

## 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つて、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・減災機能の評価するとともに、マングローブ林保全に関する技術的指針を提示する(図 4-1-3-1)。



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。

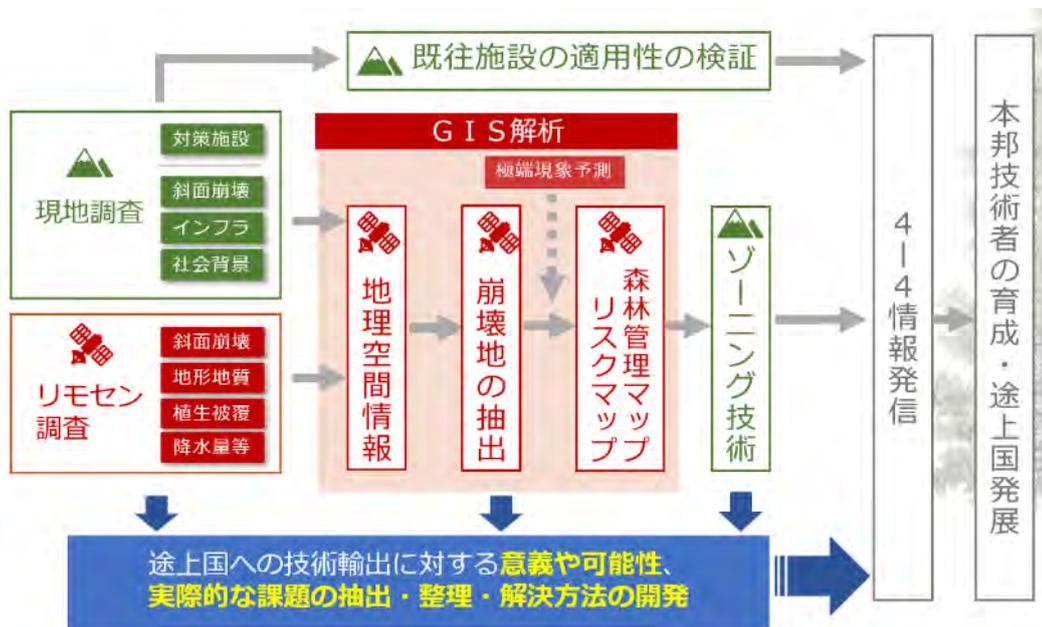


図 4-2-1-1 課題 4.2 及び 4.3 の調査開発フロー

#### 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

大陸部東南アジア(インドシナ半島)の東縁に南北約 1,600 km にわたり立地するベトナム

の国土は、地理的な特徴から 8 つの地域(北東部、北西部、紅河(ホン河)デルタ、中北部海岸、中南部海岸、中部高原、南東部、メコン河デルタ)に分けられている(図 4-2-2-1)。その地域群の中で山地が最も卓越する地域は北西部であり、ベトナムの山地災害の多くが同地域で発生している。そこで、2022 年 2 月に現地カウンターパートの VAFS とともにベトナム北西部のイエンバイ省(Yen Bai Province)及びソンラ省(Son La Province)の現地調査を実施し、当該区域における山地災害と防災対策の実態を把握した。なお、前者のイエンバイ省は 2017 年豪雨によって斜面崩壊が多発した区域に該当し、後者のソンラ省は VAFS との共同調査地であるモンゾンコミュニティ(Muong Gion Commune)が立地する区域に該当する。

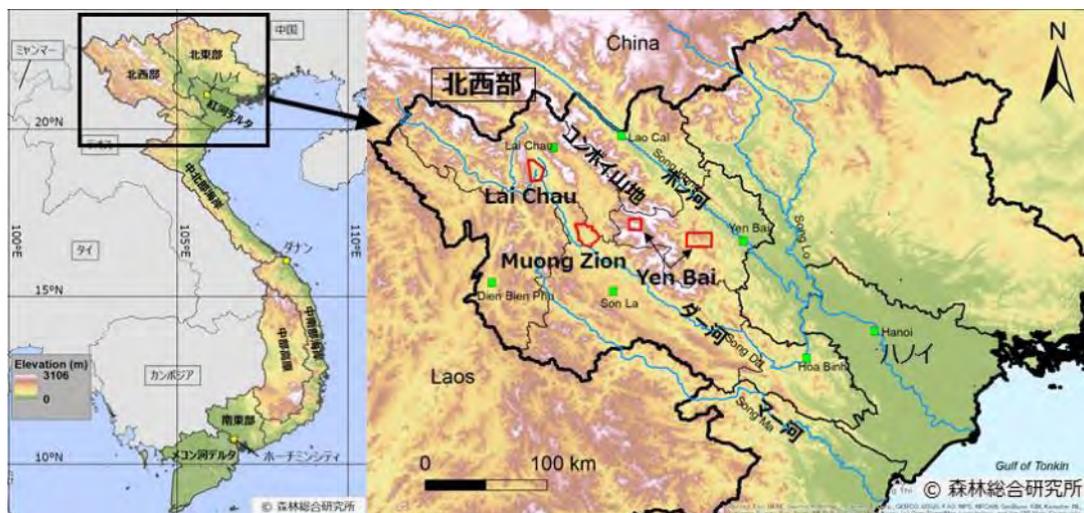


図 4-2-2-1 ベトナム北西部の地形と調査対象区域

#### 4.2.2.1 ベトナム北西部における山地災害の実態

令和 2 年度調査に実施した衛星画像解析により、ベトナム北西部において 9 カ所の斜面崩壊集中発生地域が特定された。このうち、イエンバイ州西部のムーカンチャイ(Mu Cang Chai)県では、2016 年夏から 2018 年夏の間には多数の表層崩壊が標高 1,500~2,000 m 付近の区域で発生した(推定)。また VAFS との共同調査地であるソンラ省モンゾンコミュニティでも道路沿いに多数の斜面崩壊が発生している。そこで本調査では両区域で発生した 3 カ所の斜面崩壊及び 1 カ所の非崩壊斜面を対象として、その地形・地質的特徴や周辺の土地利用の実態を調査した。それぞれの位置図を図 4-2-2-2 に示す。

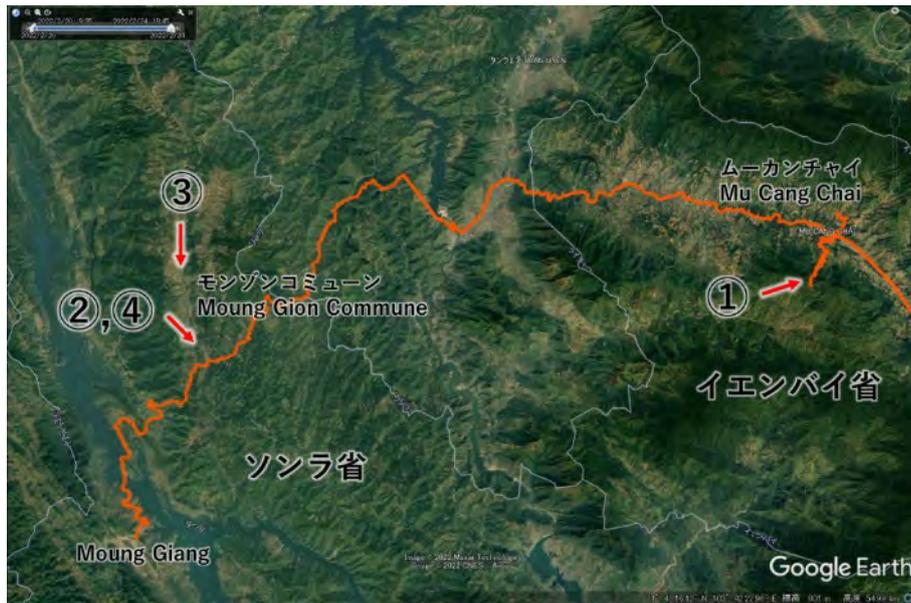


図 4-2-2-2 調査対象とした斜面崩壊地の位置

(1) 流紋岩分布域で発生した斜面崩壊①(イエンバイ省ムーカンチャイ県、N21° 49' 21.71", E104° 04' 08.10", 図 4-2-2-2 の①)

図 4-2-2-3 はムーカンチャイ県で発生した斜面崩壊である(N21° 49' 21.71", E104° 04' 08.10")。周辺は図 4-2-2-4(Google map による)で示すとおり多くの斜面崩壊や林地荒廃が密集している。発生形態は、浅い谷地形の凹地(Hollow)に集積した厚さ1~2m程度の土層が平板状に滑落した典型的な表層崩壊と言える。崩落時もしくは崩壊後の小規模ガリー侵食によって、基盤岩の一部が深く掘り込まれている。当該区域は流紋岩が分布するが、その風化程度に局所的なバラツキが認められ、指で容易に押し込めるような強風化部分とハンマーで叩くと澄んだ音を出すような未風化部分が斑状に混在している。特に強風化部では、節理面を粘土鉱物が充填している様子が認められ、透水性の低下や降水の地盤浸透過程へ影響を与えている可能性が考えられる。

(2) 堆積岩(泥岩・頁岩)分布域で発生した斜面崩壊②(ソンラ省モンゾンコミュニオン、N21° 46' 43.94", E103° 39' 53.94", 図 4-2-2-2 の②)

図 4-2-2-5 はソンラ省モンゾンコミュニオンで発生した道路沿いの斜面崩壊である(N21° 46' 43.94", E103° 39' 53.94", 標高 479m)。発生形態は、40度程度の勾配を持つ斜面において厚さ1m未満の表土層が崩落した表層崩壊と言えるが、崩土に若干の岩を含んでおり基盤層の一部を巻き込んだ可能性がある。当該区域は頁岩もしくは泥岩の堆積岩を基盤とする。令和2年度のVAFS調査によると、この斜面崩壊は2016年に発生したプロット5として記載

されており、その規模は長さ 80m、崩土の流下距離 140m、崩土体積 128,000m<sup>3</sup>であった。ただし目視観察によれば実際の規模はより小さかった(崩壊土量 1,000m<sup>3</sup>程度か)と考えられる。斜面はやや谷状の集水地形を呈していることから、降雨時に地下水が集中し崩壊リスクが上昇していた可能性を検討する必要がある。なお本調査の前日(2022/2/21)の降雨により拡大崩壊が発生し、崩土は道路を越えて斜面下方の河川まで到達していたがすぐに撤去された模様である。周辺の植生は Google map によれば図 4-2-2-6 のとおり二次林だが、特に崩壊斜面は隣接斜面と同じくタケ類に被覆されていたと思われ、森林による防災・減災機能は発揮されていない状態にあったと考えられた。なお写真奥側、低木の繁茂する急勾配斜面は石灰岩斜面である。急勾配を呈しているにも関わらず崩壊が発生していないことから、日本と同様に石灰岩の斜面では斜面崩壊リスクは相対的に低いと考えられた。

(3) 堆積岩(砂岩)分布域で発生した斜面崩壊③(ソラ省モンゾンコミュニティ、N21° 49' 42.76", E103° 39' 06.69"、図 4-2-2-2 の③)

図 4-2-2-7 はソラ省モンゾンコミュニティで発生した道路沿いの斜面崩壊である(N21° 49' 42.76", E103° 39' 06.69")。この斜面では崩壊にともなって上部がスランプし比高 2m 程度の滑落崖が形成されている。令和 2 年度の VAFS 調査によると、この斜面は 2020 年に発生したプロット 1 と記載されており、その規模は長さ 40m、崩土の流下距離 6~8m、崩土体積 4,000m<sup>3</sup>であった。目視確認によれば、(2)の斜面崩壊と同様に VAFS の崩壊規模は過大評価されている傾向にあることが伺える。斜面下部に比較的強度の大きな砂岩が堆積していることから、当該区域は堆積岩の分布地域であると考えられる。地形的に明瞭な谷地形は認められないが、斜面崩壊左岸側に水流が認められることから斜面崩壊発生域は一定の集水地形を呈していると類推される。斜面崩壊地の上部斜面は全面的にバナナ、トウモロコシ、キャッサバ栽培のための農地として利用されており、その様子は Google map から概観することができる(図 4-2-2-8)。このため森林土壌の保水効果などの森林の防災・減災機能(F-DRR)が期待できない上部斜面からの比較的早い降雨流出応答により、斜面末端域では急な出水に伴う表面侵食や小規模な斜面崩壊のリスクが高まる恐れがある。

(4) 石灰岩分布域の道路法面④(斜面崩壊非発生、N21° 46' 46.84", E103° 39' 47.37"、図 4-2-2-2 の④)

図 4-2-2-9 は石灰岩の斜面である。隣接する斜面崩壊②に比べても更に急勾配を呈し岩が露出しているが斜面崩壊は発生していない。一般に石灰岩は透水性が高く、同区域に分布する流紋岩や堆積岩に比べると堅牢な特徴をもつ。北に 100m ほど進んだ地点にある別の石

灰岩斜面では強風化層がパッチ状に観察された(図 4-2-2-10)。この強風化層は強い粘着力を有しており、表面侵食は生じても斜面崩壊のリスクは低いと考えられる。この証左として、ベトナム北西部では溶食作用の差から形成される、いわゆるタワーカルストと呼ばれる急峻な石灰岩地形を随所にみることができる(図 4-2-2-11)。



図 4-2-2-3 流紋岩分布域で発生した斜面崩壊①(イエンバイ省ムーカンチャイ県)

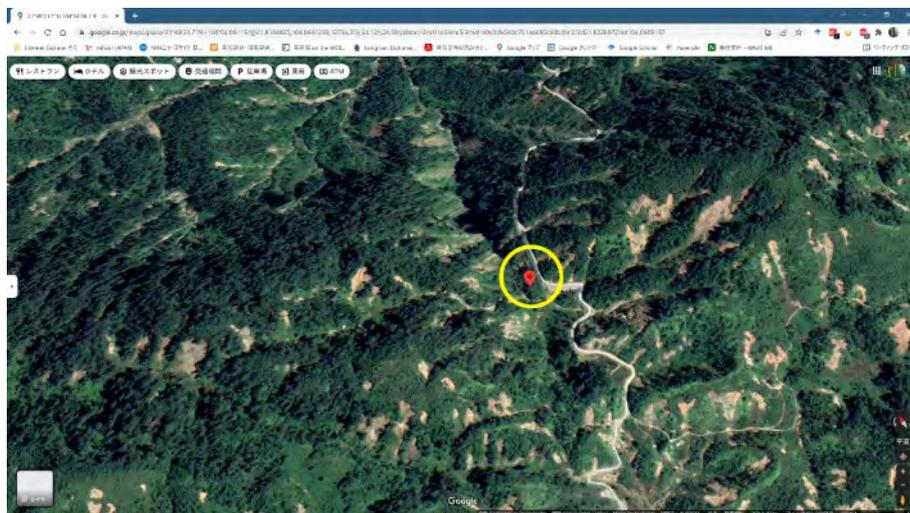


図 4-2-2-4 Google map による斜面崩壊①周辺の状況(イエンバイ省ムーカンチャイ県)



図 4-2-2-5 堆積岩(泥岩・頁岩)分布域で発生した斜面崩壊②(ソララ省モンゾンコミュニティ)

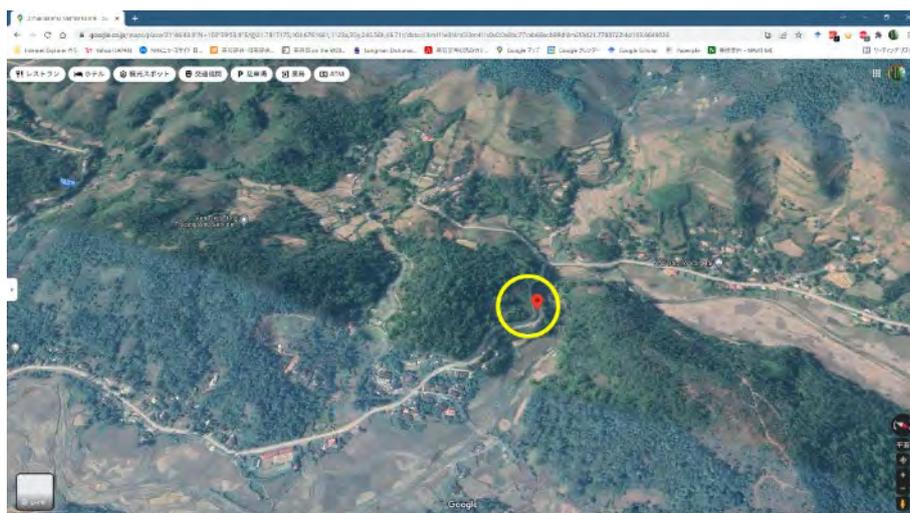


図 4-2-2-6 Google map による斜面崩壊②周辺の状況(ソララ省モンゾンコミュニティ)



図 4-2-2-7 堆積岩(砂岩)分布域で発生した斜面崩壊③(ソララ省モンゾンコミュニティ)

