

森林斜面で起きる土砂災害の これまでとこれから

東京大学大学院農学生命科学研究科教授 蔵治 光一郎

山崩れは自然現象、土砂災害は社会現象

洪水は自然現象、水害は社会現象、という言葉がある（大熊、2020）。自然科学において洪水とは川を流れる水量が多い状態を表す言葉で、大雨で川があふれたとしても、人間の生命や財産が被害を受けなければ水害とは言わない。この用語の使い方を土砂に当てはめると、山崩れは自然現象、土砂災害は社会現象、となる。山の斜面は、森林があろうがなかろうが、風雨にさらされ、いずれは大雨や地震により崩れる。崩れた土砂が生命や財産に被害を及ぼさなければ、「土砂災害」とは呼ばない。生命や財産が立地する区域が拡大すれば、これまで山崩れだったものが土砂災害になる可能性が高まる。土砂災害を防ぐために最も重要なことは、山崩れによって被害を受ける可能性がある場所に生命や財産を立地させないことである。以下では、それが現実的に困難な場合、すなわち山崩れが土砂災害に直結するような場合に絞って検討する。

土砂災害の歴史の変遷

日本の土砂災害は、時代とともに移り変わってきた。塚本（2006）は近代以前の土砂災害と近代化に伴う変化について、山地斜面を「A：森林根系健全域」「B：森林根系劣化域」「C：ハゲ山形成域」「D：ハゲ山域」「E：森林・表土回復途上域」の五つに区分し、その組み合わせにより1900年以前を「ハゲ山形成域卓越時代（A, B, C, D）」、1900年ごろ～1950年ごろを「ハ

ゲ山域卓越時代 (A, B, D)」、1950 年ごろ～2000 年ごろを「森林根系劣化域卓越時代 (A, B, E)」、2000 年以降を「森林根系健全域卓越時代 (A, E)」の四つに区分している。そして日本の山地の全域が森林根系健全域ないし途上域となり、国内林業の現状からみて、森林根系劣化域が大規模に生まれる可能性は今後しばらくない、としている。一方、森林の樹木が巨大化し、土砂よりも流木による災害への対策が重要になる可能性、地球温暖化・気候変動による土砂災害の激甚化を示唆している。鈴木 (2009) は塚本の区分を踏まえつつ、1980 年代より前に比べて後では災害統計上の土砂災害が減少したこと、その理由の一つとして、拡大造林からの時間経過とともに、人工林のうち根系の土質強度補強効果が低下する植栽後 5 年から 20 年の間の人工林の割合が急速に減少していったことを指摘した。言い換えれば、1950 年ごろ～2000 年ごろの「森林根系劣化域卓越時代」の後半 25 年間は「人工林における森林根系劣化域から健全域への移行時代」であったことになる。

森林根系劣化地域の再出現と偏在化

塚本 (2006) は、森林根系劣化域が大規模に生まれる可能性は今後しばらくないとみた理由に「国内林業の現状」を挙げていた。この背景には、今後、森林根系を劣化させる可能性がある人間活動は、木材生産を目的とした国内林業であるという仮説と、今後しばらくの間、国内林業は低迷し続け、森林根系が劣化するような大規模の森林伐採は行われまいだろうという予測があった。

しかしその予測に反し、近年の国内林業は低迷を脱したかのようにみえる。木材需給表によれば、国産材供給量は 2002 年の 1692 万 m^3 で底を打ったのち増加に転じた。林野庁は 06 年から「新生産システム」と呼ばれる施業の集約化、安定的な原木供給、生産・流通・加工の各段階におけるコストダウン、ハウスメーカーなどのニーズに応じた効率的な流通、加工体制の構築といった取り組みを集中的に推進した。さらにその後、09 年の政権交代と「森林・林業再生プラン」、11 年の FIT 法、14 年の森林整備保全事業計画における「森林資源の平準化 (若返り)」の促進、19 年の森林経営管理法などの様々な日本国内の木材生産振興策が次々と実行された結果、21 年の国産材

