

ISBN : 978-4-909941-45-9

森林を活用した 防災・減災のための

Forest-based Disaster Risk Reduction



COOKBOOK

How to Adapt to Disasters Caused by Climate Change

はじめに

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

本書は、森林の機能を活用した防災・減災に取り組むための基礎知識や技術について、平易に説明した技術解説書です。全体は「導入編」、「計画編」、「技術編」、「参照編」の4部で構成されています。「導入編」は森林を活用して防災・減災に取り組む全ての方々、「計画編」は防災・減災プロジェクトの立案者、「技術編」はプロジェクトレベルで携わる技術者を想定しています。また、「参照編」は発展途上国における森林を活用した防災・減災の取組動向を紹介しています。「導入編」と「計画編」、あるいは「計画編」と「技術編」を組み合わせることで、より理解を深められるように構成されています。

「導入編」、「計画編」、「技術編」、「参照編」では、森林を活用した防災・減災に取り組む上で必要となる知識や技術に関する項目を、Recipe（レシピ）という解説の単位でとりまとめました。

本書を通じて、REDD プラス・海外森林防災研究開発センターが、世界各地で発生する山地災害、高潮被害の軽減に貢献できればと願っています。

2025年2月5日

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

目 次

導入編

第 1 章 森林を活用した防災・減災	8
Recipe - I01 森林の機能とは？	10
森林の有する機能 / 防災・減災に役立つ機能 /	
森林の機能を維持するための適正な森林管理の重要性	
Recipe - I02 森林を活用した防災・減災の考え方	14
EbA・Eco-DRR・森林を活用した防災・減災 /	
グレーインフラとグリーンインフラ / 治山の思想	
Recipe - I03 激甚化する自然災害	18
自然災害の種類と傾向 / 開発によるリスクの増大 /	
気候変動に伴うリスク	
Recipe - I04 森林が防災・減災に果たす役割とリスク	22
山地災害に対する森林の機能 / 森林の土砂災害防止機能の限界 /	
海岸林の役割と限界	
第 2 章 防災・減災に向けた国際動向	26
Recipe - I05 IPCC での議論	28
IPCC とは / 極端現象及び災害のリスク管理に関する特別報告書 /	
海洋・雪氷圏特別報告書 / IPCC 第 6 次評価報告書	
Recipe - I06 国連における議論	32
気候変動適応に関連する 3 つの国際枠組み / 国連防災世界会議 /	
UNFCCC での議論	
Recipe - I07 国際援助の枠組み	36
日本の政府開発援助 / 二国間援助枠組みの動向 / 多国間援助枠組みの動向	
Recipe - I08 国際機関案件の現状と課題	40
国際機関の資金動向 / 国際機関の案件動向と日本企業の参画 /	
国際案件への日本企業の参画促進へ向けた方向性	

計画編

第 3 章 森林の防災・減災機能を活用するためのアプローチ	46
Recipe - P01 森林を活用した防災・減災のポイントと活用可能な知見 ..	48
森林を活用した防災・減災の主なポイント /	

防災・減災対策に活用可能な知見の整理	
Recipe - P02 森林を活用した防災・減災のための土地利用計画と管理 ..	52
土地利用計画・管理の必要性と保安林制度 /	
森林を活用した防災・減災のための土地利用計画 /	
森林を活用した防災・減災のための土地管理	
Recipe - P03 地域での協働による計画の策定	56
ステークホルダー間の合意による計画の策定 / 土地利用計画と管理計画 /	
科学的根拠の提供 / 森林のゾーニング	
第 4 章 森林の防災・減災機能強化のための技術	60
Recipe - P04 斜面崩壊リスクマップの作成	62
土砂災害リスクマップに対するニーズと課題 / 土砂災害のリスク評価 /	
斜面崩壊地抽出における Google Earth Engine の利用 /	
機械学習による土地利用と森林撓乱の推定 /	
斜面崩壊発生時の雨量の評価 / 斜面崩壊に対するリスクマップの作成	
Recipe - P05 日本の森林整備・治山技術の適用	66
日本の森林整備・治山技術の適用の必要性 / 治山技術と土地利用計画 /	
森林整備・治山技術導入の準備	
Recipe - P06 マングローブの防災・減災機能	70
防災・減災機能発揮のための保全の必要性 /	
マングローブの波や風に対する根返り耐性 /	
マングローブの防災・減災機能の広域評価 /	
マングローブ植林における留意点	

技術編

第 5 章 リモートセンシング技術を用いたリスクマップの作成	76
Recipe - T01 Google Earth Engine を用いた崩壊地の抽出	78
Google Earth Engine による入力データの準備 /	
斜面崩壊地抽出のための土地被覆分類 / 斜面崩壊地の抽出精度の評価	
Recipe - T02 機械学習による土地被覆分類と森林撓乱の抽出	82
過去の土地被覆の変遷が土砂災害リスクに与える影響 /	
衛星画像を利用した過去の土地被覆の変遷の推定手法 /	
土砂災害のリスク評価への応用	
Recipe - T03 斜面崩壊発生時の雨量の評価	86
衛星観測雨量データ (GSMap) / 衛星観測雨量データの評価 /	
斜面崩壊と雨量との関係	

Recipe - T04 斜面崩壊に対するリスクマップの作成	90
リモートセンシングによる災害発生危険度の把握 /	
リスクマップ作成に使用するデータ / リスクマップの作成方法	

第6章 日本の森林整備・治山技術の適用 94

Recipe - T05 地域住民の防災・減災に対する意識調査	96
地域住民への意識調査の必要性 /	
地域住民の森林の防災機能と政府への期待に対する調査 /	
災害への主観危険度、防災コスト、防災行動への認識	
Recipe - T06 道路法面崩壊の発生に係る諸条件	98
道路開設による斜面崩壊リスクの上昇 /	
開発途上国における道路法面と排水施設 /	
数値解析のためのパラメータとなる斜面の諸条件 /	
数値解析による道路沿い斜面の安定性評価	
Recipe - T07 日本の治山施設の効果的な適用	102
国土保全政策としての治山事業 / アジアで普及するふとんかご /	
開発途上国への適用が期待される治山施設	
Recipe - T08 森林を活用した防災・減災のための森林計画の策定	106
森林計画とは？ / 日本の森林計画制度 /	
森林を活用した防災・減災のための森林計画の基本的な考え方 /	
森林計画策定に際しての判断材料	

第7章 高潮被害に対するマングローブの防災・減災機能 110

Recipe - T09 マングローブに対する地域住民の意識調査	112
地域住民への意識調査の必要性 / 地域住民のニーズの把握 /	
マングローブ保全と植林に必要な資源の評価 /	
2つのステップに共通する注意点	
Recipe - T10 波や風に対する根返り耐性の定量評価	116
根返り耐性の定量評価の必要性 / 引き倒し試験とは /	
根返り耐性に関するマングローブの樹種特性	
Recipe - T11 リモートセンシングによる防災・減災機能評価	120
マングローブが防災・減災機能を果たす条件 /	
マングローブの防災・減災機能の評価の手法	
Recipe - T12 マングローブ植林における留意点	124
マングローブの生育適地の判定 / 適切な採種法と種子の取り扱い /	
苗畑における育苗 / マングローブの植栽	

参照編

第8章 発展途上国における森林を活用した防災・減災の取組動向	130
Recipe - R01 ベトナム社会主義共和国における取組	132
国及び森林を取り巻く状況 / ベトナムにおける自然災害の特徴 /	
森林を活用した防災・減災に関する国の機能 /	
森林を活用した防災・減災のための活動を実施する際のポイント	
Recipe - R02 ミャンマー連邦共和国における取組	136
国及び森林を取り巻く状況 / ミャンマーにおける自然災害の特徴 /	
森林を活用した防災・減災に関する国の機能 / 支援のニーズ	
Recipe - R03 インドネシア共和国における取組	140
国及び森林を取り巻く状況 / インドネシアにおける自然災害の特徴 /	
森林を活用した防災・減災に関する国の機能 /	
森林を活用した防災・減災のための活動を実施する際のポイント	
Recipe - R04 タイ王国における取組	144
国及び森林を取り巻く状況 / タイにおける自然災害の特徴 /	
森林を活用した防災・減災に関する国の機能 /	
森林を活用した防災・減災のための活動を実施する際のポイント	
Recipe - R05 フィリピン共和国における取組	148
国及び森林を取り巻く状況 / フィリピンにおける自然災害の特徴 /	
森林を活用した防災・減災に関する国の機能 /	
森林を活用した防災・減災のための活動を実施する際のポイント	
Recipe - R06 インド共和国における取組	152
国及び森林を取り巻く状況 / インドにおける自然災害の特徴 /	
森林を活用した防災・減災に関する国の機能 /	
森林を活用した防災・減災のための活動を実施する際のポイント	
索引	156
執筆者一覧	162



導入編

1

第 1 章 森林を活用した 防災・減災



近年、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、台風が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が顕著になってきている。加えて、山岳地域や沿岸域における森林から農地への土地転換等の無秩序な土地利用改変は、これらの被害を深刻化させている。このため、このような気候変動に起因する自然災害に対する効果的な適応策が世界共通の課題となっている。

本章では、森林が有する機能や、その機能を活用した防災・減災の考え方について解説する。次に、気候変動の影響で世界で激甚化する自然災害について現状を紹介し、そのような状況下において、森林が防災・減災に果たす役割とリスクについて解説する。

Recipe - I01 森林の機能とは？

Recipe - I02 森林を活用した防災・減災の考え方

Recipe- I03 激甚化する自然災害

Recipe- I04 森林が防災・減災に果たす役割とリスク

森林の機能とは？

森林は、生物多様性保全機能、地球環境保全機能、土砂災害防止機能／土壌保全機能、水源涵養機能、快適環境形成機能、保健・レクリエーション機能、文化機能、物質生産機能といった人間の生活に大きく関わる様々な機能を有している。森林が有する様々な機能のうち、防災・減災に役立つ機能としては、土砂災害防止機能／土壌保全機能や水源涵養機能があげられる。このような森林の多面的機能を将来にわたって維持するためには、森林の適切な管理が重要である。特に伐採跡地においては、次の世代の森林が成林しないと伐採前に発達した根系の腐朽が進み、森林の防災・減災機能が低下することになる。

森林の有する機能

森林は、人間生活に直接的、間接的に役立つ多くの機能を有している。一般的に多面的機能と呼ばれる森林の有する機能は、大きく分けて、生物多様性保全機能、地球環境保全機能、土砂災害防止機能／土壌保全機能、水源涵養機能、快適環境形成機能、保健・レクリエーション機能、文化機能、物質生産機能に分類される（図 I01-1）^{1), 2)}。近年、気候変動の緩和策として、森林が大気中から二酸化炭素を吸収し、炭素を樹体内に有機物として固定するとともに、酸素を放出する地球環境保全機能に注目が集まっている。一方で、顕在化する気候変動の影響による自然災害に適応するため、森林の土砂災害防止機能／土壌保全機能や水源涵養機能にも関心が高まっている。

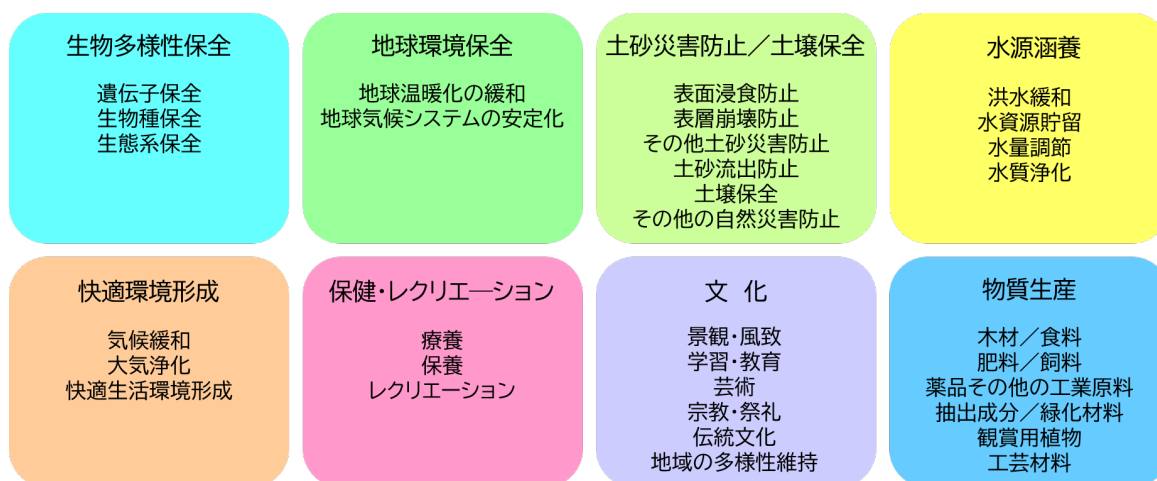
物質生産機能には、燃料材、建築材、木製品原料、パルプ原料といった環境に優しい資材である木材の生産のほか、きのこ等の食料の生産、肥料、飼料、薬品その他の工業原料、緑化材料、観賞用植物、工芸材料の生産といった機能が含まれる。生物多様性に対しては、遺伝子や植物種、動物種、菌類といった生物種の保全、生態系の保全といった根源的な機能を有している。地球環境保全機能としては、光合成により二酸化炭素を吸収して炭素を固定したり、化石燃料代替エネルギーとしての利用による温暖化緩和の機能のほか、蒸散作用によって気温を下げることにより地球規模での自然環境を調節し地球気候システムの安定化に寄与する機能があげられる。途上国で森林減少、劣化が進行すると、この

INFO

1) 日本学術会議（2001）地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的な機能の評価について（答申）

INFO

2) 林野庁（2018）平成29年度森林・林業白書

図 I01-1 森林の有する多面的機能^{1), 2)}

機能が損なわれるばかりでなく、その際の伐採により大量の二酸化炭素が大気中に放出されることで、温暖化の進行につながることも懸念されている。そのため、気候変動枠組条約（United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC）締約国会議（Conference of the Parties: COP）において、REDD プラスという枠組みを作り、森林の持つ地球環境保全機能の維持を図っている。

これらの多面的機能は、森林が生育する自然的条件や社会的条件により、その価値が大きく変化する。例えば、雨の少ない平坦な地域に生育する森林は土砂災害を防止する機能はなく、また、アクセスの困難な森林に対して、保健・レクリエーション機能や文化機能を期待することはできない。加えて、森林の生育する地域を超えて、あるいはその地域以外で発揮される機能もある。水源涵養機能は、森林の生育する地域はもちろん、その下流域において機能の恩恵を被る。また、地球温暖化の緩和や地球の気候の安定を図る地球環境保全機能は、地球レベルでの課題に寄与する機能である。

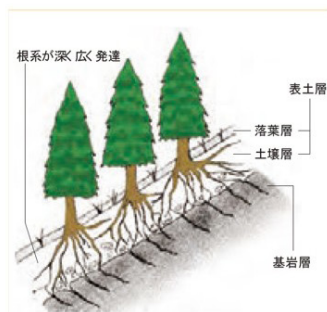
防災・減災に役立つ機能

森林が有する様々な機能のうち、自然災害に対する防災・減災に役立つ機能としては、土砂災害防止機能／土壌保全機能や水源涵養機能がある。

・土砂災害防止機能／土壌保全機能

土砂災害防止機能／土壌保全機能とは、森林が張り巡らす根系によっ

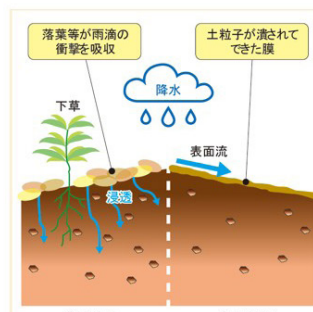
表層崩壊防止



森林・林業白書(2023)

森林の樹木の根は浅い土層や岩石を固定し、表層崩壊を防ぐ。

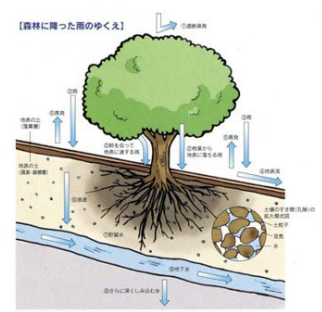
表面侵食防止



森林・林業白書(2023)

落葉等が雨滴の衝撃を吸収し、雨水の土壌への浸透を助け、地表面の侵食を防ぐ。

洪水緩和



全国林業改良普及協会

森林は降水を受け止めて土壌に浸透させ、洪水時のピーク流量を低減する。

図 I01-2 森林の防災・減災機能^{3),5)}

て土砂の崩壊を防ぎ、樹木や草本が地面を覆うことで、雨による表面土壌の流出を抑える機能であり、根系の成長・発達や下層植生の発達により高い効果が期待できる。具体的には表層崩壊防止機能と表面侵食防止機能がある（図 I01-2）³⁾。

台風や低気圧による豪雨、地震、融雪、噴火、地形改変などにより山の斜面が崩壊することを斜面崩壊といい、崩壊の深さや規模に応じて「表層崩壊」と「深層崩壊」に分類される。このうち、森林は樹木の根系の効果により「表層崩壊」を防止する機能がある。なお、深層崩壊の場合は樹木の根による土砂や岩石をつなぎとめる力が及ばず、森林の機能によって崩壊を防ぐことはできない。また、豪雨により、根系を含む表層土壌層が崩れ落ちることもあり、森林の表層崩壊防止機能の限界を認識しておく必要がある。森林の表層崩壊防止機能は発達した根系によって効果が期待できるため、森林を伐採し、根系が腐朽することで、その機能は低下する。根系が完全に腐朽するには数年かかるが、その過程において、水平に張りめぐらされる根系によるネット効果や垂直方向に伸びる根系による杭効果は徐々に失われていく⁴⁾。

表面侵食は、気象、地形、地質、植生など様々な要因が関係して発生する。特に、雨滴の衝撃により地表面の土壌構造が破壊され、水が土壌中に浸透しにくくなり、傾斜に沿って発生する表面流が地表面を削ることによって表面侵食が進行する。これに対し森林では、植生地上部や落葉層による雨滴エネルギー減殺機能、茎や落葉層による地表流の流速減殺機能、土壌の浸透能改善による地表流の流量減少機能、根系による地

INFO

3) 林野庁（2023）令和4年度森林・林業白書

INFO

4) 林野庁森林整備部治山課（2023）森林の根系が持つ表層崩壊防止機能

表流の掃流力に対する土粒子緊縛機能が働くことで表面侵食を防いでいる。

・水源涵養機能

森林の水源涵養機能については、落ち葉や下草に覆われた森林土壌が重要な役割を果たす。降水を樹冠や下草等で受け止め、その一部を蒸発させた後、保水力の高い森林土壌に蓄え、そこから時間をかけて河川に流出させることで、洪水時のピーク流量を軽減させる機能を発揮する（洪水緩和機能）（図 I01-2）⁵⁾。また、森林土壌や岩盤などの深いところに蓄えられた水は、その中を様々な経路や速度で移動することによって雨の降らない時期の河川に流れ出て、一定の水量を保持するのに役立っている（水量調整機能）。また、森林土壌は浸透した水をろ過し、流出する水の濁りを浄化する効果もある（水質浄化機能）。これらの機能を総称して水源涵養機能という^{3), 6)}。このうち防災・減災に役立つ機能は洪水緩和機能である。

INFO

5) 全国林業改良普及協会
(2007) 森を知るデータ集
No.2 森林の働き . 16 pp

INFO

6) 林野庁森林整備部治山課
(2023) 森林の水源涵養機能
の発揮に向けて

森林の機能を維持するための適正な森林管理の重要性

森林の多面的機能が将来にわたって持続的に発揮されるようにするためには、人間の働きかけによって健全な森林を積極的に造成し、育成する適正な森林管理が必要となる。伐採跡地等で森林の機能を早期に回復するためには、植栽を行うことが一般的である。伐採跡地に植栽を行わないと、再び森林として再生するまでに非常に長い時間がかかるだけでなく、植生条件等によっては十数年経過後も低木や先駆種が優占し、高木性樹種が十分に見られない場合がある。植栽によって再生した森林は、その後も適切な保育、間伐等が必要となる。これらの作業を適切に行わないと、植栽木が他の植物により被圧され、十分に生育できないことになる。このように伐採跡地において、長い時間、次の世代の森林が成林しないと伐採前に発達した根系の腐朽が進み、森林の防災・減災機能が低下することになる。

森林を活用した防災・減災の考え方

この上の Recipe は

Recipe - 101 森林の機能とは？

生態系を活用した防災・減災（Eco-DRR）は、自然災害リスクに対して生態系が果たす役割に注目し、これを積極的に活用するアプローチである。Eco-DRRにおいて、特に森林の果たす役割は大きい。「グリーンインフラ」は、幅広い生態系サービスを提供するために設計・管理された自然・半自然地域とその他の環境特性からなる戦略的計画ネットワークで、人工的なインフラを指す「グレーインフラ」と対比して定義される。治山技術は、山腹斜面の安定化や荒廃した溪流の復旧整備等を実施し、森林の維持・造成することで森林の機能を維持・向上させる技術である。治山は、適切な土地利用計画や土地利用制限、住民の防災意識の啓発を進めることで、より高い効果が期待できる。

EbA・Eco-DRR・森林を活用した防災・減災

INFO

1) CBD 事務局（2009）
Connecting biodiversity and climate change mitigation and adaptation: Report of the second ad hoc technical expert group on biodiversity and climate change

INFO

2) UNFCCC（2008）
Ideas and proposals on the elements contained in paragraph 1 of the Bali Action Plan

「生態系を活かした気候変動適応（Ecosystem-based Adaptation：EbA）」とは、気候変動の悪影響に適応するための適応戦略の一環として、生物多様性と生態系サービスを利用することである¹⁾。EbAは嵐や洪水の被害、沿岸侵食、淡水資源の塩害、農業生産性の低下等、気候変動の影響から人間社会を守るために利用することができる。EbAという言葉は、2008年に開催されたUNFCCCのCOP14にて、国際自然保護連合（IUCN）とその加盟機関によって初めて紹介された²⁾。さらに、2009年には生物多様性条約（Convention on Biological Diversity：CBD）の下、EbAを正式に定義する専門家グループ報告書が出された¹⁾。

生態系を活用した防災・減災（Ecosystem-based Disaster Risk Reduction：Eco-DRR）はEbAの概念と密接に関連しているが、気候変動による災害に限定されるものではない。Eco-DRRは、自然災害リスクに対して生態系が果たす役割に注目し、これを積極的に活用するアプローチである。例えば、津波や落石の影響の軽減や、地震の際の安全な避難場所を確保するアプローチもEco-DRRに含まれる。Eco-DRRにおいて、特に森林の果たす役割は大きい。近年、各種の国際枠組みにおいて、適応、防災・減災、Eco-DRRに関連する議論や決議が行われてきた（表102-1）。

Eco-DRRの基本的な考え方は、「自然的な土地利用を維持することによる暴露の回避（居住、利用しない選択）と、森林やサンゴ礁など、生

生態系の物理的な防護による脆弱性の低減（危険減少の影響の緩和）により、自然災害リスクを下げること」（図 I02-1）³⁾とされている。ここで暴露の回避とは、土砂災害の起こるリスクの高い急斜面の近くや、津波・高潮の影響を受けやすい海岸沿岸部など、自然災害に対して脆弱な土地における住居や道路インフラ施設の建設を避けて、人命や財産が危険な自然現象にさらされることを回避することを指す。また、脆弱性の低減とは、災害に対する社会の脆弱性を低減すること、海岸林が海からの風や飛砂から人家を守り、津波エネルギーを減衰するなど、危険な自然現象を軽減する物理的な緩衝として生態系を機能させることである。

環境省³⁾ 及び JICA⁴⁾ によって、Eco-DRR は生態系の保全・管理（保護区の設置など）、劣化した生態系の再生（森林等の適切管理など）、新たな生態系の造成（新たな造林など）、生態系と人工構造物の融合（治山事業など）の 4 類型に分類される。

森林を活用した防災・減災では、例えば植林木の維持や管理等その後のケアも機能発揮のために非常に重要になる。数十年にわたって機能を

INFO

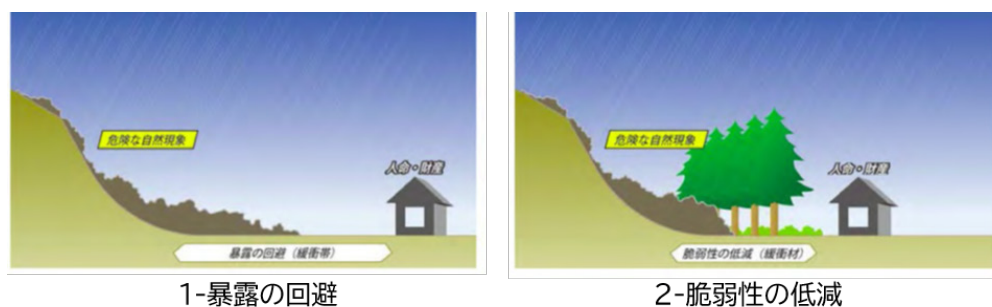
3) 環境省（2016）生態系を活用した防災・減災に関する考え方

INFO

4) JICA（2017）生態系を活用した防災・減災（Eco-DRR）の実践 ～その効果、国際動向と JICA の取組～

表 I02-1 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。

図 I02-1 Eco-DRR に適用される減災の原則³⁾

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、森林を活用した防災・減災に関する教育や啓発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。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する、効果発現量の不確実性が高いといった弱みを有する。こうした森林を活用した防災・減災の弱みや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、手法として森林を活用した防災・減災を選択することを総合的に判断すべきである。

グレイインフラとグリーンインフラ

グリーンインフラは、水質浄化、大気質、レクリエーション空間、気候緩和・適応等、幅広い生態系サービスを提供するために設計・管理された自然・半自然地域とその他の環境特性からなる戦略的計画ネットワークである⁵⁾。グリーンインフラは、雨水管理、気候適応、熱ストレスの軽減、生物多様性の増加、食糧生産、大気質の改善、持続可能なエネルギー生産、きれいな水、健全な土壌等様々な領域で活用できる他、町や都市の周辺でレクリエーションや日陰やシェルターの提供を通じて生活の質を高めるといった人間中心の機能にも活用される。また、社会、経済、環境の健全性のために生態学的な枠組みを提供する役割も果たす。例えば、動物の移動を容易にするために緑の回廊のネットワークを計画した事例もある。

グリーンインフラは、交通網や水路網等の人工的なインフラを指すグレイインフラと対比して定義される。一方、屋上緑化や壁面緑化、生態系の継続性を考慮した交通インフラ等、グリーンとグレイのハイブリッ

INFO

5) 欧州委員会（2013）
Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Green Infrastructure (GI) - Enhancing Europe's Natural Capital

ドなインフラの例もある。さらに、グリーンからグレーへのグラデーション段階に位置付けられるインフラもある。日本は、防災を含めた概念としてグリーンインフラを位置付けている。ただし、グリーンインフラの概念が導入される以前より、日本は自然環境による防災・減災の機能の発揮を活用してきた⁶⁾。2019年、国土交通省は「グリーンインフラ推進戦略」を策定した。同戦略では、整備すべきグリーンインフラの役割として、関連する災害リスクの低減を含む気候変動への対応、地域活性化、生態系機能等、様々な役割を強調している⁷⁾。

INFO

6) 国土交通省（2016）グリーンインフラストラクチャー人と自然環境のより良い関係を目指して

INFO

7) 国土交通省（2019）グリーンインフラ推進戦略

治山の思想

治山技術は、山腹斜面の安定化や荒廃した溪流の復旧整備等を実施し、森林を維持・造成することで森林の機能を維持・向上させる技術である。これにより、森林の土砂災害防止機能や土壌保全機能、水源涵養機能が高められ、斜面崩壊などの山地災害から住民の生命・財産を守るとともに、洪水緩和機能により水害のリスクを軽減できるため、総合的な防災対策として大きく貢献できると期待される。さらに治山技術は、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。

治山は、適切な土地利用計画や土地利用制限、地域住民の防災意識の啓発を進めることで、より高い効果が期待できる。対象となる開発途上国においては、地域住民の協力を得て、伝統的な知恵や技術を活用することで、持続可能な治山を実現することが可能である。このように治山の思想は、防災・減災だけでなく、環境保全や地域社会の活性化にも寄与するのである。

激甚化する自然災害

世界的に気候変動に伴う自然災害リスクが高まり、災害が激甚化してきている。過去30年で、最も多く報告された災害は洪水・鉄砲水で、災害の報告が最も多い地域はアジアである。世界で発生した斜面災害・地すべりの6割はアジアで報告されている。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。このような地域においては、適切な土地利用計画や土地利用制限、住民の防災・環境意識が必要である。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も影響を与え、特に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。

自然災害の種類と傾向

世界的に気候変動に伴う自然災害リスクが高まり、災害が激甚化してきている。加えて開発途上国では、森林から農地への土地転換等、無秩序な土地改変が災害を深刻化させている。過去30年で、最も多く報告された災害は洪水・鉄砲水で、災害全体の4割以上を占めている。これに対し、斜面崩壊・地すべりは5.6%と災害としては余り大きな割合を

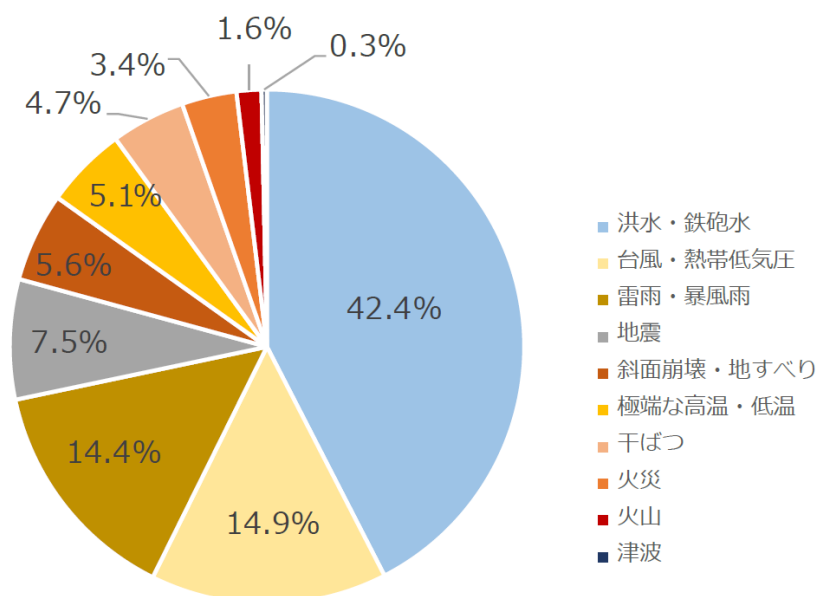


図 I03-1 世界の災害の発生件数（1991～2020年、10,045件）¹⁾より作成

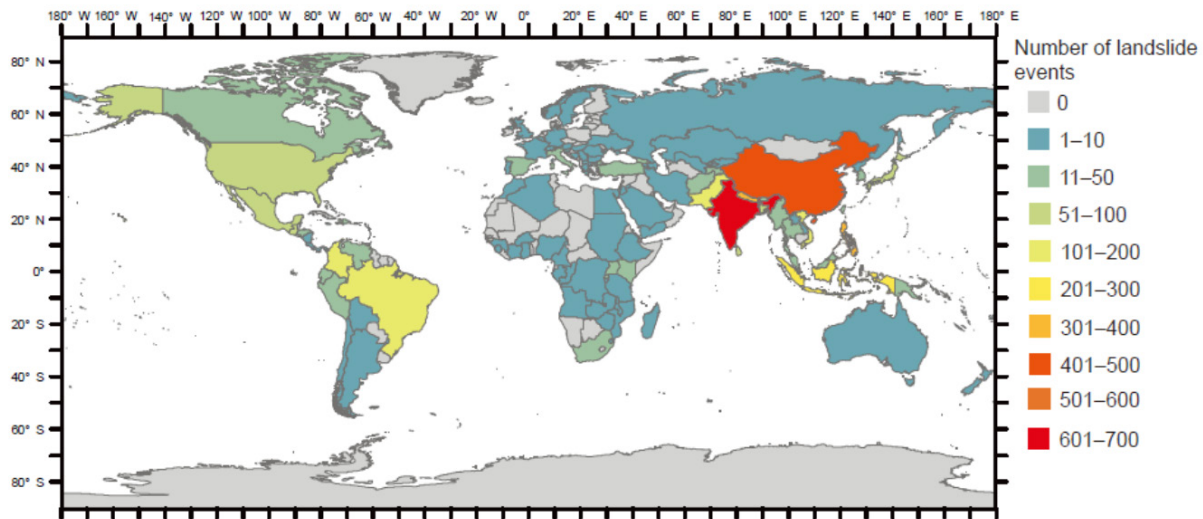


図 I03-2 死者の出た地震以外の原因での地すべりの国別発生件数 (2004-2016 年) ²⁾

占めていない。ただ、斜面崩壊・地すべりは、洪水・鉄砲水や地震、台風・熱帯低気圧が発生した際に、副次的に発生することがある。その場合、洪水・鉄砲水や地震、台風・熱帯低気圧の被害として一括計上されているケースが多く、実際の斜面崩壊・地すべりによる被害は、データの値よりも大きいと推定される（図 I03-1）¹⁾。

全世界で発生した斜面崩壊・地すべりの 6 割は中国、インド、インドネシア、ネパールなどのアジアで報告されている（図 I03-2）²⁾。アジアの面積が世界の陸地面積に占める割合は 3 割に満たないが、アジアの人口密度は高く、世界の約 6 割がアジアで生活をしている。またアジアには複数のプレート境界が存在しており、様々な海溝や造山帯を形成する。さらに、夏季にはインド洋及び太平洋から発生する大量の水蒸気が大量の降雨をもたらす。こうした要因によって、他の地域と比べ、アジアは火山や地震、洪水、台風や熱帯低気圧による災害が多く発生する。

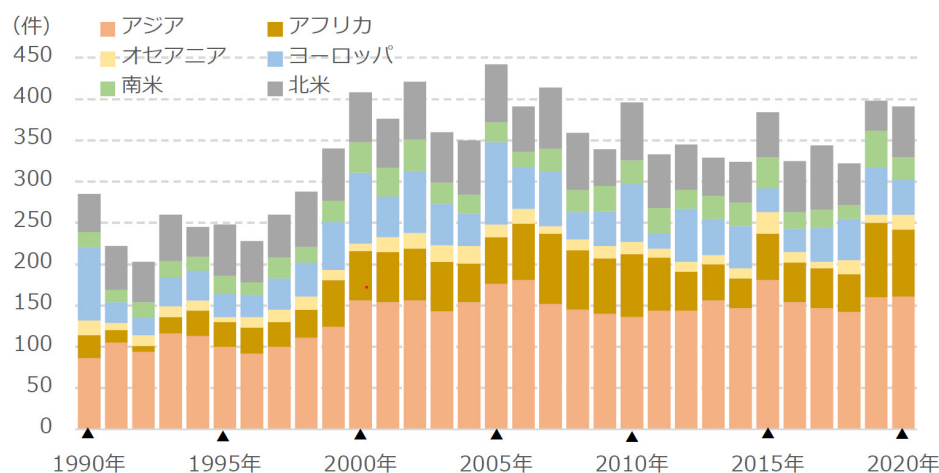
過去 30 年で災害の発生が最も多く報告されている地域はアジアである（図 I03-3）¹⁾。2010 年から 2020 年で発生した災害では、被災者数が多いのはアジア、アフリカ、北米の順となるが、経済被害額が大きいのは、アジア、北米、ヨーロッパの順となる。経済被害額の数値について、先進国で発生した自然災害では、災害保険制度等によって多くの情報が収集されること、また被害を受けた家屋等の平均的な値段が開発途上国と比較して高い傾向があることから、被害額が大きくなる。一方、開発途上国の自然災害は、災害保険制度が未発達で、情報を適切に把握することが困難なこと、復興時のインフラ投資や 1 軒当たりの平均的な家屋の値段が先進国と比べて安いことから、被害額が小さく計上される傾向

INFO

1) EM-DAT
<https://www.emdat.be/>

INFO

2) Melanie J. Froude and David N. Petley (2018) Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 18, 2161–2181

図 I03-3 地域別の災害発生報告数 ¹⁾より作成

がある。

開発によるリスクの増大

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。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。

このような地域においては、適切な土地利用計画や土地利用制限、住民の防災・環境意識が必要である。特に災害が起こりやすいモンスーンアジア地域では、適切な土地利用の制限は局所的・短期的には経済活動を制限する側面もあるが、長期的な国家的視点で見れば、住民の安全につながることは疑いようがない。わが国でも、災害リスクの高い場所での宅地開発が災害につながっていると指摘される事例はきわめて多い。

が、防災・減災対策の策定がこれから本格化する開発途上国にあって、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。

気候変動に伴うリスク

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第6次評価報告書では、人為起源の気候変動は自然起源の気候変動を超えて幅広い悪影響とそれに関連する損失と損害を自然及び人間に及ぼしていることが指摘されている³⁾。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の社会経済シナリオ（SSP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より強く、また頻繁になると指摘されており、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。

INFO

3) IPCC (2022) Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability - Summary for Policymakers

森林が防災・減災に果たす役割とリスク

この上の Recipe は

Recipe - I02 森林を活用した
防災・減災の考え方

山地災害は、地質、地形、傾斜、土壌、植生といった素因と、降雨や地震といった誘因とが組み合わさって発生する。森林の土砂災害防止機能は、主に樹木の枝や落ち葉が地面を覆い雨水による土壌の侵食・流出を防ぐ機能と、樹木の根が土砂や岩石を固定することで土砂の崩壊を防ぐ機能の2種類がある。表層崩壊を防止する樹木の根系の機能は、水平方向に伸びる根がネット状に広がり土砂の動きを抑える機能と、樹木の下に垂直方向に伸びる根が杭のように樹木を固定し、崩壊が発生しそうになったときに抵抗力となって土砂の動きを抑制する機能がある。また、海岸林は防災の機能を発揮することによって沿岸域に住む人々の生命や財産を守り、生活を豊かにする役割を担っている。

山地災害に対する森林の機能

山地における土砂災害（山地災害）は、地質、地形、傾斜、土壌、植生といった素因が影響している。このうち人間が主体的に関与できるのは植生であり、特に山地においては森林を健全な状態に保つことによって、山地災害の素因を低減することができる。ただし、素因があるだけで山地災害が発生するわけではなく、山地災害発生の引き金となる降雨や地震といった誘因と組み合わさって山地災害が発生する¹⁾。特に、近年は気候変動の影響による台風や熱帯低気圧の巨大化、線状降水帯の発生などによって、強い雨が長時間降り続くことにより、山地災害が引き起こされる。

INFO

1) 林野庁森林整備部治山課
(2023) 森林が持つ表層崩壊
防止機能を高めるための森林
施業の計画に関するガイドラ
イン（案）

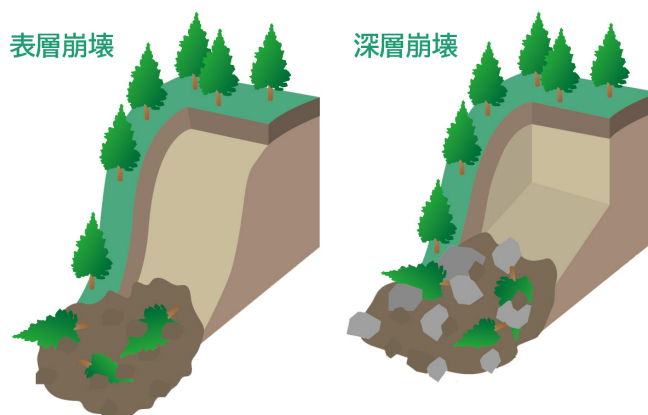


図 I04-1 斜面崩壊の種類²⁾

台風や低気圧による豪雨、地震、融雪、噴火、地形改変などにより山の斜面が崩壊することを斜面崩壊という。斜面崩壊は発生の仕組みや土砂の動き方などにより何種類かに分類されるが、その中でも森林と関係するのが崩壊の深さである。斜面崩壊は、崩壊の深さや規模に応じて「表層崩壊」「深層崩壊」の2つに分類される（図 I04-1）。森林はこれらの崩壊のうち、「表層崩壊」を防止する機能がある。根が届かない深い場所で崩れる深層崩壊を防ぐことはできない^{1), 2)}。

山地で発生する表層崩壊と森林との関係については、森林が存在することで崩壊箇所数や発生頻度が減少することが、研究者らの調査によって統計的に示されている。一方で、具体的に森林がどのようにして表層崩壊の発生を減少させるのか、そして特に森林整備の質によってその減少幅はどう影響を受けるのかといった視点からの研究事例は少なく、森林が持つ崩壊防止機能を高めるための森林整備手法は確立されているとはいえない。

森林の表層崩壊防止機能は主にその根系が発揮すると認識されている。本数調整伐等の森林整備が樹木根系に及ぼす影響については、伐採された樹木の根の腐朽や本数調整伐による開空度向上に伴う残存木の根系成長量の増加といった一定の研究成果が蓄積され、その定量評価方法も確立されてきているが、研究は発展途上であり、まだ不明なことも多い。