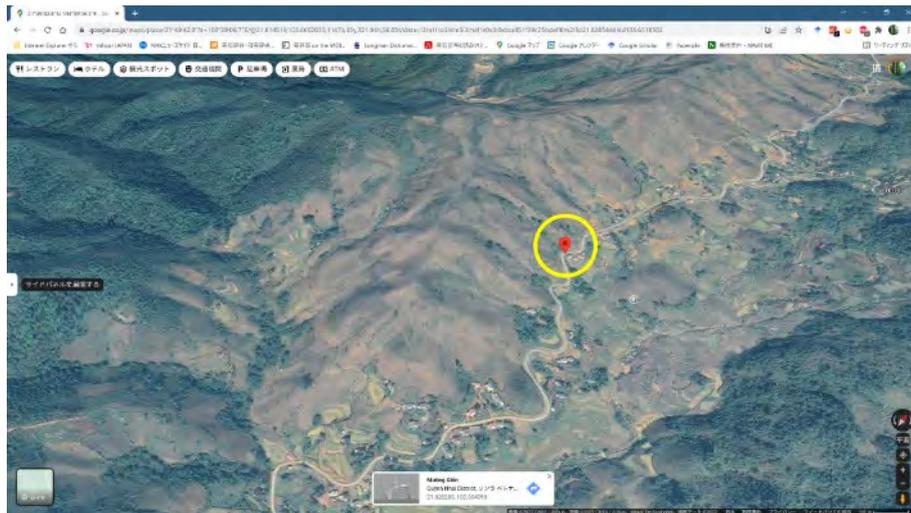


図 4-2-2-8 Google map による斜面崩壊③周辺の状況(ソララ省モンゾンコミュニティ)



図 4-2-2-9 石灰岩分布域の急勾配斜面(手前側). 隣接する斜面崩壊②に比べてさらに急勾配を呈し岩が露出するが斜面崩壊は発生していない



図 4-2-2-10 石灰岩層中にパッチ状に分布する粘土化した強風化層



図 4-2-2-11 急峻な地形が特徴のタワーカルスト

#### 4.2.2.2 ベトナム北西部の中山間地域における道路及び治山施設の状況

ベトナム北西部における主要な経済活動は農業、畜産業、林業等の第一次産業である。生産された農産物、木材の効率的な運搬や適切な森林管理、住民の生活ルートの観点から、森林路網を含む道路は地域にとって欠かせない社会基盤(インフラ)のひとつである。ところが経済の急成長を背景とした産業活動の高まりに伴って、現地では伝統的なルール軽視した無秩序な道路作設が行われることがあり、排水機能の低下等による災害リスクの増加が危惧されている。その一方で現地では山地災害リスクを低減させるための治山対策の必要性も認知され、次第に治山施設の導入も見られるようになってきたが、その状況は十分に把握されておらず、日本の治山技術の適用性を検証するための情報が不十分である。そこで本調査では、ベトナム北西部のイエンバイ省とソラ省の中山間地域における道路沿いを中心とした治山施設の整備状況を調査した。

##### (1) 道路(森林路網)の状況

当域では道路開設に伴って山側の斜面が地質に関わらず 60 度以上の急勾配で切土される傾向が強い。切土によって造成された法面は保護対策のなされない“切りっぱなし”の状態では放置されるため、熱帯・亜熱帯地域特有の急速な土壌分解や乾湿差、また集中降雨によって土壌層の多くが流亡し、その奥の風化の進んだ岩盤が表面に露出する(図 4-2-2-12(a)(b))。なお地質的に安定した一部の法面では時間経過とともにシダなどの植生に覆われることもある(図 4-2-2-12(c))。風化の進んだ岩盤は降雨時に表面が剥離し、表面侵食の形態で細礫や細砂を生産しながら下方へ移動、堆積する。表面侵食が卓越する一方で、表層崩壊の発生数は相対的に少なく見える。この理由として風化岩盤の持つ一定の粘着力成分が表層崩壊を抑制している可能性があり、切土法面の土質力学的評価がその危険度評価に重要な役割を果たすと考えられる。こうした相対的な法面崩壊の少なさは、実務の点において道路法面の保全意識を低下させる要因になり得ることが危惧される。

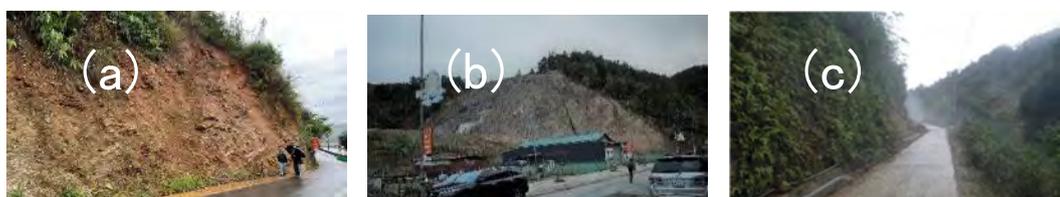


図 4-2-2-12 道路法面の状況。(a)切土後に法面保護がなされないため風化岩版が露出して表面侵食が生じる。(b)大規模な切土法面においても特段の対策はなされないように見える。(c)条件の良い一部切土法面では時間経過とともにシダ類が繁茂する。

当区域ではほぼ全ての道路で法尻側に沿った排水溝が作設されている。排水溝の材料はコンクリート、石張、素掘りに大別され(図 4-2-2-13)、道路下部を抜けるヒューム管を使って流水を谷側に排水している場所もあった。なお、現地の観察結果として、素掘り排水溝は緩勾配の直線部に設置される傾向が、またコンクリート、石張り側溝は急勾配の曲線部に設置される傾向があったが、これは流量や流速の差異を排水溝の設計に反映させた結果かも知れない。

図 4-2-2-14 に道路の舗装状況を示す。改良工事が行われている途中であり、その内訳はコンクリート舗装の重ね張りとヒューム管暗渠の埋設とその取り付け部分である集水柵の増設、谷側への拡幅であった。日本では道路改良工事の際は舗装をはがしてから改めて舗装を行うが、当区域では古いコンクリート舗装上に新しいコンクリート舗装の重ね張りをを行うようである。



図 4-2-2-13 道路沿いに作設された排水溝. 種類(材料)はコンクリート、石張り、素掘りに分類される



図 4-2-2-14 道路の舗装状況の一例. ここでは既存の古いコンクリート舗装面上に新しいコンクリート舗装が重ね張りされていた

## (2) 治山施設の実態と我が国施設の適用の可能性

ベトナム北西部山地では治山施設として、ふとんかご(角型じゃかご)が最も普及している。ふとんかごは鉄線で立方体状に組んだ籠内に石を詰めた構造となっており、法面保護工のひとつとして湧水や表流水による法面の侵食防止を目的とするとともに、斜面崩壊や地すべり発生後の土留用構造物としてもしばしば利用される。図 4-2-2-15(a)はソラ省の道路法尻に設置された典型的なふとんかごである。このふとんかごは上部斜面の侵食防止機能と土留機能

の両方を目的に設置されている。一方、図 4-2-2-15(b)はイエンバイ省の道路法肩に設置されたふとんかごで、表面侵食もしくは小規模崩壊により削剥されて不安定化した道路の保全を目的としている。ベトナムでは、ふとんかごの国家設計基準(TCVN-10335-2014)が策定されており、金属メッシュの規格やサイズ、種類ごとの中詰石のサイズ等が詳細に規定されている(図 4-2-2-16、表 4-2-2-1)。そのほか、地方道路の国家設計基準(TCVN 10380-2014)において、対策施設に関する記述がある(以下、ベトナム語記載を日本語訳)。

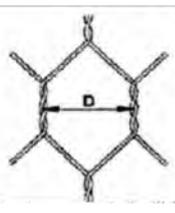
「6.6.1.盛土が急な山腹や掘削された基礎にある場合、掘削と埋め戻しの量を減らすために、堤防と擁壁を使用して路盤の斜面の安定性を強化することができる。擁壁の設計基準は、TCVN 9152:2012 を参照すること。」

「6.6.2.堤防や擁壁を作るための材料は、地域の状況に応じて、無水の積み重ねられた石、蛇籠、または石積みとして使用可能である。ルートが 4m を超える滑り壁または擁壁のあるエリアを通過する場合は、セメントコンクリート壁またはその他の新しい材料を使用することを推奨する。」

なお日本では、昭和 26、27 年度に建設省(当時)が河川工事における蛇籠の重要性を考慮して委託した蛇籠の構造基準に関する研究に基づき、昭和 28 年に「蛇籠の亜鉛メッキ鉄線および構造上の基準」を制定し、ふとんかご等の鉄線蛇籠の標準となるべく規格が制定されている(石崎、1987)。



図 4-2-2-15 ふとんかごの施工例. (a)道路法尻部の設置. (b)道路法肩部の設置



単位：mm

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

図 4-2-2-16 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 4-2-2-1 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
布団かご	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

ベトナム北西部で確認されたふとんかご以外の対策施設を以下に列挙する。図 4-2-2-17(a)はふとんかごと吹付工の組み合わせからなる道路法面である。吹付工もふとんかごと同じく法面保護工の一種であり、モルタルやコンクリート等で覆うことで斜面の風化、落石、小崩壊の防止を図るが、斜面崩壊そのものへの抑止力はほとんどない。同吹付面には等間隔で排水工が確認され、適切な背面水の処理がなされている。図 4-2-2-17 (b)は道路法面に施工された石張工の一種であり、中央付近に表面排水工が設置されている。なおベトナム北西部の山間地では、吹付工法、石張工ともに施工事例は少なく、普及度合いは低いと考えられた。図 4-2-2-17 (c)は狭小な谷部に設置された高さ 1.5m、幅 5m、堤体厚 0.5m 程度の空石積堰堤である。降雨時に大きな出水が予想されることや不安定な構造であることから、これは一時的な流水の減勢もしくは土砂流出防止を狙った簡易施設と考えられる。

以上を考察すると、ベトナム北西部ではふとんかごを中心とした道路沿いの対策施設は十分に普及している。これはベトナムに限らずアジアの開発途上国では共通の状況のようである。このことから、ふとんかごに関して日本の治山技術の輸出、適用の余地はあまり残されていないと考えられる。一方で、表面排水工の普及度合いは相対的に低いようである。切土後に放置された道路沿いの法面の斜面安定や表面侵食防止に対して地表水の除去は最も重要な

対策であることから、効果的な地表水排除に向けた日本の調査技術や施工技術に大きな需要が生まれる可能性が期待できる。さらに、皆伐等によって荒廃した斜面に対する植林活動が積極的に行われているが、荒廃地の森林回復には表土層固定など植生の生育環境を整える技術が必要であり、その観点から柵工、筋工、伏工等の緑化基礎工の技術、施設への需要が期待できる。



図 4-2-2-17 その他の法面对策事例. (a)ふとんかごと吹付工の組み合わせ. (b)石張り工の一種. (c)簡易な空石積堰堤

#### 4.2.2.3 ベトナム北西部モンゾンコミュニティにおける住民への聞き取り調査

中山間地域に暮らす住民の社会経済状況や災害に関する意識を明らかにするために、VAFS との共同調査地であるソンラ省モンゾンコミュニティを対象として、同コミュニティの住民 3 名に対して聞き取り調査を行った。

モンゾンコミュニティはベトナムの首都ハノイから西北西へ約 230 km 離れたダー川の東側に位置する人口 11,881 人(2019 年)、面積 187.02 km<sup>2</sup>のコミュニティであり、人口密度は約 64 人/km<sup>2</sup> で日本の北海道とほぼ同じである。森林面積は 89.32 km<sup>2</sup>、森林面積率は 47.8% でベトナムの平均的な被覆率(41.9%、2019 年)に近い。同コミュニティの属するソンラ省はベトナム国内で最も貧困率の高い省のひとつである。現地住民の生計は主に農業生産と畜産であり、その年平均世帯収入は 2,800 万 VND(2019 年、約 14 万円)、貧困率は 14%である。2022 年 2 月 22 日にモンゾンコミュニティの住民 3 名(コミュニティ副主任 1 名、コミュニティ内の村長 2 名)を対象に聞き取り調査及び座談会を実施した。1 名ずつ順に聞き取りを行った(図 4-2-2-18)のち、3 名同席のもとで座談会を実施した。以下、事前情報を含めながら聞き取り結果を記述する。

モンゾンコミュニティの住民は、少数民族であるタイ属が約 81%を占めることに特徴がある。次いでモン族が 12%、ベトナムの主要民族であるキン族(京族)は約 6%と相対的に少ない。人口は年間 1%弱の成長率で増加しているが、これは全国平均値よりもやや低い水準である。他地域からモンゾンコミュニティへの移住者は一定数いるが、移住目的は小売業の展開が主で

あり、農業従事を目的とした移住者はほとんどいない。このことから、人口成長が過剰伐採に伴う森林減少に加担する可能性は低いと考えられる。コミューン内にはパインアップル加工工場の建設予定があるものの進展が見られず、現時点で農産物の加工業が存在しない。住民の収入源は農業が 3 割、畜産業が 2 割であり、林産業は 1 割程度とあまり盛んではないそうである。コミューンは山間地に位置するため土地面積 18,700 ヘクタールのうち農地は 7%程度と少ない。このように農業に適した平坦地が不足するため、住民は勾配 30 度を超える山地斜面を農地として利用せざるを得ない状況にあるが、表面侵食等の悪条件により生産性の低下は避けられない。なお焼き畑農業は政府により現在は禁止されている。

モンゾンコミューン内ではプロジェクト予算を用いた植林事業が実施されており、森林面積が増加しつつある。造林樹種は伐期約 30 年のマツがメインだが、そのほか製紙用パルプを目的としたアカシア、ユーカリといった早生樹種の植林も一部で行われている。こうした植林は村の予算では困難であり、プロジェクトに頼る状況が続いている。住宅を建設する際には、コミューンもしくは村に申請することで森林の伐採が許可される。伐採は主に人力(チェーンソー)で行われ、8~10 名の作業員によって集材を行う。伐出のための作業道は必要に応じて幅 3~3.5m の幅員で開設される。その他、集材機械としてバックホウ、トラクタ(スキッドとして)が用いられる。その他、コミューンの住民は調理や暖房を目的として山地から薪炭材を収集する。都市域ではガスへの転換が進むが、同コミューン内ではまだ薪炭材の利用が多い。モンゾンコミューンでは水源涵養を目的として約 30%の森林が保護林に指定されている。ベトナムでは 2008 年から、保護林の指定に際して環境サービス税を発電所や観光会社に課しており、その一部は関係するコミューンに配られ、道路補修や保護林を保全する住民へ充てられる。現在、住民からは環境サービス税の増額を希望する声が上がっている。

コミューンの住民は、近年の自然災害の激甚化を感じ取っており、とくに洪水、斜面崩壊、暴風、雹などを具体的に挙げている。さらには過度な森林伐採は山地災害を助長しうることや近年の気候変動による災害の激甚化を理解しているものの、生活維持のために山地斜面で農業利用を中止することは難しい。



図 4-2-2-18 モンゾンコミューン住民の聞き取り調査の様子. 左から副コミューン長、村長 1、村長 2

## 4.2.3 ベトナム北西部における山地災害把握のための現地計測

### 4.2.3.1 土砂流出量観測に関する現地事前調査

ベトナム北西部では山地斜面の侵食で流出した土砂が下流域へ負のインパクトを与えているとの指摘があることを念頭に、本課題では山地流域からの土砂流出を計測する。土砂流出計測の実施へ向けて今回の調査ではイエンバイ省ムーカンチャイ(Mu Cang Chai)に設置されている自然資源環境省(MONRE)のキムノイ(Kim Noi)気象水文観測所をその候補地として訪れた。キムノイ観測所の標高は約 970m、集水面積は約 199km<sup>2</sup>である(図 4-2-3-1)。調査の結果、キムノイ観測所では 1995 年以来現地に人員が張り付いて気象及びキム川(Num Kim)の水文(水位、流速、河川形)の観測が行われていること(図 4-2-3-2)、土砂流出の観測は行われていないことが分かった。今回の調査では現地を確認するに至らなかったが、VAFS が調べた他の 2 ヶ所の水文観測所(Ta Bu、Ta Gia)の流域面積はキムノイ観測所より大きいため流量も大きく、より厳しい条件である可能性が高い。ムーカンチャイは斜面崩壊の調査に適した地域であること、VAFS の意向も確認できたことから、キムノイ観測所は土砂流出観測を行う上での有力な候補地であることを確認した。

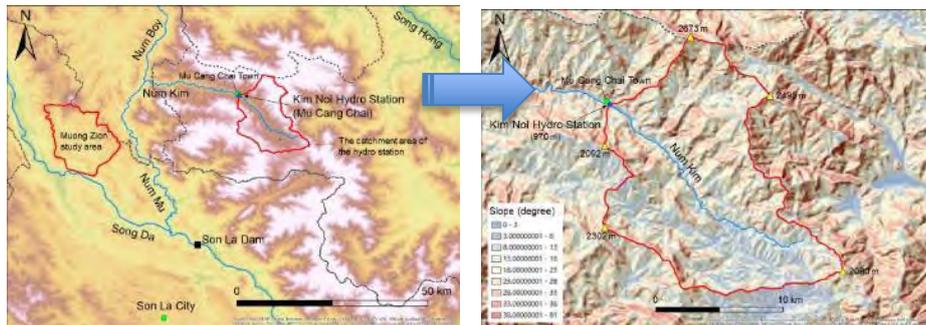


図 4-2-3-1 キムノイ気象水文観測所の位置(左)および観測流域(キム川)の地形(右)



図 4-2-3-2 キムノイ気象水文観測所の河川水文観測施設(左)および気象観測施設(右)

#### 4.2.3.2 GNSS 測位方法に関する事前国内調査

##### (1) 目的

GNSS(Global Navigation Satellite System / 全球測位衛星システム)は、米国の GPS、日本の準天頂衛星(QZSS)、ロシアの GLONASS、欧州連合の Galileo 等の衛星測位システムの総称 1)であり、地上における位置を計測するものである。ベトナムでの現地調査では、調査地を測位するために GNSS 機器を使用することとしている。しかし、GNSS は衛星の数や衛星からの電波状況が測位精度を左右し、測位を行う場所の開空度がこの衛星数や電波状況を決する要因となる。そのため、目標とする測位精度を得るためには、測位箇所の開空度に応じた測位を行う必要がある。開空度とは、当該地点から見る天空において、地形や建物、樹木などに遮蔽されていない空の部分の割合のことで、この値が高いほど測位環境はよいといえる。GNSS 測位を行う場所の開空度が常に高いとは限らないため、開空度が低い場合には、測位時間を長くすることで測位精度を高くすることができる。

