源管理プロジェクト)、PFES:Payments for Forest Environmental Services (森林環境サービスに対する支払い)、ANR:Assisted Natural Regeneration(自然再生補助)、NTFP: non-timber forest products(非木材林産物)

(4) 災害の種類と被災内容

2010~2020 年の間にサンプル village における住民が経験した災害は表 4-2-2-3 の通りである。すべての village が経験した Hailstone(ひょう)を除き、経験した災害の種類は village ごとに異なる。これら災害の中で本事業が取り扱う「ベトナム北部 MGC での治山技術」と関係の深い主な災害は Flood、Flash flood、Landslide、Forest fire であると考えられる。これら 4 災害による village での主な被災内容は、水田、畑、居住地、道路の破壊とそれに伴う修復費用や交通渋滞の発生、森林の消失等であった(表 4-2-2-4)。

表 4-2-2-3 全 19village が経験した災害

Village	Flood	Flash flood	Land slide	Forest fire	Hailstone	Cyclone	Hoar frost	Frost	Disease	Cold weather	whirlwind
Khop		✓	✓		✓	✓					
Gion		✓		✓	✓	✓	✓		✓		
Huoi Teo		✓			✓	✓		✓		✓	
Cut	✓		✓		✓	✓	✓			✓	
Mac Liu		✓			✓	✓					
Xa	✓		✓	✓	✓	✓					
Cha Co					✓	✓				✓	
Keo Ca					✓	✓				✓	
Huoi Van					✓					✓	✓
Huoi Nga					✓					✓	✓
PÁ NGÀ		✓	✓		✓	✓					
HUỒI MẶN		✓	✓		✓	✓	✓				
LỘNG MƯỜNG		✓			✓	✓	✓			✓	
Nà mạt		✓	✓		✓	✓				✓	
BO XANH		✓		✓	✓	✓	✓				
HUA XANH		✓			✓	✓				✓	
Phường mụt I					✓	✓	✓			✓	
Phường Mụt II					✓	✓	✓			✓	
CHIỀNG LỀ			✓		✓	✓	✓			✓	

✓ :あり

表 4-2-2-4 MGC における Flood、Flash flood、Landslide、Forest fire の具体的な被災内容

Village	Flood	Flash flood	Land slide	Forest fire
Khop		2017 年 8 月、90 世帯の農地(水田等 27,280m²) に深刻な影響 2020 年 6 月、27 世帯に影響 (600m² の苗代と 1,641m² の水田が破壊)		
Gion		5ha の農地を破壊		年間 2～3ha 発生し、大気汚染や森林消失を引き起こす
Huoi Teo		2017 年、16 世帯 1,790m² の水田に被害		
Cut	土で埋まった水田をショベルカーを借上げ改修		- 交通渋滞 - 道路の修復	
Mac Liu		水田と池に被害		
Xa	2020 年 6 月、27 世帯 3,000m² の土地に深刻な影響		2016 年に Pu Kho および Huoi Co Xo で発生	Pu Kho と Tenh Huon において毎年散発的に発生
PÁ NGÀ		2017 年 8 月に発生、33 世帯の農業生産に深刻な影響を及ぼし、13,740m² のトウモロコシ畑が破壊		
HUỒI MẶN		2017 年 8 月の大雨により発生、Pa Khoang 地区の 14,157m²、Pa Man 地区の 2,400m² の水田に深刻な影響	2020 年に発生、6 世帯が被災	
Nà mạt		2017 年 8 月大雨により発生、Na Mat 集落の 26 世帯 25,100 m²、Na Em 集落の 16 世帯 16.660 m² の水田に深刻な影響		

Village	Flood	Flash flood	Land slide	Forest fire
BO XANH		2017 年 8 月の大雨で発生、108 世帯、56,974m² の水田に深刻な影響		乾季に頻繁に発生、2～3ha の森林が被害を受け、環境汚染や生活用水へ影響
HUA XANH		2017 年 8 月の大雨で発生、5 世帯 438m² の水田に深刻な影響		
CHIềng Lề			QL279 道路と州道 TL107 道路沿いで発生	

(5) インフラ情報

MGC には国道 (National road No. 279) と Provincial road No. 107 が敷設されており、これらは Inter-district road、Inter-commune road と兼用されている (表 4-2-2-5)。National road No. 279 と Provincial road No. 107 は 1979 年に建設され、2001 年に改修・整備され、2005 年に完成した。Village によって異なるが、農村道路 (Rural road) は主に 2015 年から 2016 年にかけて建設された。また、2020 年には Inter-commune road が新設された (令和 2 年度の事業報告書 (図 4-2-3-2) で示した斜面崩壊及び道路調査が行われた village は、Khop、Gion、Cut、Mac Liu の 4 つである)。National road No. 279、Provincial road No. 107、Inter-district road、Inter-commune road の整備は、ベトナム道路庁、ソンラ交通局が担当している。Rural road の予算は、主に MG 人民委員会と村民の寄付で賄われている。通行車両の種類としては、大型車、四輪車、二輪車の 3 種が通行可能な道路は National road No. 279、Provincial road No. 107、Inter-district road、であり、主に二輪車 (オートバイ、自転車) と歩行者のための道路は Inter-commune road と Rural road である (まれに学生用バスが通る)。道路の状態は、ほとんどが良好または中程度の状態だが、一部、Inter-commune road と Rural road は landslide のため状態が悪く、まだ修復されていない。雨季に閉鎖される区間はない。ほとんどの道路には、浸食 (erosion) が起こりやすい危険な場所の警告板があり、landslide が発生した場合のみ、浸食 (erosion) が発生した部分を一時的に封鎖して道路を確保する。

水稻農耕を支える灌漑施設については、公共の灌漑ダムが Khop、Gio、Xa、HUỖI MẶN、Nà mạt、BO XANH、Phương Mực I、Phương Mực II に、水路が Huoi Teo、Cut、HUỖI MẶN、Nà mạt、BO XANH、Phương Mực I、Phương Mực II に建設されているものの、その他の村については個人で購入・作成した給水管等を利用して水を引いている。

Medical station (診療所) は MGC で唯一 Chiềng Lề village (ID19) に存在し、医師 3 名、看護師・薬剤師 6 名がいる。ドラッグストアは、Khop village (ID1) Gion village (ID2)、Phương Mực I village (ID17) に存在する。

教育施設については、Primary school (小学校) は 19village 中 14village に存在し、Secondary school (中学校) は、Nà mạt、Phương Mực I、Chiềng Lề の 3village に、High school (高等学校) は CHIềng Lề のみに存在する (表 4-2-2-6)。Village を跨いでの通学は、一方で Nuser school への通学で Mac Liu と Bo Xanh の住民が別の village (それぞれ Nà mạt、Chiềng Lề) へ通うという 2 ケースに限定されているが、他方で Primary school、Secondary school、High school への Village を跨いでの通学は、それぞれ 5 ケース、7 ケ

ース、8 ケースと比較的多い。

MGC のほとんどの Village の住民は買い物や商売のために日常的に Chiềng Lề village (ID19) に常設されている MGC 中央市場に通う(表 4-2-2-6)。また、週に 1 度の頻度でフェア(仮設市場)が Mac Liu、Huoi Van、PÁ NGÀ、LÔNG MƯƠNG、Phieng Mut I、Phuong Mựt II、Chiềng Lề において開かれており、village 内および近隣の住民が通っている。その他、日用品は、Khop、Huoi Teo、Hua Xanh、hương Mựt I のように village 内の食料品店で手に入る場合もある。

こうした日常的な目的地に通うために住民が用いる主な移動手段はオートバイ、自転車、徒歩であり、一部の village (Khop、Mac Liu、Pa Nga、HUỖI MẶN) では通学する生徒用にバスを用いている場合も報告されている。

このように買い物、商売、通学、通院のために地元住民は National road No. 279、Provincial road No. 107、Inter-district road、Inter-commune road、Rural road を利用して village 間を頻繁に移動している。

表 4-2-2-5 MGC 全 19village における主要道路の有無

ID	Village	国道	Provincial road	Inter-district road	Inter-commune road	New rural road	図 4-2-3-2 調査地点
1	Khop		✓ (No.107)		✓ (No.107)	✓	✓
2	Gion		✓ (No.107)		✓ (No.107)	✓	✓
3	Huoi Teo				✓	✓	
4	Cut	✓ (No.279)	✓ (No.107)	✓ (No.279)	✓ (No.279)	✓	✓
5	Mac Liu		✓ (No.107)	✓ (No.107)	✓ (No.107)	✓	✓?
6	Xa		✓ (No.107)		✓ (No.107)	✓	
7	Cha Co					✓	
8	Keo Ca						
9	Huoi Van				✓ (No.107)	✓	
10	Huoi Nga			✓ (No.107)	✓ (No.107)	✓	
11	PÁ NGÀ		✓ (No.107)	✓ (No.107)	✓ (No.107)	✓	
12	HUỒI MẶN		✓ (No.107)	✓ (No.107)	✓ (No.107)	✓	
13	LỘNG MƯỜNG				✓ (No.107)		
14	Nà mạt		✓ (No.107)	✓ (No.107)	✓ (No.107)	✓	
15	BO XANH	✓ (No.279)	✓ (No.107)	✓ (No.279)	✓ (No.279)	✓	
16	HUA XANH				✓		
17	Phường Mực I	✓ (No.279)		✓ (No.279)	✓ (No.279)	✓	
18	Phường Mực II	✓ (No.279)		✓ (No.279)	✓ (No.279)	✓	
19	Chiềng Lè	✓ (No.279)	✓ (No.107)	✓ (No.279)	✓ (No.279)		

✓ :あり(道路番号)

4-2-2-6 MGC 全 19village における学校、常設・仮設市場の有無と人々の移動手段

ID	Village	Nursery school	Primary school	Secondary school	High school	Drug store	市場、フェア（仮設市場）等	主な交通手段	目的地に行く際に主に使用されている道路
1	Khop	✓ (3)	✓ (5)			✓	1 日 10 世帯が訪れる食料品店 1 軒 - 住民は週に 1 度 MGC 中央市場へ通う	- バス（生徒用） - オートバイ - 徒歩	National road No. 279 Provincial road No. 107 1 Rural road
2	Gion		(BO XANH へ通う)			✓	人々は週に 1 度 MGC 中央市場へ通う	- オートバイ - 徒歩	National road No. 279 Provincial road No. 107 5 Rural roads
3	Huoi Teo		(Phường Mút II へ通う)				- 日常の買い物のための食料品店が 1 軒 - 住民は週に 1 度 Phiang Mut I のフェアに通う - 住民は週に 1 度 MGC 中央市場に通う	- オートバイ - 徒歩	National road No. 279 Inter-commune road 1 Rural road
4	Cut		✓ (na)				週に約 10 人が MGC 中央市場に通う	- オートバイ - 自転車 - 徒歩	National road No. 279 1 Rural road
5	Mac Liu	(Nà mạt へ通う)	✓ (5)	(Chiềng Lề へ通う)	(Chiềng Lề へ通う)		- 毎週金曜日に約 70 人が Village の中心部（セントラルハウス）でのフェアに参加 - 週に約 30 人が MGC 中央市場に通う	- バス（生徒用） - オートバイ - 徒歩	National road No. 279 Inter-district road 4 Rural roads
6	Xa	✓ (3)	✓ (5)				日常の買い物のためのローカル市場が 1 ヶ所	- オートバイ - 自転車 - 徒歩	National road No. 279 Provincial road No. 107 4 Rural roads

ID	Village	Nursery school	Primary school	Secondary school	High school	Drug store	市場、フェア（仮設市場）等	主な交通手段	目的地に行く際に主に使用されている道路
7	Cha Co	✓ (2)	✓ (1)				住民は週に1度 MGC 中央市場に通う	- 自動車 - オートバイ - 徒歩	National road No. 279 Inter-district road 2 Rural roads
8	Keo Ca	✓ (2)	✓ (5)	(Nà mạt へ通う)	(Chiềng Lề へ通う)		週に約 10 人が MGC 中央市場に通う	- オートバイ - 徒歩	National road No. 279 Inter-district road Inter-commune road Rural road
9	Huoi Van	✓ (1)	✓ (3)				- 毎週日曜日に約 40~50 人が Village の中心部（セントラルハウス）でのフェアに参加 - 住民は週に1度 MGC 中央市場に通う	- オートバイ - 徒歩	National road No. 279 Inter-district road Inter-commune road Rural road
10	Huoi Nga	✓ (4)	✓ (3)	(Nà mạt へ通う)			週に約 7~8 人が MGC 中央市場に通う	- オートバイ - 徒歩	National road No. 279 Inter-district road Inter-commune road Rural road
11	PÁ NGÀ	✓ (1)	✓ (1)	(Chiềng Lề へ通う)	(Chiềng Lề へ通う)		週に約 30~40 人が MGC 中央市場に通う	- バス（生徒用） - オートバイ - 徒歩	National road No. 279 Inter-district road Rural road
12	HUỒI MẶN	✓ (1)	✓ (1) (PÁ NGÀ へ通う)	(Nà mạt へ通う)	(Chiềng Lề へ通う)		- 毎週金曜日に約 100 人が PÁ NGÀ のフェアに通う - 週に約 2~5 人が MGC 中央市場に通う	- バス（生徒用） - オートバイ - 徒歩	National road No. 279 Inter-district road Rural roads

ID	Village	Nursery school	Primary school	Secondary school	High school	Drug store	市場、フェア（仮設市場）等	主な交通手段	目的地に行く際に主に使用されている道路
13	LỘNG MƯỜNG	✓ (2)	✓ (2) (Mac Liu へ通う)	(Chiềng Lề へ通う)	(Chiềng Lề へ通う)		- 週に約 5~6 人が village 内の nursery school に集まり売買する - 週に約 70 人が MGC 中央市場に通う	- オートバイ - 徒歩	National road No. 279 Inter-district road Inter-commune road Rural road
14	Nà mạt	✓ (na)	✓ (na)	✓ (na)	(Chiềng Lề へ通う)		週に約 20~30 人が MGC 中央市場に通う	- オートバイ - 徒歩	National road No. 279 Inter-district road Rural roads
15	BO XANH	✓ (2) Chiềng Lề へ通う)	✓ (na)	Chiềng Lề へ通う)	Chiềng Lề へ通う)		週に約 150~180 人が MGC 中央市場に通う	- オートバイ - 自転車 - 徒歩	National road No. 279 Provincial road No. 107
16	HUA XANH	✓ (na)	?				1 日約 3~4 人が訪れる食料品店 1 軒	- オートバイ - 徒歩	National road No. 279 Inter-commune road Rural road
17	Phường Mẹt I	✓ (na)	(Phường Mẹt II へ通う)	✓ (na)	Chiềng Lề へ通う)	✓	1 日約 3~4 人が訪れる食料品店 1 軒 - 毎週金曜日に約 160 人が village 内のフェアに通う - 週に約 30 人が MGC 中央市場に通う	- オートバイ - 自転車 - 徒歩	National road No. 279 Inter-commune road 2 Rural roads
18	Phường Mẹt II		✓ (na)				- 毎週金曜日に約 200 人が village 内のフェアに通う - 週に約 100 人が MGC 中央市場に通う	- オートバイ - 徒歩	National road No. 279 Inter-commune road Rural road
19	Chiềng Lề	✓ (na)	✓ (na)	✓ (na)	✓ (na)		- 毎週土曜日に village 内でフェアが開催 - MGC 中央市場が常設	- オートバイ - 徒歩	National road No. 279 Provincial road No. 107

✓:あり(教室数)、na:データなし

(6) 社会経済状況のまとめ

Muong Gion Comune 内にある全 19 village を対象とした文献調査やインタビュー等によって、village ごとの人口、主な生計手段、土地利用とその変化、近年の災害の種類と被災内容、インフラについて情報収集した。

全 19 village の人口の中央値が 553 人だが、人口が最も多い village は Xa 及び Bo Xanh で共に 1,283 人、最も少ない village は Huoi Teo で 152 人と、village ごとの人口にはばらつきがあった。Village における住民の主要収入源は、Chiềng Lề village を除き、農作物生産および家畜生産であり、平均年収は 1000 米ドル前後である。

森林被覆率は 0.4%~88%とばらつきがあるが、森林面積についてはほぼすべての village の住民は拡大したと認識している。拡大理由は JICA の持続可能な自然資源管理プロジェクト(SNRM)やベトナム政府の 661 プログラムなどの village 外部からの植林や Assisted Natural Regeneration (自然再生補助)の働きかけ、そして Payments for Forest Environmental Services (森林環境サービスに対する支払い)制度を通じた地元住民の意識向上と責任の強化による違法伐採や農地転用の抑制によるものと考えられた。

MGC の全 19 village において住民が認識した治山技術の関連の深い災害経験は Flood (洪水)、Flash flood (フラッシュフラッド)、Landslide (斜面崩壊)であり、これら 3 種の災害のうち Flash flood の報告が 19 village 中 10 village と最も多かった。これら 3 災害による village での主な被災内容は、水田、畑、居住地、道路の破壊とそれに伴う修復費用や交通渋滞の発生、森林の消失等であった。

地元住民は買い物、商売、通学、通院のために National road No. 279、Provincial road No. 107、Inter-district road、Inter-commune road、Rural road を利用して village 間を頻繁に移動している。住民が用いる主な移動手段はオートバイ、自転車、徒歩であり、一部の village では通学する生徒用にバスを用いている場合もあった。

引用文献

- Pham, T.T., Bennett, K., Vu, T.P., Brunner, J., Le, N.D., Nguyen, D.T., 2013. Payments for forest environmental services in Vietnam : from policy to practice, Payments for forest environmental services in Vietnam : from policy to practice. Bogor. <https://doi.org/10.17528/cifor/004247>
- Sunderlin, W.D., 2006. Poverty alleviation through community forestry in Cambodia, Laos, and Vietnam: An assessment of the potential. For. Policy Econ. 8, 386–396. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2005.08.008>

