

## 第3章 途上国の森林の減災・防災の機能強化に係る課題等の調査・分析

---

### 3.1 背景と目的

気候変動に伴う土砂災害、高潮被害等の増加気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第5次評価報告書では、気温、海水温、海水面水位、雪氷減少などの観測から気候システムの温暖化には疑う余地はないことを指摘している。この温暖化の進行による極端現象の顕在化により、地球規模で豪雨の強度増加や頻度上昇、非常に気圧の低い低気圧、台風の発生頻度の増加が報告されており、斜面災害の大規模化や頻度上昇、沿岸域での高潮被害の甚大化に対する効果的な対策は世界共通の課題となっている。とくに、温暖湿潤な気候で、大河川や海岸沿いの平野に人口が集中し、災害に対する社会の脆弱性も高い東南アジア地域は、このような気候変動に伴う極端気象現象の増大が、洪水や土砂災害の被害の増大に直結しやすいと考えられる。また、東南アジア地域には近年の経済成長が著しい国も多く、経済成長に伴う都市人口の増大によって、災害リスクが高い場所での居住の増大に伴って、ハザードへの暴露が高まっている可能性が指摘できる。このような社会経済環境の変動によって引き起こされる災害リスクの増大は、個々の国や地域の、自然条件や社会環境によって多様な形で進行していると想定するのが当然であろう。このような災害リスク増大の実態を正しく評価するには、具体的な対象国を想定した上で分析を行い、ケーススタディーを積み上げる形のアプローチが有効と考える。

本報告書では、対象国としてベトナム、ミャンマー、インドネシアの3カ国を選定して、それぞれの国の状況の分析を通じて、東南アジア地域において森林を活用した減災・防災技術を適用する際に想定される課題について考察した。なお、本章のうち、3.4については、「森林の減災・防災等の機能強化に関する国際動向調査業務」として、外部委託を行った。本年度は、三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社が担当し、本報告書では外部委託調査事業報告書の概要を掲載した。詳細については添付資料のカントリーレポートを参照願いたい。

### 3.2 森林の減災・防災等の機能強化に関する国際的動向の把握

自然災害からの人命や財産を持続的に守るためには施設による対策と施設によらない対策とのバランスをもっと考えていかねばならないとする考え方は1960年代終盤から1970年代

序盤に起こり、後に「生態系を活用した防災・減災 (Ecosystem-based (solutions for) Disaster Risk Reduction: Eco-DRR; あるいは nature-based solution)」と名付けられたこの考え方は、施設による対策のみに頼った施策がもたらした負の影響(コスト、生態系擾乱、景観など)への内省に根差している(Moos et al. 2018)。その考え方への共感は徐々に拡がりをみせ、主流化への機運醸成に向けた動きが国際会議や国際条約の場で続いている(表 3-2-1)。例えば、2008 年には国連環境計画(UNEP)、国際自然保護連合(IUCN)等の国際機関、NGO、研究機関が環境と災害リスク削減に関するパートナーシップ(Partnership for Environment and Disaster Risk Reduction: PEDRR)を設立し、Eco-DRR の推進と実施拡大、国際・国家・地方レベルの開発計画への主流化に取り組んでいる。また、2014 年の生物多様性条約第 12 回締約国会議(The twelfth meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity)では、議題の 1 つとして「生物多様性・気候変動及び災害リスク軽減」が取り上げられ、各国が国内の災害リスク削減に関する施策の中で生態系を活用した手法を取り入れるよう勧告がなされた。更に、2015 年に仙台で開催された第 3 回国連防災世界会議(The Third UN World Conference on Disaster Risk Reduction)にて採択された仙台防災枠組 2015-2030(The Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030)では、生態系が防災・減災の手段として明確に位置づけられ、生態系に基づいた防災・減災へのアプローチの国際的な推進が謳われた(これらの動きの概要はカントリーレポート導入編にも記載されている)。

**表 3-2-1 主な国際枠組みにおける適応、防災・減災、Eco-DRR 等に関する議論や決議・取組**

国際枠組み	適応、防災・減災、Eco-DRR 等に関する議論や決議・取組
国連防災世界会議「仙台防災枠組 2015-2030」(2015 年)	2015 年 3 月に仙台で開催された第 3 回国連防災世界会議において、2015 年以降の防災・減災に関する国際指針である「仙台防災枠組 2015-2030」に合意。生態系が防災・減災の手段として位置づけられ、持続的な利用と管理の強化が重視された。優先事項として、①生態系に基づいたアプローチの国際的な推進、②山岳部や河川・氾濫原の災害リスクの高い地域における災害リスク評価、③生態系の持続的な利用・管理と災害リスク低減を統合した環境・天然資源管理アプローチの実施、が挙げられている。
国連気候変動枠組条約「パリ協定」(2015 年)	2015 年 11 月の第 21 回締約国会議(COP21)でパリ協定を採択。第 7 条に適応が位置づけられた。気候変動適応策における生態系への配慮の必要性に言及している。

生物多様性条約「生物多様性、気候変動及び災害リスク軽減」(2014年)	2014年の第12回締約国会議において、議題の1つとして「生物多様性、気候変動及び災害リスク軽減」が取り上げられ、各国が国内の災害リスク削減に関する施策の中で生態系を活用した手法を取り入れるよう勧告された。
ラムサール条約(2014年)	2014年の第12回締約国会議において、湿地生態系による防災上の役割を認め、湿地を基盤とした防災を国家戦略や関連政策等に組み込むことや、湿地の災害リスクを評価すること等を締約国に奨励。
環境と災害リスク削減に関するパートナーシップ(PEDRR)	国連環境計画(UNEP)、国際自然保護連合(IUCN)等の国際機関やNGO、研究機関から成り2008年に設立。Eco-DRRの推進と実施拡大、国際・国・地方レベルの開発計画への主流化に取り組んでいる。

森林は、山地・河川・海岸など都市以外の地形空間における Eco-DRR の最も重要な鍵となる生態系(生態資源)であり、ヨーロッパアルプスなどを中心に斜面崩壊・土石流・雪崩などと森林の関係に関する研究が進められてきたが、「森林を活用した防災・減災(Forest-based Disaster Risk Reduction: F-DRR)」が近年注目を集めるようになったのは津波による被害を海岸林が軽減する効果を持つことが知られるようになってからであろう。日本では森林を活用した山地防災が17世紀にはじまっていたことが世界的に知られるなど(Moos et al. 2018)、F-DRRの歴史や技術に関する日本の水準は国際的にも注目されている。F-DRRこそEco-DRRの中核を担うべきテーマであるという認識が高まりつつある中、フィールドでの実証的な研究と実践を東南アジア地域の山地と海岸の双方で探求する日本の本プロジェクトは、災害対応の国際的な、特に東南アジア地域での動向に有意なインパクトを与えるだろう。

すでに、アジア地域においてはEco-DRR/F-DRR的取組がいくつかみられ、その中には、日本が技術支援や助言を行った事例も多い。これらの事業を通じて、今後の治山技術の海外展開の可能性を考えるうえで参考になる情報も多く得られている。以下では、このような先駆的な海外協力の取り組みを通じて得られた情報についてとりまとめたが、Eco-DRR/F-DRR実施の主なポイントとして、下記のことが指摘できる。

- 1) 災害の種類・発生リスクや地形・自然環境等の地域特性と保有技術を踏まえた検討取組の主目的は防災・減災効果の発揮であることから、その観点から効果のある手法を選択することが求められる。森林を含む生態系を活用した手法が対象地に適するの、対象地に適するEco-DRR/F-DRR技術をそれぞれの企業が提供できるのかを踏まえた事業可能性の検討が非常に重要である。とくに、熱帯地域では風化帯に由来する厚い細

粒物質が、加速的な侵食や崩壊の多発化につながりやすいことが指摘されているため、自然条件を分析する際にも、地質だけでなく土壌生成環境までを考慮した自然環境の分析が不可欠である。

## 2) 現地実施体制の構築

**Eco-DRR/F-DRR** は例えば植林木の維持・管理等、設備整備とは異なりその後のケアも機能発揮のために非常に重要になる。数年、数十年にわたって機能を維持し適切に更新するためには、現地住民等を含む現地関係者と強固な実施体制を構築し、技術・ノウハウを十分に移転することが必須である。植林等の森林における活動に加え、**Eco-DRR/F-DRR** に関する教育や啓蒙活動も併せて行うことが求められ、そうした活動の担い手も体制に組み入れるべきである。

## 3) 生態系機能の限界把握

「生態系を活用した防災・減災対策は、人工構造物に比べてその効果を発揮するまでに時間を要し、多角的な因子が関るため効果発現量には不確実性に伴う幅があるという特徴がある(図 3-2-1)。こうした **Eco-DRR/F-DRR** の制約を認識したうえで、一方で森林・生態系がもたらす副次的効果(現地の生計向上への寄与、生態系サービスの提供等)も適切に評価し、手法としての **Eco-DRR/F-DRR** の選択を総合的に判断すべきである。**Eco-DRR/F-DRR** は、ソフト的な対策(土地利用計画)、生態的な対策(造林、緑化工)、工学的な対策(溪間工、山腹工)をその土地の状況に合わせて様々な割合で組み合わせる総合技術であり、生態系の防災機能にのみ頼るのではなく、かつての日本のハゲ山復旧治山事業のように小規模な防災施設(グレーインフラ)を補助的に用いることも有効である。例えば、厚い風化物質の存在によって加速的な侵食が危惧される場合は、治山ダム状の小規模な堰堤(チェックダム)を早期に設置することで、侵食を防止し上流側の流域の安定化に効果を発揮することが期待される(図 3-2-2)。

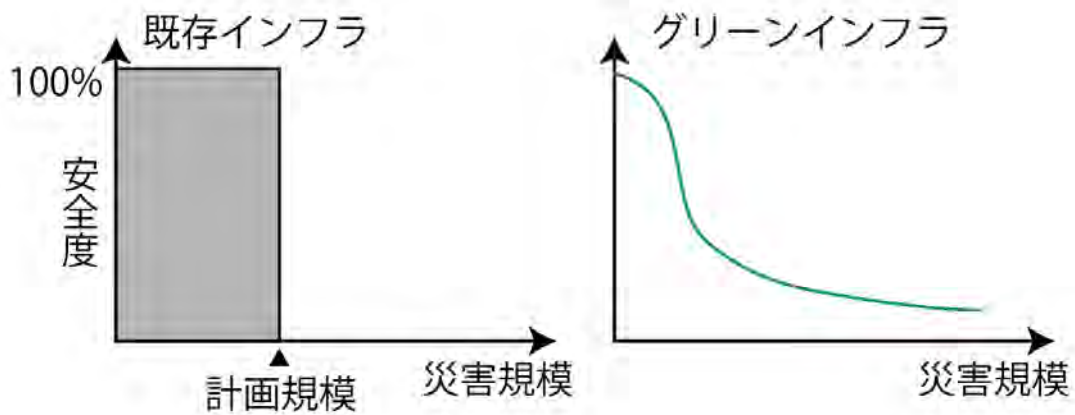


図 3-2-1 グリーンインフラと既存インフラ(グレーインフラ)の性格の違い(中村, 2020 に加筆)