表層崩壊を防止する樹木の根系の効果は、主に地表に沿って水平方向に伸びる根がネット状に広がり、隣り合う樹木の根同士が互いに絡み合

INFO

2) 林野庁森林整備部治山課
(2023) 森林の根系が持つ表層崩壊防止機能

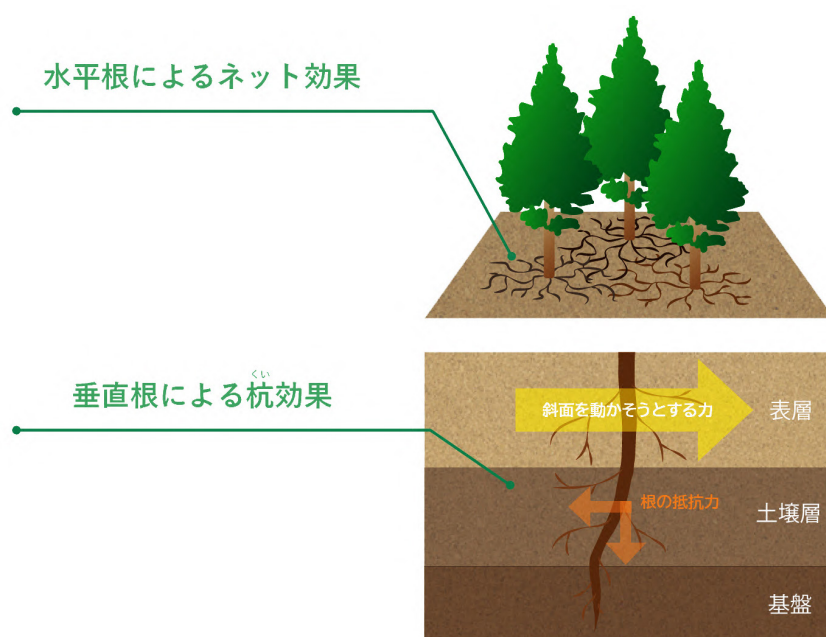


図 I04-2 表層崩壊を防止する樹木の根系の効果²⁾

うことで土砂の動きを抑える機能（水平根によるネット効果）と、樹木の下に垂直方向に伸びる根が深い部分の堅い岩盤の隙間に繋がることで、杭のように樹木を固定し、崩壊が発生しそうになったときに抵抗力となって土砂の動きを抑制する機能（垂直根による杭効果）があげられる（図 I04-2）²⁾。

森林の土砂災害防止機能の限界

森林が崩壊防止機能を持つことは明らかであるが、その機能には限界もある。森林がある山でも崩壊が起きているように、全ての表層崩壊を防止することはできない。一定規模以上の豪雨の場合、森林があっても崩壊を抑えることができない場合があることが分かっている。

森林の崩壊防止機能を考える際に気を付けなければならない点が、森林を伐採すると崩壊防止機能が一時的に低下するという点である。また、皆伐と間伐を比べると伐採強度が異なることから根量の低下度合いが変わり、崩壊防止機能の低下度合いとその期間も変わってくる。伐採された樹木の根系は数年で腐朽するため、ネット効果や杭効果は徐々に失われ、崩壊防止機能が低下していくことから、伐採後に新しい樹木を植えたとしても、大きくなるまでの10年～20年くらいまでは崩壊防止機能が低い状態になるといわれている（図 I04-3）²⁾。

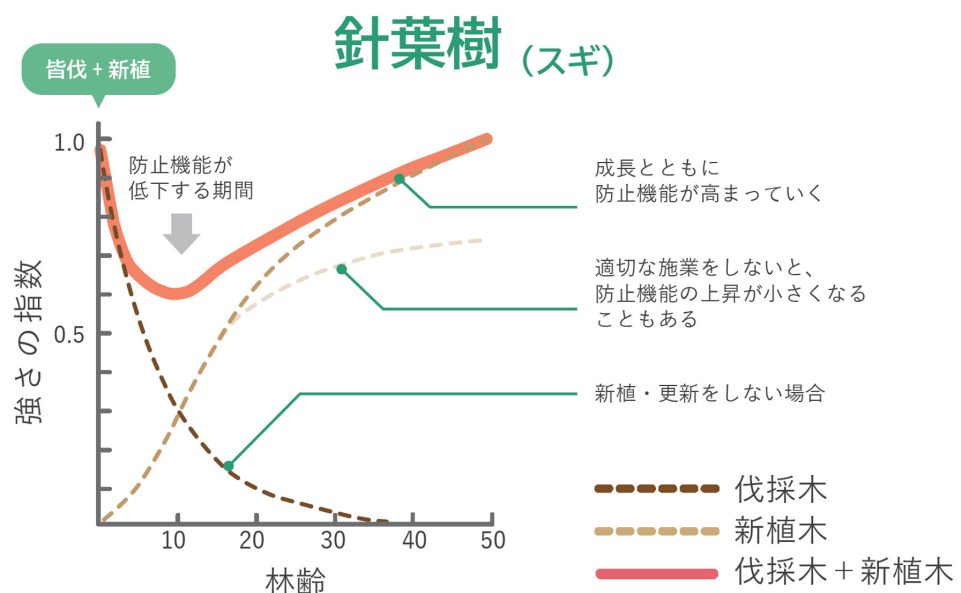


図 I04-3 林齢と森林の崩壊防止機能との関係²⁾

海岸林の役割と限界

近年、気候変動の進行に伴い、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、沿岸域での高潮や高波の被害が深刻化している。沿岸域でのマングローブを含む海岸林は、海洋からの波の力を緩和するだけでなく、その根系が護岸の役割を果たしている。しかし、経済成長に伴う養殖池や農地の開発により森林が伐採され、海岸侵食が進行している。これにより高潮や高波に対する護岸機能が失われ、高潮、高波が発生した時に、より内陸部へと被害が拡大する結果を招いている。海岸林は防災の機能を発揮することによって沿岸域に住む人々の生命や財産を守り、生活を豊かにする役割を担っている³⁾。

海岸域での代表的な災害である潮害とは、潮風、高潮、津波による被害のことを指す。海岸から濃い塩分を含んだ潮風が内陸深くまで吹き込むと農作物などの植物、建物、自動車やインフラなどに大きな被害を与える。また、台風や発達した低気圧などに伴い海面が異常に上昇する高潮と、海底下で大きな地震が発生した際に海面が変動し発生する津波は、内陸部に海水が入り込むことで住宅や耕地への浸水、人が波にさらわれるなどの被害にいたる場合がある。

海岸林の防災機能を抜本的に高めるためには、林帯幅を広げる必要がある。林帯幅を広げるほど、より規模の大きな高潮や高波、津波に対して渦粘性による波力減殺効果を期待できる。このことで内陸側の樹木に対する波力も減殺されるので生残木が多くなり、林帯としての耐性を高め、漂流物捕捉効果も高めることができる。

INFO

3) 林野庁森林整備部治山課
(2023) 災害に強い海岸防災
林をめざして

2

第2章 防災・減災に向けた 国際動向



気候変動への適応という観点から、国際的な場面で防災・減災に向けた議論と取組が活発化している。IPCC では評価報告書を通じて気候変動によるリスクと適応策に言及しており、主に緩和策について話し合われてきた UNFCCC の COP においても、気候変動リスクの回避に向けた議論が始まっている。

本章では、IPCC や国連関連の会議における気候変動適応に関する議論を紹介する。また、気候変動適応に向けた ODA による二国間援助や日本をはじめとする多くの国からの拠出による国際援助の枠組みと世界銀行やアジア開発銀行などの国際機関の防災・減災案件の現状と課題について整理する。

Recipe - I05 IPCC での議論

Recipe - I06 国連における議論

Recipe - I07 国際援助の枠組み

Recipe - I08 国際機関案件の現状と課題

IPCC での議論

IPCC 第6次評価報告書では、人間活動が大気・海洋及び陸域を温暖化させてきたことは「疑う余地がない」と結論付けており、陸域において1950年代以降に大雨の頻度と強度が増加したことや、強い台風の発生割合が過去40年間で増加したこと、陸域の氷の減少と海洋温暖化による熱膨張が世界平均海面水位の上昇をもたらしたことを示している。また、今世紀末には年平均降水量が増加することや世界平均海面水位が上昇するとも予測している。このような海面水位上昇は、沿岸域の居住地やインフラに損害をもたらす、高潮と大雨が組み合わさり、複合的な洪水リスクを増大させる。

IPCC とは

気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change：IPCC）は、世界気象機関（WMO）及び国連環境計画（UNEP）により1988年に設立された政府間組織で、2022年3月現在、195の国と地域が参加している。IPCCには、3つの作業部会（WG）と1つのインベントリータスクフォース（TFI）が設置されている。それぞれの役割は、以下の通りである。

WG1：気候システム及び気候変動の自然科学的根拠についての評価

WG2：気候変動に対する社会経済及び自然システムの脆弱性、気候変動がもたらす好影響・悪影響、並びに気候変動への適応のオプションについての評価

WG3：温室効果ガスの排出削減など気候変動の緩和のオプションについての評価

TFI：温室効果ガスの国別排出目録作成手法の策定、普及及び改定

IPCCの目的は、気候変化に関する科学的な判断基準を提供することである。世界中の科学者の協力の下、出版された文献に基づいて定期的に評価報告書を作成し、気候変動に関する最新の科学的知見の評価を提供している。気候変動に関連する重要なテーマについては、特別報告書を作成している。自然災害と適応に関連する特別報告書としては、「気候変動への適応推進に向けた極端現象及び災害のリスク管理に関する特

別報告書」、「海洋・雪氷圏特別報告書」などがある。ここでは、これらの報告書を公表された順に紹介する。

極端現象及び災害のリスク管理に関する特別報告書

ノルウェー並びに国際防災戦略（ISDR）の提案を受け、IPCC では2012年に「気候変動への適応推進に向けた極端現象及び災害のリスク管理に関する特別報告書」¹⁾を作成している。この報告書は、気候変動と極端現象（極端な気象・気候現象）の関係及びこれらの現象の持続可能な開発への影響などに関する科学的文献を評価し、政策決定者等が気候変動に関連する災害リスク管理及び気候変動への適応施策に利用するために作成された。

報告書では、気象・気候に関連する災害による経済的な損失は、場所や年によって大きな変動がみられるものの、増加していることを指摘している。また、極端現象とその影響について、21世紀中に強い降雨の発生頻度あるいは総降水量に占める強い降雨の割合が世界の多くの地域で増加する可能性が高く、平均海面水位の上昇が将来の極端な沿岸の高潮の上昇傾向をもたらす可能性についても非常に高いと予測している。極端現象による災害のリスクへの対応としては、多様なハザードに対してリスク管理に取り組むことは複雑かつ複合的な危険を低減する機会を提供すること、地元の知識を付加的な科学的・技術的知識と統合させることで災害リスク低減と気候変動への適応が促進されること、モニタリング・研究・評価・学習・革新の反復プロセスは、災害リスクを低減させ、極端現象を背景とした適応管理を推進することができることなどを挙げている。

また報告書では、気候変動への適応推進に向けた極端現象及び災害のリスク管理の中核をなす概念を定義している。

極端現象：気象あるいは気候変量の観測された値の範囲の上端（または下端）付近の閾値を上回る（または下回る）気象あるいは気候変量の値が発生すること。単純化のため、極端な気象現象及び極端な気候現象の両方を指して「極端現象」と総称する。

曝露：人、その暮らし、環境サービス及び環境資源、インフラ、及び経済的、社会的、文化的資産が悪影響を受ける可能性のある場所に存在すること。

脆弱性：悪影響を受ける性向、あるいは素因。

災害：危険な自然現象が脆弱な社会状態と相互作用することによって、共同体あるいは社会の正常な機能の重大な変化を引き起こし、人間、物

INFO

1) IPCC (2012) Summary for Policymakers. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., et al. (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 3-21.

質、経済、あるいは環境への広範囲にわたる悪影響につながる。人間にとっての必須のニーズを満たすため即時の緊急対応が求められ、また復旧のための外部支援も求められる。

災害リスク：人間にとって必須のニーズに応えるための即時の緊急対応や、復旧のための外部支援が求められるような、人間、物質、経済、あるいは環境への広範囲にわたる悪影響につながる、脆弱な社会条件と相互作用して起こる、危険な自然現象によるコミュニティあるいは社会の正常な機能の重大な変化が一定の期間に起こりうる可能性。

災害リスクマネジメント：人間の安全保障、福祉、生活の質、回復力、及び持続可能な発展を増進するという明確な目的を持って、災害リスクについての理解の向上、災害リスクの低減と移転の促進、及び災害への準備、対処、回復の実践における継続的改善の推進のための戦略、政策、手法を計画し実行するプロセス。

適応：人間システムにおいて、被害を緩やかにする、あるいは有益な機会を生かすために、現実のあるいは予測される気候及びその影響に対して調節を行うプロセスのこと。自然システムにおいては、現実の気候及びその影響に対する調節のプロセスのことで、人間の介入により予測される気候への調節を促進させると考えられる。

回復力：本質的な基本構造及び機能の維持、修復、向上を確保することも含め、タイムリーで効率的な方法で、危険な現象の影響について予測、緩和、順応、あるいは回復するシステム及びその構成要素の能力。

転換：システム（技術的あるいは生物学的システムなど）の根本的属性の変容。

海洋・雪氷圏特別報告書

IPCC は、2016 年 4 月にケニアのナイロビで開催された第 43 回総会において、「変化する気候下での海洋・雪氷圏に関する IPCC 特別報告書」（通称「海洋・雪氷圏特別報告書」）²⁾ を作成することを決定し、2019 年 9 月にモナコで開催された第 51 回総会で報告書が承認・受諾された。本報告書は、海洋・雪氷圏における地球温暖化に対する国際的な取組みに必要な科学的根拠を提供する重要な資料である。

沿岸域のコミュニティは、熱帯低気圧、極端な海面水位の上昇及び浸水（洪水）、海洋、波、海氷の減少及び永久凍土の融解を含む複数の気候に関連するハザードに曝露されていることが指摘されている。また、海面水位上昇に伴う沿岸域のハザードは、熱帯低気圧の強度及び降水量の増加によって悪化することが予測され、海面水位上昇への対応策が求められる（図 I05-1）。

INFO

2) IPCC (2019) : IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [Pörtner H. -O., et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 755 pp.

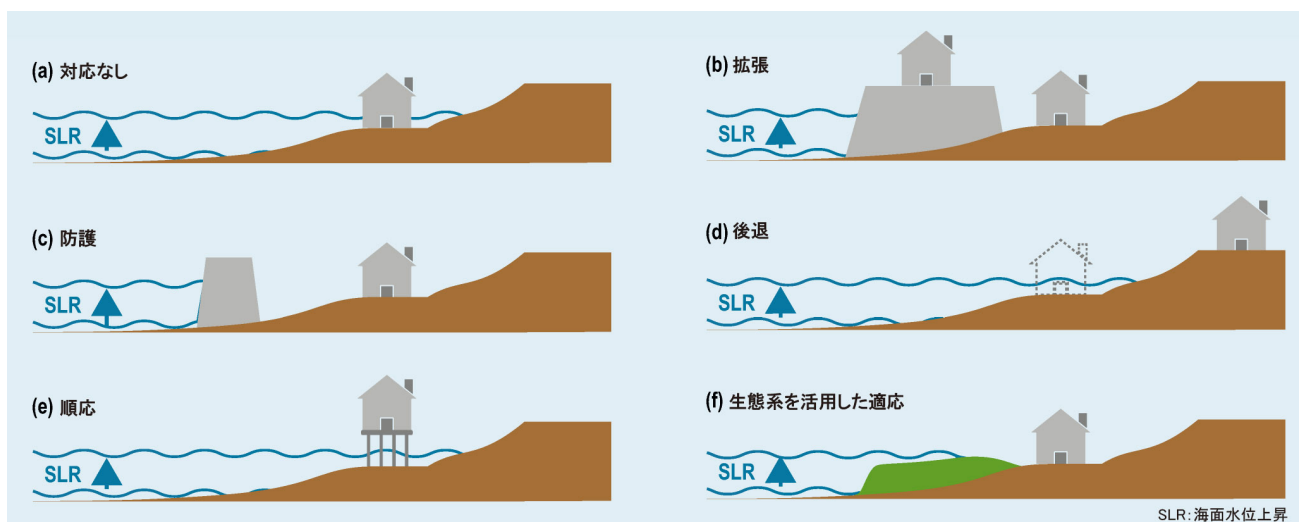


図 I05-1 沿岸域のリスクと海面水位上昇への対応策を示す概念図²⁾

IPCC 第 6 次評価報告書

IPCC の第 6 次評価報告書はそれぞれ作業部会で執筆され、第 I 作業部会では「自然科学的根拠」³⁾、第 II 作業部会では「影響・適応・脆弱性」⁴⁾、第 III 作業部会では「気候変動の緩和」⁵⁾について報告書を作成した。

報告書では、人間活動が大气・海洋及び陸域を温暖化させてきたことは「疑う余地がない」と結論付けており、これは第 5 次評価報告書で指摘された「極めて高い (95%以上)」より確信度を上げた表現となっている。さらに報告書では、陸域において 1950 年代以降に大雨の頻度と強度が増加したことや、強い台風 (強い熱帯低気圧) の発生割合が過去 40 年間で増加したことを観測事実として示している。そして、気候システムの蓄熱が、陸域の氷の減少と海洋温暖化による熱膨張により、世界平均海面水位の上昇をもたらしたことを指摘している。

将来については、今世紀末 (2081 ~ 2100 年) の年平均降水量が 1995 ~ 2014 年と比べて最大で 13% 増加すると予測している。特に、モンスーンに伴う降水量は、中長期的に地球規模で、特に南アジア、東南アジア、東アジア、及び西アフリカにおいて増加すると予測されている。また、2100 年までの世界平均海面水位が 1995 ~ 2014 年と比べて 0.28 ~ 1.01m 上昇するとも予測している。そして、このような継続的かつ加速度的な海面水位上昇は、沿岸域の居住地やインフラに損害をもたらし、高潮と大雨が組み合わさり、複合的な洪水リスクを増大させることを指摘している。

INFO

3) IPCC (2021) Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., et al. (eds.)]. Cambridge University Press 2391 pp.

INFO

4) IPCC (2022) Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Pörtner H.-O., et al. (eds.)]. Cambridge University Press. 3056 pp.

INFO

5) IPCC (2022) Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Shukla P. R., et al. (eds.)]. Cambridge University Press.

国連における議論

2015年に国連では、気候変動適応に関連する会議として、第3回国連防災世界会議、持続可能な開発サミット、UNFCCCのCOP21が開催された。これらの会議では、現在の気候変動対策に大きな影響を及ぼしている「仙台防災枠組 2015-2030」、「持続可能な開発目標(SDGs)」、「パリ協定」が採択されている。「仙台防災枠組」では、「事前防災」の考え方が提唱されている。また、SDGsでは、「すべての国々において、気候関連災害や自然災害に対する強靱性(レジリエンス)及び適応力を強化する」というターゲットが設定された。「パリ協定」では、第7条で気候変動に対する強靱性の強化及び脆弱性の減少という適応に関する世界全体の目標を定めた。

気候変動適応に関連する3つの国際枠組み

気候変動が顕在化する中、国連による国際的な枠組みにおいて、2015年は気候変動対策の大きな起点となる年となった。

まず、2015年3月に仙台において、第3回国連防災世界会議が開催された。同会議は、国際的な防災戦略について議論する国連主催の会議で、第1回(横浜、1994年)、第2回(神戸、2005年)の会議とも日本で開催されている。本会議の仙台での開催を決定したのは2013年で、東日本大震災から2年後のことである。本会議で採択された2030年までの国際的な防災の取り組み指針「仙台防災枠組 2015-2030」¹⁾では、2015年から2030年までの15年間で人命をはじめ、国の経済的・社会的資産に対する災害損失の大幅な削減を目指している。このため、災害の潜在的なリスク要因に事前に対処する「事前防災」の考え方が提唱されている。防災・減災のためには、様々な角度からの最新の科学的データに基づいた意思決定が求められることになる。事前防災のためには災害発生リスクを予測することも重要となり、予測のための様々な空間情報が必要となる。気候変動による災害リスクは年々高まってきており、気候変動に対して持続可能な社会を維持していくためのシステムの構築が急がれている。

それから半年後の2015年9月には、ニューヨークの国連本部で持続可能な開発サミットが開催された。この会議において「持続可能な開発のための2030アジェンダ」²⁾が採択された。世界は今、貧困の問題、

INFO

1) 仙台防災枠組 2015-2030
(仮訳)
<https://www.mofa.go.jp/mofaj/files/000081166.pdf>

INFO

2) 持続可能な開発のための
2030アジェンダ(仮訳)
<https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/pdf/000101402.pdf>

男女格差や教育格差の問題、資源の問題、環境問題など様々な問題を抱えている。このような問題に対して誰一人取り残さない持続可能な社会を実現するため、現在我々の日常にも浸透してきている「持続可能な開発目標 (SDGs)」が掲げられた。SDGs は、社会・経済・環境に関する問題を解決するための 17 の目標とそれを達成するための 169 のターゲットが設定されている。気候変動については、目標 13 に「気候変動及びその影響を軽減するための緊急対策を講じる」ことが目標とされている。この目標の中では、「すべての国々において、気候関連災害や自然災害に対する強靱性 (レジリエンス) 及び適応力を強化する」というターゲットが設定された。

そして 2015 年 12 月、UNFCCC の COP21 がパリで開催された。COP21 では、2020 年以降の気候変動問題に関する新たな実施協定であるパリ協定³⁾が採択された。パリ協定の発効には 55 カ国以上の批准と、それらの国々の温室効果ガスの排出量の合計が世界の排出量の 55% 以上になることが必要であったが、採択翌年の 2016 年 10 月 5 日に異例の速さでこの条件を満たし、翌 11 月に発効した。パリ協定では、適応に関する能力の向上並びに気候変動に対する強靱性の強化及び脆弱性の減少からなる適応に関する世界全体の目標 (Global Goal on Adaptation, GGA) を定め、持続可能な開発に貢献するとされている。

INFO

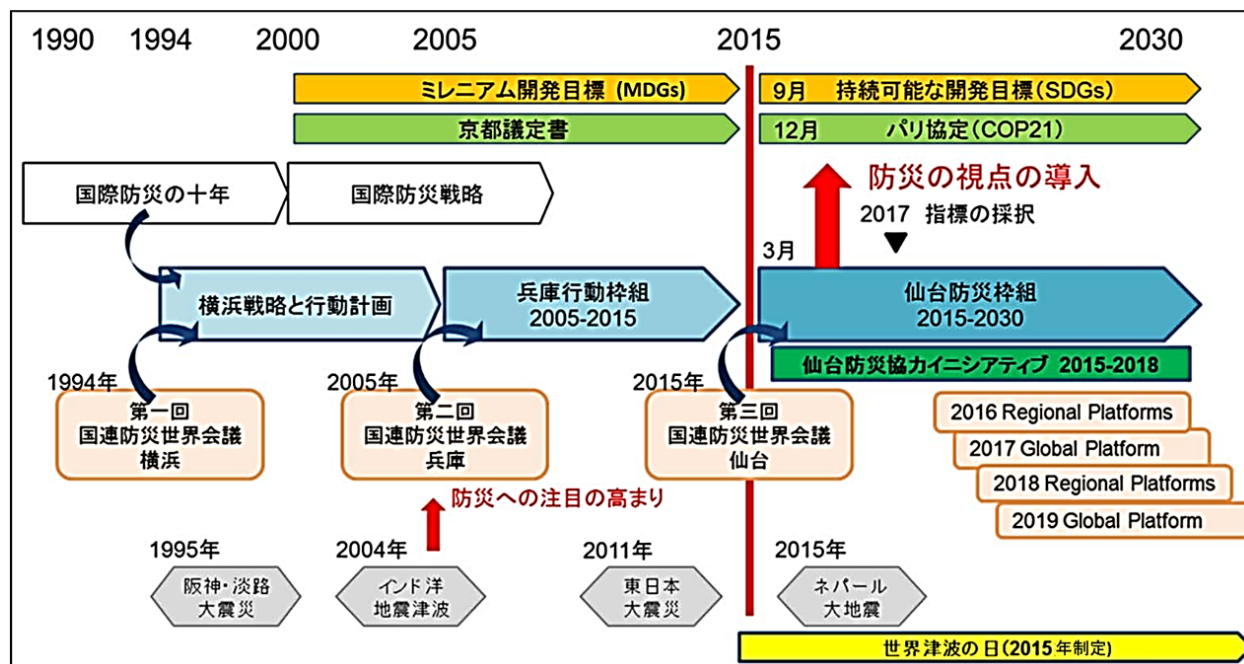
3) パリ協定 (和文)
<https://www.mofa.go.jp/mofaj/files/000197312.pdf>

国連防災世界会議

「自然を基盤とした解決策 (NbS)」に基づく具体的な防災・減災への取り組みは、横浜 (1994 年)、神戸 (2005 年)、仙台 (2015 年) で開催された 3 つの「国連防災世界会議」での議論に基づいて進められてきた。「横浜戦略と行動計画 (1994 ~ 2005)」及び「兵庫行動枠組 (2005 ~ 2015)」を引き継ぐものとして「仙台防災枠組 (2015 ~ 2030)」が仙台会議で採択され、その中では、1) 災害リスクの理解、2) 災害リスク管理のための災害リスクガバナンス、3) 強靱化に向けた防災への投資、4) 効果的な応急対応に向けた準備の強化と「より良い復興 (Build Back Better)」が優先行動指針とされた。横浜会議の後、1999 年に設置された「国連国際防災戦略事務局 (UNISDR)」は 2019 年に「国連防災機関 (UNDRR)」へと改称され、現在はその UNDRR が中心となり仙台防災枠組に沿った国際的な防災・減災の議論を進めている。また、近年の防災・減災の国際動向で注目すべき点は、気候変動—生物多様性—持続可能な開発—災害リスク軽減、等が相互に関連しているとの認識が拡がりつつあることである (図 I06-1)⁴⁾。特に 2000 年代半ば以降、その傾向は強まっていると見受けられ、より統合的な概念やアプローチを採用することが多く

INFO

4) 首相官邸「海外展開戦略 (防災)」
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keikyou/dai40/bousai_honbun.pdf

図 I06-1 国連防災世界会議での議論の流れ⁴⁾

なっている。

仙台防災枠組では、災害リスク削減は将来の損失を防ぐ上で費用対効果の高い投資であり、人、コミュニティ、国家、その暮らし、健康、文化遺産、社会経済的資産、そして生態系をより効果的に守るために、災害リスクを予測し、そのために計画を立て、そして削減すること、それによってそれぞれの強靱性を高めることが緊急かつ重要であることを指摘している。また、貧困及び不平等、気候変動、無計画で急速な都市化、不十分な土地管理、人口変動、脆弱な組織体制、リスク情報の欠如した政策などを潜在的リスクとして挙げており、このような災害リスクを削減するためには、災害リスクのモニタリング・評価・理解、それらの情報及び災害リスクがどのように生じるかに関する情報の共有、災害リスクガバナンス並びに関連する機関及びセクターにわたる調整の強化、関連ステークホルダーの適切なレベルでの参加などが必要であるとしている。また、リスクマップを含む位置情報ごとの災害リスク情報を作成し、定期的に更新し、そして政策決定者、一般市民、災害リスクに直面している地域コミュニティに対し、利用できる場合には、地理空間情報技術を使用して適切な形式で適宜普及することが、災害リスクへの理解を深めるのに役立つとしている。その際、地理情報システム (GIS) などの空間・現状に関する情報を活用し、また、情報通信技術の技術革新を利用することで、データの評価測定ツール、収集、解析、提供を向上させることができる。

UNFCCC での議論

UNFCCC は、主として大気中の温室効果ガス濃度を安定化させることを通じて人類による気候システムへの危険な干渉を防止することを目的に、1992 年に採択された国際条約である。2015 年にフランスのパリで開催された COP21 では、世界平均気温の上昇を産業革命前より 2℃を下回る水準に抑え、可能ならば 1.5℃以下に抑える努力を追求することを目標とした新たな実施協定（パリ協定）が採択された。現在各国は、この協定の下で気候変動対策を推し進めている。

パリ協定の第 7 条において、締約国は気候変動への適応に関する能力の向上並びに気候変動に対する強靱性の強化及び脆弱性の減少という適応に関する世界全体の目標（Global Goal on Adaptation, GGA）を定めることとしている。これを受けて 2021 年に英国のグラスゴーで開催された COP26 では、GGA の達成に向けて、GGA に関するグラスゴー・シャルムエルシェイク作業計画が策定された（図 I06-2）。この会議で日本は 2025 年までの 5 年間で適応分野での援助を倍増し、官民合わせて約 148 億ドルの適応援助を含めた支援を行うことを表明している。グラスゴー・シャルムエルシェイク作業計画は、2 年間の作業を行い、その成果として GGA の達成とその進捗評価に向けた「グローバルな気候レジリエンスのための UAE 枠組（Framework for Global Climate Resilience）」を採択した。この枠組みでは、7 つのテーマ別目標を設定している。その中で、水関連災害に対する気候レジリエンスの強化や気候変動の影響に対するインフラと人間の居住地のレジリエンスといった目標において、森林の機能を活用した防災・減災を図れる可能性がある。

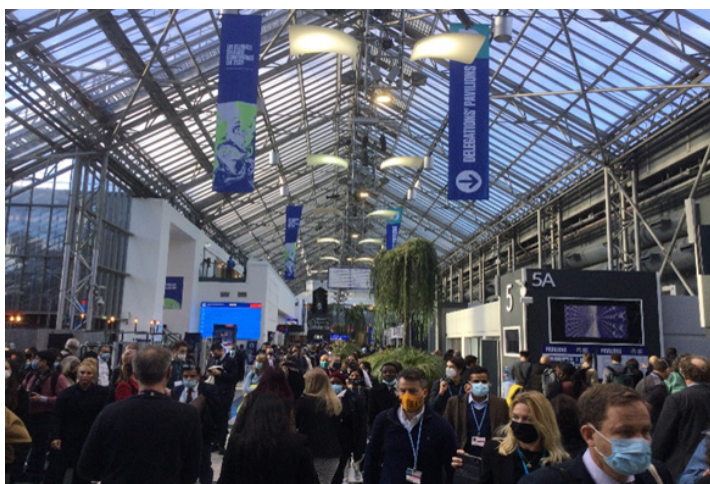


図 I06-2 COVID-19 のため会期を 1 年遅らせて開催された英国グラスゴーでの COP26 の様子

国際援助の枠組み

日本の政府開発援助としては、開発途上地域を直接支援する二国間援助と、国際機関等に対して拠出・出資する多国間援助がある。二国間援助の枠組みにおいて、民間企業が森林を活用した防災・減災に関連する事業に活用可能な生徒資金として最もアクセスがよいものの一つとして、JICAの「中小企業・SDGs ビジネス支援事業」が挙げられる。また、多国間援助の枠組みは多重構造を呈しており、民間企業が森林を活用した防災・減災に関連する事業に活用可能な制度・資金を多国間援助に求める場合、日本が出資する基金に直接アクセスするのではなく、各基金がパートナー関係を結ぶ実施機関が行うプロジェクトや資金制度へアクセスすることになる。

日本の政府開発援助

政府開発援助（Official Development Assistance: ODA）とは、開発途上地域の開発を主たる目的とする政府及び政府関係機関による国際協力活動のための公的資金とその資金による活動である。ODAは贈与と政府貸付等に分けることができ、また、開発途上地域を直接援助する二国間援助と、国際機関等に対して拠出・出資する多国間援助がある。

二国間援助における贈与は開発途上地域に対して無償で提供される協力のことで、日本が実施しているスキームとしては、返済義務を課さず、開発途上地域に社会・経済の開発のために必要な資金を贈与する無償資金協力と、日本の知識・技術・経験を活かし、開発途上地域の社会・経済の開発の担い手となる人材の育成を行う技術協力がある。なお、国際機関に対する拠出・出資のうち、対象国・事業を指定した拠出は、統計上、二国間援助の実績に含まれる。

また、日本が実施する二国間援助の政府貸付等（有償資金協力）には、低金利かつ返済期間の長い緩やかな貸付条件で開発途上地域に必要な資金を貸し付ける円借款と、開発途上地域での事業実施を担う民間セクターの法人等に対して融資・出資を行う海外投融資がある。

多国間援助には、世界銀行などの国際開発金融機関、国連開発計画（UNDP）や国連児童基金（UNICEF）などの国連機関等への拠出・出資などがある。

二国間援助枠組みの動向

開発途上国への日本の直接的な援助（二国間援助）の枠組みにおいて、民間企業が森林を活用した防災・減災に関連する事業に活用可能な制度・資金として最もアクセスが良いものの一つとして、JICAの「中小企業・SDGs ビジネス支援事業」¹⁾が挙げられる（図 I07-1）。この事業は開発途上国の課題解決に貢献する日本の民間企業等のビジネスづくりを支援することを目的としており、企業のニーズに対して JICA が政府開発援助（ODA）を通じて築いてきた開発途上国政府とのネットワークや信頼関係、ノウハウ等を活用し、価値の共創に取り組む事業である。支援メニューは企業規模及びビジネスの段階に応じて、「ニーズ確認調査（上限 1,500 万円）」、「ビジネス化実証事業（上限 4,000 万円）」というスキームが用意されている。防災・減災分野での案件実績もある。

また、JICA の「草の根技術協力事業」²⁾も活用の可能性のある資金制度である。これは国際協力の意思のある日本の NGO/CSO（市民社会組織：Civil Society Organizations）、その他民間の団体、地方公共団体または大学が、開発途上国の住民を対象として、その地域の経済及び社会の開発または復興に協力することを目的として自己の利益に関わりなく行う国際協力活動である。団体が有する技術、知見、経験を生かして提案する活動を、JICA が提案団体に業務委託して JICA と団体との協力関係のもとに実施する共同事業である。草の根技術協力事業には、「草

INFO

1) JICA「中小企業・SDGs ビジネス支援事業」
https://www.jica.go.jp/activities/schemes/priv_partner/activities/sme/index.html

INFO

2) JICA「草の根技術協力事業」
<https://www.jica.go.jp/activities/schemes/partner/kusanone/index.html>

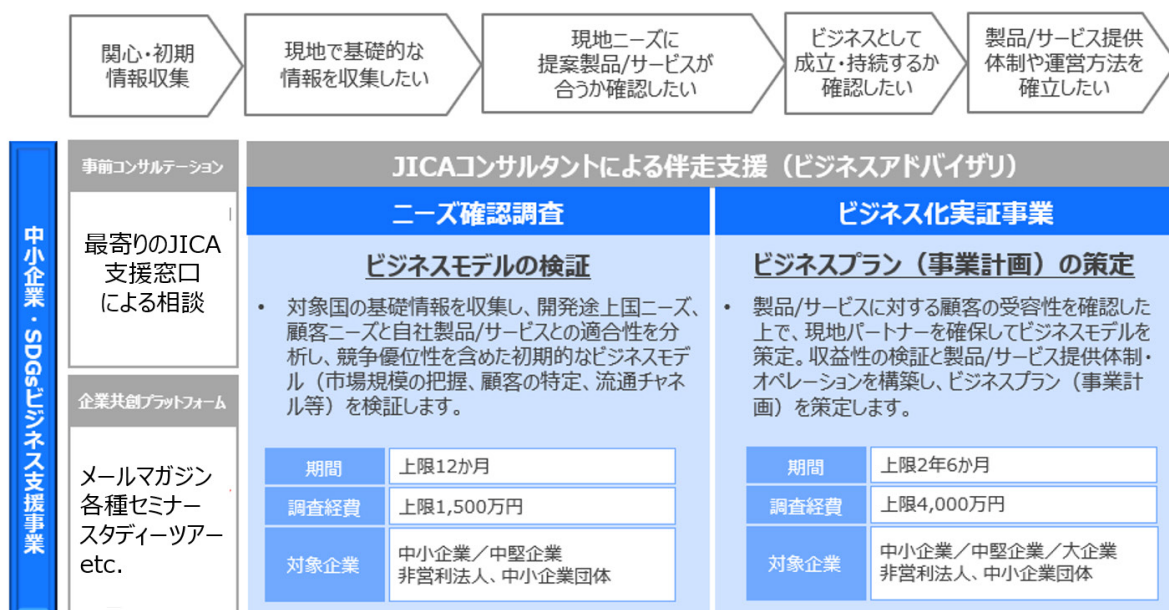


図 I07-1 「中小企業・SDGs ビジネス支援事業」の概要¹⁾

の根協力支援型」(3年以内、上限1,000万円)、「草の根パートナー型」(3年以内、上限1億円)、「地域活性型」(3年以内、上限6,000万円)の3つの事業型がある。草の根協力支援型は、開発途上国への支援実績が少ない NGO 等の団体を対象にしたもので、団体が事業実施を通じて開発途上国への国際協力の経験を積み、将来的に国際協力の担い手として活躍することが期待される。草の根パートナー型は、開発途上国における国際協力に豊富な実績を有している NGO 等の団体を対象にしたもので、団体がこれまでの経験や強みを活かし、開発途上国の課題解決により寄与する事業を展開することが期待される。地域活性型は、地方公共団体を対象としたもので、地方公共団体及び関連団体の知見・経験・技術等を活用した海外展開を促し、開発途上国の開発課題の解決とともに日本の地域や経済の活性化にも寄与することが期待される。

多国間援助枠組みの動向

開発途上国への日本の間接的な援助(多国間援助)の枠組は多重構造を呈している。民間企業が森林を活用した防災・減災に関連する事業に活用可能な制度・資金を多国間援助の資金に求める場合、日本が出資する基金に直接アクセスするのではなく、各基金(多くの場合、世界銀行が管理する信託基金)がパートナー関係を結ぶ実施機関が行うプロジェクトや資金制度へアクセスすることになる。各国が拠出する基金には、防災プロパーの「世界防災基金(Global Facility for Disaster Risk Recovery: GFDRR)」、環境プロパーで規模が大きい「地球環境ファシリティ(Global Environment Facility: GEF)」、気候変動プロパーの「緑の気候基金(Green Climate Fund: GCF)」、「適応基金(Adaptation Fund: AF)」などがある。実施機関には、アジア開発銀行(ADB)、国連食糧農業機関(FAO)、国連開発計画(UNDP)などの伝統的な途上国開発国際機関のほか、「気候技術センターネットワーク(Climate Technology Centre & Network: CTCN)」、「民間セクターファシリティー(Private Sector Facility: PSF)」といった比較的新しい資金スキーム機関も含まれる。

「気候技術センターネットワーク(CTCN)」は気候変動へ対応するための環境配慮型の技術(「適応」を含む)を開発途上国へ技術移転することを支援する機関であり、開発途上国からのリクエストに基づき、GHG 排出削減や気候変動に対する脆弱性への対処を目的として、ローカルな技術革新能力の強化、気候変動対策事業への投資増加を可能とする環境整備等を目指し、技術支援、能力開発支援、政策・法制度に関する

るアドバイス等を実施している（図 I07-2）³⁾。CTCN プロジェクト（技術支援（Technical Assistance: TA）プロジェクト）は、TA リクエストとして開発途上国の国別指定機関（NDE）から CTCN 事務局に提出され、CTCN のリクエスト専門家チームにより技術支援計画が策定される（図 I07-2）。支援スキームには、ファスト TA、通常 TA がある。

INFO

3) 気候技術センターネットワーク（Climate Technology Centre & Network : CTCN）
<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ctcn.html>

ファスト TA 案件：1.5 万米ドル以下の技術支援。基本的にコンソーシアム機関により実施される。実施期間は 2 か月未満。

通常 TA 案件：25 万米ドル以下の技術支援。国連の調達プロセスを通じて公募（国際入札）され、CTCN に登録されたネットワーク機関が入札に参加して、支援実施者を決定する。実施期間は 1 年程度。

「民間セクターファシリティー（PSF）」は、民間セクターが認証実施機関（Accredited Entity: AE）を通じて GCF 資金にアクセス可能な枠組みである。

こうした多国間援助の資金を活用できる実施機関が増えていることは、民間企業が多国間資金へアクセスする機会と可能性を高めているが、国際的な会計制度（方法や時期など）に精通することが求められるなど、民間企業が多国間援助資金を利用する際には一定の取引コスト（追加的な間接経費）がかかることを理解しておく必要があるとの指摘がある。

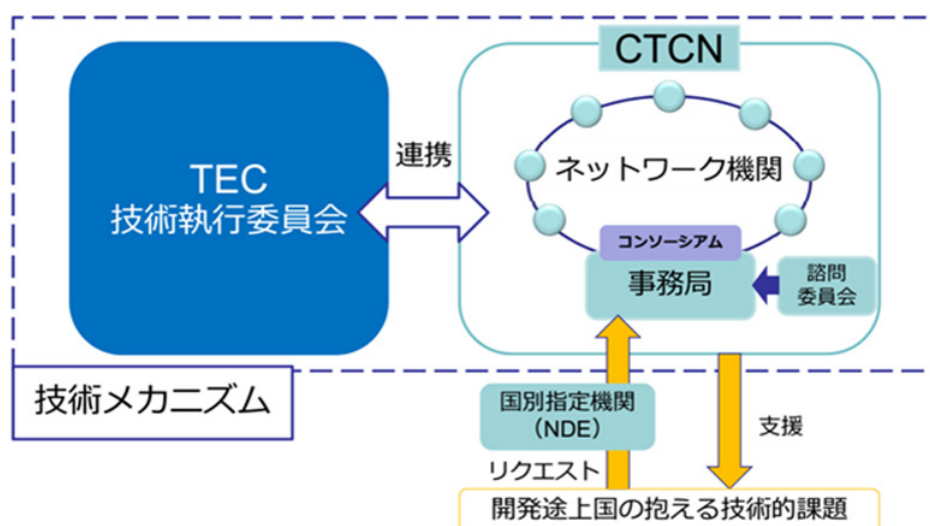


図 I07-2 気候技術センターネットワーク（Climate Technology Centre and Network: CTCN）の枠組み³⁾

国際機関案件の現状と課題

この Recipe の詳細は

森林の減災防災等の機能強化
に関する国際動向調査 企業
参画基礎調査レポート

2016 年から 2020 年にかけて、気候変動資金を持つ 8 機関（世界銀行、アジア開発銀行、緑の気候基金、地球環境ファシリティ、国連食糧農業機関、国連環境計画、国連開発計画、国連防災機関）に対して、日本は拠出額が開発援助委員会のメンバー内でいずれも上位 5 カ国に入っている。世界銀行の案件の場合、プロジェクト形成段階に民間企業等が関わるプロセスは存在しないが、民間企業とのコミュニケーションは様々な機会に存在している。アジア開発銀行は、世界銀行と同様に定期的に情報共有や協議を行う場を設けている。世界銀行を始め、GCF、GEF などが気候変動対策にかける予算規模は年々拡大しており、国際的な潮流にもマッチしている。

国際機関の資金動向

2016 年から 2020 年にかけて、気候変動資金を持つ 8 機関（世界銀行、アジア開発銀行、緑の気候基金、地球環境ファシリティ、国連食糧農業機関、国連環境計画、国連開発計画、国連防災機関）に対して、日本は拠出額が開発援助委員会（Development Assistance Committee：DAC）のメンバー内でいずれも上位 5 カ国に入っている。中でもアジア開発銀行、緑の気候基金、地球環境ファシリティでは、日本は拠出額で第 1 位を占めている。なお DAC は経済協力開発機構（OECD）傘下の委員

表 108-1 アジア開発銀行受注契約額ランキング（上位 10 カ国及び日本）¹⁾

機材、工事、その他		コンサルタント		総計	
国名	受注額 (百万ドル)	国名	受注額 (百万ドル)	国名	受注額 (百万ドル)
1 中国	3,294.9	1 インド	93.1	1 中国	3,329.5
2 インド	2,719.8	2 インドネシア	53.8	2 インド	2,812.9
3 バングラデシュ	1,108.4	3 日本	50.4	3 バングラデシュ	1,117.0
4 フィリピン	467.2	4 フランス	48.1	4 フィリピン	490.2
5 ベトナム	343.1	5 オーストラリア	35.1	5 ベトナム	355.1
6 パキスタン	297.7	6 中国	34.6	6 インドネシア	334.8
7 インドネシア	281.0	7 スペイン	34.2	7 パキスタン	311.4
8 スリランカ	231.7	8 韓国	28.5	8 スリランカ	241.1
9 モンゴル	159.9	9 シンガポール	18.3	9 モンゴル	169.8
10 ネパール	134.4	10 トルコ	16.6	10 ネパール	142.4
31 日本	7.7			21 日本	58.1
合計	9,961.4	合計	697	合計	10,658.4

会で、OECD 加盟国（38 カ国）からトルコ、メキシコ、チリ、イスラエル、ラトビア、コロンビア及びコスタリカを除く 31 カ国と欧州連合が加盟している。

これに対して日本企業の受注実績は、世界銀行において 21 位、アジア開発銀行では 21 位（いずれも 2021 年）であり、日本政府の拠出額の規模に比べて受注額の割合は少ない（表 I08-1）¹⁾。受注額は新興国（中国、インド）が圧倒的に多く、被援助国国内の受注額も伸びている。

多国間資金の下での森林を活用した防災・減災に係るプロジェクトの件数はわずかであり、その企画・実施は立ち遅れている。

INFO

1) Asian Development Bank (2022) 2021 Annual Procurement Report.