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、これまでに取得したベトナム国におけるリモートセンシングデータ、地形 (DEM)、地質情報、および斜面崩壊、林地荒廃に関する現地情報、および開発した広域でデータ取得される衛星画像を時系列解析および機械学習モデルにより推定した森林撓乱と土地利用変化を基に、対象地域において斜面崩壊に対するリスクマップを試作した。

4.3.2 調査（解析）対象地

調査(解析)対象としたのは、Yen Bai 省北西部の Mu Chang Chai District の Kim Noi 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)、および、Son La 省北東部の Quynh Nhai District の Muong Gion Commune(図 4-3-2-1 の B の範囲)である。Mu Chang Chai District (Kim Noi Commune)では 2017 年の豪雨により、多数の表層崩壊が発生していることが GoogleMap の衛星画像より確認されている(図 4-3-2-2)。Muong Gion Commune はカウンターパート(CP)であるベトナム森林科学アカデミー (VAFS)との共同試験地であり、2013 年の豪雨により多数の崩壊が発生したことが、Google Earth pro の時系列の衛星画像より確認されている。



図 4-3-2-1 解析範囲の位置

- A: Mu Chang Chai District (KimNoi Commune ほか)
 B: Quynh Nhai District (Muong Gion Commune)



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

4.3.3 使用データ

リスクマップを作成するにあたり、各調査地で使用したデータは以下のとおりである。

4.3.3.1 Mu Chang Chai District (KimNoi Commune ほか)

(1) 崩壊地の判読

Mu Chang Chai District (KimNoi Commune ほか) では Google MAP の衛星画像より QGIS を用いて 2017 年の豪雨にともなう崩壊発生個所を目視判読で特定し、ポリゴンデータとして抽出したものを使用した(図 4-3-3-1)。抽出した崩壊地は 2000 か所以上である。崩壊地のほとんどは表層崩壊であることが、現地調査から確認された(図 4-3-3-2)。

(2) DEM

DEM は CP より提供された ALOS DEM を使用した。解像度は 12.5m である。DEM より、傾斜、方位を算出し、標高データとともに解析に利用した。また、CS 立体図^{*}および等高線図を作成し(図 4-3-3-3)、判読した崩壊地の地形状況についても把握した。

(3) 土地利用

本調査地の土地利用状況については、Google MAP の衛星画像より QGIS を用いて土地利用(森林、若齢林、棚田、草地、集落等)を目視判読で特定・分類し、ポリゴンデータとして作成したものを使用した(図 4-3-3-4)。本調査地では棚田が放棄され植林、あるいは自然侵入により森林化したと判断される斜面が多数認められることから、これについてはとくに「棚田跡」として区分した(図 4-3-3-5)。

(4) 地質情報

地質情報は CP より提供を受けた 20 万分の一地質図のポリゴンデータを使用した(図 4-3-3-6)。本調査地の大部分は中生代(白亜紀)の火成岩(流紋岩)である。現地での露頭観察から、多くの場所では風化が進んでいることが確認された(図 4-3-3-7)。

(5) 道路

本調査地の道路情報については、Google MAP の衛星画像より QGIS を用いて目視判読で特定し、ポリラインデータとして作成し、使用した(図 4-3-3-8)。なお、現地調査から、判読した道路の多くは車の移動は困難な道であったが、現地民はバイクで通行を行っていた(図 4-3-3-9)。

^{*}CS マップとは DEM(標高図)より傾斜(Slope)図と曲率(Curvature)図を作成し、それぞれ

彩色して透過させることにより、地形を立体的に表現した図。尾根筋が暖色、谷筋が寒色、急傾斜および低標高が暗色、緩傾斜および高標高が明色で表現されている。

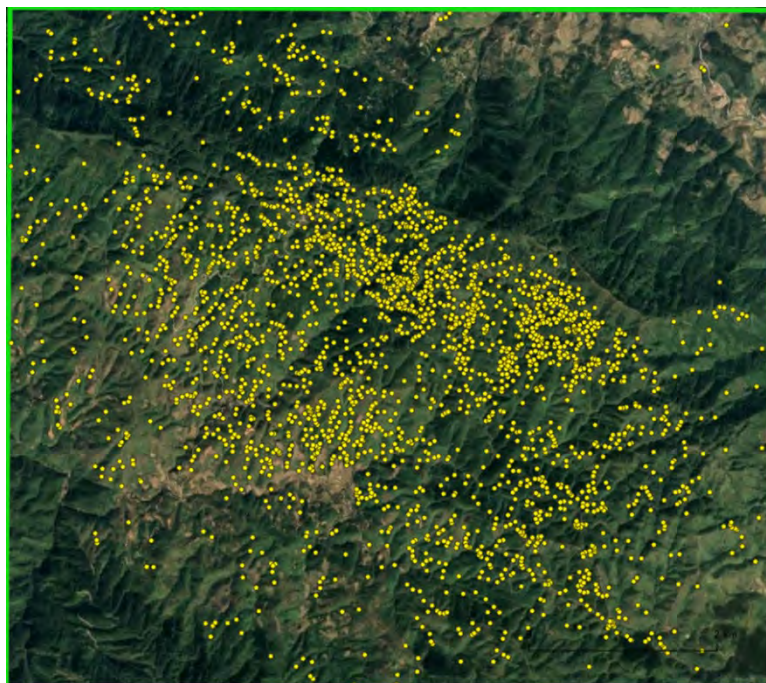


図 4-3-3-1 Mu Chang Chai District (Kim Noi Commune ほか) の解析範囲および範囲内で発生した崩壊

崩壊地(黄色ポイントシェープ)は GoogleMap の衛星画像より目視判読した。



図 4-3-3-2 Mu Chang Chai District (Kim Noi Commune ほか) で現地調査の際に確認した崩壊 2023 年 2 月 26 日撮影

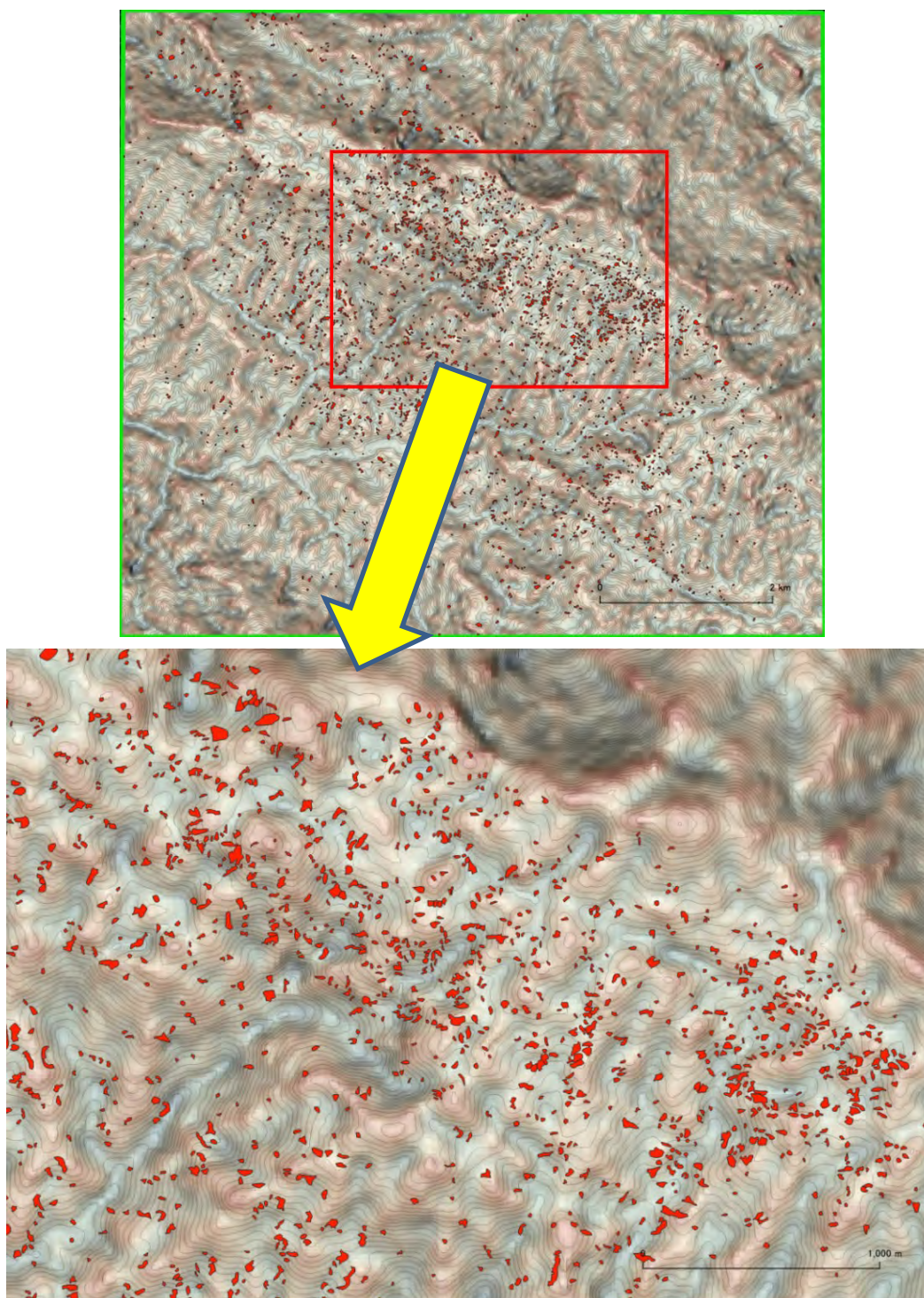


図 4-3-3-3 Mu Chang Chai District (KimNoi Commune ほか) の CS 立体図および、等高線図 (10m)

下の図は上図の赤枠の範囲の拡大図。赤いポリゴンは判読した崩壊地を示す。

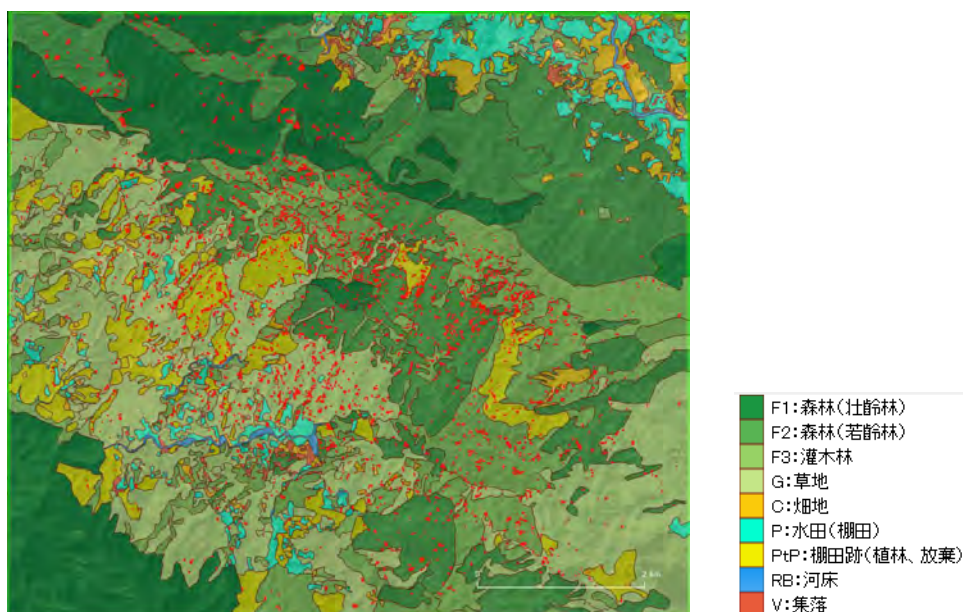


図 4-3-3-4 Mu Chang Chai District (KimNoi Commune ほか) の土地利用の判読結果

Google MAP の衛星画像より QGIS を用いて土地利用(森林(壮齡林)、森林(若齡林)、灌木林、草地、畑、棚田、棚田跡(植林あるいは放棄)、集落等)を目視判読で特定・分類し、ポリゴンデータとして作成した。赤いポリゴンは判読した崩壊地を示す。



図 4-3-3-5 Mu Chang Chai District (KimNoi Commune ほか) の崩壊地および棚田跡(写真赤枠の範囲)

対象地域では棚田や畑地(草地)として利用後、放棄あるいは植林したと思われる場所が多く認められた。2023 年 2 月 26 日撮影

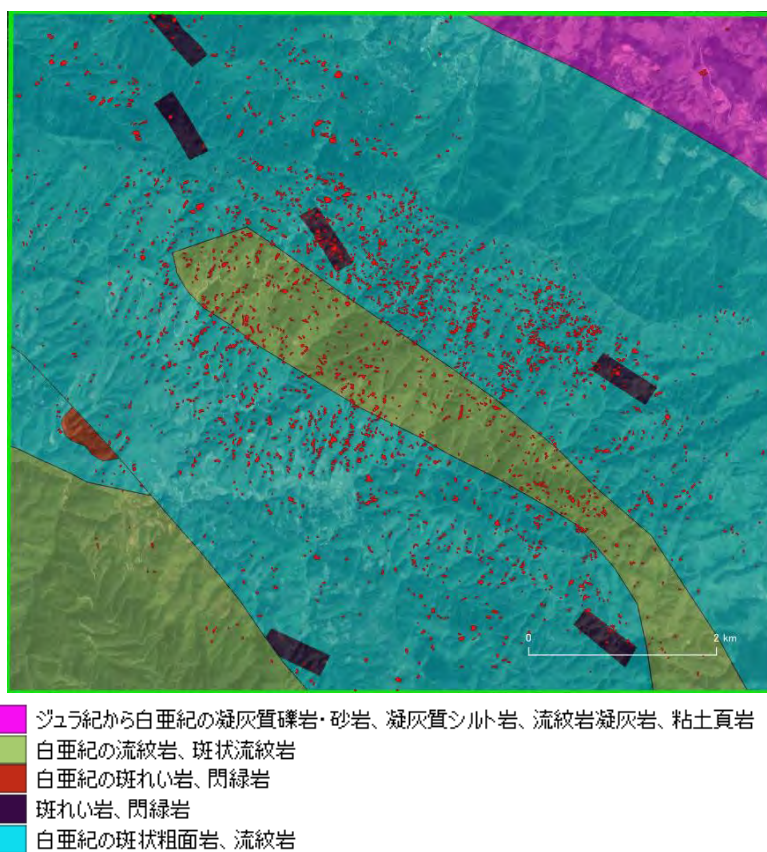


図 4-3-3-6 Mu Chang Chai District (KimNoi Commune ほか) の地質図

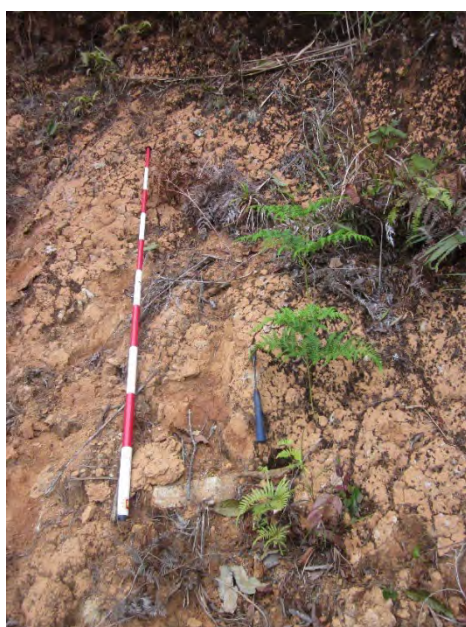


図 4-3-3-7 Mu Chang Chai District (KimNoi Commune ほか) の崩壊地(露頭)の状況

地質は白亜紀の流紋岩であるが、風化が進んでいた。

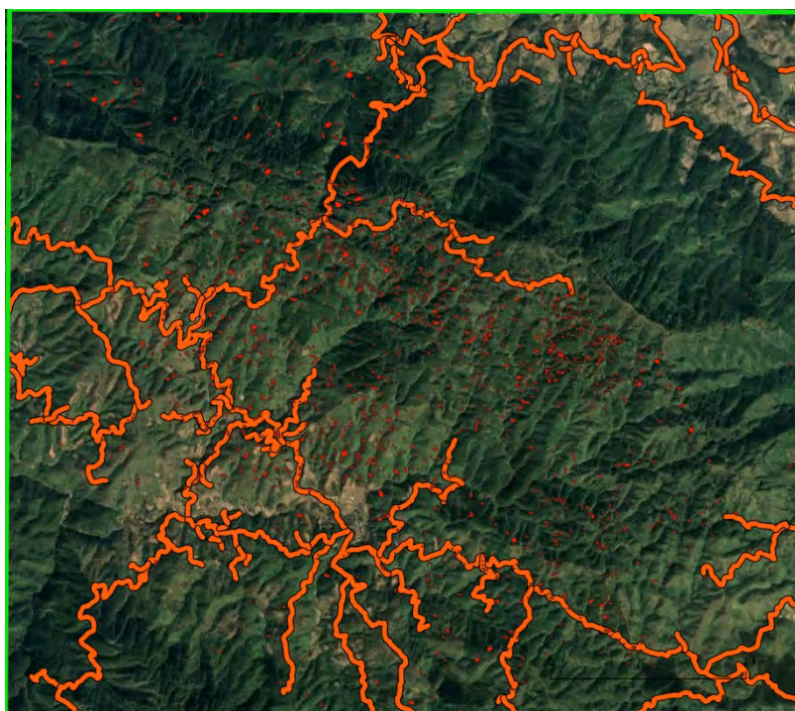


図 4-3-3-8 Mu Chang Chai District (KimNoi Commune ほか)の道路位置

Google MAP の衛星画像より QGIS を用いて目視判読で特定し、ポリラインデータとして作成した。



図 4-3-3-9 Mu Chang Chai District (KimNoi Commune ほか)の現地で確認した道路

道幅は 1m 程度であるが、現地の人間はバイクで通行していた。2023 年 2 月 17 日撮影

4.3.3.2 Muong Gion Commune

(1) 崩壊地の判読

Muong Gion Commune では Google Earth pro の 2013 年の衛星画像より崩壊発生箇所を目視判読で特定し、ポリゴンデータとして抽出した崩壊地は約 400 か所である(図 4-3-3-10)。崩壊地のほとんどは崩壊幅が 10m 以下と Mu Cang Chai District (Kim Noi Commune ほか) に比べると小さい。また、崩壊地の多くは最近の衛星画像では植生に覆われ、判読ができない状況であった。

(2) DEM

DEM は CP より提供された ALOS DEM を使用した。解像度は 12.5m である。DEM より、傾斜、方位を算出し、標高データとともに解析に利用した。また、CS 立体図および等高線図を作成し(図 4-3-3-11)、判読した崩壊地の地形状況についても把握した。

(3) 土地利用

本調査地の土地利用状況については、Shimizu et al.(2023)の成果である衛星データから抽出した土地利用の分類とその変遷(森林攪乱の有無)結果を利用した(図 4-3-3-12 および図 4-3-3-13)。森林域については 2013 年以前に攪乱を受けた森林と攪乱を受けていない森林(2013 年より後に攪乱を受けた森林も含む)に区分して解析を行った(図 4-3-3-13)。

(4) 地質情報

地質情報は CP より提供を受けた 20 万分の一地質図のポリゴンデータを使用した(図 4-3-3-14)。本調査地の大部分は中生代の堆積岩(砂岩、泥岩)であり、北西部はチャートが分布する。なお、本調査地では断層あるいは地質境界が多く分布することから、これらについても崩壊要因として、検討することとした(図 4-3-3-15)。

(5) 道路

本調査地の道路情報については、CP より提供されたポリラインデータを使用した(図 4-3-3-16)。

引用文献

Katusto Shimizu, Wataru Murakami, Takahisa Furuichi, Ronald C. Estoque (2023) Mapping Land Use/Land Cover Changes and Forest Disturbances in Vietnam Using a Landsat Temporal Segmentation Algorithm., Remote

Sensing、15:851、2072-4292.