ベトナムにおける調査では多様な開空度の場所で測位することが想定されるため、現地での効率のよい測位を行うためには、開空度と求められる測位精度に応じて、どの程度の測位時間が必要になるのかを明らかにしておくことが必要である。そこで、本格的な現地調査に先立ち、開空度と測位時間に応じた測位精度を明らかにすることを目的として国内調査を行った。

##### (2) 調査方法

現地で採用することが想定される、PPK(Post-Processed Kinematic, 後処理キネマティック)方式を用いて測位を行った。本方式は測位の後にデータ補正を行うものであり、リアルタイムでは高精度な測位結果を得ることはできない。しかし、携帯電話などによるデータ通信が不要であるため、通信環境に依存せず高い精度での測位が可能である。日本国内では、後処理用のデータとして国土地理院が整備する電子基準点を利用することができるが、ベトナムではこのシステムを採用できないため、自前で基準点としてのアンテナ(Base)を設置し、測位したい点に別のアンテナ(Rover)を設置する。これらの測位を同時に行う必要があるため、2組の GNSS 機器を準備する必要がある。国内(森林総合研究所構内)にて開空度の異なる調査地(A~C)を設定し、各調査地にて1時間以上の測位を行った。通常は測位中に得たすべてのデータを使用して後処理補正を行うが、測位開始から任意の時間までのデータを使用することで、測位時間が短かったときの測位結果が得られる。よって、任意時間までのデータを用いた後処理をいくつか行うことで、測位時間と測位精度の関係を明らかにすることができる。また、各調査地におけるアンテナ位置の真値が得られないため、今回の測位で得たすべてのデータによる後処理補正の結果を真値として、測位精度を求めた。調査地 A はヒノキ林の林

縁部に設定した(図 4-2-3-3)。林縁は直線状の道路に面しており、道路の反対側はコナラ林となっているため、開空しているのはほぼ道路の直上のみである。ただし、調査は 12 月に行っており、コナラはすべて落葉している。調査地 B は機械走行用の築山の頂上に設定した(図 4-2-3-3)。地平線付近を立木などが遮蔽しているものの、その上の全球はすべて開けている。調査地 C はうっ閉度の高い樹林の林縁部に設定した。林縁からの枝が大きく張りだしているため、開空度は小さい。これらの基準点は調査地の近傍で開空度の高い場所に設置した。

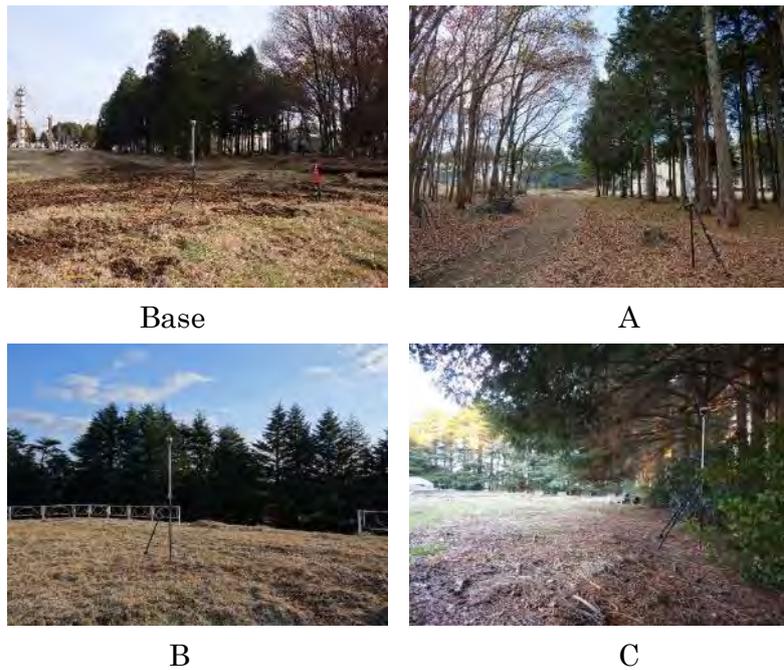


図 4-2-3-3 基準点(Base)と各調査地のアンテナ

### (3) 結果

撮影した全天球写真を図 4-2-3-4 に示す。この画像から各調査地の開空度を求め、A: 27.5%、B: 64.2%、C: 8.5%の開空度となった。

図 4-2-3-5 に測位時間と水平距離誤差の関係を示す。開空度の高い B では 1 分間の測位であっても 60 分間の測位結果と変わらない値が得られており、ごく短時間で高精度の測位ができることが分かる。一方、開空度が低い A、C では 10~20 分以下の短い測位時間では水平距離誤差が 0.1m 以上と大きくなっている。縦軸を拡大した詳細をみると(図 4-2-3-5 右)、A、C とも最終的な水平距離誤差は 0.01~0.02m 程度まで小さくなっている。仮に、許容される水平距離誤差を 1cm とする測位を行うのであれば、開空度が大きい(60%程度の B に相当)現場であれば数分、開空度が中程度(30%程度の A に相当)の現場であれば最低 10 分以上必要であり、開空度が小さい(10%以下の C に相当)現場であれば、50~60 分以上の測

位が必要になるといえる(表 4-2-3-1)。

図 4-2-3-6 に測位時間と垂直距離誤差の関係を示す。一般に垂直距離は水平距離よりも誤差が大きくなるとされ、今回の測位でも水平距離よりも大きな誤差となった。得られた傾向としては水平距離誤差と同様で、B では 10 分以上の測位で 0.01m 程度の誤差になった。一方、A では 10 分以上の測位で垂直距離誤差が 0.05m 程度に、さらに 50 分以上の計測になると誤差が 0.01m 程度となった。また、C では 30 分以上の測位で誤差が 0.1m 以下、50 分程度の計測で 0.03m 程度となった。仮に許容される垂直距離誤差を 3cm とすると、開空度が大なら数分、中および小なら 50~60 分以上必要になるといえる(表 4-2-3-1)。

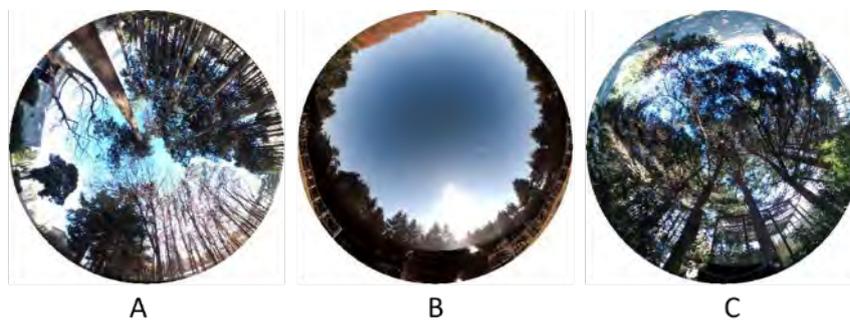


図 4-2-3-4 調査地における全天球写真

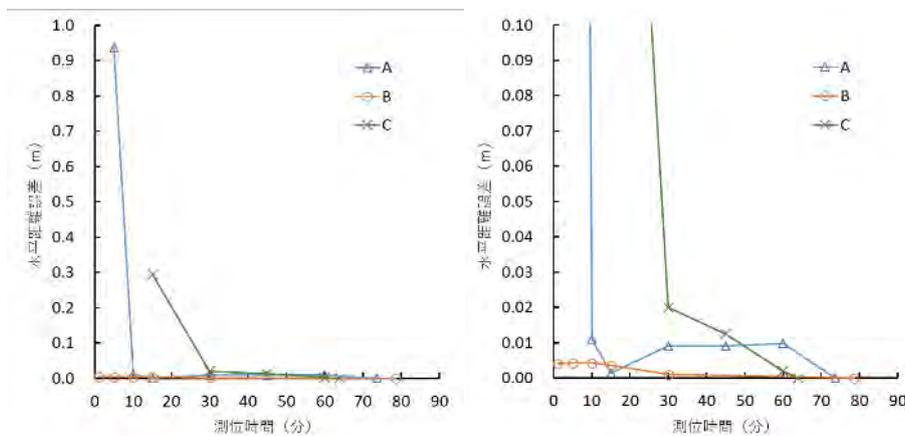


図 4-2-3-5 測位時間と水平距離誤差の関係(左)および、その縦軸拡大版(右)

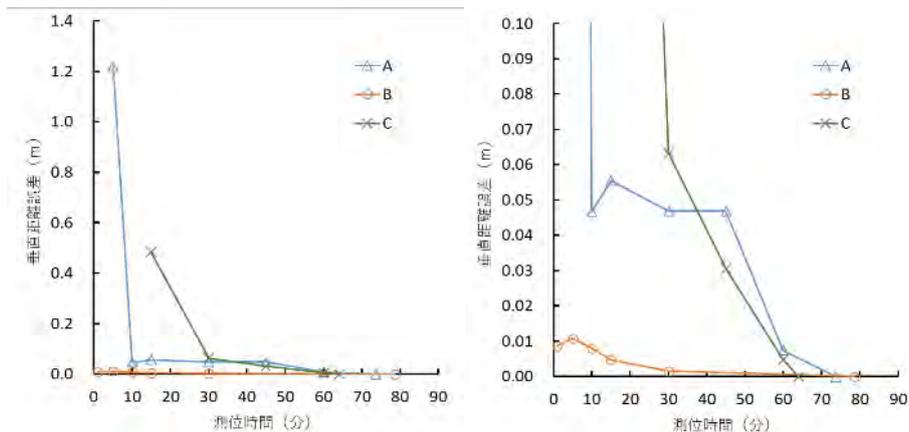


図 4-2-3-6 測位時間と垂直距離誤差の関係(左)および、その縦軸拡大版

表 4-2-3-1 各測位精度を得るために必要な最低測位時間

測位精度	開空度			
	大 60%程度	中 30%程度	小 10%以下	
水平距離	10cm	数分	10分	30分
	5cm	数分	10分	30分
	1cm	数分	10分	50~60分
垂直距離	10cm	数分	10分	30分
	5cm	数分	50~60分	50~60分

(4)まとめ

想定している PPK 方式によって、森林内などの開空度が低い場所でも、水平精度 1cm、垂直精度 3cm といった高い精度で測位できることが明らかとなった。このような精度を得るためには、開空度に応じた測位時間が必要となり、開空度が 10%未満となるような GNSS 測位に不向きな場所であっても、60 分程度の測位をすることで高い精度を得ることができる。一方、基準点(Base)の設置場所についての検討は行っていないが、高精度測位のためには、基準点の測位環境も重要となる。しかし、基準点は各測位箇所を設置する Rover から数百m程度以下の範囲であれば任意の場所に設置することができるため、この範囲で開空度の高い場所を選んで設置することが重要である。

#### 4.2.4 まとめおよび今後の検討事項

日本の治山技術を開発途上国のベトナム社会主義共和国へ効果的に適用する手法を開発するため、カウンターパートであるベトナム森林科学アカデミー(VAFS)とともに、ベトナム北西部の中山間地域で現地調査を行った。

調査対象地域は、山地地形が卓越するベトナム北西部のイエンバイ省(Yen Bai Province)およびソンラ省(Son La Province)である。当域では、2010年以降の降雨によって斜面崩壊などの山地災害が多数発生した経緯を有している。調査対象項目は、斜面崩壊、土地利用、道路及び治山施設、および住民意識等の社会経済状況である。なおソンラ省内にはVAFSとの共同調査地であるモンズンコミューン(Muong Gion Commune)が立地する。

道路沿いで実施された3カ所の斜面崩壊について以下の共通点が認められた。1)崩壊深は浅く(深度1~2m)表層崩壊の形態をとる。2)斜面の表土層が薄い。3)(不明瞭ながらも)集水地形を呈する。4)周辺の土地は主に灌木や竹林、農地であり、成熟した森林は認められなかった。3カ所の斜面崩壊地はいずれも森林による防災・減災機能(F・DRR)が発揮されない環境下にあったと言える。また調査区域では異なる基盤岩(流紋岩、堆積岩、石灰岩)が分布したが、このうち高透水性で堅牢性のある石灰岩地帯では斜面崩壊がほとんど認められなかった。このことから地質特性が斜面崩壊リスクに強い影響を与えることが示された。今後の検討事項として、今回は道路沿いの斜面崩壊のみに注目したため、尾根部や谷頭斜面を発生域とする斜面崩壊やいわゆる深層崩壊と呼ばれる大規模な斜面崩壊は対象外となった。今後はこうした発生場や形態の異なる斜面崩壊にも着目する必要がある。

山間地を通る道路では、山側に急勾配の切土法面が観察された。法面の多くは無対策(切りっぱなし)のため風化した岩盤が露出していた。法面では表面侵食が卓越するものの、表層崩壊の発生数は限定的であり、この結果が地域の防災意識の低下につながりうることが推察された。今後は斜面崩壊が限定される要因を明らかにすべく、法面の風化過程と土質力学特性との関係の検討が必要である。なおほぼ全ての道路沿いにコンクリート製、石張製、素掘りによる排水溝が作設されていた。

道路沿いで最も普及している治山施設は侵食防止と土留機能を目的としたふとんかご(角型蛇かご)であり、国家レベルでの設計基準が制定されていた。その他の道路沿いの治山施設として、吹付工、石張工、空石積堰堤が確認されたがいずれも普及度は低かった。斜面崩壊リスクの低下や森林回復の観点からは、日本の治山技術のうち地下水位を低下させる地表水排除工や荒廃地の植生生育環境を整える緑化基礎工(柵工、筋工、伏工)は現地で高いニーズが得られると推察された。

中山間地域で貧困率の高い地域にあたるソンラ省モンズンコミューンにおいて住民3名へ

聞き取り調査を行い、現地の社会経済状況や防災意識について情報を得た。住民の収入源は、農業、畜産業、林産業などの第一次産業が主であるが、農業に適した平坦地が不足するため、勾配 30 度を超える山地斜面を農地として利用せざるを得ない状況にあった。住民は近年、洪水、斜面崩壊などの災害の激甚化を感じ取っており、過度な森林伐採や気候変動がこうした災害リスクを増加させることを理解していた。その一方で生活維持のために山地斜面での農業利用を抑制できないジレンマも抱えており、難しい局面に置かれていた。

以上の実態調査に加え、現地計測・観測の事前準備として、山地斜面からの侵食による土砂生産量把握のために河川流量観測が可能な地点の探索を行い、イエンバイ省ムーカンチャイ(Mu Cang Chai)のキムノイ(Kim Noi)気象水文観測所を候補地として選定した。また、多様な開空度環境下に存在する崩壊地、道路、住居等の位置情報を効率的に測位するため、所有する GNSS 機器の測位精度を事前に日本国内において調査した。開空度の異なる 3 地点における計測結果の比較によれば、森林のような開空度が低い場所でも、60 分程度の計測時間を要すれば、水平精度 1cm、垂直精度 3cm といった高精度の測位が可能となることが明らかとなり、ベトナム現地での測位に関する技術的な目処が立った。

## 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資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、昨年度に引き続き、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を入手し、GIS 上で重ね合わせられるように取得データの整理を行うとともに、Google Earth Engine を用いて、広域でデータ取得される衛星画像を時系列解析し、機械学習モデルにより森林攪乱と土地利用変化を推定する手法を開発した。

#### 4.3.2 調査対象地および調査（解析）方法

本年度は、北緯 20 度以北のベトナムの国土(図 4-3-2-1;Landsat の画像での面積は 1,221 万 1,371ha)を対象とし、Google Earth Engine を用いて、広域でデータ取得される衛星画像を時系列解析し、機械学習モデルにより森林攪乱と土地利用変化を推定する手法を開発した。調査(解析)方法の流れは、ワークフローの通り(図 4-3-2-2)である。衛星画像を時系列解析し、機械学習モデルを利用して土地利用と森林攪乱を推定することで、土地利用の変遷と関係する森林攪乱をマップした。解析には、過去 30 年以上のデータが利用できる Landsat 衛星画像(解像度 30m)を用いた。1987-2021 年の間に取得された Landsat 画像を各年で中央値コンポジットし、植生指数値(NBR, TCB, TCG, TCW, TCA)を計算した。このうち、植生の変化の抽出に適する指数である NBR の値に対して、時系列解析アルゴリズムである LandTrendr(Kennedy et al. 2010)を適用して各ピクセル位置での変化候補年を抽出し、その変化候補年で時系列的な区間に分割した。分割した区間それぞれについて、5 つの植生数値を用いて機械学習モデルの Random Forest (RF) で、土地利用クラスおよび攪乱ありなしを分類した。ここで、モデル作成に教師データが必要なので、1,400 地点を層化無作為サンプリングにより抽出し、目視判読で土地利用クラスと攪乱ありなしをラベルづけして教師データとした。作成した RF モデルで分類・マップ後、大きさ 5 ピクセル以下の森林攪乱を誤抽出として攪乱なしに修正し、不合理な土地利用変化のパターンを修正した。精度評価には、層化無作為抽出で取得し目視判読した 385 地点のサンプルを利用した。土地利用と森林攪乱の推定結果について、精度指標を比推定量で不偏推定した。