国際機関の案件動向と日本企業の参画

ここでは、国際機関として世界銀行及びアジア開発銀行を取り上げる。

世界銀行の案件の場合、案件実施方針やプロジェクトの発掘を行うのは相手国政府と世界銀行であるため、プロジェクト形成段階に民間企業等が関わるプロセスは存在しない。しかしながら、民間企業とのコミュニケーションは様々な機会に存在し、技術情報や案件関連情報が交換されていると考えられる。多くのコンサルタント、業者等は正式公示の前から情報収集し、事業参画のための調査、提案書の準備を実施している。

世界銀行業務における国別の受注契約において、中国とインド企業の受注額が圧倒的に大きく、新興国として活発な受注実績をあげている。特に、中国とインドは自国が借入国として事業発注する件数、契約額も上位であり、結果的に自国での受注事業が実績として蓄積される。そして、それらの経験を踏まえ、周辺国・地域等で国際機関等からの業務受注をさらに重ねていることが窺われる。

日本と世界銀行は、途上国の災害に対する強靱性を高めるための援助を目的として長期間、連携してパートナーシップを構築しており、2014 年からは日本—世界銀行防災共同プログラムを設立した。このプログラムの目標は、「途上国の開発投資の計画・実施における防災の主流化を支援する」、「日本及び世界の防災の経験・技術・知見を、途上国や世界銀行内における防災主流化の取組につなげる」の 2 点である。技術協力、能力強化、及び災害リスク管理分野における日本や世界の知見と優良事例を途上国や世界銀行のチームと共有することでプログラムの達成を目指している。

防災グローバルファシリティ（GFDRR）は、途上国における自然災害や気候変動への脆弱性の理解の向上、リスク軽減策の技術支援をするために世界銀行内に設けられているグローバルパートナーシップである。400 を超える都市、国家、地域、国際機関等と協力し、無償資金援

助、技術支援、研修、知見共有の機会を提供することによって、政策形成や実施における防災と気候変動リスク管理の主流化を促進している。GFDRRは11カ国から拠出を受け、国際機関、研究機関、大学、財団、リスク保険に携わる民間セクター等様々なパートナーと協働し、世界銀行によって運営されている。

GFDRRは自然を基盤とした解決策（Nature-based Solutions：NbS）を気候変動対策の重要なキーワードと捉えており、その利点は、洪水、異常気象、台風などの気候関連災害のリスクを減らすことによる気候変動への適応と考えている。山づくりを通じた森林等自然資源による防災・減災は、このNbSによる防災と思想を共有するものであり、気候変動適応と、さらに多くの場合、生物多様性、水の安全保障、気候変動の緩和にも同時に貢献する。

アジア開発銀行は、世界銀行と同様に定期的に民間企業と情報共有や協議を行う場を設けており、共通する課題認識やその対策などについても共有するため、基本的な方針や規則などは類似している。アジア開発銀行の全体での上位契約国は、いずれも借入国として自国で事業実施をしている国が主であり、事業実施国の国内企業による受注が多い。また、特筆すべきはインドと中国であり、それぞれ自国での受注案件の事業規模を超えた契約受注額となっている。これは世界銀行案件の状況と同様であり、インドと中国の民間企業が自国での事業の実績及び経験を基に周辺国や周辺地域での事業へも参入し受注していることが分かる。

外国企業として事業の受注をする民間企業の特徴は、事業実施国の企業や人材をうまく活用している。大規模工事などの場合、地元の公共事業などの実績を持つローカル企業とのパートナーシップが役立つ。ローカル人材の活用により人件費を低減して、より低価格で入札が可能となり、競争入札に有利となる。このように企業の母国ではなくローカルの人材を如何に上手く活用できるかが国際機関案件の受注に成功しているコンサルタント企業の潮流であり、例えば技術者チームの団長だけが先進国人材でそれ以外は国際人材や現地人材を活用してコストを下げるなどの工夫が案件受注への方策として求められている（表108-2）。

表108-2 将来的な国際機関案件受注のために取り組むべき方策

- ◆ JICA事業を通じた実績作り、現地企業、専門家とのネットワーク構築
- ◆ 国際機関受注促進のための組織体制の整備（人員、予算）
- ◆ 海外人材、経験者等の登用
- ◆ 現地化及び現地拠点の活用による案件情報の質、量の増大
- ◆ 現地パートナー企業との案件受注、JV構成員としての実績作り
- ◆ ローカル人材、フリーランス人材の登用による低コスト化

国際案件への日本企業の参画促進へ向けた方向性

山づくりを通じた森林等自然資源による防災・減災は、気候変動の適応と、さらに多くの場合、生物多様性の保全、土壌や水の保全、森林による炭素の吸収の維持・増加や排出の抑制に寄与し、気候変動の緩和にも同時に貢献する分野横断的な課題である。世界銀行を始め、GCF、GEFなどが気候変動対策にかける予算規模は年々拡大しており、国際的な潮流にもマッチしている。

さらに世界銀行では NbS を気候変動対策の重要なキーワードと捉えており、GFDRR と連携して NbS アプローチの展開を促進している。また、この NbS アプローチの中で防災に取り組むことは明記されており、まさに森林を活用した防災・減災、治山事業はこの枠組みに合致する。これらの国際的潮流に合わせた森林を活用した防災・減災、治山事業の重要性などの効果的なインプットを国際的な議論、二国間対話などの場で積極的に日本から発信することが望まれる。こうした国際潮流に乗り遅れないためにも、先進的な知識・技術を担うべき研究機関が山づくりを通じた防災・減災機能について、政府や民間企業と情報交換や技術交換を積極的に進めていくことも重要である。

二国間援助も多国間援助も多くの場合、相手国政府の窓口は事業分野の担当官庁の管轄となる。その場合、当該の担当官庁の事業分野がプロジェクト内容にも大きく影響する。森林を活用した防災・減災、治山事業の展開を、森林・林業担当官庁を相手機関として案件形成する従来の考え方から、異なる事業分野の一つのコンポーネントとしてのインプットというアプローチに拡大していくことも効果的である。例えば道路建設に付随した斜面災害防止のための法面防災や、洪水リスク削減のための構造物建設に付随した法面防災、植林等である。アジア開発銀行インドネシア事務所の聞き取りから、表向きは森林プロジェクトではなくとも、同様の活動が行われている例が実際にあることが分かった。森林・林業プロジェクトとしての案件形成にこだわらず、様々なセクターに防災コンポーネントを取り入れられるようなアプローチの促進が期待される。民間企業においては、海外での森林を活用した防災・減災技術のニーズの発掘、現地パートナーとなる現地企業や国際企業との関係構築において、こうした方向性も視野に入れておくことが有用である。



計画編

3

第3章 森林の防災・減災 機能を活用する ためのアプローチ



開発途上国において森林の防災・減災機能を発揮させるためには、それぞれの地域に適したアプローチが必要になるのはもちろんのこと、防災・減災機能を発揮させられるような土地利用計画を地域住民とともに立案していく必要がある。

本章では、森林を活用した防災・減災のための治山事業を実施する上で留意すべき点と活用可能な知見について整理する。また、森林の防災・減災機能を発揮させるための土地利用計画を地域住民とともに策定するための方法について概説する。

Recipe - P01 森林を活用した防災・減災のポイントと活用可能な知見

Recipe - P02 森林を活用した防災・減災のための土地利用計画と管理

Recipe - P03 地域での協働による計画の策定

森林を活用した防災・減災のポイントと活用可能な知見

この上の Recipe は

Recipe - I02 森林を活用した防災・減災の考え方

森林の機能を活用した防災・減災を図るうえで、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を行うことが必要である。加えて、現地での実施体制を構築し、生態系機能の限界を把握することも重要である。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、森林資源は我々が生活を営む上で不可欠であるため、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技術を確認することも同時に重要である。治山技術は、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。

森林を活用した防災・減災の主なポイント

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。しかし、森林を活用した防災・減災が近年注目を集めるようになったのは、海岸林が津波による被害を軽減する効果を持つことが知られるようになったからである。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¹⁾、その歴史や技術が国際的にも注目されている。森林を活用した防災・減災こそ 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森林を活用した防災・減災は、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。

すでに、アジア地域においては森林を活用した防災・減災の取組がいくつみられ、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が多く得られている。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、森林を活用した防災・減災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

INFO

1) Moos C., et al. (2018) Ecosystem-based disaster risk reduction in mountains. Earth-Science Reviews, 177, 497-513.

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か、また、対象地に適する森林を活用した防災・減災技術をそれぞれの企業が提供できる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度的な侵食や崩壊の多発につながりやすいことが指摘されているため、自然環境を分析する際には、地質だけでなく土壌生成環境までを考慮することが不可欠である。

(2) 現地実施体制の構築

森林を活用した防災・減災は、例えば植林木の維持・管理等、その後のケアが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、森林を活用した防災・減災に関する教育や啓発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、多元的な因子が関わるため、効果発現量には不確実性を伴う幅があるという特徴がある（図 P01-1）²⁾。こうした制約を認識したうえで、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

INFO

2) 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.

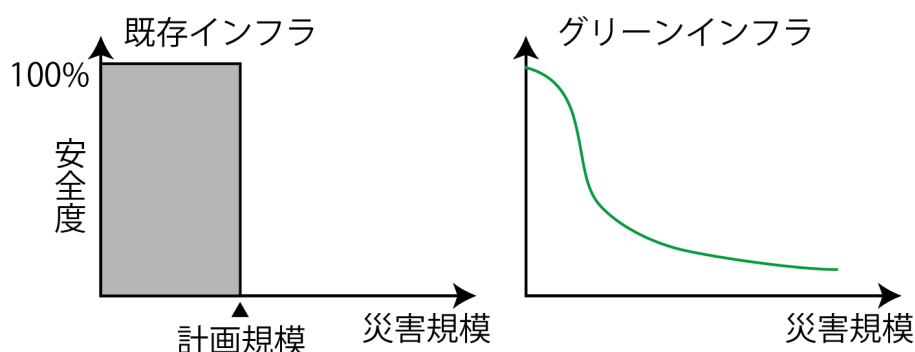


図 P01-1 既存インフラ（グレイインフラ）とグリーンインフラの性格の違い²⁾

の森林を活用した防災・減災技術の選択を総合的に判断すべきである。森林を活用した防災・減災技術は、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ていく総合技術であり、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、角礫、砂、粘土など厚い風化物質の存在によって加速度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、上流側の流域が安定化することが期待できる。

防災・減災対策に活用可能な知見の整理

自然災害は自然が人命や資産、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、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、木材などの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るので、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重要である。治山技術は、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て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ことが分かっている³⁾。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雨水の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水の流出が発生することが基本的な要因である⁴⁾。

INFO

3) 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.

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こり、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⁵⁾。

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、特にマングローブによって減衰し、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⁶⁾。マングローブ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^{7), 8)}。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。

INFO

4) Sidle R. C., et al (2006) Erosion processes in steep terrain—Truths, myths, and uncertainties related to forest management in Southeast Asia. *Forest Ecology and Management* 224, 199–225.

INFO

5) Furuichi T and Wasson R. J. (2011) Placing sediment budgets in the socio-economic context for management of sedimentation in Lake Inle, Myanmar (Burma). *IAHS Red Book* 349, 103-113.

INFO

6) Danielsen F., et al. (2005) The Asian Tsunami: A Protective Role for Coastal Vegetation. *Science* 310, 643.

INFO

7) Alongi D.M. (2008) Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 76, 1-13.

INFO

8) Horstman E. M., et al. (2014) Wave attenuation in mangroves: A quantitative approach to field observations. *Coastal Engineering* 94, 47–62.

森林を活用した防災・減災のための土地利用計画と管理

この上の Recipe は

Recipe - I02 森林を活用した防災・減災の考え方

森林の防災・減災機能を十分に発揮させるためには、森林を含む適正な土地利用計画と土地管理が求められる。自然災害のリスクを避けるなど森林の公益的機能の発揮のため、我が国では森林所有者の権利を公共目的のために制限する保安林制度を創設している。森林の防災・減災機能を発揮させるためには、災害発生地と森林や農地、居住地、その他のインフラなどの空間配置が重要になってくる。特に防災・減災が必要な箇所については、人工構造物である治山施設の導入も考慮して土地利用計画を策定する。策定された土地利用計画、対策シナリオで期待される森林の防災・減災機能を発揮させるためには、策定後の土地管理が重要である。

土地利用計画・管理の必要性と保安林制度

森林の防災・減災機能を十分に発揮させるためには、森林を含む適正な土地利用計画と土地管理が求められる。土地利用計画や土地管理は、比較的広範囲なリージョナルレベルから、地域住民の生活圏のローカルレベルまで、様々なレベルが考えられるが、範囲が狭くなるにつれて、住民による土地や資源の利用に制限を伴うことがあるため、住民の権利や社会経済活動への影響に考慮する必要がある。例えば、ある住民の住宅の裏山が別の住民の所有で、そこにある森林を伐採して耕作地に転換しようとした場合、麓の住民に対する災害リスクが高まるために、伐採を禁止することは所有者の権利を制限することになる。

自然災害のリスクを避けるなど森林の公益的機能の発揮のため、我が国では保安林を設定している（図 P02-1）^{1), 2)}。我が国は地形が急峻で急流が多く、人命やわずかに開けた平地で営まれる水田農業を自然災害から守ることが古くからの重要な課題であった。江戸時代には、各藩において、災害を防止するために村落地域が共同で利用している村持山等の扱いを規制するとともに、水源山、屏風山などの森林を独自に保護していた。しかし、明治に入り、民有林については伐採が自由となり、農業肥料等の原料として村持山、入会山などから下草、落葉落枝、薪炭材等が無秩序に採取され、森林が荒廃し災害が多発するようになった。これに対し、明治政府は、国土保全上重要な民有林を保全するため、伐採の可否を農商務省で判断する伐木停止林を創設した。さらに、明治 29

INFO

1) 林野庁「保安林制度の概要」
<https://www.rinya.maff.go.jp/puresu/h15-7gatu/0710/s4.pdf>

INFO

2) 林野庁 九州森林管理局「保安林」
<https://www.rinya.maff.go.jp/kyusyu/tisan/hoan.html>



図 P02-1 公益的機能を発揮させるための日本の土砂崩壊防備保安林の一例²⁾

年の未曾有の大水害を受けて、明治 30 年に森林法を制定し、官林の禁伐林と伐木停止林を統一して政府の監督権を強化した保安林制度を創設した。

このように制定された保安林制度は、何度かの森林法の改正を経て、現在は、災害の防備のほか、水源涵養や生活環境の保全の場の提供といった公共目的を達成するため、特にこれらの機能を発揮する必要がある森林を保安林として指定し、立木の伐採、土地の形質変更行為等の規制により、その森林の適切な保全と森林施業を確保する制度となっている。

保安林における立木の伐採に当たっては、指定された方法・限度に従ったものとする必要があるとあり、また、森林所有者等が保安林の立木を伐採した場合には、指定施業要件として定められている方法、期間及び樹種に従って植栽を実施する必要がある。都道府県知事は、許可を受けないで立木の伐採や土地の形質変更等を行っている者に対しては、中止命令、造林命令、復旧命令を、また、植栽の義務に違反し、植栽を実施しない者に対しては、造林に必要な行為を命令する。

一方、保安林にかかる損失補填としては、指定施業要件における伐採の方法が禁伐又は択伐とされている保安林（標準伐期齢以上）を対象に、立木評価額の 5 % に相当する額を補償する。また、不動産取得税、固定資産税及び特別土地保有税は非課税とし、相続税及び贈与税については、保安林における伐採の制限の内容に応じ、林地及び立木の評価額の一定割合を控除するなどの優遇措置がとられている。

保安林制度は森林所有者の権利を公共目的のために制限するものであり、開発途上国において一朝一夕に導入が可能な制度ではない。このため、まずは災害リスク回避のための対策に対する様々なステークホル

ダーのコンセンサスの醸成が必要となるが、将来の課題として、気候変動による自然災害リスクの高まりに対する、保安林制度のような公共目的の制度の創設も視野に入れるべきである。

森林を活用した防災・減災のための土地利用計画

INFO

3) JICA (2017) 生態系を活用した防災・減災 (Eco-DRR) の実践—その効果、国際動向と JICA の取組—

INFO

4) Nehren U., et al. (2014) The ecosystem-based disaster risk reduction case study and exercise source book. UNDRR, 100pp (翻訳) 古田尚也ほか (2022) 災害と生態系：変化する気候の中でのレジリエンス ソースブック。

森林の防災・減災機能を発揮させるための土地利用計画を策定するためには、対象とする地域の特徴や想定される自然災害の種類を踏まえる必要がある³⁾。土地利用計画には、非空間的な要素と空間的な要素の両方が含まれる⁴⁾。非空間的な要素としては、必要な資源の列挙、計画がカバーする期間、戦略や行動、関係者などが挙げられる。災害は特定のエリアを襲うため、災害によるリスクを軽減する計画を立てる際には、空間的な要素が非常に重要である。そして、空間的に土地利用計画を立てることは、ローカル、リージョナル、グローバルのいずれのレベルでも、さまざまな目的のための土地利用を規定、規制、決定するのに役立つ。

森林の防災・減災機能を発揮させるには、森林や農地、居住地、その他のインフラなどの空間配置と災害発生地との位置関係も重要になってくる。そのため、土地利用計画の策定に先立ち災害の発生リスクを予測

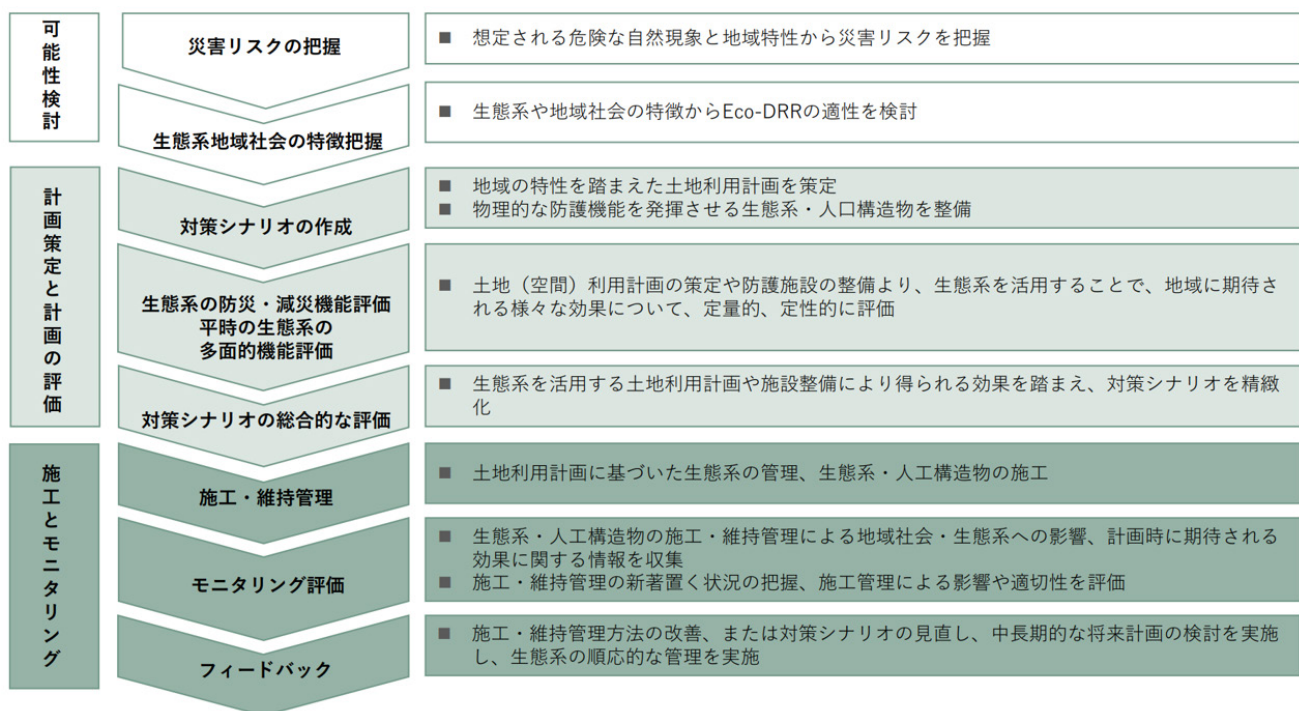


図 P02-2 Eco-DRR の進め方³⁾より改変

するリスクマップを準備する。

次に、災害発生の可能性の高い場所と森林や農地、居住地、その他のインフラなどの空間配置から、物理的な防御機能を発揮させる森林・人工構造物について検討する。森林による防災・減災機能には限界がある。例えば、防災・減災上の観点から斜面の農地に植林しても、その森林が機能を発揮するまでには相当の時間がかかること、また効果については不確実性が高いことを理解しておく必要がある。このことから、特に防災・減災が必要な箇所については、人工構造物である治山施設の導入も考慮して土地利用計画を策定する³⁾。

さらに、策定された計画について、森林を活用することで地域に期待される様々な効果の定性的・定量的な評価を行う。評価する効果は、防災・減災機能に限らず、その地域に恩恵を与える森林の機能による効果も含め、また負の効果についても評価する。その評価を踏まえて、災害リスクに対する対策シナリオを精緻化していく。その際、複数のシナリオの比較や、それぞれの対策シナリオに係る各国・地域の法制度、予算、既存計画の整合性についても検討しておく（図 P02-2）³⁾。

森林を活用した防災・減災のための土地管理

策定された土地利用計画、対策シナリオで期待される森林の防災・減災機能を発揮させるためには、計画策定後の土地管理が重要である。森林は時間の経過とともに成長し、根系による土壌を抑える機能を高める一方で、木材・チップ生産のために伐採されることによって防災・減災機能が低下する時期もある。森林を活用した防災・減災対策は、自然の環境変動、社会状況の変化にも左右されるため、土地利用計画や治山施設の効果が、当初の目標と異なる結果になる可能性がある。そのため、伐採による機能低下を極力小さく抑えるように森林を管理していく。例えば、森林の斜面下部に居住地や重要なインフラがある場合、大規模な斜面崩壊を避けるために、大面積での皆伐を行わず、小面積での伐採が推奨される。また、特に開発途上国では、山中での林道の開設に伴って斜面崩壊のリスクが高まることから、森林管理の中に林道の管理も含めるべきである。

土地管理を進めていても、予測された場所ではないところで災害が発生したり、計画時の前提条件が変更されたりした場合には、森林の防災・減災機能を維持していくのが難しくなることから、改めて土地利用計画を策定しなおす。

地域での協働による計画の策定

この上の Recipe は

Recipe - I02 森林を活用した防災・減災の考え方

森林の防災・減災機能を発揮させるための実行性のある土地利用計画を策定するためには、地域住民の生活、自然資源を把握して森林を活用した防災・減災技術の適用の可能性を検討し、地域の特性を踏まえた土地利用計画を策定する必要がある。森林を活用した防災・減災のために策定しなければならない計画は、土地利用計画と、その計画に基づく森林管理を含む土地管理計画の2種類である。災害対策の複数の選択肢からより合理的なものを選択するために、定量的な評価や科学的知見は、関心の異なる関係者間での合意形成を図るための共通理解の形成に役立つ。森林ゾーニングは、そのゾーンに割り当てられた機能を発揮するための効率的・効果的な森林管理を実施するのに役立つ。

ステークホルダー間の合意による計画の策定

自然災害が発生した場合、一番の当事者はその地域に生活する住民である。このため、治山施設を含む森林の防災・減災機能についての長所や短所を地域住民が理解した上で、地域の望ましい将来像に沿った対策を取る必要がある（図 P03-1）。地域によっては過去の災害の経験に基づいた災害対策の知恵が受け継がれている場合もあり、地域住民の参加は、こうした知恵を防災に活かしていくためのきっかけとなる¹⁾。

INFO

1) JICA（2017）生態系を活用した防災・減災（Eco-DRR）の実践—その効果、国際動向とJICAの取組—



図 P03-1 地域コミュニティにおける情報の共有

森林の防災・減災機能を発揮させるための実行性のある土地利用計画を策定するためには、地域住民の生活、地域産業に利用されている自然資源を把握して森林を活用した防災・減災技術を適用可能かどうかを検討し、地域の特性を踏まえた土地利用計画を策定する必要がある。森林を活用した防災・減災を図るためには行政組織をまたぐ事業連携、民有地を含む対策が求められる。また、セクターの連携により、健全な森林の維持に向けた土地利用や資源管理を誘導し、防災効果を高めていく視点も欠かせない¹⁾。

ただし、開発途上国において、とくに急傾斜地などの災害リスクが高い地域に生活する人々は、経済的に苦しい立場にある人が多い。そのため、災害リスクの軽減と家計収入とがトレードオフの関係となるような土地利用計画は、地方の行政機関や NGO、場合によっては科学的根拠を提示できる大学などの様々なステークホルダーを加えて、慎重に策定を進めなければならない。例えば、植林活動に対する収入や森林の管理の仕方、木材を利用する場合の権利、一度に伐採していい面積などの細かな点について、関係者の合意を得ながら計画を進める必要がある。

土地利用計画と管理計画

森林を活用した防災・減災のために地域住民との協働で策定しなければならない計画は、土地利用計画とその計画に基づく森林管理を含む土地管理計画の2種類である。森林を活用した防災・減災のための土地利用計画が策定されても、その後、持続可能な形で土地管理がなされないと、計画で想定した機能が発揮できなくなる。土地利用を管理するのは地域住民が主体となることから、住民参加型のプロセスが不可欠である。地域のコミュニティは、持続可能な土地管理と森林を活用した防災・減災において重要な役割を果たす。地域住民は地域の環境、資源に強く依存して生活しており、その環境について専門的な知識を持っていることが多い。そのため、計画に彼らの知識を活かすことは有益であると同時に、計画や政策の中で彼らの権利を明確に位置付けることで、彼らのレジリエンスを高められる²⁾。

通常、森林を活用した防災・減災のための土地利用計画ではリスク管理が主体となるが、この段階で経済性についての検討を加えることが必要である。リスク管理を進める際に、地域住民の経済活動に制約を加える可能性がある。そのため、土地利用に関する地域住民のコンセンサスを得て土地利用計画を策定し、災害リスクに対する対策シナリオについても住民参加型での合意形成を図る。土地利用計画において、治山施設の導入が地域住民のコンセンサスを得る助けとなる場合もある。その場

INFO

2) Nehren U., et al. (2014)
The ecosystem-based
disaster risk reduction case
study and exercise source
book. UNDRR, 100pp
(翻訳) 古田尚也ほか (2022)
災害と生態系：変化する気候
の中でのレジリエンス ソー
スブック。



図 P03-2 地域のコミュニティによる土地管理

合、治山施設について地方行政機関の担当者が地域住民に説明し、地域住民の治山施設に対する理解を深めておくのがよい。

土地管理は地域住民の生計と生活に大きく関わることから、地域コミュニティが主体となって進めることになる（図 P03-2）。地域コミュニティ内の人々は必ずしも同質でなく、時には争いも見られる。そのため、土地管理計画を策定するには、コミュニティ内及び外部のステークホルダーとの間で、対話と協力の仕組みを構築することが重要である²⁾。森林を活用した防災・減災技術のための土地管理へのコミュニティの参加は、コミュニティの森林を活用した防災・減災に対する能力強化につながり、様々なステークホルダーとあらゆるレベルでの連携が構築される。災害リスクの評価から土地利用計画、土地管理計画までのあらゆるプロセスを地域のコミュニティとともに行うことで、地域住民の理解が促され、最終的には森林を活用した防災・減災のための土地管理のプロセスが長続きすることになる。

科学的根拠の提供

災害対策の複数の選択肢からより合理的なものを選択するために、定量的な評価や科学的知見は地域住民の理解向上に欠かせないだけでなく、関心の異なる関係者間で合意形成を図るための共通理解の形成に役立つ¹⁾。例えば、災害リスクマップの提示は土地利用計画を策定する際に様々なステークホルダー間で合意形成を図るための有効な手段となる。災害リスクの危険度とその災害が及ぶ範囲を提示することにより、

災害が生活圏に及ぼす影響が明確になり、土地利用計画の策定の重要性が明確になる。また、土地利用の変更によりどのような便益が生み出されるかについて GIS を用いて視覚化することで、ステークホルダー間の議論がしやすくなる。

森林による物理的防護機能は、治山施設に比べると、その効果が現れるまでに時間がかかること、また、その効果に不確実性が高いことについても、科学的なデータを提示して地域住民の理解を促す。その上で、費用対効果も考慮に入れて、どの危険箇所には治山施設を用いて、どの箇所に森林の防災・減災機能に期待して森林を造成・保全するかを検討するのがよい。

森林のゾーニング

土地利用計画を策定する地域の自然条件や森林に対する社会的ニーズは多様であり、通常一つの森林に対して、その森林が持つ多面的機能が発揮されることが期待される。複数ある機能の中から最も重視する機能に絞って森林を区分していく作業を森林ゾーニングという（図 P03-3）。森林をゾーニングすることにより、そのゾーンに割り当てられた機能を発揮するための効率的・効果的な森林管理を実施することができる。

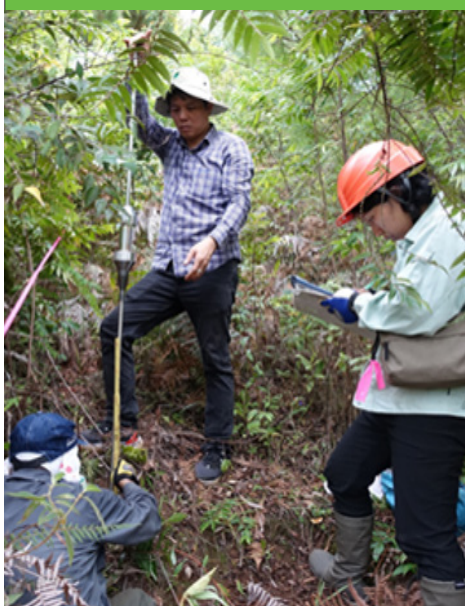
森林のゾーニングの具体的手順としては、まず、その国の法令による規制の有無、生産性の高さや防災・減災への寄与といった森林の機能の評価を踏まえ、期待される機能を把握する。さらに、森林の有する機能についての地域の要請も勘案しながら、各々の機能に応じたゾーニングを設定する。特に、森林を活用した防災・減災ために保全すべきエリアに留意しながらゾーニングを行う。



図 P03-3 森林ゾーニングの例

4

第4章 森林の防災・減災 機能強化のための 技術



防災・減災対策の策定がこれから本格化する発展途上国にあって、土地の持つ災害リスクについて理解と意識を深め、計画的な土地利用と森林保全による予防治山を行うことは、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。

本章では、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する方法と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の機能の評価する方法を紹介する。

Recipe - P04 斜面崩壊リスクマップの作成

Recipe - P05 日本の森林整備・治山技術の適用

Recipe - P06 マングローブの防災・減災機能

斜面崩壊リスクマップの作成

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についてAI等最新技術を活用し信頼性の高い危険度を評価しておくことが必要である。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、重要であるかを検討しておく。Google Earth Engineでは、斜面崩壊の発生や土地利用変化をオープンソースの時系列の衛星データを用いて斜面崩壊がその地域でどのような降雨で引き起こされるのかを抽出することができる。斜面崩壊のリスクマップは、森林の攪乱や斜面崩壊発生時の雨量の評価も加味しながら、リモートセンシングデータとそのデータを用いて得られる空間情報、公開データを用いて作成する。

土砂災害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（図P04-1）。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

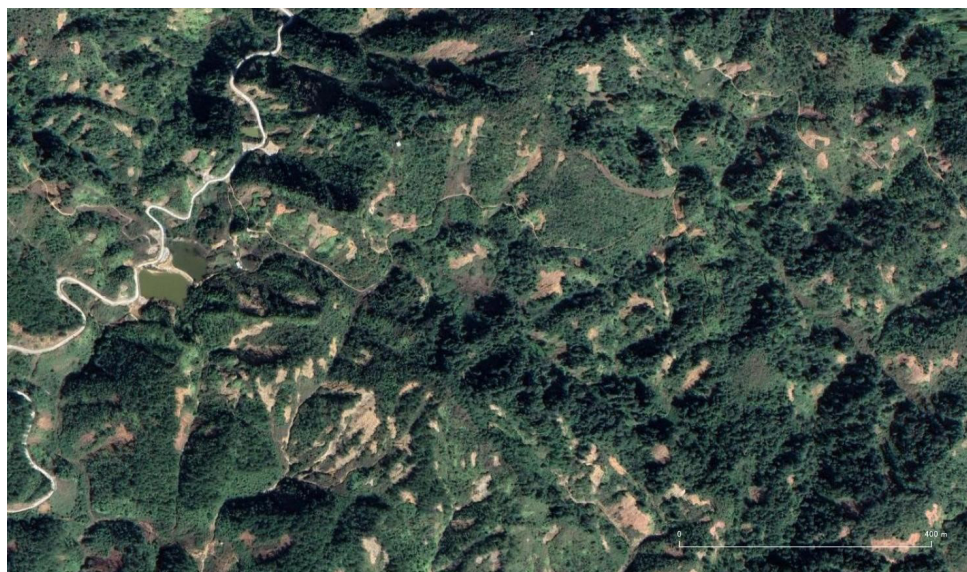


図 P04-1 2017 年豪雨で発生したベトナム北西部での斜面崩壊

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。そのため、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た信頼性の高い危険度把握の技術の開発が必要である。

土砂災害のリスク評価

リスクマップの作成に際しては、既存の空間情報を利用してリスク評価を行う必要がある。オープンソースの衛星データをダウンロードせずに Google のクラウド環境において無料で解析でき、結果だけをダウンロードできる Google Earth Engine は、特に時系列での解析が必要な斜面崩壊地の抽出や土地利用変化の同定において非常に有力なツールとなる。また、それぞれの地域においてどの程度の雨量で斜面崩壊が発生するかといった情報も、リスクを評価する上で欠かせない情報である。

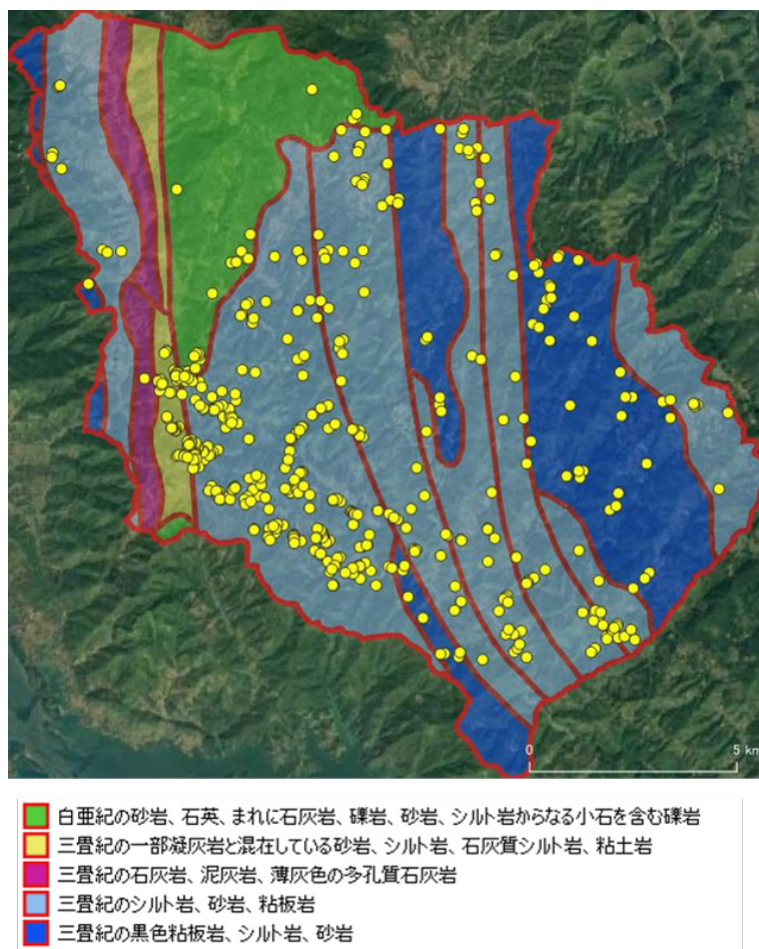


図 P04-2 地質と斜面崩壊発生箇所

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、重要であるかを検討しておく必要がある。要因の重要度を判断する方法としては、衛星画像より抽出した崩壊地（目的変数）に対し、衛星画像から得られた土地利用区分、道路の影響、標高、及び算出した傾斜、方位、地質図より得られた地質情報といった情報を崩壊要因（説明変数）として（図 P04-2）、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する方法が考えられる。その際、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場合には、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。

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。このため、地域住民との意見交換等を通して、リスク評価を実施していくことが必要である。

斜面崩壊地抽出における Google Earth Engine の利用

Google Earth Engine は、Google のクラウド環境と豊富なツールが用意された API を利用してオープンソース衛星データを無料で解析・利用できるサービスである。Google Earth Engine を用いて崩壊地を抽出するためには、まず、土地被覆分類に用いる入力データを準備する。入力データは、崩壊発生の原因となる豪雨の前後の衛星データ（例えば、Sentinel-2 データ）と土地被覆分類のための教師データである。斜面崩壊の前後に対し、各バンドで、ある一定期間の時系列データから雲を取り除いた画像を作成し、これらのデータから正規化植生指数、正規化水分指数の画像も作成する。また、崩壊前後の正規化植生指数の差分画像、正規化水分指数の差分画像も作成する。これらのデータに対して、土地被覆分類のための教師データを用いた機械学習モデルによって土地被覆分類図を作成し、新規斜面崩壊地を抽出する。

機械学習による土地利用と森林撓乱の推定

森林には斜面崩壊を抑制する機能があるが、これまで森林であった場

所が農地や開発地などの異なる土地利用に転換されると、こうした機能が失われると考えられる。しかし、多くの開発途上国では過去の土地利用の変遷が十分に把握されていないのが現状である。そこで、過去からのデータが利用可能な衛星画像を時系列解析に用い、植生の時系列変化情報を取り出して、学習データと機械学習モデルを利用することにより、森林撈乱と土地利用を毎年の頻度で推定するとよい。これにより得られる土地利用の変遷は、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土砂災害等のリスクを評価する上で重要な情報になる。

斜面崩壊発生時の雨量の評価

降雨による斜面崩壊は、透水層の空隙への雨水の浸入と透水層と不透水層間の地下水の増加により発生する。斜面崩壊がその地域でどのような降雨で引き起こされるのかは、関連する災害リスクの評価の重要な指標のひとつである。開発途上国では地上の気象観測施設やレーダー観測システムが未整備のため、崩壊発生時の雨量を評価することが困難であったが、近年、衛星観測による衛星全球降水マップが公開され、斜面崩壊が発生する危険性の高い降雨を判定できる可能性が出てきた。長期の衛星観測雨量データから斜面崩壊が発生した時の雨量と降雨パターンを探索することにより、斜面崩壊の危険性の高い雨量と降雨パターンが明らかになる。