供給量は 3372 万 m^3 まで増加し、うち 935 万 m^3 を燃材が占めるようになった(図 1)。塚本(2006)が想定していた 06 年当時の「国内林業の現状」はすでに過去のものとなりつつある。

しかし、だからといって、日本全国の森林で森林根系劣化域が均等に再出

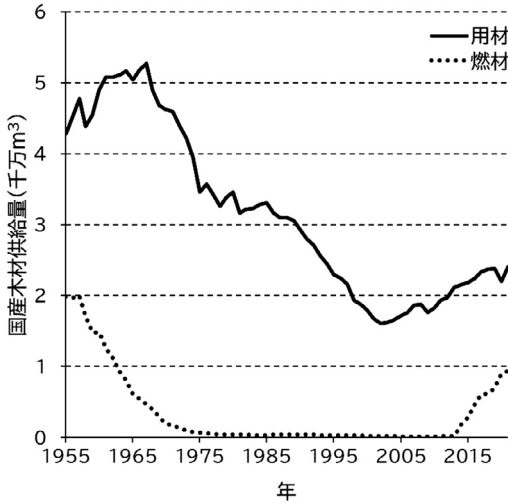


図 1 国産木材供給量の過去 67 年間の変動
2021年「木材需給表」より著者作成

現しているわけではない。林業が盛んな地域は国内に偏在しており、それに連動して森林根系劣化域が局所的に再出現しつつある。林野庁が 5 年ごとを基本として実施してきた「森林資源現況調査」によれば、17 年 3 月 31 日現在で都道府県別のスギ人工林面積のうち若齢林の面積(図 2)は、宮崎県で 7.3%

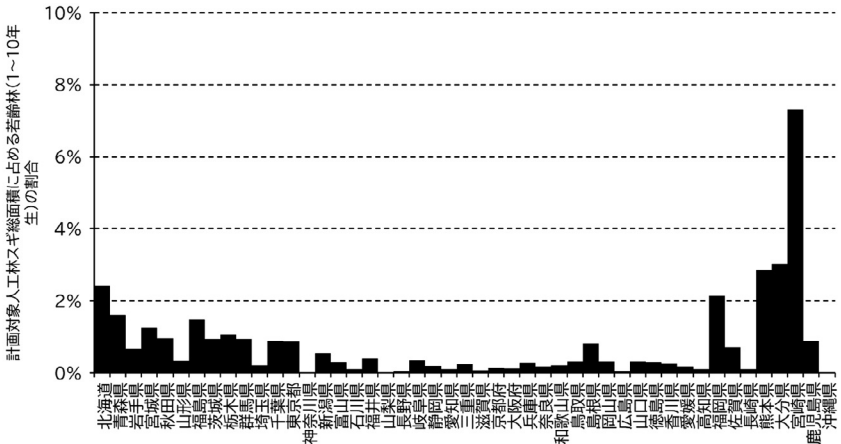


図 2 都道府県別スギ人工林面積に占める若齢林の割合
林野庁「森林資源の現況」より著者作成

と突出して高く、次いで大分、熊本の2県で約3%となっていた。これらの若齢林はおおむね主伐（皆伐）の跡地に再造林することにより成立した人工林であると考えられる。一方、若齢林の割合が0.3%を下回っているのは22府県もあり、これらの府県では皆伐はほとんど行われていないと推測される。

21年6月に閣議決定された森林・林業基本計画によれば、近年の主伐面積に対する再造林面積の割合は約3割なので、過去10年以内に皆伐された山地の面積は、おおむね若齢林の面積に3分の10を乗じた面積と推定される。林業が盛んな地域では、この面積の森林根系劣化域が近い将来に再出現することが予想される。このうち再造林放棄地は、再造林地よりも森林根系劣化域になるまでの時間が短くなるため、土砂災害リスクが高くなる。