図 3-2-2 ミャンマーにおけるガリー侵食とチェックダムによる侵食の防止(左: シャン州で見られるガリー. 右: 中央乾燥地での UNDP/FAO によるガリー侵食対策としてのチェックダムを赤色矢印で示した)

上記のような点を考慮しながら、本年度は国内で Eco-DRR/F-DRR に関連した、海外技術協力をすでに行っている民間企業の専門家にヒアリング調査(メールの交換、Web 会議を含む)を行った。ヒアリングした国内機関は、

- 日本気象協会
- 土木研究所
- 地質調査所
- 宇宙航空研究開発機構
- 日本赤十字社
- 国土防災(株)

- (株)いであ
- (株)Ides
- 王子グリーンリソース(株)
- エイピーピー・ジャパン(株)

等である。国際機関では、

- アジア工科大学 (Asian Institute of Technology: AIT)
- ホーチミン市工科大学 (Ho Chi Minh City University of Technology)
- 国際森林研究センター (Center for International Forestry Research: CIFOR)
- 国際アグロフォレストリー研究センター (International Centre for Research in Agroforestry: ICRAF)
- 国際熱帯木材機関 (International Tropical Timber Organization: ITTO)
- インドネシア環境林業省 (Ministry of Environment and Forestry, Directorate of Planning and Evaluation for Watershed Management)

等の協力を得た。ミャンマーについては環境森林省森林局に情報提供を依頼したが、軍のクーデターによる政変が起こり回答は得られなかった。

文献調査及びヒアリング結果はその内容に応じて取捨整理され、3.4 節で概要を報告する「カントリーレポート」に盛り込まれている。下記では、カントリーレポートに盛り込まれなかった情報を補足する。なお、企業の技術情報保護の観点から、以下ではヒアリングの対象については社名を記載しなかった。

#### 【ヒアリング結果 A】

同社は主にベトナム中部の洪水対策を中心に JICA の情報収集において豊富な活動実績を有する。2018 年 3 月に出された JICA のファイナルレポートに情報がとりまとめられている (<https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12323861.pdf>)。ヒアリングでは水害対策の基礎となる気象観測データの整備状況を中心に情報収集した。

- 自然災害の被災者に対する義務や被災者の権利に関しては仙台防災枠組以降法的整備が進められているが、現地に根付くには時間がかかりそう。
- 防災対策においてはコミュニティ防災がかなり進んでいる。
- 日本よりも地方の省が力を持っている。省によっては潤沢な予算を持つ印象。相対的に強力なのはフエなど中部の省であり、北西部の省は相対的に弱体ではないかと予想される。

- 気象観測を担当するのは基本的に天然資源環境省 (MONRE) の水文気象総局であり、その他ダムサイト事業者、民間会社が独自に雨量観測を行っている。
- レーダー雨量に関しては日本の気象協会や気象業務支援センターが協力しているのでそこから情報が得られるかもしれない。
- 発信するリスク情報は雨量ではなく水位をもとに出している。ベトナムでも携帯電話が普及しており SNS を通じた災害情報の発信も活発に行っている。
- 各行政部局に横串を通す組織として中央災害対策委員会 (農業農村開発省 (MARD) 内の防災総局 VNDMA が事務局) があるが、まだそれほど有効に機能していない印象 (日本の中央防災会議に似ているのかも)。
- データはフリーにアクセスというわけでは無く現地のカウンターパート経由で入手するのが現実的ではないか。
- 行政部局同士でもデータを提供する際には料金が発生することがしばしばある (特定観測点の 1 年間のデータが 30 万円ということも)。日本と違い公的データの入手においても代金を要求されるのが普通である。
- 中部地域では海岸侵食の問題も深刻で重要視されている。侵食が起きる背景についてはよくわかっていない。
- 当時は河川の測量が組織的に行われていない状況で、全体計画的なものも無かった。

#### 【ヒアリング結果 B】

- JICA が実施中のベトナム持続的自然資源管理プロジェクト Sustainable Natural Resource Management (SNRM) (2016-2020) に 2016 年から 4 年間関わり、REDD+ のパイロット活動をホアビン省とソンラ省で担当してきた。
- コミューン (自治体、集落) 毎に森林減少の状況を分析し、その状況に関し住民へのコンサルテーションを行い、活動計画を策定した。加えてパイロット事業として、村単位で森林管理組合を作り、その組合を通じて植林、天然更新、生計向上 (農業、かまど導入、アグロフォレストリー) の活動を行う仕組みづくりと実施を支援した。
- ベトナムにはダムが多いが、ダムで発電している電力会社は政府に対して森林環境サービス Payment for Environmental Service (PES) という特別税を支払うシステムがある (USD20/ha/yr との話だが詳細不明)。土壌流出が激しいダム流域斜面に森林を増やし、土壌流出を防ぐというのが基本的な趣旨である。PES 資金は村まで下りてきて、村の基金として使われる。公にはその 40% は森林関係 (造林) に充てねばならないが、強制力の

あるルールではなく、村々の判断で道路建設や森林火災対策などにも使われている。

#### 【ヒアリング結果 C】

- JICA が気象観測に関する技プロを実施中である(気象予測及び洪水早期警報システム運営能力強化プロジェクト)。JICA 本部担当部署は東南アジア 3 課と防災グループ防災第 2 チーム。気象業務支援センターがプライム・コンサルタントで、日本気象協会がレーダー雨量システムの構築のコンポーネントを担当している。
- JICA 長期専門家が国家水文気象局 (National Hydro-Meteorological Service: NHMS) に入っている(気象庁から出向)。ベトナムの気象部門には北部に日本が南部に世銀が入っており、両者の統一を図るよう調整が行われている。
- 気象レーダーによるレーダー雨量システムの試験運用が始まったばかりで、現在は検証段階にある。レーダー雨量情報は NHMS の HP で公開されている。
- 日本の電力会社がベトナム北部のダムに投資しているので、気象水文データが利用できる可能性がある。
- ミャンマーでも気象レーダーが整備され、JICA 技プロが始まっている(ミャンマー国気象観測・予報能力強化プロジェクト)。ベトナム同様に、気象業務支援センターがプライム・コンサルタントで、日本気象協会がレーダー雨量システムの構築のコンポーネントを担当している。
- インドネシア(援助卒業国)は自前で気象レーダーを整備しつつある。

#### 【ヒアリング結果 D】

- ヒアリングで得た回答の範囲では、森林の減災・防災等の機能強化に関する国際機関の直接的な取り組み(プロジェクトや研究)として、ICRAF (International Centre for Research in Agroforestry: World Agroforestry Centre) がフィリピン(台風対策)で活動を実施し、AIT がタジキスタン(マルチハザード; オランダ Twente 大学 ITC と共同研究)とインドネシア(津波対策: 日本リモートセンシング技術センターと共同研究)で研究を実施していることが分かったが、森林の減災・防災等の機能強化に関する積極的な動きは見られない。
- 各国際機関はこれまでの活動で自然災害に関する活動に関わった歴史・経験は殆ど無いとみられるが、気候変動、マングローブ林、森林火災(特に泥炭地)などに関連があるのかどうかという点で一定の関心があるようである。しかし、それらの課題と森林の減災・防



災等の機能強化を主体的に結びつけることへのモメンタム(方向性や勢い)は十分とはいえないように感じられた。

- ベトナムでは ICRAF がアグロフォレストリーのプロジェクトを展開しており、お互いの関係を深めていく可能性を探りつつ、本プロジェクトがこの活動と情報交換をしていく価値はあるようにも思われた。

### 3.3 防災・減災対策などに活用可能な森林分野の知見や技術の整理

本事業では、近年(主として 1990 年代以降)森林分野で発表された、森林による防災・減災技術に関連する学術論文や報告書等の文献情報を収集した。これまでに収集した文献は、日本語 61 件、英語 43 件の合計 104 の文献である(表 3-3-1 および表 3-3-2)。

これら収集した文献は大まかに以下のテーマに整理できる。

- 森林(土地利用・樹木密度)や土層と斜面水文(降雨遮断、蒸発散、浸透、流出、貯留等)
- 樹木根系と斜面崩壊
- 立木の土石流緩衝機能
- 降雨と斜面崩壊
- 地形と斜面崩壊
- 土層と斜面崩壊
- 地質と斜面崩壊
- 道路と斜面崩壊・表面侵食
- 海岸林(マングローブ林)の津波減衰機能

自然災害は自然現象が人命や資産、公共施設などに対して被害を及ぼす現象であり、そうした社会経済的価値(保全対象)が立地する地域でなければ、いわば狭義の、防災・減災に関する議論の対象にはならない。しかし、流域での土砂移動、水質保全、水源涵養、生態系保全、さらには地球大気中の温暖化ガス削減といった課題(環境保全)を、地域社会の存立や人類の生存に関係する、いわば広義の災害と見る場合には、その限りではない。この意味において、災害と環境は密接に関係し、本来不可分である。また、1970 年代以降、地球と地域の環境保全の観点から森林を保全することの重要性が明確に認識されてきた一方、木材など森林から得られる資源は我々が生活を営む上で不可欠であって森林資源を得ながら山地災害を防止し山地環境を保全する高度な技術を確立することも同時に重要である。治山技術

は防災・減災だけでなく、森林資源の利用や山地環境の保全にも関連し、より中長期的、より多角的な視点から防災・減災へアプローチすることを特徴とする技術である。

日本国内において森林の防災機能に関し既往研究で示されてきたことの一つは、斜面崩壊は林齢と関係があることである。数多くの災害事例から、林齢 20 年前後を境として幼齢林と壮齢林では同一地域でも崩壊率が大きく異なるということが分かっている(塚本 1986)。幼齢林では樹幹や根系の発達が乏しいことが崩壊発生に関係していると考えられ、その面での実証研究が様々な困難を克服しながら積み重ねられてきた。もう一つは、山地斜面に作られる作業道や登山道などの道路が斜面崩壊や表面侵食を増加させることである。踏み固められる道路表面は浸透能が小さくなることや斜面上部からの側方浸透流が切土面から流出することなどで、降雨時に急激かつ多量の流出が発生することが基本的な要因である(Sidle et al. 2006)。

道路での現象に見られる通り、森林には斜面崩壊だけでなく表面侵食を防止する機能がある。特に東南アジアでは山地斜面が広範囲に主として農業生産に利用されてきた歴史と現状があり、雨季に繰り返される豪雨時にはガリー、リル、シートウォッシュによる表面侵食が起り、多量の土砂が流出して下流域に経済損失を含む重大な環境インパクトを与えている例が多い(Furuichi and Wasson 2011)。

また上で述べた通り、森林を利用した防災・減災は山地だけでなく海岸でも注目されている。森林が防災・減災に効果を発揮することは、例えば 2004 年のスマトラ島沖地震によって引き起こされた津波が海岸林、特にこの地域ではマングローブ林によって減衰し、大きな減災効果をもたらしたことがインド洋沿岸の各地域から伝えられたことに端的に現れている(Danielsen et al. 2005)。マングローブ林の津波エネルギー減衰効果は数多くのモデル計算からも認められており、その効果のレベルは樹木密度、幹・枝・根の太さ、海岸の傾斜などによって決まってくる(Alongi 2008, Horstman et al. 2014)。津波のように、森林による流体の減勢効果を期待した防災林の事例は多く、日本においても、森林による洪水や雪崩、土石流の減勢を期待した防災林が古くから造成されてきた。