斜面崩壊に対するリスクマップの作成

開発途上国においては、斜面崩壊に対する危険度の評価を行うための空間情報が未整備であるため、崩壊発生危険度を把握することが難しい。そこで、リモートセンシングデータとそのデータを用いて得られる空間情報、公開データを用いて、機械学習モデルにより推定した森林撈乱と土地利用変化をもとに斜面崩壊に対するリスクマップを作成する。リスクマップの作成の一つの方法として、衛星画像より目視判読した崩壊地に対し、デジタル標高モデル（Digital Elevation Model：DEM）とDEMから算出した傾斜と方位、土地利用、道路、地質を説明変数として、機械学習により重要度を算出する方法がある。ランダムフォレストを用いて教師あり分類を行い、その結果をもとに構築されたモデルからリスク評価の結果をマップ化する。

日本の森林整備・治山技術の適用

治山技術はコンクリート構造物に過度に依存することがないため、災害対策を進めようとする開発途上国にとって財政負担の観点から適用性が高い。ただ、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発を伴わないと効果を発揮しにくい技術でもある。森林を活用した防災・減災を図るためには、適正な土地利用配置が必要であり、そのためのゾーニングが重要である。ただ森林を活用した防災・減災を図る場合でも、簡易な治山施設の設置は必要である。また、土地利用配置の変更で全ての危険個所での災害リスクを軽減することはできないため、そのような箇所にも治山施設を適切に設置することも必要である。

日本の森林整備・治山技術の適用の必要性

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（図 P05-1）。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



図 P05-1 一面農地利用されているエリアでの山地災害の事例

を教訓に、わが国では現在に至るまで「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。前者の砂防事業は防災施設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のに対し、後者の治山事業は森林の維持造成を通じて山地のレジリエンスを高めて災害から国民の人命や財産を守り、また水源涵養、生活環境の保全・形成等を図ることを目的とする。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ることで森林の防災・減災機能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性が高いと期待される。

治山技術と土地利用計画

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接近、上陸し、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REDDプラスを通じた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発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نز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発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。

夏季の大量の降水を特徴とし、自然災害が起こりやすいモンスーンアジア地域では、適切な土地利用の制限は局所的・短期的には経済活動を制限する側面もあるが、長期的な国家的視点で見れば、住民の安全につながることは疑いようがない。防災・減災対策の策定がこれから本格化する発展途上国にあっては、土地の持つ災害リスクについての知識と意識を深め、山地においては森林の維持造成を通じた治山技術を、沿岸域においては高潮被害に対する防災・減災のための海岸林の保全策を早期に導入することは、将来的には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。

森林整備・治山技術導入の準備

(1) リモートセンシングによる斜面崩壊地と崩壊リスクの確認

Recipe - P04 で作成する斜面崩壊地と斜面崩壊リスクのマップを用いて、森林整備・治山技術を導入しようとしている地域での崩壊発生状況と危険度を把握する。

(2) 地域住民への意識調査

地域で自然災害の防災・減災を図るには地域住民の理解と参加が不可欠である。その際、地域住民の防災・減災に対する意識が、防災・減災の対策への参加に結びつく。そこで、政府に対する防災・減災機能対策への期待を掘り起こすための調査や、自然災害が発生する可能性や自然災害が発生した場合の経済的被害に対する考えや生命や生活に対する影響、防災対策に対して、その効果の程度やかかるコストの予想、自分自身でその対策を取るかどうかといった調査を実施し、地域住民の防災・減災に対する意識を明らかにする。

(3) 現地での概況把握

- ・河川の濁度

河川の濁度は、上流部流域での土地利用改変の影響を受けやすい。また、斜面や溪流の侵食によって上流域から流出した土砂が河床に堆積して河床高度を上げることで洪水氾濫リスクが高まる。このため、河川の濁度を観察して、上流部の土砂流出の状況を把握する。

- ・道路法面と排水施設

開発途上国では、道路開設による切土で造成された法面は保護対策のなされない状態で放置される場合が多く、また道路の排水についても、横断溝を設置せずに、側溝水はすべて溪流横断部の暗渠で排水されることが多いため、流末箇所侵食や側溝が詰まって大量の雨水が道路に流出した場合、斜面崩壊の誘因となる。そこで、対象となる地域の道路法面と排水施設の管理状態を観察する。

(4) 道路開設による斜面崩壊リスクの定量評価

斜面の諸条件（地形、土層の厚さ、透水性、土の物理性等）をパラメータとした斜面への降雨浸透とそれによる土のせん断強度低下を再現する数値解析を、道路が開設された場合とされていない場合の両ケースに適用し、斜面の安全率の推移を比較・検証する。

(5) 防災・減災のための森林ゾーニング

- ・事前防災のための土地利用配置と森林管理

森林を活用した防災・減災を図るためには、まず、適正な土地利用配置が必要であり、そのためのゾーニングが重要である。特に人の生活する地域や重要なインフラの上部、下部の土地利用に留意する必要がある。併せて、森林がしっかりと防災・減災の機能を果たすように、間伐方法や輪伐期など適正に森林管理を行い、機能を高めていく必要がある。

- ・事前防災のための治山施設

事前防災のためのゾーニングによる土地利用配置の変更には合意形成が必要であり、森林の造成には一定の時間を要する。その間の災害リスクを軽減するために、森林を活用した防災・減災を図る場合でも、簡易な治山施設の設置が必要となる。また、土地利用配置の変更で全ての災害リスクを軽減することはできないため、そのような箇所にも治山施設を適切に設置するように計画する。

マングローブの防災・減災機能

海面上昇や大型台風の頻発による沿岸域の災害リスクが増していることから、マングローブの防災・減災機能の発揮に大きな期待が寄せられている。波や風から受ける外力が個々の樹木の抵抗力を上回れば、樹木に被害が発生するため、樹木の破壊限界を理解した上で、防災インフラとしての海岸防災林の配置を検討することが重要である。マングローブの防災・減災機能を広域に評価するためには、林帯幅を求めるためのマングローブの広がりや、波の方向に対するマングローブの投影面積を算出する必要がある。マングローブは樹種により生育適地の立地条件に対する許容範囲が大きく異なることから、予備的な植栽試験を行って生育適地の条件を吟味した後に本格的な植栽に移行するのがよい。

INFO

1) 海津正倫 (1998) ガンジスデルタの地形と高潮災害、地形雑誌 107:137-141

INFO

2) 佐藤一紘 (1992) マングローブ林、日本の海岸林：多面的な環境機能とその活用（村井宏他編）ソフトサイエンス社 513pp

INFO

3) 佐藤一紘 (2010) 海面利用科学と海水科学—マングローブによる海上林から見えるもの— 日本海水学会誌 64:82-90

INFO

4) 松田義弘 (2011) マングローブ環境物理学 東海大学出版 378pp

INFO

5) International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (2011) Breaking the waves. Impact analysis of coastal afforestation for disaster risk reduction in Viet Nam, Geneva 51pp.

防災・減災機能発揮のための保全の必要性

マングローブは熱帯・亜熱帯沿岸域の潮間帯に分布し、海域と陸域の間にある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の多様な生態系サービスに加え、防風・防潮・波力減衰等沿岸域の防災・減災機能を担っている。一方で、近年の地球規模での気候変動の進行を背景にした海面上昇や大型台風の頻発により、これまでよりも大きな高波や強い暴風が発生し、沿岸域の災害リスクが増していることから、マングローブ生態系を含む沿岸部における防災・減災機能の発揮についての関心が一層高まっている。

潮間帯にのみ生育可能なマングローブは、クロマツ等の陸性の樹木で構成される海岸林と同様に、古来、防風・防潮・波力減衰・侵食防備など沿岸域の防災・減災を担ってきたことは周知である^{1), 2), 3), 4)}。気候変動による海面上昇や大型台風による沿岸災害リスクの高まりが懸念される現在、熱帯・亜熱帯地域の沿岸部に分布するマングローブには、気候変動による海面上昇に伴う沿岸域の侵食防止や、海水温の上昇に起因して強大化が想定される台風による高潮リスクの軽減など、防災・減災のための気候変動適応策の一翼としての期待が高まっている^{5), 6), 7)}。

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の消失や劣化が進行しており（図 P06-1）⁸⁾、さらには海



図 P06-1 マングローブを開発して造成したエビ養殖池
(左：集約的な養殖、右：粗放な養殖)

岸侵食や表層侵食が顕在化している地域もみられる。このため、海面上昇のリスクに曝されている沿岸域のハザードを低減する行動として、近年、マングローブの再植林による沿岸域の保全活動が積極的に推進されている⁹⁾。

こうしたことを背景に、海面上昇による高潮被害に対する沿岸域の防災・減災に関しては、マングローブの防災・減災機能を把握し、予測されるリスクに対するマングローブ保全策を構築することが急務となっている。

マングローブの波や風に対する根返り耐性

マングローブは、波や風等の流体に対し抵抗体として働き、波や風からの外力を減衰させる。波や風から受ける外力が樹木の抵抗力を下回れば、樹木は抵抗体として働き続けるが、反対に外力が上回れば、幹折れしたり、根返りを起こしたりして、樹木に被害が発生する。マングローブは、しばしば、強風、高潮、高波などの外力によって被害を受けるため、沿岸域においてマングローブ及びそれらの多面的機能を維持するためには、これらの樹木の破壊限界を理解した上で、防災インフラとしての海岸防災林の配置を検討することが重要である。

マングローブの根返り耐性を定量評価するための引き倒し試験から、風や波に対する根の抵抗力の指標である限界回転モーメントが樹種や樹木サイズに依存することが明らかになっている。泥質の堆積物上に生育し、水中や泥の中に水平に広がるケーブル根を持つタイプのマングローブである *S. caseolaris* や *S. apetala* では、幹周囲に多くの支柱根を持ち、砂質堆積地に生育している *R. stylosa* よりも強い根返り耐性を示している。沿岸域の保全のためにマングローブを植林する場合、樹種の選択に

INFO

6) International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (2011) Planting protection. Evaluation of community-based mangrove reforestation and disaster preparedness programme, 2006-2010, Geneva 67pp.

INFO

7) 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

INFO

8) 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。古今書院 193pp

INFO

9) 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

は樹種ごとの根張り耐性も考慮する必要がある。

マングローブの防災・減災機能の広域評価

台風などによる急激な気圧の低下により高潮が発生した場合、マングローブがあると、マングローブの立木に波が当たる際に発生する渦による波の力の減衰（渦粘性効果）により、堤防を乗り越える波を抑え、被害を軽減することができる。マングローブの防災・減災機能を広域に評価するためには、林帯幅を求めるためのマングローブの広がりや、波の方向に対するマングローブの投影面積を算出するための林分の平均直径、平均樹高、樹種ごとの樹形、立木密度などが必要となる。これらの情報を地上調査から広域に取得するのは困難であり、リモートセンシングを用いた手法が求められる。衛星データによりマングローブを抽出し、その地域で可能性のある波の方向ごとにある一定の幅での堤防や陸地との境界までのマングローブの面積を算出する（図 P06-2）。林分高や立木密度を推定することにより、各波の方向に対する一定幅での全立木の投影面積を推定することが出来る。この投影面積が大きいほどマングローブの防災・減災機能が高くなる。この防災・減災機能の評価手法は、実用性を考慮した手法であり、機能の相対的評価が可能である。それと共に、高波の越堤が発生した箇所の情報を集積することにより、この指標からどの箇所に対策を優先的に実施するのがよいかが明確になる。

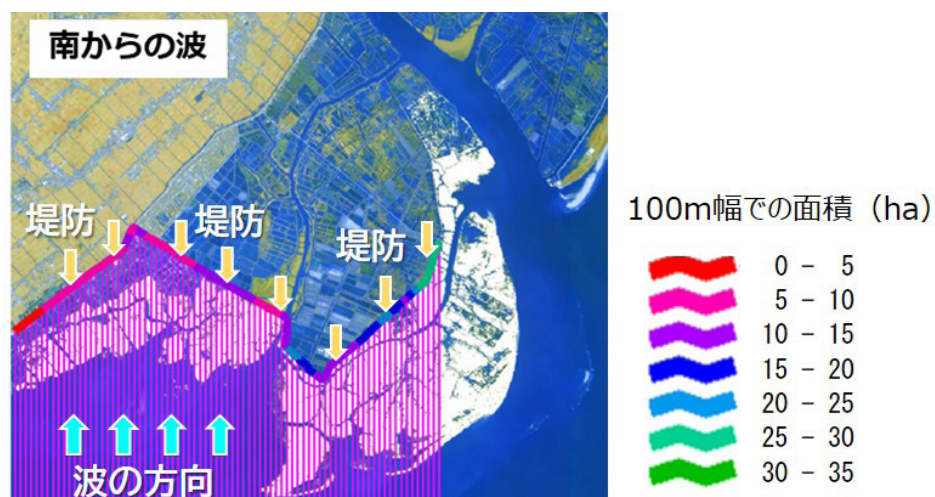


図 P06-2 波の方向に対する堤防までの 100 m 幅のポリゴンに含まれるマングローブの面積

マングローブ植林における留意点

マングローブの生育適地は地盤高や潮汐環境により規定されるが、それらは樹種により異なる。ただし、生育できる立地条件に対する許容範囲が広いことから、予備的な植栽試験を行って生育適地の条件を吟味し、その後、本格的な植栽に移行するのがよい。マングローブの定着・生育への阻害要因は、波による苗木の流亡や損傷、地盤の侵食、土砂堆積による苗木埋没であるため、沿岸域荒廃地での植林の際には事前の地盤環境や潮汐動向の把握が重要である。

マングローブを植栽し、着実にマングローブの再生を進めるためには、植栽のための健全な実生苗や胎生種子の確保（図 P06-3）、さらには確実に実生苗を得るための採種、及び採種後の種子の取り扱いが鍵となる。苗畑では潮汐を利用して自然灌水で育苗する場合が多いので、平均海面よりも若干低い地盤高に合わせて地盤を均し、苗畑を設定する。干潮時に苗床に海水が停滞しないよう留意する。海水が停滞すると、日射により塩分濃縮や水温上昇が起こり、根系傷害や苗の枯死を誘引する恐れがある。

マングローブの植栽では、苗木を用意しやすく、取り扱いも容易なヒルギ科などのマングローブ実生苗ばかりを選んで植栽することで、同一樹種による単純林となってしまうよう留意する。残存している樹種と同様な潮汐環境の立地環境を見極めて、どこにどの樹種を植えるかを注意深く検討し、決定する。



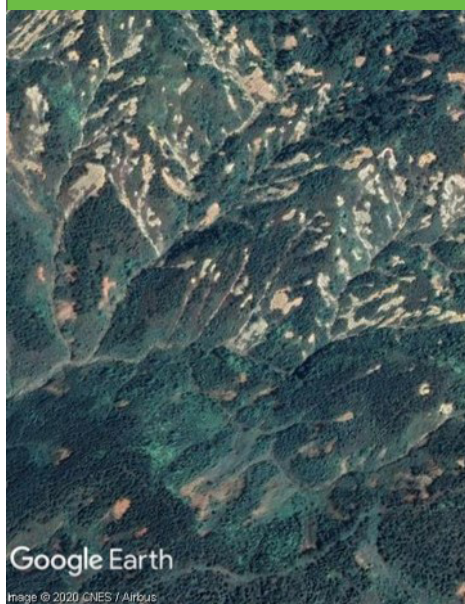
図 P06-3 いろいろな種のマングローブ果実と胎生種子



技術編

5

第5章 リモートセンシング 技術を用いた リスクマップの作成



開発途上国で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。

本章では、対象地域においてリモートセンシング技術及び現地調査によって収集された既往の崩壊履歴及び地形、地質、森林被覆、降水量等の各種情報をGIS上で重ね合わせることで、森林管理に資する斜面崩壊リスクマップを作成する手法を紹介する。

Recipe - T01 Google Earth Engine を用いた崩壊地の抽出

Recipe - T02 機械学習による土地被覆分類と森林撓乱の抽出

Recipe - T03 斜面崩壊発生時の雨量の評価

Recipe - T04 斜面崩壊に対するリスクマップの作成

Google Earth Engine を用いた崩壊地の抽出

この上の Recipe は

Recipe - P04 斜面崩壊リスクマップの作成

Google Earth Engine は、Google のクラウド環境と豊富なツールが用意された API を利用してオープンソース衛星データを無料で解析・利用できるサービスである。Google Earth Engine を用いて崩壊地を抽出するためには、まず、土地被覆分類に用いる入力データを準備する。斜面崩壊の前後に対し、ある一定期間の時系列の衛星データから雲を取り除いた画像を作成し、これらのデータから正規化植生指数、正規化水分指数の画像も作成する。また、崩壊前後の正規化植生指数の差分画像、正規化水分指数の差分画像も作成する。これらのデータを入力データとして、機械学習モデルを用いて土地被覆分類図を作成し、新規斜面崩壊地を抽出する。

Google Earth Engine による入力データの準備

Google Earth Engine は、その名が示すとおり世界的な IT 企業である Google 社が提供するサービスで、非営利団体、学術機関、教育者、報道機関、先住民政府、政府研究者は、Google のクラウド環境と豊富なツールが用意された API を利用してオープンソース衛星データを無料で解析・利用できるサービスである（図 T01-1）¹⁾。大量のオープンデー

INFO

1)Google Earth Engine
<https://earthengine.google.com/noncommercial/?hl=ja>

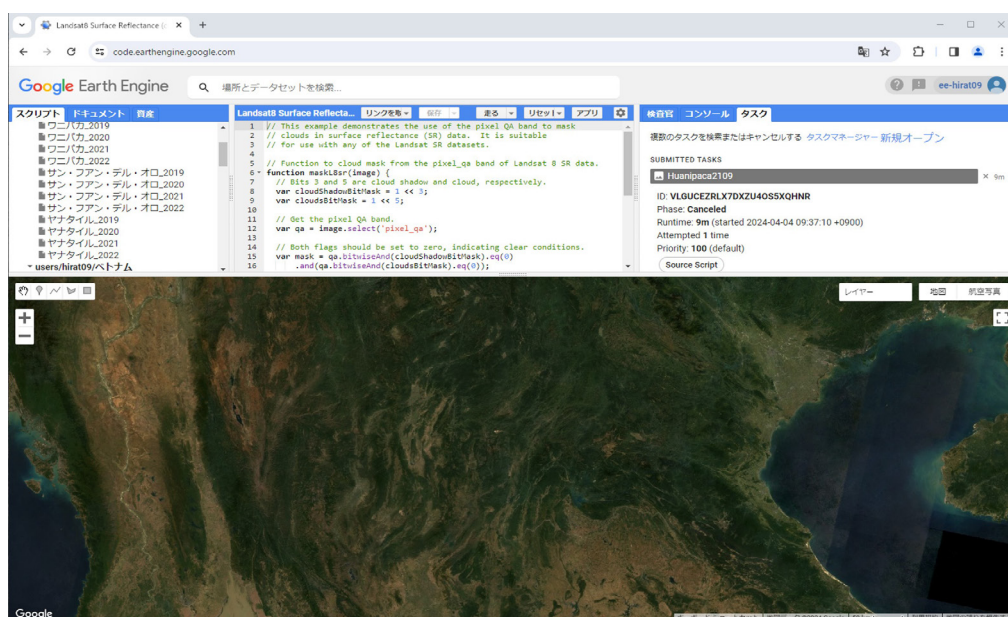


図 T01-1 Google Earth Engine による雲なし画像の作成¹⁾

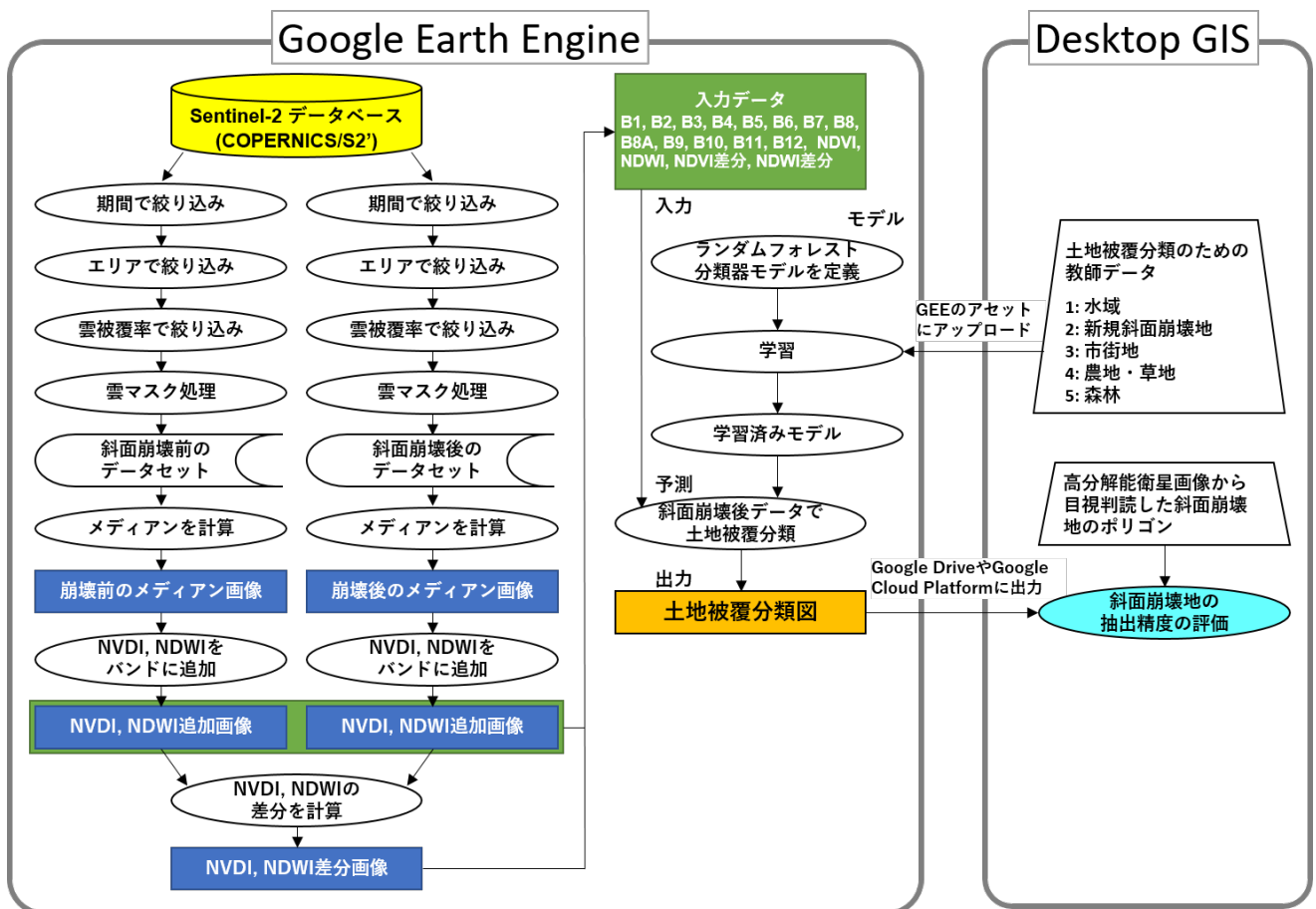


図 T01-2 Google Earth Engine を用いた斜面崩壊地の抽出のフロー

タの衛星データを自身のコンピュータにダウンロードせずに解析できるのが大きな特徴で、演算を Google のクラウドサーバ上で実行することができる。従来の衛星データを利用した継続的な観測は、利用する衛星データの更新にはダウンロードに時間がかかり、格納するストレージの費用もかかるという問題があった。このため、とりわけ開発途上国においては、ネットワーク環境や費用の点で、衛星データ利用の環境を整えるのが難しかった。Google Earth Engine の登場により、これらの障壁が大きく取り除かれ、自然災害のモニタリングに対しても道が開けてきている。

Google Earth Engine においては、光学衛星センサの短所の一つである雲のある場所は観測できないという問題を、ある一定期間に観測された衛星画像から雲のないエリアをモザイクすることにより解決することができる (図 T01-2)。雲なし画像を作成するための手順としては、まず、どの衛星のいつの期間のデータセットを雲なし画像の作成に用いるかを決め、次に、解析の対象とするエリアを設定する。なお、画像全体での雲の被覆率が高い画像では、雲がないと判断されるエリアでも、微細な

水蒸気の影響によりデジタル解析に向かない場合が多い。画像全体での雲の被覆率が30%を超えるような画像は、解析から外しておくことが望ましい。このようにして選択された特定エリアのそれぞれの衛星画像に対し、雲のマスクを作成する。Sentinel-2 衛星データには品質保証データが付帯しており、その中に雲マスクが用意されている。それぞれの衛星データに対して、そのデータに対応した雲マスクを用いて雲を取り除いた画像を作成する。そしてバンドごとに、各ピクセルに対して全ての雲なし画像から中央値（メディアン）を求め、そのピクセルの値とする。これにより雲のないメディアン画像が作成される。メディアン画像の特徴として、季節変化のある土地被覆に対しては、その変化がうまく捉えられないという短所がある。特に、雨季と乾季のある地域では、農耕が雨季に行われ、乾季は農閑期になることが多いこと、また、衛星データに雲が影響しないのは主に乾季であることから、メディアン画像を作成すると、農地が作物のない裸地と判別されることが多い。これは、乾季に葉を落とす熱帯落葉林についても同じことが言える。一方、斜面崩壊地を見つけ出す場合、一般に斜面崩壊前は植生があるのに対し、斜面崩壊後は裸地となるため、その抽出は比較的容易である。

斜面崩壊地を抽出するには、各バンドのメディアン画像に加え、メディアン画像から算出した正規化植生指数（NDVI）画像、正規化水分指数（NDWI）画像を追加するとよい。また、斜面崩壊前後のNDVI画像及びNDWI画像の差分画像も分類精度を向上させることが期待される。斜面崩壊前後の各バンドのメディアン画像、NDVI画像及びNDWI画像、さらには、NDVI差分画像及びNDWI差分画像を、斜面崩壊地抽出のための入力データとするのがよい。ただし、波長の短いバンドはどうしても水蒸気の影響を受けやすいため、メディアン画像でも水蒸気の影響が残っている場合がある。そのような場合には、波長の短いバンドの画像を土地被覆分類の入力データから外しておく必要がある。

斜面崩壊地抽出のための土地被覆分類

Google Earth Engine では土地被覆分類を行うための機械学習モデルが実装されている。主要な機械学習モデルとしては、決定木、ロジスティック回帰、サポートベクターマシーン、ナイーブベイズ、ランダムフォレストを用いることができる。近年では土地被覆分類にランダムフォレストがよく用いられる。ランダムフォレストは、「決定木」と「アンサンブル学習（バギング）」という2つの手法を組み合わせたアルゴリズムである。カテゴリ変数や欠損データを取り扱いやすく、多くの種類のデータセットに対して効果的な柔軟性の高い機械学習モデルであ

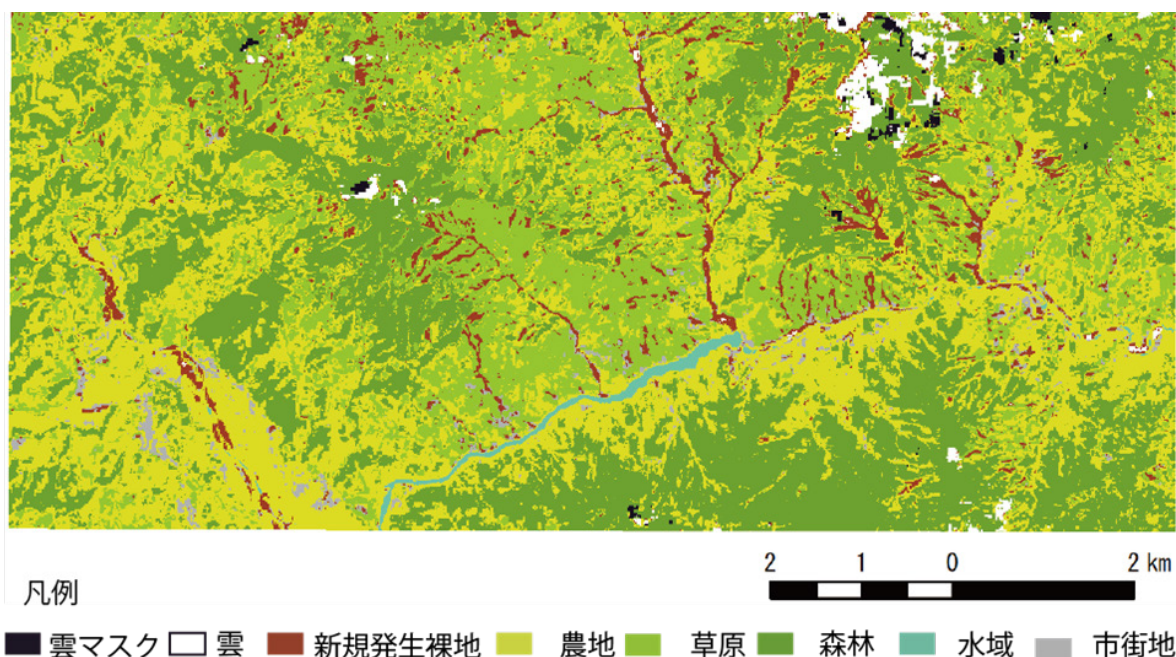


図 T01-3 斜面崩壊地抽出のための土地被覆分類図

る。

機械学習には、教師データとよばれるデータが必要である。通常の土地被覆分類では、水域、市街地、農地、草地、森林といった土地被覆クラスの教師データが必要になるが、これらに加えて斜面崩壊地の抽出では、新規に発生した裸地という土地被覆クラスが必要となる（図 T01-3）。

斜面崩壊地の抽出精度の評価

土地被覆分類で得られた斜面崩壊地の抽出精度を評価するためには、検証エリアを設定して、分類に用いた衛星画像よりも高い地上分解能の衛星データや空中写真を用いて新規の斜面崩壊地を判読し、ポリゴンデータを作成する必要がある。このデータを土地被覆分類結果に重ねて、その正誤率で抽出精度を評価する。ここでの誤った分類結果であった割合はコミッションエラーとよばれる。すなわち、高分解能衛星データの判読結果が正しいとした場合の斜面崩壊地の分類（抽出）精度ということになる。これに対して、分類結果が正しいとした場合に、判読が異なる分類クラスとして判読された割合をオMISSIONエラーという。

機械学習による土地被覆分類と森林撈乱の抽出

この上の Recipe は

Recipe - P04 斜面崩壊リスクマップの作成

森林には斜面崩壊を抑制する機能があるが、これまで森林であった場所が農地や開発地などにより異なる土地被覆に変わると、こうした機能が失われると考えられる。しかし、多くの開発途上国では過去の土地被覆の変遷が十分に把握されていないのが現状である。本 Recipe では、過去からのデータが利用可能な衛星画像を時系列解析に用い、植生の時系列変化情報を取り出して、学習データと機械学習モデルを利用することにより、森林撈乱と土地被覆を毎年の頻度で抽出・分類する手法を紹介する。本手法で得られる土地被覆の変遷は、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土砂災害等のリスクを評価する上で重要な情報になる。

過去の土地被覆の変遷が土砂災害リスクに与える影響

山岳地における土砂災害のリスク評価は、対策の立案や被害の軽減にとって重要である。土砂災害の発生には、降水などの誘因の他に斜面傾斜や土地被覆などが素因として関わっている（図 T02-1）。森林には斜面崩壊を抑制する機能があるが、これまで森林であった場所が農地や開発地などにより異なる土地被覆に変わると、こうした機能が失われると考えられる。また、農地などから森林に回復して時間が経っていない場合、斜面崩壊を抑制する機能が低く、土砂災害が発生するリスクが高ま



図 T02-1 様々な誘因や素因による土砂災害の発生

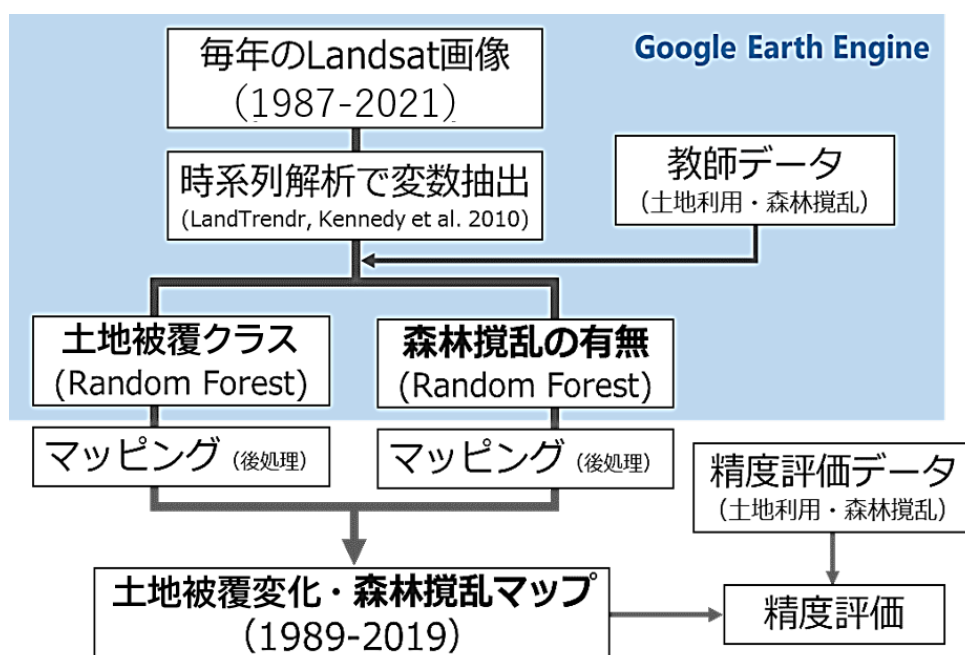


図 T02-2 土地被覆変化・森林撓乱マップの作成手法

る。したがって、大雨時に土砂災害が発生するリスクを評価するためには、土地被覆が過去にどのように移り変わったのかを知ることが重要である。しかし、多くの開発途上国では過去の土地被覆の変遷が十分に把握されていないのが現状である。

衛星画像を利用した過去の土地被覆の変遷の推定手法

本 Recipe では、過去のデータが利用可能な衛星画像を時系列解析に用いて植生の時系列変化情報を取り出し、機械学習モデルを応用することにより、森林撓乱と土地被覆を毎年の頻度で抽出・分類する手法（図 T02-2）を紹介する。

本手法では、土地被覆と森林撓乱を把握するための衛星データとして、過去 30 年以上のデータが利用できる地上分解能 30 m の Landsat 衛星画像を用いる。それぞれの年ごとにピクセル位置の各バンドの中央値を計算し合成画像を作成する。合成画像から 5 つの異なる植生指数（Normalized Burn Ratio: NBR¹⁾、Tasseled Cap Brightness: TCB, Greenness: TCG, Wetness: TCW, TCA: Angle）を計算する。このうち、森林撓乱への感度が高い NBR の値に対して、時系列解析アルゴリズム²⁾を適用して各ピクセル位置での変化候補年を抽出する。変化候補年で土地被覆・森林撓乱が時系列的な区間に区分されると、区間それぞれについて植生数値を用いて、機械学習モデルの一つであるランダムフォレスト

INFO

1) Key CH, Benson NC (2006) Landscape assessment (LA): Sampling and analysis methods. Fort Collins, CO, USA

INFO

2) Kennedy RE, Yang Z, Cohen WB (2010) Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr - Temporal segmentation algorithms. Remote Sens Environ 114: 2897-2910

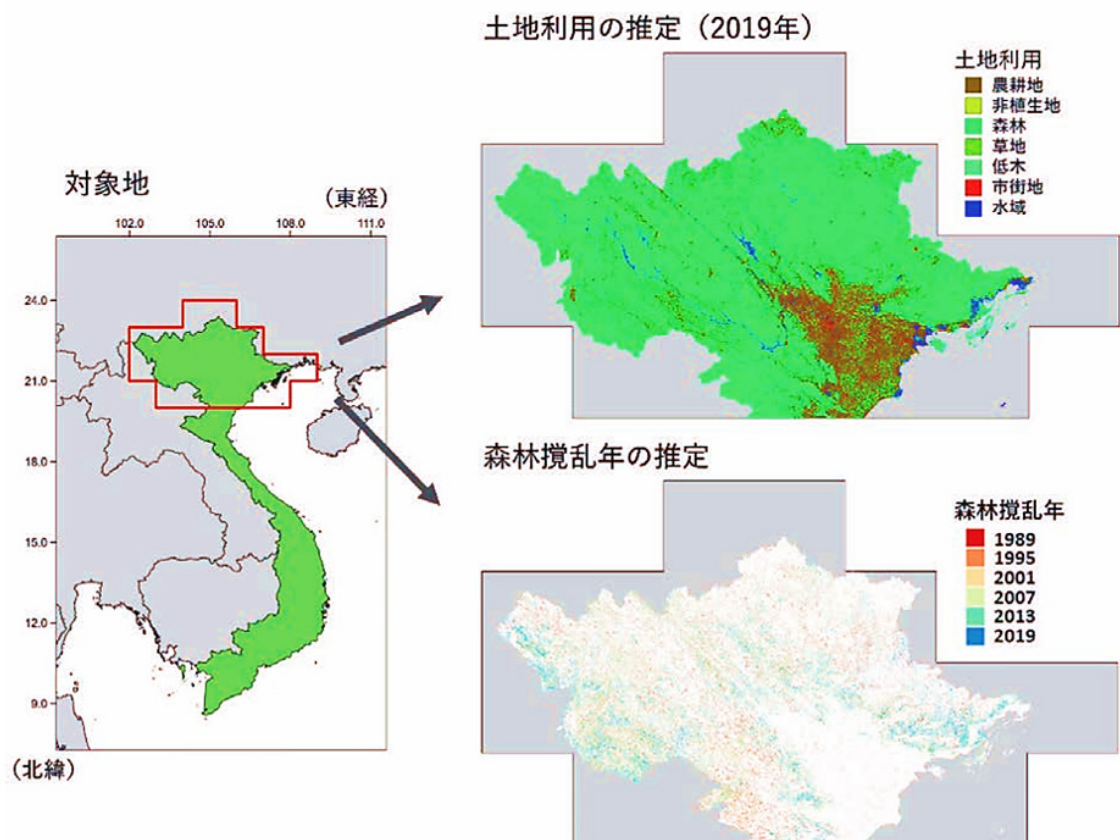


図 T02-3 ベトナム北部での土地被覆分類（右上）と森林内での攪乱の発生時期の特定（右下）

トで土地被覆クラス及び攪乱あり / なしを分類する。ここで、モデル作成のために教師データが必要であるため、教師データを取得する地点を抽出し、目視判読で土地被覆クラスと攪乱あり / なしをラベルづけして教師データとする。作成したランダムフォレストモデルで対象地全体を分類後、大きさ 5 ピクセル以下の森林攪乱を誤抽出としてフィルタし、現実的でない土地被覆変化のパターンを修正する。精度評価には、層化無作為抽出で取得して目視判読によってラベルづけしたサンプルを利用する。

本手法を適用した事例として、近年、斜面崩壊による土砂災害が多発しているベトナム北部山岳地を対象に森林攪乱に伴う土地被覆変化を推定した。1987–2021 年の間に取得された Landsat 衛星画像を用い、1,400 地点を層化無作為サンプリングで抽出し、土地被覆クラスと攪乱あり / なしの目視判読により教師データとした。精度評価には、385 地点の教師データを利用した。その結果、1989–2019 年の毎年の森林攪乱と土地利用をマッピングすることができた（図 T02-3）。土地被覆の推移に

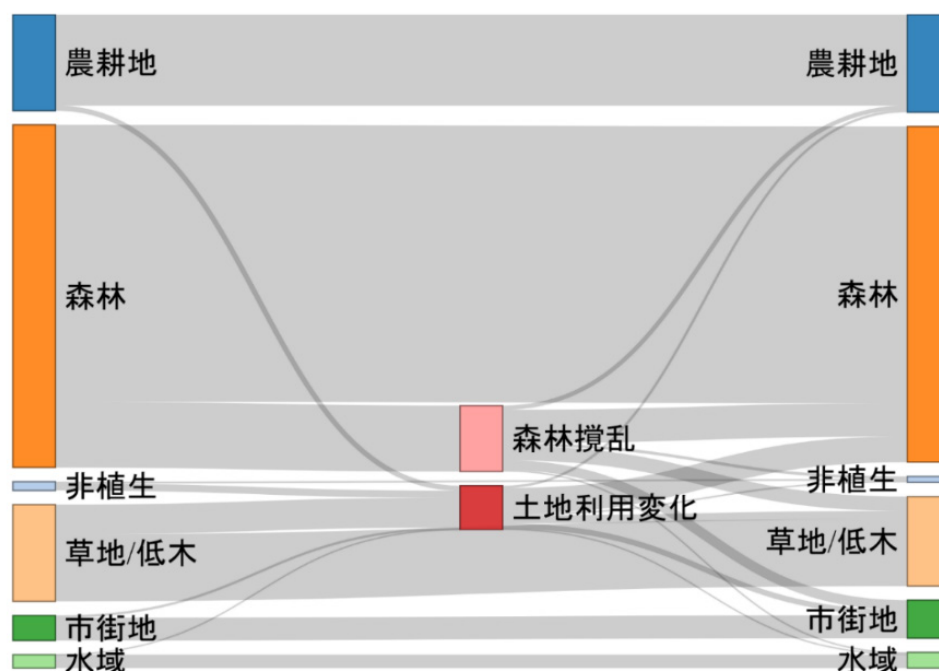


図 T02-4 推定された期初から期末（1989–2019 年）にかけての
土地被覆面積の変遷（図の縦幅が各クラスの面積比率）
各土地被覆の期初（左）から期末（右）にかけての推移と期間中におこった変化
（森林攪乱と土地被覆）の面積比率を縦幅で表現している