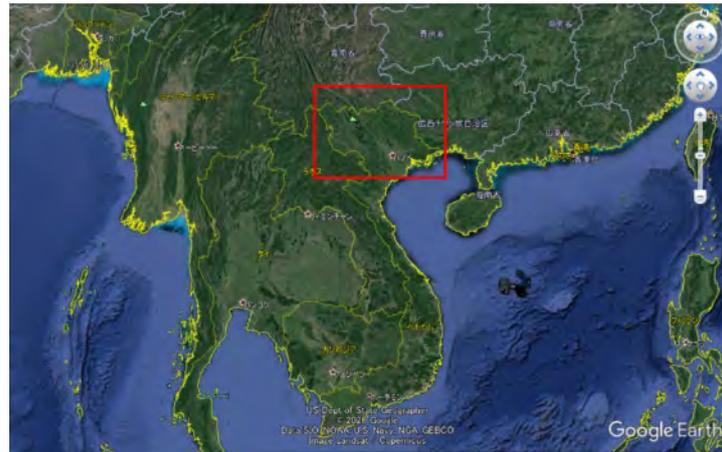


図 4-3-2-1 解析対象地域

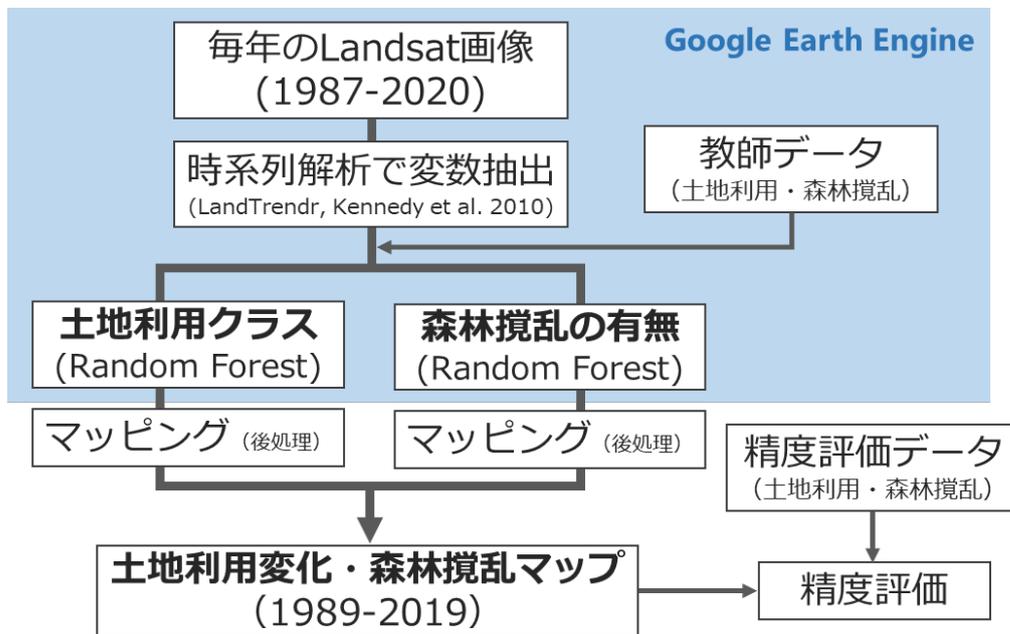


図 4-3-2-2 解析の流れ

#### 4.3.3 調査（解析）結果：ベトナム北部での解析結果

ベトナム北部での解析の結果、対象地面積のうち 11.3%が 1989-2019 年までの間に森林撓乱を受けたと推定された。2019 年時点での土地利用は森林が最も多く、農耕地、草地・低木がついで多かった(図 4-3-3-1)。森林撓乱の推定精度は、撓乱ありクラスで Producer's accuracy (PA)が 62.1% (95%信頼区間: ±13.5%)、User's accuracy (UA) が 80.7% (±15.7%) だった(表 4-3-3-1)。土地利用の分類精度では、PA は森林クラスで最も高く、非植

生地クラスで低かった。UA は概ねどのクラスでも高く、62.8%-95.9%だった(表 4-3-3-2)。期初から期末(1989 年から 2019 年)までの土地利用クラスの変遷と森林撈乱の面積推移を集計すると、森林撈乱後には、土地利用クラスが変化せずに森林に戻る割合が一番大きかった(図 4-3-3-2)。森林撈乱後に土地利用が変化する場合では、草地/低木への変化が最も大きな割合を占め、市街地・農耕地がついで多かった。森林以外の土地利用クラスから森林クラスへ変化した面積は、森林からその他の土地利用クラスへと変化した面積とほぼ同じであり、期初と期末で森林面積に大きな変化はないと推定された。

**表 4-3-3-1 森林撈乱推定の精度評価. PA: producer's accuracy, UA: user's accuracy, OA: overall accuracy, (カッコ内は 95%信頼区間)**

クラス	面積割合	PA	UA	OA
撈乱なし	88.7% (±3.0%)	98.4% (±1.3%)	94.1% (±3.0%)	93.2% (±3.0%)
撈乱あり	11.3% (±3.0%)	62.1% (±13.5%)	80.7% (±15.7%)	

**表 4-3-3-2 森林撈乱推定の精度評価. PA: producer's accuracy, UA: user's accuracy, OA: overall accuracy, (カッコ内は 95%信頼区間)**

クラス	面積割合	PA	UA	OA
農耕地	16.9% (±3.4%)	60.0% (±11.0%)	72.9% (±13.7%)	74.6% (±5.0%)
非植生	1.1% (±1.1%)	3.3% (±6.2%)	91.2% (±14.0%)	
森林	56.4% (±4.5%)	98.4% (±1.9%)	74.4% (±5.9%)	
草地/低木	15.9% (±4.2%)	20.2% (±10.0%)	62.8% (±22.6%)	
市街地	6.9% (±2.6%)	50.0% (±20.0%)	87.0% (±10.9%)	
水域	2.8% (±1.1%)	85.7% (±24.5%)	95.9% (±8.1%)	

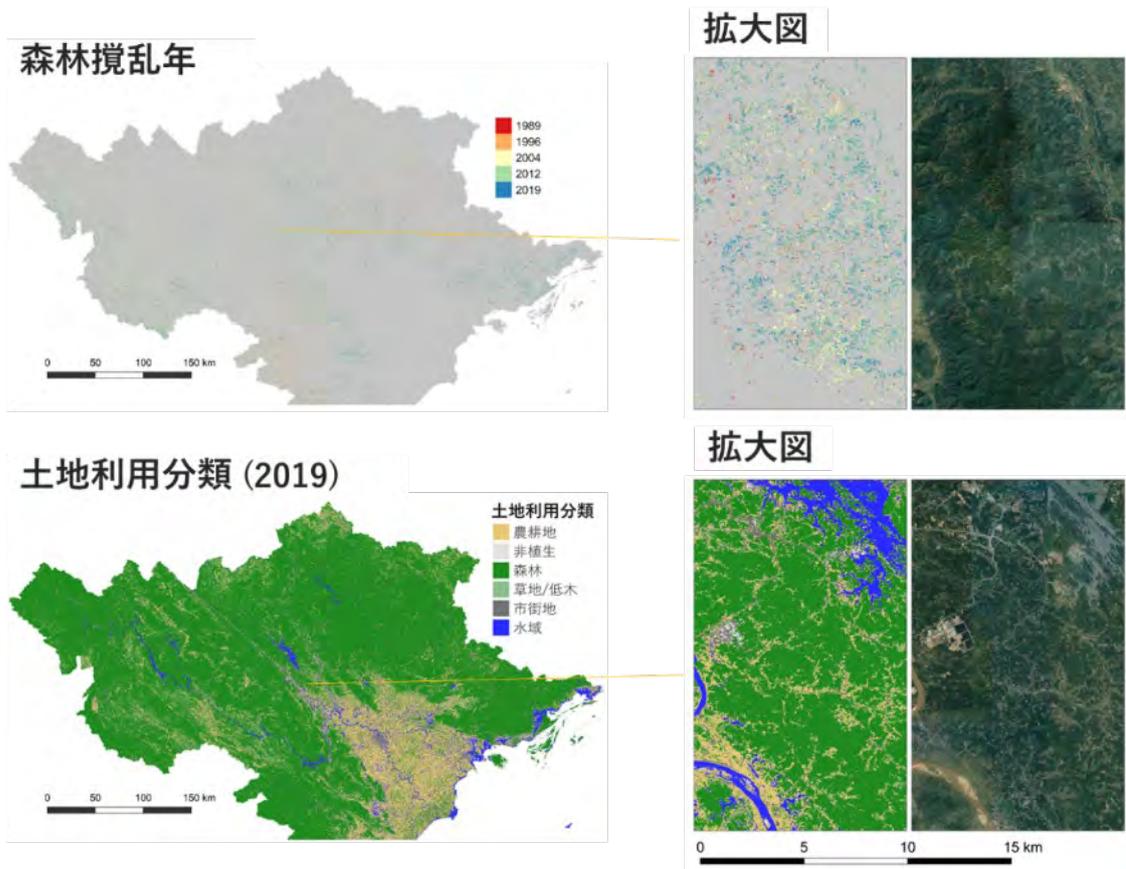


図 4-3-3-1 1989-2019 年の森林攪乱推定(上)と土地利用分類図(下)

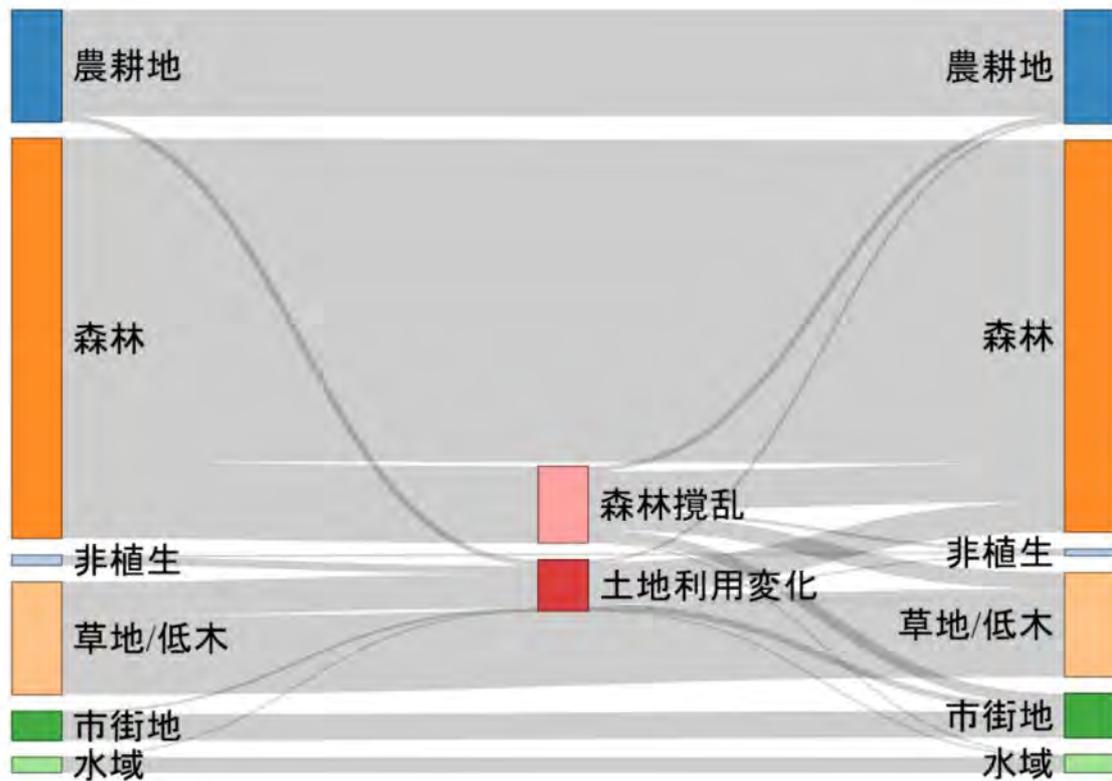


図 4-3-3-2 期初から期末への土地利用クラスと森林攪乱の面積推移

#### 4.3.4 残された課題

土地利用分類の精度評価の結果、分類クラスの PA/UA とともに低いクラスが見られた。また、森林攪乱推定においても PA が既存の研究と比較すると低くなった。学習モデル作成時の有効な変数の導入や教師データの追加を検討することで、これらの分類精度を向上させることができる可能性がある。また、今回の精度評価において、評価指標の信頼区間幅が大きいことから、利用した精度評価サンプルのサンプルサイズは、両者のマップの精度を評価するには小さいと考えられる。精度評価時のサンプルサイズを増加させることで、より信頼性の高い精度評価を行うことができると考えられる。今回の解析では、森林のクラスを細区分していないため、常緑林・落葉林などの違いはマップできていない。そのため、得られたマップを利用し、樹種をさらに分類することも考えられる。

#### 4.3.5 リスクマップの作成にむけた検討事項

本年度までに、崩壊地および土地利用の変遷を自動抽出する手法の開発をおこなった。また、崩壊の要因となる地形、地質、道路、崩壊発生時の降水量データといった GIS 情報の収

集、整備を行った。これらの情報を基に、災害を低減する森林管理(ゾーニング)技術の開発に資するリスクマップの作成(対象地域あるいは斜面のリスク評価)を行うこととなる。

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。本年度は、2017年-2018年に斜面崩壊が多発していた YenBai 省北西部を対象に(図 4-3-5-1)、衛星画像より目視判読した崩壊地(図 4-3-5-2; 目的変数)に対し、衛星画像より目視判読した土地利用区分、道路の影響、カウンターパートより提供いただいた DEM (12.5m 解像度)より得られた標高データ、および DEM から算出した傾斜、方位、さらに 1/20 万地質図より得られた地質情報を崩壊要因(説明変数)として、機械学習(決定木、ランダムフォレスト)により重要度を算出した(図 4-3-5-3)。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とともに、評価結果(作成されたリスクマップ)を実際に利用する前に現地において、検証を行う必要がある。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 4-3-5-4)。

なお、リスク評価を行っても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の把握、現地の社会、経済条件とのバランスを考慮し、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。