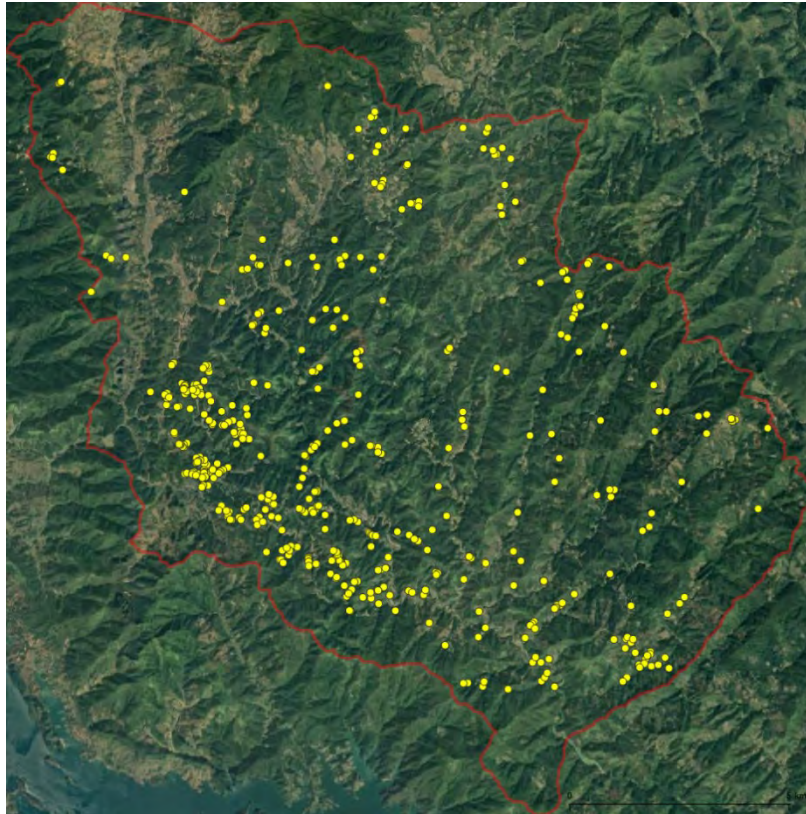


図 4-3-3-10 Muong Gion Commune の解析範囲および範囲内で発生した崩壊

崩壊地(黄色ポイントシェープ)は Google Earth pro の 2013 年の衛星画像より目視判読した。

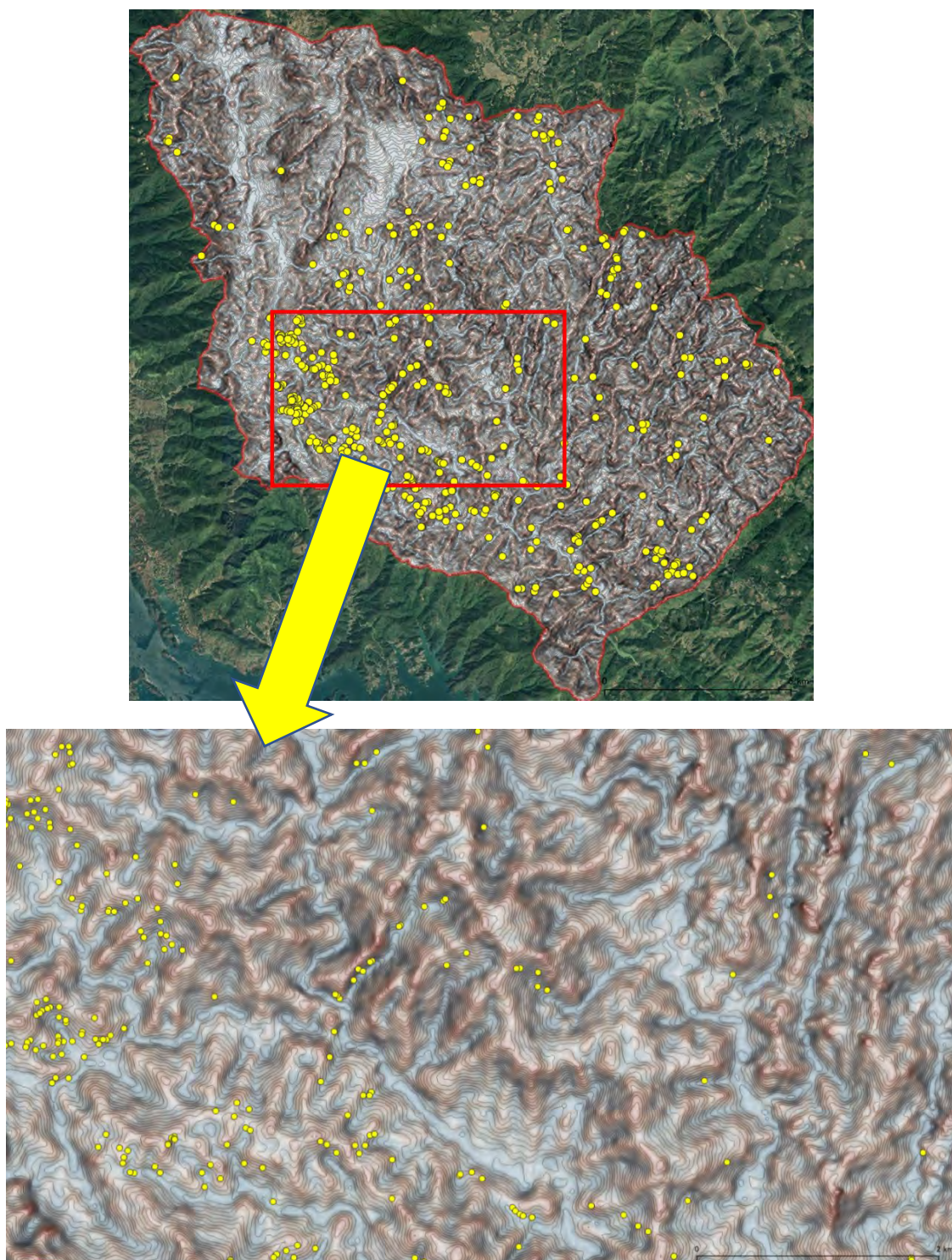


図 4-3-3-11 Muong Gion Commune の CS 立体図および、等高線図(10m)

下の図は上図の赤枠の範囲の拡大図。黄色いポイントは判読した 2013 年に発生した崩壊地を示す。

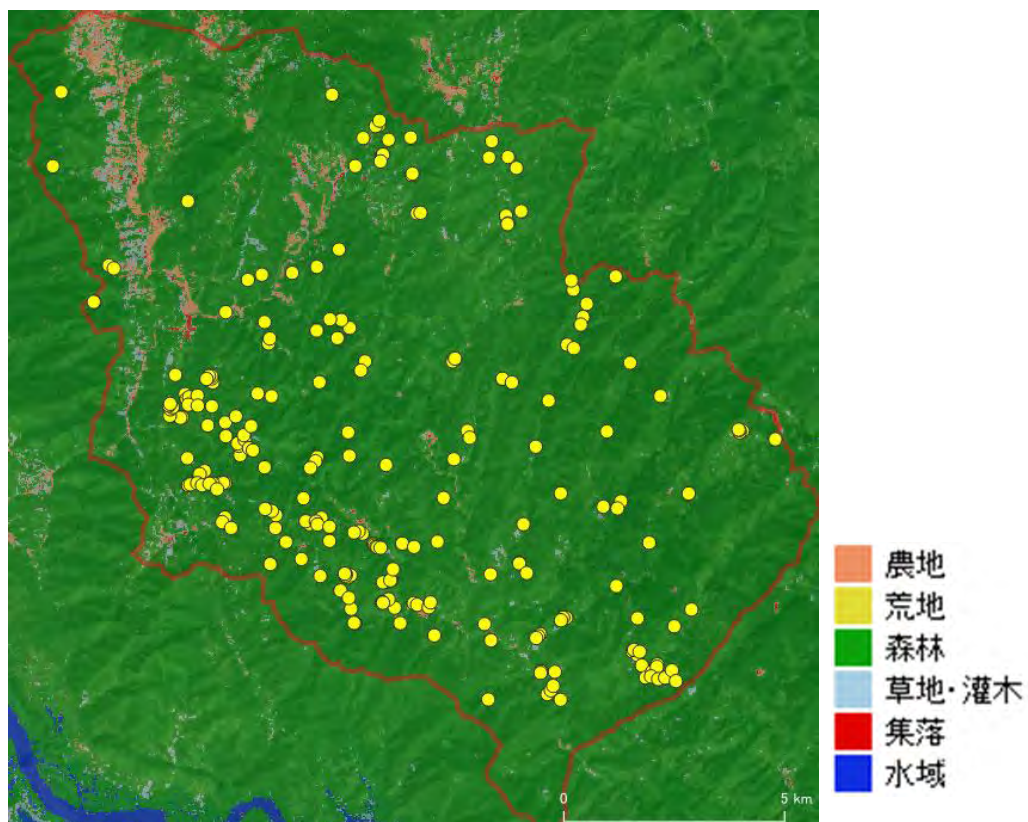


図 4-3-3-12 衛星データから抽出した Muong Gion Commune の土地利用の分類(2013 年時点)結果

黄色いポイントは判読した 2013 年に発生した崩壊地を示す。

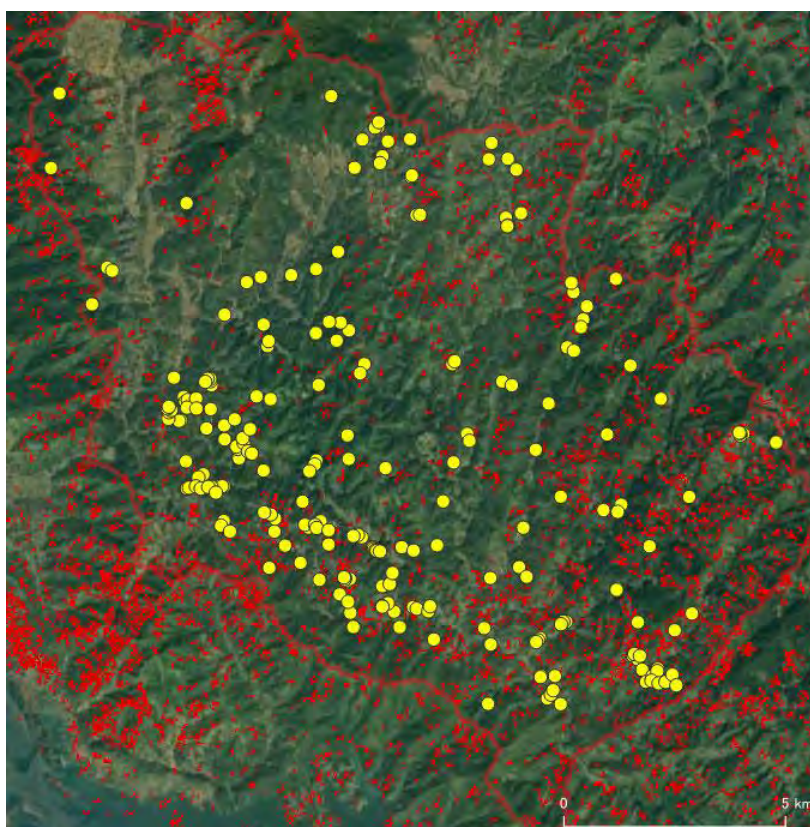
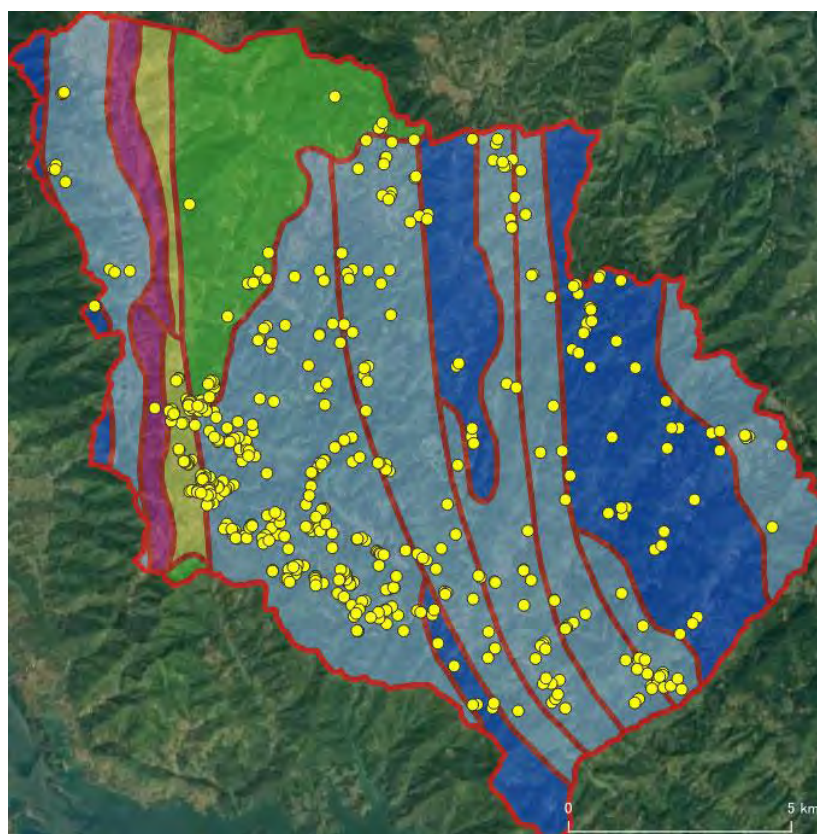


図 4-3-3-13 衛星データから抽出した Muong Gion Commune の 2013 年までの森林攪乱範囲(赤く示した範囲)

黄色いポイントは判読した 2013 年に発生した崩壊地を示す。森林攪乱は 2013 年以前に攪乱を受けた森林と攪乱を受けていない森林(2013 年より後に攪乱を受けた森林も含む)に区分して解析をおこなった。



- 白亜紀の砂岩、石英、まれに石灰岩、礫岩、砂岩、シルト岩からなる小石を含む礫岩
- 三畳紀の一部凝灰岩と混在している砂岩、シルト岩、石灰質シルト岩、粘土岩
- 三畳紀の石灰岩、泥灰岩、薄灰色の多孔質石灰岩
- 三畳紀のシルト岩、砂岩、粘板岩
- 三畳紀の黒色粘板岩、シルト岩、砂岩

図 4-3-3-14 Muong Gion Commune の地質図(1/20 万)

対象地域には地質境界や断層が多く分布することから、それらも解析に使用した。黄色いポイントは判読した 2013 年に発生した崩壊地を示す。



図 4-3-3-15 Muong Gion Commune の露頭観察で認められた地質境界(断層)