表 3-3-1 収集文献リスト(日本語)

	著者	年	タイトル	出典	巻号	ページ
1	五味高志、宮田秀介、恩田裕一	2010	ヒノキ人工林流域における表面流の発生と流域の降雨流出特性	水利科学	311	77-94
2	平岡真合乃、恩田裕一、加藤弘亮、水垣滋、五味高志、南光一樹	2010	ヒノキ人工林における浸透能に対する下層植生の影響	日林誌	92	145-150
3	伴 博史、北原 曜、小野 裕	2010	カラマツ根系に及ぼす間伐の影響	中森研	No.58	179-182
4	伴 博史、北原 曜、小野 裕	2010	カラマツ根系の崩壊防止力と立木密度の関係	中森研	No.59	195-198
5	若杉祐希、北原 曜、小野 裕	2012	常緑広葉樹を主とする生根の引張強度試験	中森研	No.60	129-132
6	神田誠也、北原 曜、小野 裕	2012	立木周囲の崩壊防止力の分布	中森研	No.60	117-120
7	西山嘉寛	2003	岡山県におけるヒノキ人工林の表面侵食と表面流出の研究 (I) 月侵食土砂量と降雨因子との関係	森林応用研究	12	47-52
8	西山嘉寛	2003	岡山県におけるヒノキ人工林の表面侵食と表面流出の研究 (III) 月地表流出量と降雨因子との関係	森林応用研究	12	59-63
9	佐々木重行、茅島信之、桑野泰光	2009	再造林放棄地内の作業路、法面および伐採跡地での土砂移動について	九州森林研究	No.62	206-207
10	佐々木重行、茅島信之、桑野泰光	2010	作業路での土砂移動と枝条散布による抑制効果	福岡県森林林業技術センター研究報告	11	33-38
11	岩 智洋、迫田正和、河野雄一	2011	鹿児島県奄美大島における森林伐採後の土砂移動量の観測	九州森林研究	No.64	92-94

12	宮崎潤二	2013	異なる伐採幅の列状間伐が 下層植生に及ぼす影響（Ⅱ） －下層植生の繁殖と移動土 砂量－	九州森林 研究	No.66	42-45
13	阿部和時、黒川 潮、 竹内美次	2004	間伐が森林の持つ表層崩壊 防止機能に及ぼす評価手法 の開発	地すべり 学会誌	41(3)	225-235
14	小松 光、井出淳一郎、 篠原慶規、芳賀弘和、 藤山洋介、宮野岳明、 丸野亮子、智和正明、 久米朋宣、東 直子、 大槻恭一	2007	非管理針葉樹人工林の蒸発 散量	水利科学	297	107-125
15	長坂 有、今 博計、長 坂晶子、棚橋生子 佐藤弘和	2011	森林施業後の林床被覆の違 いが表土流出に及ぼす影響	日林北支 論	59	137-139
16	佐藤弘和	2006	浮遊土砂の流出抑制に配慮 した森林管理方法	日林誌	88(1)	50-59
17	深田英久、渡辺直史、 梶原規弘、塚本次郎	2006	土壌保全からみたヒノキ人 工林の下層植生の動態と植 生管理への応用	日林誌	88(4)	231-239
18	小松 光、久米朋宣、 大槻恭一	2009	針葉樹人工林の間伐が年遮 断蒸発量に与える影響－予 測モデルの検証－	日林誌	91	94-103
19	中森由美子、瀧井忠 人、三浦 覚	2012	急傾斜ヒノキ人工林におけ る伐採方法の違いによる細 土、土砂、リター移動量の変 化	日林誌	94	120-126
20	山寺善成、楊 喜田、 宮崎敏孝	2002	植栽木と播種木との引き抜 き抵抗力の相違について	日緑工誌	28(1)	143-145
21	田中賢治、朝日伸彦、 杉本弘道、長山泰秀	2008	スギ・ヒノキ人工林における 土壌理化学性による森林健 全度評価の試み	日緑工誌	34(1)	227-230
22	境 優、平野智章、青 木文聡、寺嶋智巳、 夏原由博	2009	森林植生の樹種および管理 状態が小流域の短期流出特 性に及ぼす影響	日緑工誌	35(2)	306-317
23	藏本康平、篠原慶規、 小松 光、大槻恭一	2010	森林回復が流出に及ぼす影 響－地質の異なる2流域にお ける検討－	水文・水 資源学会 誌	23(No.1)	32-42

24	真坂英一、鈴木雅一	2009	山地森林小流域における直接流出量の定量的解析	水文・水資源学会誌	22(No.5)	342-355
25	池田英史、若松孝志、中屋 耕、阿部聖哉	2009	森林流域からの土壌流出の実態・支配因子と予測モデル開発の現状と課題	水文・水資源学会誌	25(6)	396-409
26	相浦英春、嘉戸昭夫、長谷川幹夫	1996	多雪山地におけるブナ林皆伐後の伐根の転倒にともなう表層崩壊の発生	日本林学会誌	78(2)	150-160
27	三浦 覚	2000	表層土壌における雨滴侵食保護の視点からみた林床被覆率の定義とこれに基づく林床被覆率の実態評価	日本林学会誌	82(2)	132-140
28	宇都木玄、飯田滋生、阿部 真、田内裕之	2007	人工林施業に伴うトドマツ人工林内下層植生現存量の変化	日本森林学会誌	89(3)	174-182
29	恩田裕一	2007	森林の荒廃による表面流出の発生および細粒土砂の河川への流出	土と基礎	55(8)	16-19
30	平松晋也、黒岩知恵、荒砂隆文	2002	森林伐採や植栽面積の変化が流域の土砂生産状況に及ぼす影響	砂防学会誌	55(4)	3-11
31	黒岩知恵、平松晋也	2004	森林伐採や植栽を指標とした崩壊面積予測手法に関する研究	砂防学会誌	57(2)	16-26
32	木下篤彦、坂井佑介、大野亮一、田畑三郎、川島正照、山崎孝成	2013	スギ・ヒノキ林における水平根が発揮する抵抗力の検討	砂防学会誌	65(5)	11-20
33	服部重昭、阿部敏夫、小林忠一、玉井幸治	1992	林床被覆がヒノキ人工林の侵食防止に及ぼす影響	森林総研研報	362	1-34
34	奈良雅代、荒川純彦、荒井一司、中村健一	2014	東京都多摩地域スギ・ヒノキ人工林における間伐後3年間の土砂流出量の経年変化	東京農総研研報	9	7-14
35	平野智章、寺嶋智巳、中村智博、青木文聡、境 優	2008	管理放棄されたヒノキ人工林および天然生落葉広葉樹林における土壌表層部の水流発生機構	地形	29(3)	255-280
36	楊 喜田	1999	荒廃地における土壌と植物の初期発達特性に関する研究	信州大学農学部演習林報告	35	47-82

37	Machito MIHARA, Yan CHEN, Masaharu KOMAMURA	2003	Changes in Soil and Eutrophic Component Losses due to Deforestation in Sloping Area	農業土木 学会論文 集	224	27-33
38	塚本良則	2012	治山事業百年－治山技術に ついて思い出すままに	水利科学	323	11-19
39	塚本良則	2013	治山技術の回顧と将来展望	水利科学	330	41-56
40	時任美乃理、西前 出、 浅野悟史	2016	ベトナム中部農村における アカシア林地の環境条件 に関する空間分析	環境情報 科学 学 術研究論 文集	30	207-212
41	藤間 剛、山本幸一、 後藤忠男	2009	熱帯早生樹産業植林の持続 性	環境科学 会誌	22(4)	270-272
42	岩崎 誠、坂 志朗、藤 間 剛、林 隆久、松村 順司、村田功二	2012	早生樹：産業植林とその利用	海青社		259
43	藤間 剛	2018	東南アジアの早生樹種植林 の生産力	海外の森 林と林業	101	14-19
44	北原 曜	2010	森林の土石流緩衝機能をは かる；立木の引き倒し抵抗力 の測定	森林科学	58	45
45	北原 曜	2010	森林根系の崩壊防止機能	水利科学	311	11-37
46	蔵治光一郎、保屋野初 子編著	2004	「緑のダム」	築地書館		260pp
47	小杉賢一朗	2007	森林の水源涵養機能に土層 と透水性基岩が果たす役割 の評価	水文・水 資源学会 誌	20(3)	201 – 213
48	小松 光、井手淳一郎、 篠原慶規ほか	2007	非管理針葉樹人工林の蒸発 散量	水利科学	297	107-125
49	小山 敢	2001	鳥取県におけるいくつかの 表層崩壊の特性－林道開設 と表層崩壊発生の関係－	森林応用 研究	10 (1)	111-113
50	鈴木拓郎	2016	土石流に及ぼす樹木の影響 に関する数値実験	第 127 回 日本森林 学会大会 発表デー タベース		120

51	谷 誠	1987	森林土壌の水源涵養効果の 解明に向けて	水利科学	31(4)	35-61
52	谷 誠	2011	山地流域における自然貯留 の洪水緩和機能に関する方 法論的考察	水利科学	318	151-173
53	塚本良則	1986	樹木根系の崩壊防止効果に 関する研究	東京農工 大学農学 部演習林 報告	23	65-124
54	栃木省二、海堀正博	1991	豪雨による林道・作業道での 崩壊とその特徴 ー広島県 北西部豪雨災害現場におけ るケーススタディー	広島大学 総合科学 部紀要IV	16	1-18
55	服部重昭	1992 a	森林蒸発散の構成成分（塚本 良則編著「森林水文学」）	文永堂出 版		82-96
56	服部重昭	1992 b	林況と蒸発散の関係。（塚本 良則編著「森林水文学」）	文永堂出 版		96-102
57	深見悠矢	2008	立木引き倒し試験による森 林の土石流緩衝機能の力学 的評価	中部森林 研究	56	283-286
58	野々山一彦、池上 忠、 山根 誠	2020	平成 30 年 7 月豪雨災害によ り広島県で発生した土石流 における森林の土砂流出減 勢効果	水利科学	64(2)	21-42
59	水山高久、栗原淳一、 鈴木浩之	1990	立木の衝撃エネルギー吸収 効果	新砂防	42(6)	24-28
60	宮縁育夫、田中 均	2009	九州南部の大面積皆伐跡地 周辺域における斜面崩壊の 実態	砂防学会 誌	62 (2)	51-55
61	吉谷純一	2004	「緑のダム」議論は何が問題 かー土木工学の視点からー。 (蔵治光一郎・保屋野初子編、 「緑のダム」)	築地書館		118-130

表 3-3-2 収集文献リスト(英語)