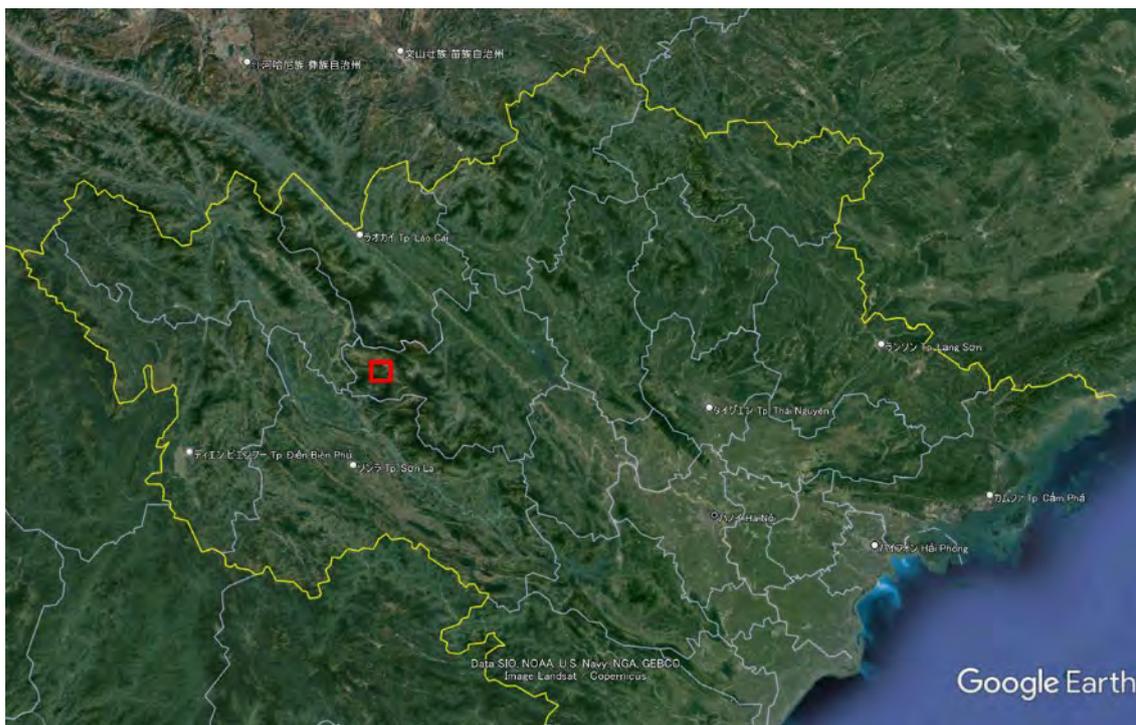


図 4-3-5-1 解析範囲の位置

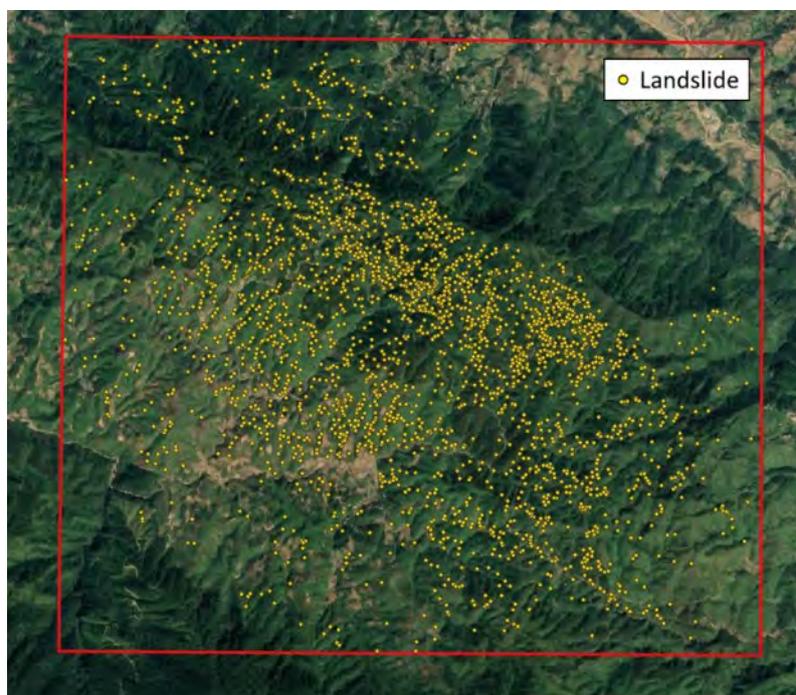


図 4-3-5-2 解析範囲および範囲内で発生した崩壊。崩壊地は GoogleMap より目視判読した。

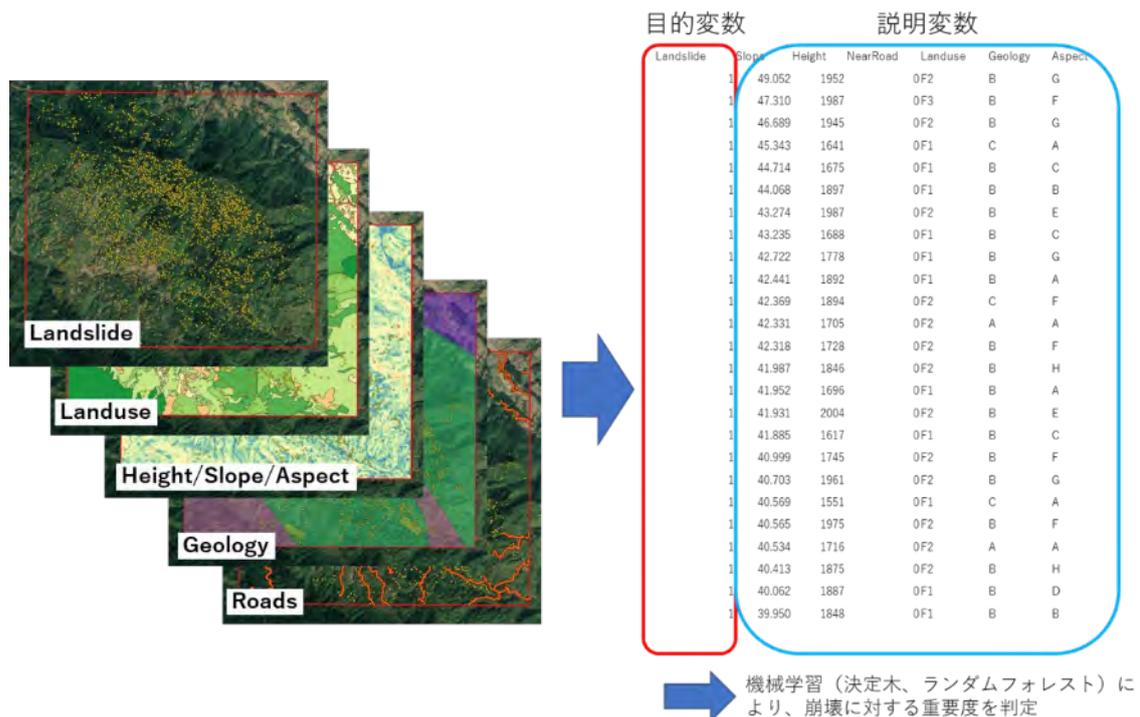


図 4-3-5-3 判読した崩壊箇所および利用した要因項目(左図)。解析範囲に 10m メッシュを作成し、メッシュごとに崩壊地の有無(目的変数)および各要因項目(説明変数:土地利用、標高、傾斜、方位、地質、道路)を集計し、データセットを作成し、解析に使用した(右表)。

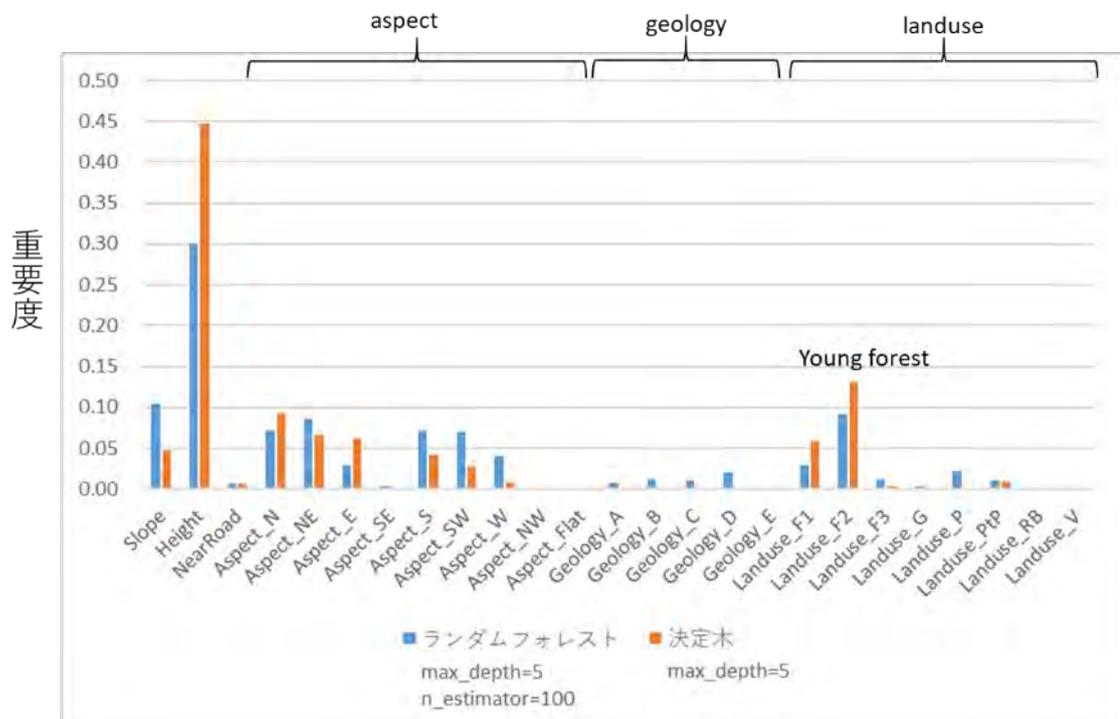


図 4-3-5-4 崩壊に対する各要因(変数)の重要度。Landuse(土地利用)は GoogleMap を目視判読し、F1:森林(壮齢林)、F2:森林(若齢林)、F3:灌木、G:草地、畑、P:水田(棚田)、PtP:棚田に植林、RB:河床、V:村落に区分したものを使用した。今回の解析では、F2:森林(若齢林:赤枠)の斜面が決定木では 2 番目、ランダムフォレストでは 3 番目に崩壊の発生要因として重要となった。

#### 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 近年の気候変動下におけるマングローブ林を取り巻く状況と課題

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 が先般公表した第 6 次評価報告書 AR6 では、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。こうした世界の海面上昇の状況を背景として、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 (図 4-4-1-1)。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)。

一方で、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報告されている (International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies 2011a, b)。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。



図 4-4-1-1 波浪による侵食が進む海岸林(上:モクマオウ林, 下:メヒルギ林)。スワントウイ国立公園(Xuan Thuy National Park)内紅河河口域(2022年2月21日撮影)

#### 4.4.2 ベトナム社会主義共和国におけるマングローブ林の分布と現況

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。

ベトナムにおけるマングローブ林の内訳は、保全林 (Protection forests) 73%、生産林 (Production forests) 19%、特別利用林 (Special use forests) 7%となっている (Linh, 2020, 図 4-4-2-1)。なお、森林保護及び開発法によると、上記の森林は以下のとおり、定義されている (JICA 2003 ベトナム社会主義共和国森林整備計画プロジェクト形成調査報告書 11746849) :

- ・保全林:「保全林とは水源、土地、土壌侵食、自然災害を防ぎ、気候の安定や自然の生態を保全するのに役立たせるために利用される」(第 26 条)
- ・生産林:「生産林とは、木材や他の林産物を生産するもので、あわせて生態圏の保全を達成するために利用される」(第 36 条)
- ・特別利用林:「特別利用林とは、主に自然、国立公園の生態圏、動植物の遺伝子資源を保護し、化学の研究に共用され、歴史的・文化的遺産、景観、そして観光やレクリエーションとしても利用される」(第 31 条)。

また、ベトナムにおけるマングローブの分布割合については、北東部 (Northeast) において 13%で主に沿岸保全林、紅河デルタ地域 (Red River Delta:RRD) においては 6%で保全林と特別利用林 (Xuan Thuy National Park を含む)、中央沿岸北部 (North Central Coast:NCC) と中央沿岸南部 (South Central Coast:SCC) においては 1.5%で沿岸保全林、メコン河デルタ地域 (Mekong River Delta:MRD) においては 78%で保全林、生産林および特別利用林 (Ca Mau National Park, Can Gio Biosphere Reserve を含む) の全てが分布している (Linh, 2020, 図 4-4-2-2)。以上のデータからも分かるように、ベトナムにおける大半のマングローブは、北部は紅河デルタ、南部はメコン川デルタに分布している (Veettil et al.

2019) 一方で、海に接する 28 省 (Province) 全てでマングローブの分布が認められている。

マングローブの種分布については、北部地域で 16 種、中部地域で 23 種、南部地域で 33 種となっており (Linh, 2020, 表 4-4-2-1)、より温暖な気候である南部地域において分布種数が増え、分布面積も増える傾向となっている。北部・中部地域では、メヒルギ (*Kandelia obovata*)、ヤエヤマヒルギ (*Rhizophora stylosa*)、ヒルギダマシ (*Avicennia marina*)、ナンヨウマヤブシキ (*Sonneratia caseolaris*)、ツノヤブコウジ (*Aegiceras corniculatum*)、オヒルギ (*Bruguiera gymnorhiza*) などが、南部ではフタバナヒルギ (*Rhizophora apiculata*)、オバナオヒルギ (*Bruguiera sexangula*)、コヒルギ属の仲間 (*Ceriops decandra*)、ヒルギモドキ (*Lumnitzera racemosa*)、マルバヒルギダマシ (*Avicennia officinalis*)、シマシラキ (*Excoecaria agallocha*) などが主要構成種である (Linh, 2020, 表 4-4-2-1)。

気候変動が深刻化する近年、ベトナム沿岸部において発生の増加が懸念される自然災害として、以下の 4 つが挙げられる：

1. 台風に伴う洪水 (Flooding caused by typhoons)
2. 波浪による海岸侵食や河川堤防の破壊 (Erosion of coastline/river bank by sea wave)
3. 乾燥害 (Drought)
4. 塩害 (Salinization)

1. の台風による洪水は、北部中央沿岸部、南部中央沿岸部、ホーチミン市を初めとする沿岸都市部で深刻な状況となっている。2. の海岸や防潮堤の侵食については沿岸部全 28 省 (Province) で顕在化しているが、メコン河デルタ地域が最も深刻である。3. の乾燥害は主に南部中央沿岸部、4. の塩害は主にメコン河デルタ地域で問題となっている。

ベトナム沿岸部や流域、河川河口部における侵食被害に関する近年の発生状況について、ベトナム防災総局 (Vietnam Disaster Management Authority 2022) のデータを参照してみたい (図 4-4-2-2)。2012 年～2019 年における年ごとの海岸堤防や河川堤防の侵食被害状況 (被害区間の総延長距離) は、1,200～292,000 m の範囲にあった。統計情報初年の 2012 年、および 2013 年の極端に少ない、または多い被災総延長距離の理由は現在調査中である。2013 年以前を除いた 2014 年～2017 年までは侵食被害の状況は上昇傾向にあったものの、マングローブ林の修復・保全活動の高まりによりそれ以降徐々に被害総延長は減少に転じ、侵食に起因する被害総額も徐々に減少傾向にあることがうかがえる。

- 保全林 (Protection forests)  
 . . . 73%
- 生産林 (Production forests)  
 . . . 19%
- 特別利用林 (Special use forests)  
 . . . 7%

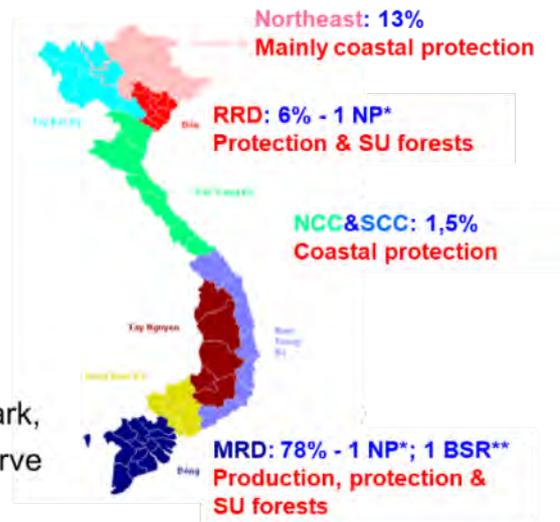


図 4-4-2-1 ベトナムにおけるマングローブの分布割合 (Linh, 2020)

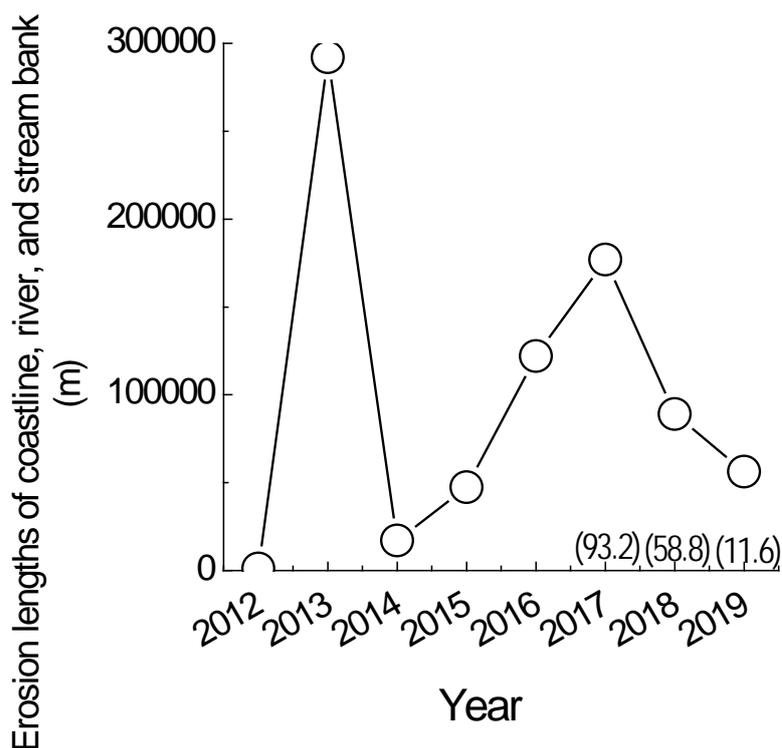


図 4-4-2-2 ベトナムにおける近年の海岸堤防、河川堤防の被災状況(—○—). 2017 年～2019 年の括弧内の数字は関連災害被災総額(10 億 VND)を示している (Vietnam Disaster Management Authority, 2022)

表 4-4-2-1 ベトナムにおけるマングローブ分布種(Linh, 2020)

North 16 species	Central 23 species	South 33 species
<i>Kandelia obovata</i> (Trang)	<i>Kandelia obovata</i> (Trang)	<i>Rhizophora apiculata</i> (Duoc)
<i>Rhizophora stylosa</i> (Duoc voi)	<i>Avicennia marina</i> (Mam bien)	<i>Bruguiera sexangula</i> (Vet khang)
<i>Avicennia marina</i> (Mam bien)	<i>Sonneratia caseolaris</i> (Ban chua)	<i>Ceriops decandra</i> (Da quanh)
<i>Sonneratia caseolaris</i> (Ban chua)	<i>Rhizophora stylosa</i> (Duoc voi)	<i>Lumnitzera racemosa</i> (Coc vang)
<i>Bruguiera gymnorhiza</i> (Vet du)	<i>Aegiceras corniculatum</i> (Su)	<i>Avicennia officinalis</i> (Mam den)
		<i>Excoecaria agallocha</i> (Gia)

#### 4.4.3 ベトナムにおけるマングローブの保全指針と具体的な沿岸部の防災対策

ベトナムにおいては、2007年に「国家森林戦略 2006-2020」において森林資源としての森林の開発方針を示すとともに、2014年には「グリーン成長のための国家行動計画 2014-2020」においてグリーン成長に向けた各行政機関が実施する政策方針を定めた(REDD プラス・海外森林防災研究開発センター 2021)。沿岸部のマングローブ関係の内容としては、Decree 119/2016/ND-CP や Decree 156/2018/ND-CP、Decision 120/QD-TTg などの法令・法律によりマングローブ保全、植林の目標が定められている。すなわち、裸地等での造林や沿岸部へのマングローブ植林を行うことで、2020年までに森林率を45%まで上昇させる目標を掲げ、国家予算を確保して取り組まれている。上記目標の下、マングローブの分布地域において、森林環境サービスに(Payments for Forest environmental services: PFES)を推進する動きもある(現在、Ca Mau 省にて試験的に実施中)。気候変動緩和と適応のための海岸林再生事業への投資も進んでいる。また、ベトナム政府は、国家が決定する貢献(Nationality Determined Contribution: NDC)において、マングローブ林の保全と修復が気候変動緩和や適応のための重要な施策であると認識し、そのための海岸林再生事業への投資も進めている状況にある。