20年7月の豪雨で熊本県人吉市の中心市街地が浸水し、多数の犠牲者を出した球磨川の流域は、県内でも特に林業が活発な地域であり、皆伐跡地や若齢林も多く分布していた。著者が21年2月に球磨川流域の森林を調査したところ、皆伐跡地における表層崩壊は、再造林地・造林未済地を問わず、車両系集材が行われ、クローラつきの高性能林業機械が通行した搬出路の切土・盛土法面で起きていた。なかには、集落の裏山の急斜面で大面積の

皆伐を行った場所
所で表層崩壊が
発生し、流下し
た土砂が擁壁を
押し倒し、人家
を押しつぶした
事例もあった
(写真1)(蔵治、
2021)。一方、
架線系集材が行
われていた場所
や、全木集材で
はなく全幹集材
を行い、伐採跡
地に枝葉を敷き



写真1 集落の裏山の急斜面で大面積の皆伐が行われた例。2020年7月の豪雨で表層崩壊が発生し、土砂が擁壁を押し倒し、人家が被災した＝熊本県八代市坂本地区市ノ俣、筆者撮影

詰めた斜面が表層崩壊した事例は確認できなかった。

なお、過去に熊本県球磨村で皆伐前後における生産土砂量を比較した研究によれば、皆伐前は約 $980\text{m}^3/\text{km}^2$ であった土砂量は、皆伐・再造林放棄後 5 年間、粗放な構造を持つ作業道の路面、切土・盛土法面において生じた多量の土砂によって約 17 倍の約 $1\text{万 } 6960\text{m}^3/\text{km}^2$ まで増加していた（寺本ら、2015）。

森林根系露出域の出現と溪流沿岸人工林の危険性

鈴木（2009）も指摘しているように、間伐がされない人工林では、林床が暗くなり、下層植生が衰退するため、時として林内で雨滴衝撃によって土壌表面の団粒が壊れ、分散した粒子が孔隙の目詰まりを起こし、浸透能を超えた水が表面を流れ、表面侵食が生じる（恩田、2004）。この現象は表層地質が風化花崗岩である斜面や、ヒノキの人工林で顕著に発生する。表面侵食が生じると土壌が徐々に流亡し、根系が地表に露出していき、根系の土質強度補強効果も、樹木を物理的に支える力も弱くなっていく。このような「森林根系露出域」は、塚本（2006）で想定されていなかった山地斜面区分である。この区分の人工林を強風や大雨が襲うと、倒木や表層崩壊が起きる可能性が高まる。表層崩壊は主に集水斜面（凹型斜面、0 次谷）で発生し、蛇抜けや沢抜けと呼ばれ、崩壊斜面上の立木がすべて河道に落下し、洪水によって流され、流木となる。また林道、作業道、搬出路の切土・盛土法面を起点とした表層崩壊も発生する。

流木の発生源として他に重要な区域は、山地溪流の中や沿岸である。溪流の中や沿岸は、増水時に流水にさらされる区域であり、かく乱頻度の高い環境に適応した溪畔林と呼ばれる植生が成立している。この区域を伐採したり植林したりすることは河川生態系にとって望ましくないだけでなく、出水時に濁水や流木の生産源となることから、諸外国では伐採・植林が禁止されていることが多い。ところが日本では山地溪流の中や沿岸に所有権が設定されており、保安林や砂防指定地を除けば伐採・植林の規制もないため伐採され、植林されている区域が多数存在している。溪流が増水するとこのような区画は水没し、樹木が根こそぎ流され流木となる。

