

□日本の森林の変遷と豪雨による土砂災害について

宇都宮大学 農学部 森林科学科
教授 執 印 康 裕

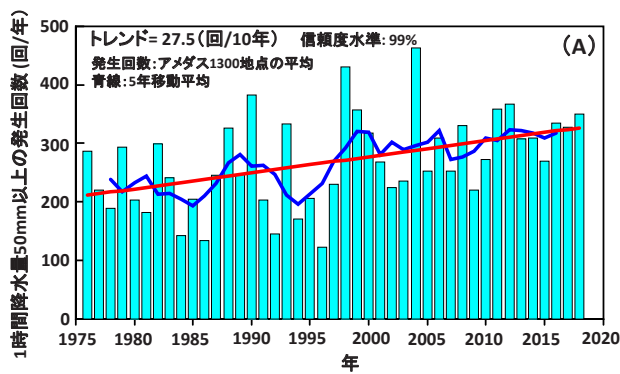
1. はじめに

日本に限らず世界中で豪雨による土砂災害は毎年必ず発生しており、これからも発生し続けることは残念ながら疑いようがない。この土砂災害の状況を概観すれば、各国の自然条件および社会条件の違いの影響を受け、土砂災害が社会に与える影響は異なる。そして自然条件と社会条件は互いに独立した条件ではなく、相互に影響を及ぼしあって、その国（もう少し範囲を狭まれば地域）の風土を形成している事を踏まえれば、土砂災害は国あるいは地域毎の風土の違いによって異なる様相を示すと言えよう。

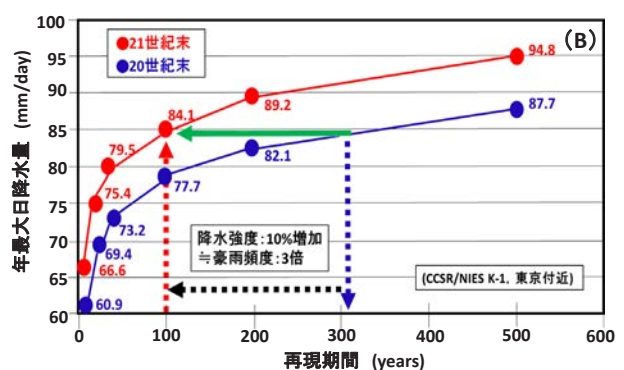
近年では気候変動の影響に対する社会の対応策が今後の重要な課題の1つとなっている。これに関連して豪雨による土砂災害に焦点を絞ると、地球規模の社会条件の変化が地域の自然条件の1つである豪雨特性に影響を及ぼし、土砂災害リスク

が増大する恐れがあることが各方面から指摘されている¹⁾。勿論その影響度合いは国あるいは地域によって異なる。これについて日本における豪雨特性の変化を概観したものを図-1に示す。図-1(A)は気象庁ホームページのデータを基にしたものであるが、1時間降水量50mm以上の発生頻度が現在までの約40年間で増加傾向にあること、図-1(B)の気候モデルの予測結果（東京付近）は、20世紀末と比較して21世末には年最大日降水量が約10%増加し、土砂災害の誘因となる豪雨の発生頻度が3倍程度になることを示している²⁾。この結果を見る限り、日本では豪雨による土砂災害が増加する可能性が高いといえる。

一方で豪雨は土砂災害を引き起こす引鉄（誘因）ではあるものの、土砂災害の発生・非発生は誘因だけによって決定されるものではなく、社会条件と自然条件の相互作用の結果として形成された地域の風土と密接に関連している。題目に「森



1時間降水量50mm以上の年間回数の経年変化 (1976-2018年)



気候モデルの出力結果による再現期間と年最大日降水量の関係

図-1：観測値による降水量の経年変化(A) および気候モデルによる予測結果(B)