#### 4.4.4 マングローブ林保全・修復後の現地状況概要：ベトナム北部地域の沿岸マングローブ林（特別利用林）（スワントゥイ国立公園）

##### 4.4.4.1 スワントゥイ国立公園の概況

本事業では、ベトナム北部にあるスワントゥイ国立公園(Xuan Thuy National Park: 以下、

「XTNP」と言う。)を、ベトナム沿岸域のマングローブ林の防災・減災に関する機能評価の調査対象としている。XTNPは、ベトナム北部の Nam Dinh Province の Tonkin 湾内紅河河口部(北緯 20° 13' 37.6"、東経 106° 31' 42.0")に位置する。ここは、ベトナム初のラムサール条約登録湿地でもある(Ramsar Sites Information Service 2021)。XTNP には 15,000 ha もの面積のマングローブ群落が分布しており、植栽されたマングローブと自然定着したマングローブが混在している(Tinh and Tuan 2015)。

構成樹種は、自生種としてメヒルギ (*Kandelia obovata*)、オヒルギ (*Bruguiera gymnorhiza*)、ヤエヤマヒルギ (*Rhizophora stylosa*)、ツノヤブコウジ (*Aegiceras corniculatum*)、ヒルギダマシ (*Avicennia marina*)、ナンヨウマヤブシキ (*Sonneratia caseolaris*) が植栽され、マレーシアからの輸入種として *Sonneratia apetala* がある(図 4-4-4-1)。当該地の年平均気温は 23.4~24.5°C の範囲で、最寒期(12~1 月)の月平均気温は 16.0~17.1°C、最暖期(7 月)には月平均気温が 29.4°C を超える。平均年降水量は 1,750~1,800 mm year<sup>-1</sup> の範囲で、雨季(5~10 月)と乾季(11~4 月)が明瞭であるとされる(Nam Dinh Province Statistics Office 2016)。一日の干満潮における潮位差は、最大時には 3.54 m 程度、最小時には 0.37 m を示すとされる(Centre for Oceanography 2016)。

本事業では、植栽年、植栽方法、植栽樹種、潮汐環境などが異なる、XTNP 内 11 箇所に試験地を設定した(図 4-4-4-2)。



図 4-4-4-1 スワントウイ国立公園(Xuan Thuy National Park)内に分布するマングローブ植栽  
 および自生樹種 a) *Sonneratia caseolaris*, b) *Sonneratia apetala*, c) *Aegiceras  
 corniculatum*, d) *Rhizophora stylosa*, e) *Bruguiera gymnorrhiza*, f) *Kandelia obovata*, g)  
*Avicennia marina*



図 4-4-4-2 スワントウイ国立公園(Xuan Thuy National Park)周辺の空中写真 出典: Map data ©2020 Google Earth(2019年9月25日撮影)

#### 4.4.4.2 XTNP におけるマングローブ林分布域の変遷

マングローブ林の沿岸域防災・減災機能を評価するためには、マングローブ林の分布域がどのように変遷してきたかをとらえる必要がある。そこで過去 30 年の衛星データを用いて、XTNP におけるマングローブ林の分布域の変遷を明らかにした。用いた衛星データは、NASA が打ち上げ・運用している Landsat 衛星のデータである。Landsat 衛星の 1 号機は 1972 年に打ち上げられ、1982 年に打ち上げられた Landsat 4 号以降は、ほぼ同じ波長帯、同じ地上分解能での観測が続けられており、土地利用変化など時系列でのモニタリングにおいて有力なツールとなっている。

まず、米国地質調査所(USGS)にある Landsat 衛星データのアーカイブから、XTNP の対象地において雲の影響を受けていない 1991 年 10 月 28 日、1995 年 11 月 24 日、2000 年 11 月 5 日、2005 年 5 月 11 日、2010 年 11 月 1 日、2014 年 9 月 25 日、2020 年 11 月 12 日のデータ(約 5 年間隔)をダウンロードした。

これらの衛星データに対して、図 4-4-4-3 の解析フローに従ってマングローブ林の抽出を行った。まず、水田などでの誤分類を最小化するため沿岸域のマスクを作成し、沿岸域の部分のデータを切り出した。切り出した各時期のデータに対して教師なし分類のひとつである K-means 法で 20 クラスに分類し、クラスの類似度と判読結果からマングローブ林のクラスを決定

した。この結果に対して、誤分類、0.1ha 程度の孤立林、十分に育っていないエリアをノイズ処理により除去した。最後に、ラスタ/ベクター変換処理により、GIS 上で取扱が容易な形式に変換した(図 4-4-4-3)。

この結果から、2020 年にマングローブ林である地域のうち、1991 年以前からマングローブ林であったところ、1991-1995年、1995-2000年、2000-2005年、2005-2010年、2010-2014年、2014-2020 年に植林されたところを区分した結果を図 4-4-4-4 に示す。図 4-4-4-4 から、マングローブ植林は南部の外洋に面したところから陸地に近いところに向けて植林が進められていることが分かる。また、対象地域北部の植林は南部の地域に比べて、植林時期が遅いことも見て取れる。

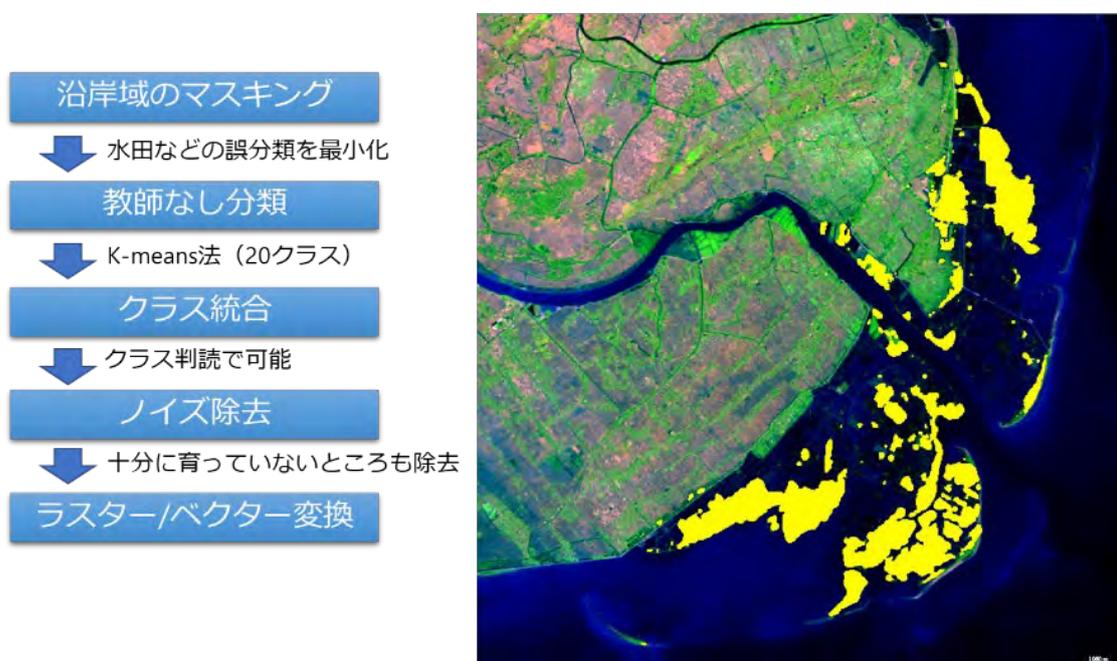


図 4-4-4-3 衛星データからのマングローブ林の抽出

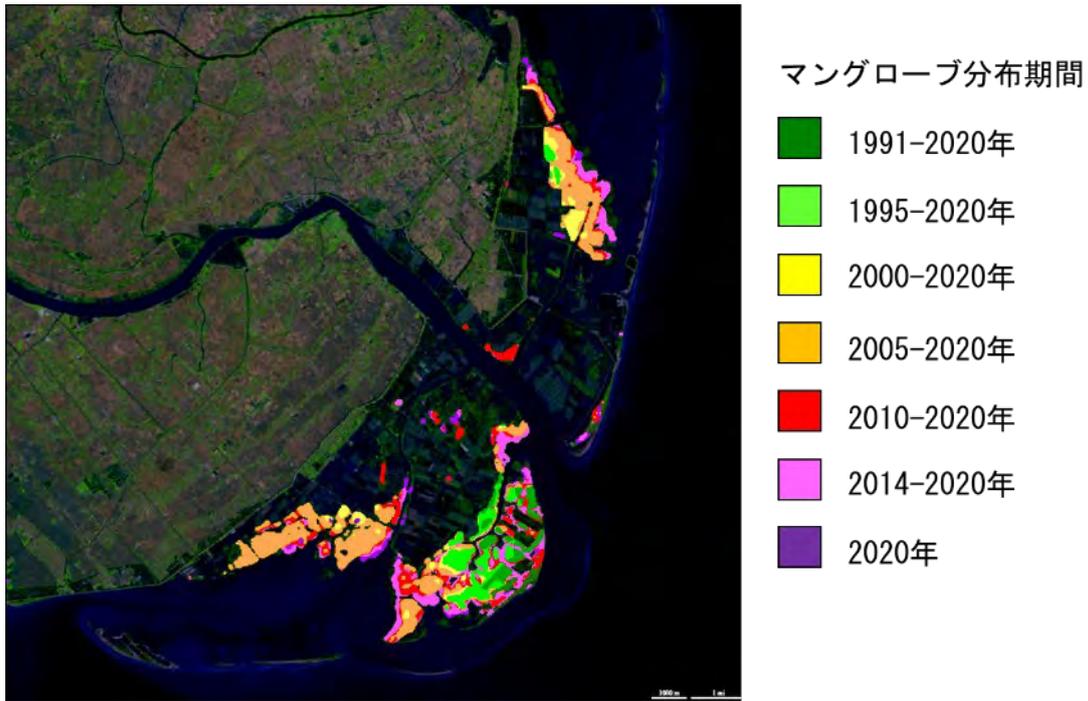


図 4-4-4-4 マングローブの分布域の変遷

#### 4.4.4.3 XTNP 周辺の社会経済状況

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。ここでは、本事業が研究対象とするベトナム北西部 XTNP 周辺のマングローブ林地を対象に行った、社会科学分野の事前予備調査の結果を報告する。

社会科学分野の調査を実施するにあたり、XTNP 周辺に位置する village の中から、表 4-4-4-1 で示した 3 つの基準を用いて、調査対象とする village を 6 つ選定した。図 4-4-4-5 はその対象 village の分布図である。Trung Uong 堤防は現地の海に面した堤防の名称である。一つ目の選定基準として Trung Uong 堤防及び紅河との位置関係を挙げた理由は、沿岸災害と塩水遡上の潜在的リスクに直接関係するためである。二つ目の選定基準として village の主な収入源に着目した理由は、人為的なマングローブ被害の潜在的リスクとマングローブの植林や保全に参加する意欲に直接関係するためである。三つ目は Village により森林管理官 (Forester) が保護を実施している場合と、マングローブ林保護に参加し配分契約を交わした世帯が保護を実施している場合があるため、これらの違いも Village 選定の際に考慮した。

表 4-4-4-1 調査対象となった6つの Village と選定基準

調査対象 village	コミュニティ	選定基準		
		1. Trung Uong 堤防及び紅河との位置関係	2. 主な収入源	3. マングローブ林の保護実施者
Village Tan Hong	Giao Thien	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Trung Uong 堤防の<u>外側</u>に位置</li> <li>・ マングローブ生態系と養殖場に隣接</li> <li>・ XTNP のコアゾーン</li> <li>・ 紅河下流付近</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ XTNP のコアゾーンでの大規模養殖</li> <li>・ 干潟外でのアサリ養殖管理のための雇われ労働者</li> </ul>	森林管理官 (Forester)が保護
Village30	Giao Thien	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Trung Uong 堤防の<u>内側</u>に位置</li> <li>・ 紅河堤防に隣接</li> <li>・ XTNP のバッファゾーン。</li> <li>・ 紅河と砂採取ステーションに隣接</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 農業 (稲作)</li> <li>(以前は養殖が主な収入源だったが、エビの工業的養殖と畑の農薬によって汚染された。また、マングローブ林の下にある天然の水生物からの収入も、乱開発により減少した)</li> </ul>	森林管理官 (Forester)が保護
Village22	Giao An	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Trung Uong 堤防の<u>外側</u>に位置</li> <li>・ マングローブ生態系と養殖場に隣接</li> <li>・ XTNP のコアゾーン</li> <li>・ 紅河下流から遠い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 農業 (稲作)</li> <li>(以前は、干潟外での大規模な養殖やアサリ養殖だったが、気候変動や塩害の影響を受けた)</li> </ul>	マングローブ林保護に参加し配分契約を交わした世帯が保護
Village12	Giao An	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Trung Uong 堤防の<u>内側</u>に位置 (1km※)</li> <li>・ XTNP のバッファゾーン</li> <li>・ 紅河からそれほど離れていない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 亀の飼育、盆栽の栽培</li> <li>(天然水産物搾取やエビ養殖への依存度は低い)</li> </ul>	マングローブ林保護に参加し配分契約を交わした世帯が保護
Village21	Giao Lac	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Trung Uong 堤防の<u>内側</u>に位置 (0.3km※)</li> <li>・ XTNP のバッファゾーン</li> <li>・ 紅河から遠い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 大規模養殖</li> <li>・ 干潟外でのアサリ養殖</li> <li>・ マングローブ林周辺や直下での天然水産物開発</li> </ul>	マングローブ林保護に参加し配分契約を交わした世帯が保護
Village07	Giao Lac	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Trung Uong 堤防の<u>内側</u>に位置</li> <li>・ XTNP のバッファゾーン</li> <li>・ 紅河から遠い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ アサリ養殖管理のための雇われ労働者</li> <li>・ 建設作業等のための雇われ労働者</li> <li>(以前は、干潟外での大規模な養殖やアサリ養殖だったが、気候変動や塩害の影響を受けた)</li> </ul>	マングローブ林保護に参加し配分契約を交わした世帯が保護

※堤防からの距離



図 4-4-4-5 XTNP 周辺における事前予備調査対象の 6 village の地理的分布(赤線:省道 489 号線、青線: Trung Uong 堤防、桃色:Village の非公式境界)

これら 6 つの village において、(1)社会経済基礎情報、(2)インフラ情報、(3)土地利用区分、(4)住民が認識するマングローブ林の変化とその要因、(5)住民のマングローブ植林・保全への参加意欲、(6)主な被災内容と災害リスク軽減の可能性評価について、文献調査および主要情報提供者へのインタビュー、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) 社会経済基礎情報

サンプル village の人口については中央値が 359 人、人口が最も多い village と最も少ない village はそれぞれ village30 の 853 人、Tan Hong の 153 人である( $SD=262.4$ )。サンプル village の住民の平均年収は 2,263 米ドルで、平均年収が最も高い village と最も低い village はそれぞれ Tan Hong 及び village30 の 2,802 米ドル、village07 の 1,509 米ドルである( $SD=501.0$ 、図 4-4-4-6)。住民の主な収入源は農作物生産、養殖業、小ビジネスとなっている(図 4-4-4-7)。主な農産物は米(水稻)、主な水産物はエビとアサリ(養殖)、小ビジネスは盆栽と薬草の栽培及び亀の飼育が village12 において、建設作業やアサリ養殖管理のための雇われ労働が village07 において、それぞれ盛んである。



図 4-4-4-6 サンプル village の住民の平均年収(1USD=23,200VND)

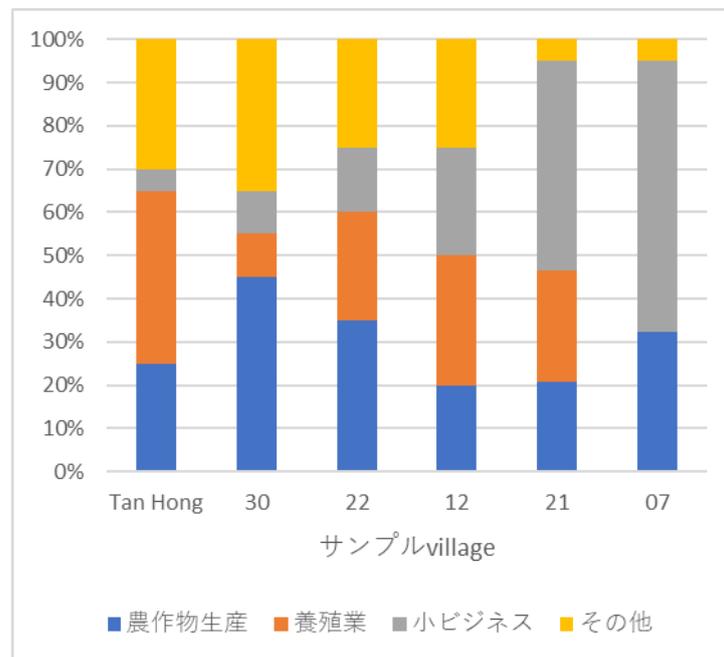


図 4-4-4-7 村民の平均年収の収入源内訳

(2) インフラ情報

調査地周辺には国道は敷設されておらず、Trung Uong 堤防(コンクリート製の海の堤防)が Gio Thien コミューンと Gio Lac コミューンを横断している。省道(Provincial road) 489 号線は Gio Thien コミューンと Gio An コミューンには良好な状態で横断している。サンプル village における主要道路と堤防の有

無については表 4-4-4-2 の通り。

水稻を支える灌漑施設は、3レベルの水路システムを持つ Giao Thuy 郡の一般的な灌漑システムで管理されている。サンプル village における灌漑システムの概要と塩水侵入の程度は表 4-4-4-3 の通り。生活用水は、Village07 を除き、サンプル村の全ての世帯において水道水が利用可能となっている。Village07 では水道水と雨水の両方を利用しており、1%の世帯が水道水にアクセス出来ていない。