着目すると、伐採などの森林攪乱の後に土地被覆クラスが変化せずに森林に戻る割合が一番大きかった。森林攪乱後に土地被覆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・農耕地が次いで多かった。また、逆に農地から森林へ回復する面積も多いことが明らかになった。森林以外の土地被覆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被覆クラスへと変化した面積とほぼ同じであり、森林面積に大きな変化はなかった（図 T02-4）。こうした衛星画像を利用した手法により、土地被覆の変遷を捉えることが可能になる。

土砂災害のリスク評価への応用

本手法を利用することで、森林を対象とした土地被覆の変遷を広域にマッピングすることができる。マッピングした山岳地での土地被覆の変遷とこれまで発生した土砂災害との関係性を調べることで、災害が起こりやすいパターンを特定し、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土砂災害のリスクマップ作成に役立てることができる。

斜面崩壊発生時の雨量の評価

この上の Recipe は

Recipe - P04 斜面崩壊リスクマップの作成

降雨による斜面崩壊は、透水層の空隙への雨水の浸入と、透水層と不透水層間の地下水の増加により発生する。斜面崩壊がその地域でどのような降雨で引き起こされるのかは、関連する災害リスクの評価の重要な指標のひとつである。開発途上国では地上の気象観測施設やレーダー観測システムが未整備のため、崩壊発生時の雨量を評価することが困難であったが、近年、衛星観測による衛星全球降水マップが公開され、斜面崩壊が発生する危険性の高い降雨を判定できる可能性が出てきた。長期の衛星観測雨量データから斜面崩壊が発生した時の雨量と降雨パターンを探索することにより、斜面崩壊の危険性の高い雨量と降雨パターンが明らかになる。

衛星観測雨量データ (GSMaP)

斜面崩壊がその地域でどのような降雨で引き起こされるのかは、関連する災害リスクの評価の重要な指標のひとつである。開発途上国では地上の気象観測施設が日本ほど充実していないことや、レーダー観測により得られる空間雨量データが未整備であることから、崩壊発生時の雨量を評価することが困難であった。

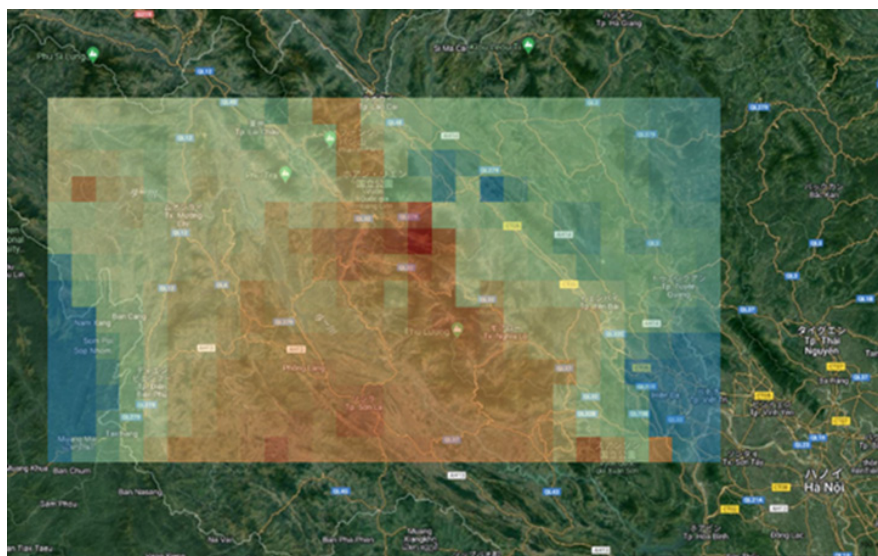


図 T03-1 GSMaP より取得した衛星観測による時間雨量データ

近年、宇宙航空研究開発機構（JAXA）による衛星観測雨量データを利用して、斜面崩壊が発生する危険性の高い降雨を判定できる可能性が出てきた。衛星観測雨量データは、JAXA により衛星全球降水マップ（GSMaP：Global Satellite Mapping of Precipitation）¹⁾として2017年から公開されている。GSMaPは、複数のマイクロ波放射計観測データを用いて、信頼できる降水物理モデルに基づいた降水強度推定アルゴリズムにより、降雨レーダ、静止衛星の赤外放射計データをも総合的に利用した全球の高精度高分解能降水マップである。緯度経度0.1°グリッド、1時間の分解能の全球降水マップを作成・提供している（図 T03-1）。GSMaPのサイトに登録することで、2000年以降の必要なエリアの任意の期間の時間雨量データを入手し利用することが可能になる。雨量データの入手が困難な地域においても利用可能であるため、気象観測網が十分に整備されていない開発途上国においての利用が期待されている。

以上のように、衛星観測雨量データは地域によらず入手できる利点があるが、強い雨を過小評価するという技術的な課題があることが指摘されている²⁾。そのため、降雨強度の高い雨がトリガーとなる崩壊に起因する災害に関しては、災害発生リスクの高い降雨の特徴を正確に評価できない危険性がある。したがって、この過小評価の課題を考慮したうえで、斜面崩壊の発生するリスクの高い雨量を、衛星観測雨量を用いて評価する必要がある。

衛星観測雨量データの評価

衛星観測雨量データを用いて斜面崩壊発生時の雨量を評価するためには、衛星観測雨量データが地上での実測値と一致しているかが重要である。そこで、ベトナムを対象として検証を行う。実測値ベースの空間雨量データとして、文部科学省の補助事業により開発・運用されているデータ統合解析システム（DIAS）の下で収集・提供されている0.1°グリッド（約10km）日降水量データがある。この実測値ベースの雨量データは、REMOCLIC³⁾により1980年から2010年までの日雨量データが作成され、DIASにより公開されている（図 T03-2）。2010年以降はデータが整備されていないため、現在の崩壊発生危険雨量の評価には利用できない。

そこで、衛星観測雨量データと実測値ベース雨量データがともに存在する2000年から2010年のデータを用いて衛星観測雨量と実測値ベース雨量を比較し、衛星観測雨量で過小評価が発生する雨量の閾値を調べた。実測値ベースの雨量データは日単位で整備されているため、衛星観

INFO

1) GSMaP
https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/index_j.htm

INFO

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

INFO

3) REMOCLIC. (2016). VnGP - ベトナム国グリッド日降水量データ (0.10° × 0.10°) [Data set]. データ統合・解析システム (DIAS).
<https://doi.org/10.20783/DIAS.270>

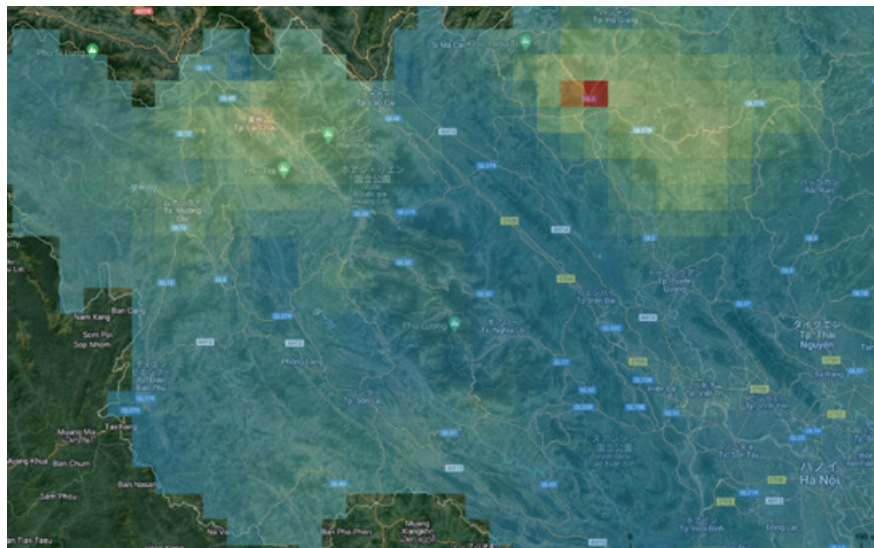


図 T03-2 DIAS より取得した実測値ベースの日雨量データ

測雨量を日雨量に換算して両者を比較した。比較は2023年8月上旬の豪雨により多数の斜面崩壊が発生し、道路の寸断や人的被害が発生したベトナムのイエンバイ省ムーカンチャイ郡ホーボン村を中心とするDIASに対応するグリッドで行った。比較の結果、比較した全てのグリッドにおいて、日雨量が90パーセンタイル値を超えるあたりで衛星観測雨量データは実

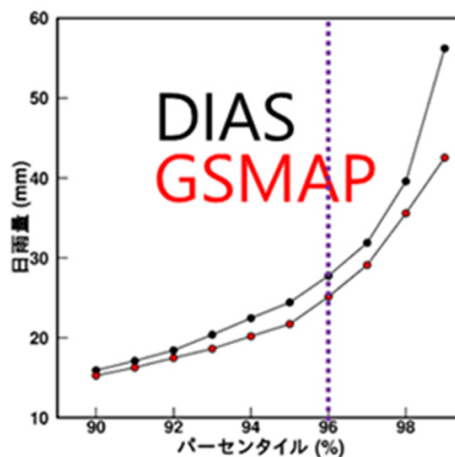


図 T03-3 実測値ベースの雨量データ (DIAS) と衛星観測雨量データ (GSMaP) の比較結果の例

測値ベースのDIASの雨量データより小さな値を取り、日雨量が96パーセンタイル値を超えるあたりで、実測値ベースの雨量データと衛星観測雨量データともに雨量の増加率が顕著に高くなることがわかった (図T03-3)。

斜面崩壊と雨量との関係

斜面崩壊は、地形・地質、植生、水文環境といった素因と、地震や降雨、人口改変といった誘因が影響しあって発生する。斜面は、水を通し

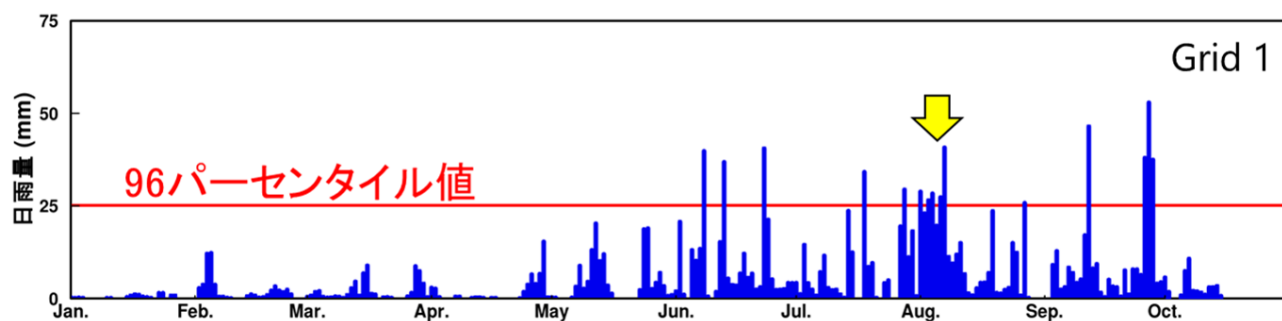


図 T03-4 衛星観測による日雨量（2023 年 1 月～ 10 月）

黄色矢印は崩壊が発生したと推定される期間を示す。崩壊が発生した期間は衛星雨量の過小評価が発生する閾値である 96 パーセンタイル値を超える雨量が数日間まとまって発生していた。1～2 日間だけ 96 パーセンタイル値を超える雨では崩壊は発生していない。

やすい土層（透水層）の下に水を通しにくい土層（不透水層）が存在する。降雨による斜面崩壊は、透水層の空隙に雨水が入り込んで透水層の自重が増すとともに、さらに強い雨によって透水層と不透水層の層境に雨水が地下水となって入り込み、透水層を支える層境の抵抗力が低下することにより発生する。どの程度の降雨が続くことにより、滑ろうとする力（滑動力）が抵抗力を上回るのか、その限界を探る必要がある。

ベトナムの事例では、2023 年 8 月上旬に 96 パーセンタイル値に匹敵する雨が数日間まとまって降っており、この雨により斜面崩壊が発生した可能性が高い。このことから衛星観測雨量データで雨量の増加率が顕著に高くなるパーセンタイル値の雨量を閾値として、言い換えると、ごく希にしか起こらない強雨の雨量を閾値として、崩壊発生危険雨量を判定できると考えられる（図 T03-4）。一方で、1～2 日間だけ 96 パーセンタイル値の雨量を超える雨が他の時期に複数観測されているが、それらの雨の期間には崩壊は発生していない。このことは、この地域においては、数日間の連続した雨が崩壊を引き起こす可能性が高いことを示している。そのため、3 日間雨量などのより長期間の雨の積算値と崩壊の発生との関係を精査することで、より適切な閾値を明らかにする必要がある。

斜面崩壊に対するリスクマップの作成

この上の Recipe は

Recipe - P04 斜面崩壊リスクマップの作成

開発途上国においては、斜面崩壊に対する危険度の評価を行うための空間情報が未整備であるため、崩壊発生の危険度を把握することが難しい。そこで、リモートセンシングデータとそのデータを用いて得られる空間情報、公開データを用いて、機械学習モデルにより推定した森林撓乱と土地利用変化をもとに斜面崩壊に対するリスクマップを作成する方法を示す。リスクマップの作成においては、衛星画像より目視判読した崩壊地に対し、DEM と DEM から算出した傾斜と方位、土地利用、道路、地質を説明変数として、機械学習により重要度を算出する。ランダムフォレストを用いて教師あり分類を行い、その結果をもとに構築されたモデルからリスク評価の結果をマップ化する。

リモートセンシングによる災害発生の危険度の把握

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て信頼性の高い危険度把握技術の開発が必要である。本 Recipe では、リモートセンシングデータ、地形 (DEM)、地質情報、斜面崩壊や林地荒廃に関する現地情報、時系列解析及び機械学習モデルにより衛星画像から推定した森林撓乱と土地利用変化をもとに、斜面崩壊に対するリスクマップを作成する方法を示す。

リスクマップ作成に使用するデータ

(1) 斜面崩壊地の判読

Google Maps の衛星画像を用いてフリーの GIS ソフトの QGIS 上で豪雨にともなう斜面崩壊発生個所を目視判読で特定し、ポリゴンデータとして抽出する (図 T04-1)。

(2) DEM

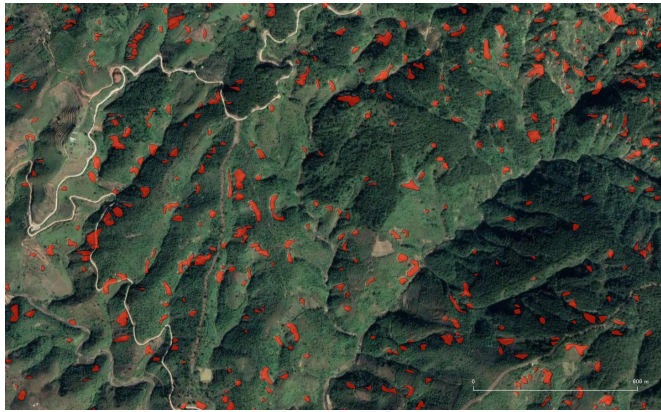


図 T04-1 斜面崩壊地の目視判読

開発途上国によって DEM の整備状況はまちまちである。対象となるエリアの DEM が存在する場合にはそのデータを使えばよいが、もし DEM が存在しない場合には、衛星データで作成された DEM を用いることになる。光学衛星を使ったデータの場合、正確には DEM ではなく、地上物の高さを含む DSM (Digital Surface Model) である。例えば森林では、地面ではなく林冠表面の標高を表している。無償の DEM としては、スペースシャトルミッションで作成された SRTM、SRTM ではシステム上山岳地で欠損データが発生しやすいためこれを Aster G-DEM や ALOS の標高データで補完した NASADEM、JAXA が ALOS のデータから作成した AW3D30 などがある。これらの DEM の解像度は 1 秒で、赤道付近では約 30 m に相当する。また、これより解像度の高い DEM としては、有償の AW3D 標準版地形データがある。AW3D 標準版地形データは、JAXA の陸域観測技術衛星「だいち (ALOS)」の 3D 立体視に特化したセンサーで撮影された衛星画像を使い、世界最高水準の 2.5m/5m 解像度で世界中の陸地の起伏を表現した 3D 地図である。

用意した DEM を用いて、GIS ソフト等で傾斜、方位を算出する。また、CS 立体図¹⁾及び等高線図を作成し(図 T04-2)、判読した崩壊地の地形状況についても把握する。

(3) 土地利用

土地利用状況については、対象となるエリアに対して既存の土地利用図／土地被覆図がある場合は、そのデータを利用する。その場合、土地利用図／土地被覆図が比較的最近に作られたもので、現状を表していることが利用の条件となる。利用可能な土地利用図／土地被覆図が存在しない場合、QGIS 等を用いて Google Maps の衛星画像から土地利用(森林、若齢林、棚田、草地、集落等)を目視判読し、ポリゴンデータを作成する。

(4) 地質

INFO

1) CS 立体図とは DEM (標高図) より傾斜 (Slope) 図と曲率 (Curvature) 図を作成し、それぞれ彩色して透過させることにより、地形を立体的に表現した図。尾根筋が暖色、谷筋が寒色、急傾斜および低標高が暗色、緩傾斜及び高標高が明色で表現されている。

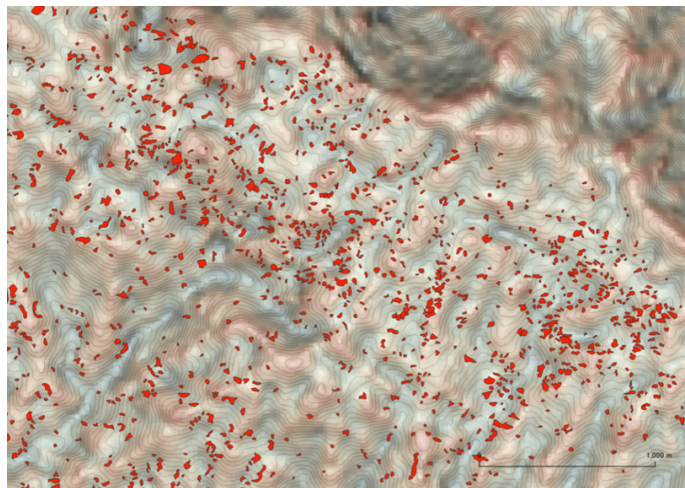


図 T04-2 DEM から作成した CS 立体図及び等高線図

対象となるエリアに対して既存の地質情報がある場合は、そのデータを利用する。そうでない場合には、各国の地質調査所あるいは国土数値情報を作成している機関が用意している地質図を利用するか、英国地質調査所が呼びかけ、全世界の地質調査研究機関が参画して構築された全地球地質図ポータル「OneGeology」²⁾ に用意された 100 万分の 1 世界地質図を利用する。

(5) 道路

道路網についても、既存のデータがある場合はそれを用いることになるが、既存のデータがない場合には QGIS 等を用いて Google Maps の衛星画像から目視判読し、ポリラインデータを作成する。

リスクマップの作成方法

衛星画像より目視判読した崩壊地に対し、DEM 及び DEM から算出した傾斜と方位、土地利用、道路、地質を崩壊要因（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する。具体的には、対象とするエリアを 10m メッシュに分割し、メッシュごとに崩壊地の有無（目的変数）及び各要因項目（説明変数：土地利用、標高、傾斜、方位、地質、道路等）を集計することでデータセットを作成し、機械学習に使用する（図 T04-3）。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

INFO

2) OneGeology Portal
<https://portal.onegeology.org/OnegeologyGlobal/>

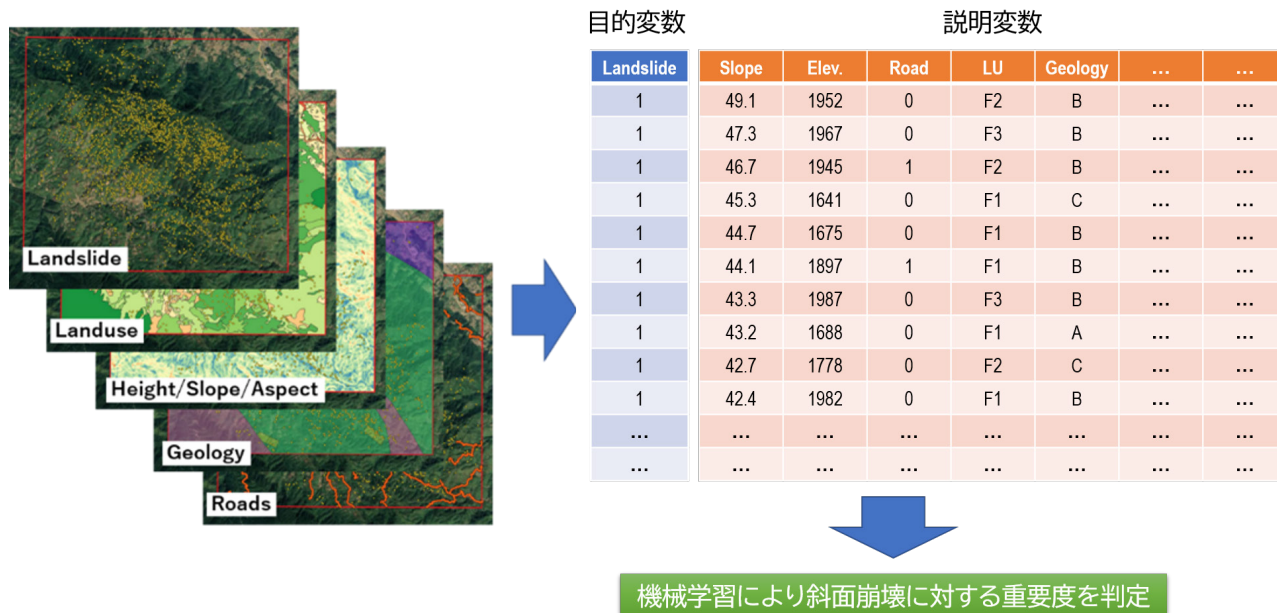


図 T04-3 リスクマップ作成のための機械学習による重要度の判定

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。

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、重要であるかを検討しておく必要があるため、崩壊に対する各要因の重要度を機械学習（決定木及びランダムフォレスト）の教師なし分類で推定する。評価結果のマップ化には、ランダムフォレストを利用する。それぞれの調査範囲で整理したデータセットを用いて教師あり分類を行い、その結果をもとに構築されたモデルからリスク評価を行い、結果をマップ化する（図 T04-4）。



図 T04-4 斜面崩壊のリスクマップ

6

第6章 日本の森林整備・ 治山技術の適用



日本の森林整備・治山技術は、長い山地災害との闘いの中で培われてきた。日本の治山事業は、森林の維持造成を通じて、山地災害から国民の生命・財産を保全するとともに、水源の涵養、生活環境の保全・形成等を図るための重要な国土保全政策の一つである。この技術と知見を、近年気候変動の影響により自然災害が激甚化する開発途上国に適用するため、防災・減災に向けた対策の対象となる地域住民の意識を明らかにする調査手法を紹介し、崩壊発生件数の多い道路法面での崩壊発生に係る数値解析のためのパラメータの取得方法について説明する。さらに、日本の治山施設の開発途上国への適用性を検討し、土地利用の判断基準となる森林管理計画の策定手法について解説する。

Recipe - T05 地域住民の防災・減災に対する意識調査

Recipe - T06 道路法面崩壊の発生に係る諸条件

Recipe - T07 日本の治山施設の効果的な適用

Recipe - T08 森林を活用した防災・減災のための森林計画の策定

地域住民の防災・減災に対する意識調査

この上の Recipe は

Recipe - P05 日本の森林整備・治山技術の適用

日本の治山技術を、対象とする開発途上国の自然環境条件や社会情勢を考慮しながら適用するためには、対象地域における住民の土地利用の実態や防災意識、防災行動などを把握することが重要である。地域住民の自然災害リスクを軽減する森林の機能に対する理解、政府に対する防災・減災対策への期待を掘り起こすための調査や、自然災害が発生した場合の経済的被害、生活に対する影響、防災対策について、地域住民がどのように考え、どのように行動するつもりなのかについての聞き取り調査を行い、地域住民の防災・減災に対する意識を明らかにする。

地域住民への意識調査の必要性

日本の治山技術を、対象とする開発途上国の自然環境条件や社会情勢を考慮しながら適用するためには、対象地域における住民の土地利用の実態や防災意識、防災行動などを把握することが重要である。そこで、地域住民に対して、社会経済状況、森林防災機能への認識、政府へのニーズ・期待、防災意識、防災行動といった項目について聞き取り調査を実施する必要がある（図 T05-1）。

地域住民の森林の防災機能と政府への期待に対する調査

鉄砲水、土石流、斜面崩壊のリスクを軽減する森林の機能について地域住民の期待・意識を明らかにするためには、以下のような質問が考えられる。

- ・良好な状態の森林はリスクを軽減する効果があるか？
- ・河川沿いでの伐採の制限はリスクを軽減するのに効果的であるか？
- ・リスクを軽減するには、急傾斜地での伐採を制限することが効果的であるか？
- ・森林の農地への転用の制限はリスクを軽減するのに効果的であるか？

回答は、「とても賛成する」、「やや賛成する」、「どちらとも言えない」、「やや賛成しない」、「賛成しない」というように、まずは選択式で回答

してもらい、加えて、その効果に対する考えを記述式で記入してもらおうとよい。

ベトナムでの調査では、森林の防災機能に対して、9割以上の回答者がとても賛成すると回答した。森林が伐採されると自然災害が多発し、土壌が流出し、鉄砲水が発生することを住民が認識していることが明らかになっている。しかし、一般的には、森林が防災に対して重要であることを認識している一方で、農地の拡大を望んでいるという実態も明らかになっている。これは、多くの開発途上国で同様の傾向が見られると予想される。

また、防災・減災に対する政府への期待を明らかにするためには、「森林面積の増加」、「災害防止のための恒久的または一時的な工事」、「防災教育の強化」、「大雨に対する気象警報の提供」、「大雨時の避難施設の整備」、「被災者への支援」といった項目について期待するかどうかを質問するとよい。

災害への主観危険度、防災コスト、防災行動への認識

住民の主観危険度や災害被害の重大さ、防災のコストの認識が防災行動に繋がるかということは、多くの防災研究で検討されている。

これから10年以内に、鉄砲水、土石流、地すべりといった自然災害が発生する可能性についてどの程度考えているか、自分の建物を襲う可能性、自分の農地を襲う可能性、自分の耐久資産を襲う可能性について質問する。また、自然災害が発生した場合の経済的被害に対する考えや、生命や生活に対する影響も質問するとよい。

防止対策の有効性についての質問は、鉄砲水や土砂崩れから自宅を守るために、以下の対策がどの程度で有効であると評価するかというものである。以下の対策の効果の程度とかかるコストの予想、自分自身でその対策を取るかどうかについて質問する。

- ・ 知識や経験を他の人と共有する
- ・ 気象情報を積極的に収集する
- ・ 浸水に備えて1階にある貴重品を運び出す
- ・ 危険な場所や避難場所をよく知る
- ・ Villageからの勧告があった場合は早めに避難する
- ・ 浸水に備えて道具（懐中電灯、鋤、レインコートなど）、食料、薬を準備する
- ・ 住宅を増強する
- ・ 近隣住民と連携し、助け合う



図 T05-1 住民調査の様子

道路法面崩壊の発生に係る諸条件

この上の Recipe は

Recipe - P05 日本の森林整備・治山技術の適用

開発途上国の山岳地域においては、道路沿いで切取法面崩壊が頻繁に見られ、道路開設による斜面災害リスクの上昇、流出土砂量の増加等が懸念される。日本では、短い間隔で横断溝等を設けて側溝水を分散的に排水することが推奨されているが、開発途上国では、側溝水はすべて溪流横断部の暗渠で排水されることが多い。道路開設による斜面崩壊リスクの上昇を科学的・定量的に評価するには、斜面への降雨浸透とそれによる土のせん断強度低下を再現する数値解析を行う必要がある。このような数値解析を実行するには、現地での斜面崩壊プロセスが数値解析で対象としている崩壊プロセスと合致するかを確認したうえで、パラメータとなる斜面の諸条件を把握する必要がある。

道路開設による斜面崩壊リスクの上昇

山岳地域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。生産された農産物や木材を効率的に運搬し、適切に森林を管理するために、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。加えて、開発途上国では、伝統的に山岳地域に住居を構える民族も多く、山岳地の道路は生活に欠かせないものとして、現地の人々による主体的な維持管理が行われている。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開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。道路沿いでは切取法面崩壊が頻繁に見られ、道路開設による斜面災害リスクの上昇、流出土砂量の増加等が懸念される（図 T06-1）。



図 T06-1 道路開設による斜面崩壊

開発途上国における道路法面と排水施設

道路開設に伴う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”の状態に放置されるため、熱帯・亜熱帯地域特有の急速な有機物の分解や乾湿差、集中豪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。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。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。

排水溝の材料はコンクリート、石張、素掘りに大別され、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合もある。なお、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みられる。排水の基本的な考え方は、路面水や切取法面からの湧出水を側溝に集め、溪流横断部に設けた集水柵まで導水し、渓流水と共に暗渠で谷側に排水するというものである。日本の林道規程では、まとまった量の側溝水を1箇所に排水すると流末箇所の侵食につながるため、短い間隔で横断溝等を設けて側溝水を分散的に排水することが推奨されている。しかし、途上国では横断溝を設置せずに、側溝水はすべて溪流横断部の暗渠で排水されることが多い（図 T06-2）。溪流部の不安定土砂がごく少なければ溪流部に集中的に排水するという方針も一つの選択肢ではあるが、現地の降雨強度や山地斜面の流出係数、各暗渠の集水面積等から排水量を推定し、流末部の侵食に対する脆弱性等も考慮しながら横断溝による分散排水の必要性について検討する必要がある。ヒューム管内で土砂堆積を起こさないための暗渠の設置勾配は、直径60 cm程度のヒューム管の場合、20%程度となっている¹⁾。

INFO

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



図 T06-2 側溝、集水柵、暗渠による基本的な排水システム

数値解析のためのパラメータとなる斜面の諸条件

道路開設による斜面崩壊リスクの上昇を定量的に評価する方法の一つが、斜面への降雨浸透とそれによる土のせん断強度低下を再現する数値解析を、道路が開設された場合とされていない場合の両ケースに適用し、斜面の安全率の推移を比較・検証することである。このような数値解析には、現地での斜面崩壊プロセスが数値解析で対象としている崩壊プロセスと合致するかを確認したうえで、パラメータとなる斜面の諸条件(地形、土層の厚さ、透水性、土の物理性等)を把握する必要がある。

(1) 無人航空機空撮による DSM の作成

山地斜面の地形を把握するため、無人航空機 (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) による空撮を行い、画像解析によって DSM を作成する (図 T06-3)。本来、地形解析には DEM を用いるが、UAV では地上被覆物により DEM を作成できないため DSM で代用する。空撮写真上で認識可能な場所に対空標識を設置して GPS 測位で座標を取得し、その位置を GCP (Ground Control Point) とすることで、DSM に絶対座標を付与する。

作成した DSM により、調査測線 (斜面を縦断する測線) に沿った斜面傾斜を算定することが可能となる。

(2) 土壌断面調査

簡易動的コーン貫入試験は (5 ± 0.05) kg の重りを高さ (500 ± 5) mm から自由落下させることでコーンを地盤に貫入させ、10 cm 貫入させるために必要な落下回数 (Nd 値) を記録するもので、Nd 値は地盤の固さの指標となる。一般に土層は基岩層よりも Nd 値が低くなるが、土層と基岩層を分ける Nd 値の目安は調査地によって様々である。そこで、簡易動的コーン貫入試験における目安を得るため、測線の崩壊源頭部付近で、深さ約 2 m の垂直な土壌断面を露出させて土壌断面の観察を行う。

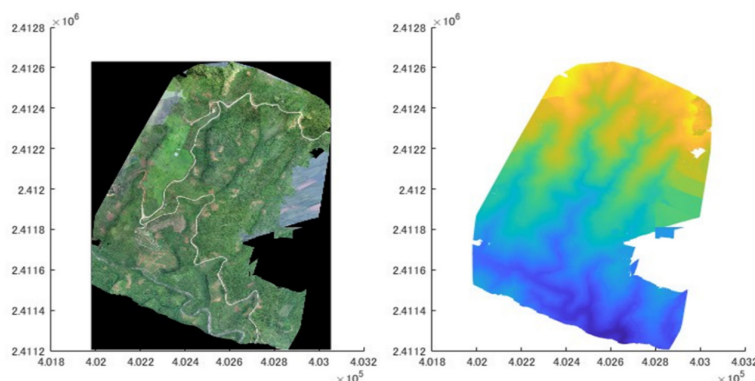


図 T06-3 UAV 空撮写真から作成したオルソ画像と DSM

(3) 簡易動的コーン貫入試験による土層厚さの推定

調査測線に沿って約 10 m 間隔で簡易動的コーン貫入試験を行い、土層の目安となる Nd 値を適用して各地点の土層厚さを推定する。

(4) 土層と基岩層における透水係数の測定

土壌断面調査を行った地点において、土層と基岩層からそれぞれサンプルを採取し、変水位透水試験により飽和透水係数を求める。土層については深さ 5 cm、15 cm、25 cm の 3 深度から各 1 サンプル、基岩層については深さ 140 cm から 3 サンプルを採取する。

(5) 土の物理性の測定

土壌断面調査を行った地点において、土層（深さ 80 cm）と基岩層（深さ 140 cm）からそれぞれサンプルを採取し、湿潤密度（単位体積重量）、乾燥密度、間隙率、粘着力、せん断抵抗角等の物理性を測定する。せん断抵抗角と粘着力は非圧密非排水三軸圧縮試験によって求める。

(6) 調査対象区間内全体における崩壊地点の記録と観察

切取法面崩壊の位置と規模をその発生形態を観察する。これにより、その地域に一般的に見られる崩壊形態が明らかになる。

数値解析による道路沿い斜面の安定性評価

現地で取得したパラメータを入力値とした数値解析により、道路沿い斜面の安定性を評価する。解析対象とする地形モデルは、(1) で取得した DSM から作成する。斜面の土層構造は、(2) の土壌断面調査、(3) の簡易動的コーン貫入試験結果をもとにモデル化し、(4) の透水係数の測定結果、(5) の土の物理性測定結果をもとに、各層に透水係数や土質定数等のパラメータを与える。実際には、1 集水域の中でも土層構造は多様であると考えられるが、データが限られている場合は一様であると仮定する。入力となる降雨パターンは、付近の雨量観測所のデータ等を利用する。数値解析手法は、斜面の水移動と安全率の低下を一体的に解析する浸透・変形連成解析が望ましいが、計算量が多くなって難しい場合には、粗い地形データを用いて水移動の解析を先に行い、飽和度が上昇しやすい高リスクの斜面を特定して、その断面を対象に変形解析を行う。道路の法面がなかった場合の地形モデルを再編して同様に数値解析を行い、道路がある場合と安全率の推移を比較すれば、道路の存在による安全率の低下が定量的に評価できる。

なお、このような数値解析では、土層の飽和度上昇を引き金とする表層崩壊を取り扱うことになるため、(6) の崩壊地点の多点的観察により、対象地域の切取法面崩壊の多くがその崩壊形態に合致するかを確認したうえで実施する。

日本の治山施設の効果的な適用

この上の Recipe は

Recipe - P05 日本の森林整備・治山技術の適用

日本では、治山施設が山地災害の防止、森林の維持造成、水源の涵養、生活環境の保全など、国土保全政策の重要な一環として機能しているが、開発途上国では治山施設は一般的ではなく、山地災害防止機能が十分に発揮されていない。その背景には、コストの問題や専門的な技術、知識の不足がある。開発途上国では、表面排水工の普及度合いは相対的に低い。鉄線で立方体状に組んだ籠内に石を詰めたふとんかごは十分に普及していることから、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。将来の高い適用性が予想される施設としては、山腹緑化工があげられる。山腹緑化工は植生の生育基盤を造成又は改善する緑化基礎工と、植生を導入する植生工に分けられる。

国土保全政策としての治山事業

日本の治山事業は、森林の維持造成を通じて、山地災害から国民の生命・財産を保全するとともに、水源の涵養、生活環境の保全・形成等を図るための重要な国土保全政策の一つである。日本の治山事業は100年以上の歴史を持ち、地域の森林環境の保全に大きく貢献してきた。治山事業の一環として実施される治山施設の配置には、山腹工、溪間工、治山ダムなどの構造物の設置や、生育状況が芳しくない森林の整備、崩壊斜面上の土留工、崩壊斜面に面した溪流の縦横断侵食を防止する治山ダム（谷止工）等がある。これらの構造物は、長期的に森林の形成に寄与しつつ、下流への過剰な土砂流出を抑制するための防災施設としても位置づけられる¹⁾。

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

アジアで普及するふとんかご

アジアの開発途上国では治山施設として、ふとんかご（角型じゃかご）

INFO

1) 林野庁森林整備部治山課
(2022) 治山のしおりー国土
強靱化に向けてー

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。開発途上国でふとんかごが普及している背景には、主に3つの理由が挙げられる。第1に、ふとんかごは低コストであること、第2に、必要な材料の調達が容易であること、第3に、施工性が良く工期が短いことである。これらの条件は経済状況に問題を抱える開発途上国にとって重要なポイントである。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。

開発途上国ではふとんかごが普及しているのに対し、表面排水工の普及度合いは相対的に低い。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の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。

開発途上国への適用が期待される治山施設

林野庁の治山技術基準は、技術水準の向上と事業の合理化を図ることを目的として、森林整備保全事業における計画、調査、設計、施工のための技術上の基本事項を定めている²⁾。最新の改訂は令和5年5月1日に行われ、内容には総則や山地治山、防災林造成、地すべり防止などが含まれる。このうち山地治山事業編では、山地治山事業の基本理念とともに使用される治山施設の適正な選択と配置のための指針が示されている。具体的な治山施設は、溪間工（治山ダム、護岸工、水制工、流路工）と山腹工（山腹基礎工、山腹緑化工、落石防止工）に分類されるが、それらはさらに細分化され、全体では表T07-1のとおり28種類の治山施設が示されている。

日本の個々の既存施設の開発途上国での適用性を、1) 現地確認、2) 材料コスト、3) 施工技術 の3点で、◎、○、△、×の4段階で評価する（表T07-1）。同表の中では、のり切り工及び鉄線かご土留工（＝ふとんかご）は材料コストや施工技術の観点で高評価であり、実際にベトナム国内での普及が進んでいる。一方で、治山ダム工等の溪間工は大量のコンクリートが必要でコスト高となるため、その普及には課題が残

INFO

2) 林野庁（2023）治山技術基準（総則・山地治山編）

表 T07-1 日本の既存治山施設の一覧と開発途上国での適用性に関する評価

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

る。

将来に高い適用性が予想される施設として山腹緑化工があげられる。山腹緑化工は、斜面の植生を回復させ、植生による被覆効果及び根系の緊縛効果により斜面の安定を図ることを目的とする施設であり、荒廃地における森林回復において有効な施設である。植生の生育基盤を造成又は改善する緑化基礎工と、植生を導入する植生工（実播工・植栽工）に



図 T07-1 適用が期待される山腹緑化工（左：柵工、右：筋工）

分けられるが、ここでは、地域を選ばず汎用性の高い前者の緑化基礎工に注目する。緑化基礎工は、山腹荒廃地における斜面の安定や緑化を目的として設置される施設であり、柵工、筋工、伏工、軽量のり砕工等の工種からなる（図 T07-1）。この方法は、低コストで行える点、現地で入手しやすい資材を使用できる点、そして技術的に複雑でないため施工が容易である点が特徴で、これらは、ベトナムでふとんかごが普及した理由と非常に似ている。

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

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

柵工と筋工の類似点は、どちらも山腹斜面を保護し、植物の生育を促進するための緑化基礎工として機能する点であり、またコンクリートを使用しないことから、材料調達性において高い優位性を持つ。両者の違いは、柵工は主に表面の土砂の動きを防ぐのに対し、筋工は斜面の雨水を分散させることにより広範囲での土の侵食を防ぎ、より広範囲にわたる植生の促進に貢献する。また、構造的に柵工は柵としての形状をしており、筋工は斜面に沿った階段状の形状をしている点に違いがある。

森林を活用した防災・減災のための森林計画の策定

この上の Recipe は

Recipe - P05 日本の森林整備・治山技術の適用

開発途上国における山岳地域では、生計向上のための農地拡大により森林が開発されることが多く、特に防災に関する伝統的な土地利用のルールが軽視される傾向にある。そのため、防災を考慮に入れた土地利用計画の立案には、同時に森林計画も立てる必要がある。森林計画には、現状評価、目標設定、管理活動の計画、モニタリングと評価、関係者の参加、法的・政策的枠組みといった要素が含まれる。森林を活用した防災・減災に配慮した森林計画の策定には、防災と生計の両立、斜面崩壊の危険度が高い斜面への積極的な森林の維持・造成、保護林の壮齢林化による防災機能の強化、生産林の伐採後の裸地期間の短縮、斜面の荒廃度に応じた治山施設の導入を考慮する必要がある。

森林計画とは？

森林計画とは、森林の保護、管理、利用、再生を計画的かつ持続可能に行うための具体的な指針や戦略を策定するプロセスである。森林計画の主な目的は、森林資源の持続可能な利用と生態系の保全を両立させることである。森林計画には、現状評価、目標設定、管理活動の計画、モニタリングと評価、関係者の参加、法的・政策的枠組みといった要素が含まれる。

現状評価：森林の現在の状態を詳細に評価する。これには、森林の面積、樹種構成、樹齢構成、生物多様性、土壌の質、水資源、森林の健康状態などが含まれる。

目標設定：短期的及び長期的な管理目標を設定する。これには、木材生産、レクリエーション、野生生物の保護、水資源の保護、生態系サービスの提供などの目標が含まれる。

管理活動の計画：設定した目標を達成するために必要な具体的な管理活動を計画する。これには、植林、間伐、選択伐、伐採後の再生、害虫・病害対策、防火対策、レクリエーション施設の整備などが含まれる。