	著者	年	タイトル	出典	巻号	ページ
1	Kurniatun Hairiah, Widianto Widianto, Didik Suprayogo, Meine Van Noordwijk	2020	Tree Roots Anchoring and Binding Soil:Reducing Landslide Risk in Indonesian Agroforestry	land 2020		1-19
2	Pham BT, Prakash I, Bui DT	2018	Spatial prediction of landslides using a hybrid machine learning approach based on Random Subspace and Clasification and Regression Trees	Geomorp hology	303	256-270
3	Anh HV, Williams M, Manning D	2006	Remote-sensing monitoring of desertification using ASTER and ENVISAT ASAR: case study at semi-arid area of Vietnam	Internatio nal Symposiu m on Geoinfor matics for Spatial Infrastruc ture Develop ment in Earth and Aliied Sciences		15pp
4	Anh HV, et al.		Hyperspectral sesing and its application for desrtification monitoring - Case study in Tabernass, Spain	Vietnam Journal of Soil Science	5	34-38
5	Hung LQ, Van NTH, Son PV, Ninh NH, Tam N, Huyen NT	2017	Landslide inventory mapping in the fourteen northern provinces of Vietnam: Achievements and Difficulties	4th World Landslid e Forum 2017		501-510



6	Doan Huy Loi, et al.	2017	The 28 July 2015 rapid landslide at Ha Long City, Quang Ninh, Vietnam	Landslides	14	1207-1215
7	Vladislav Carnero-Bravo, Joan-Albert Sanchez-Cabeza, Ana Carolina Ruiz-Fernandez, Martin Merino-Ibarra, Jose Antonio Corcho-Alvarado, Hans Sahli, Jean-Francois Helie, Michel Preda, Jorge Zavala-Hidalgo, Misael Diaz-Asencio, Claude Hillaire-Marcel	2018	Sea level rise sedimentary record and organic carbon fluxes in a low-lying tropical coastal ecosystem	Catena	162	421-430
8	Catherine E.Lovelock	2020	Blue carbon from the past forecasts the future	Science	368(6495)	1050-1052
9	N.saintilan, N.S.Khan, E.Ashe, J.J.Kelleway, K.Rogers, C.D.Woodroffe and B.P.Horton	2020	Thresholds of mangrove survival under rapid sea level rise	Science	368(6495)	1118-1121
10	Sigit D.Sasmito, Daniel Murdiyarso, Daniel A.Friess, Sofyan Kurnianto	2015	Can mangroves keep pace with contemporary sea level rise? A global data review	Wetlands Ecology and Management	23(5)	
11	Hiroshi Takagi, Miguel Esteban, Takahito Mikami, Daisuke fujii	2016	Projection of coastal floods in 2050 Jakarta	Urban Climate	17	135-145
12	C.D.Woodroffe, K. Rogers, K.L.McKee, C.E.Lovelock, I.A.Mendelsohn, N.Saintilan	2015	Mangrove Sedimentation and Response to Relative Sea-Level Rise			1-24

13	Carlo Carlos, Rafaela Jane Delfino, Drandreb Earl Juanico, Laura David, Rodel Lasco	2016	Vegetation resistance and regeneration potential of Rhizophora, Sonneratia, and Avicennia in the Typhoon Haiyan-affected mangroves in the Philippines: Implications on rehabilitation practices	Climate, Disaster and Development Journal	1(1)	1-8
14	Rafaela Jane P.Delfino, Carlo M.Carlos, Laura T.David, Rodel D.Lasco, Drandreb Earl O.Juanico	2016	Perceptions of Typhoon Haiyan-affected communities about the resilience and storm protection function of mangrove ecosystems in Leyte and Eastern Samar, Philippines	Climate, Disaster and Development Journal	1(1)	15-25
15	Rita Marteleira, Maria Jose Roxo, Rodel Lasco, Pedro Santos Coelho	2018	Hydrological modeling to assess water resources resilience towards climate change impacts in Tacloban, Philippines	Climate, Disaster and Development Journal	3(1)	13-22
16	Luigi Toda, Justine Ravi Orduna, Rodel Lasco, Carlos Tito Santos	2016	Assessing and mapping barangay level social vulnerability of Tacloban City and Ormoc City to climate-related hazards	Climate, Disaster and Development Journal	1(1)	26-41
17	Luigi Toda, Justine Ravi Orduna, Rodel Lasco, Carlos Tito Santos	2016	Assessing social vulnerability to climate-related hazards among Haiyan-affected areas in Leyte, Philippines	Climate, Disaster and Development Journal	1(1)	42-57

18	Sonya Dewi, Meine van Noordwijk, Adrian Dwiputra, Hesti L Tata, Andree Ekadinata, Gamma Galudra, Niken Sakuntaladewi, Atiek Widayati	2015	Peat and land clearing fires in indonesia in 2015: Lessons for polycentric governance	Policybrief	51	1-4
19	DEPARTMENT OF FOREST, MINISTRY OF FISHERIES AND FOREST, REPUBLIC OF FIJI		Community based restoration and sustainable management of vulnerable forests of the rewadelta, viti levu, fiji	Government of Fiji		1-53
20	Douglas I.	1996	The impact of land-use changes, especially logging, shifting cultivation, mining and urbanization on sediment yields in humid tropical Southeast Asia: a review with special referemce to Borneo	IAHS Red Book	236	463-471
21	Douglas I.	1999	Hydrological investigations of forest disturbance and land cover impacts in South-East Asia: a review	Philosophical Transactions of the Royal Society B	354	1725-1738
22	Ziegler AD, Giambelluca TW, Sutherland RA, et al.	2004	Toward understanding the cumulative impacts of roads in upland agricultural watersheds of northern Thailand	Agriculture, Ecosystems and Environment	104	145-158
23	Gomi T, et al.	2006	Sediment and wood accumulations in humid tropicalheadwater streams: Effects of loggingand riparian buffers	Forest Ecology and Management	224	166-175

24	Sidle RC, Ziegler AD, Negishi JN, Nik AR, Siewc R, Turkelboom F.	2006	Erosion processes in steep terrain—Truths, myths, and uncertainties related to forest management in Southeast Asia	Forest Ecology and Management	224	199-225
25	Sidle RC, Furuichi T, Kono Y.	2011	Unprecedented rates of landslide and surface erosion along a newly constructed road in Yunnan, China	Natural Hazards	57(2)	313-326
26	Sidle RC, Ziegler AD	2012	The dilemma of mountain roads	Nature Geoscience	5	437-438
27	Furuichi T, Wasson RJ	2013	Caesium-137 in Southeast Asia: Is there enough left for soil erosion and sediment redistribution studies?	Journal of Asian Earth Sciences	77	108-116
28	Pham Thi Quynh Anh, Gomi, T., MacDonald, L.H., Mizugaki, S., Phung Van Khoa, Furuichi, T.	2014	Linkages among land use, macronutrient levels, and soil erosion in northern Vietnam: A plot-scale study	Geoderma	232-234	352-362
29	Emilia Pramova, Bruno Locatelli, Houria Djoudi, Olufunso A. Somorin	2012	Forests and trees for social adaptation to climate variability and change	WIREs Climate Change	3	581-596
30	M.J.Crozier	2010	Deciphering the effect of climate change on landslide activity: A review	Geomorphology	124	260-267
31	Haring V, Fishcher H, Stahr K	2014	Erosion off bulk soil and soil organic carbon after land use change in northwest Vietnam	Catena	122	111-119
32	Knapp KR, Kruk MC, Levinson DH, Diamond HJ, Neumann CJ	2010	The international best track archive for climate stewardship (IBTrACS): Unifying Tropical Cyclone Data	BAMS	March	363-376

33	Alongi DM	2008	Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change	Estuarine , Coastal and Shelf Science	76	1-13
34	Bosch JM, Hewlett JD	1982	A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration	Journal of Hydrology	55(1-4)	3-23
35	Danielsen F, Sørensen MK, Olwig MF, Selvam V, I Pari Fsh, Burgess ND, Hiraishi T, Karunagaran VM, Rasmussen MS, Hansen LB, Quarto A, Suryadiputra N	2005	The Asian Tsunami: A Protective Role for Coastal Vegetation	Science	310	643
36	Foot K, Morgan R	2005	The role of leaf inclination, leaf orientation and plant canopy architecture in soil particle detachment by raindrops	Earth Surface Processes Landforms	30	1509–1520
37	Furuichi T, Wasson RJ	2011	Placing sediment budgets in the socio-economic context for management of sedimentation in Lake Inle, Myanmar (Burma)	IAHS Red Book	349	103-113
38	Horstman EM, Dohmen-Janssen CM, Narra PMF, van den Bergb NJF, Siemerink M, Hulscher SJMH	2014	Wave attenuation in mangroves: A quantitative approach to field observations	Coastal Engineering	94	47–62
39	Miyata S et al.	2009	Effects of forest floor coverage on overland flow and soil erosion on hillslopes in Japanese cypress plantation forests	Water Resources Research	45	W06402

40	Morikawa Y, Hattori S, Kiyono Y	1986	Transpiration of a 31-year-old <i>Chamaecyparis obtusa</i> Endl. stand before and after thinning	Tree Physiology	2	105 -114
41	Sidle RC, Sasaki S, Otsuki M, Noguchi S, Nik AR	2004	Sediment pathways in a tropical forest: effects of loggingroads and skid trails	Hydrological Processes	18	703-720
42	Teramoto Y, Shimokawa E	2007	Erosion and slope failure on slopes bordering forest roads in Takakuma Experimental Forest, Kagoshima University, due to heavy rainfall on July 5th 2006	Research bulletin of the Kagoshima University forests	35	11-16
43	Ziegler AD, Giambelluca TW	1997	Importance of rural roads as source areas for runoff in mountainous areas of northern Thailand	Journal of Hydrology	196	204-229

### 3.4 調査対象国における森林の減災・防災等の機能強化に係る状況と課題の把握

以下では、今回調査対象とした、ベトナム、ミャンマー、インドネシアの3カ国について、国および森林を取り巻く概況、対象国における自然災害の特徴、森林を活用した防災・減災に関する国の体制、事業展開におけるポイントについて概説する。詳細については、別添資料の三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社によるカントリーレポートを参照されたい。

#### 3.4.1 ベトナム社会主義共和国

##### 1) 国土と森林の特徴

ベトナムは、地理的な特色から8地域(北から、北東部、北西部、紅河デルタ、中北部海岸、中南部海岸、中部高原、南東部、メコン河デルタ)に分けられる。国土の約47%が森林で(2020年)、そのうち天然林が約70%、植林地が約30%であり、森林面積及び植林地の割合が1990年代から増加傾向にある。北部から中部にかけての山地・山地帯にはブナ科をはじめとする亜熱帯の照葉樹林が、低地にはフタバガキ科などの落葉林が分布。メコンデルタではマングローブ林が生育する。天然林は2016年の首相指令により伐採禁止となっており、人工林は主にアカシア、メラルーカ、ゴムノキなどの樹種が植林されている。伐採量は年々増加しており、木材の輸出と輸入をいずれも積極的に行っている点が特徴である(図3-4-1-1)。

