国内の土砂災害リスクの統合的評価の試み

AN ATTEMPT AT AN INTEGRATED ASSESSMENT OF LANDSLIDE RISK IN JAPAN

篠原 慶規 [1]
Yoshinori SHINOHARA

[1] 宮崎大学農学部（〒889-2192 宮崎市学園木花台西 1 丁目 1 番地）
E-mail: shinohara@miyazaki-u.ac.jp

Key Words: *climate change, landslide fatality, rainfall-triggered landslides*

1. はじめに

日本の土砂災害の死者数は長期的には大きく減少してきた．これまでハード・ソフトを問わず様々な対策が行われた成果と考えられるが，死者数減少をもたらした具体的な要因は十分に明らかでなかった．また，昨今も様々な対策が行われているにも関わらず，近年の死者数は横ばいで推移している．気候変動に伴う豪雨の増加によって，土砂災害の増加も懸念される中，過去にどの対策が効果的であったのかを明らかにすることは有用であると考えられる．

災害リスクは，ハザード，暴露量，脆弱性の掛け算でしばしば表される [1]．土砂災害の死者数に関するリスクを考えてみると，ハザードは，（死者をもたらす）土砂移動現象が起こる確率である．土砂災害の死者の多くは室内で被災していることを考えると，暴露量は，土砂移動現象の影響を受ける範囲の人口とほぼ同義と考えられる．脆弱性は，そのほかの要因であり，人間的脆弱性（年齢や性別など）と物理的脆弱性（建物の堅牢さなど）が考慮されることが多い．このように土砂災害の死者を生み出すリスクは，様々な要素が関わっているが，これらを統合的に評価した試みは十分に行われてこなかった．

以上を踏まえ，本稿では，降雨による土砂災害を対象に著者らが行った様々なリスク評価の試みについて紹介する．2. 及び 3. では，土砂災害の死者数が長期的に減少した要因について解析した結果を報告する．4. ～6. では，国内のハザード，暴露量の特徴について説明する．

2. 死者数の長期的変動をもたらす要因 [2]

本章では，土砂災害の死者数（N_F）を，土砂災害発生件数（N_L）と土砂災害 1 件あたりの死者数（N_F/N_L）の積として考えた．また，土砂災害の死者のほとんどは屋内で発生していることから，N_F/N_L は，土砂災害 1 件あたりの巻き込まれた家の数（N_H/N_L）と巻き込まれた家 1 戸あたりの死者数（N_F/N_H）の積として考えた．さらに，N_F の構成要素に関連する要因として，**図-1** の通り想定し，これらの要素，要因のデータを収集した．なお，降雨指標については，既往の研究 [3] で，N_L との高い相関が報告されている北日本・東日本・西日本の 5 月～10 月の降水量を用いた．1945 年～2019 年を 15 年毎の 5 時期（期間Ⅰ～Ⅴ）に分けて，連続する 2 期間（Ⅰ～Ⅱ，Ⅱ～Ⅲ，Ⅲ～Ⅳ，Ⅳ～Ⅴ）で Mann-Kendall Test を使って傾向を調べた．

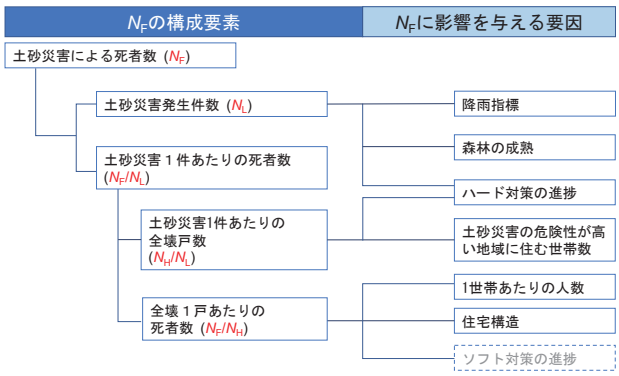


図-1 土砂災害による死者数（N_F）の構成要素及びそれらに影響を与える要因.

N_F は期間Ⅰ～Ⅳで減少していた．構成要素である N_F/N_L は期間Ⅰ～Ⅳで減少していた一方で，N_L は期間Ⅱ～Ⅳのみ減少がみられた．期間Ⅰ～Ⅱ においては，N_F/N_L と関連する「１世帯当たりの人数」が減少し，「住宅構造」が変化（平屋が減少）した．また，過去の文献情報 [4]に基づくと，この時期に，災害前に避難する人が増えた可能性が高い．一方，期間Ⅱ～Ⅳでは，N_L が減少していた．この期間，降雨指標には有意な傾向がなかったため，降雨変動の影響は考えにくい．一方，期間Ⅱ～Ⅲでは，未植栽地（はげ山）が減少し，人工林の成熟が進んだ．また，期間Ⅲ～Ⅳは，ハード対策（土木構造物の設置）が著しく進んだ時期と一致する．これらが，それぞれの時期の N_F 減少に寄与したものと考えられる．

期間Ⅲ～Ⅴでは，N_H/N_L は減少した一方で，N_F/N_H は変化しなかった．この期間，「１世帯あたりの人数」は減少し，土砂災害の影響を受けやすい平屋の数も減少している．これらの要因は，N_F/N_H に大きな影響を与えていないか，避難した人の減少によって打ち消された可能性がある．最近は，防災情報の充実が図られているが，本解析からは，土砂災害の被害にあった家屋からの避難者増加は見いだせなかった．