モニタリングと評価：計画の実施状況を定期的にモニタリングし、成果を評価する。必要に応じて、計画を修正し、管理方法を改善する。

関係者の参加：地域住民、森林所有者、政府機関、企業、NGO など、関係するすべてのステークホルダーが計画の策定と実施に参加すること

が重要である。これにより、計画の実行可能性が高まり、地域社会の支持を得ることができる。

法的・政策的枠組み：森林計画は、国や地域の法規制及び政策に基づいて策定される。これにより、計画の実施が法的に支援され、遵守が確保される。

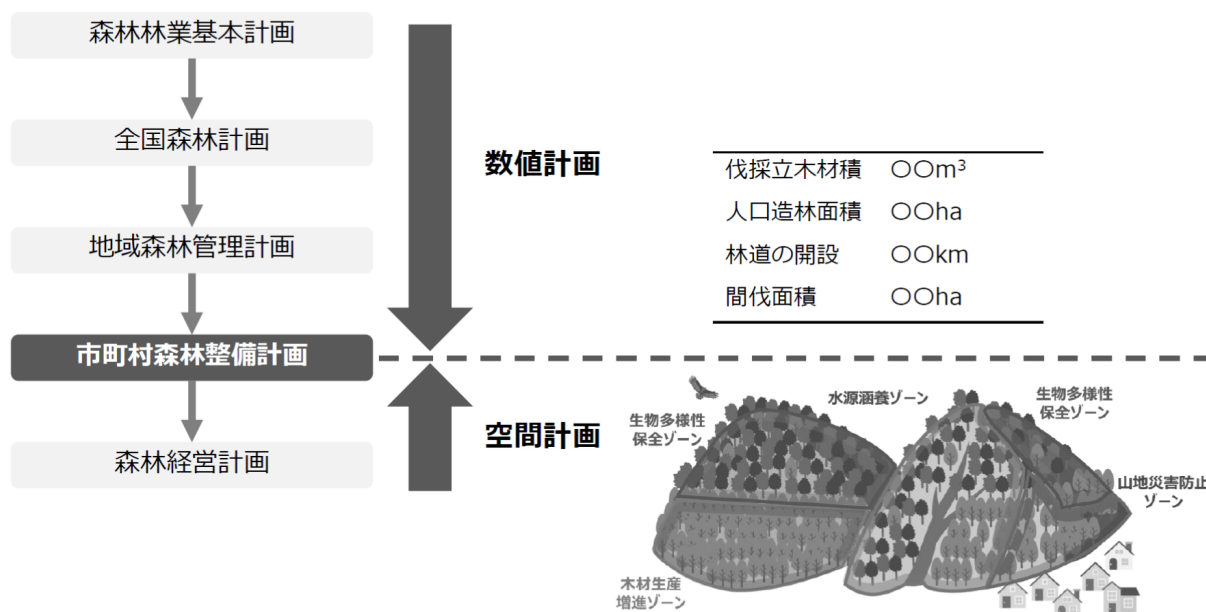
森林計画は、環境保護、経済的利益、社会的利益をバランスよく実現するための重要なツールであり、持続可能な森林管理を推進するための基盤となる。

森林計画は、空間スケールと時間スケールによって立案される計画が異なってくる。空間スケールとしては、全国スケールから行政の単位に応じたスケール、コミュニティレベルで管理を行うスケール、植林や伐採を行う林分スケールまで、様々な空間スケールが考えられる。また、時間スケールとしては、数十年、場合によっては 100 年といった理念やビジョン、ゾーニングを達成するのに要する年数での計画や、数ヶ月～数年での林分レベルでの造林のための計画まで、いろいろな時間スケールが想定される。例えば、理念やビジョンといった目標を達成するための計画は、行政単位や全国スケールで数十年から 100 年の時間スケールで立案されるものであり、ゾーニングはコミュニティレベルから行政単位で検討されるべきである。また、植林地の施業計画は、施業を実施する季節単位や収穫までの年単位で立案する必要がある。

日本の森林計画制度

日本における森林計画制度は、森林の保護と適正な利用を目的とし、森林計画の策定と実施を規定した「森林法」（1951 年制定）に基づいている。

まず、日本の森林と林業の持続可能な管理と利用を推進するための国家レベルの計画として、森林・林業基本計画が立てられる。これは、森林・林業基本法に基づき策定され、森林資源の保全・整備・利用に関する基本的な方向性と具体的な施策を示すものである。次に、森林・林業基本計画を具体化し、全国レベルでの森林管理方針を定めるために全国森林計画が策定される。さらに、この全国森林計画を都道府県レベルに落とし込み、地域の実情に合わせた森林管理の方針を示すものとして地域森林計画がある。地域森林計画には、森林の分類、伐採のルール、植林計画、防災対策が含まれる。市町村森林整備計画は、市町村レベルで策定される具体的な森林管理計画であり、上位の「森林・林業基本計画」や「地域森林計画」と整合性を保つように作成される。最後に、森林経

図 T08-1 日本の森林計画制度¹⁾

営計画は、森林所有者や管理者が森林の適正な保全、整備、利用を目的として策定する具体的な計画で、地域森林計画に従って策定されるものであり、持続可能な森林管理を実現するための重要なツールである。これにより、森林資源の健全な循環利用、森林の多面的機能の維持・向上、地域経済の活性化を図ることを目的としている（図 T08-1）¹⁾。

日本の森林計画制度は、多層的な計画体系に基づき、国から地域、そして個々の森林所有者までの一貫した森林管理を実現するために設計されており、適正な伐採と再生、生物多様性の保全、防災機能の強化といった持続可能な森林管理を実現するための基本的な枠組みを提供する。

INFO

1) 山田祐亮（2021）地域森林計画、市町村森林整備計画、田中 和博・吉田 茂二郎・白石 則彦・松村 直人（編）森林計画学入門 朝倉書店、208pp

森林を活用した防災・減災のための森林計画の基本的な考え方

開発途上国における山岳地域では、生計向上のための農地拡大により森林が開発されることが多く、特に防災に関する伝統的な土地利用のルールが軽視される傾向にある。そのため、防災を考慮に入れた土地利用計画の立案には、同時に森林計画を立てる必要がある。その際の基本的な考え方を以下に列挙する。

- ・ 防災と生計の両立を基本とする。
- ・ 斜面崩壊の危険度が高い斜面には、積極的に森林の維持・造成を推進する。

- ・保護林及び計画された斜面では、幼齢林から壮齢林への移行を進めて防災機能を強化する。
- ・生産林（マツ、アカシア、ユーカリ等の短伐期林）として計画された斜面は伐採後の裸地の期間をできる限り短くする。
- ・住宅等、災害に対する保全対象に近い斜面では、斜面の荒廃度に応じて治山施設の導入を優先する。
- ・道路沿いの斜面は農地としての有用性と道路への災害リスクのバランスを重視する。
- ・改善案のプロトタイプを行政機関や住民等のステークホルダーに提示し、意見を反映させて合意可能な解決策を模索する。

このような考え方に従って、災害に強いゾーニングや保護林に対するガイドライン、生産林の施業計画を立案することが望ましい。

森林計画策定に際しての判断材料

森林を活用した防災・減災のための森林計画の策定に際しては、土地利用の現況を把握すると同時に、以下のような情報についても、計画策定の判断材料とする必要がある。

- ・斜面崩壊に対するリスクマップ
- ・斜面崩壊リスクとしての道路網の分布
- ・土地利用（森林、裸地、畑地等）と浸透能の関係
- ・土地利用と土砂流出量の関係
- ・社会経済条件
- ・道路網、現地住民の生活ルート
- ・防災・森林に関する住民意識等

森林を活用した防災・減災のための森林計画を策定しようとする地域において既に土地利用計画や森林計画が存在する場合、地域の住民をはじめとするステークホルダー間で合意形成を図りながら、上記のような判断材料をもとに土地利用計画や森林計画の改定を行っていくのがよい。それにより、森林を利用した防災・減災と地域経済活動の促進とのバランスを考慮した土地利用が実現できる。

7

第7章 高潮被害に対する マングローブの 防災・減災機能



マングローブの保全と再生は、その高い炭素蓄積機能から気候変動緩和策の有効な手段の一つであるばかりでなく、気候変動による海面上昇や、海水温度の上昇に起因して巨大化が想定される台風による高潮リスクの軽減、沿岸域の侵食防止など、国土保全のための防災・減災を含む気候変動の適応策の面でも期待されている。

本章では、沿岸生態系における気候変動の適応策の鍵となるマングローブの高潮被害に対する沿岸域の防災・減災機能を評価するとともに、マングローブの植林における留意点を整理する。

- Recipe - T09 マングローブに対する地域住民の意識調査
- Recipe - T10 波や風に対する根返り耐性の定量評価
- Recipe - T11 リモートセンシングによる防災・減災機能評価
- Recipe - T12 マングローブ植林における留意点

マングローブに対する地域住民の意識調査

この上の Recipe は

Recipe - P06 マングローブ
の防災・減災機能

マングローブの保全・植林プロジェクトの成功には、マングローブの役割を地域住民がどう認識しているかを把握することが不可欠である。調査方法を選択する際には、地域住民との直接対話を行う方法を選択することが望ましい。調査対象者には、地域住民の中でも特にマングローブの保全や植林に影響を与える可能性が高いグループも含める。マングローブ保全や植林プロジェクトに必要な人的資源、自然資源、専門知識、物的資源、資金などを評価することも重要である。注意する点としては、マングローブの再生事業の現場では誤った場所に誤った樹種が植えられることがある点や、類似のプロジェクトから得られた経験や教訓を考慮せずに再生が行われる点が挙げられる。

INFO

1) 環境省の令和5年版環境・社会・生物多様性白書では、「自然が有する機能を持続可能に利用し、多様な社会課題の解決につなげる考え方」であり、国連では「自然を活用して気候変動や自然災害を含む社会的課題に対応し、人間の幸福と生物多様性の両方に貢献するもの」と定義されている。

INFO

2) Anderson, C.C., Renaud, F.G. (2021) A review of public acceptance of nature-based solutions: The 'why', 'when', and 'how' of success for disaster risk reduction measures. *Ambio* 50, 1552–1573.

INFO

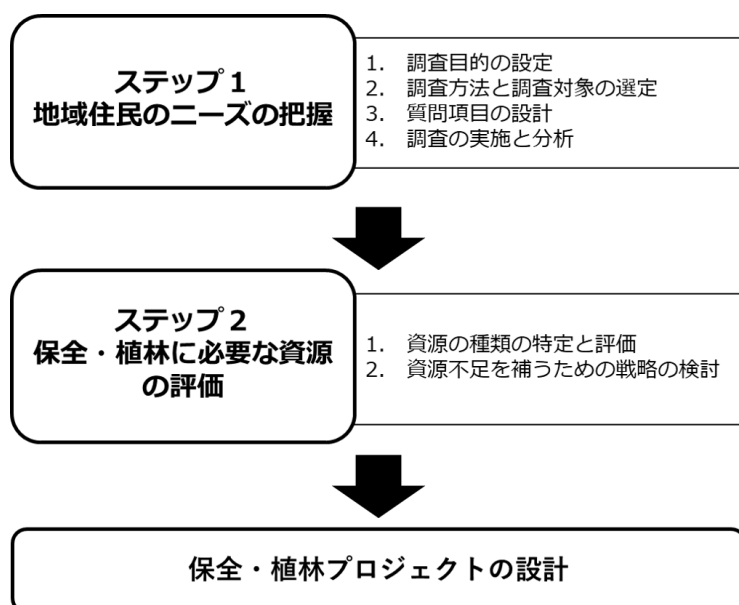
3) Walters, B.B., et al. (2008) Ethnobiology, socio-economics and management of mangrove forests: A review. *Aquat. Bot.* 89, 220–236.

地域住民への意識調査の必要性

気候変動や自然災害を含む社会的課題への対策を目的としたマングローブの保全・植林プロジェクトの成功には、そのマングローブの役割を地域住民がどう認識しているかを把握することが不可欠である。一般的に「自然を基盤とした解決策」(NbS, Nature-based Solutions)¹⁾の長期的な成功は、それが一般大衆に受け入れられるかどうかにかかっており、そのためには、施策、個人、社会的背景に関連する要因を体系的に検討することがより重要になる²⁾。

NbSの一つであるマングローブの長期的な管理には、とくに地域住民とのコミュニケーションと相互理解が不可欠である。マングローブの民族生物学・社会経済学・管理についてのレビュー論文によれば³⁾、地域住民を植林労働力の供給源としてのみ利用し、回復した生態系の様々な利用方法の長期的な管理に関与させないマングローブ再生プログラムは、成功しにくくなると指摘されている。さらに、コミュニティベースのマングローブ管理の現状と持続可能性に関するレビューでは⁴⁾、沿岸の貧しい住民や声なき人々は、マングローブに依存し、強い文化的絆と伝統的知識を持っている場合があり、彼らを排除した管理は成功しづらいとされている。

このため、気候変動や自然災害対策を目的としたマングローブの保全・植林プロジェクトでは、地域住民が特定の便益を得るためにマングローブを利用している場合、その利用方法に配慮しながら気候変動への適応



INFO

4) Datta, D., et al. (2012)
Community based mangrove
management : A review on
status and sustainability. J.
Environ. Manage. 107, 84–95.

図 T09-1 マングローブの保全・植林プロジェクトを設計する際に求められる地域住民への意識調査と資源の評価

や自然災害の防災・減災機能を強化する方法を探ることが重要である。地域住民がどの程度マングローブに経済的・文化的に依存して生活しているかという背景を把握し、その現地の文脈の中で、彼らが気候変動への適応や自然災害の防災・減災の観点からマングローブを保全・植林する重要性をどの程度認識しているかを理解することが、プロジェクト成功への第一歩となる。

そこで、地域住民の意向や社会・経済状況にも考慮したプロジェクトにするため、一般的にマングローブの保全・植林プロジェクトを設計する際に求められる地域住民への意識調査の方法とプロジェクトにおける資源の評価項目について説明する（図 T09-1）。

地域住民のニーズの把握

(1) 調査目的の設定

最初のステップとして、調査の目的を明確化することが大切である。ここでは、防災・減災のためにマングローブ保全や再生プロジェクトを実施する際の地域住民のニーズや関心事を把握することを目的として設定する。

(2) 調査方法と調査対象の選定

調査方法を選択する際には、アンケート調査（questionnaire-based survey）や、キー・インフォーマント・インタビュー（key informant

INFO

5) Angelsen, A., et al. eds. (2011). Measuring livelihoods and environmental dependence: Methods for research and fieldwork, Earthscan. Center for International Forestry Research (CIFOR), London.

INFO

6) Poverty Environment Network (2007) PEN Technical Guidelines - version 4 - May 2007. Centre for International Forestry Research.

interview)、フォーカス・グループ・ディスカッション (focus group discussion)、参加型ワークショップ (participatory workshop) など、地域住民との直接対話を行う方法を選択することが望ましい^{5), 6)}。直接対話を行わない方法としては、インターネットを利用したオンラインアンケート調査も考えられるが、開発途上国においては、住民がパソコンやスマートフォンを所有していない、安定したインターネット接続環境がないなどの制約も考慮する必要がある。確保できた予算額や調査期間によって実施可能な調査方法や調査回数は異なる。もし、複数の方法を組み合わせて実施することができれば、より詳細な調査結果を得ることが可能である。

調査対象者には、地域住民の中でも特にマングローブの保全や植林に影響を与える可能性が高いグループも含める。例えば、マングローブの周辺に居住している住民、農民、漁業者、地域リーダー、女性、若者などである。調査方法によって必要な調査対象者数が異なるため、選択された方法に基づいて適切なサンプルサイズを決定する。既に同様の調査が実施され、その結果が報告書や学術論文などで公開されている場合は、それらを参考にして調査方法や対象者を選択することもできる。

(3) 質問項目の設計

マングローブの重要性や利用方法、保全に関する意識などに焦点を当てた質問項目を設計する。地域住民がマングローブにどのような価値を見出し、どのような支援が必要とされているかを探求する。ここでは、マングローブの防災・減災の役割に着目するが、他のマングローブの機能も住民が重視することが事前に分かっている場合、その利用方法に配慮しながら防災・減災機能を強化する方法を探ることも重要なので、全体の質問量とのバランスを考え、無理のない範囲でこれらを含める。

(4) 調査の実施と分析

選択した方法に基づいて、地域住民に対して調査を実施する。彼らの意見や経験を収集し、マングローブに対する意識やニーズを把握する。調査を行う際には、インフォームド・コンセントを確保することが重要である。インフォームド・コンセントは調査倫理の一つであり、調査目的や内容、負担、データの保管方法などについて、対象者が十分な情報を提供され、理解し、同意を得ることを指す。対象者はいつでも同意を取り消すことができる。通常、口頭での説明と同意が行われるが、文書化された同意書を用いて説明し、同意書に署名する方法も行われる。

INFO

7) 日本では、2003年に制定された「個人情報の保護に関する法律」によれば、個人情報とは「氏名、生年月日その他の記述等により特定の個人を識別することができるもの」や「個人識別符号が含まれるもの」とされる。

このような社会調査で収集したデータには、しばしば個人情報⁷⁾に相当するものが含まれる。個人情報を保護するためには、収集した情報に加工を施すことにより、個人を特定できないような状態に変換し、プラ

イバシーを確保することが求められる。こうして、必要な情報の利用・共有が可能な加工済みのデータが揃ったら、これを分析し、地域住民の意識やニーズ、優先事項や関心事を把握する。

マングローブ保全と植林に必要な資源の評価

(1) 資源の種類の特定と評価

マングローブ保全や植林プロジェクトに必要な地域住民の労力や技能といった人的資源、マングローブそのものや自然環境といった自然資源、植林や保全に必要な技術やノウハウなどの専門知識、植林に必要な苗木などの材料などの物的資源、資金などを評価する。

(2) 資源不足を補うための戦略の検討

上記の評価を実施し、資源が特定の分野で不足していることが分かった場合、それを補うための戦略を検討する。例えば、資金不足の場合は、国際援助やパートナーシップを活用して資金調達の方法を検討する。経験や現地の知識の不足が明らかな場合は、地域住民、政府機関、地元の NGO などと協力して、プロジェクトを実施するためのパートナーシップを築く。彼らの意見や経験を活用し、より効果的なプロジェクトを実現するための協力関係を構築する。

2つのステップに共通する注意点

共通する注意点としては、植栽場所や植栽樹種に関する自然科学的知見はある程度十分であるにも関わらず⁸⁾、マングローブの再生事業の現場では誤った場所に誤った樹種が植えられることがある点や⁹⁾、類似のプロジェクトから得られた経験や教訓を考慮せずに再生が行われ、努力の重複や資源の浪費を招くことがある点である³⁾。さらに、国や自治体から提供される苗木が自生樹種でない¹⁰⁾、植栽適地でないと分かっているのに土地の権利の問題がないオープンアクセスな場所であるがゆえに植栽される¹¹⁾、といった事例も報告されている。このような問題の原因には政府系組織のマングローブ植林についてのトレーニング不足や役人の理解不足も考えられる⁹⁾。さらには、ビジネスとして植林をする団体もあることから、本来なら「マングローブの維持・管理」を目的とした植林活動が、いつの間にか「プロジェクトの維持・管理」を目的とした植林活動になってしまい、生育しないことがあらかじめ分かっているのに植林を行う場合もあり得る。このような課題を現場で克服するためには、適切な資源の評価とその結果に基づく当事者の教育と関係者間の相互理解と協力が不可欠である¹²⁾。

INFO

8) Ellison, A.M. (2000) Mangrove restoration: Do we know enough? Restor. Ecol. 8, 219–229.

INFO

9) Woodhouse (2022) Lessons and guidance for policy from MAP's community-based ecological mangrove restoration best practice, in: XV World Forestry Congress: Building a Green, Healthy and Resilient Future with Forests. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Seoul.

INFO

10) Pham, T.T., et al. (2022) The Effectiveness of Financial Incentives for Addressing Mangrove Loss in Northern Vietnam. Front. For. Glob. Chang. 4, 1–16.

INFO

11) Primavera, J.H., Esteban, J.M.A. (2008) A review of mangrove rehabilitation in the Philippines: Successes, failures and future prospects. Wetl. Ecol. Manag. 16, 345–358.

INFO

12) これらのステップを経て得られた調査結果を活用して、地域住民の意識向上や参加を促進するための活動としては、教育・普及プログラムの実施などが挙げられる。

波や風に対する根返り耐性の定量評価

この上の Recipe は

Recipe - P06 マングローブ
の防災・減災機能

波や風等の流体に対して樹木は抵抗体として働き、波や風からの外力の作用を減衰させる。波や風から受ける外力の作用が樹木の物理的耐性を下回れば、樹木は抵抗体として働き続けるが、反対に外力の作用が上回れば、樹木に被害が発生する。引き倒し試験を行って海岸線前縁のマングローブの限界回転モーメントを測定することで、マングローブの風や波に対する根返り耐性を指標化し、比較することが可能となる。マングローブの根返り耐性は樹種や樹木サイズ、立地環境に依存する。特に、幹周囲に多くの支柱根を持ち、砂質堆積地に生育していた *R. stylosa* は、泥質な堆積物上に生育し、ケーブル根タイプのマングローブである *S. caseolaris* や *S. apetala* よりも根返り耐性が高い傾向にある。

根返り耐性の定量評価の必要性

波や風等の流体に対して樹木は抵抗体として働き、波や風を減衰させる。波や風から受ける流体力（外力）の作用が樹木の物理的耐性を下回れば、樹木は抵抗体として働き続けるが、反対に外力の作用が上回れば、幹折れや根返りを起こして、樹木に被害が発生する。沿岸域においてマングローブそのもの、及びそれらの多面的機能を維持するためには、これらのマングローブの根返り耐性を理解した上で、防災インフラとしての海岸防災林の配置を検討することが重要である。なぜなら、マングローブは、しばしば、強風、高潮、高波などによって被害を受けるため、その際には沿岸域の防災・減災機能が喪失したり、低下したりしてしまうからである。

引き倒し試験とは

引き倒し試験は、風や波に対する樹木の根返り耐性を指標することを目的として実施する試験であり、海岸線の前縁に生育するマングローブの根返り耐性の指標値として、それらの限界回転モーメント（ M_{max} ：kN m）を現地調査によって測定・把握するものである。試験方法の一例及び根返り耐性の指標値 M_{max} の計算方法を以下に紹介する。

地上高約 1m の高さで、ポリエステル製ソフトスリング（安全使用荷重に留意すること）を測定木の幹に装着し、それを金属製ワイヤーと連

INFO

1) Peltola H, Kellomäki S, Hassinen A, Granander M (2000) Mechanical stability of Scots pine, Norway spruce and birch: an analysis of tree-pulling experiments in Finland. *For. Eco. Manage.* 135:143-153

INFO

2) Nicoll. B. C., Achim. A., Mochan. S., and Gardiner. B. A. (2005) Does steep terrain influence tree stability? A field investigation. *Canadian Journal of Forest Research* 35:2360-2367.

INFO

3) Kamimura K, Shiraishi N (2007) A review of strategies for wind damage assessment in Japanese forests. *J. For. Res.* 12:162-176

結して、引き倒し荷重がピークに達するまで人力で引き倒す（図 T10-1 及び図 T10-2）^{1), 2), 3)}。引き倒し荷重は 20kN 容量のロードセル（SW3-20kN、株式会社イマダ）を用いて測定することが可能であり、そのデータは 50Hz データロガー（eZT、株式会社イマダ）で記録できる。ロードセルで測定した引き倒し荷重及び各 1m の高さにおける測定木の重量から、Nicoll ら²⁾ が報告しているように、測定木の引き倒しによる回転モーメント (M_{pulled} 、kN m、式 1) と測定木の重量による回転モーメント ($M_{gravity}$ 、kN m、式 2) を算出する。さらに、 M_{pulled} と $M_{gravity}$ の和を、根元を中心とした回転モーメント (M_{total} 、kN m、式 3) として算出する。

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

$$M_{gravity} = g m H_g \sin \beta \quad (2)$$

$$M_{total} = M_{pulled} + M_{gravity} \quad (3)$$

ここで、 F は測定木に対するウインチによる引き倒し荷重 (kN)、 H_p と H_g は測定木に巻いたスリング高と測定樹木の重心高 (m)、 β 及び α は鉛直方向と幹のなす角と水平方向と引っ張り方向のなす角、 m は樹木の質量 (kg)、 g は重力加速度 (9.8m/s^2) を表している。角度 α と β は、引き倒し試験の間にビデオ撮影を行い、画像上で計測する。一般的に測定木の引き倒し荷重が大きくなるにつれて、 M_{total} は増加する。測定木の引き倒し荷重の計測は、ウインチによる測定木の引き倒し前に開始し、荷重がピークに達し、減少に転じた時点、または幹角度 (β) が 30° を超えた時点で終了とする。一般に、波や風に対する根返り耐性の

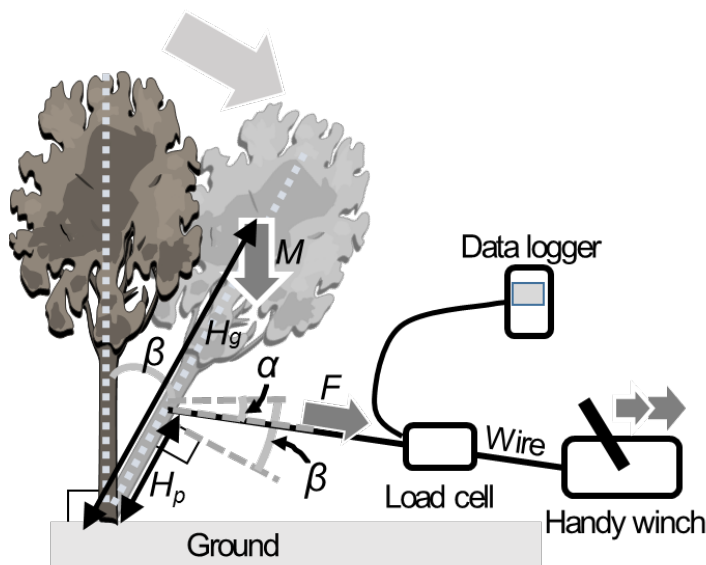


図 T10-1 引き倒し試験における測定項目の概念図

図 T10-2 *S. caseolaris* の引き倒し試験の様子

指標である M_{max} は、記録された M_{total} の最大値、すなわち最大回転モーメントと定義されるので、上記の試験方法により M_{max} を求めることで根返り耐性の指標化が可能となる。

根返り耐性に関するマングローブの樹種特性

マングローブの根返り耐性、すなわち M_{max} は樹種や樹木サイズによって変化する（図 T10-3）⁴⁾。また、当然ながら立地環境の影響も受ける。 M_{max} と樹木サイズの関係は、すべてのマングローブ樹種において、 $D_{0.3m APR}$ 、 DBH 、 $D_{0.3m APR}^2 H$ 、 $DBH^2 H$ 、 TAB の増加に伴って概ね増加傾向を示す（ $D_{0.3m APR}$ 、 DBH 、 H 、 TAB は、それぞれ地上部支柱根上部 0.3 m 高直径、胸高直径、樹高及び地上部バイオマス合計を表している）。*R. stylosa*、*S. caseolaris*、*S. apetala* について、 M_{max} と $D_{0.3m APR}$ または DBH 、 $D_{0.3m APR}^2 H$ または $DBH^2 H$ 、 TAB との間の回帰式及び調整済み決定係数 (R^2_{adj}) は表 T10-1 のように報告されている。

表 T10-1 樹種ごとの樹木サイズと限界回転モーメントとの関係

<i>R. stylosa</i>	$M_{max} = 9.60 \times 10^3 D_{0.3m APR}^{2.80}$	$(R^2_{adj} = 0.908, p < 0.0001^*)$
	$M_{max} = 3.41 \times 10^2 D_{0.3m APR}^2 H + 160$	$(R^2_{adj} = 0.882, p < 0.0001^*)$
	$M_{max} = 3.54 \times 10^{-1} TAB - 1,329$	$(R^2_{adj} = 0.842, p = 0.0003^*)$
<i>S. caseolaris</i>	$M_{max} = 2.70 \times 10^2 DBH^{1.98}$	$(R^2_{adj} = 0.919, p < 0.001^*)$
	$M_{max} = 4.26 \times 10^2 DBH^2 H + 350$	$(R^2_{adj} = 0.971, p < 0.0001^*)$
	$M_{max} = 8.12 \times 10^{-2} TAB - 357$	$(R^2_{adj} = 0.967, p < 0.0001^*)$
<i>S. apetala</i>	$M_{max} = 5.93 \times 10^2 DBH^{2.19}$	$(R^2_{adj} = 0.886, p = 0.0003^*)$
	$M_{max} = 6.18 \times 10^2 DBH^2 H + 271$	$(R^2_{adj} = 0.976, p < 0.0001^*)$
	$M_{max} = 8.25 \times 10^{-2} TAB - 466$	$(R^2_{adj} = 0.913, p < 0.0001^*)$

INFO

4) Ono K, et al. (2024) Resistance to uprooting among mangrove trees at the Urauchi River mouth, Japan, and the Red River delta, Vietnam: A mechanical analytical comparison based on an in-situ tree-pulling experiment. 森林立地 66: 17-26.

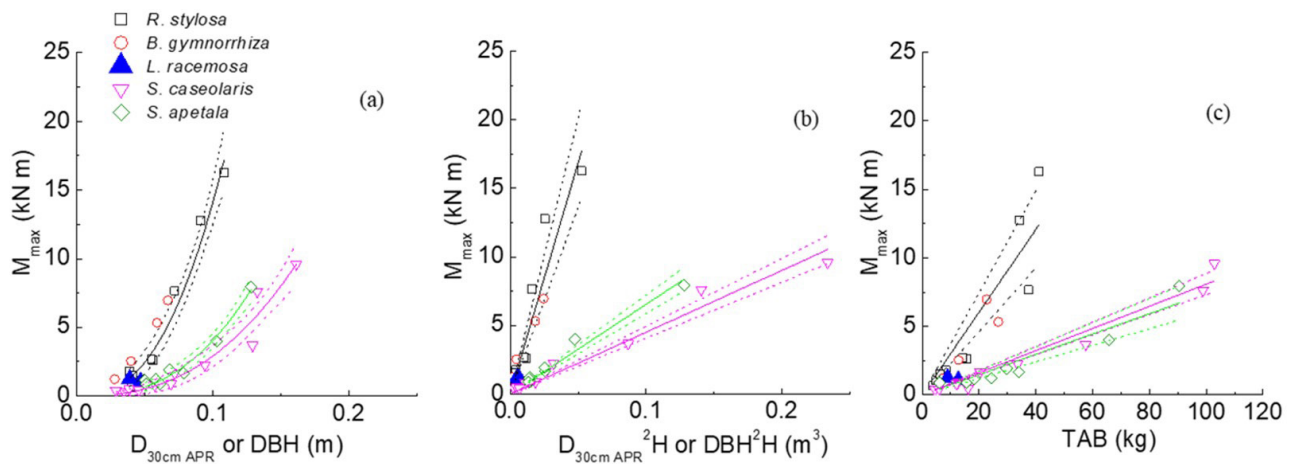


図 T10-3 限界回転モーメント (M_{max}) と (a) 幹直径 (最上部の支柱根の元から 30cm 上の高さでの直径 [$D_{0.3m APR}$] または胸高直径 [DBH])、(b) 幹直径の 2 乗に H を掛けたもの ($D_{0.3m APR}^2 H$ または $DBH^2 H$)、及び (c) 地上部バイオマス (TAB) との関係⁴⁾
 実線は回帰直線、破線は 95% 信頼区間を表す

一般に、陸上林域の樹木では相対成長関係が観察されており、マングローブも、 $D_{0.3m APR}$ 、 DBH 、 H を従属変数として相対成長式を作成する場合、同様な関係性が報告されている⁵⁾、⁶⁾。このことから、樹木サイズに関するパラメータは、マングローブの幹を支える地下根の量を示す相対的な指標であり、根と地盤との相互作用による根返り耐性を表している。

樹幹直径の大小にかかわらず、 M_{max} を根の抵抗性の指標とした場合、幹周囲に多くの支柱根を持ち、砂質堆積地に生育していた *R. stylosa* は、泥質な堆積物上に生育し、ケーブル根タイプのマングローブである *S. caseolaris* や *S. apetala* よりも根返り耐性が高い傾向にある。同様に、幹の比重は、外力の作用に対する幹の曲がりやすさや固さを通じて M_{max} に影響すると考えられる。したがって、引き倒し試験では、マングローブにおける地盤の堆積状態やマングローブ種による幹の比重の違いに留意する必要がある。

INFO

5) Komiyama, A., Pongparn, S., and Kato, S. (2005) Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. Journal of Tropical Ecology. 21:471-477.

INFO

6) Komiyama, A., Ong, J. E., Pongparn, S. (2008) Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. Aquatic Botany. 89:128-137.

リモートセンシングによる防災・減災機能評価

この上の Recipe は

Recipe - P06 マングローブ
の防災・減災機能

通常の潮位と高潮の高さの合計は堤防の高さを超えないが、これに高波の高さを加えた合計の高さが堤防の高さを超える場合、堤防を越水して堤防内の住宅地などに浸水被害が発生する。堤防の前線にマングローブがある場合には、マングローブの立木に波が当たる際に発生する渦による波の力の減衰（渦粘性効果）により、堤防を乗り越える波を抑え、被害を軽減することができる。マングローブの防災・減災機能を広域に評価するためには、マングローブの林帯幅や、波の方向に対するマングローブの投影面積を算出する必要があり、リモートセンシングを用いた手法が有効である。

マングローブが防災・減災機能を果たす条件

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

高潮は周期が約 10 分から数時間の範囲であるのに対し、強い風によって発生する周期の短い波が高波である。高潮被害は、月や太陽の引力による通常の潮位（天文潮位）と、高潮や高波による海面の上昇、そして堤防の高さとの関係によって引き起こされる（図 T11-1）¹⁾。IPCC の報告書によると、2006 年から 2015 年の海面上昇速度は過去 100 年間で前例のな

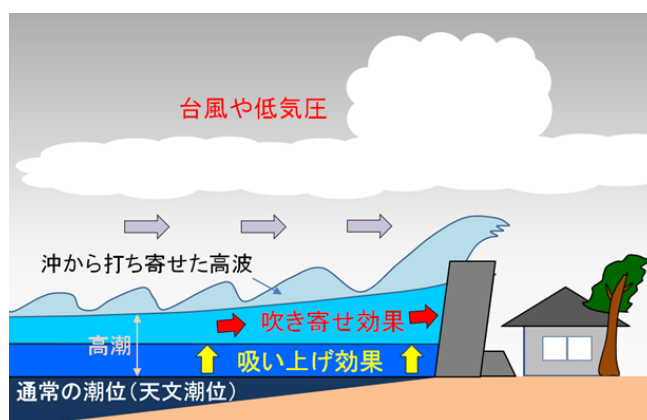


図 T11-1 潮位、高潮、高波による被害の発生¹⁾

INFO

1) 気象庁
<https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/knowledge/tide/takashio.html>

いスピードであり、20 世紀の海面上昇速度の約 2.5 倍に相当する 3.6mm/年で上昇していると報告されている²⁾。このペースで海面が上昇し続けると、その上昇分が天文潮位に加わるため、高潮被害の頻度が増すことになる。

通常の潮位と高潮の高さの合計が堤防の高さを超える場合、潮位も高潮もその変動が長周期であることから、海水が長時間に亘って堤防を越えて陸地に浸水してくるため、被害が大きくなる。これに対し、通常の潮位と高潮の高さの合計は堤防の高さを超えないものの、これに高波の高さを加えた合計の高さが堤防の高さを超える場合がある。この場合、マングローブがないと、高波による海水が陸地に浸水してきて被害が発生する。その一方、マングローブがあれば、マングローブの立木に波が当たる際に発生する渦による波の力の減衰（渦粘性効果）により、堤防を乗り越える波を抑え、被害を軽減することができる。（図 T11-2）³⁾。

マングローブの渦粘性効果による防災・減災機能は、波が当たるマングローブの立木の面積に依存する。そのため、波の方向に対するマングローブの林帯幅、立木の根系を含む樹種ごとの樹形、直径や樹高、立木密度や立木配置が影響する（図 T11-3）⁴⁾。なかでも林帯幅は、波の方向に対するマングローブの立木の投影面積を大きくする効果が高い。

マングローブの防災・減災機能を広域に評価するためには、林帯幅を

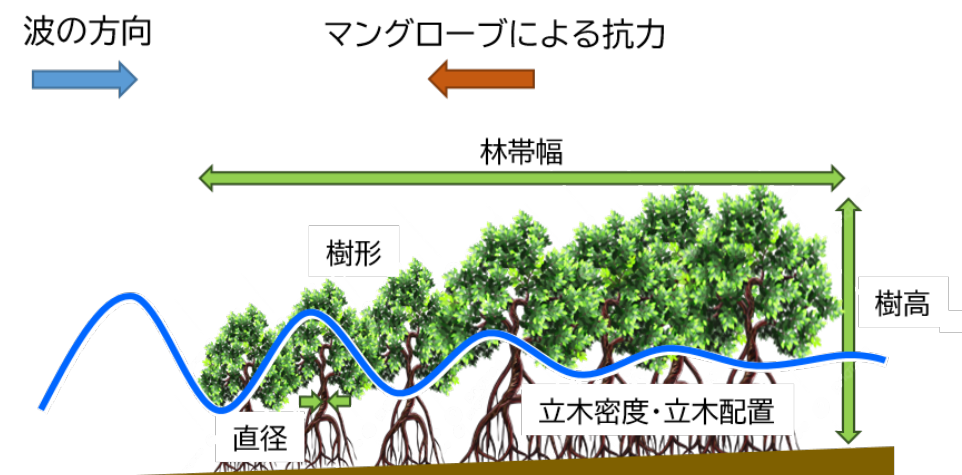
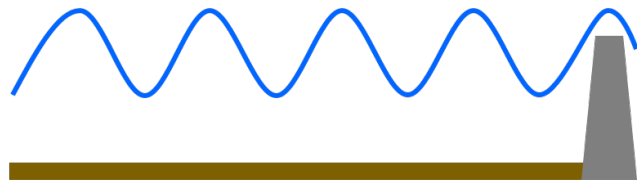


図 T11-3 マングローブの防災・減災機能に影響する要素⁴⁾より作成

マングローブがない場合、波の力は弱まらない



マングローブがある場合、波の力は減衰する

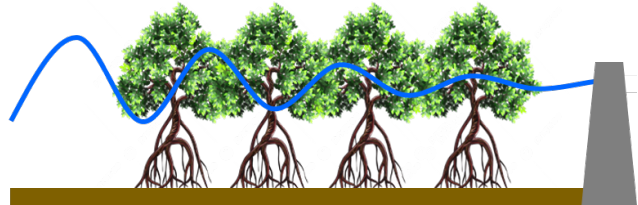


図 T11-2 マングローブによる波の減衰³⁾より作成

INFO

2) IPCC (2014) 変化する気候下での海洋・雪氷圈に関する IPCC 特別報告書

INFO

3) Mazda Y, Magi M, Kogo M, Hong PN (1997) Mangroves as a coastal protection from waves in the Tong King delta, Vietnam. *Mangrove and Salt Marshes* 1: 127-135.

INFO

4) Kamil EA, Takaijudin H, Hashim AH (2021) Mangroves as coastal bio-shield: A review of mangroves performance in wave attenuation. *Civil Eng. J.* 7:1964-1981.

マングローブの防災・減災機能の評価の手法

求めるためのマングローブの広がりに関する情報が必要である。また、波の方向に対するマングローブの投影面積を算出するために、林分の平均直径や平均樹高、樹種ごとの樹形、立木密度などが必要となる。これらの情報を地上調査から広域に取得するのは困難であり、リモートセンシングを用いた手法が求められる。

(1) 高分解能衛星からのマングローブの抽出

波の方向に対する林帯幅を求めるためには、高分解能衛星を用いた分類によりマングローブを抽出するのがよい。高分解能衛星の分解能の定義は様々あるが、分解能が 30 m の Landsat 衛星や分解能が 10 m (モノクロ) と 20 m (カラー) の Sentinel-2 衛星でも広域の林帯幅を求めるのに用いることは可能である。これらのデータは無償で入手できる。また、手順 (5) の立木密度の推定に衛星データを用いる場合、サブメートルの分解能を持つ衛星データが必要なることから、この手順 (1) において高分解能衛星データを用意するのがよい。

(2) 波の方向に対する堤防までのマングローブの面積の算出

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

(3) 林分高の推定 (ドローン、衛星 LiDAR、林齢 - 樹高曲線)

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

このようなりモートセンシング技術を用いることができないが、マングローブの植栽した年が明らかな場合、林齢と樹高の関係から林分高を推定することが可能である。

(4) 直径-樹高曲線、樹形の推定

手順(3)で必要となる直径-樹高曲線は、マングローブの樹種ごとに胸高直径と樹高を計測することにより得られる。この場合、立地の違いが影響することがあり、留意が必要である。手順(6)の波の方向に対する全立木の投影面積の積算で必要となる樹種ごとの樹形については、多視点ステレオ写真測量（Structure from Motion：SfM）の技術を用いて、地上で1本の樹木に対して360°の方向からデジタルカメラで撮影した写真を用いて再現することができる。それぞれの樹種においては、樹形が相似形であるという仮定をおいて、胸高直径と樹高からそれぞれの樹木サイズでの相似形の樹形を復元する。

(5) 立木密度の推定

取得された画像の地上分解能に応じて、リモートセンシング技術により立木密度の推定が可能である。最も用いられる手法としては、局所最大値フィルタを用いる方法が挙げられる。サブメートル級の衛星データは1000本/ha程度以下の立木密度の推定に用いることができるが、それ以上の立木密度の林分では、1本の樹冠に十分な数の画素が含まれず、局所最大の画素が発生しない樹木が多くなるため、立木密度の推定が極端に過小推定になる。

植林計画に基づき植栽された林分では、植栽記録により植栽密度が分かることがある。

(6) 波の方向に対する全立木の投影面積の積算

波の方向に対する全立木の投影面積は、高波が減衰する度合いの指標となる。樹木群の波の減衰については様々なモデルが提案されているが、これを広域評価に用いるには、モデルを実装するために必要となるパラメータの不確実性が高かったり、パラメータの取得が困難であったりするため、実用的でない。投影面積の積算値は、マングローブによる防災・減災機能の低い箇所を明らかにすることができ、防災・減災対策を施す優先箇所を判断することが可能になる。

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

マングローブ植林における留意点

この上の Recipe は

Recipe - P06 マングローブ
の防災・減災機能

マングローブの生育適地は地盤高や潮汐環境により規定され、樹種により異なる。そのため、予備的な植栽試験を行って生育適地の条件を検討した後、本格的な植栽を始めるのがよい。マングローブを植栽し、着実にマングローブの再生を進めるためには、植栽のための健全な実生苗や胎生種子の確保、さらには確実に実生苗を得るための採種、及び採種後の種子の取り扱いが鍵となる。マングローブの植栽では、苗木が用意し易く取り扱いも容易なヒルギ科などのマングローブ実生苗ばかりを選んで植栽することで、同一樹種による単純林となってしまうように留意する。残存している樹種と同様な潮汐環境の立地環境を見極めて、どこにどの樹種を植えるかを注意深く決定する。

INFO

1) Mochida et al. (1999) A phytosociological study of the mangrove vegetation in the Malay Peninsula. -Special reference to the micro-topography and mangrove deposit- TROPICS 8:207-220

マングローブの生育適地の判定

マングローブの生育適地は地盤高や潮汐環境により規定される。波浪の影響が弱い、平均海水面から最高高潮位までの干潟がマングローブの生育立地である(図T12-1)^{1), 2)}。樹種により生育適地の立地条件は異なる。一方で、生育適地の立地条件は許容範囲が広く、また国や地域によってマングローブ生息域の堆積状況(地盤高や土性)も潮汐環境(潮位、潮

INFO

2) 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.