赤矢印のところが境界となっており、左右で地質が異なっていた。赤矢印の境界は水路となっており、調査時には水流も認められた。

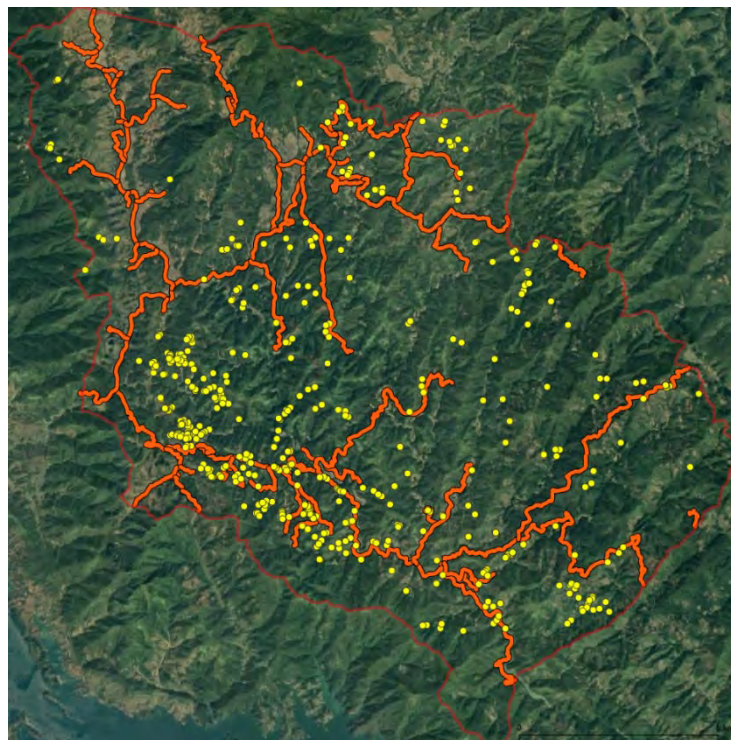


図 4-3-3-16 Muong Gion Commune の道路の分布

4.3.4 解析方法

4.3.3 において記述した各データについては、それぞれの解析範囲に 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、道路等)を集計することでデータセットを作成し、解析に使用した(図 4-3-4-1)。リスク評価に際しては、影響すると判断された要因がどの程度、重要であるか検討しておく必要があるため、崩壊に対する各要因の重要度を機械学習(決定木およびランダムフォレスト)の教師なし分類で推定した。評価結果のマップ化には、R のランダムフォレスト(RF)を利用した。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。

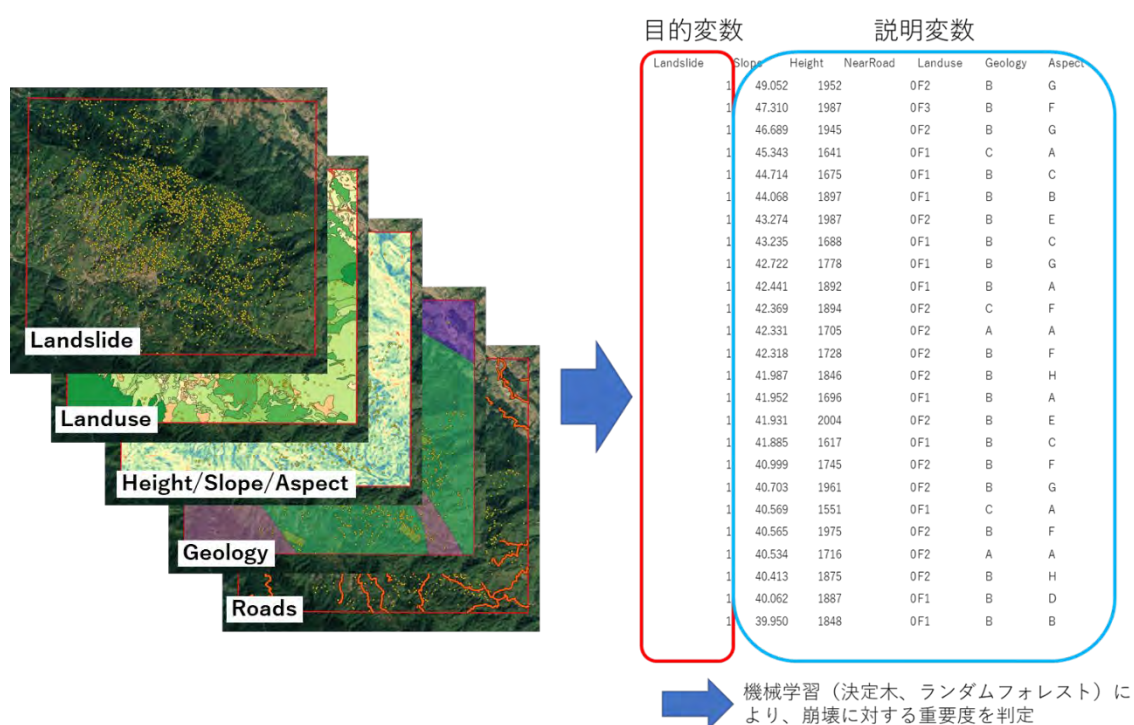


図 4-3-4-1 判読した崩壊箇所および利用した要因項目(左図)。

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)を集計し、データセットを作成し、解析に使用した(右表)。

4.3.5 解析結果および作成したリスクマップ

4.3.5.1 Mu Chang Chai District (KimNoi Commune ほか) におけるリスク評価結果および作成したリスクマップ

Mu Chang Chai District (KimNoi Commune ほか)における崩壊に対する各要因の重要度を機械学習(決定木およびランダムフォレスト)の教師なし分類で推定した結果を図 4-3-5-1 に示す。決定木やランダムフォレストといった機械学習では使用するデータセットの項目や解析の際の設定項目により結果が変わってくる。このため、結果の取り扱いには注意が必要であり、これらを基にしてリスク評価を行う際には、このことに留意する必要がある。一方で、それぞれの結果において、ある程度の傾向が認められる場合には、概ね信頼性が認められるものとする。今回の結果においては標高や傾斜といった地形要因が崩壊要因として上位にくる一方で、若齢林といった土地利用によって生じた若齢林の斜面も崩壊において重要な要因であることが示唆され、土地利用(森林管理)を考慮したリスク評価の必要性が示唆された。

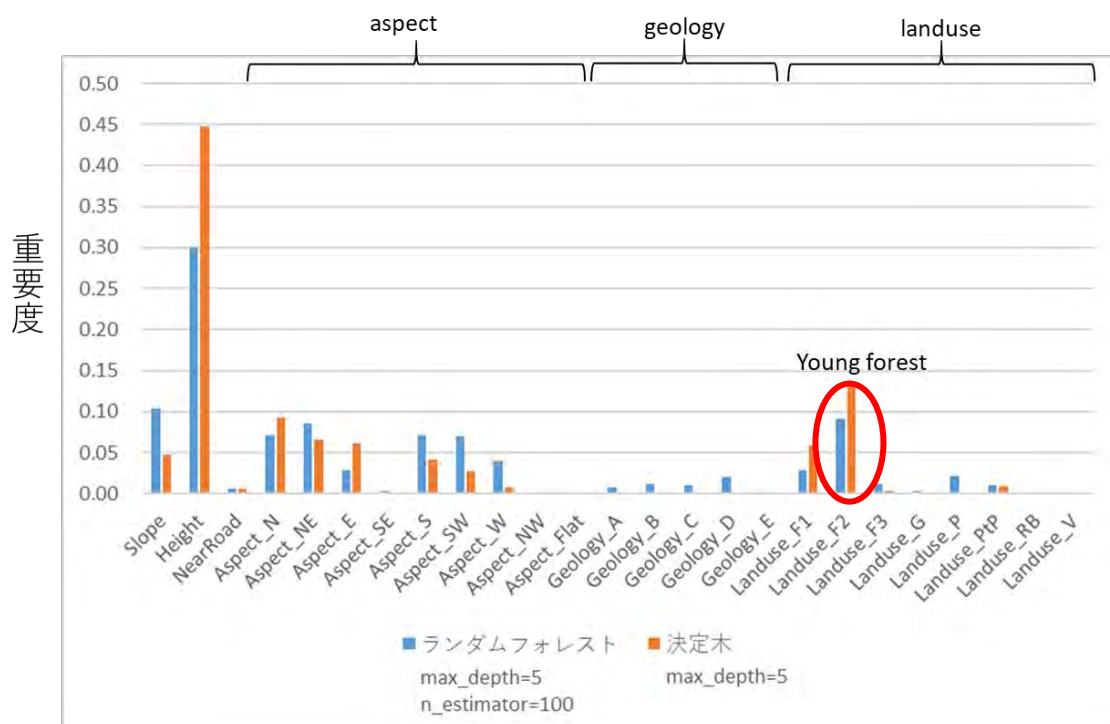


図 4-3-5-1 崩壊に対する各要因(変数)の重要度。

Landuse(土地利用)は GoogleMap を目視判読し、F1: 森林(壮齢林)、F2: 森林(若齢林)、F3: 灌木、G: 草地、畑、P: 水田(棚田)、PtP: 棚田に植林、RB: 河床、V: 村落に区分したものを使用した。今回の解析では、F2: 森林(若齢林: 赤枹)の斜面が決定木では 2 番目、ランダムフォレストでは 3 番目に崩壊の発生要因として重要となった。

評価結果をマップ化するにあたっては、データセットをトレーニングデータとテストデータに分割し、ランダムフォレストにより教師あり分類を行って、作成したモデルよりマップ化した。出力結果を図 4-3-5-2 に示す。図 4-3-5-3 は教師付き分類によって算出された崩壊に対する各要因の重要度である。本解析では、標高、傾斜といった地形要因が崩壊に対する要因として

重要であることは教師なし分類と同じ傾向を示すが、次に棚田跡(植林あるいは放棄)の重要性が高い結果となった。また、若齢林や灌木と区別した範囲でも重要性が相対的に高いが、壮齢林は重要度が低い、つまり崩壊に対して一定の抑制効果を持つ可能性が示唆された。

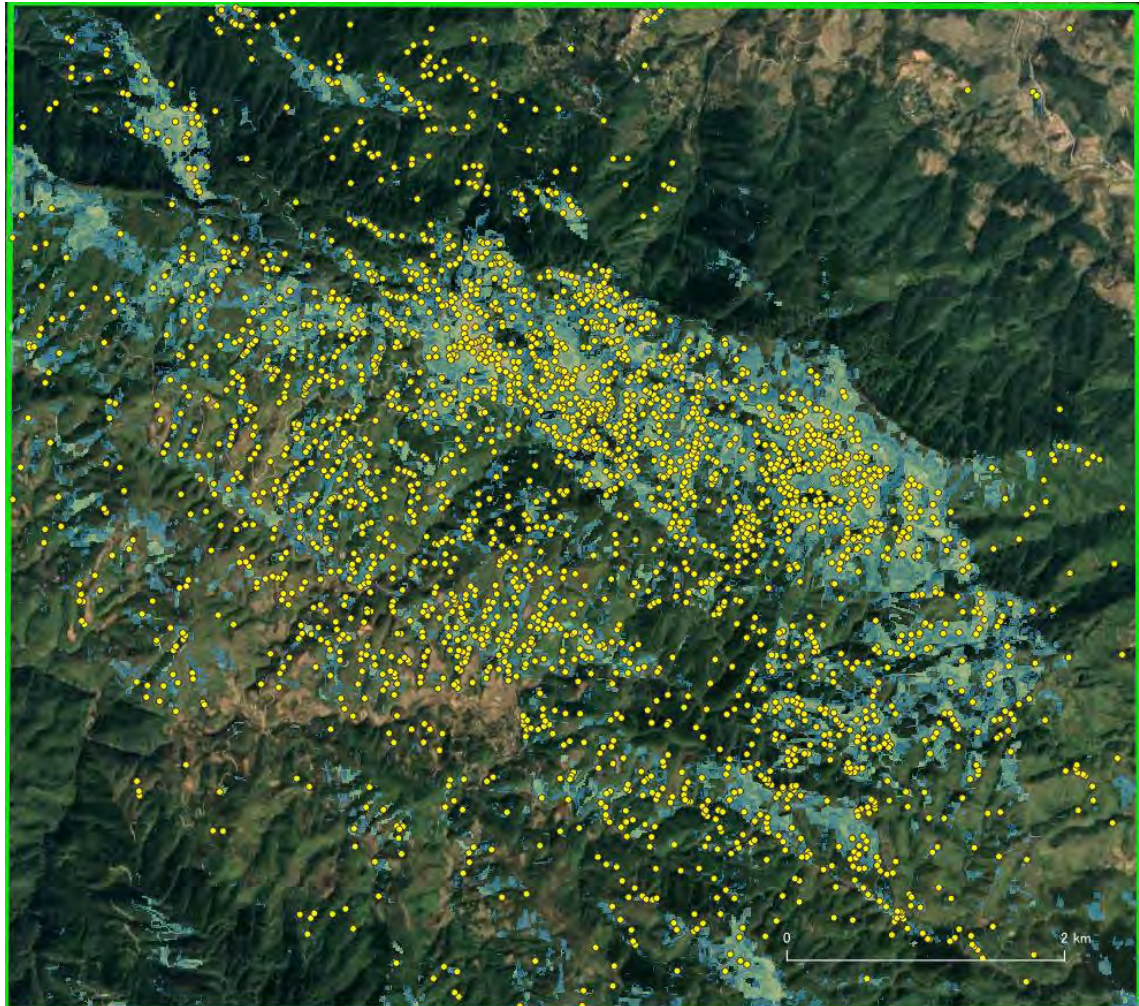


図 4-3-5-2 ランダムフォレスト(教師付き学習モデル)から作成した Mu Cang Chai District (Kim Noi Commune ほか)のリスクマップ。

暖色の範囲が相対的に崩壊のリスクが高い範囲(黄色のポイントは実際の崩壊地)

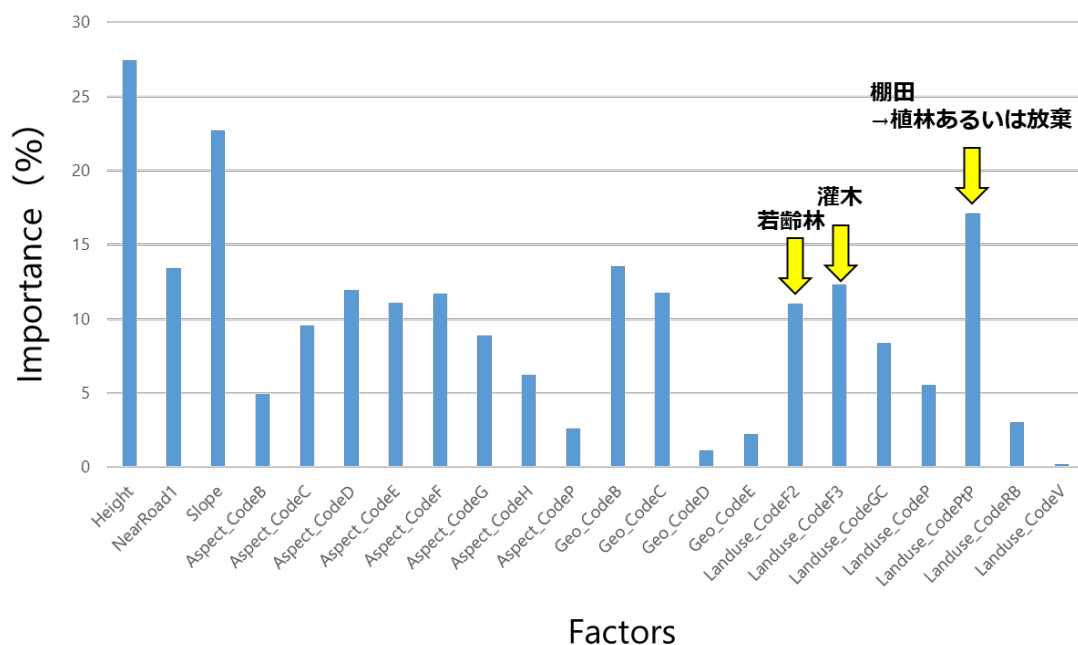


図 4-3-5-3 ランダムフォレスト(教師付き学習モデル)から作成した Mu Cang Chai District (Kim Noi Commune ほか)での崩壊に対する各要因の重要度

標高、傾斜といった地形要因の次に棚田跡(植林あるいは放棄)の重要性が高い結果となった。若齢林や灌木と区別した範囲でも重要性が相対的に高いが、壮齢林は重要度が低い、つまり崩壊に対して一定の抑制効果を持つ可能性が示唆された。

4.3.5.2 Muong Gion Commune におけるリスク評価結果および作成したリスクマップ

Muong Gion Commue における崩壊に対する各要因の重要度を機械学習(決定木およびランダムフォレスト)の教師なし分類で推定した結果を図 4-3-5-4 に示す。本地域においては、標高、傾斜、方位(南東、南向き斜面)といった地形要因のほか、道路の近傍、地質(三畳紀:堆積岩類)、断層・地質境界の重要性が高いという結果となった。土地利用の影響については、攪乱を受けた森林で若干の重要度があるものの、Mu Cang Chai District (Kim Noi Commune ほか)に比べると、崩壊に対する重要度が低いという結果になった。

ランダムフォレスト(教師付き学習モデル)から算出した Muong Gion Commue における崩壊に対するリスクの出力結果、および崩壊に対する各要因の重要度を図 4-3-5-5 および図 4-3-5-6 に示す。こちらについても、標高、傾斜といった地形要因のほか、道路の近傍、方位(南東向き斜面)、地質(三畳紀:堆積岩類)、断層、地質境界の重要性が高いという結果となった。その一方で、土地利用の影響については、重要度が低いという結果になった。