##### 2) 自然災害の発生状況と特徴

ベトナムでは、とくに台風・熱帯低気圧や洪水・鉄砲水の発生数が多い。ここで鉄砲水としているのは、flash floodと記載されるもので小河川の急速な増水だけでなく、土石流も含んだ呼称であると考えられる。土石流の多くは崩壊に起因することから、小規模な土砂災害も含まれていると考えられる。洪水・暴風雨の被害はとくに中部地域(中北部・中南部)において大きい。これは、暴風の直撃が多いことや、経済成長に伴う都市化の進展に治水対策が追いついていないこと等の影響が考えられている。1990年以降に大きな死者数を出した災害としては、1997年の台風「リンダ」が突出しており、このほか1999年10月の豪雨による「中部水害」の死者数が多い(表3-4-1-1)。

##### 3) 自然災害に対する防災・減災の取組状況

被害が大規模化しやすい洪水に対して重点的な防災対策が取られている。ハノイ市内の紅

河沿いには 100 年確率対応の堤防が建設されており、MARD 洪水対策・堤防管理局 (DDMFSC) が管理している。また、メコン川では、堤防の建設、河川排水路機能拡充により、洪水被害が減少しているとされる。近年では、洪水に対するソフト対策も進みつつあり、メコン川委員会が過去の洪水実績を基に洪水ハザードマップを作成する一方で、天然資源環境省 気象水文サービスが、気象観測、洪水予報、情報伝達、ハザードマップ作成を行っている。また、日本の技術協力により、レーダー雨量観測システムの整備も進みつつあり、先進国並の洪水リスクの直前予測を目指した防災対策が進みつつある。一方、洪水災害対策に比べて土砂災害対策は遅れていたが、近年の土砂災害の多発を受けて、衛星画像による土砂災害リスク評価を中心とした、現況分析によるリスク評価の研究が活発化している。しかし、洪水対策と比べて費用対効果が小さいためもあって、ハード対策は遅れている。

ベトナムにおける防災で中心的な役割を果たすのは、「中央災害対策委員会 (CSCNDPC)」と「国家搜索救助委員会 (NCSR)」である (図 3-4-1-3)。中央災害対策委員会 (CSCNDPC) は 2015 年設立された。中央各省庁の代表により構成され、農業農村開発省 (MARD) 防災総局 (VNDMA) が事務局として主要な役割を果たす。国家防災を指揮・管理する政府や首相を支援し、関係セクター間の調整を担う。国家搜索救助委員会 (NCSR) は副首相を議長とし、国防省救済局が事務局を担う。国家レベルの災害の搜索・救助活動を指揮することとなっている。地方政府については、全ての省・県・コミューンにおいて「災害対策・搜索救助委員会 (CCNDPC/SR)」を設立することとされている。事務局は各地区の農業農村開発局 (DARD) 灌漑支局が務める。

各省については、表 3-4-1-2 のとおり所管が決められている。このほか、風水害については天然資源環境省 (MONRE) が、地震・津波についてはベトナム科学技術研究所 (VAST) が担当。ただし、地方レベルでは農業農村開発省の地方部局 (DARD) が実質的な責任機関となっている。

#### 4) 森林を活用した防災・減災への取組状況

ベトナムは、1990 年代まで急激に森林面積が減少したことで洪水被害が拡大した過去を持つ。その後政府が実施した 500 万 ha 植林計画 (661 プログラム) は、森林を活用した防災・減災対策の 1 つと言える。森林を活用した防災・減災を含め、自然災害対策に関する海外ドナーは、わが国の国際協力機構 (JICA) が主力である。主要な事業としては、「第 2 次中南部海岸保全林植林計画 (JICA: 2009～2015 年)」、「北部荒廃流域天然林回復計画プロジェクト (JICA: 2003～2008 年)」、「森林火災跡地復旧計画 (JICA: 2004～2007 年)」、「ベトナム災



害対策事業(日本赤十字社:1997~2017年)」等が挙げられる。

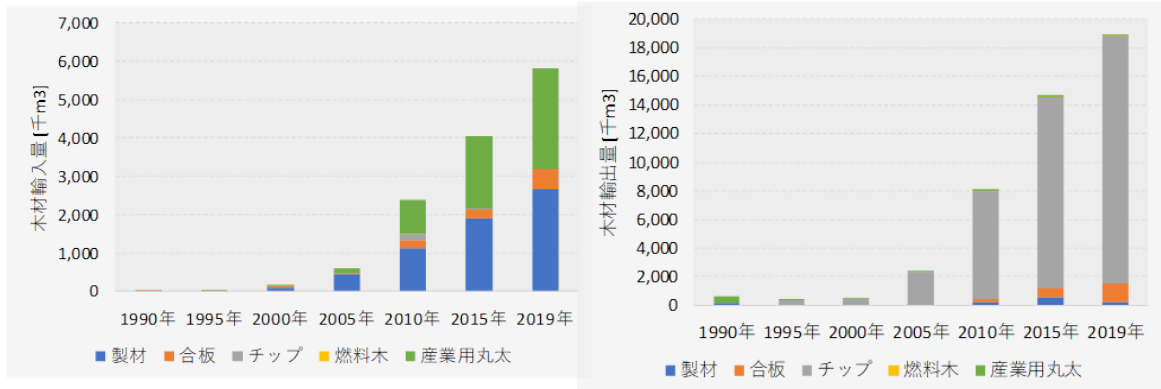


図 3-4-1-1 ベトナムにおける主な製品別木材輸出量(左)及び輸入量(右)の推移 (FAOSTAT による)

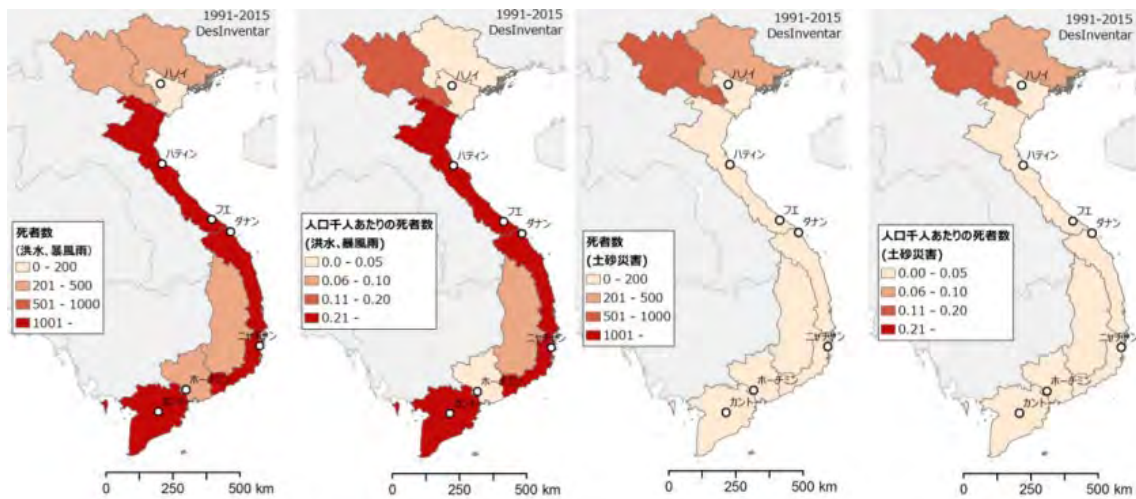


図 3-4-1-2 ベトナムにおける洪水・暴風雨と土砂災害の地域別死者数と人口千人当たりの死者数(JICA, 2018 による)

表 3-4-1-1 大きな被害を生んだ自然災害(1990~2020年)

GLIDENumberほか各種資料より作成

年月	場所	災害の種類	死者数	概要
1997年 11月	ビンディン 省ほか	台風 (リンダ)	3,682	台風リンダは 3,682 名の死者、857 名の負傷者を出し、383,045 名が家を失った。
1999年 10月	Thanh Hoa ほか中部海岸地帯	洪水	711	ベトナム中部の海岸地帯で約1週間で2,000mmを超える降雨があり、これに起因する洪水で死者711人、行方不明者233人、90,000人が家を失うなど被災者100万人以上の被害となった。
2006年 5月	ベトナム全土、フィリピン、中国	熱帯低気圧 (チャンチュ)	204	熱帯低気圧 Chanchu によりベトナムで 204 人が死亡、60 万人が被害に遭った。フィリピンでは 37 人が死亡し 53,000 人が影響を受け、中国では 32 万人が避難した。
2008年 8月	北部山岳地帯	鉄砲水、 斜面崩壊・ 地すべり	100	熱帯低気圧カムリによる大雨がベトナム北部の山岳地帯を襲い、鉄砲水や斜面崩壊で 100 人以上が死亡または行方不明に。
2009年 11月	中部・南部 高原地域、 ビンディン 省など	台風 (ミリナエ)	116	11月2日夜に中部高原と南部高原地方で発生した台風ミリナエの影響で大雨(数百~1,000mm)となった。これにより発生した洪水で116人が死亡、125人が負傷、96,000人が影響を受けた。
2017年 11月	10州および ダナン市	台風 (ダムレイ)	123	台風ダムレイは11月4日にベトナム10州及びダナン市を襲った。約40,000戸が被害を受け、死者は123名にのぼった。
2020年 11月	中部・北部	台風(ヴァムコほか)	239	台風ヴァムコをはじめ、1か月超の間に来襲した6つの嵐により、少なくとも239名が死亡または行方不明となり、46万人が避難した。

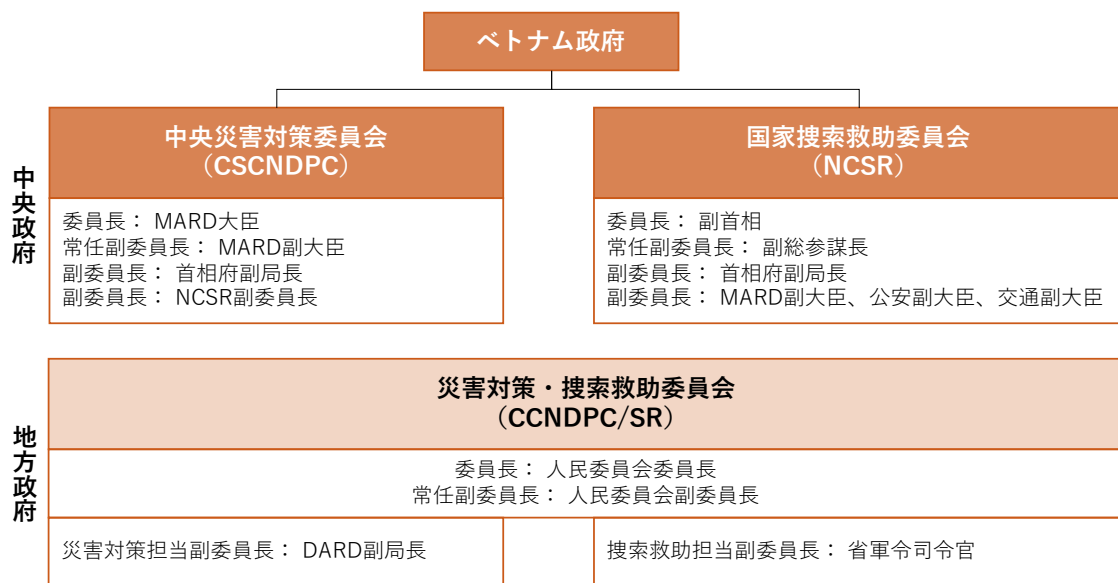


図 3-4-1-3 ベトナム政府における自然災害管理体制

表 3-4-1-2 ベトナムにおける関係省庁等の防災対策における役割

災害	非構造物に関する所管	構造物に関する所管
洪水、 土砂災害、 暴風	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 国家水資源評議会</li> <li>・ 各省 (Province) の人民委員会森林管理局</li> <li>・ 農業農村開発省洪水対策・堤防管理局</li> <li>・ 天然資源環境省気象水文サービス</li> <li>・ 各河川流域管理組織</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 計画投資省インフラストラクチャー局</li> <li>・ 下水排水公社</li> <li>・ 都市排水公社</li> <li>・ 農業農村開発省洪水対策・堤防管理局</li> </ul>