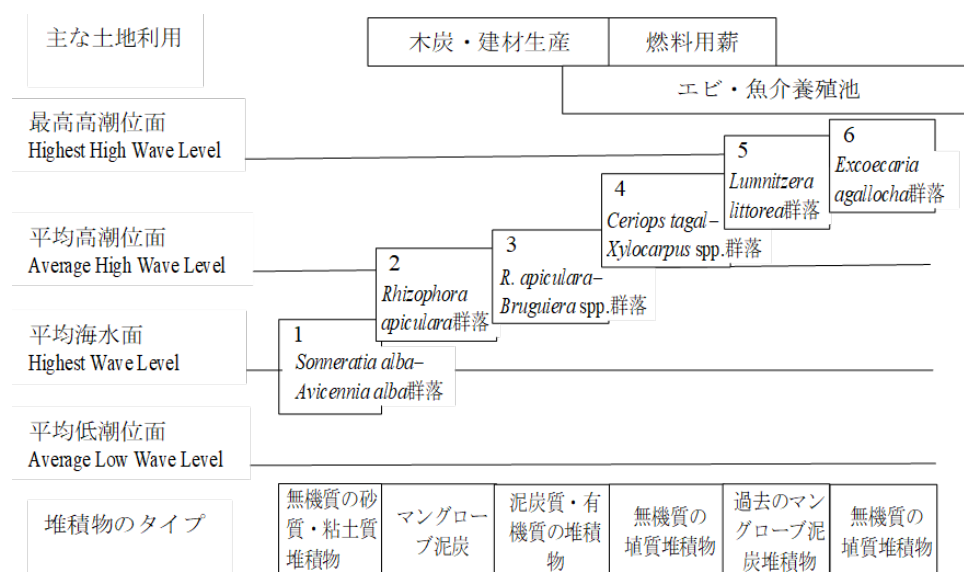


図 T12-1 東南アジアにおけるマングローブ群落の垂直分布と潮位・地盤高、堆積物、及び主な土地利用との関係 ^{1), 2)}より改変

差、冠水頻度、冠水時間）も大きく異なることから、どの国、どの地域にも当てはまるマングローブの適地条件は未だ明らかではない。そのため、予備的な植栽試験を行い、その地域における生育適地の条件を吟味してから本格的な植栽に移行するのがよい。

マングローブの定着・生育への阻害要因は、波による苗木の流亡や損傷、地盤の侵食、土砂堆積による苗木埋没である。そのため、沿岸荒廃地での植林の際には事前の地盤環境や潮汐動向の把握が重要である³⁾。

適切な採種法と種子の取り扱い

マングローブを植栽し、着実にマングローブの再生を進めるためには、植栽のための健全な実生苗や胎生種子の確保、さらには確実に実生苗を得るための採種、及び採種後の種子の取り扱いが鍵となる。マングローブは種によって胎生種子を作るものと作らないものがある。

採種①～胎生種子の場合

一部のマングローブ（ヒルギ科のオヒルギ属、ヤエヤマヒルギ属、メヒルギ属など）は胎生種子を生産する。一度にたくさんの胎生種子を採種するには、十分に成長し地上に落下した胎生種子を拾うより、母樹に付いている胎生種子を採種する方が効率的である。その際は、果実から胎生種子を無理に取り外すのではなく、乾燥しないよう水を入れたバケツ中で採種した胎生種子の下端 1/3 ～ 1/2 程度を水に浸し、自然に果実と胎生種子が離れるのを待つのが良い⁴⁾。樹種や地域ごとに胎生種子の採種適期が異なるので（表 T12-1）、それぞれの植栽予定地での適切な方法、採種時期の検討のために、事前の予備調査を行うのが望ましい。

採種②～胎生種子以外の場合

マングローブのうち、ハマザクロ科マヤブシキ属やシクシン科ヒルギモドキ属、アオイ科サキシマスオウノキ属などは胎生種子をつけない。

表 T12-1 フタバナヒルギ (*R. apiculata*) の花芽形成、開花、胎生種子の成熟時期等の地域間比較⁴⁾より改変

地域名 (国名)	雨季	花芽の発達	開花時期	胎生種子の成熟時期	花芽形成～胎生種子落果の期間	開花～完熟の期間
ブーケット (タイ)	4～11月	8～11月	12～4月	1～7月	34～35ヶ月	4～6ヶ月
ラノン (タイ)	—	ほぼ周年	10～2月	4～6月	32ヶ月	5.3ヶ月
クラン (マレーシア)	—	周年	周年	7～9月	32～33ヶ月	6～7ヶ月
ヒンチンブルック島 (オーストラリア)	1～5月	8～9月	1～4月	1～4月	27～31ヶ月	9～10ヶ月
ハルマヘラ島 (インドネシア)	—	—	—	—	42ヶ月	9.8ヶ月
バリ島 (インドネシア)	12～4月	周年	周年	12～3月が最盛期	23ヶ月	5.7ヶ月

INFO

3) 国際緑化推進センター (2022) マングローブ再生ガイドブック 立地条件及び荒廃要因に応じたマングローブの再生技術 国際航業株式会社発行 66pp.

INFO

4) 馬場繁幸、北村昌三 (1999) マングローブ植林のための基礎知識—マングローブ林の再生のために— 国際緑化推進センター編 139pp.

クマツヅラ科ヒルギダマシ属やサクラソウ科ツノヤブコウジ属などは母樹上で少しだけ幼根と幼芽（胚軸）を成長させて、母樹から離脱する小型の半胎生種子を生産する。前述した大型の胎生種子を生産する樹種では、胎生種子そのものを実生苗として扱うことができるので、胎生種子を植栽地に直挿しして植え付けることができるが、胎生種子をつけない樹種では種子（半胎生種子）が小さいため、植栽に当たっては実生苗を育苗し、それを植栽地に植栽する、という手順が必要となる。

採種後の種子の取り扱い

採種後の胎生種子を採ったその日に植え付けない場合には、バケツに胎生種子の下 1/3 が水に浸かるようにしておく。このとき、バケツに直接日が当たらないように、日陰に置いておく。日向に置いておくと、バケツの水が温められて胎生種子が茹だって枯死してしまう。また、マングローブの種子と果実は、冷蔵庫では保管しないようにする。多くのマングローブの胎生種子は 10～15℃以下になると茶色くなって枯れてしまう。1～2週間程度、胎生種子を保存する場合には、バケツに胎生種子の下 1/3 くらいが水に浸かる状態で、風通しの良い、日の光が直接当たらない場所で保管すると良い。

苗畑における育苗

INFO

5)Tomlinson P. B. (1986)
The botany of mangroves.
Cambridge Univ. Press. pp.
413.

世界には 110 樹種以上のマングローブが分布するとされているが⁵⁾、育苗技術が確立されているのはそれらのごく一部の樹種や限定された地域のみである。それは樹種ごとに適地の条件が違ったり、地域ごとに潮位や地盤高、冠水頻度、土壌、気温、降水量、塩分濃度などの環境が異なるためである。

苗畑では潮汐を利用して自然海水で育苗する場合が多いので、平均海水面よりも若干低い地盤高に合わせて地盤を均し、苗畑を設定する。干潮時に苗床に海水が停滞しないよう留意する。海水が停滞すると、日射により塩分濃縮や水温上昇が起こり、根系傷害や苗の枯死を誘引する恐れがある。必要に応じて排水溝を苗床の周囲に設置し、排水性を確保すると良い。潮汐差が大きい地域では、満潮・干潮時の海水の流入出によって苗や地盤が流失することがないように、海水の流入口からの距離に配慮したり、竹柵の設置により水流を減衰したりする必要がある。乾季で降雨がなく日中の気温がかなり上昇するような立地や、干潮時に地温が高くなりすぎる立地に設定した苗畑では、遮光ネットやニッパヤシの葉を編んだもので遮光を行うと、極端な地温上昇が緩和され、日焼けによる傷害を避けることができる。なお、50%以上の強度の遮光を行った場合には、植栽前に被陰を解いて馴化させた上で苗の山出しを行うことを

推奨する。ポット苗用の用土は、特定の土を用意する必要は無く、苗畑近隣の土でも砂でも良いとされている。作業性や経費節約の観点から、苗畑近くで容易に入手できる土を用いるのが良い。

マングローブの植栽

マングローブの植栽では、苗木が用意し易く取り扱いも容易なヒルギ科などのマングローブ実生苗ばかりを選んで植栽してしまい、結果として同一樹種による単純林となってしまうよう留意する。植栽樹種は、植栽予定地の近隣に残っているマングローブの樹種構成を参考にして選択する。また、植栽する場所についても、残っているマングローブの地盤高と樹種構成の関係性を参考にし、残存している樹種と同様な地盤高で、同様な潮汐環境の立地環境を見極めて、どこにどの樹種を植えるかを注意深く検討し、決定するのが良い（表 T12-2）。

植栽後に植栽した苗の生育や生存に影響を与える要因として、漂着物やフジツボの付着、カイガラムシの発生、カニや水牛による食害、潮汐や波浪による地盤や苗そのものの流失などがある。対策としては、定期的な巡視による付着物等の除去、倒伏苗の植え直し、枯死した苗の補植、防風・防潮のための竹柵の設置などが考えられる。

表 T12-2 植栽に用いる苗木の種類別の植栽方法とその留意点

苗木の種類	植栽方法	植栽上の留意点
胎生種子	直挿し	○基本的には苗畑での育苗を必要ではなく、胎生種子を直接植栽箇所に直挿しして植え付けることができる。 ○採種した胎生種子をすぐに植えない場合は、日向に放置しないようにし、風通しの良い日陰に置き、日焼けを防止する。 ○土が柔らかな場合は胎生種子をそのまま土の中に挿し付ける。 ○土が硬い場合には胎生種子を傷めぬよう、ガイド棒により穴を作ってその穴に挿し込む。穴のサイズは胎生種子の直径よりやや小さいと良い。 ○潮の流れによって流されぬ深さ、すなわち胎生種子の全長の下1/3程度が埋まる深さまで挿し付けると良い。 ○オオバヒルギのように長さが80cmもあるような長い胎生種子を植える場合には、竹などの杭を立て、それに胎生種子を麻紐などで結わえ、潮や風で倒れないように工夫する。
実生苗	植え穴	○ポットの大きさと同じ大きさの植え穴で植え付けする。 ○植え穴が浅すぎると植栽した苗が倒伏、流失するので、ポット苗の寝際と地面の高さは同じになるように調整する。 ○ポット苗を植える際は、必ずポットを取り外す。ポットのまま植え付けると、根が伸びられずに生育不良になるので、注意する。 ○ポットを外す際は、ポット内の用土を崩さないこと。また、ポットから出ている根を損傷しないように注意する。 ○取り除いたポットのビニル袋はその場に放置せず持ち帰る。放置ビニルが波に流され、植えた苗に巻き付き、苗を損傷する恐れがあるためである。
自然定着の苗		○漂着し、定着した苗の密度が高い場合には、間引きする。



参照編

8

第 8 章 発展途上国における 森林を活用した 防災・減災の取組 動向



アジア地域においては森林を活用した防災・減災のための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。

本章では、アジア地域において自然災害の被害が頻繁に発生しているベトナム、ミャンマー、インドネシア、タイ、フィリピン、インドの6か国を対象として、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。

Recipe - R01 ベトナム社会主義共和国における取組

Recipe - R02 ミャンマー連邦共和国における取組

Recipe - R03 インドネシア共和国における取組

Recipe - R04 タイ王国における取組

Recipe - R05 フィリピン共和国における取組

Recipe - R06 インド共和国における取組

ベトナム社会主義共和国における取組

この Recipe の詳細は

森林を活用した防災・減災の
取組 Country Report 2020
年度 ベトナム社会主義共和
国

ベトナムは、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。高温多雨の熱帯モンスーン気候に属しており、自然災害としては、とくに台風・熱帯低気圧による洪水・小河川の急速な増水、土石流の発生数が多い。防災で中心的な役割を果たすのは、中央災害対策委員会と国家搜索救助委員会である。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 植林計画は、森林を活用した防災・減災対策の 1 つと言える。

国及び森林を取り巻く状況

ベトナム（ベトナム社会主義共和国）は、東南アジアのインドシナ半島東部に位置する国である。国土は南北に 1,200km と細長い。北は中国、西はラオス、南西はカンボジアと国境を接する。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している。メコンデルタではマングローブが生育している。天然林は 2016 年の首相指令により伐採禁止となり、原則的には天然林からの木材生産はない。一方、植林地では主にアカシア、メラルーカ、ゴムノキなどの樹種が植林されており、伐採量は年々増加している。木材の輸出と輸入をいずれも積極的に行っている点がベトナムの木材産業の特徴で



図 R01-1 ベトナムのマングローブ

ある。

ベトナムでは気候変動対策における森林分野の取組方針も、各種の戦略・計画に位置づけられている。農業農村開発省（MARD）の取組として、未利用地等での森林への転換や沿岸地域のマングローブの拡大等により、2020 年までに森林率を 45% まで増加させる目標を掲げていた。さらに、REDD プラス（森林減少・劣化の抑制による排出削減等）に取り組む方針も示されている。

また、気候変動への適応という観点から森林を利用した防災に取り組む方針も示されている。パリ協定における「国が決定する貢献（NDC）」（2016 年）では、特に沿岸河口地域及びメコン・紅河デルタにおいて、マングローブを含む沿岸森林の保護・復元・植林・質の向上実施を掲げた。これらの地域は災害に脆弱な地域ともされており、生態系に基づく適応が進められている（図 R01-1）。

ベトナムにおける自然災害の特徴

ベトナムでは様々な自然災害が発生しているが（図 R01-2）、特に台風・熱帯低気圧による洪水・小河川の急速な増水、土石流の発生数が多い¹⁾。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、暴風雨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。

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

INFO

1) GLIDENumber
<https://www.glidenumber.net/glide/public/search/search.jsp>



図 R01-2 ベトナムにおける自然災害

INFO

2) JICA (2008) ベトナム国北部荒廃流域天然林回復計画 (RENFODA) 終了時評価調査報告書

INFO

3) JICA (2007) ベトナム国森林火災跡地復旧計画プロジェクト業務完了報告書

INFO

4) JICA (2016) ベトナム国 第2次中南部海岸保全計画評価報告書

INFO

5) JICA (2014) ベトナム災害対策事業 2013 年活動報告書

INFO

6) JICA (2015) ベトナム災害対策事業 2014 年活動報告書

INFO

7) JICA (2018) ベトナム国 防災セクター戦略策定のための情報収集・確認調査 ファイナル・レポート (要約版)

(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。主な関連事業としては、JICA による対象地の天然林回復のための造林技術を開発・特定する「北部荒廃流域天然林回復計画」(2003 年～2008 年)²⁾、森林火災跡地復旧に必要な再造林技術を確立するための「森林火災跡地復旧計画」(2004 年～2007 年)³⁾、飛砂・強風・砂の移動等による農漁村への被害を軽減するために保全林を整備する「第2次中南部海岸保全林植林計画」(2009 年～2015 年)⁴⁾、日本赤十字社による災害に脆弱なコミュニティに災害リスクや気候変動の影響からの回復力を持たせるための「ベトナム災害対策事業」(1997 年～2017 年)^{5), 6)} などがある。

森林を活用した防災・減災に関する国の機能

ベトナムにおける防災で中心的な役割を果たすのは、2015 年に設立された「中央災害対策委員会 (CSCNDPC)」と「国家搜索救助委員会 (NCSR)」である⁷⁾。CSCNDPC は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している。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っている。NCSR は副首相を議長とし、国防省救済局が事務局を担っている。国家レベルの災害の搜索・救助活動の指揮を担当する。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。

森林を活用した防災・減災のための活動を実施する際のポイント

ベトナムにおいて森林を活用した防災・減災を実施していく上で、極端な気象現象に対する予測能力や詳細把握能力の不足 (鉄砲水、斜面崩壊、海岸侵食など)、災害リスク低減のための山地への設備導入に対する技術要件と投資の不足、森林と自然災害緩和の関係性に関する知見の不足 (適正樹種、面積、森林分布など)、森林伐採に関する制約の欠如 (道路建設、伐採面積など) が課題として指摘されている。

これまでの防災・減災に関する国際支援では、保全対象の直接的な保全を短期的に実施するための砂防技術が活用されてきたが、山地流域での適正な土地利用計画を立て、森林機能を活用して中長期的に防災・減

災を図る治山技術は、生態系保全や山地資源の活用・維持管理など多面的な効用が含まれ、その今日的意義が国際的にも一層認識されつつある。

ベトナムには基盤データが一定程度揃っている（表 R01-1）。しかし、治山技術を防災・減災及び災害発生後の対策に活用するためには、国レベルのデータよりも詳細なデータが必要となる。例えば流域単位での降雨量・年間土砂排出量・年間水位変動等のデータがこれに該当する。こうしたデータはこれまで現地国で必要とされておらず、整備が進んでいないのが実態である。対象区域・流域を特定したうえで、現地の細かい情報を収集することから活動を開始する必要がある。

表 R01-1 ベトナムにおける基盤データの整備状況

データ区分	データの有無・種類	データ名、時点・頻度等	主管官庁・組織
植生・地形に関するデータ	標高	デジタル、アナログ	地形図 縮尺1:50,000(2000年)
		デジタル	DEM データ(解像度30m)(2016 年)
	河川・海岸線	デジタル、アナログ	地形図 縮尺1:50,000(2000年)
	流域・尾根	デジタル	TAB files(MapInfo)
	行政区画境界	デジタル、アナログ	地形図 縮尺1:50,000(2000年)
		デジタル	Shape/TAB files (最新は2020-2021 年)
	道路・鉄道	デジタル、アナログ	地形図 縮尺1:50,000(2000年)
	土地被覆区分	デジタル	2016 年、2017 年
	土地利用区分	デジタル	5 年ごと(2019 年時点で作成作業進行中)
	森林区分	デジタル	森林区分図 縮尺1:50,000 及び 1:100,000、5 年ごと
	植生	デジタル	(詳細不明)
	地質・土壌区分	デジタル、アナログ	縮尺1:200,000(2005 年)
気象に関するデータ	降雨量	デジタル	時間ごと
	河川流量	デジタル	水位観測所ごと
	気温	デジタル	時間ごと
	日射量	デジタル、アナログ	—
	天気図	デジタル	—
	災害発生場所・内容	デジタル	—

ミャンマー連邦共和国における取組

この Recipe の詳細は

森林を活用した防災・減災の
取組 Country Report 2020
年度 ミャンマー連邦共和国

ミャンマーにおける自然災害としては、台風・熱帯低気圧による洪水・鉄砲水の発生数が多い。パリ協定の 2030 年目標では、林業分野の取組が温室効果ガス吸収源としての保全だけでなく土壌侵食を防ぐことにもなり、洪水や地すべりに遭う人々のリスクを低減するとしている。政府及びその他関係機関が 2009 年にとりまとめた「Hazard Profile of Myanmar」では、主な災害について、ミャンマー国内での発生頻度・規模や地理的な特徴（脆弱地域）、防災・減災アプローチを提案している。森林の活用については、マングローブ植林による津波・高潮被害対策、乾燥地への早成樹植林による干ばつ抑制、洪水リスクの高い地域での森林保全・再植林等が挙げられている。

国及び森林を取り巻く状況

ミャンマー（ミャンマー連邦共和国）は、東南アジアのインドシナ半島西部に位置する国である。国土が南北に長いこと、また起伏にとんだ地形であることから、地域による気候差が大きい。おおむね、標高 2,000m 以下の場所は熱帯モンスーン気候、2,000 ～ 2,500m では亜熱帯性気候、3,000m 以上では亜高山性気候である。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、熱帯サバン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。

ミャンマーは、国土の約 44% が森林であり（2020 年）、ほとんどが天然林であるが、近年は植林地の割合が増加傾向にある¹⁾。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（図 R02-1）。ミャンマーの



図 R02-1 10 年生のチーク林

INFO

1) FAO (2020) Global Forest Resources Assessment 2020: Main report. Rome.

森林は、高価値の木材に加え、非木材林産物、豊かな生物多様性、水源涵養等の生態系サービスを提供している。

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。また、マングローブは海岸地域に 50 万 ha 分布しているが、近隣国よりも早いスピードで消滅している。

ミャンマーでは、気候変動対策における森林分野の取組方針が各種の戦略・計画に位置づけられている。国家気候変動適応行動方針（NAPA）（2012 年）では、国として優先的に取り組むべき 32 の適応プロジェクトが提示されており、この中で、最も優先的に取り組むべき分野の 1 つに森林が位置づけられている。具体的には、気候変動に脆弱な森林の再植林による耐性強化、中央乾燥地帯の劣化した流域における地域住民による再植林と生態系の回復、沿岸地域における地域住民によるマングローブ回復、北部丘陵地帯のインドーギー湖流域・インレー湖流域における地域住民による生態系回復が挙げられている。また、パリ協定の「国が決定する貢献（NDC）」（2016 年）において、林業分野の取組は温室効果ガス吸収源の保全だけでなく土壌侵食を防ぐことにもなり、洪水や地すべりに遭う人々のリスクを低減するとしている。紹介されている適応の取組例として、コミュニティによる植林を通じた森林劣化の回復、劣化した流域、沿岸地域、及び北部丘陵地域における農村の生活向上がある。さらに、沿岸部及びデルタ地域における防災力強化に向けたマングローブ再生計画によるプロジェクトも実施している。

ミャンマーにおける自然災害の特徴

自然災害としては、とくに台風・熱帯低気圧による洪水・小河川の急速な増水、土石流の発生数が多い（図 R02-2）²⁾。

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た状況を受けて、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、ミャンマー地球科学協会等）は、英国政府援助の下、「Hazard Profile of Myanmar」をとりまとめた。同レポートでは、熱帯低気圧、干ばつ（乾燥地域）、地震、火災、洪水、森林火災、斜面崩壊、高潮、津波の 9 種の災害について、ミャンマー国内での発生頻度・規模や地理的な特徴（脆弱地域）、防災・減災アプローチの提案等がなされている³⁾。

INFO

2) GLIDENumber
<https://www.glidenumber.net/glide/public/search/search.jsp>

INFO

3) Govt. Myanmar, et al.
 (2009) Hazard Profile of Myanmar

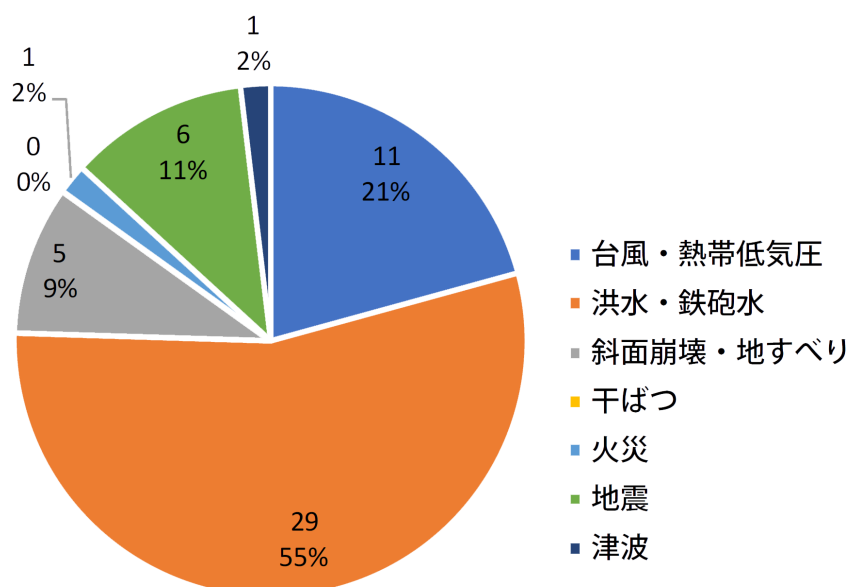


図 R02-2 ミャンマーにおける災害発生の割合（1990～2019年）²⁾より作成

森林を活用した防災・減災に関する国の機能

ミャンマーでは、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。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、NDPCCの下には、災害対応政策の実施を担う「国

表 R02-1 関係省等の防災対策における役割（災害ごと）⁵⁾

災害	非構造物に関する所管	構造物に関する所管
津波	運輸省気象水文局、社会福祉・救済復興省、教育省教育計画研修局	建設省、農業灌漑省灌漑局、地方自治体
地震	社会福祉・救済復興省、保険証、教育省、運輸省気象水文局、ミャンマー工学協会	-
強風	運輸省気象水文局	-
洪水	農業灌漑省灌漑局、運輸省気象水文局、社会福祉・救済復興省	農業灌漑省灌漑局
土砂災害	農業灌漑省灌漑局、運輸省気象水文局、社会福祉・救済復興省	-
干ばつ	農業灌漑省灌漑局、運輸省気象水文局、社会福祉・救済復興省、天然資源・環境省森林局	-
森林火災	消防局、天然資源・環境保全省森林局	消防局、地方自治体

表 R02-2 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）⁵⁾

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	- 災害軽減計画の他省への周知・指導 - 州レベルの災害管理訓練実施 - 国民の教育啓発活動、その他キャパビル	- 災害時応急対応の責任・監督機関 - 救助活動、緊急物資配布、社会的弱者の避難支援 - 早期警報の末端までの伝達	被災者の再定住・復興支援、社会的弱者支援
運輸省	- 海上・航空交通の災害軽減計画 - 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)	- 海上・航空交通の安全確保 - 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)	- 海上・航空施設の]復旧・復興 - 関連情報の提供による復旧・復興支援(気象水文局)
農業灌漑省	- 土壘・ダム・堤防・灌漑施設の強度監視及び維持管理 - 他省と連携し森林保護実施	- 土壘・ダム・堤防・灌漑施設等の監視 - 避難キャンプ仮設、貯水施設設置	- 農業従事者への種子配布、農機具支援 - 土壘・ダム等の調査と修理
建設省	災害に強い公共基盤整備	道路や橋等の被災地へのアクセスの確保	公共インフラ回復、被災者再定住のための都市計画
天然資源・環境省	- 持続可能な森林管理、森林に関する災害削減計画 - 環境保護関連業務(国家環境委員会)	森林に係る機材・人の避難、安全確保	森林資源・林業機材の状況調査と復旧・復興

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・復興省である。この他、情報省、教育省、内務省等も主要メンバーである⁴⁾。

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（表 R02-1）。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、計画・準備・減災対策、災害救援活動・緊急対応、復旧・復興である（表 R02-2）⁵⁾。

支援のニーズ

ミャンマーでは台風・熱帯低気圧や、洪水・鉄砲水の災害が多く、これらの自然災害に対する支援ニーズは、台風・熱帯低気圧による広域の洪水に対する早期洪水予報・警報と洪水防御計画・対策、山岳部や半乾燥地帯等における鉄砲水に対する早期洪水予報・警報と洪水防御計画・対策、土砂災害に対する事前ハード対策の導入・改良、土砂災害に対するコミュニティ防災などが挙げられる。

ただし、2021年2月の国軍によるクーデターを機に、日本政府は人道援助を除く新規ODAを停止している。

INFO

4) 田平由希子 (2020) 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。地域安全学論文集 21, 189-198.

INFO

5) 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）

インドネシア共和国における取組

この Recipe の詳細は

森林を活用した防災・減災の
取組 Country Report 2020
年度 インドネシア共和国

インドネシアにおける自然災害としては、地震、洪水・鉄砲水、斜面崩壊の発生数が多い。パリ協定の 2030 年目標として、緩和策としての REDD プラスを進めるとともに、適応策として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・フォレストリーの実施、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するとしている。オイルパーム農園拡大が洪水増加の一因となっている、今後激甚化が見込まれる高潮への防災対策が十分でない、泥炭林火災が依然として深刻な問題であり、農園開発のための火入れがその一因となっている、といった課題がある。

国及び森林を取り巻く状況

インドネシア（インドネシア共和国）は、東南アジア南部の赤道付近に位置し、熱帯性気候である。プレートの境界付近であるため、火山が多いという特徴がある。

国土の約 49% が森林であり（2020 年）、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。森林率は、1990 年の約 63% から 2020 年の約 49% に減少した¹⁾。森林減少・劣化の要因は、違法伐採、森林火災、オイルパーム農園への土地転換等である（図 R03-1）。1970 年代前半から森林開発、木材生産等が活発化してきた結果、1990 年代までの間に年間 20 百万 m³ 以上の原木が生産され、その後に続く農地への転用等による顕著な森林減少が世界的に問題視されるようになった。これに加え、違法伐採や森林火災による森林劣化も深刻な問題となっている。森林は熱帯林であり、その生態に応じて政府により 6 つに区分されてい

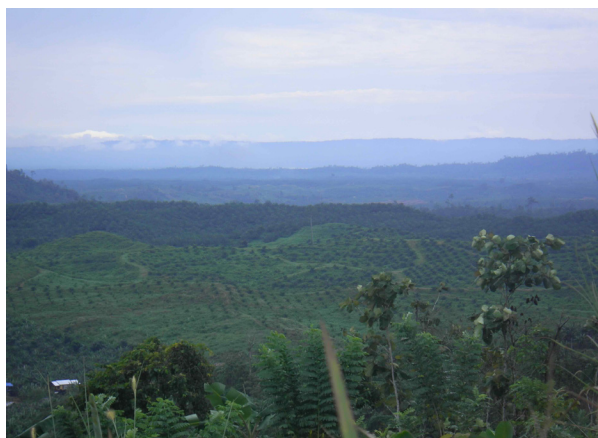


図 R03-1 大規模なオイルパーム農園

INFO

1) FAO (2020) Global Forest Resources Assessment 2020: Main report. Rome.

る（混交丘陵林、山地林、サバンナ・竹・落葉樹・モンスーン森林、泥炭湿地林、淡水湿地林、マングローブ）。天然林の約 65% を混交丘陵林が占め、木材生産のために最も重要な森林となっている。また、マングローブが約 3 百万 ha と大きく、世界のマングローブ面積の約 21% を占める点も特徴的である。

気候変動対策における森林の位置づけを種々の国家戦略・計画等で行っている。特に、途上国における森林減少・劣化の抑制等による排出削減等（REDD プラス）は削減ポテンシャルが大きいとされ、これに取り組む方針が示されている。また、パリ協定の国が決定する貢献（NDC）では、森林についての緩和目標を掲げて REDD プラスを進めていくことを示すと同時に、適応策も示している。具体的には、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・フォレストリーの実施、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するとしている。

インドネシアにおける自然災害の特徴

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、火山噴火が頻繁に発生している点も特徴である（図 R03-2）²⁾。

自然災害に対する防災・減災対策は政府主導で行われている。土砂災害（斜面崩壊、土石流）に対するソフト対策の例としては、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

INFO

2) GLIDeNumber
<https://www.glidenumber.net/glide/public/search/search.jsp>

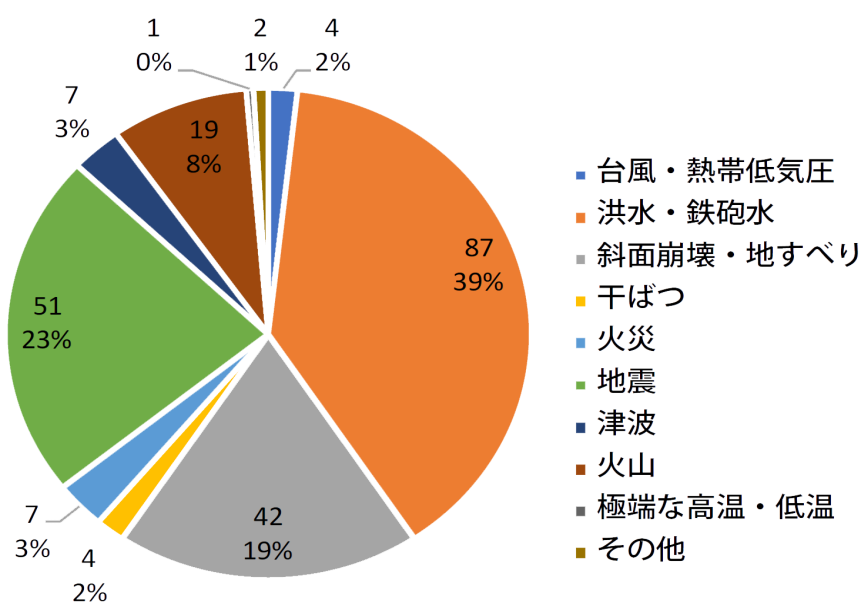


図 R03-2 インドネシアにおける災害発生の割合（1990～2019年）²⁾より作成

INFO

3) 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)

INFO

4) JICA (2004) インドネシア
森林火災予防計画Ⅱ 運営指導
(中間評価) 調査 報告書

INFO

5) JICA (2006) インドネシア共和国 森林火災予防計画Ⅱ
終了時評価報告書

INFO

6) JICA (2015) インドネシア共和国 マングローブ生態系保全と持続的な利用の
ASEAN 地域における展開プロジェクト 終了時評価調査
報告書

INFO

7) 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

予報を重ねて作成した危険地域マップを対象自治体に毎月送付している例がある。また、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³⁾。

森林を活用した防災・減災対策としては、森林火災対策や、沿岸部でのマングローブ植林などが挙げられる。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）が主力の1つであり、「森林火災予防計画Ⅱ」（2001年～2006年）^{4), 5)}、「マングローブ生態系保全と持続的な利用の ASEAN 地域における展開プロジェクト」（2011年～2014年）⁶⁾で技術協力を行っている。

森林を活用した防災・減災に関する国の機能

災害に関する政府の主管は、2007年の災害管理法制定を根拠に2008年に設立した国家防災庁（BNPB）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・復興を行っている。地方政府（州・県・市）には、国家防災庁の地方部局である地方防災局（BPBD）が設立されている⁷⁾。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（図 R03-1）³⁾。森林については、環境林業省（KLHK/MOEF）が所管している。

インドネシアでは、空間情報・非空間情報を含め、災害に関するあらゆるデータが提供されている。とくに緩和・適応戦略の策定のために地

表 R03-1 関係省庁等の防災対策における役割（災害ごと）³⁾

災害	非構造物に関する所管	構造物に関する所管
津波	科学技術評価応用庁(BPPT) 科学院(LIPI) バンドン工科大学(ITB) 科学技術研究所(MENRISTEK) 気象気候地球物理庁(BMKG) 地理空間情報庁(BIG)	公共事業・国民住宅省水資源総局
地震	地質局(BG) 気象地球物理庁	地質局、公共事業省
洪水・土石流	公共事業・国民住宅省(PUPR)水資源総局	公共事業・国民住宅省水資源総局
火山	地質局 火山・土砂災害防災センター(CVGHM)	公共事業・国民住宅省水資源総局
干ばつ	農業省、気象地球物理庁	農業省、公共事業・国民住宅省
斜面崩壊	地質局	公共事業・国民住宅省水資源総局
斜面崩壊	環境林業省(MOEF)	環境林業省

理空間情報庁（BIG）を主管としてデータが整備されてきた。これらのデータについては、「One Map Policy」（2016 年大統領令の下で進められている全国規模での大縮尺基盤地図の整備）の規則に基づいたうえでデータの利用が可能になる。

森林を活用した防災・減災のための活動を実施する際のポイント

インドネシアにおける防災分野における課題としては、下記の課題が挙げられる⁷⁾。

- ・ 経済発展に伴う大規模な土地利用転換（森林からパームオイル農園への転換等）が一因として考えられる大規模な洪水が雨季に毎年発生しており、対策が求められている。
- ・ 防災のための治水対策の位置づけが他の優先課題（食料・水の安全保障、住宅問題）のための水資源開発と比較して低く、予算確保が困難である。
- ・ 防災対策のための地方レベルの予算が不足している。加えて、地方行政組織、コミュニティによる防災活動（とくに水災害に対するもの）が不十分である。
- ・ 高潮対策としては、堤防等の構造物とマングローブ等の植林を組み合わせ実施している。しかし、将来の気候変動に伴う熱帯低気圧の規模拡大、これによる高潮被害増大への対策がとられていない。
- ・ 泥炭地火災は依然として深刻な課題である。エルニーニョにより被害が拡大するという自然要因もあるが、オイルパーム農園等の開発のために人為的な火入れが行われることも火災発生の大きな要因となっている。

こうした課題への支援ニーズに対し、森林を活用したわが国の防災・減災技術の適用可能性を検討していくこととなる。

洪水、高潮、森林（泥炭林）火災への対策が課題であり、また将来にこれらの災害が増加、激甚化する可能性が認められていることから、必要な対策を講じていくことが求められている。また、インドネシアでは、経済発展に伴うオイルパーム農園開発等が、土地転換（森林の喪失）や火入れ（火災リスクの増加）による災害発生の一因となっている。コミュニティの生計を維持・向上する施策を講じていかなければ、こうした要因を取り除くことはできない。防災・減災の取組と合わせて、森林資源の有効活用を含めた生計活動に関する支援も求められる。

タイ王国における取組

この Recipe の詳細は

森林を活用した防災・減災の
取組 Country Report 2021
年度 タイ王国

タイで最も頻発している災害は洪水である。タイの中央部を流れるチャオプラヤ川の勾配が小さいため、一度洪水が発生すると、被害が長期化する傾向がみられる。防災・減災の政策決定は、省庁横断組織である国家防災・減災委員会が担う。山地災害等へのソフト対策は、観測データに基づく災害の発生モデルの開発や早期警報システムの構築、ハザードマップの作成等が政府機関、研究機関、民間企業等によって進められており、またハード対策として、流域へのチェックダムの設置が全国的に行われている。さらに、斜面災害防止や緩和のための崩壊土砂の捕捉ネットの設置や、ジオテキスタイルを用いた斜面強化等を導入している事例もある。

国及び森林を取り巻く状況

タイ（タイ王国）は、東南アジアのインドシナ半島中央部に位置し、熱帯モンスーン気候に属する。平均年間降水量は、北東部では 1,250mm 程度、南部半島では 4,000 mm 以上となる¹⁾。2015 年時点におけるタイの土地利用は農地が 5 割、森林が 3 割、その他の土地利用が 2 割である。なお、森林は「保護林」、「国家保全林（経済林）」、「マングローブ」に細分される²⁾。タイは、国土全体を 25 の流域に分割している。また、流域には、地形、地質、土壌、標高、傾斜等に応じた 5 つの流域分類があり、分類に応じた土地利用規制等が設定されている¹⁾。

タイの森林は、1960 年代には国土の 50% 以上を占めていた。しかし、木材輸出や、農地拡大政策、定住化政策、インフラ開発、都市化、リゾート開発等によって、1970 年代から 80 年代に急速に減少した。1988 年以降、森林保護政策が強化され、近年の森林面積は大きな増減がなく安定している¹⁾。現在は、国土の 31.6% が森林であり（2020 年）、森林の構成は 8 割以上が天然林である。ただし、近年は植林地の割合が増加傾向にある³⁾。1988 年にタイ南部で起きた洪水の原因として森林の荒廃が指摘され、1989 年から天然林の伐採が禁止されている。

森林の政策的な位置づけとして、国家の 5 カ年計画である「第 12 次国家経済社会開発計画（2017 - 2021）」で、持続可能な開発のための環境に配慮した成長戦略目標として、天然資源の保全と回復、水資源の管理、環境の質の向上、自然災害を含む気候変動への適応を掲げた。また、

INFO

1) Royal Forest Department
(2009) Forestry in Thailand

INFO

2) Department of National
Parks, Wildlife and Plant
Conservation(2020) Forest
reference emission level
and forest reference level
Thailand

INFO

3) FAO (2020) Global Forest
Resources Assessment 2020:
Main report, Rome.