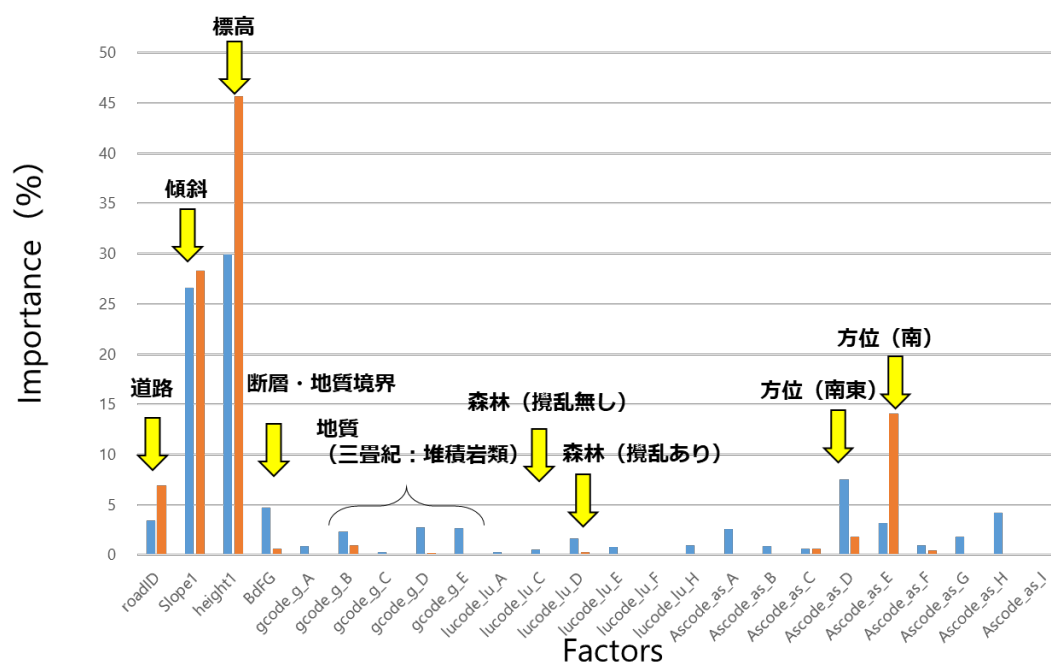


図 4-3-5-4 ランダムフォレスト(青:n=50 depth=6)および決定木(橙:depth=6)(教師なし学習モデル)から算出した Muong Gion Commune の崩壊に対する各要因の重要度

標高、傾斜、方位(南東、南向き斜面)といった地形要因のほか、道路の近傍、地質(三疊紀:堆積岩類)、断層・地質境界の重要性が高いという結果となった。土地利用の影響については、攪乱を受けた森林で若干の重要度があるものの、Mu Cang Chai District (Kim Noi Commune ほか)に比べると、崩壊に対する重要度が低いという結果になった。

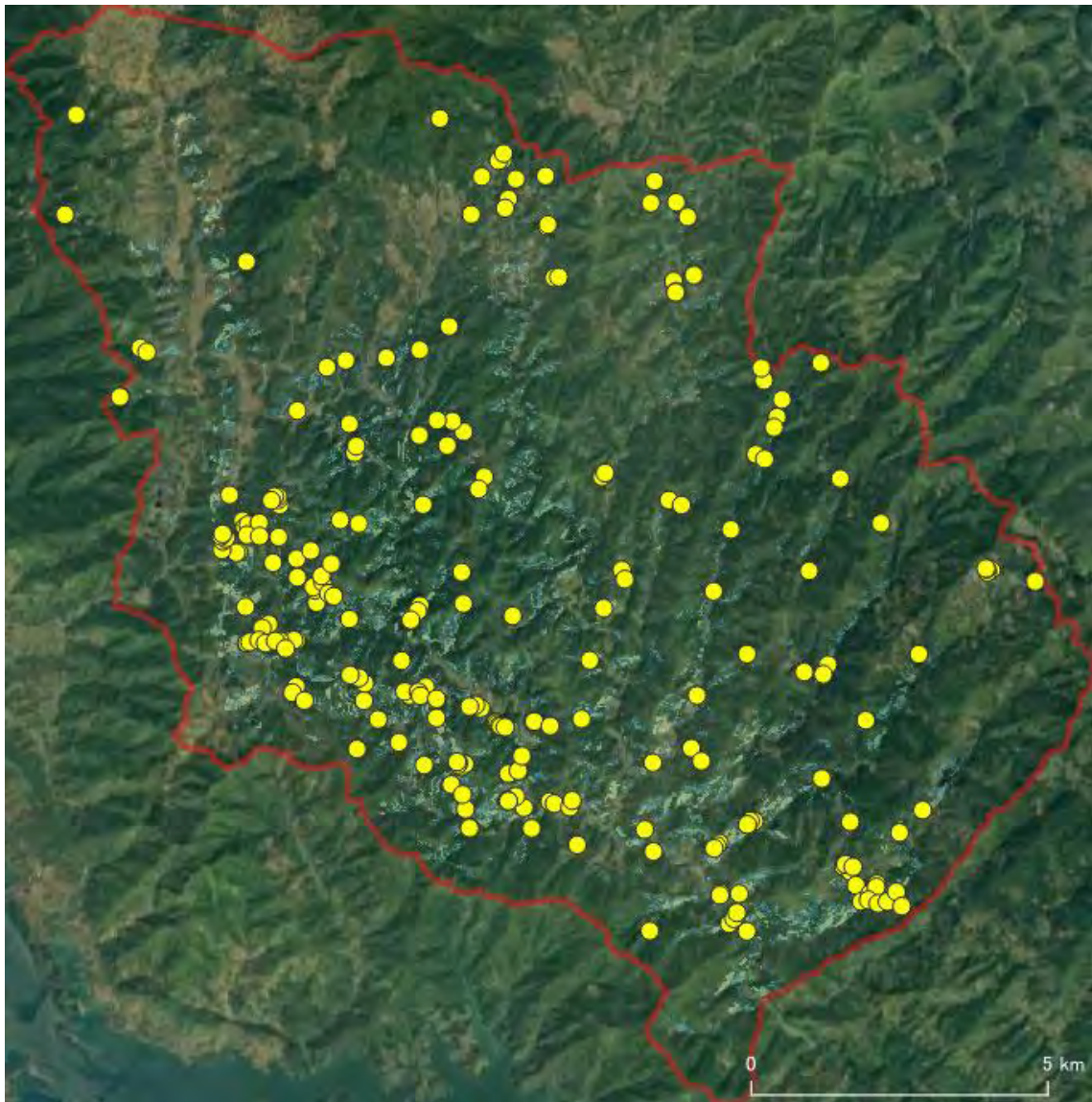


図 4-3-5-5 ランダムフォレスト(教師付き学習モデル)から作成した Muong Gion Commune のリスクマップ。

暖色の範囲が相対的に崩壊のリスクが高い範囲(黄色のポイントは実際の崩壊地)

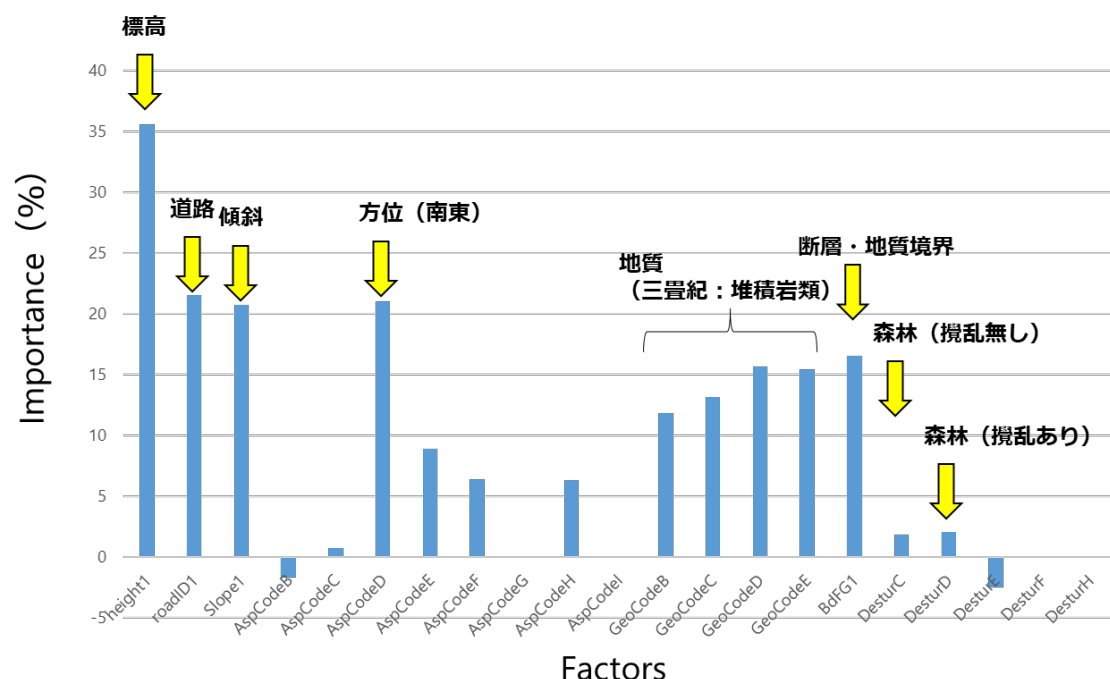


図 4-3-5-6 ランダムフォレスト(教師付き学習モデル)から算出した Muong Gion Commune の崩壊に対する各要因の重要度

標高、傾斜といった地形要因のほか、道路の近傍、方位(南東向き斜面)、地質(三疊紀:堆積岩類)、断層、地質境界の重要性が高いという結果となった。土地利用の影響については、重要度が低いという結果になった。

4.3.6 残された問題点と課題

今回行ったリスク評価は、入手し、整備したデータセットに基づくものである。前述するとおり、決定木やランダムフォレストといった機械学習では使用するデータセットの項目や解析の際の設定項目により結果が変わってくるため、結果の取り扱いには注意が必要であり、これらを基にしてリスク評価を行う際には、使用したデータの解像度等も含め、実際に現地で適応できるかどうかについて留意しながら、検証、改善していく必要がある。その上で、今後、改善できるかどうか、少なくとも現地での使用に耐えうるものとするには何を改善する必要があるか、その場合にはどのようなデータを整備しておく必要があるか等を、昨年までに開発した崩壊地の自動抽出ツール、土地利用区分および森林攪乱分布を把握する手法による解析結果を利用した場合の適応の可否、およびそれらの改善方法を含めて検討する必要があると考える。

今回の解析では、Mu Cang Chai District (Kim Noi Commune ほか)では土地利用、とくに若齢林あるいは棚田跡(植林あるいは放棄)が斜面崩壊に対して重要な要因であることが推察されたが、Muong Gion Commune では土地利用(森林の攪乱)は重要な要因とならず、

むしろ道路や地質境界が相対的に重要な要因としてあがる結果となった。これについては利用した土地利用の判読結果が Mu Cang Chai District (Kim Noi Commune ほか)では衛星画像を目視判読した結果なのに対して、Muong Gion Commune では機械学習を基にした判定結果を利用している点が、結果が異なった可能性として挙げられる。その一方で、実際の土地利用の形態の違いが、本結果に影響を与えている可能性も考えられる。Mu Cang Chai District (Kim Noi Commune ほか)では、多くの斜面に棚田が形成され、利用されていた。現在、森林となっている場所も過去には棚田であったところも多いという特徴が現地調査から、認められた(図 4-3-6-1)。一方で、Muong Gion Commune での水田の多くは河川近傍あるいは扇状地といった比較的傾斜が緩やかな場所にのみ形成され、斜面は焼き畑(現在は規制されている)や燃料や建材となる樹木の伐採利用が主な利用となっていた(図 4-3-6-2)。このような斜面に対する利用形態の違いが、斜面崩壊に対して影響を与えた可能性がある。これについては、リスクマップを実用化に向けて検証、改善する上で、重要な今後の検討要因であると考えている。

また、行ったリスク評価およびそれに基づいて作成したリスクマップが現地のニーズに即さない可能性もある。これを回避するためには、現地の災害に対する意識を把握し、現地の社会、経済条件とのバランスを考慮しながら、現地において最良のものを提示する必要があると考える。これについては現地調査を行っている研究者、およびカウンターパートとの意見交換等を通して、実施していくことが必要であると考えます。



図 4-3-6-1 Mu Cang Chai District (Kim Noi Commune ほか)で見られる棚田。



図 4-3-6-2 Muong Gion Commune での斜面での土地利用。

焼き畑(現在は規制されている)などでの利用が主体となっている。

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や亜熱帯地域の沿岸部汽水域に生育する森林生態系で、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、防風や防潮、波浪に対する侵食防止などの沿岸部における防災・減災機能の発揮に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、熱帯・亜熱帯沿岸域の潮間帯に分布するマングローブは、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・波力減衰など沿岸域の防災・減災を担ってきた(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たとされ、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侵食防止や、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、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)。

その反面で、マングローブ生育適地の特殊性から、胎生種子の定着や植栽した実生の活着が阻害され、植林後の生育が良好でなかった事例も多々報告されている(International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies 2011a, b など)。これは、どのようなエリアにどのような樹種を植栽して回復させるのがよいのかというマングローブの「適地適木」に関する知見が不足していることに起因している。こうした背景から、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、沿岸生態系における気候変動の緩和・適応策の鍵となるマングローブ林の機能の評価とともに、これまでのマングローブ林の修復植林活動実績を整理し、マングローブ林の保全や修復に関する技術的指針の提示が急務となっている。

4.4.2 マングローブによる防災・減災機能～「波力減衰」に関する既往研究レビューより

既述のように、マングローブは沿岸域で波を弱め、高潮等の災害リスクを減らすと、一般的に認知はされている状況だが、実際のところ、マングローブが波を弱めるメカニズムや具体的な軽減効果などは未解明な点が多い。とはいえ、マングローブの防災・減災に関するこれまでの研究においては、津波や台風、高潮など実際に災害に遭遇した被災地における現地踏査や波浪の現地観測による波力減衰評価(例えば、海津 1998、Yanagisawa et al. 2009、Mazda et al. 1997 など)、あるいは実験施設を利用した水理実験(Hashim and Catherine, 2013 など)、さらにはそれらから得られた種々のパラメータを利用し、流体モデルを用いた数値シミュレーション(Bao 2011 など)によって、古くから波力の減衰効果を評価する研究が取り組まれており、知見が集積されている。これらの既往研究では、マングローブによる波力減衰効果については、流体の物理的抵抗体となる、マングローブの林帯幅や森林構造の状況(具体的には、材積(バイオマス)、林齢、樹種、根系構造など)、あるいは植栽密度や立木密度、樹木の配置状況などがその規定要因であるとされている。

たとえば、Bao (2011) はマングローブによる波高 (Wave height: Wh) の低減は、林帯幅 (Band width: Bw) と受圧面積 b (樹高 Height: H 、植栽密度 Tree number: N 、林冠閉鎖率 Canopy closure rate: CC) を従属変数とする、次に示す関数で表現できるとしている

$$Wh = a \times \exp(b \times Bw) \quad \cdots (1)$$

なお、式(1)中の a は初期波高 (Initial wave height: Iwh) を従属変数に持つ関数、 b は種々の森林パラメータを従属変数に持つ関数であり、次式で表される。

$$a = 0.9899 \times Iwh + 0.3526 \quad \cdots (2)$$

$$b = 0.48 - 0.0016 \times H - 0.00178 \times \ln(N) - 0.0077 \times \ln(CC) \quad \cdots (3)$$

以上の関数によると、林帯幅がより大きく、樹高がより高く、植栽密度も高く、林冠が閉鎖しているマングローブ林の方が、初期の波高に対する減衰はより効果的に機能しうることが表現されているといえる。そこで、Bao et al. (2011)の式といくつかの波を想定して簡単なシミュレーションを行ってみたところ、マングローブが発揮しうる波高減衰効果にはその林帯幅の大小が大きく影響していることを確認した。

4.4.3 ベトナム社会主義共和国 Nam Dinh Province 沿岸においてこれまで実施されてきたマングローブ保全・植林活動

マングローブ林は、塩性湿地や海草藻場とともに、熱帯～亜熱帯域の沿岸生態系を構成する主要な生態系である。東南アジアにおけるマングローブ林は、世界のマングローブ林面積の約 28%を占めている(Veettil et al. 2019)。

本課題において研究対象地域としているベトナム社会主義共和国(以下、「ベトナム」という。)には、2015 年現在、27 万 ha のマングローブ林が分布するとされる(FAO 2015)。面積ではインドネシアやマレーシア、インドなどには及ばないレベルであるが、ベトナムのマングローブ林は総延長 3,260km の海岸線の相当部分を占有し、生態学的にも、経済的にも、また環境保全・減災の観点からも重要な役割を持つ生態系として認識されている。また、ベトナムはインドシナ戦争、ベトナム戦争を経て 1940 年代には大きくマングローブの分布面積を減少させたが、その後の政府主導の積極的なマングローブ修復植林・保全活動により、現状のレベルまでマングローブ林の分布面積は回復している。

こうした状況は、本事業で調査対象地としている、ベトナム北部 Nam Dinh Province スワントゥイ国立公園(Xuan Thuy National Park: 以下、「XTNP」と言う。)のマングローブ林(特別利用林:Special use forests)も例外ではない。

本事業の中では、ベトナム森林科学アカデミー(Vietnamese Academy of Forest Science: VAFS)の協力を得て、XTNP 内に 11 箇所の固定調査地を設定している(図 4-4-3-1)。本章では、XTNP においてこれまで実施されてきた主要なマングローブ保全・植林活動 3 事例について、具体的内容を報告する。