### 3.4.2 ミャンマー連邦共和国

#### 1) 国土と森林の特徴

ミャンマーは、国土の約 44%が森林(2020 年)である。そのほとんどが天然林だが、近年は植林地の割合が増加傾向にある。大半が天然林と天然生林であり、森林面積の約 40%を占める落葉林は、国内の主要樹種であるチーク等の経済的価値の高い樹種を含むため最も重視されている。森林は天然資源・環境保全省(MONREC)森林局(FD)が管轄し、木材の収穫、加工及び販売については同省のミャンマー木材公社(MTE)が担う。チーク林及びその他の広葉樹林で、年間許容伐採量が定められている。ミャンマーの主要木材製品となるチークは主に混交落葉林で生育するが、経済的に価値の高い種は湿性高地混交落葉林に生育する。チーク天然林は全世界で 19 百万 ha 存在するが、そのうち 16 百万 ha はミャンマーに分布する。木材輸出は、丸太での輸出が主だが、一部製材でも輸出している。木材輸入量は

非常に小さい(図 3-4-2-1)。

沿岸部は年間降水量が 5,000mm を超える多雨地域である。一方で内陸部には熱帯サバナ気候で年間降水量が 1,000mm を下回り干ばつが発生しやすい地域がある。森林率は、1990 年の約 60%から 2020 年の約 44%へと減少した。森林減少・劣化の要因は、焼畑、薪炭材の採取、違法伐採、農地転用、鉱山開発、都市のインフラ開発等とされている。マングローブ林は海岸地域に 50 万 ha 分布し、近隣国よりも速いスピードで消滅している。

森林管理に係る法律・規則等の文書には、ミャンマー選別システム(Myanmar Selection System:MSS)、1992 年策定の森林法(The Forest Law 1992)や 1995 年策定のミャンマー森林政策 1995(Myanmar Forest Policy 1995)並びに森林規則(Forest Rules 1995)、さらに 10 年ごとに更新される国家森林マスター計画(National Forest Master Plan)がある。1995 年には「コミュニティ・フォレストリー指針」(Community Forestry Instructions:CFIs)が制定された。森林局(FD)はコミュニティ・フォレストリーによる地域住民の森林管理への参加促進に努めている。ミャンマーは、2018 年に「ミャンマー持続可能開発計画 2018-2030」を公表している。自国が目指す姿として 5 つの到達目標を掲げ、それぞれについて複数の戦略を示している。到達目標の 1 つに「国の反映のための天然資源と環境」があり、その下の戦略のうち「土地のガバナンス向上と資源に依存する産業の持続可能なマネジメント」が森林に関連している。

## 2) 自然災害の発生状況と特徴

ミャンマーでは、とくに台風・熱帯低気圧や洪水・鉄砲水の発生数が多い。被害規模でみると、暴風雨が突出している。これは、2008 年に発生した熱帯低気圧ナルギス(死者約 14 万人、損害額約 4 百万米ドル)による被害が大きく影響している。加えて、地震・津波被害でも経済的損失が生じており、具体的には 2004 年のインドネシア・スマトラ沖地震の影響や、2011 年にシャン州で発生した内陸地震等が含まれる。

## 3) 自然災害に対する防災・減災の取組状況

洪水に対するハード対策としては、主担当である農業灌漑省灌漑局が、多目的ダムの運用、洪水から農地を守るための堤防の維持管理を実施している。高潮・津波災害に対しては、過去の大災害(2004 年熱帯低気圧ナルギス)で被害が大きかったデルタ地帯において、津波・避難シェルターを整備しているほか、津波被害軽減対策として、デルタ地帯先端部におけるマングローブ植林を政府が促進している。

ソフト対策としては、農業灌漑省灌漑局がハザードマップを作成し、全国 48 市を洪水被害想定域に指定している。また、気象水文局が気象水文観測、台風・洪水の予警報を担当し、全国に 142 の気象水文・農業気象観測局を設置している。地震・津波対策としては、気象水文局が地震観測・分析及び発信を担当(24 時間体制)している。日本や中国の支援により地震計が設置されている。土砂災害対策としては、気象水文局が大雨警報を発令する体制を取っている。また、ミャンマー地科学協会が土砂災害ハザードマップを作成している。また、地域(タウンシップ)単位で、各種災害リスクを数値化したリスク評価データを整備している(図 3-4-2-2)。リスク評価される災害の種類: 防風、津波、洪水、地震、斜面崩壊、熱帯低気圧、干ばつとなっている。

政府機関の防災対策は、大規模災害(2004 年インドネシア・スマトラ沖地震、2008 年ミャンマー国内で 14 万人の死者・行方不明者を出した熱帯低気圧ナルギス)を契機に、防災に関する機関が整備されてきた。ミャンマーにおける防災の主管は、2005 年に設立され、2013 年に再度整備された「国家防災中央委員会(NDPCC)」である(図 3-4-2-3)。議長は副大統領で、その下には、災害対応政策の実施を担う「国家防災作業委員会(NDPMWC)」が設置されている。省庁横断組織だが、中心的役割を担うのは社会福祉・救済・復興省。この他、情報省、教育省、内務省等も主要メンバーである。さらに、NDPCC の下には、分野ごとに関連する省が参加するサブ委員会も設置され、緊急通信委員会、捜査・救援委員会等、10 のサブ委員会が存在している。また、州・管区レベルとその下の県・郡・村レベルにおいても、防災委員会及び災害の種類・状況に応じて必要とされるサブ委員会が設置されている。

ミャンマーの関係省庁にはそれぞれ防災に関する役割が与えられている。森林を管轄する天然資源・環境保全省(MONREC)の防災上の役割は、下記のとおりである。

- ・計画・準備・減災対策: 持続可能な森林管理、森林に関する減災計画、国家環境委員会による環境保護関連業務実施
- ・災害救援活動・緊急対応: 森林に係る機材・人材の避難、安全確保
- ・復旧・復興: 被害を受けた森林資源・林業機材の調査と復旧・復興

#### 4) 森林を活用した防災・減災への取組状況

2008 年の熱帯低気圧ナルギスをはじめ、死者を多数出す災害に複数見舞われる状況を受けて、ミャンマー政府の関係部局及びその他の関係機関(ミャンマーエンジニアリング協会、ミャンマー地科学協会等)は、英国政府支援の下、「Hazard Profile of Myanmar」を 2009 年にとりまとめた。この中で、いくつかの森林を活用した防災・減災アプローチが提案されている。

例えば、熱帯低気圧に対しては、「海岸・河川沿いにマングローブをパッチ状に植林することが有効」としている。また、洪水対策としては、「洪水リスク低減のため、リスクの高い流域への森林保全と再植林が重要」としている。高潮・津波対策としては、「エーヤワディ地区のデルタ地帯やミャンマー南部では、マングローブ林の生息により、潮流の抑制効果を一定程度発揮している」とし、森林による減災の可能性について言及している。JICA はミャンマーにおける、森林を活用した防災・減災を含め、自然災害対策に関する主要な海外ドナーの一つであり、「エーヤワディ・デルタ住民参加型マングローブ総合管理計画(JICA: 2004～2007年)」を実施しマングローブの植林や、ハザードマップの作成などを行っている。

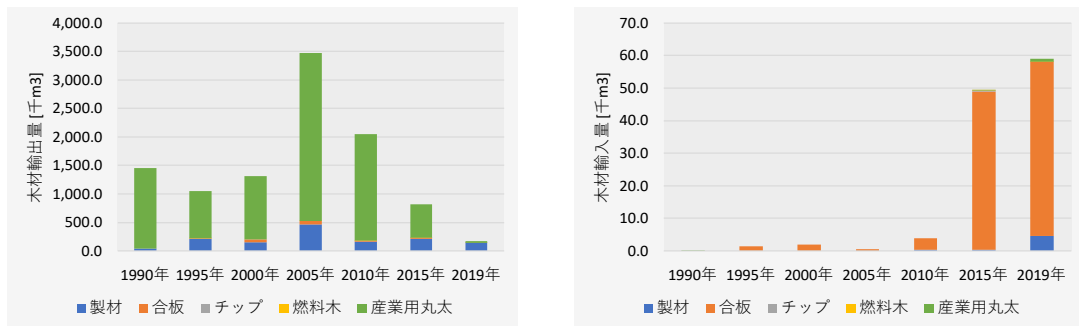


図 3-4-2-1 ミャンマーにおける主な製品別木材輸出量(左)及び輸入量(右)の推移

表 3-4-2-1 ミャンマーにおいて大きな被害を生んだ自然災害(1990～2019年)

GLIDENumber ほか各種資料より作成

年月	場所	災害の種類	死者数	概要
2004年 5月	ラカイン州内の複数地域	熱帯低気圧、洪水、高潮	140	5月19日、ベンガル湾に発生した嵐がバングラデシュとの国境近くのミャンマーの南西海岸を通過。時速160kmを超える風により、ラカイン州のポークタウ、ミエボン、シットウェイ、チャウピューの4つの町で高潮と洪水が発生。140人が死亡、3,700世帯(約18,000人)が影響を受け、一時的に家を失った。1,000件以上の家屋が破壊された。
2004年 12月	スマトラ島(インドネシア)、ミャンマーほか	地震・津波(スマトラ沖地震)	各国で226,000人以上(ミャンマー以外も含む)	12月26日に発生したスマトラ沖地震で甚大な被害が発生。インドネシア、ミャンマーを含む多くの国で犠牲者を出した。

2008年 5月	ミャンマー 全土	熱帯低気圧 (ナルギス)	約 140,000	2~3mの高潮により約14万人が死亡。 【災害の人為的背景】地元住民にとって経験のない熱帯低気圧のコースであったこと、高潮の十分な予報都計法が出されず個人の判断による避難が遅れたこと、広大なデルタ地帯において高台や強固な建物がなく道路も冠水し逃げ場を失ったこと等が、犠牲者が増大した主な理由として挙げられている。
2011年 10月	不明	暴風雨鉄砲水	100	暴風雨による鉄砲水で100人以上が死亡。
2015年 7月	ラカイン州 西部、カチ ン州、サガ イン州	洪水	103	ラカイン州西部では7月2日に過去数日間の大雨の影響で洪水が発生、200近くの家屋が破壊され、1,500人が避難した。カチン州、サガイン州では7月19日に洪水が発生、約57,000人に影響が出た。