サンプル village 周辺には民間医療施設はないが、どのサンプル village からも比較的近距离(5～11km)に郡病院(district hospital)がある。また、主に年長者が保険診療の薬を無料で受け取ったり、予防接種を受けに来るための施設である診療所(communal medical station、地域医療施設)は、どのサンプル village にもアクセスが容易な距離(1～4km)に位置している。さらに、Tan Hong と Village12 周辺には地域病院(communal hospital)がある。サンプル village の属する3つのコミュニンの中には、それぞれ幼稚園、小学校、中学校、高校があり、これらの多くの学校は国の基準を満たしている。

**表 4-4-4-2 サンプル village における主要道路と堤防の有無**

Village	コミュニン	Inter-commune road	Inter-village road	village road	Trung Uong 堤防
Tan Hong	Giao Thien	✓		✓	✓
Village30	Giao Thien			✓	
Village22	Giao An		✓	✓	✓
Village12	Giao An			✓	✓複数の堤防*
Village21	Giao Lac			✓	✓
Village07	Giao Lac		✓	✓	✓

\* Binh Long 堤防、Trung Uong 堤防、Dien Bien 堤防、Thong Nhat 堤防。これらの堤防の多くは1960年代に建設され、マングローブで保護されている。

表 4-4-4-3 サンプル village における灌漑システムの概要と塩水侵入の程度

Village	コミュニティ	灌漑システムの概要	塩水侵入*の程度
Tan Hong	Giao Thien	・潮位の変動に合わせ、暗渠（あんきょ）の開閉で制御 ・揚水設備は使用しない	・塩水侵入はほとんどない
Village30	Giao Thien	・潮位の変動に合わせ、暗渠の開閉で制御 ・揚水設備は使用しない	・灌漑設備の水はけが良いが、春季栽培で塩水侵入が発生することがある。有機リンや石灰を散布して処理することが多い。
Village22	Giao An	・潮位の変動に合わせ、暗渠の開閉で制御	・不明
Village12	Giao An	・下水道 10 本による灌漑システム	・不明
Village21	Giao Lac	・潮位の変動に合わせ、暗渠の開閉で制御	・近年、塩水侵入があり、米の収量が減少している
Village07	Giao Lac	・郡の灌漑システムで管理 ・農家が毎年修理費を負担	・塩水侵入なし

\* VAFS からの報告原文では“saline intrusion”という用語が用いられているが、より一般的な用語である“saltwater intrusion”を用いた。

### (3) サンプルコミュニティの土地利用区分

サンプル village の土地利用区分は、水田、その他の一年生・多年生作物用の農地、養殖地、マングローブ林(保全林、生産林、特別利用林)に分けられる(図 4.4.4.8)。どのサンプルコミュニティにおいても最も大きい割合を占める区分は水田である。

2010～2020 年の 3 コミュニティにおける土地利用変化については、養殖地がインフラ整備に伴う転用で減少している。水田・農地面積には大きな変化はないが、異常気象への対応や生産性向上のために米の品種変更や作期延長といった稲作方法の改善が進んでいる。

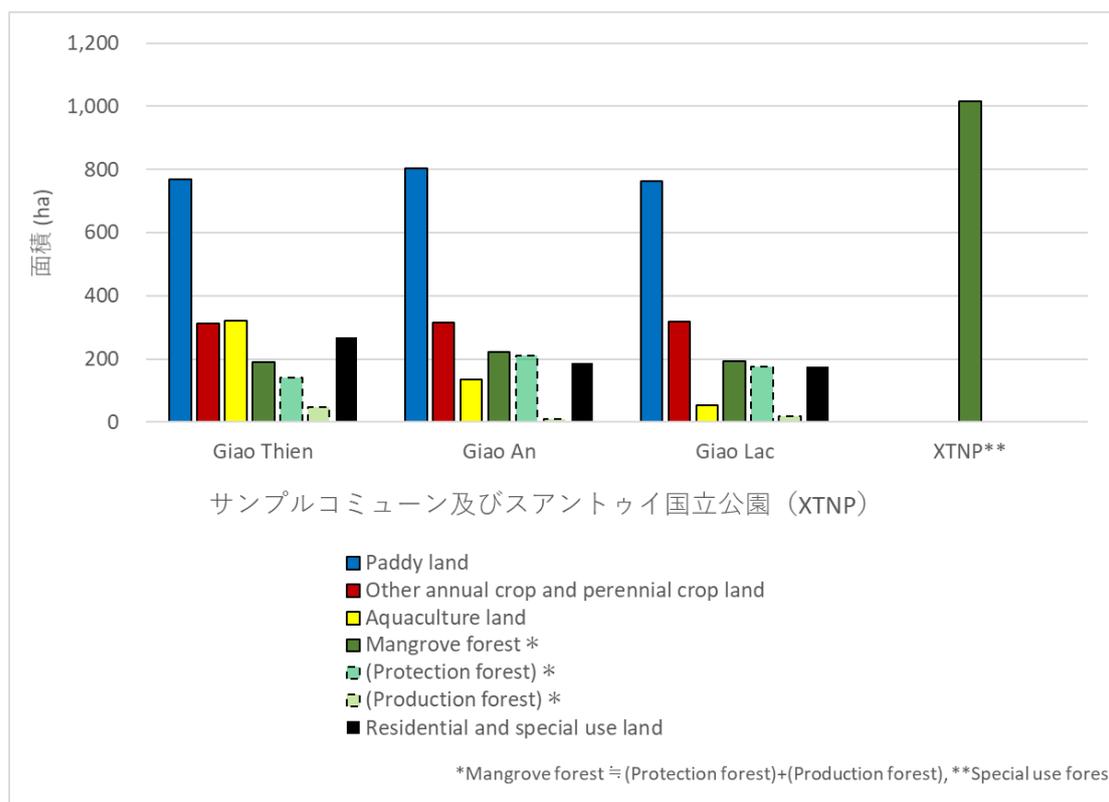


図 4-4-4-8 サンプルコミュニティ及びスアントゥイ国立公園(XTNP)の土地利用区分

#### (4) 住民が認識する 3 コミュニティのマングローブ林の変化とその要因

ここでは、調査 village が属する 3 つのコミュニティでのコア・グループ・ディスカッション及び、個別インタビューで得られた、住民が認識する3コミュニティのマングローブ林の変化とその要因についてまとめた。コア・グループ・ディスカッションでは、各コミュニティ(Giao Thien、Giao An、Giao Lac)のコミュニティ人民委員会を会場として、農民組合、女性組合、赤十字社、青年組合、退役軍人会の代表者、さらに、主な収入源の異なる世帯の代表者の参加を募り、ディスカッションを行った。個別インタビューは、6 つの Village 長および village あたり 3 世帯に対して行った。

住民が認識する 3 コミュニティのマングローブ林の変化の歴史は表 4-4-4-4 の通りである。どのコミュニティにおいても 1980 年代までに開発によるマングローブ原生林の面積と減少と質の低下を経験している。その後、デンマーク赤十字、日本赤十字社、ベトナム政府(MARD、国防省)、日本政府(文部科学省)等のマングローブ植林プログラムによりマングローブ林面積は回復してきたが、近年は自然要因・人的要因により枯死・侵食が始まっていることがうかがえる。

Giao Thien コミュニティでのコア・グループ・ディスカッションでは、マングローブの劣化に影響を与えた要因として、1986 年、2005 年、2012 年の嵐の影響(*Kandelia candel* の広範囲で枯死)、過去のエビの養

殖によるマングローブ林の侵食、2008 年の厳しい寒さ(*Sonneratia caseolaris* に影響)、塩分濃度範囲の変動と塩水侵入、気温上昇、放牧活動、マングローブ樹冠下の水生資源の利用が挙げられた。その他、マングローブ保護への制約としては、森林再生計画や保護チームの有無、マングローブの面積などの入手できる情報が限られていることも挙げられた。

Giao An コミューンでは、コミューンの赤十字社と直接契約を結び、管理・運営を行ってきた。植林の参加者は、労働力の有無や貧困世帯数といった基準に従って村に分配される。マングローブ林の劣化に影響を与える要因として、1980 年代にあったエビの養殖によるマングローブ林への侵食、2007 年、2012 年の暴風雨によるマングローブ林への影響、厳しい寒さによりマングローブの樹種の中でも特に耐寒性の低い *Sonneratia caseolaris* が影響を受けたこと、海面上昇と塩水浸入(過去 2 年間)による塩分濃度の上昇による樹木の生育への影響、マングローブの根にフジツボが付着したことによる光合成の阻害などが挙げられた。

Giao Lac コミューンでは、マングローブの劣化に影響を与える要因として、塩分濃度の上昇、沖積堤防でのアサリ養殖の展開、暴風雨、コミューンと干潟・マングローブの境界線が明確でなく、管理が難しいことが挙げられたほか、Giao Thien コミューンと同様、マングローブ保護への制約としては、森林再生計画や保護チームの有無、マングローブの面積などの入手できる情報が限られていることも挙げられた。

表 4-4-4-4 コアグループ・ディスカッションにより明らかになった3コミュニティのマングローブ林の変化の歴史

Giao Thien コミュニティ			Giao An コミュニティ			Giao Lac コミュニティ		
期間	出来事	マングローブ林の変化	期間	出来事	マングローブ林の変化	期間	出来事	マングローブ林の変化
1978 年以前	・マングローブ林は原生林		1981 年以前	・マングローブ林は原生林		1975 年以前	・マングローブ林は原生林	
1978 - 1985	・石油、ガス開発		1981 - 1987	・多くの世帯がエビ養殖のために沖積土手に移住	・マングローブ林が侵食され、森林面積と質が低下	1975 - 1985	・大規模な養殖池の開発	・マングローブ林が侵食され、森林面積と質が低下
1985	・エビ養殖の開発でマングローブが侵食	・マングローブ林が侵食され、森林面積と質が低下						
1990	・デンマーク赤十字によるマングローブ植林プログラムで <i>Kandelia candel</i> を植林 ・地元住民が研修や宣伝に参加し意識が変化	・マングローブ林の面積と質が大幅に向上	1997	・デンマーク赤十字のマングローブ植林プログラムで新規植林 1ha、補植 5ha、地元住民への植林技術研修	・マングローブ林の面積と質が大幅に向上	1997 - 2003	・デンマーク赤十字マングローブ植林プログラムにてコミュニティの赤十字が中心となって実施し地元住民が参加 ・マングローブ 350ha のうち、180ha が保護のために 10 世帯に割り当てられ、残りの面積は森林管理官 (Forester) が管理。森林保護に関する規制不足	・マングローブ林の面積と質が大幅に向上 (1997 年は 300ha、2003 年は 350ha)

Giao Thien コミューン			Giao An コミューン			Giao Lac コミューン		
期間	出来事	マングローブ林の変化	期間	出来事	マングローブ林の変化	期間	出来事	マングローブ林の変化
2008	・オランダのプログラム下でキノコ栽培に生計転換する住民への生計支援、水牛の提供、水牛からマングローブを守るためのケージ建設	・マングローブへの圧力の低減	2007 - 2009	・日本赤十字社のマングローブ植林プログラムによる <i>Kandelia candel</i> 新規植林 50ha	・植林計画は大きな成功を収め、マングローブの面積が大幅に増加	2005 - 2013	・2005 年以降、マングローブ植林の地元住民の参加は限定的 ・XTNP と協力し、マングローブの共同管理・利用プロジェクトを実施。	・マングローブ林面積は維持
2010-現在	・現在、マングローブの植林活動は活発だが地元住民の参加はほとんど無し。マングローブの清掃や保護など、自然資源や環境の保護に関する宣伝が主な活動	・マングローブ林の面積は年々増加しているが、 <i>Kandelia candel</i> の大面積が台風や強い波の影響で枯死。	2008 - 2010	・日本文部科学省のマングローブ植林プログラムによる <i>Kandelia candel</i> の新規植林 31ha				
			2010 - 2012	・ベトナム国防省の植林・再生プログラムによる <i>Kandelia candel</i> と <i>Casuarina equisetifolia</i> の植林 30ha				

Giao Thien コミューン			Giao An コミューン			Giao Lac コミューン		
期間	出来事	マングローブ林の変化	期間	出来事	マングローブ林の変化	期間	出来事	マングローブ林の変化
			2011	・MARD のマングローブ再生プログラムによる <i>Kandelia candel</i> の植林 21ha				
			2013 – 2015	・日本赤十字社のプログラムによる植林 50ha		2013–現在	・沖積堤防におけるアサリ養殖の開発 ・エビの大規模養殖から産業養殖への転換	・マングローブ林の内部で多くの樹木が枯死。高潮による洪水やアサリ養殖の砂による侵食が要因か
			2015 – 2017	・ベトナム政府のプログラムによる <i>Sonneratia caseolaris</i> の植林 70ha				
			2018–現在		・マングローブ林は、高密度植林、病気、暴風雨などの影響により、林立地の中央部で約 100ha が枯死していると推定される			

#### (5) 住民のマングローブ植林・保全への参加意欲

3つのコミュニオン(Giao Thien、Giao An、Giao Lac)の世帯は、マングローブの植林、再生、保全に関するプロジェクトに等しく参加するよう動員されている。上述の通り、コミュニオンレベルのコア・グループ・ディスカッションでは、近年マングローブ林が枯死・侵食が始まっていることが報告されていたが、Village レベルでのグループインタビューからは、マングローブ林面積は拡大傾向または変化がないと認識している住民もいるようである(表 4-4-4-5)。同表で示した通り、住民が認識するマングローブの役割としては、主に災害リスク軽減や防潮堤の保護であるが、その他にも景観・環境(気候調整)の維持、天然魚介類の餌場としての役割、土砂の堆積なども言及された。マングローブ植林・保全への参加意欲については、現在のマングローブ林の生育状況や植林可能な土地の有無によって、village によって差異が生じていることがうかがえた。マングローブ植林・保全に対する世帯の支払い意思額は、おおよそ 5~20 万 VND/年の範囲であった。

表 4-4-4-5 マングローブの役割とマングローブ植林・保全への参加意欲に関するグループインタビューの結果

調査対象 village	マングローブの変化に関する自己評価	マングローブの役割についての認識	マングローブ植林・保全への参加意欲	マングローブ植林・保全に対する支払い意思の有無
Tan Hong	・変化なし	・第一の役割：景観・環境（気候調整） ・第二の役割：災害リスク軽減	・参加意欲あり	・国家公務員：1日給与条件 ・世帯単位：5～10万 VND/年
Village30	・30年前（1980年代）と比較すると減少したが、2015年以降は増加傾向	・災害リスク軽減の役割を明確に認識	・マングローブはよく育っているの で、参加意欲はそれほど高くない	・毎年ではなく、50万 VND/回を超えない範囲での寄付
Village22	・変化なし	・災害リスク軽減の役割を明確に認識 ・世帯が自ら保護のために植樹することもある	・参加意欲あり	・10万 VND/年を超えないこと
Village12	・徐々に拡大	・防潮堤の保護	・マングローブはよく育っているの で、参加意欲はそれほど高くない	・作業日数または苗木による貢献
Village21	・多くのマングローブ林が途中で枯死 ・原因は過年齢によるものか、塩分濃度の変化によるものかは不明 ・だが、マングローブの植栽は増えている	・第一の役割：マングローブの樹冠の下で天然魚介類に天然の餌を提供する ・第二の役割：土砂の堆積 ・第三の役割：災害リスクの軽減	・参加意欲はそれほど高くない	・20万 VND/年を超えないこと
Village07	・よく育っている	・防潮堤の保護	・マングローブを植える土地がない	・回答なし

#### (6) 主な被災内容と災害リスク軽減の可能性評価

3 つのコミューンの住民に認識されている主な災害タイプとその発生年、被災対象は表 4.4.4.6 の通り。後述の通り複数の災害リスク軽減のプロジェクトが実施され、コミューンレベルでの対策も進んではいるものの、コミューンのラウドスピーカーシステムは、まだタイムリーで明確な情報をすべての世帯に伝達できるほど整備されていない。地元住民は、しばしば災害リスクについてラジオやテレビで情報収集するなどして、暴風雨の際は家庭で自己防衛する必要がある。

これまで、災害リスク軽減プロジェクトとして、「ベトナムの脆弱な沿岸地域に対する気候変動の影響に対する回復力の向上」に関する GCF プロジェクト(2017 年～2020 年)、ベトナム森林・デルタプロジェクト(VFD)「気候変動への対応、災害リスク軽減、気候変動適応のための能力開発」(2013 - 2018 年)、「ベトナム沿岸地域社会の気候変動対応力強化のための協力」プロジェクト(2012 年～2014 年)が実施されてきた。コミューンレベルでは、毎年 4 月または 5 月にコミューン人民委員会が昨年度の防災の成果を検証し、当年度の計画を立てている。主な防災対策は、以下のとおりである。

- ・洪水・暴風雨対策運営委員会は、雨期と暴風期のそれぞれにおいて、注意を喚起するためのスタッフを配置
- ・各 Village に資材、手段、人員を割り当て・配置
- ・堤防、河川流域、主要な暗渠の整理
- ・必要に応じ住民を安全な場所に移動させる計画を策定
- ・被災世帯への支援(薬、種子、現金など)。
- ・住民参加による暴風雨や災害リスク軽減のための訓練の開催(頻繁ではなく参加者数も限定的)

表 4-4-4-6 災害タイプと発生年、被災対象

災害タイプ	Giao Thien コミューン			Giao An コミューン			Giao Lac コミューン			主な被災対象
	コミュニティ全体	Tan Hong	Village30	コミュニティ全体	Village12	Village22	コミュニティ全体	Village21	Village7	
嵐	1962; 2012; 2020	2012; 2020	2012; 2020	2012		2012	1961; 1962; 1983; 1979; 1986; 1996; 2005; 2012			米収量、作物収量、淡水魚養殖、牛、ハウス屋根吹き付け
極端な寒さ	2008; 2016	2016	2016	2016	2016	2016	1974; 2010; 2016	2016	2016	牛、作物収量、お年寄り
洪水	2003	2003		2017		2017	1985			作物収量、家畜、家屋、堤防等の公共インフラ
干ばつ							2008			作物収量
異常な暑さ	2011									水産養殖、作物収量（病害）
霜降現象	毎年	毎年	毎年	毎年	毎年	毎年	毎年	毎年	毎年	米収量、作物収量、養殖量
塩水侵入			年末		年末			年末		淡水魚養殖、作物収量