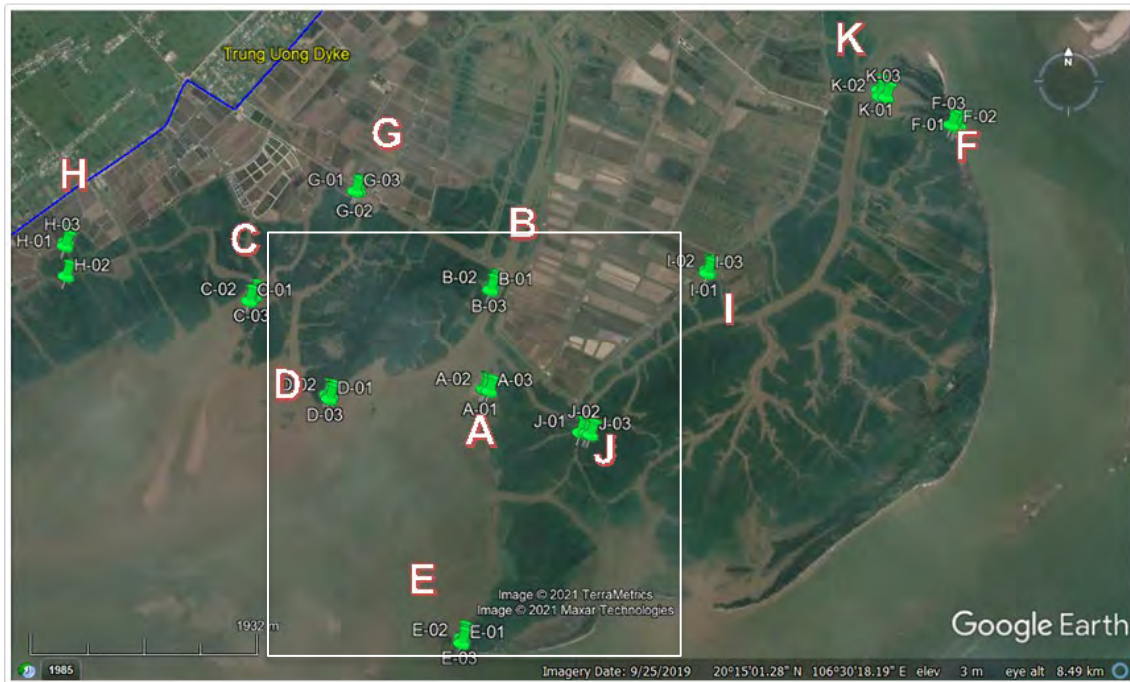


図 4-4-3-1 スワントウ国立公園(Xuan Thuy National Park)内に設定した固定調査地

出典: Map data ©2020 Google Earth (2019 年 9 月 25 日撮影)

白線で囲まれた部分は 4.4.3.1 のプロジェクト対象地域を示す。

4.4.3.1 2015-2020 年ナムディン省沿岸マングローブ林の保全・開発プロジェクト

本プロジェクトは省内の 3 郡 (Giao Thuy District、Hai Hau District、Nghia Hung District) において行われた。調査対象地 Site A、B、C、D が本プロジェクト実施対象と一致している。プロジェクトの資金源は、the Support Program to Respond to Climate Change and Green Growth (SP-RCC) で、中央政府から配布された ODA 予算である (総予算額 49,149,537 million VND)。その他、具体の一般情報は以下の通りである。

- 資金源: 気候変動及びグリーン成長への対応支援プログラム (SP-RCC) の下、中央予算から配分された ODA。the Support Program to Respond to Climate Change and Green Growth (SP-RCC)
- 総予算: 49,149,537 百万 VND
- 管理機関: ナムディン省人民委員会 (Nam Dinh Provincial People's Committee)
- 実施機関: ナムディン省農業・農村開発局 (Nam Dinh Department of Agriculture and Rural Development)
- プロジェクトの目的

- 実施機関:ナムディン省農業・農村開発局(Nam Dinh Department of Agriculture and Rural Development)

- BẢN ĐỒ TÁC NGHIỆP DỰ ÁN LÂM SINH (ĐIỀU CHỈNH)**
XÃ GIAO AN, XÃ GIAO LẠC HUYỆN GIAO THUY - TỈNH NAM ĐỊNH
DỰ ÁN BẢO VỆ VÀ PHÁT TRIỂN RỪNG PHÒNG HỒN BIỂN TỈNH NAM ĐỊNH GIAI ĐOẠN 2015 - 2020
CHỦ ĐẦU TƯ: SỞ NÔNG NGHIỆP VÀ PHÁT TRIỂN NÔNG THÔN NAM ĐỊNH



- XTNP core zone 内における植栽状況等の情報

Sonneratia caseolaris のみの植栽、2,500 本/ha

植栽面積 15.18 ha (Plot 16: 1.71 ha; Plot 17: 1.02 ha; Plot 18: 1.77 ha; Plot 19: 1.18 ha; Plot 20: 1.06 ha; Plot 21: 0.55 ha; Plot 22: 4.74 ha; Plot 23: 0.21 ha; Plot 24: 0.22 ha; Plot 25: 0.91 ha; Plot 26: 0.5 ha; Plot 27: 0.12 ha; Plot 28: 0.4 ha; Plot 29: 0.41 ha; Plot 30: 0.14 ha; Plot 31: 0.24 ha)

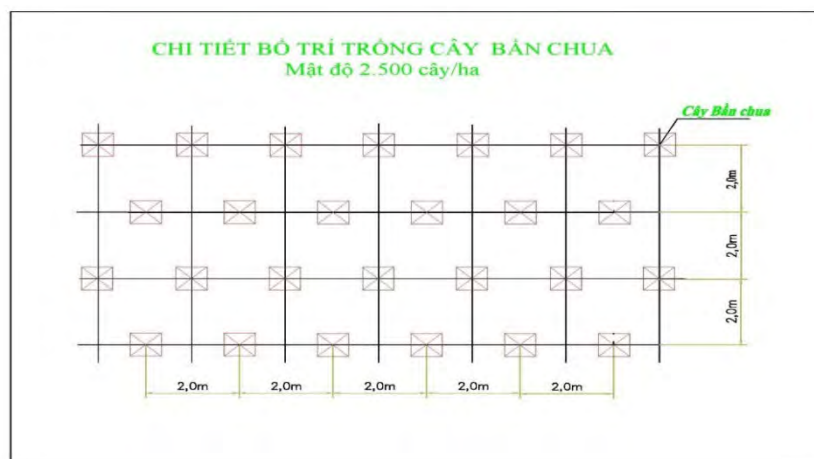


図 4-4-3-3 植栽配置図

- 植栽時期: 4 月、7 月～11 月
- 生産地: 苗木は現地または近隣 Thanh Hoa Province 北部で調達
- 苗木の規格: 苗木の齢> 18 ヶ月。*S. caseolaris* の苗木: 高さ 1.2m 以上、根本直径 2.0cm 以上、主茎の折れ、頂部の折れ、鉢の破損、害虫発生、病気感染なく、苗は順調に生育中。*S. caseolaris* 苗木: 22x25cm の ポリエチレンバッグで育苗。
- 植栽穴のサイズ: *K. obovata* (0.5x0.5x0.5m); *S. caseolaris* (0.5x0.5x0.5m)
 - 植栽穴を沖積層で覆う: 植栽地では、表層のシルトや肥沃な土壌は十分量供試して、養分を供給する。その下の土層には砂の割合が多いため、穴を掘った後、周囲の沖積層を集めて穴をふさぐ。
 - 木を守るために杭を刺す: 1 本の木に 1 本の杭を打ち、45 度に傾斜させ、杭の先端は海または波、風、水流の影響を受ける方向に対して垂直になるようにする。杭と木を結ぶ位置は、茎の 1/2～2/3 で、杭は 0.5～0.7m の深さに差し込む。杭の長さは約 1.5m、直径は 1.8～3cm。木を固定する杭は通常竹を使用。
- 植林活動への参加対象者
 - 建設請負業者が同社の労働者を動員し、プロジェクト地域 (Giao An コミューン、Giao

Lac コミューン、Giao Thien コミューン) の地元住民を雇用して植林活動に参加させている。

・植栽や手入れに参加する地域社会は、主に森林に依存し生計を立てている人々で、沿岸部の住宅地に点在。

- Giao Lac コミューン: Xom 7、Xom 8、Xom 21 (22Xom 中 3Xom、全体の 14%)

- Giao An コミューン: Xom 12、Xom 18、Xom 19、Xom 20、Xom 21、Xom 22 (22Xom 中 6Xom、全体の 27%)

- 植栽や手入れに参加した場合の賃金: 350,000 - 450,000 VND/人/日

- その他: 当初の植栽面積はプロジェクト全体で 324.11ha だったが、実際の植栽面積が十分に確保できなかったため、後に 141.07ha に調整

• プロジェクトの結果(評価報告書より)

プロジェクト期間中の生存率は、現行の規定に従って保証されている(初年度は 85%以上、2 年目は 70%以上、清算年は 50%以上)。現在、プロジェクトは清算と引き渡しの段階にある。

• プロジェクトの成果を評価するための地元住民や利害関係者へのインタビュー

- インタビュー対象: 農業農村開発省のプロジェクト管理委員会の代表者、XTNP の関係者、マングローブの植林に参加した世帯。

(1) 成功した点

- 沿岸のマングローブの面積を増やし、波を防ぐための緑の壁を作り、沖積地の保護と沖積地の固定に役立つ。
- プロジェクト活動に参加する際、地域住民に直接収入をもたらす。

(2) 問題点、課題

- *S. caseolaris* と *K. obovata* の混栽の比率 1 対 1 は合理的でなく植栽密度が高すぎた。*S. caseolaris* の成長・発達が早く、*K. obovata* の成長・発達を阻害している。
- コリアンダー(セリ科の植物?)の根系が繁茂し、泥層を硬化させるため、水生生物の生息率が低下している。

(3) 植林の品質を向上させるための策

- 混合種の選択と適切な混合植栽率が必要。
- 立地条件に適した在来植物種を選定し、水生生物の繁殖・生息環境を確保。
- マングローブ林の植栽と手入れに参加する地元住民を直接雇用する。
- スアントゥイ国立公園の植林地域とコミュニティ人民委員会の指導者と技術者をプロジェクト管理委員会に参加させる。

4.4.3.2 スアントウイ国立公園での *Avicennia marina*、*Rhizophora stylosa*、*Bruguiera gymnorhiza* の育苗・植林技術の改善及びマングローブの植林モデルの構築プロジェクト

本プロジェクトは、XTNP 内を対象に行われた。調査対象地 Site K が該当する。プロジェクトの資金源は、Nam Dinh Province 内の科学研究費である(総予算額 935,450 million VND)。その他、具体の一般情報は以下の通りである。

- 資金源: Scientific funding of Nam Dinh province
- 総予算: 935,450 百万 VND
- 管理機関 : ナムディン省科学技術局 (Department of Science and Technology of Nam Dinh province)
- 実施機関: 生態系・建築物保護研究所 (Institute of Ecology and Building Protection)
- プロジェクトの目的
 - *Avicennia marina*、*Rhizophora stylosa*、*Bruguiera gymnorhiza* のマングローブの苗床と植林のための技術開発と技術マニュアルの作成
 - 15,500 本の苗木を供給できる 0.3ha のマングローブ苗床のモデルの構築
 - *A. Marina*、*R. Stylosa*、*B. gymnorhiza* の 3 種のマングローブを 3 ha の規模(生存率 85%)で植林するモデルの構築
- 植栽面積: XTNP コアゾーン内 3 ha
- 植栽方法
 - ・ 植栽種: *A. marina*、*R. stylosa*、*B. gymnorhiza*
 - ・ 苗木の規格:
 - o 苗木の齢: 18 ヶ月。
 - o *A. marina* の苗木: 高さ 0.7-0.8m、根本直径は 1.5-2cm
 - o *R. stylosa* の苗木: 高さ 0.6-0.7m、根本直径は 0.8-1cm
 - o *B. gymnorhiza* の苗木: 高さ 0.5-0.6m、根本直径 0.8-1cm
 - ・ 苗木の繁殖:
 - o スアントウイ国立公園内に生育する母樹から種子を採取
 - o 輸送を容易にするため、現地で繁殖
 - o 増殖用ポット(PE バッグ): 20x20cm
 - ・ 平均植栽密度は 4,444 本/ha で、5 つのゾーンに区分
 - o ゾーン 1: *A. marina* のみの植栽 0.2ha、密度は 6,666 本/ha。

- ゾーン 2: *A. marina* のみの植栽 0.3ha、密度は 4,444 本/ha。
- ゾーン 3: *A. marina* と *R. stylosa* の混植 1ha。
- ゾーン 4: *B. gymnorhiza* と *R. stylosa* の混植 1ha
- ゾーン 5: *B. gymnorhiza* のみの植栽 0.5ha。
- ・ 植栽穴のサイズ: 40×40×40cm
- ・ 1 年目と 2 年目に追加で植林を行い、その後、プロジェクトは実験植林地をスアントゥイ国立公園管理委員会に引き渡し、引き続き監視、手入れ、保全を行っている。
- 植林活動への参加対象者
 - ・ 生態・建設保護研究所の技術スタッフ、スアントゥイ国立公園管理委員会のスタッフ、地元住民の雇用
 - ・ 参加する地元住民は、以下のバッファゾーンのコミュニティの住民:
 - Giao An コミュニティ: Xom 21、Xom 22、Xom 12 (22Xom 中 3Xom、全体の 14%)
 - Giao Thien コミュニティ: Xom 18、Xom 19、Xom 24、XomTan Hong (15Xom 中 4Xom、全体の 27%)
 - ・ 植栽や手入れに参加した場合の賃金: 400,000 VND/人/日
- プロジェクトの結果(評価報告書より)

初年度の生存率は 90%以上、モデルの受け入れと引き渡しの年は 85%以上に達し、マングローブ林は順調に成長している。現在、この地域のマングローブ林は開花、結実し、苗木を生産するために利用することが可能になっている。
- プロジェクトの成果を評価するための地元住民や利害関係者へのインタビュー
 - インタビュー対象: スアントゥイ国立公園関係者、植林活動に参加する世帯
- (1) 成功した点
 - 地元住民の雇用
 - *A. marina*、*R. stylosa*、*B. gymnorhiza* の播種と植栽の技術的プロセスの完了
 - *A. marina*、*R. stylosa*、*B. gymnorhiza* の種に適した植栽モデルを選択・開発し、現地でマングローブ面積の増加に寄与。
- (2) 限界点、課題
 - プロジェクトは、手入れや保全のための資金を提供することなく、植林地をスアントゥイ国立公園に引き渡される点
 - すべてのプロジェクト活動において、スアントゥイ国立公園との調整と利益共有への参加要請は限定的
- (3) 植林の品質を向上させるための策

- プロジェクト終了時に引き渡されるユニットの手入れや保全活動にかかる費用の見積り作成が必要。
- プロジェクト活動全般において、スアントゥイ国立公園管理委員会との調整と利益配分のさらなる強化

4.4.3.3 デンマーク赤十字社、日本赤十字社による防災・リスク低減のためのマングローブ植林プロジェクト

当該プロジェクトは、Giao Thuy District 内 15 communes (XTNP 近隣の Giao An commune、Ciao Lac commune、Giao Xuan commune を含む)と、Nghia Hung District、Hai Hau District を対象として、1997 年～2008 年および 2010 年～2015 年に実施された。XTNP 内の調査地は Site E、F、G、H、I、J が該当する。プロジェクトの資金源は、デンマーク赤十字社および日本赤十字社である(総予算額:デンマーク赤十字 30 billion VND、日本赤十字 3 billion VND)。その他、具体の一般情報は以下の通りである。

- **資金源:**

- デンマーク赤十字

防災のためのマングローブ林植林のための資金援助(1997-2005 年)

(総予算 :300 億 VND)

- 日本赤十字社

リスク低減のためのマングローブ植林への資金提供(期間:2006-2008 年、2010-2015 年)

総予算 30 億 VND

- **管理機関** :ベトナム中央赤十字社

- **実施機関**: ナムディン省赤十字社

- **プロジェクトの目的**

- マングローブ新規植林
- 災害リスクの低減
- 災害や自然災害を防ぐための地域住民の意識向上、暴風雨時の波の影響の抑制
- 経済発展の促進

- **植栽地とその面積**

- 15 communes of Giao Thuy district (Giao An commune、Giao Lac commune and Giao Xuan commune を含む)、Nghia Hung district and Hai Hau district (デンマーク赤十字の資金提供によるプロジェクト:総植林面積は 6,424ha で、そのう

ち Giao Thuy 郡の 3 つのコミューンにて実施。1,200ha の新規植林、900ha の追加植林。日本赤十字社の資金提供によるプロジェクト:90 ヘクタールの新規植林)

- 植栽方法等

- 植栽樹種: *Aegiceras corniculatum*, *Kandelia obovata*
- 実生を使った植栽
- 実生の植栽間隔: 0.5~1m
- 実生の規格: 実生長さ 20cm 以上、病虫害のない健康なもの、XTNP 内に分布する母樹から収穫された新芽を使用
- 植栽時期: 毎年 4~5 月 (この時期は胎生種子が熟し、植え付け用に収穫することができる)
- 植栽密度: 1 万~2 万本/ha。
- 追加植林: *S. caseolaris* マングローブ林への *R. stylosa* の追加植栽
- 植栽密度: 10,000 本/ha
- 植栽時期: 毎年 10~1 月

- 植林活動への参加者情報

- 植林活動に携わる労働者は、Giao An、Giao Lac、Giao Xuan、Giao Thien といった沿岸部のコミューンの赤十字社メンバーを中心とした地元住民
- コミューン人民委員会は、マングローブの植林と手入れを行う世帯 (赤十字社に加入している世帯が優先) と契約を結び、苗木を 180,000VND/ha、人件 380,000VND/ha で請け負った。

- プロジェクトの結果 (評価報告書より)

生存率がほぼ 100% と高い。現在の密度は 300~400 本/400m²。樹高は 6~8m で、順調に生育中。地域によっては生育が悪く、先が乾燥し枯れてしまうところもある。