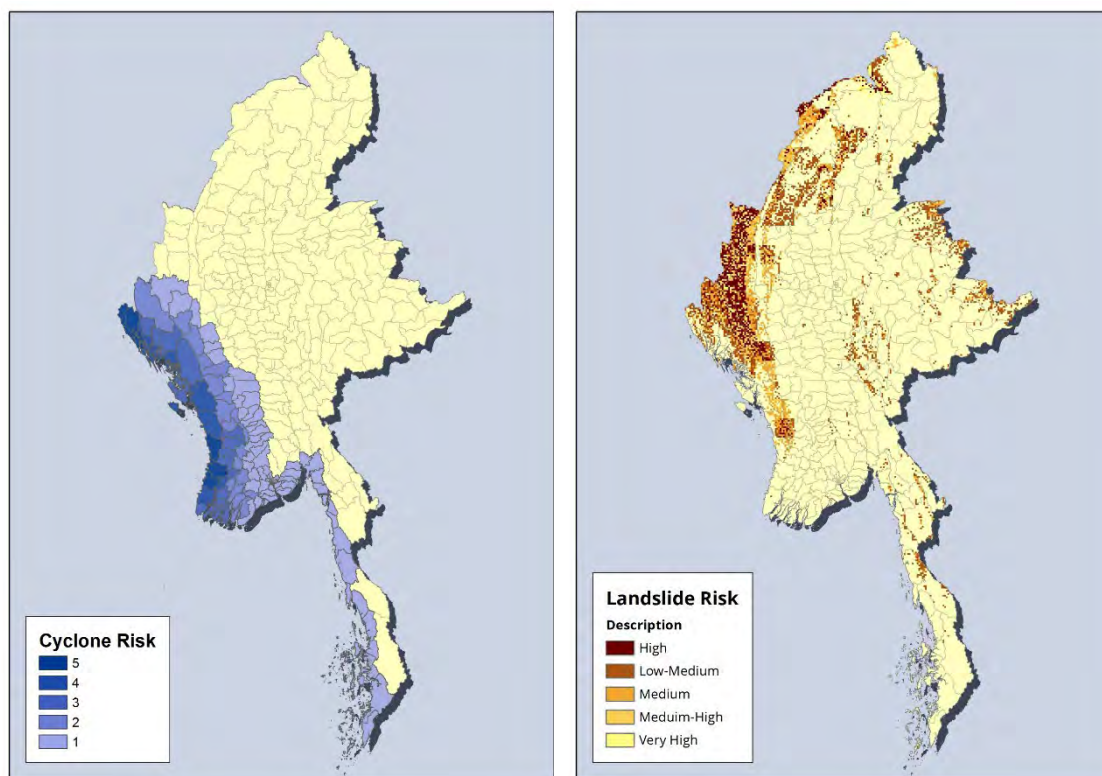
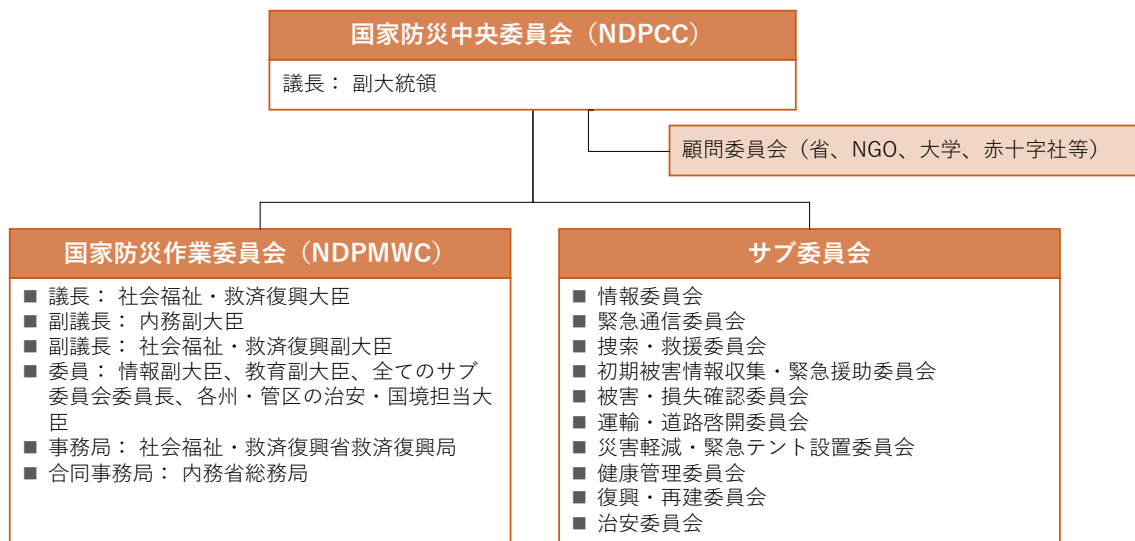


図 3-4-2-2 ミャンマーの 2019 年災害リスクマップ(左:熱帯低気圧、右:斜面崩壊)

OpenDevelopmentMekong による



**図 3-4-2-3 ミャンマーの国家防災中央委員会(NDPCC)の構造**

田平ほか「民政移行後のミャンマー中央政府の防災体制と今後の課題」より作成

**表 3-4-2-2 関係省等の防災対策における役割(災害前後のフェーズごと)**

JICA(2012)「国別防災台帳(アセアン地域防災協力に関する基礎情報収集・確認調査)」より作成

省	計画・準備・軽減	災害救助活動・緊急対応	復旧・復興
社会福祉・救済復興省	<ul style="list-style-type: none"> <li>・災害軽減計画の他省への周知・指導</li> <li>・州レベルの災害管理訓練実施</li> <li>・国民の教育啓発活動、その他キャパビル</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・災害時応急対応の責任・監督機関</li> <li>・救助活動、緊急物資配布、社会的弱者の避難支援</li> <li>・早期警報の末端までの伝達</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・被災者の再定住・復興支援、社会的弱者支援</li> </ul>
運輸省	<ul style="list-style-type: none"> <li>・海上・航空交通の災害軽減計画</li> <li>・気象・水位・水文・地震観測情報及び早期警報発出システム確立(気象水文局)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・海上・航空交通の安全確保</li> <li>・気象・水位・水文・地震観測情報の収集と早期警報の発出・拡散(気象水文局)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・海上・航空施設の復旧・復興</li> <li>・関連情報の提供による復旧・復興支援(気象水文局)</li> </ul>
内務省	<ul style="list-style-type: none"> <li>・防災委員会への参加</li> <li>・災害管理訓練、防災消防訓練の実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・防災委員会への参加</li> <li>・避難指示、避難所運営、消火、人道救助</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・社会経済的損失の報告</li> <li>・社会復興活動への支援</li> </ul>



保健省	<ul style="list-style-type: none"> <li>・災害に備えた保険医療システムの確立</li> <li>・救急法指導、住民への教育</li> <li>・洪水被害想定域の活動計画（気象水文局と連携）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・緊急診療所設置、患者の優先順位付け、予防注射</li> <li>・飲料水の消毒と衛生管理、衛星廃棄物管理</li> <li>・検死、被害調査</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・復旧・復興活動実施</li> <li>・社会的医療的問題の発生抑止</li> <li>・自然災害影響調査</li> </ul>
鉄道運輸省	<ul style="list-style-type: none"> <li>・陸空海交通に関する災害対応・軽減計画、避難・輸送支援に関する計画</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・支援物資輸送及び道路啓開の責任</li> <li>・情報伝達支援、避難</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・陸空海上交通の復興及び輸送支援</li> </ul>
教育省	<ul style="list-style-type: none"> <li>・災害に強い学校施設整備、教育施設の災害軽減計画運駅規則策定</li> <li>・災害対応教育の開発導入</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・避難指示、救援ボランティア動員</li> <li>・災害の映像記録</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・教育施設の復興</li> </ul>
国家計画・経済開発省 計画局	<ul style="list-style-type: none"> <li>・緊急基金の使用</li> <li>・行政・統計・会計等に関する指導</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査評価チームを被災地に派遣</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査評価チームによる被災自治体の支援</li> </ul>
通信・情報技術省	<ul style="list-style-type: none"> <li>・緊急通信システム確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・緊急通信システム維持</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・通信網の復旧</li> </ul>
農業灌漑省	<ul style="list-style-type: none"> <li>・土塁・ダム・堤防・灌漑施設の強度監視及び維持管理</li> <li>・他省と連携し森林保護実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・土塁・ダム・堤防・灌漑施設等の監視</li> <li>・避難キャンプ仮設、貯水施設設置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・農業従事者への種子配布、農機具支援</li> <li>・土塁・ダム等の調査と修理</li> </ul>
建設省	<ul style="list-style-type: none"> <li>・災害に強い公共基盤整備</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・道路や橋等の被災地へのアクセスの確保</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・公共インフラ回復、被災者再定住のための都市計画</li> </ul>
天然資源・環境省	<ul style="list-style-type: none"> <li>・持続可能な森林管理、森林に関する災害削減計画</li> <li>・環境保護関連業務（国家環境委員会）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・森林に係る機材・人の避難、安全確保</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・森林資源・林業機材の状況調査と復旧・復興</li> </ul>
財務・歳入省	<ul style="list-style-type: none"> <li>・基金の拠出</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・州予算から特別基金を設置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・支援物資の免税、支援金の拠出</li> </ul>
国防省	<ul style="list-style-type: none"> <li>・災害時の対応計画策定と準備</li> <li>・軍との調整</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軍と調整のうえ、救援・避難・輸送</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軍と調整のうえ、復興業務を支援</li> </ul>
情報省	<ul style="list-style-type: none"> <li>・関係機関からの情報収集</li> <li>・災害情報や教育プログラムの放送・伝達</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・関係機関からの災害情報収集</li> <li>・早期警報・避難指示の放送・伝達</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・復旧・復興に関する支援、</li> <li>・離散家族再会のための情報伝達</li> </ul>

工業省	・災害に強い工場の整備 ・工場地帯避難基準の設定	・工場地帯の救援	・工場地帯の復興
商業省	・商業関連施設の災害削減計画 ・災害基金や支援物資の受け入れ手順	・商業関連施設の救援 ・支援物資の配布支援	・商業関連施設の復興
外務省	・国際会議参加、関係機関との調整 ・海外技術や研修の導入	・国際支援関連調整業務	・国際支援関連調整業務
外務省	・国際会議参加、関係機関との調整 ・海外技術や研修の導入	・国際支援関連調整業務	・国際支援関連調整業務
共同組合省	・一週間分の水食料の備蓄	・住民の避難支援	・復興ローン等草の根支援
文化省	・文化財に対する災害軽減計画	・文化財の避難	・文化財関連の被害の復旧・復興
エネルギー省	・燃料の安全確保、災害時の燃料供給計画	・燃料の安全確保、緊急燃料供給	・被災燃料施設を復興
電力省	・電力に関する災害軽減計画	・感電・火災等の防止	・被災電力関連施設を復興
畜水産省	・地区水産に関するデータ蓄積、災害軽減計画立案	・家畜の避難、避難した家畜への餌の供給	・被災農漁民に対する支援 ・家畜のワクチン接種