林の変遷」とあるが、森林は社会条件の影響を受けやすく、特に森林面積率が国土の約2/3を占める日本においては過去から現在まで森林の状態は大きく変化してきている。この森林の変貌と土砂災害の関係については、太田（2012）³⁾ に詳しく述べられているので、詳細は割愛するが、その中で現在の日本の森林は量的には飽和状態にあり、それに伴い戦後の土砂災害による犠牲者数が激減していることが指摘されている。なお植生や地形・地質等の属地的な要因を素因と称する。そして森林は地域を形成する素因の重要な要素の1つであることを踏まえれば、太田（2012）³⁾ が指摘している事実は、今後の土砂災害を検討する上で極めて重要な意義を有していると考えられる次第である。前置きが長くなった気もするが、この点を中心に最近少しばかり考えていることを簡単に述べてみたい。なお題目にある「森林の変遷」と

は1960年代後半から現在までの40～50年程度を、「土砂災害」とは比較的崩壊深の浅い数m程度の表層崩壊に起因するものを主たる対象としたものであることを断っておく。

2. 最近と過去の土砂災害状況について

最近の土砂災害状況の事例を図-2に示す。本図の事例は九州地方において発生したものであり、引鉄となった豪雨は2017年九州北部豪雨（本図A-1およびA-2）と2020年7月豪雨（本図B-1およびB-2）である。各々の災害状況については詳細な調査が実施されている。2017年九州北部豪雨については、①林業が盛んな地域であり、戦後の拡大人工造林期による伐期に達したスギ・ヒノキの大径木が存在していたこと、②周辺の森林根系の生育状況は深さ2m程度までしっかりと発達



2017年九州北部豪雨



2020年7月豪雨

【写真撮影：アジア航測株式会社】

図-2：九州地方で発生した豪雨による最近の土砂災害状況の事例

していたが斜面崩壊のすべり面深さはそれより下部に存在していたこと（本図 A-1参照）、③これらの大木が斜面崩壊等によって下流河川に流下することで被害を大きくしたこと（本図 A-2参照）、等が明らかになっている⁴⁾。2020年7月豪雨により熊本県芦北町田川地区で発生した土砂災害（本図 B-1参照）については、①樹高15m程度の広葉樹を主体とする林分で発生し、②頭部の崩壊は一般的な表層崩壊と異なり（一般的な表層崩壊とは崩壊深さ1m前後の崩壊のことを意味する）、深さ8m程度の明瞭なV次谷形状を呈していたこと等が明らかになっている⁵⁾。また本図 B-2にみられるように2020年7月豪雨において、崩壊等による流木が大量に発生しそれが海まで達することで漁業にも被害を及ぼしていることが確認される。すなわち近年の豪雨による土砂災害は、人工林、広葉樹の別に関わらず斜面崩壊のすべり面の位置は、一般に根系が達する深さ以上にあり、且つ斜面崩壊等によって発生した流木による被害の拡大が顕在化していることが特徴の1つであるといえる。

過去に発生した崩壊事例を図-3に示す。前段で2017年九州北部豪雨により発生した土砂災害は、戦後の拡大人工造林によって大木化した森林で発生した事を記述したが、本図は拡大人工造林の時期の1959年から15年経過した1974年の崩壊の状況

を示したものである⁶⁾。拡大人工造林は森林伐採と新規植栽がほぼ同時に行なわれ、新規植栽後の経過年数を森林分野では林齢と称する。つまり図-3に見られる1974年の崩壊は林齢15年の比較的若い人工林で多発していることを示している。図-3の対象地である長野県南木曾郡はいわゆる木曾ヒノキとして林業が盛んな地域である。もう1つの事例を図-4に示す。本図は1998年8月末豪雨（栃木県では那須豪雨と称されることもある）により宇都宮大学船生演習林内のヒノキ人工林を中心に発生した斜面崩壊の分布状況である。本図より36箇所の地点で崩壊が多発していること（図-4(B)参照）、かつヒノキ人工林の全体の林齢分布面積のピークが約40年にあるのに対して崩壊が発生した地点のピークの面積は約20年と若齢林側にシフトしていることが確認されている⁷⁾。すなわち過去の豪雨により発生した崩壊の特徴の1つとして、林齢が若い若齢林の人工林分での崩壊が顕在化していた事が挙げられる。なお「顕在化」の意味は広葉樹において崩壊が発生していなかったという事では決してなく、当時は若齢林の人工林の崩壊が目立っていた、あるいは社会的に注目されやすい状況にあったという意味で使用している。今から35年前の1985年にNHKで「杉山崩壊」という番組が放映されていることから、この事はある程度まで裏付けられる。