- プロジェクトの成果を評価するための地元住民や利害関係者へのインタビュー

- インタビュー対象: コミューンの赤十字社役員、スアントゥイ国立公園の役員、植林活動に参加する世帯

(1) 成功した点

- 堤防の保護、気候変動への対応、自然災害の防止など、実用的な効果をもたらす点。同コミューンの沿岸地域に住む人々は、雨季と荒天時の海の波の強さと風の強さが良い方向に変化することをはっきりと実感している
- マングローブ林の植栽地は、この地域の堤防をしっかりと守る地盤改良の効果がある。実際、マングローブに覆われた堤防部では、地滑りや浸食、高潮が減少し、堤防の決

壊が起こりにくくなっている。また、年間の堤防修繕費も大幅に削減された。

- エビの養殖池のオーナーは、エビの養殖が溢れる心配がなくなった。養殖活動は徐々に安定し、人々は海に関連した経済発展を確信した。
- よく整備されたマングローブの植林地には沖積土が蓄積され、ここの海洋生物がますます豊かに成長するための生活環境が整い、この地域の住民にとって好ましい条件が整った。プロジェクトの受益者、特に貧困層は、漁業活動や蜂蜜のための養蜂から副収入を得ている。

(2) 限界点、課題

- 最初の植栽密度が高すぎるため、ほとんどの樹木の成長・発育が悪くなってしまった。地域によっては、木が倒れ、折れ、腐り、枯れてしまったところもある。
- 近年、樹木の劣化が進み、茎の上 3 分の 1(上から下)は乾燥し、腐り、折れていることが多い。また、芽が出始め、樹冠径が発達するが、果実はほとんどない。
- 2013～2015 年にかけて、*K. obovata* のみを植えた地域が、嵐の影響で枯れることが多くあった。樹形は直列に折れており、多くのギャップが形成されていた。

(3) 植林の効率を上げるための策

- 木が長く元気に成長できるように、適切な植栽密度を選択すること。
- その地域の森林管理・保全への支援を強化すること。

4.4.4 Nam Dinh Province スワントゥイ国立公園 (XTNP) マングローブ林の現況およびマングローブに対する住民意識

本章では、XTNP マングローブ林について、世界各地で実施されたマングローブ調査の既往報告と比較・解析した結果、および防災インフラとしてのマングローブ林に対して地元住民が有する意識等について予備調査結果を報告する。

4.4.4.1 ベトナム北部沿岸域 (スワントゥイ国立公園) において植栽されたマングローブ樹種メヒルギの生育状況および代表性評価

マングローブによる波力減衰効果は、波力に対して物理的に抵抗する立木の幹や根の大きさや量に大きく影響される。したがってマングローブ植林による波力減衰効果を考えるには、個々の植栽地については、ある程度の抵抗力を発揮する大きさに植栽木が育っているかどうか、十分な本数があるかどうかことが重要となる。地域的なスケールでは十分に生育したマングローブ林がどれくらいの林帯幅を持つかが重要となるが、十分な林帯幅の確保の点からも、個々の植栽地で植栽木の大きさと本数が十分に確保されていることが重要となる。

植栽木は植栽後の年数とともに大きくなるため、同じ環境条件であれば植栽木の大きさは植栽後の年数(林齢)に大きく影響を受ける。しかし実際の現場では植栽地の温度や降水量、土壌養分などの生育環境の影響も強く受ける。また植栽木の成長は植栽密度にも影響を受ける。マングローブに限らず単一人工林では本数密度と木の大きさ、とくに幹直径にはおおむね反比例の関係があり、森林の発達が進んで本数密度が減少すると同時に個々の木の大きさは増加する(安藤 1968、Analuddin et al. 2009)。植栽木どうしの競争が起きない段階では高密で植えることにより気象の影響が緩和されることもあるが(Dios et al. 2005)、樹冠どうしが隣り合うまで成長が進むと密度が高いほど樹冠の成長は抑えられ幹の肥大は抑制される。一方、植栽木は光を巡って競争し合いながら上方へ成長し樹高は高くなる。しかし樹高成長も温度・土壌栄養塩・水分などの生育条件に影響を受ける。本事業対象地のベトナム北部は世界のマングローブ林の分布域の北限近くに位置するため、同一樹種でもより低緯度の地域に比べて成長は落ちると予想される。以上のことから、マングローブ樹種の植栽時は植栽後の年数(林齢)と生育地の温度条件を表す緯度によって、概ね規定されると予想することができる。

一方で、生育温度(緯度)や植栽後年数(林齢)が同じであっても、局所的な生育環境によって植栽木の生育は左右される。マングローブ樹種の場合は、樹種により耐塩性が異なり、地形と潮位変動によって冠水様式と塩分濃度が異なることから、立地条件としては冠水頻度が成長を大きく左右する。具体的には海水が多く入りやすい海側や冠水頻度の高い河川側とそうでない内陸側で成長が異なる。また台風の襲来や冬の低温も影響を与える。こうした植栽場所の選択や攪乱を考慮した植栽木への対応が、植栽木の成長を通してマングローブ林造成による波力減衰効果(防災減災効果)を左右するものと考えた。

そこでまず、ベトナム北部沿岸域の生育温度(緯度)と植栽後年数(林齢)から、各植栽樹種の潜在的な成長を予測することとし、その予測に対する偏差から各植栽地の成長の良否を判定し、その良否に関連する立地環境や他の要因を探ることにした(図 4-4-4-1)。本年度はベトナム北部で最も多く植栽されてきたメヒルギ(*Kandelia obovata*)を対象に調査を実施した。ベトナム北部沿岸域では海側から内陸部に向かって、ヒルギダマシ(*Avicennia marina*)、ヤエヤマヒルギ(*Rhizophora stylosa*)、オヒルギ(*Bruguiera gymnorhiza*)の順に概ね分布し、メヒルギはヤエヤマヒルギとオヒルギの分布に重複して広がる(亀山ら 2019)。

Step1 文献収集データによる
マングローブ植栽木の成長ポテンシャルの推定

○緯度 ○林齢 を説明変数とした
植栽木樹高 (H) の推定モデル

Step2 現地の緯度と林齢から
マングローブ植栽木の潜在樹高を予測



Step3 現地調査の樹高を潜在樹高と比較し成長を評価

図 4-4-4-1 マングローブ植栽地の植栽木成長評価の基本手順

4. 4. 4. 2 ベトナム北部沿岸域でのマングローブ植栽地（メヒルギ）の潜在樹高の予測

ベトナム北部沿岸域の主要植栽樹種であるメヒルギの潜在樹高を予測するため、東・東南アジア域で調査されたメヒルギ植栽地に関する公表資料をレビューし、記載されている樹高、林齢、位置情報をもとにデータセットを構築し、各植栽地の林齢・緯度と樹高の関係を分析した。

収集値は植栽地 43 ケース・自然分布 12 ケースで、平均樹高は植栽地と自然分布では明確な差が見られなかったが、植栽地では緯度との間に傾向が見られた(図 4-4-4-2)。植栽地のみでみたところ、林齢にともない平均樹高が増加し、生育地緯度に伴っても増加する関係が認められた(図 4-4-4-3、図 4-4-4-4)。林齢と緯度の 2 変数を説明変数としたモデル(一般化線形モデル: Null deviance 171.106、Residual deviance 44.875、AIC 131.86)は植栽地の樹高を比較的良好に予測することができた(表 4-4-4-1、図 4-4-4-5)。

温暖な潮間帯に生育するマングローブ樹種は高緯度になるほど生育温度が低下するため樹高は低下すると予想される。しかしメヒルギでは緯度にともない予測樹高は増加した。同様の関係は小滝(1997)によって琉球列島でも報告されているが、他のマングローブ樹種(ヤエヤマヒルギやオヒルギ)との関係や、地域による植栽年代、文献公表値における林齢の偏りを考慮する必要がある。琉球列島の事例(小滝 1997)では、マングローブ林が広く分布する低緯度地域(西表島)では内陸側にオヒルギが分布し、メヒルギは海水が多く入りやすい海側前面や冠水頻度の高い河川前面に分布するために矮性化していることが多い。これに対し沖縄本島などの高緯度地域では生育温度によりオヒルギなどの分布や生育が制限されることで内

陸側の立地にもメヒルギが生育できるため、そうした立地では塩分濃度や滞水頻度による制限が少なく成長が比較的良好になるかもしれない。今回収集した公表値には奄美大島と沖縄本島の自然分布地の事例が含まれているが、それらの地域では内陸側で樹高が高く海側で低い傾向が認められた。

また、今回のモデル構築に用いた収集値では比較的高緯度(北緯 24 度以上)の植栽地のほとんどは林齢が高く、こうした公表値における地域別の林齢の違いや偏りが緯度にとまう平均樹高の関係に含まれてしまっている可能性も考えられる。さらに資料の検索をすすめて偏りを減らす、同じ林齢で比較するなどの対応が必要である。

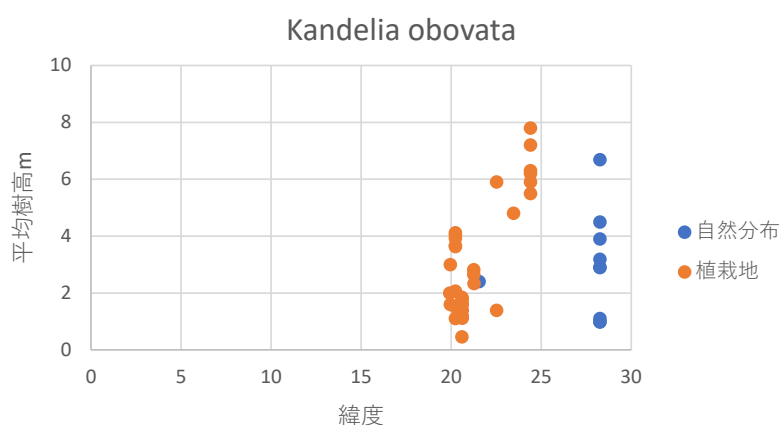


図 4-4-4-2 文献収集データによるメヒルギ(*Kandelia obovata*)の生育地緯度と平均樹高の関係(橙色:植栽地、青色:自然分布) XTNP の緯度は 20.20° ~20.25°

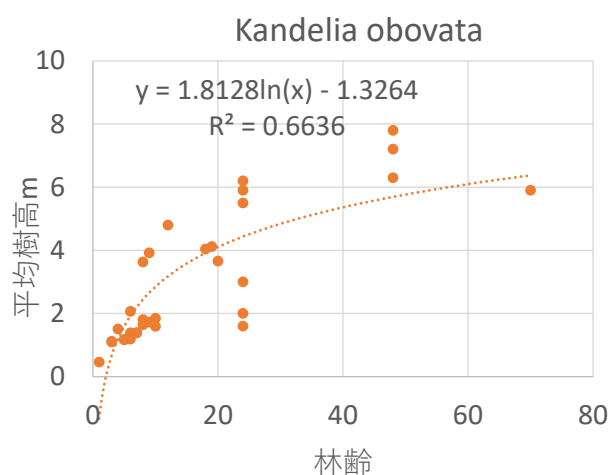


図 4-4-4-3 メヒルギ植栽地の林齢と平均樹高の関係

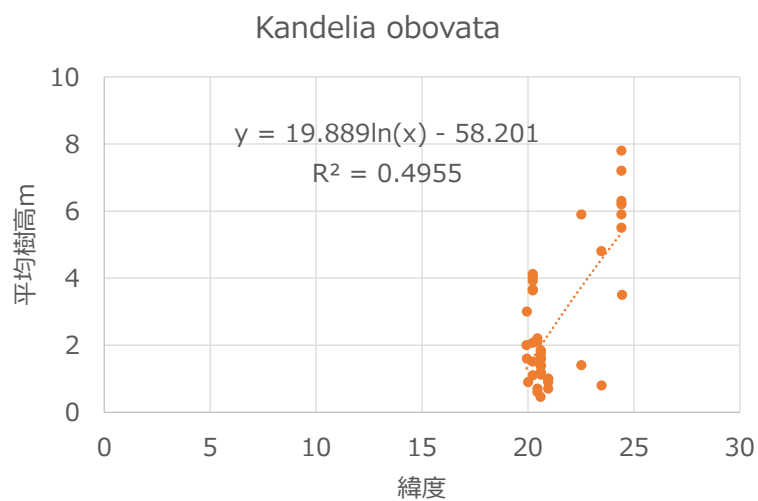


図 4-4-4-4 メヒルギ植栽地の緯度と平均樹高の関係

表 4-4-4-1 林齢と生育地緯度によるメヒルギの潜在樹高予測モデルのパラメータ

	Estimate	SE	tValue	Pr(> t)	
切片	-38.62	7.90	-4.89	0.00002	***
林齢（自然対数）	1.07	0.17	6.24	0.00000	***
緯度（自然対数）	12.73	2.63	4.83	0.00002	***

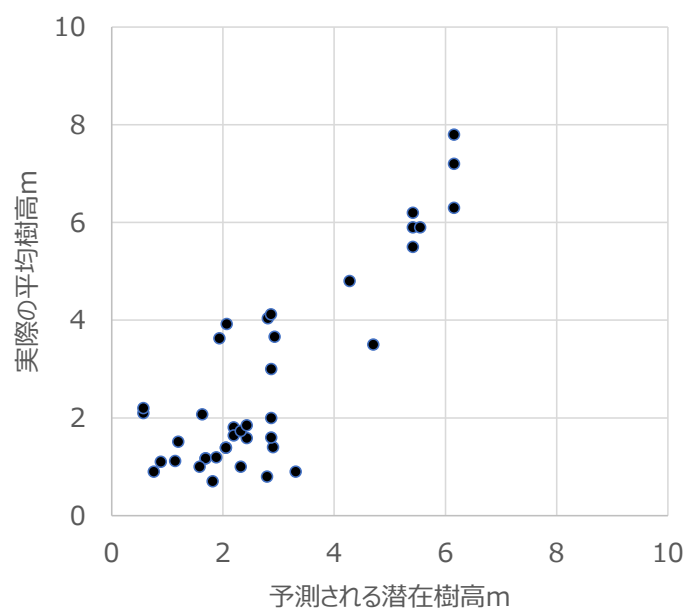


図 4-4-4-5 植栽地の林齢と緯度による予測樹高と実測樹高の関係(文献公表値)

4.4.4.3 予測樹高と実際樹高の比較によるベトナム北部沿岸域 (XTNP) 植栽地の生育評価

前項で述べた林齢と緯度による樹高予測モデルからベトナム北部沿岸域のメヒルギ植栽地の潜在樹高を予測し、実際の樹高と比較し生育状況を評価した。対象地はベトナム北部ナムディン省(Nam Dinh Province)のスワンツイ国立公園(Xuan Thuy National Park:XTNP)である。森林総合研究所がベトナム森林科学アカデミー(Vietnamese Academy of Forest Science:VAFS)の協力を得てXTNP内に設置した11箇所の固定調査地を対象に生育評価を実施した。各固定調査地には各3箇所のプロットが設けられ、プロット内の全立木の樹高計測がVAFSにより実施されている。このうちメヒルギが植栽されているプロットを分析対象とした。モデル予測は林齢と緯度の実数を用いた場合(予測1)と両者の対数変換値を用いた場合(予測2)の2通りで行い、予測残差が0.5を上回る場合を良好な成長(Good)、-0.5を下回る場合を貧弱な成長(Poor)と定義した。

メヒルギは33ヶ所のプロット中の25ヶ所(76%)で生育がみられた。そのうち10ヶ所(40%)が成長良好、8ヶ所(32%)が成長貧弱と総合判断された(表4-4-4-2)。2通りの予測式で評価が割れる場合は(5ヶ所と)少なかった。一方、モデル予測との比較で成長貧弱と判断された8ヶ所は現地調査の際の判断では生育良好または中庸と判断されていた。

生育貧弱と判断された植栽地は①外海および大河川(ホン川)河口に面した場所(F)、②干潟のうち海側最前面近く(C・D)、③内陸側の一部(I-02、J-03)に見られた(図4-4-4-6)。①ではツノヤブコウジ(*Aegiceras corniculatum*)が主に植栽されており、砂州の外海側に面した場所であることから波浪の作用と高い塩分濃度によりメヒルギの生育は抑えられていると推察される。地理的にはサイトEも外海に接するが外海側には砂州が発達し実際には内湾に面しており前面より少し奥にある。②では湾内にあるため波浪の影響は比較的少ないが高い塩分濃度と冠水頻度の影響を受けていると推察される。湾内の最前部分ではメヒルギの無いサイトAを含め、主な植栽木はベニマヤブシキである。その植栽密度や植栽時記録から判断すると、メヒルギは植栽ではなく、ベニマヤブシキ植栽地に天然更新してきたものと推察される。したがってメヒルギの生育が相対的に貧弱でも、ベニマヤブシキの生育が良好であれば、植栽地としては成長良好と評価できる。ベニマヤブシキはベトナム以外ではほとんど植栽されていないようであり、植栽木の成長に関する公表値がほとんどない。今後本事業においてベトナムの様々な立地で実測や情報収集を進め、立地条件と成長の関係分析を進めていく必要がある。また同じ林齢(7年生)で、メヒルギの樹高が2m前後に対してベニマヤブシキの樹高は4-5mである。植栽の盛んな2樹種であり、バイオマス、幹直径や樹冠量、地上部の根量につ

いても比較したうえで木の成長と波力減衰効果を検証する必要がある。③についてはサイト内での一部の場所で成長貧弱でありこれには局所的な立地条件が関係しているのかさらに分析を進める必要がある。これらのサイトでは小河川を船で移動してアクセスし調査を行っているが、河川に面しているか内側で成長が異なっているのか(成長貧弱なプロットは河川に面しているのか)、地盤高が異なるのか今後精査する必要がある。