達成指標として、森林被覆率を 40%（保護林 25%、経済林 15%）と設定している。なお、特にマングローブについては、その面積を 25.3 万 ha まで拡大すると掲げた⁴⁾。また、2020 年に UNFCCC に提出した「国が決定する貢献（NDC）更新版」で、タイの気候変動に対する緩和及び適応対策の双方で森林セクターが関与することが示されている⁵⁾。特に適応については、6 つの優先分野のうち、「水資源管理」、「農業と食料安全保障」、「自然資源と環境」の 3 分野の具体的な活動として、植林やコミュニティによる森林管理、生態系サービスに対する支払（PES）や REDD プラスの実施等が挙げられた。

INFO

4) Office of the Prime Minister (2017) The twelfth national economic and social development plan (2017-2021)

INFO

5) タイ天然資源環境政策計画室 (2020) Thailand's Updated Nationally Determined Contribution

タイにおける自然災害の特徴

タイで最も頻発している災害は洪水である（図 R04-1）⁶⁾。1970 年から 1980 年代頃まで急激に森林が減少した。この時期以降、山地では土砂災害や土石流が発生しやすくなり、河川では洪水の発生が増加している¹⁾。洪水は、5 月から 9 月頃に発生する南西モンスーンと北西モンスーン、熱帯低気圧等が、集中豪雨や長期間の降雨をもたらして引き起こされる⁷⁾。タイでは流域の勾配が小さく、排水に時間を要するために洪水被害が長期化する傾向にある⁷⁾。土砂災害（鉄砲水、斜面崩壊・地すべり等）も、森林伐採、傾斜地での農耕の拡大等によって、頻度と強度が増加している。また、タイでは 2,420km の海岸線を有し、サイクロンや台風の際に高潮災害が発生している⁷⁾。

INFO

6) GLIDEnumber
<https://www.glidenumber.net/glide/public/search/search.jsp>

INFO

7) Asian Disaster Reduction Center (2020) Thailand Contry Report 2019

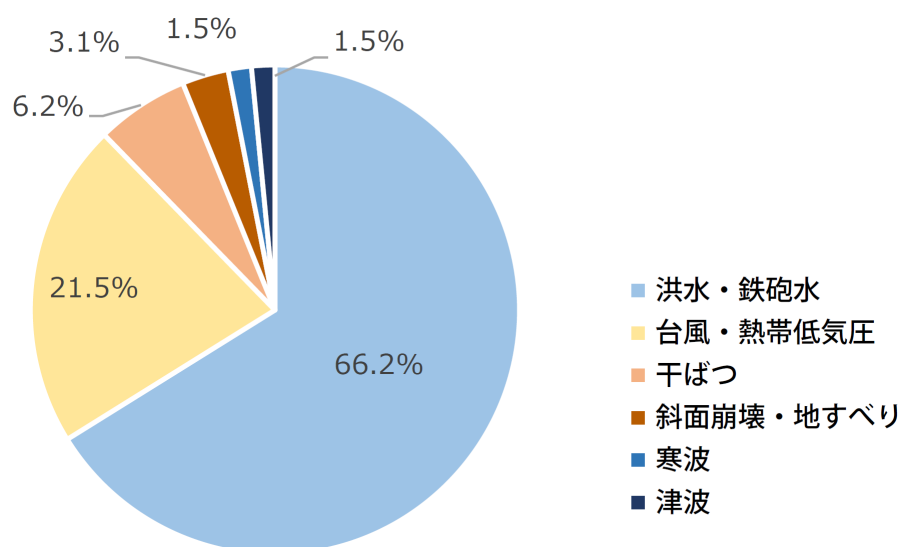


図 R04-1 タイにおける災害発生割合（1991～2020 年）⁶⁾より作成

INFO

8) Office of National Economic and Social Development Council (2018) National Strategy 2018-2037

INFO

9) Department of Disaster Prevention and Mitigation (2015) National progress report on the implementation of the Hyogo Framework for Action (2013-2015)

タイで最初の長期国家戦略として制定された「国家戦略（2018 - 2037）」では、「タイは、足るを知る経済理念に基づき、安全性、繁栄性、持続可能性を備えた先進国になる」というビジョンを掲げた。この中で、持続性を確保するための環境にやさしい開発と成長戦略の中の主要な項目として、自然災害に対する減災と防災に言及している⁸⁾。また、5年毎に策定される国家開発計画の「第12次国家経済社会開発計画（2017-2021）」では、目標の1つとして自然災害等への準備強化を含む国家主権や安全保障、国家の信頼向上等を掲げた。また、持続可能な開発のための環境にやさしい成長戦略のアプローチの1つとして、災害リスク管理を示している⁴⁾。

2015年にタイが作成した兵庫行動枠組の進捗報告書では、①防災・減災の主流化、②コミュニティを含む各レベルでの防災・減災への共通認識の醸成と防災・減災に貢献するメカニズム構築、③防災・減災の参加型モニタリングと評価システムの構築の3点を課題として掲げている⁹⁾。

タイの治水の遅れは政治的混乱が影響している。2005年に打ち出された治水計画は翌年のクーデターによって白紙となり、2013年に策定した包括的洪水管理計画も2014年のクーデターで棚上げとなった。現在は、2018年に策定された「20ヵ年水資源管理計画（2018-2037）」に基づいて取り組みが進められている。

森林を活用した防災・減災に関する国の機能

2002年に、内務省内に災害予防から緊急対応、復興までの防災全般を計画・管理・実施する機関として防災・減災局（DDPM）が設立され、2004年にはDDPMの下に、人材育成を担当する「防災アカデミー（DPMA）」が設立された。また、同年12月のインド洋大津波を契機に、災害の予報・警報を担当する「国家災害警報センター（NDWC）」が設立された。2007年に制定された防災・減災法によって、DDPMの重要な機能として、国家の防災・減災計画の立案と実施が定められた。また、「国家防災・減災委員会（NDPMC）」が、その計画の決定を行う機関として設立された。なお、NDPMCによって決定された国家防災・減災計画の承認は内閣が行う。

2022年1月時点で公表されているのは、「国家防災・減災計画（2015）」である。DDPMは2021年から2027年までの防災・減災の基本方針を示した改訂版の「国家防災・減災計画」を策定しており、2022年1月時点で、最終承認手続き中である。

タイでは 1988 年に発生したタイ南部での洪水を契機に、森林の保護政策が強化されており、森林の保護政策全般が防災・減災対策の 1 つと位置づけられる。防災・減災機能を発揮させるための森林の保全や管理は、天然資源環境省（MONRE）が統括している。MONRE の統括の下で、森林区分別に、王室林野局（RFD）が「国家保全林（経済林）」、国立公園野生動植物局（DNP）が「保護林」、保護林以外の「マングローブ」は海洋沿岸資源局（DMCR）が管理を担う。1985 年に「国家森林政策」が制定され、2019 年に改定案が発表された。改定版の森林政策では、森林をはじめとした生態系サービスの重要性が取り上げられ、保全や再生の重要性が指摘されている¹⁰⁾。なお、2022 年 1 月時点で、改定版「国家森林政策」は承認プロセス中である。

INFO

10) Ministry of Natural Resources and Environment (2019) National Forest Policy Draft

森林を活用した防災・減災のための活動を実施する際のポイント

タイの「国が決定する貢献（NDC）更新版」にて示された、適応分野の災害管理に関連ニーズは、次のとおりである⁵⁾。

- ・ 災害に対する強靱化等を含む、適応策を各計画に統合するための、部門別、地方政府の能力開発
- ・ 教員の育成や教育・訓練プログラムの推進、開発、実施の支援
- ・ 統合水資源管理（IWRM）と生態系を活かした適応（EbA）の実践支援
- ・ 民間セクターの参加を促す資金調達手段、アプローチの開発
- ・ 資金調達のための提案を作成するための国及び地方政府職員等の能力向上
- ・ 災害に対する強靱化等の適応策を実施していくための法的枠組みや手法に関する知見やベストプラクティスの共有
- ・ 天然資源、生態系、生物多様性の保全・保護に対して、コミュニティの参加を促すための知見や技術の支援

DDPM は、タイの防災・減災セクターへの支援ニーズとして、防災・減災のための研究開発の促進とスキルの向上、防災投資の拡大、効果的な復興戦略の構築、地域レベルのステークホルダーを防災に巻き込むインセンティブの付与、人材育成を挙げている。

フィリピン共和国における取組

この Recipe の詳細は

森林を活用した防災・減災の
取組 Country Report 2021
年度 フィリピン共和国

フィリピンは、東南アジアにおいて最も自然災害の多い国の一つであり、台風を起因とした洪水、斜面崩壊・地すべり、高潮等の災害による死者・行方不明者が大半を占めている。災害リスク軽減・管理法を制定し、災害後の復旧等に加え、防災・減災を含んだ総合的な災害リスク管理という新たなアプローチに基づく枠組みを策定している。気候変動対策を含めた林業開発マスタープランでは、気候変動耐性を促進するための持続可能な森林管理と流域管理、コミュニティの気候変動災害に対する回復力強化、情報管理やモニタリング・評価システムの改善等が掲げられている。

国及び森林を取り巻く状況

フィリピン（フィリピン共和国）は、東経 117 度から 126 度、北緯 4 度から 20 度の中にある大小 7,641 の島々で構成されている国で、総面積は約 3,000 万 ha である。全体として熱帯モンスーン型気候に属している。

フィリピンの国土面積約 3,000 万 ha のうち、2020 年時点の森林被覆は 718 万 ha（約 24%）と推定されている。その内訳は天然林 86 万 ha、その他の二次林 594 万 ha、人工林 38 万 ha となっている¹⁾。森林被覆面積は、1934 年は国土の 60%（1,780 万 ha）だったが、1970 年は 50%に、1990 年には 27%まで減少した。1950 年から 1980 年代後半までに年間 17 万 ha、率にして 1.6%の森林が消失したことになる。2000 年以降になると、森林被覆面積は横ばい、もしくは微増傾向にあるが、グローバルフォレストウォッチによれば、2002 年から 2020 年までに少なくとも 15 万 ha の湿潤天然林が消失したと報告されている²⁾。

1970 年代以降の森林減少及び劣化の要因は、森林管理局の管理体制の不備、伐採業者に対するインセンティブの欠如による不法伐採、再植林の未実施、伐採跡地に侵入した移動式耕作者による非伝統的な焼き畑を含む農業活動等が挙げられている。また、閉鎖林から開放林への転換が開放林から閉鎖林への転換を上回っており、森林の質的な劣化が進んでいる^{2), 3)}。フィリピンの森林劣化の要因は、1970 年代の商業伐採跡地に残された二次林の多くが乾期に頻繁に発生する山火事によって草地化し、はげ山となったためである。さらに、人口増加に伴う薪炭林の

INFO

1) FAO (2020) Global Forest Resources Assessment 2020: Main report. Rome.

INFO

2) Global Forest Watch
<https://www.globalforestwatch.org/>

INFO

3) 林野庁 (2019) 平成 29 年度「クリーンウッド」利用推進事業のうち生産国における現地情報の収集（熱帯地域）報告書

需要増加や農地の拡大を目的とした森林開発によって劣化した経緯がある。近年では、伐採、自然災害、違法伐採、違法鉱山開発が森林劣化の要因であると分析されている⁴⁾。マングローブは、エビ養殖によって、1900年初めと比べて、1998年までに1/4から1/5に減少



図 R05-1 フィリピンのマングローブ

した（図 R05-1）。エビ養殖場は、数年から10年程度で放棄される。放棄される理由は泥質の悪化とウィルス病の蔓延であり、放棄後のマングローブの再生は困難となっている⁵⁾。

フィリピンは2013年に気候変動対策を含めた林業開発マスタープランを更新しており、森林は木材や非木材製品の供給源としてだけでなく、農業、エネルギー、家庭用の水源、洪水等の災害からの保護、観光や漁業支援のための生物多様性の保全等、重要な生態系サービスの提供者として認識されている。さらに、林業開発マスタープランでは、気候変動耐性を促進するための持続可能な森林管理と流域管理、コミュニティの気候変動災害に対する回復力強化、情報管理やモニタリング・評価システムの改善等が掲げられている⁶⁾。

フィリピンにおける自然災害の特徴

フィリピンは、東南アジアにおいて最も自然災害の多い国の一つであり、洪水、台風・熱帯低気圧、斜面崩壊・地すべり、地震、火山災害等、災害の種類も多様である。地理的位置と地殻変動により、ほぼ全ての種類の自然災害に見舞われる可能性がある^{7), 8), 9)}。被災傾向は、台風を起因とした洪水、斜面崩壊・地すべり、高潮等の災害による死者・行方不明者が大半を占めており、災害被害の主要な原因が台風であることが分かる（図 R05-2）¹⁰⁾。近年の自然災害の発生件数と被災者数は、ともに増加傾向にある。特に、マニラ首都圏等の大都市圏の災害リスクが増大しており、特に貧困地域は、災害リスクに対する脆弱性が大きい¹¹⁾。

フィリピンでは、1990年代から「災害発生後の対応とその準備に重点を置いた政策」から「貧困削減の一環として、災害発生前の災害リス

INFO

4) 渋谷幸弘・餅田治之(2004) フィリピンの荒廃地における森林再生事業に関する研究。筑大演報, 20, 1-58.

INFO

5) 田中勝久(1998) マングローブ域の開発と環境問題。中央水圏ニュース, 21

INFO

6) The Department of Environment and Natural Resources (2016) Philippine Master Plan for Climate Resilient Forestry Development

INFO

7) 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

INFO

8) JICA (2015) フィリピン国 災害リスク軽減・管理能力向上プロジェクト

INFO

9) Office of Civil Defense - Department of National Defence (2018) The Philippine Disaster Risk Reduction and Management System

INFO

10) GLIDENumber <https://www.glidenumber.net/glide/public/search/search.jsp>

INFO

11) JICA (2017) フィリピン国防災セクター戦略策定のための情報収集確認調査ファイナルレポート

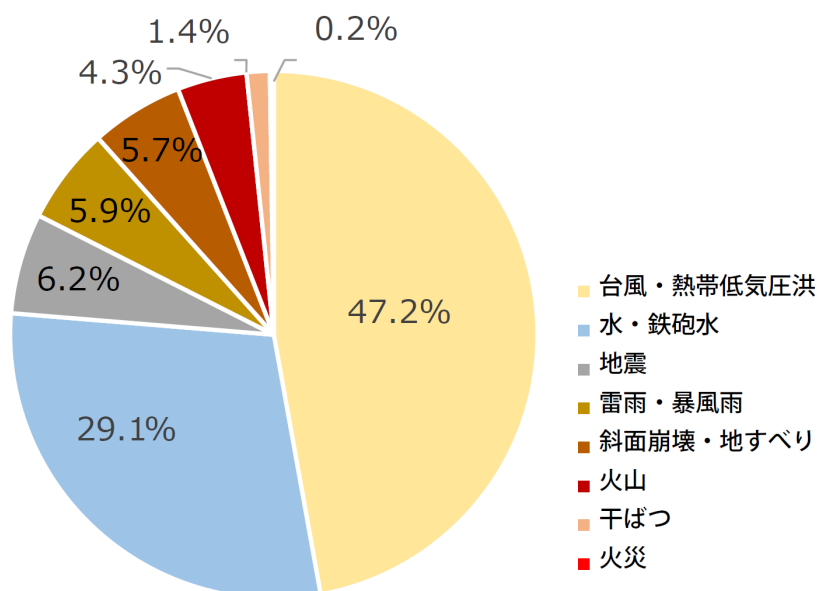


図 R05-2 フィリピンにおける災害発生割合 (1990 ~ 2020 年) 9) より作成

クの軽減を図る災害リスクマネジメントを重視した政策」へ転換しており¹¹⁾、2010 年には災害リスク軽減・管理 (DRRM) 法を制定した。これにより、災害後の復旧等に加え、防災・減災を含んだ総合的な災害リスク管理、DRRM という新たなアプローチに基づく枠組みを策定し、セクター横断的な事項としてこれを位置づけている。災害サイクルの全てのステージ (災害予防・軽減、災害準備、災害対応と災害復旧・復興) をカバーする広範な領域で日本による協力が実施され、強固な二国間パートナーシップを形成している。また、ASEAN や APEC 会合における防災分野での議論でリーダーシップを発揮し、災害管理と緊急対応に関するアセアン合意 (AADMER) 等の地域レベルの枠組みの形成に貢献した¹¹⁾。

森林を活用した防災・減災に関する国の機能

2010 年の DRRM 法により、国レベルの災害管理に関する最高意思決定機関として「国家災害リスク軽減・管理評議会 (NDRRMC)」が再編された¹¹⁾。また、「災害リスクの予防と軽減、災害への準備と対応、被災後の復旧、復興、前進のための国家努力を主導、管理、組織する」ための新たな政府機関 (災害レジリエンス省: Department of Disaster Resilience) の設立に関する法案が 2020 年 9 月に下院で承認された。現在は国家災害リスク軽減管理評議会 (NDRRMC) が行っている主要

INFO

12) Philippine News Agency (2020) Disaster resilience department bill gets final House nod.

な事務局業務に代わる機関として期待されている¹²⁾。

国の環境と天然資源の保全、管理、開発、適切な利用のための施策を実施する機関である環境天然資源省（DENR）は、2016 年からのドゥテルテ政権 6 か年の目標として、(1) 土地所有権における社会的公正、(2) 環境保護における良好かつ効果的なガバナンス、(3) 森林と保護地域の回復、(4) 気候変動への適応と天然資源の持続的利用、(5) 沿岸及び海洋資源の保全、を優先課題として実施している¹³⁾。また、国家緑化プログラムが 2011 年から継続しており、2020 年の年間目標 46,907ha に対し、全国で 47,299ha が植林され、達成率は 100%となった。2010 年からの 10 年間で、荒廃した森林面積の 23% で植林が実施されている。

INFO

13) The Department of Environment and Natural Resources (2020) Annual Report 2020

森林を活用した防災・減災のための活動を実施する際のポイント

JICA による 2017 年の調査¹¹⁾によると、防災・減災分野に係るニーズは、(1) 高度な災害準備活動とリスク軽減策の実施、(2) 資産・人口が集中するマニラ首都圏及び災害に対して脆弱な開発が遅れている地域での災害リスク軽減、(3) 既存のリスクアセスメントのさらなる精度向上と標準化の実施、に大別される。

改正森林法が策定された 1975 年当時、傾斜に基づく土地利用制限は防災目的ではなかったが、結果として、傾斜地の大規模農地への転換が阻止された。フィリピンでは、1900 年代以降、約 100 万 ha の植林を行ったとされるが、活着率は低い。その要因として、植栽後の保育管理の不足が指摘されている。また、法律上林地と定義されている場所にも数百万の人々が居住しており、植林や治山活動を行うにあたり、住民への配慮の視点が必要である。

治山技術を活用・展開するにあたっては、斜面崩壊・地すべり対策の関連ガイドライン・計画が策定されており、これらを考慮する必要がある。また、治山を管轄する機関が定められていないため、現地での活動を検討する際には関連しそうな各機関にアプローチする必要がある。

インド共和国における取組

この Recipe の詳細は

森林を活用した防災・減災の
取組 Country Report 2021
年度 インド共和国

インドは、モンスーンの影響下にあつて洪水や熱帯低気圧等による災害の発生数が多いが、地震、斜面崩壊・地すべり、寒波・熱波、干ばつ等、様々な災害が発生している。このような自然災害に対して、インドでは災害管理法により災害の効果的な管理のための法的・制度的枠組みを定めている。国家災害管理委員会は、中央省庁や州政府等が、それぞれの防災計画等を策定する際のガイドラインを、災害種類や対応機関別等に発行している。インドの国家災害管理計画では、災害発生後の対応から、防災・減災や災害に対する事前準備に切り替えていくことをパラダイムシフトとして捉えており、防災・減災対策を進めることに積極的である。

国及び森林を取り巻く状況

インド（インド共和国）は、南アジアのインド半島に位置し、北東部にはカラコルム山脈やヒマラヤ山脈等の大山脈地帯がそびえ、中部はガンジス川やインダス川が流れる沖積平野地帯が広がる。西部には岩石や砂からなる沙漠地帯があり、南部のインド半島はデカン高原と呼ばれる高原地帯となっている。気候区分としては、熱帯モンスーン気候に属している。

2016-2017 年時点におけるインドの土地利用は農地が 62.0%（休耕地・耕作されていない土地を含む）、森林が 23.4%、その他が 14.5%となっている。インドは、「国家森林政策（1988）」の策定以来、森林・樹木の被覆率を 33.3%（国土の 1/3）にすることを国家目標として掲げ、植林や森林保全活動に取り組んでいる。特に丘陵地や山岳地帯は、流域保全や土壌保全のために、土地の 2/3 を森林・樹木で被覆するとしている（図



図 R06-1 石垣による表層土壌侵食防止

INFO

1) Ministry of Environment and Forest (1988) National Forest Policy

R06-1) ¹⁾。この目標値は、現在のインドの国家計画である「新インド戦略 @75」にも継承されている ²⁾。

インドの森林被覆率は 1997 年には 19.2%にまで減少したが、植林等の森林再生・保全活動によって、森林被覆率は増加傾向にある。2021 年時点での森林被覆率は 21.7% であり ³⁾、森林面積の約 2 割を植林地が占める ⁴⁾。インドでは、1988 年の「国家森林政策」によって森林保護が優先されるようになり、木材生産量は徐々に減少した。

2022 年までの国家目標と戦略を定めた「新インド戦略 (2018)」において、「持続可能な環境」のための主要な柱の 1 つとして森林管理が挙げられた ²⁾。また、2018 年に提出された森林に関する最上位政策である「国家森林政策」の改定案には、森林の持つ防災機能の発揮の重要性に関する記載が追加された ⁵⁾。

2015 年に UNFCCC に提出した「国が決定する貢献草案 (INDC)」では、緩和及び適応の両分野で森林セクターの関与を示している ⁶⁾。適応対策では、災害管理を含む 9 つの重点分野が挙げられており、このうちの「農業」、「水」、「沿岸地域及び島」、「生物多様性とヒマラヤ生態系の保護」等の活動に森林が関連している。

インドにおける自然災害の特徴

洪水や熱帯低気圧等による災害の発生数が多いが、地震、斜面崩壊・地すべり、寒波・熱波、干ばつ等、様々な災害も発生している (図 R06-2) ⁷⁾。丘陵・山岳地帯、特にヒマラヤ地域は斜面崩壊・地すべりや雪崩の危険にさらされている。平野部は洪水の影響を受けやすく、国土の 12%が洪水や河川の侵食を受けやすい環境にある。沿岸地域はサイクロンや暴風雨の影響を受けやすく、総延長 7,516km の海岸線のうち約 5,700km が侵食されやすい状況である ⁸⁾。

インドの災害管理における包括的な取り組みを示した「国家災害管理政策 (NPDM) (2009)」や「国家災害管理計画 (NDMP) (2019)」では、防災・減災による災害管理の主流化を各セクターの開発計画等に組み込むことに重点を置いている ^{9), 10)}。2015 年にインドが作成した兵庫行動枠組の進捗報告書では、課題と展望として、①あらゆるレベルにおける持続可能な開発政策や計画への防災・減災の組み込み、②コミュニティレベルでの、災害に対する強靱性の構築に貢献できる制度や能力等の開発と強化、③被災地の復興における防災アプローチの組み込みの 3 点を掲げている ¹¹⁾。

また、「国家災害管理計画」では、災害発生後の対応から、防災・減

INFO

2) National Institution for Transforming India (2018) Strategy for New India@75

INFO

3) Forest survey of India (2022) India State of Forest Report 2021

INFO

4) FAO (2020) Global Forest Resources Assessment 2020: Main report. Rome.

INFO

5) Ministry of Environment, Forest and Climate Change (2018) Draft National Forest Policy, 2018

INFO

6) Government of India (2015) India's intended Nationally determined contribution

INFO

7) GLIDENumber
<https://www.glidenumbers.net/glide/public/search/search.jsp>

INFO

8) Asian Disaster Reduction Center (2018) Country Report India

INFO

9) National Disaster Management Authority (2009) National Policy on Disaster Management 2009

INFO

10) National Disaster Management Authority (2019) National Disaster Management Plan

INFO

11) Ministry of Home Affairs (2015) National progress report on the implementation of the Hyogo Framework for Action (2013-2015)

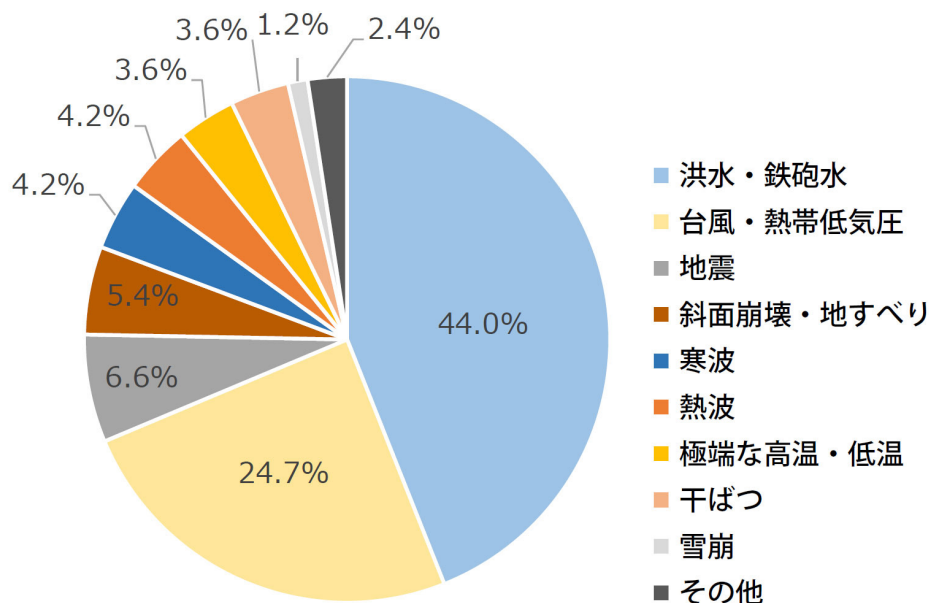


図 R06-2 インドにおける災害発生の割合（1991～2020年）⁷⁾より作成

災や災害に対する事前準備に切り替えていくことを「パラダイムシフト」として捉えており、防災・減災対策を進めることに積極的である。

国家災害管理委員会は、災害種別に、防災・減災対策や復興のためのガイドラインを策定し、国家全体に対して統一した指針を示している。2005年に制定された「国家災害管理法」では、災害の効果的な管理及びそれに関連する事項のための法的・制度的枠組みを定めた¹²⁾。この国家災害管理法に基づき、2009年に「国家災害管理政策」、2016年に「国家災害管理計画」を策定し、2019年には「国家災害管理計画」の改定を行った。また、州政府レベルでの政策及び計画の策定も進められている^{8), 10)}。

INFO

12) Government of India (2005) Disaster Management Act

森林を活用した防災・減災に関する国の機能

2005年に制定された「国家災害管理法」において、国、州、県の各レベルでの災害管理体制や制度が定められた。中央政府には首相を議長とする「国家災害管委員会（NDMA）」、州政府は州の首相を議長とする「州災害管理委員会（SDMA）」、県は県の長を議長とする「県災害管理委員会（DDMA）」が設置されている⁸⁾。なお、本法律は、防災・減災等、災害の事前対応に重点が置かれており、従来、緊急対応が中心であったインドの防災政策を転換する契機となった。

インドは1988年の「国家森林政策」の策定以降、森林の再生・保護

に取り組んできた。特に丘陵地や山岳地帯に関しては、土壌侵食や土地劣化を防ぎ、脆弱な生態系の安定性を確保するために、土地の 2/3 を森林・樹木で被覆すると定めている。このため、森林の保護政策全般が防災・減災対策の 1 つと位置付けられる。2014 年より始まった「緑のインドミッション」は、気候変動に対して森林を通じて、緩和と適応の両方への対策を実施するプログラムである。このプログラムには、流域保全や土壌保全等を目的とした森林を活用した防災・減災に繋がる活動が含まれている。

森林を活用した防災・減災のための活動を実施する際のポイント

インドは、防災・減災対策を含む気候変動対策の推進において、先進国からの技術面や資金面での支援が重要であると強く主張している。「国家斜面崩壊・地すべりリスク管理戦略（2019）」¹³⁾によると、インド北部から西部にかけて、国土の 12.6% に当たる約 4,200 万 ha の地域で斜面崩壊・地すべりが起きやすい。当該地域には 65,000 以上の村が存在している。

「国家防災管理計画（2019）」及び「国家斜面崩壊・地すべりリスク管理戦略（2019）」では、斜面崩壊・地すべりに対する構造物対策の対応機関として、森林関連機関を含めていない。しかし、日本が実施した「ウッタラカンド州山地災害対策プロジェクト」では、ウッタラカンド森林局をカウンターパートとして、治山技術に関する能力向上等を行った。

このように斜面崩壊や地すべりの発生地点となる森林は森林局が管轄するが、その土砂が堆積する道路は公共工事局、河川は河川局と、複数の機関が関与している。治山対策の実施体制も州によって異なることから、インドにおいて治山工事の展開等を検討する際は、州の災害管理部門に連絡し、適切なアプローチ機関等を確認する必要がある。

INFO

13) National Disaster Management Authority (2019) National Landslide Risk Management Strategy

索引

AW3D30	T04	せん断抵抗角	T06
CS 立体図	T04	ゾーニング	P04, P05, T08
DEM	P04, T04	チェックダム	P01
EbA	I02	データ統合解析システム	T03
Ecosystem-based Disaster Risk Reduction : Eco-		トリガー	T03
DRR	I02	トレードオフ	P03
GCP	T06	ネット効果	I01
Google Earth Engine	P04, T01	のり切り工	T07
GPS 測位	T06	パーセンタイル	T03
IPCC	I05	パートナーシップ	I08
IPCC 第 6 次評価報告書	I03, I05	ハザード	I03, I05
JICA	I07	パリ協定	I06
NASADEM	T04	ヒューム管	T06
NbS	I08	フォーカス・グループ・ディスカッション	T09
Nd 値	T06	ふとんかご	T07
OneGeology	T04	プロジェクト	I08
REDD プラス	I01	マイクロ波放射計観測データ	T03
SDGs (持続可能な開発目標)	I02, P05	マッピング	T02
SfM	T11	マングローブ	I03, P01, P06, T10
SRTM	T04	モニタリング	T01
UAV	T06	モンスーンアジア地域	I03, P05
アジア開発銀行	I07, I08	ランダムフォレスト	P04, T02, T04
インフォームド・コンセント	T09	リスク管理	P03
オープンソース	P04, T01	リスク評価	T02
ガイドライン	T08	リスクマップ	P02, P04, T04, T08
ガリー	P01	リモートセンシング	P04, P05, T04, T11
キー・インフォーマント・インタビュー	T09	リル	P01
クラウド環境	P04, T01	レジリエンス	I06, P03, P05
グラスゴー・シャルムエルシェイク作業計画	I06	暗渠	P05, T06
グリーンインフラ	I02, P05	育苗	P06
グリーンインフラ推進戦略	I02	雨水の浸透能	P01
グレーインフラ	P01, P05, T09	渦粘性効果	P06, T11
グローバルな気候レジリエンスのための UAE		雨滴エネルギー減殺機能	I01
枠組 (Framework for Global Climate Resilience)	I06	衛星画像	T01, T02
コンサルタント企業	I08	衛星全球降水マップ	P04, T03
コンセンサス	P03	塩害	I02
シートウォッシュ	P01	沿岸侵食	I02
ステークホルダー	P03, T08	塩分濃縮	P06
せん断強度	P05, T06	温室効果ガス濃度	I06
		海岸侵食	I03, P06
		海岸防災林	T10

快適環境形成機能	I01	合意形成	T08
開発援助委員会	I08	降雨	T03
回復力	I05	降雨強度	T06
海面上昇速度	T11	降雨浸透	P05, T06
河床高度	P05	降雨レーダ	T03
活動力	T03	洪水	I02
簡易動的コーン貫入試験	T06	洪水・鉄砲水	I03
環境インパクト	P01	洪水緩和機能	I01
環境配慮型	I07	降水強度推定アルゴリズム	T03
冠水頻度	T12	洪水氾濫リスク	P05
機械学習	P04, T01, T04	洪水被害	P05
機械学習モデル	P04, T01, T02, T04	降水物理モデル	T03
基岩層	T06	洪水リスク	I05, I08
危険度評価	P04, T04	公的資金	I07
気候関連災害	I06	荒廃地	T07
気候技術センターネットワーク	I07	高分解能衛星データ	T01
気候システム	I06	港湾開発	P06
気候変動	I05, I06	護岸工	T07
気候変動に関する政府間パネル	I05	国際協力	I07
気候変動枠組条約締約国会議	I01, I02, I06	国際自然保護連合	I02
気候レジリエンス	I06	国際防災戦略（ISDR）	I05
技術支援	I07	国際連合人道問題調整事務所（OCHA）	I03
気象観測施設	P04, T03	国土保全	P02
気象警報	T05	国連開発計画	I07, I08
教師データ	T01, T02	国連食糧農業機関	I07, I08
強靱化	I06	国連生物多様性条約会議	I02
極端現象	I03, I05	国連防災機関（UNDRR）	I06, I08
切取法面	T06	国連防災世界会議	I06
切取法面崩壊	T06	個人情報	T09
緊縛効果	T07	根系	T11
緊縛力	T10	根系構造	T10
杭効果	I01	根系傷害	P06, T12
空間スケール	T08	災害	I05
草の根技術協力事業	I07	災害損失	I06
雲の被覆率	T01	災害発生リスク	T03
溪間工	P01, T07	災害保険制度	I03
経済活動	P03	災害リスク	I05, I06, P03, P06, T03, T06
経済成長期	I03	災害リスクガバナンス	I06
経済被害額	I03	災害リスク管理	I06
軽量のり砕工	T07	災害リスクマネジメント	I05
限界回転モーメント	P06, T10	最高高潮位	T12

採種	T12	斜面崩壊リスク	P05, T06, T08
最大回転モーメント	T10	縦横断浸食	T07
柵工	T07	集水樹	T06
砂質堆積地	P06, T10	集水面積	T06
砂防	P05	住民意識	T08
参加型ワークショップ	T09	住民参加	P03
山地災害	I02, I04, P05, T07	主観危険度	T05
山地災害防止機能	T07	循環利用	T08
山地防災	P01	商業伐採	P06
山腹基礎工	T07	消波効果	I03
山腹工	P01, T07	植栽工	T07
山腹荒廃地	T07	植生工	T07
山腹緑化工	T07	人為起源	I03
時間スケール	T08	浸食	T12
時系列解析アルゴリズム	T02	浸水被害	I03
地すべり	I03	深層崩壊	I01, I04
地すべり防止	T07	浸透能	T08
自然涵水	P06	森林・林業基本計画	T08
自然災害	I01, I06, P01, P03, T05, T09	森林回復	T07
自然災害リスク	I02, I03, P02	森林攪乱	T02
事前防災	I06, P05	森林攪乱検知	T02
自然を基盤とした解決策 (Nature-based Solutions : NbS)	I06, I08, T09	森林管理	I01, P03, P04, P05
持続可能な開発目標 (SDGs)	I06	森林経営計画	T08
支柱根	T10	森林計画	T08
市町村森林整備計画	T08	森林計画制度	T08
湿潤密度	T06	森林所有者	T08
実播工	T07	森林整備	I02, I03, P05
地盤	T10	森林整備保全事業	T07
地盤高	P06, T12	森林ゾーニング	P03, P05
社会基盤	T06	森林の防災・減災機能	P02, P03, P05
社会経済的価値	P01	森林法	P02, T08
社会調査	T09	森林を活用した防災・減災	I02, I07, P01
社会的ニーズ	P03	吸い上げ効果	T11
斜面傾斜	T02	水害防備林	P05
斜面災害防止	I08	水源涵養機能	I01
斜面災害リスク	T06	水質浄化機能	I01
斜面崩壊	I01, I03, I04, P01, P04, P05, T01, T02, T03, T07	水制工	T07
斜面崩壊地	P05, T01, T04	垂直根による杭効果	I04
斜面崩壊プロセス	T06	水平根によるネット効果	I04
		水量調整機能	I01
		筋工	T07

生育適地	T12	治山技術基準	T07
正規化植生指数	P04, T01	治山事業	P01, T07
正規化水分指数	P04, T01	治山施設	P02, P03, P05, T07
正規化燃焼率	T02	治山ダム	T07
生計向上	P01	抽出精度	T01
生産林	T08	中小企業・SDGs ビジネス支援事業	I07
脆弱性	I05, I06	潮害	I04
脆弱性の低減	I02	調査測線	T06
生態系サービス	I02, P01	潮汐	T12
生態系を活かした気候変動適応	I02	潮汐環境	P06, T12
生態系を活用した防災・減災	I02	潮汐動向	P06
政府開発援助	I07	直接対話	T09
生物多様性	I02	抵抗性	T10
生物多様性保全機能	I01	抵抗力	T10
世界銀行	I07, I08	適応	I02, I05, I06
世界防災基金	I07	適応基金	I07
赤外放射計データ	T03	適応戦略	I02
施業計画	T08	適応に関する世界全体の目標 (Global Goal on Adaptation, GGA)	I06
先駆種	I01	適応力	I06
全国森林計画	T08	鉄線かご土留工	T07
仙台防災枠組 2015-2030	I06	伝統的な土地利用	I03
素因	I04, T02, T03	天文潮位	T11
層化無作為サンプリング	T02	投影面積	T11
造林	P01	透水層	P04, T03
側溝	T06	道路法面	P05
損失と損害	I03	土砂災害	P04, T02
対策シナリオ	P02, P03	土砂災害防止機能	I01
胎生種子	T12	土砂堆積	T06, T12
台風・熱帯低気圧	I03	土砂流出	T07
高潮	I03, I04, P06, T10, T11	土砂流出防備林	P05
高波	I04, T10	土砂流出量	I02, I03, P05
濁度	P05	土壌生成環境	P01
多国間援助	I07	土壌断面	T06
谷止工	T07	土壌保全機能	I01
多面的機能	I01, T08	土地改変	I03
炭素貯留機能（地球温暖化緩和機能）	P06	土地転換	I03
地域住民	P02, P03, T09	土地被覆	T02, T04
地域森林計画	T08	土地被覆の変遷	T02
地球環境ファシリティ	I07, I08	土地被覆分類	P04, T01
地球環境保全機能	I01	土地利用	T08
治山技術	I02, I03, P01, P05, T05		

土地利用改変	P05	不透水層	P04, T03
土地利用管理	P02	文化機能	I01
土地利用計画	I02, P01, P02, P03, P05	平均海面水位の上昇	I05
土地利用図	T04	平均潮位	T12
土地利用制限	I02	保安林	P02, P05
土地利用配置	P05	保安林制度	P02
土地利用変化	P04	崩壊地	P04
土留工	T07	崩壊発生危険雨量	T03
土粒子緊縛機能	I01	崩壊防止機能	I04
苗畑	P06, T12	崩壊要因	P04
二国間援助	I07	崩壊リスク	P05
人間活動	I05	防災・減災機能	I01
根返り耐性	P06, T10	防災・減災効果	P01
粘着力	T06	防災意識	I03, P05, T05
能力開発支援	I07	防災インフラ	P06, T10
法面防災	I08	防災機能	T08
法面保護工	T07	防災グローバルファシリティ	I08
胚軸	T12	防災行動	T05
排水溝	T06	防災施設	P01
排水施設	P05	防災戦略	I06
破壊限界	T10	防災対策	P05
曝露	I05	防災予算	I03
暴露の回避	I02	防災林造成	T07
伐採跡地	I01	防潮林	P05
波力減衰	P06	防風林	P05
半胎生種子	T12	飽和透水係数	T06
引き倒し試験	T10	保健・レクリエーション機能	I01
飛砂防備林	P05	保護林	T08
避難施設	T05	保水力	I01
表層侵食	P06	保全・植林プロジェクト	T09
表層崩壊	I01, I04	実生苗	T12
表層崩壊防止機能	I01, I04	緑の気候基金	I07, I08
費用対効果	I03	民間企業	I07
表面侵食	I01, P01, T06	民間セクターファシリティ（Private Sector Facility : PSF）	I07
表面侵食防止機能	I01	目視判読	T02, T04
表面排水工	T07	誘因	I04, T02, T03
漂流物捕捉効果	I04	養殖池造成	P06
不安定土砂	T06	落石防止工	T07
吹き寄せ効果	T11	裸地	T01
伏工	T07	立地条件	T12
物質生産機能	I01		

流出土砂量	T06
流速減殺機能	I01
流末箇所侵食	P05
流量減少機能	I01
流路工	T07
緑化基礎工	T07
緑化工	P01
林帯幅	I04, T11
林齢	P01

執筆者一覧

江原 誠	T05, T09	アジア航測株式会社
小野賢二	P06, T10, T12	I02, I03, I06, I07, I08, R04, R05, R06
岡本 隆	P05, T07, T08	三菱 UFJ リサーチ & コンサルティング株式会社
志水克人	T02	P01, R01, R02, R03
鈴木秀典	T06	
大丸裕武	I02, P01, P04, T01	
経隆 悠	P04, T03	
野口宏典	P06, T10	
平田泰雅	I01, I03, I04, I05, I06, P01, P02, P03, P05, P06, T01, T08, T11	
古市剛久	I02, I03, I06, I07, I08, P01, P05, R01, R02, R03, R04, R05, R06	
道中哲也	T05	
宗岡寛子	T06	
村上 亘	P04, T01, T03, T04	
山口 智	T06	

企画・構成・デザイン

平田泰雅

編集

平田泰雅・戸谷 玄・小池信哉

本書の引用記載

平田泰雅 編（2025）森林を活用した防災・減災のための COOKBOOK
森林総合研究所 REDD プラス・海外森林防災研究開発センター, 162pp.



国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所

Forestry and Forest Products Research Institute

〒 305-8687 茨城県つくば市松の里 1

編集・発行 REDD プラス・海外森林防災研究開発センター

REDD-plus and Forest-DRR Research and Development Center

URL: <https://redd.ffpri.affrc.go.jp/index.html>

E-mail: red-d-center@ffpri.affrc.go.jp