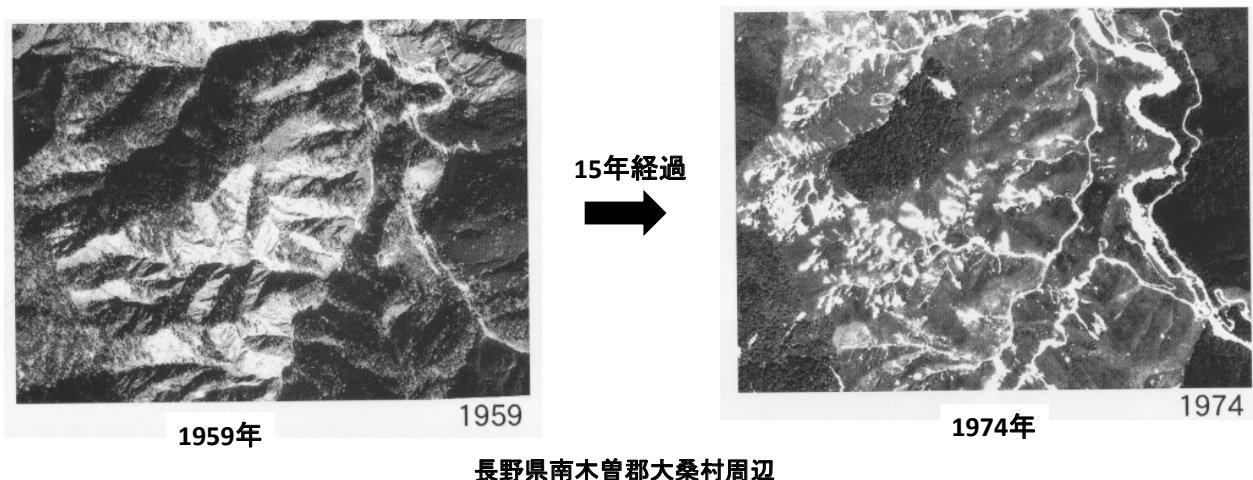


図-3：拡大人工造林から15年経過した後の降雨による崩壊事例

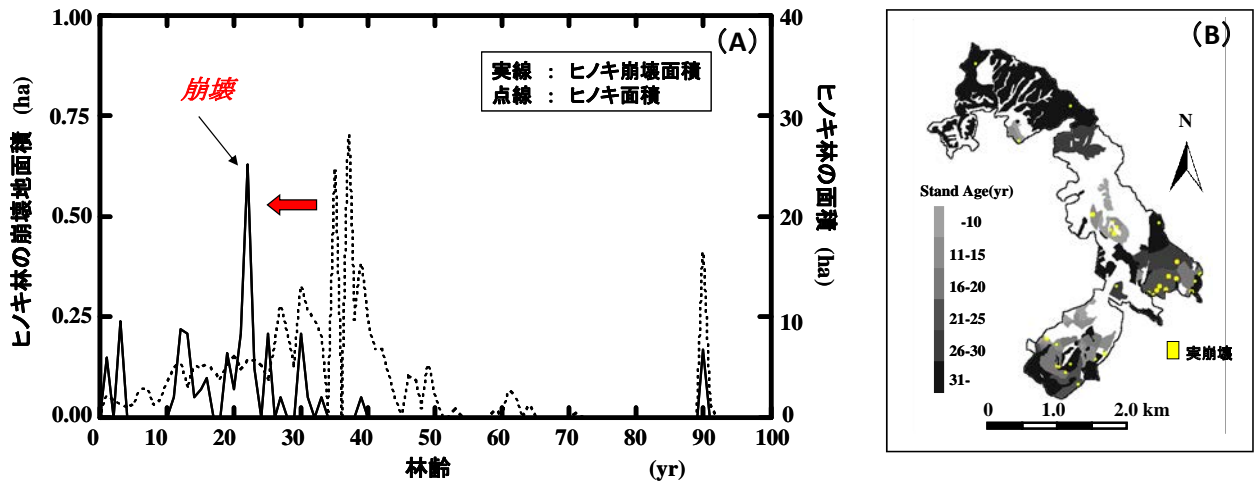


図-4：1998年8月末豪雨により宇都宮大学船生演習林内で発生した崩壊分布状況

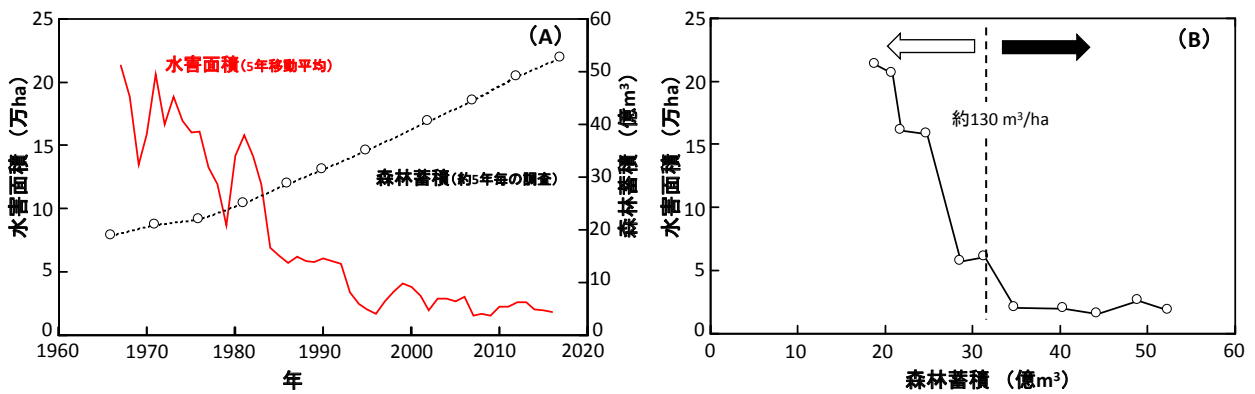
以上の最近と過去の豪雨による土砂災害の様相の違いについて簡単にまとめると、最近では人工林と広葉樹の区別なく斜面崩壊が発生しており、かつ戦後の拡大人工造林によって大径化した樹木の崩壊等に伴う下流部への流出による被害の拡大が顕在化しているのに対して、過去においては人工林における若齢林の崩壊が顕在化していたと言う事であろう。

3. 森林の変遷と水害面積について

豪雨による土砂災害を含む気象災害については、災害による死者・行方不明者数によって変動傾向

を見ることもあるが、本章では水害面積を指標の一つとして日本全体の森林の変化が与える影響について見ていく事とする。その理由は死者・行方不明者で検討した場合、災害範囲のわずかな違いが死者数等に大きく影響を与える恐れがあることを考慮したことによる。なお森林の変化の指標として、農林水産省林野庁発行の森林・林業統計要覧に掲載されている約5年毎の森林蓄積を、水害面積については毎年実施されている国土交通省河川局発行の水害統計に掲載されている水害面積を各々採用した。結果を図-5に示す。

本図は1960年代後半から現在までの両者の関係を示したものである。図-5において、水害面積と



出典：水害面積(国土交通省河川局発行 水害統計)、森林蓄積(農林水産省林野庁発行 森林・林業統計要覧)

図-5：日本の水害面積および森林蓄積の経年変化と両者の関係

して宅地・他と農地の面積の合計の5年移動平均を、森林蓄積として人工林と天然林の合計を表示している。本図(A)より、森林蓄積の増大によって水害面積が1990年あたりまで急激に減少し、それ以降は横ばいの状態で推移していることが確認される。なお本図には表示していないが、森林蓄積は天然林・人工林ともに増大しているものの、天然林に比べて生長の早い人工林による増大による影響が大きく、かつ1990年以前は人工林の蓄積が天然林を下回り、1990年を境に逆転していることを確認している。本図(B)は、図(A)に示した経年変化の関係を、森林蓄積と水害面積の関係に表示し直したものである。本図より、森林蓄積量の増大とともに水害面積は減少していくが約32億 m^3 （1990年の結果：森林面積 ha あたり約130 m^3 ）あたりを境に水害面積が定常に近い状態になっていることが確認される。