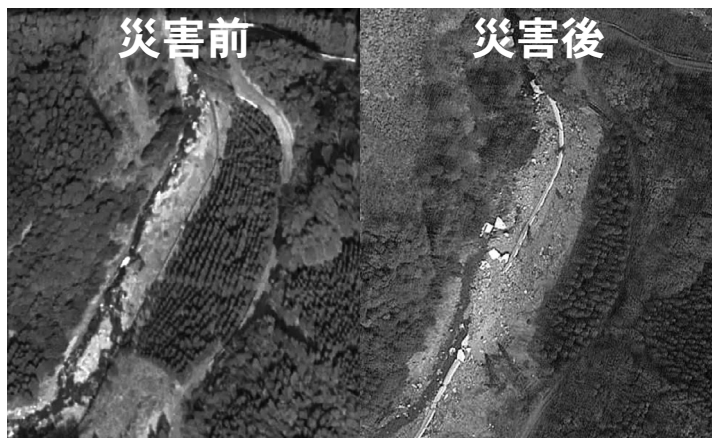


写真 2 2020 年 7 月の大雨により下半分が流出した人工林の災害前後の比較
＝熊本県球磨村楮木川沿い、Google Earthより



写真 3 2020 年 7 月の大雨により下半分が流出した人工林の災害後の状況＝21 年 2 月、熊本県球磨村楮木川沿い、筆者撮影

20 年 7 月の球磨川の災害では、溪流と道路に挟まれた斜面に存在していた人工林の下半分が流出した事例が発生した（写真 2）。人工林と溪流の間にはコンクリート擁壁があったが、洪水流がこの擁壁を越流して斜面下部を

洗掘したことにより、斜面の人工林の下半分が立木ごと崩落した（写真3）。

なぜ被害が起こってしまうのか

『森林飽和 国土の変貌を考える』（太田、2012）を引用するまでもなく、日本の森林は、樹木の成長量が伐採などによる収奪量や枯死量を大きく上回る状態が50年以上続いた結果、有史以来最大の蓄積を有するに至った。蓄積が多くなった分、同じ面積の斜面から流亡し流木となる樹木の量は多くなり、大径木化してきている。加えて、前述した「山地溪流の中や沿岸の樹木」の存在が、流木量を増大させている。塚本（2006）は森林の樹木が巨大化し、土砂よりも流木による災害への対策が重要になる可能性を予言していたが、近年は流木と土砂が複合的に作用した「排水施設や橋梁の詰まり」による災害が毎年のように発生している。

これまでの林道や作業道における大雨時の排水施設や橋梁、流路工などの河川構造物は、おおむね30～50年に一度の大雨を想定し、必要となる流下能力を計算することにより設計されてきた。設計においては水の流れのみを想定し、土砂、流木が一緒に流れてくることは想定していない。その結果、林道の排水開渠、暗渠、橋梁において、流木や土砂が次々と詰まり、排水能力がなくなって水が行き止まり、あふれた水の力で周辺が洗掘され、壊れる事例が多く発生している。橋は頑丈にできているため、橋の前後の路面が洗掘され、橋よりも先に崩壊し、橋の前後に川の新たな流路が形成されてしまう。

これまで、山地災害の未然防止工事および斜面崩壊が起きた後の復旧工事における主な手段は治山堰堤の建設だった。治山堰堤は、上流側の渓床の縦断勾配緩和効果を期待して設置しているものだが、土砂の堆積量が増え、堆積箇所が上流側に推移するにつれて、縦断勾配緩和効果が薄れ、豪雨時に堆積土砂の上を土砂が流れるようになってきている。治山堰堤の直下では落下する水によって洗掘が進み、基礎が露出し、基礎の下から水漏れを起こしている治山堰堤も出現している。

日本の土砂災害は今後どうなっていくか

塚本（2006）は、2000 年以降を「森林根系健全域卓越時代」に区分したが、その後「森林根系再劣化域」や「森林根系露出域」が局所的に混在するようになってきた。過去 50 年間増加傾向にあった日本の森林蓄積のトレンドは今後もしばらく続くが、林業の再活性化に伴う収奪量の増大のほか、無間伐人工林における自己間引き（中岡、2022）やナラ枯れなどの病虫害により枯死する樹木も増加していくため、徐々に頭打ちになっていくと予想される。改正木材利用促進法（脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の促進に関する法律）の運用、ポストコロナの SDGs 達成を目指す社会における共有価値の創造、ウッドショックによって露わになったグローバル調達の脆弱性、国内林業活動を制限するルールの緩さなどを踏まえると、国内林業の再活性化の流れは大きくは変わらないだろう。