出所:

- GCF project on “Increasing resilience to the impacts of climate change for vulnerable coastal communities in Viet Nam” (2017 - 2020)
- Vietnam Forest and Delta Project (VFD) - Capacity building in responding to climate change, disaster risk mitigation and climate change adaptation (2013 - 2018)
- Project “Collaboration to strengthen the climate change resilience of Vietnamese coastal communities” (2012 - 2014)

#### 4.4.4.4 XTNP に設定した 11 箇所の固定試験地の林分と地盤の状況

前項 4.4.4.2 において記したように、XTNP は、主に、40 年以上続けられてきたマングローブ植林活動によって、その分布域を紅河河口の内陸側からより沿岸部へと拡大してきた。さらには、沿岸部へのマングローブ群落の分布域拡大に伴って、内陸部のマングローブ林は養殖池や農地への土地改変がなされた様子も確認された。それは、現地調査に向かう車窓からもうかがえた(図 4-4-4-9)。

XTNP 内のマングローブ植栽地 11 箇所の固定調査地(Site A-Site K)におけるマングローブ林のバイオマスおよび平均地際直径を図 4-4-4-10 に示す。なお、この調査はベトナム森林科学アカデミー(Vietnam Academy of Forest Sciences: VAFS)の Dr. Vu Tan Phuong らによって実施された。当該調査地におけるマングローブ植栽年次は、1985 年～88 年(Site I)から 2016 年(Site A, B, C, D)までの期間(植栽後 4～35 年経過)に及んでおり、植栽後の経過年時の幅が広い試験地設定となっている。バイオマスに関しては、約 55 t/ha の現存量をもつ Site B が最も高く、Site A, C, E, F, G, H, I では 10～27 t/ha の範囲にあり、Site D, J は 10 t/ha 以下で低かった。バイオマスの大小に関して、植栽からの経過時間は関係なさそうで、植栽後の経過時間が 4 年と短い Site B で最も高いバイオマス量を示した。一方で、植栽後 20～30 余年経過している Site E, F, G, H, I, J は、経過時間が長いにも関わらず、バイオマス量はさほど増えていないことが分かった。なお、昨年の既往研究報告のレビューでは、マングローブ地上部バイオマスの Global 平均(n=50)は 201 t/ha、ベトナムの平均値(n=10)は 240 t/ha であり、XTNP は既往報告と比べると大きく低いことが明らかとなっている。その理由については、2022 年 2 月に実施した XTNP の現地調査結果から、以下に考察する。

まず、各サイトの林況について記述する。Site A(20° 13' 16" N, 106° 32' 32" E)については、植栽年 2016 年の *S. caseolaris* と *K. obovata* の混植地であった(図 4-4-4-11 a)。*S. caseolaris* は樹高が 4～5 m 程度に達し、林冠を構成していたが、訪問時は冬季(2 月)であったため、落葉しており、林冠は疎であった。*K. obovata* は林床植生として存在していた。Site B(20° 13' 45" N, 106° 32' 33" E)についても Site A と同様の様相で、植栽年 2016 年の *S. caseolaris* と *K. obovata* の混植地で、*S. apetala* も存在しているのも確認できた。(図 4-4-4-11 b)。Site A 同様に、*S. caseolaris* と *S. apetala* は樹高が 4～5 m 程度に達して高木となり、林冠を構成していた。*S. caseolaris* は落葉していたが、*S. apetala* は落葉していなかった。*Kandelia obovata* は林床植生として存在していた。Site C(20° 13' 42" N, 106° 31' 22" E)の植栽年は 1997 年及び 2016 年である(図 4-4-4-11 c)。植栽木は *S. caseolaris*、

*K. obovata*, *R. stylosa*, *A. corniculatum* であった。*S. caseolaris* は高木で林冠を形成していたが、その他の樹種は樹高 1m 程度と低かった。Site D (20° 13' 13" N, 106° 31' 46" E) の植栽年は 2015 年と 2016 年の混植地であった (図 4-4-4-11 d)。植栽木は *S. caseolaris*, *S. apetala*, *K. obovata* であり、*A. corniculatum* は自生の侵入種である。これまで同様に *Sonneratia* 2 種は高木層を形成していた。Site E (20° 12' 09" N, 106° 32' 21" E) は植栽年 1997 年の *K. obovata* の pure plantation であった (図 4-4-4-11 e)。Site E は南シナ海に面する前線に砂洲を有した汀線前線に位置していた。風の影響が強い風衝地で、*K. obovata* が海風により斜向し、林冠は衰退していた。*K. obovata* は樹高が 5 m 以上に達し、その後に衰退して、根元から萌芽再生している状態で、林冠が衰退するきっかけはなんであったのか、今後、過去の気象状況などを検討して把握する必要があると考えられた。Site F (20° 14' 31" N, 106° 34' 54" E) は紅河河口部に位置する、1985 年～1987 年に植栽された *K. obovata* の pure plantation である。その後に *A. corniculatum* が自然定着したようである。現在は、紅河河口部からの潮汐によって地盤が強度に侵食され、マングローブが大面積で衰退し、現在もそれは進行している様子が確認された (図 4-4-4-11 f)。また、汀線付近の森林衰退は Site F と並列して成立していたモクマオウの地盤も侵食し、根返り、倒木が発生していた (図 4-4-4-11 f)。Site F における森林衰退も、なんらかの気象イベントをきっかけとして、樹木が衰退して地盤侵食が始まったのか、恒常的な侵食で衰退が始まったのか、今後の検討が必要である。Site G (20° 14' 12" N, 106° 31' 54" E) は、植栽年が 1997 年、1998 年の *K. obovata* と *R. stylosa* の混植林であるとのことであったが、2022 年 2 月の現地調査では *R. stylosa* は見当たらなかった。また、*K. obovata* も矮性化しており、経過年数の割に、成長が不良であった (図 4-4-4-11 g)。当該地は内陸に近い運河奥部に位置するマングローブ林である。Site H (20° 13' 58" N, 106° 30' 26" E) は 1997 年植栽の *K. obovata* と *R. stylosa* の混植林であった (図 4-4-4-11 h)。内陸部の魚介養殖池の際に存在し、当サイトへのアプローチには舟ではなく、内陸側の道路から徒歩にて行った。Site I (20° 13' 49" N, 106° 33' 38" E) の植栽年は 1985 年～1988 年であり、*K. obovata* の純林で、内陸部道路脇のサイトである (図 4-4-4-11 i)。Site J (20° 13' 04" N, 106° 33' 17" E) の植栽年は 1997 年で、*S. caseolaris*, *K. obovata*, *R. stylosa*, *B. gymnorhiza* の混植林であった (図 4-4-4-11 j)。いずれの Site も、土壌は泥質堆積物であった。

今回の現地調査から、*Sonneratia* 属 2 種の成長は他属に比べて高そうであり、樹林の高木層として林冠を構成していることが示唆された。特に、マレーシアからの輸入種である *S. apetala* は、冬季に落葉もせず、より高木になる傾向がみられた。これらが主要種であった Site A、B、C は平均地際直径が大きい傾向を示しており、さらに Site B のバイオマスは大き

い傾向を示していた。これは、*Sonneratia* 属の良好な成長に起因しているだけでなく、高い立木密度もバイオマスの上昇に起因していると考えられた。また、Site E、F は植栽後の経過年数の割に低いバイオマスを示していたが、これは強度な風衝や侵食の影響を受けているため、と考えられた。その他の Site でも、バイオマス量は Global 平均、ベトナム平均に比べて小さい傾向を示したが、XTNP が、マングローブ生育地としてはベトナム北部の涼冷な高緯度地域であることのほか、過密植栽による成長不良、林冠枯損、萌芽再生も影響しているのではないか、と考えられた。



図 4-4-4-9 マングローブの内陸側の堤防内陸側に広がる水田(上)と堤防の海側に造成されたエビ養殖池(下)

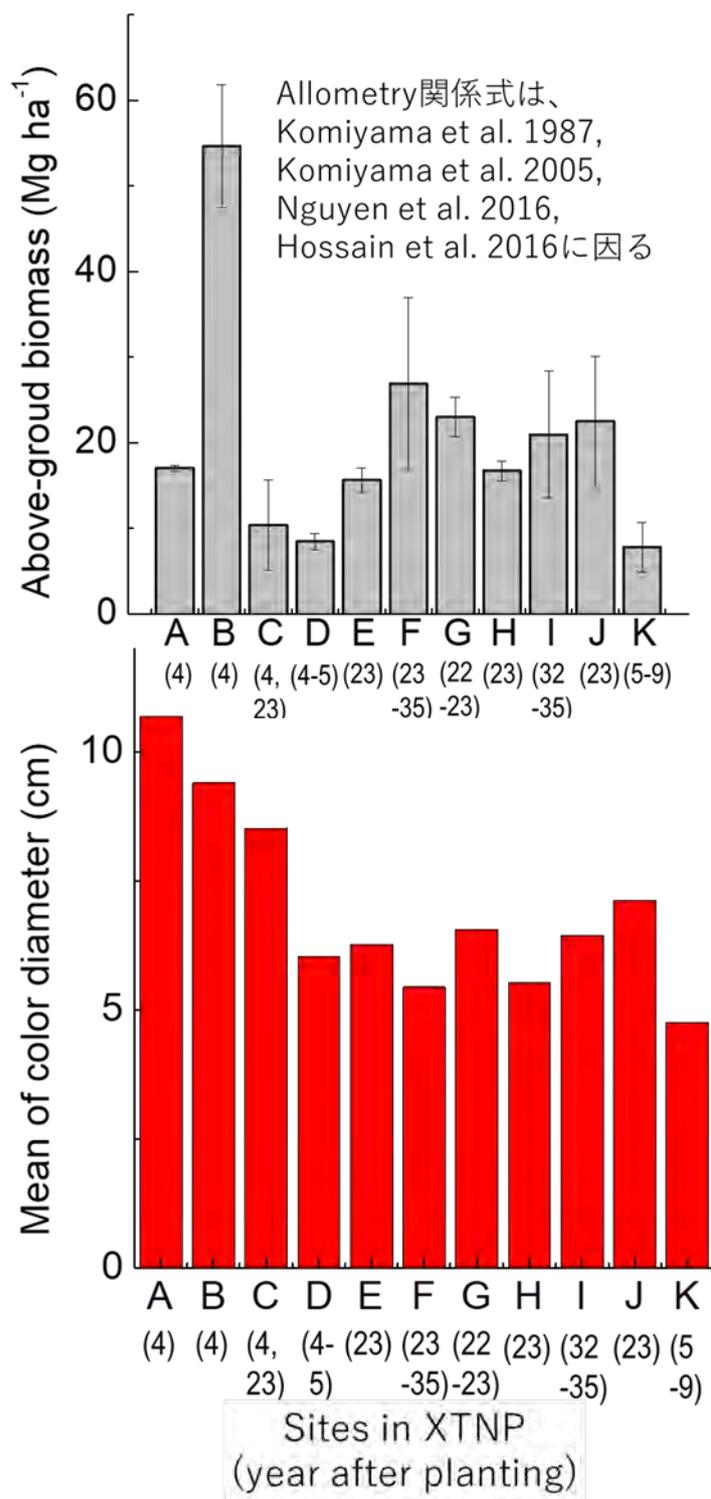


図 4-4-4-10 スワントウイ国立公園(Xuan Thuy National Park)11箇所の固定試験地における  
 マングローブバイオマスおよび平均地際直径

a) Site A



b) Site B



c) Site C



図 4-4-4-11 スワントウイ国立公園(Xuan Thuy National Park)の 11 箇所(Site A~K)の概況  
写真(続く)

d) Site D



e) Site E



図 4-4-4-11(続き)

f) Site F



g) Site G



図 4-4-4-11(続き)

h) Site H



i) Site I



図 4-4-4-11(続き)

j) Site J



k) Site K



図 4-4-4-11(続き)

#### 4.4.5 まとめおよび今後の検討事項

当課題に関する今年度の調査を通じて、XTNPにおける植栽活動によるマングローブ林の拡大状況と、現況を把握した。2010年以前に行われた、過去の植栽活動においては、かなりの過密植栽が行われ、その影響が現在の成長不良、林冠衰退、萌芽再生に繋がっている可能性を指摘した。2010年以降の植栽活動では植栽間隔を確保した試験植栽が行われる例が増えてきている。2003年以降にマレーシアから導入された *S. apetala* は成長が良好で、他樹種の林冠を抜けて、高木になっている状態が多く見られた。これらがどのような防災・減災機能を果たしうるのか、マングローブ分布の北部分布限界近くでも植栽適地になり得るのか、あるいは、どの程度の成長ポテンシャルを有するものなのかについて、今後、検討していくことは重要である。さらに、時間経過とともに変遷するマングローブ林の将来的な目標林型をどのように設定すべきか、明確にし、それに向けてどのようなマングローブ管理が必要か、検討して明示することが重要であると感じた。

一方で、ベトナムでは政府主導の積極的なマングローブ植林により、80年代以降、急速に分布域を拡大してきた背景がある。近年では、植栽適地が少なく、マングローブの植栽箇所を見つけるのが困難な状況ともなっているとの話も耳にした。実際に、現地調査では、養殖あと地にマングローブが新たに植栽されている様子も確認された(図 4-4-5-1)。今年度の現地調査では、台風や波浪の影響で、地盤が侵食され、マングローブ林が衰退している箇所もあった(Site F)。そうしたところでは、マングローブの衰退はみられるものの、天然の貝の採取地として遠浅の砂浜が広がっており、地元の住民の海産資源の採集箇所と変わっていた(図 4-4-5-1)。マングローブ林の拡大と魚介資源提供の場としての生態系サービス提供に関しては、相反関係にあり、水産資源採取と海岸林保全のバランスをどのようにとっていくべきか、地元住民が持つ両者に対するニーズを洗い出し、マングローブの植林・保全方針を考えていくことが重要であることも感じられた。

本事業で提示する予定であるマングローブ林の保全や修復に関する技術的指針は、その指針の利用者が現地の社会・経済・ガバナンス状況にも配慮できるような指針、言い換えれば、社会科学の視座も含んだ指針である必要がある。そこで、本年度は、この指針にどのような社会科学の視座を含めれば良いかを検討するために、上述の現地調査に加え、文献調査および主要情報提供者へのインタビュー、グループディスカッションといった手法を用いて、XTNP周辺の **village** やコミュニティにおける人口や地域住民の生計手段、土地利用の実態、インフラ情報、マングローブ林の管理状況、過去の被災状況等の基礎情報を整理し、把握した。地元住民の平均年収額や主な生計戦略は **village** 毎に異なる場合があることが確認された。主な生計手段の一つである農業に必要な灌漑システムも **village** 毎に異なるため水田・農地への

塩水侵入の程度も異なった。調査対象となった 3 つのコミュニティでは、各コミュニティの世帯がマングローブの植林、再生、保全に関するプロジェクトに等しく参加するよう行政主導で動員されている。しかし、世帯のマングローブ植林・保全への参加意欲は、現在のマングローブ林の生育状況の違いや植林可能な土地の有無、さらにはマングローブ林の役割についての認識の違いによって、village によって異なる可能性があることが明らかとなった。

今後は、マングローブ保全活動と魚介資源生産・採取活動のバランス、沿岸域管理の在り方などの点については、社会科学的アプローチを含めた現地調査を進め、更なる検討を進める必要がある。



図 4-4-5-1 マングローブ植栽地に変わる養殖あと地(上)と、侵食によって衰退した海岸林あと地で採取された二枚貝たち(下)

## 参考文献

- Centre for Oceanography (2016) Tide tables. Vol. 1. Natural Science and Technology Publishing House, p. 176
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2015) Global Forest Resources Assessment 2015. Desk reference. FAO, Rome, 244pp.
- 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.
- JICA (2003) ベトナム社会主義共和国森林整備計画プロジェクト形成調査報告書 国際協力事業団農林水産開発調査部 101pp
- 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
- Linh NTM (2020) Coastal Disasters and Disaster Prevention Measures. In International Workshop. "Natural disasters and risk reduction measures in Vietnam and Japan." [https://youtu.be/r0\\_s7LbB5IE](https://youtu.be/r0_s7LbB5IE)
- 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
- Nam Dinh Province Statistics Office (2016) Nam Dinh Statistical Yearbook 2015, Thong Ke Publisher; 386; ISBN: 978-604-75-0374-2.
- Ramsar Sites Information Service (2021) Xuan Thuy Natural Wetland Reserve. <https://rsis Ramsar.org/ris/409> (2021年3月3日閲覧)
- REDD プラス・海外森林防災研究開発センター (2021) 森林を活用した防災・減災の取り組み Country Report 2020 年度 ベトナム社会主義共和国 19pp.
- Tinh, P.H., Tuan, M.S., 2015. Vulnerability to climate change of mangroves in Xuan Thuy National Park, Vietnam. J. Agric. Biol. Sci. 10 (2), 55–60.
- 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

Vietnam Disaster Management Authority (2022) Bảng thống kê thiệt hại do thiên  
tai từ đầu năm (自然灾害による災害統計表 ベトナム語)

<https://phongchongthientai.mard.gov.vn/Pages/Thong-ke-thiet-hai.aspx>