図 4-4-4-6 XTNP 固定調査地の配置とメヒルギの生育

表 4-4-4-2 XTNP 固定調査地のメヒルギの予測樹高と実測樹高の比較と生育評価

Site	Plot	成長評価			平均樹高 (m)	予測樹高 1(m)	予測樹高 2(m)	残差 (予測1)	残差 (予測2)
		現地 調査	予測1	予測2					
B	B-01	G	M	M	1.8	1.5	1.8	0.2	0.0
	B-02	G	G	M	2.2	1.5	1.8	0.6	0.4
	B-03	G	G	M	2.2	1.5	1.8	0.7	0.5
C	C-01	G/M	P	P	0.9	1.5	1.8	-0.6	-0.8
	C-02	G	P	P	0.5	1.5	1.8	-1.1	-1.3
	C-03	G/P	P	P	0.4	1.5	1.8	-1.2	-1.4
D	D-01	G	P	P	1.0	1.5	1.8	-0.5	-0.7
	D-02	G	M	P	1.1	1.5	1.8	-0.4	-0.7
	D-03	G	M	M	1.3	1.5	1.8	-0.2	-0.4
E	E-01	P	G	G	3.9	3.0	3.2	0.9	0.7
	E-02	M	G	G	4.7	3.0	3.2	1.7	1.6
	E-03	G	M	M	3.0	3.0	3.2	0.0	-0.1
F	F-03	G	P	P	2.5	4.0	3.6	-1.5	-1.1
I	I-01	G	M	G	4.1	3.8	3.5	0.3	0.5
	I-02	G	P	P	2.8	3.8	3.5	-1.0	-0.8
	I-03	G	G	G	5.4	3.8	3.5	1.6	1.9
J	J-01	G	M	P	2.7	3.0	3.2	-0.3	-0.5
	J-02	G	G	G	4.0	3.0	3.2	1.0	0.9
	J-03	G	G	G	4.7	3.0	3.2	1.7	1.5
H	H-01	G	M	M	3.2	3.0	3.2	0.2	0.0
	H-02	G	M	M	3.0	3.0	3.2	0.0	-0.2
	H-03	G	M	M	3.4	3.0	3.2	0.3	0.2
G	G-01	G	M	M	3.0	3.0	3.2	0.0	-0.2
G	G-02	G	G	G	3.7	3.0	3.2	0.7	0.5
G	G-03	G	G	G	4.1	3.0	3.2	1.1	0.9

Site: 固定調査地、予測1: 林齢と緯度の実数による予測、予測2: 林齢と緯度の対数変換値による予測。成長評価: G: 良好 (Good)・M: 中庸 (Moderate)・P: 貧弱 (Poor)。現地調査の成長評価は調査者判断による。予測による評価は、残差 > 0.5 を良好、残差 < -0.5 を貧弱とした。

4.4.4.4 XTNP におけるマングローブ林の防災減災機能の役割についての住民の意識調査結果

ここでは、令和 4 年 12 月に XTNP を訪問し、防災インフラとしてのマングローブ林に対して地元住民が有する意識等について予備調査結果を報告する。

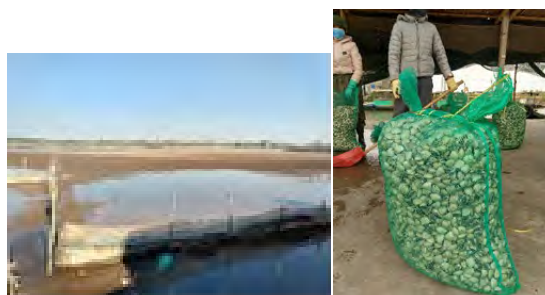
ナムディン省の沿岸部マングローブ植林地において、VAFS が選定した 5 つの村の村長に、主に (1) 近年で最も被害の大きかった災害の中でもマングローブ林と関係しそうな災害は何か、(2) マングローブが存在しなかった場合に深刻な影響をもたらすと考えられる災害は何か、(3) 何割の世帯が養殖池や干潟を利用しているか、といった質問を中心にヒアリングし

た。その結果、村によって差はあるが、質問(1)については、3 村では塩分の侵入が最も深刻な問題であることがわかった。乾季、特に 9 月から 4 月にかけては降水量が少なく、紅河上流からの淡水量も少ないため、高潮による塩水が養殖池に流入し、塩分濃度が上昇することが影響する。他の 2 つの村では、高潮と大雨の組み合わせが最も深刻な被害であることがわかった。雨季、特に 5 月から 8 月にかけては高潮と大雨により潮位が上昇するため、海水の侵入を防ぐために用水路のゲート(海と内側の用水路をつなぐゲート)を閉めなければならない村もある。そのため、大雨が降ると、水田に溜まった雨水が海に流れ出ず、水田に洪水が発生する。質問(2) については、暴風雨(Storm)であった。暴風雨は上述の「潮汐＋降雨」の影響をより深刻にする。暴風雨によって養殖池の土盛りが破壊され、池の中のエビが外に出やすくなり、強い波により水がかき回され、池の濁度が高まる。質問 (3) については、各村 1%～21%の世帯がエビ養殖池やアサリ養殖用に干潟(sand flats)を利用していた。



粗放的エビ養殖地

集約的エビ養殖地



養殖アサリ用の干潟の準備 養殖アサリ

次に、本プロジェクトが対象としている村の属する 3 つのコミューンの人民委員会関係者を訪問し、コミューン内で村の再編成の状況を聞き取った。VAFS が選定した当時は 6 村だったが、そのうち 2 村が合併したため本プロジェクトが対象とする計 5 村となった。また残りの 3 村のうち 2 村も他の村を吸収合併しており、当初よりも 1 村あたりの世帯数が増加していることが明らかになった。この再編成により 1 村あたりの平均世帯数は 435 世帯(289～526 世帯)となった。また、3 コミューンの土地利用図を撮影した。

最後に、スアントゥイ国立公園(XTNP)の資源環境保全部副長に、XTNP におけるマングローブの植栽地と樹種の選定に関する社会的要件についてヒアリングを行った。XTNP での

マングローブ植林活動では、マングローブを植える前に既にエビの養殖池があったという前提条件がある。この前提の下で、植栽地の選定を行うには、1) 地域住民の便益の考慮(植林活動に対する報酬額、堤防の保護効果、養殖池の保護効果、養殖池のエビへの餌や住民の生計の糧としての利用)、2) 有利な政策メカニズム(泥地での植林は、自治体によって管理されているため、自治体による植林方針がない限り、泥地での植林はできない)、3) 地元自治体の同意(地元住民に多くの利益をもたらすため、利害関係者間の対立が起きないようにする必要がある)、そして 4) 十分な予算・資金的支援といった要件が確認された。また、補足的な要件としては、地元の人々は、Pneumatophore root type / Aerial root type (*Sonneratia*, *Avicennia* などの地面から突き出た根)よりも、天然海産物を保護する Buttress root type (*Kandelia*, *Aegiceras*, *Bruguiera* などの枝から下に垂れ下がった根)や Prop root type (*Rhizophora* など)の種を求めていることも明らかになった。

このように、本出張により、住民が考える防災減災の観点からのマングローブ植林の便益や植林の成否に影響について、5 村での本格的な世帯調査を設計する上での事前情報が得られ、これらの情報をもとに次年度の質問紙を使った世帯調査のデザインについて VAFS と検討を開始した。

4.4.5 マングローブ林による防災・減災機能の評価のためのマングローブ根返り耐性評価手法の検討

4.4.1 において既述のように、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(佐藤 1992, 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 0.2 m の個体で約 9 kNm、0.4 m では約 30 kNm 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幹折れや根返り等の倒伏に対する「しきい値」を評価する方法、すなわち、引き倒し試験の手法について検討した結果を報告する。

潮間帯における倒伏抵抗性評価のための手法検討は、沖縄県竹富町西表島浦内橋架け替え工事に伴う、伐採マングローブ(ヤエヤマヒルギ)を対象に、予備的な引き倒し試験として実施した。立木の倒伏抵抗性の指標としては、通常、樹木を引き倒す際に生じる力(引張荷重)と作用点からの距離などから計算する最大回転モーメントが用いられている。これらの値を求める手法として、引き倒し試験が一般的である。引張荷重は、立木とワイヤの間にロードセルを繋ぎ測定する(図 4-4-5-1)が、マングローブ林は潮間帯に成立しており、陸域の森林に比べて極度に泥濘んでいるため、海外での試験実施の前に、泥濘む潮間帯における試験手順の確認や、試験機器の操作上の留意点を明らかにすることを目的として行った。

ヤエヤマヒルギを対象とした引き倒し試験では、試験開始直後から手動ウィンチによってワイヤを牽引することで、試験木に対する引き倒し荷重は徐々に大きくなり、損傷が発生する直前に最大となり、損傷が発生すると減少に転じた(図 4-4-5-2)。ただし、ヤエヤマヒルギの場合、多くの支柱根によって幹が指示されているため、さらにワイヤを牽引すると、試験木への引き倒し荷重は再び大きくなる傾向は示したものの、最初の損傷発生時に至る前に次の損傷が生じて回転モーメントは再度減少する傾向がみられた。

マングローブ林において立木の引き倒し試験を実施する上での留意点として、以下のことが明らかとなった。

1. 感潮区域における試験実施となるため、試験箇所における潮汐動向を事前に把握し、確実に干出期間で試験を完了すること。
2. 手動ウィンチやロードセル、データロガー、ロープ等の機材・道具を、海水や砂泥に極力浸潤させないよう、ブルーシートを地面に敷くなどして、試験を実施すること。特に、大

きな荷重がかかる手動ウィンチは、ワイヤ巻き取りのギア部に砂が噛んだり、塩水による錆が発生したりすると、ウィンチ操作が困難になったり、荷重の解放がスムーズに出来なくなったりするため、留意する必要がある。

3. 地盤の状態によっては、試験実施者が泥濘に足を取られたりして、荷重が十分にかけられない事態も想定されることから、人員と試験時間に余裕を持った試験計画とすること。
4. 最大回転モーメントの測定には、引張荷重の測定とともに、倒伏した樹体の重力モーメントも求める必要があるため、試験対象木を伐倒して、高さ別に重力を測定するが、その際にも海水や砂泥による重量誤差が生じないように、留意する必要がある。

以上のように、予備調査により、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幹折れや根返り等の倒伏に対する「しきい値」を評価する際の留意点と、手順の確認ができた。これらの結果を元に、カウンターパートである VAFS と XTNP における現地調査内容、調査許可について協議を進め、令和 5 年 2 月、XTNP 内の *Sonneratia caseolaris* 13 個体、*S. apetala* 8 個体を対象に引倒し試験を行い(図 4-4-5-3)、倒伏に対する試験対象木の「しきい値」を評価するための、損傷発生箇所にかかる最大回転モーメントに関する生データと、樹木バイオマスデータを得た(表 4-4-5-1)。結果の詳細については現在解析を進めているところである。



図 4-4-5-1 ヤエヤマヒルギ林における引き倒し試験予備調査

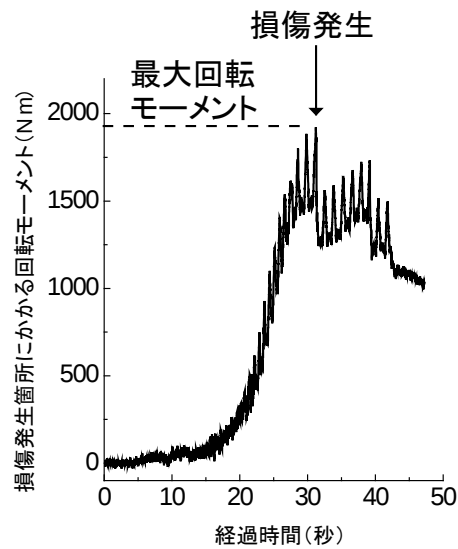


図 4-4-5-2 損傷発生箇所にかかる回転モーメントの時間経過の例(ヤエヤマヒルギ)

表 4-4-5-1 XTNP における調査対象木諸元データ

Species	Site	ID	Diameter _{0.3} * (m)	Sum of Basal Area in DBH (m ²)	Height (m)
<i>Soneratia caseolaris</i>	C	1	0.098	0.016	5.1
〃		2	0.013	0.052	5.2
〃		3	0.008	0.004	3.2
〃		4	0.009	0.015	4.7
〃	D	5	0.089	0.014	3.8
〃		6	0.078	0.015	3.9
〃		7	0.112/0.055	0.028	3.6
<i>S. apetala</i>		8	0.174	0.051	7.8
<i>S. caseolaris</i>	B	9	0.238	0.081	9.0
〃		10	0.160	0.055	8.0
<i>S. caseolaris</i>	K	11	0.054	0.003	3.3
〃		12	0.068	0.010	3.4
<i>S. apetala</i>		13	0.108	0.019	4.2
〃		14	0.088	0.011	4.3
〃		15	0.134	0.033	4.5
<i>S. caseolaris</i>	K	16	0.080	0.012	4.0
〃		17	0.059	0.005	3.2
<i>S. apetala</i>		18	0.058	0.007	3.3
〃		19	0.097	0.015	5.5
〃		20	0.073	0.008	5.6
〃		21	0.079	0.008	5.2



図 4-4-5-3 XTNP の *Sonneratia caseolaris* を対象とした引き倒し試験風景

上:試験開始前、下:試験終了後

4.4.6 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気候変動下における沿岸域マングローブ林の防災・減災機能に関する既往研究のレビューによる世界的動向の把握、②ベトナム北部、特に XTNP における過去のマングローブ保全・植林活動に関する情報収集、③XTNP のマングローブの現況把握、④防災インフラとしてのマングローブに対する XTNP 周辺における住民意識の予備調査、⑤防災インフラとしてのマングローブの破壊限界(しきい値)評価に関する予備調査を実施した。

既往研究のレビューからは、マングローブによる波力減衰効果は、流体の物理的抵抗体と

なる、マングローブの林帯幅や森林構造の状況(具体的には、材積(バイオマス)、林齢、樹種、根系構造など)、あるいは植栽密度や立木密度、樹木の配置状況などがその規定要因となっており、初期の波高に対する減衰効果は林帯幅がより大きく、樹高がより高く、植栽密度も高く、林冠が閉鎖しているマングローブ林の方が高いことが確認された。

XTNP における過去のマングローブ保全・植林活動については、ベトナム中央政府や地方自治体、さらに各国赤十字の援助による巨額な保全・開発プログラムが原動力となって、数千ヘクタールに及ぶマングローブ植林が実現してきた背景が明らかとなった。

また、既往研究報告値から作成した林例と緯度の2因子を説明変数とした一般線形化モデルを利用してXTNPのメヒルギの生育状況を評価したところ、調査地25箇所中10ヶ所(40%)が成長良好、8ヶ所(32%)が成長貧弱と評価された。成長貧弱と評価された箇所は、波浪の作用が高いか、地盤高が高いため、いずれも塩分濃度が高い立地環境が影響している可能性が推察された。

防災インフラとしてのマングローブに対するXTNP周辺における住民意識の予備調査では、住民が考える防災減災の観点からのマングローブ植林の便益や植林の成否に影響について、5村での本格的な世帯調査を設計する上での事前情報が得られ、今後行う予定である質問紙を使った世帯調査の始動に向けた体制が整えられた。

また、本年度は、沿岸域における防災・減災機能を持続的に発揮する上で必要不可欠であるマングローブの、波や風で引き起こされる幹折れや根返り等の倒伏に対する「しきい値」を評価するための手法検討をおこなった。その結果、陸域の防災林等でも評価手法として使用されている「引き倒し試験」がマングローブに対しても実施可能ではあるが、潮間帯で、極度に泥濘む立地条件であることから、試験実施時の安全上、あるいは操作上の留意点を、予備調査によって抽出できた。

今後は、マングローブの保全活動と地域住民の便益とのバランスや、沿岸域の防災インフラとしてのマングローブ林の機能発揮に向けた破壊限界評価、さらにはそれに対する住民意識など、造林、立地、社会科学、防災科学、それぞれの視点にたった調査アプローチから現地調査を進め、更なる検討に繋げることを目指す。

引用文献

- Analuddin K, Suwa R. and Hagihara A. (2008) The self-thinning process in mangrove *Kandelia obovata* stands. *Journal of Plant Research*, 122:53-59.
- 安藤貴 (1968) 同齡単純林の密度管理に関する生態学的研究. 林業試験場研究報告, 210:1-153
- Bao TQ (2011) Effect of mangrove forest structures on wave attenuation in coastal

- Vietnam. *Oceanologia* 53: 807-828
- de Dios V.R., Yoshida T. and Iga Y. (2005) Effects of topsoil removal by soil-scarification on regeneration dynamics of mixed forests in Hokkaido, Northern Japan. *Forest Ecology and Management* 215:138-148.
- Forbes K, Broadhad J (2007) The role of coastal forests in the mitigation of tsunami impacts. *FAO* 30 pp
- Hashim AM, Catherine SMP (2013) A laboratory study on wave reduction by mangrove forests. *APCBEE Procedia* 5: 27-32.
- 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 programe, 2006-2010*, Geneva 67pp.
- IPCC (2021) *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*
- 亀山哲, 宮本千晴, 須田清治, 浅野哲美 (2019) ベトナムの放棄エビ養殖池を対象としたマングローブ湿地の復元におけるリモートセンシング技術の応用. *日本リモートセンシング学会誌*, 39(5), 399-404.
- 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. *Estuarne Coastal Shelf Sci.* 65: 601-6-6
- 小滝一夫(1997) マングローブの生態. 信山社.
- 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 Mardhes* 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—マングローブによる海上林から見えるもの— *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
- Veettil B.K., Ward R.D., Quange N.X., Trang N.T.T, Giang T.H. (2019) Mangroves of Vietnam: Historical development, current state of research and future threats. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 218:212–236 FAO 2015
- 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