このような状況下で人間の生命や財産、ライフラインにかかわる土砂災害を防ぐには、まず、大面積、急勾配の斜面、土砂災害（特別）警戒区域に土砂が到達する斜面における施業要件にかかる規制を強化する必要がある。林業の生産性・効率性と方法の粗雑さはトレード・オフの関係にあり、粗雑な方法を防災配慮型の方法で代替するために必要となるコストは木材のユーザーが負担する必要がある。山地溪流の中や沿岸に存在する流木になる危険性が高い樹木はできるだけ除去し、跡地は再造林せずに自然再生に任せることが望ましい。

森林に隣接する道路の排水施設の構造は、水だけでなく土砂や流木が流れることを想定した設計に順次変更し、ハザードマップ上にも反映させる必要がある。橋梁には流木と土砂が詰まり、水が行き止まることを想定し、橋の前後の道よりもむしろ橋が先に壊れるように設計する必要があるかもしれない。流域治水の手段の一つとして「リーキーダム」という手法がイギリスで実践されている。リーキーダムとは集水斜面や微小溪流を横断するように伐倒木を複数本配置し、木杭を鉛直に打って流出しないように固定した簡易なダムだ。このダムは、洪水時に降水を遮断する効果、地表を流れる水を一時貯留する効果、洪水ピーク流量を軽減する効果、洪水の到達時刻を遅らせる

効果、土砂や流木を捕捉し水だけを流す効果、生物生息域の多様性を確保する効果、水とともに流亡する物質を森林内にとどめる効果などの多様な効果を同時に発揮することを期待するものである。日本では長野県が08年1月に策定した「災害に強い森林づくり指針」の中で簡易な治山施設として「伐木筋工」が紹介されている。これは間伐で発生する伐木を運び出さない場合、林内で2～4mに玉切りして横木とし、これに0.5mの縦杭を打ちつけ、斜面に千鳥状に設置する手法である。こういった手法は流域治水としての効果と流木の量を減らす効果の“一石二鳥”が見込める手法であり、これからもっと注目されてよい手法である。

〔謝辞〕

本稿は、JST 共創の場形成支援プログラム JPMJPF2109 の支援を受けたものです。

〔参考文献・注〕

- 大熊孝（2020）『洪水と水害をとらえなおす』農山漁村文化協会、281pp
- 塚本良則（2006）日本の土砂災害と対策の歴史．森林科学 47：4-9
- 鈴木雅一（2009）土砂災害の変遷に与える植生変化の影響．Sabo 100：2-7
- 蔵治光一郎（2021）人工林の皆伐と保水力の関係 雨水遮断力の洪水緩和機能を活かす．季刊地域 47：104-109
- 寺本行芳・岡勝・下川悦郎・金錫宇・全権雨（2015）熊本県の再造林放棄地における作業道の侵食・崩壊の形態と生産土砂量の経年変化．Journal of Rainwater Catchment Systems, 20(2)：67-74
- 恩田裕一（2004）森林の荒廃は洪水や河川環境にどう影響しているか．蔵治・保屋野編『緑のダム 森林・河川・水循環・防災』築地書館、23-35
- 太田猛彦（2012）『森林飽和 国土の変貌を考える』NHK 出版、260pp
- 中岡茂（2022）日本の森林再生の方向．農村と都市をむすぶ 847：37-46
- 林野庁（2021）森林・林業基本計画
(<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/plan/attach/pdf/index-10.pdf>)（2022年11月22日閲覧）
- 農林水産省（2022）木材需給表・長期累年
(https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/mokuzai_zyukyu/)（2022年11月12日閲覧）
- 林野庁（2017）森林資源の現況（2017年3月31日現在）
(<https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/h29/index.html>)（2022年11月12日閲覧）
- 長野県林務部（2008）災害に強い森林づくり指針
(https://www.pref.nagano.lg.jp/shinrin/sangyo/ringyo/hozen/chisan/documents/shishin_8.pdf)（2022年11月12日閲覧）