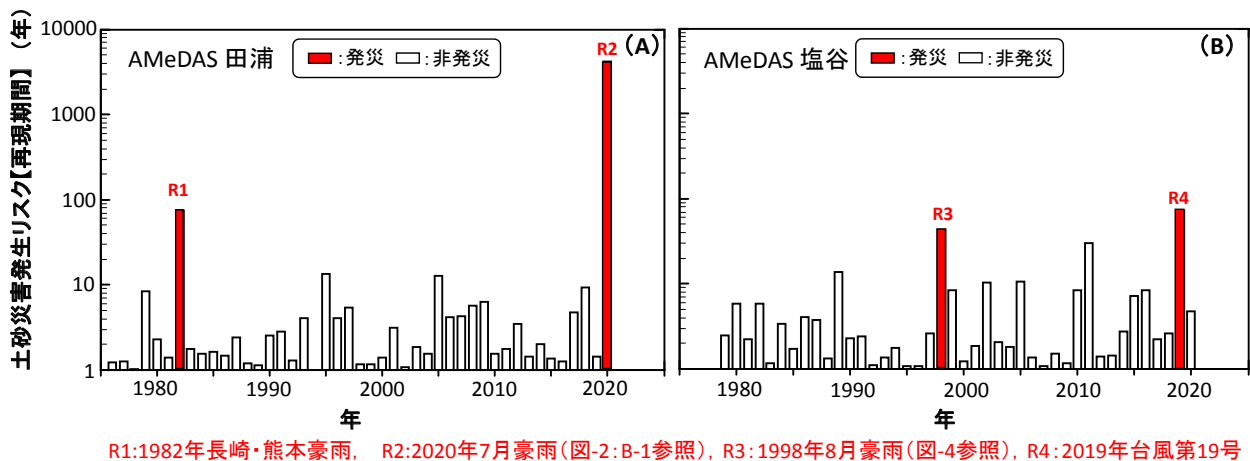
この結果は第1章の『はじめに』で紹介した太田（2012）³⁾が述べている「森林飽和」の状態が日本では1990年頃に達成されていることを別の面から示唆している。なお林野庁のホームページ等を見ると、日本の森林の多くが既に伐採可能な状態にあることが分かる。本章で示した森林と水害との関係を考慮にいと、極めて大雑把な計算ではあるが現時点の森林蓄積52億 m^3 から森林飽和の状態である32億 m^3 を差し引いた20億 m^3 の森林蓄積が水害を増加させない範囲で伐採できる状態にあると言えるのかもしれない。

4. 土砂災害発生リスクの評価と森林の変遷について

ここまで最近と過去の土砂災害の違い及び森林の変遷との関係について極めて簡単に記述した。そして防災対策において重要な事は、本誌読者の大半が従事されている仕事に対して、これまで記述した内容を如何に反映させるかということであろう。土砂災害発生リスクの評価に関してみ

ると、日本では国土交通省砂防部と気象庁の連携による土砂災害警戒情報⁸⁾が全国的に展開されている。これを簡単に述べれば、土砂災害を引き起こす可能性のある降雨特性について、降雨のうち地中に浸透したものを土壌雨量指数によって指標化し、短時間降雨による影響を60分積算雨量で表現し、両者を組み合わせることによって土砂災害発生リスクを評価する基本フレームを有す。なおリスク評価にあたっては客観性を担保するためにニューラルネットワークを利用したRBFN値が一般に広く用いられている。この土砂災害警戒情報の有効性については空振りの多さ等の幾つかの課題はあるものの、これまでの運用実績から実証されてきている。

筆者らは土砂災害警戒情報の基本フレームを維持したまま、RBFN値を図-1(B)で示したのと同様に極値解析による再現期間で置き換える手法を提案している⁹⁾。この手法を用いて1970年第後半から現在までの土砂災害発生リスクの変遷を評価した事例を図-6に示す。事例には気象庁AMeDASの2地点のデータを使用し、本図(A)に最近の土砂災害として紹介した2020年7月豪雨（図-2：B-1参照）による結果を、本図(B)には過去の災害として紹介した1998年8月豪雨（図-4参照）の結果を含めて提示している。なお豪雨によって発災した再現期間を赤塗りで、誘因となった豪雨名称を赤字で示している。まず本図(A)についてみると1982年長崎・熊本豪雨によって発災した豪雨の再現期間が約75年であるのに対して、2020年7月豪雨による豪雨の再現期間は約4200年であることが分かる。ただし図-2：B-1に示した広葉樹を主体とした森林である熊本県芦北町田川地区での災害について1982年当時は報告されていないようである。一方で本図(B)についてみると、ヒノキ人工林の若齢林を中心に崩壊が多発した1998年8月豪雨の再現期間は約40年である。その後の2019年台風第19号（再現期間73年）によっても周辺ではいくつかの災害が発生しているものの、1998年