### 3.4.3 インドネシア共和国

#### 1) 国土と森林の特徴

インドネシアは、国土の約 49%が森林(2020 年)である。そのほとんどが天然林だが、近年植林地の割合が増加傾向にある。天然林の約 65%を占める混交丘陵林が木材生産のために最も重要な森林である。マングローブ林が約 3 百万 ha と大きな分布が見られ、世界のマングローブ林面積の約 21%に達する。用材、薪炭材とも木材生産が盛んな一方、近年ではパーム農園開発及びパーム油生産が国の一大産業となり、森林からパーム農園への転換が急速に拡大している。木材輸出は合板が大きな割合を占める。一部、製材やチップの輸出もある。輸入量は木材生産量に対して非常に小さい。政府では、森林における適応策を提示。災害リスクを下げるといった環境サービスを維持するため、生態系の保全と回復、コミュニティ・フォレストの実施、沿岸地域の保護、統合的な流域管理、気候耐性のある街づくりを実施している。

## 2) 自然災害の発生状況と特徴

インドネシアでは、とくに地震、洪水・鉄砲水、斜面崩壊の発生数が多い。この他、火山噴火も頻繁に発生している点の特徴。地震・津波により度々、数千人規模の死者が出ている。とりわけ 2004 年のスマトラ沖地震は、近隣国も含め死者 20 万人以上という甚大な被害を生んだ。表 3-4-3-1 にはインドネシアで近年発生し、大きな被害を出した災害を示した。

## 3) 自然災害に対する防災・減災の取組状況

防災・減災対策は政府主導で行われている。ハード対策としては、洪水については、公共事業・国民住宅省の地方流域管理事務所(BBWS、BWS)が 2006 年に設立され、これらの機関が流域を対象として洪水管理、治水構造物の建設・管理を実施している。また、国家防災庁(BNPB)が、主要インフラ建設の際の総合的災害リスク分析のためのガイドラインを作成している。地震・津波については、海洋水産省(KKP)が沿岸部の植林や高床式住居建設のパイロットプロジェクトを実施している。とくに、アチェ地域では、4 か所の避難ビルを整備している。また、アチェ津波記念館は 6,000 人を収容可能な避難ビルとしても活用可能であり防災施設としての機能も有している。ソフト対策としては、洪水については、県・市レベルで一般的なハザードマップを作成している。とくに首都ジャカルタでは洪水基本地図が毎年作成されている。水文観測は公共事業省地方事務所が担当している。気象観測は気象気候地球物理庁が実施しており、全国 175 か所の自動気象観測所を運用している。また、国家防災庁が災害データベースを整備しており、1822 年以降の洪水データを有する。公共事業省地方事務所が雨季の度に洪水警戒ガイドラインや洪水早期警報・避難システムのためのマニュアルを作成している。

土砂災害に関するソフト対策としては、火山・土砂災害防災センターが、地すべりの危険性がある地域の地図と毎月の降雨予報を重ねて作成された危険地域マップを対象自治体に毎月送付しているほか、国家防災庁が土砂災害に関するハザードマップを作成している。インドネシアは火山活動に起因する土砂災害が多発しているため、国家防災庁が火山災害に注目したハザードマップを作成しているほか、火山・土砂災害防災センターが 80 か所の火山ハザードマップを作成している。大規模な噴火被害が想定される特定の火山(ジャワ島中部のメラピ山、スラウェシ島南部のバワカラエン火山等)については地域独自の警報避難情報システム構築が進められている。

災害に関する政府の主管は国家防災庁(BNPB)である(図 3-4-3-2)。BNBP は 2007 年

の災害管理法制定を根拠に 2008 年に設立した、大統領直轄の常設の中央災害対策組織であり、常勤職員は 250 名程度である。各省の調整のみならず対策実行の役割も担っており、災害予防、緊急対応、復旧・復興を行う。関連 10 省の幹部職員と数名の専門家・住民組織メンバーからなる運営委員会を有する。地方政府(州・県・市)には、国家防災庁(BNPF)の地方部局である地方防災局(BPBD)が設立されている。各省については、災害発生前後の段階ごと、また災害の種類ごとに所管が決められている。森林については、環境林業省(KLHK/MOEF)が所管する。

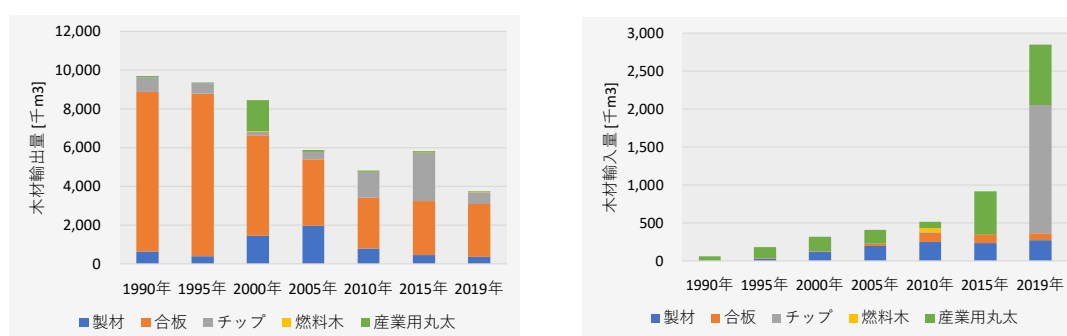


図 3-4-3-1 インドネシアにおける主な製品別木材輸出量(左)及び輸入量(右)の推移

表 3-4-3-1 インドネシアにおける大きな被害を生んだ自然災害(1990~2019 年)

年月	場所	災害の種類	死者数	概要
1992 年 12 月	フローレス島	地震、津波	2,100	-
2003 年 11 月	北スマトラ	大雨、鉄砲水	100	大雨による鉄砲水がスマトラ島の観光地で発生し、少なくとも 100 名が死亡。
2004 年 12 月	スマトラ島 (インドネシア) ほか	地震・津波 (スマトラ沖地震)	各 国 で 226,000 以 上	12 月 26 日に発生したスマトラ沖地震で甚大な被害が発生。インドネシア、ミャンマーを含む多くの国で犠牲者を出した。
2006 年 7 月	南ジャワ州	地震、津波	100	ジャワ島ジャカルタの南 355km で 7 月 17 日に地震が発生。パンガンダラン地域では 2m 以上の津波により少なくとも 100 人が死亡、150 人が負傷し多くの建物が破壊された。
2009 年 9 月	スマトラ島	地震(スマトラ沖地震)	1,200	9 月 30 日に大地震が発生。震源はスマトラ島バ段西北西 60km。約 1,200 人が死亡。
2014 年 12 月	中部	大雨、斜面崩壊	108	大雨により丘が崩壊、斜面崩壊が引き起こされ 18 人が死亡、90 人が泥にのまれ行方不明となった。

2018年 8月	ロンボク島	地震	564	7月29日、8月5日、19日にロンボク島北部で地震が発生、一連の死者は500人を超えた。
2018年 9月	スラウェシ島	地震、津波	3,400	9月28日、スラウェシ島中部スラウェシ州ドンガラ県パルの北78kmを震源とした地震が発生。液状化現象による大規模な被害が発生し、斜面崩壊や津波も発生した。
2019年 3月	パプア州セントラニ地区	洪水	206	3月16日の大雨の後、パプア州セントラニ地区で鉄砲水と地すべりが発生。死者112人、行方不明者94人、負傷者915人で、17,000人が避難した。

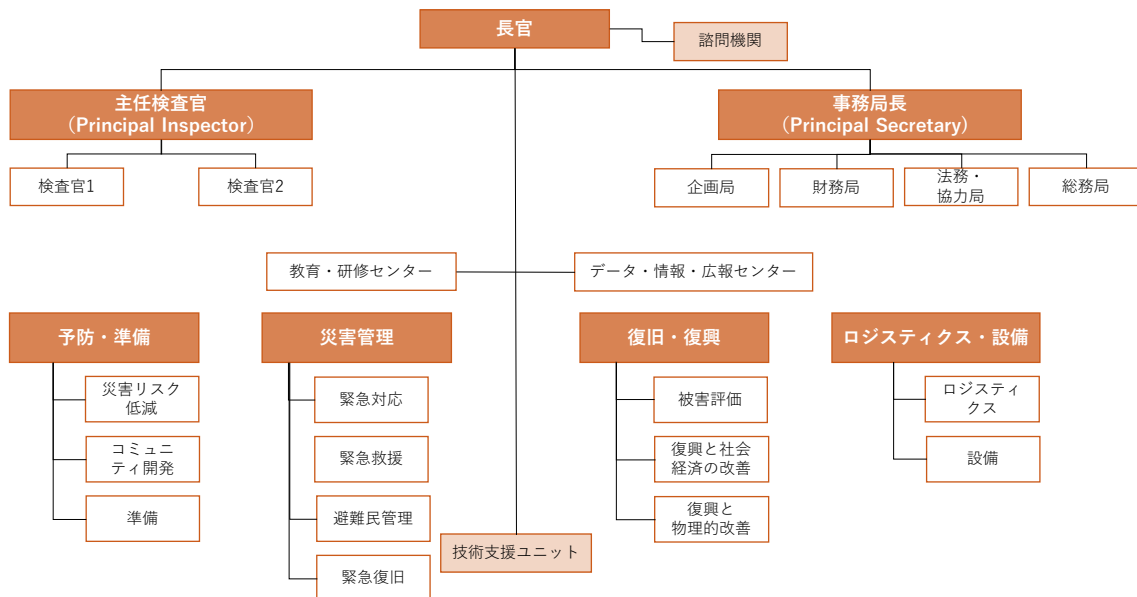


図 3-4-3-2 国家防災庁(BNPB)の構造

JICA(2019)「インドネシア国 防災分野における情報収集・確認調査報告書要約」より作成

## 引用文献

- Alongi DM, 2008. Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 76, 1-13.
- Danielsen F, Sørensen MK, Olwig MF, Selvam V, Pari Fsh, Burgess ND, Hiraishi T, Karunagaran VM, Rasmussen MS, Hansen LB, Quarto A, Suryadiputra N 2005. The Asian Tsunami: A Protective Role for Coastal Vegetation. *Science* 310, 643.
- Furuichi T, Wasson RJ, 2011. Placing sediment budgets in the socio-economic context for management of sedimentation in Lake Inle, Myanmar (Burma). *IAHS Red Book* 349, 103-113.
- Horstman EM, Dohmen-Janssen CM, Narra PMF, van den Bergb NJF, Siemerink M, Hulscher SJMH, 2014. Wave attenuation in mangroves: A quantitative approach to field observations. *Coastal Engineering* 94, 47-62.
- 中村太士 2020. 未来の国土保全に欠かせないグリーンインフラ. グリーンインフラ研究会他編, 「実務版! グリーンインフラ」. 日経 BP, 520pp. 25-38.
- Sidle RC, Ziegler AD, Negishi JN, Nik AR, Siewc R, TurkelboomF, 2006. Erosion processes in steep terrain—Truths, myths, and uncertainties related to forest management in Southeast Asia. *Forest Ecology and Management* 224, 199-225.
- 塚本良則 1986. 樹木根系の崩壊防止効果に関する研究. 東京農工大学農学部演習林報告 23, 65-124.