R1:1982年長崎・熊本豪雨, R2:2020年7月豪雨(図-2:B-1参照), R3:1998年8月豪雨(図-4参照), R4:2019年台風第19号

図-6 : 土砂災害発生リスク【再現期間】の各年変動

のような多発的に集中した崩壊は発生していない。これは1998年から2019年までの21年間による森林蓄積の増加による影響である可能性が極めて高いことを意味する。

以上の結果は、再現期間40年から100年程度の豪雨では森林状態の違いが崩壊の発生・非発生に反映されるのに対して、再現期間が数1000年を超えるような豪雨に対しては森林状態の違いは特に反映されないため、人工林、広葉樹あるいは天然林の別なく崩壊が発生する事を意味している。森林の土砂災害防止機能には限界があることはよく指摘される。これを逆から見れば、森林の変貌による土砂災害防止機能の限界の推移を踏まえて土砂災害発生リスクを評価することが、今後の防災対策において重要となるのかもしれない。

5. おわりに

森林の土砂災害防止機能については、時代の流れによる森林の変貌とともに議論の焦点が移り変わってきている。このあたりについては川口(1991)の「森林の山崩れ防止機能論議」¹⁰⁾に丁寧にまとめられているので興味のある方は参照されたい。最近では戦後の拡大人工造林によって植栽された樹木が大径木化し、これが豪雨による崩

壊等によって中・下流部の河川に流出する被害の拡大(いわゆる流木災害)に議論の焦点が移り変わってきていると言えよう。また第1章の『はじめに』で述べたように、日本では気候変動の影響により現在までの数10年間で豪雨の発生頻度・規模が増大する傾向にあり、今後もその傾向が続く可能性が高い。これらの事を考慮すると、土砂災害発生引鉄となる豪雨規模に対応した森林の土砂災害防止機能とその限界について検討し、限界を超える豪雨に対する防災対策がより重要となる。その意味において、古来より脈々として受け継がれている『治山治水』の思想を再び確認する時期にあるのかもしれない(この一文は蛇足かもしれないが、あえて記述する次第である)。最後に本稿の内容が少しでも読者の皆様の参考になれば幸いである。

参考文献

1. IPCC (2014) : AR5 Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>
2. Oki T. (2016) : Water Resources Management and Adaptation to Climate Change. P.27-40, In: Biswas A., Tortajada C. (eds) Water Security, Climate Change and Sustainable Development. Water Resources Development and Management. Springer, Singapore, DOI: 10.1007/978-981-287-976-9_3

3. 太田猛彦 (2012) : 森林飽和—国土の変貌を考える—, NHK ブックス, pp.254
4. 久保田哲也 (2019) : 平成29年7月九州北部豪雨災害と流木の特徴, 水利科学, Vol.62 (6), p.10-22
5. 地頭菌 隆ら (2020) : 令和2年7月豪雨による熊本県の土砂災害, 砂防学会誌, Vol. 73, No.4, p.36-41
6. 鈴木雅一 (2002) : 航空写真でみる日本の森林の変貌, 森林の公益的機能新解説シリーズ第2巻, (社) 日本治山治水協会, pp.84
7. 執印康裕ら (2009) : 分布型表層崩壊モデルによる樹木根系の崩壊防止機能の定量的評価について, 日本緑化工学会誌 35 (1) , p.9-14
8. 国土交通省河川局砂防部・気象庁予報部・国土交通省国土技術政策総合研究所 (2005) : 国土交通省河川局砂防部と気象庁予報部の連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法 (案)
9. 執印康裕ら (2020) : 現行の土砂災害警戒システムの枠組みから導出される確率年による土砂災害発生危険度の評価について, 砂防学会誌 Vol. 73, No. 1, p.40-44
10. 川口武雄 (1991) : 森林の山崩れ防止機能論議, 水利科学, Vol.35 (2), p.26-46