このように土砂災害の死者数減少をもたらした要因は時代と共に変化してきたことがわかった．

3. 広島県呉市における死者数の決定要因 [5]

日本全国と同様の傾向が，国内の特定の場所でも見られるのかを調べるために，広島県呉市を対象に 2. と同様の解析を行った．1967 年時点で呉市に含まれる範囲を対象に，1945 年，1967 年，2018 年に発生した降雨による土砂災害について解析を行った．呉市では，土砂災害のうち，がけ崩れと土石流により死者が発生している．3 つのイベントについて，がけ崩れと土石流を区別し N_F，N_L，N_H を収集した．

表-1 には，それぞれのイベントの N_F 及びその構成要素を示した．死者数は 1945 年から 1967 年， 2018 年と徐々に減少していた．土石流による死者は，1945 年～1967 年に大きく減少し，その後は横ばいであった．一方，がけ崩れによる死者は，1945 年～1967 年に増加し，2018 年では 0 であった．

1945 年～1967 年は，N_L が大きく増加した一方で，N_F/N_L は大きく減少していた．N_F/N_L に関わる要素のうち，N_F/N_H が増加した一方で，N_H/N_L は大きく減少していた．この期間，N_H/N_L を減少させる砂防ダムの数は，大きく増加した（**表-2**）．一方で，呉市全体の世帯数は増加傾向にあることから，同じく N_H/N_L に影響を与える土砂災害の危険性が高い場所にある家の数が大きく減少したとは考えにくい．このことから，1945 年～1967 年の死者数の減少には，砂防ダムの増加が大きな役割をはたしたと考えられる．

表-1 各イベントにおける死者数（N_F）と死者数の構成要素.

年	種類	N_F	N_L	N_H	N_F/N_L	N_F/N_H	N_H/N_L
1945	土石流	949		842		1.127	
	がけ崩れ	46		44		1.045	
	総数	995	315	886	3.159	1.123	2.813
1967	土石流	12		14		0.857	
	がけ崩れ	69		50		1.380	
	総数	81	1186	64	0.068	1.266	0.054
2018	土石流	14					
	がけ崩れ	0					
	総数	14	517	176	0.027	0.080	0.340

表-2 死者数に影響を与える要因の数値.

要因	1945	1967	2018
森林バイオマス (10^6 m^3)	38.6	31.9	110.3
砂防ダム数	3	131	187
1世帯あたりの人数	4.21	3.47	2.29
非木造住宅の割合 (%)	0.3	4.7	32.9

1967 年～2018 年は，N_L，N_F/N_L 共に減少していた．この期間，森林蓄積が大きく増加しており，N_L 減少の要因と考えられる．N_F/N_L に関わる要素のうち，N_H/N_L は増加していたが，N_F/N_H は減少していた．この期間，1 世帯当たりの人数が減少し，非木造住宅が増加していた．これらが，N_F/N_H 減少をもたらした要因と考えられる．このように，1967 年～2018 年の死者数減少には，森林の成熟化や世帯人員の減少，住宅の堅牢化が関わっていると考えられる．

以上のように，死者数減少をもたらす要因は期間によって異なっており，日本全国を対象とした場合と同じ結論が得られた．一方で，砂防ダムの効果が発現した時期は，日本全国と比較し，呉市の方が早かった．1945 年の災害は非常に大きな被害があった．そのため呉市では，全国に先駆けて多くの砂防ダムが整備され，効果の発現時期が早くなったのではないかと考えられる．このように，それぞれの要因が死者数に影響を与える時期は，地域の特性に応じて異なる可能性がある．

4. 森林成熟が土砂災害発生件数に与える影響 [6]

国内外の 12 事例を収集し，林齢と土砂災害脆弱性指数（土砂災害の起こりやすさ）との関係を構築した．また，国内の統計データを用いて，人工林と天然林の両方で，1966 年～2017 年の齢級（5 年毎の林

齢）別の森林面積を推定した．これら 2 つを合わせることで，日本全体の土砂災害脆弱性指数の長期変動を調べた．実際の土砂災害発生件数と比較することで，降雨指標と日本全体の土砂災害脆弱性指数から，土砂災害発生件数を予測するモデルを構築した．このモデルに 3 つの森林シナリオ（20 年生以下の若齢林主体，20～60 年生の壮齢林主体，60 年生以上の高齢林主体）と 5 つの降雨シナリオ（現在の平均的な降雨量，降雨が±10%，±20%変化した場合の降雨量）の組み合わせである計 15 シナリオを入力し，土砂災害発生件数を推定した．

その結果，若齢林から壮齢林，高齢林になることで，土砂災害は 0.5 倍，0.4 倍となり，降雨が 10%，20%増えることで土砂災害は 1.3 倍，1.7 倍になることが予測された（**図-2**）．降雨の増加より森林成熟の方が，土砂災害発生件数に与える影響が大きかった．以上より，現在の日本のように，森林を成熟した状態に保つことは，土砂災害抑制の観点からは，重要であると考えられる．

5. ハザードの空間的ばらつき [7)]

砂防・地すべり技術センターから毎年刊行されている「土砂災害の実態」に記載のある各都道府県の土砂災害発生件数を用いた．対象期間は 1984 年から 2019 年で，降雨を誘因とするもののみを対象とした．次に，各都道府県の降雨指標，危険箇所数，危険箇所の地質，危険箇所の土地利用を定量化し，これらから発生件数を予測する一般化線形モデルを構築した．危険箇所の地質は，各地質（付加体，堆積岩類，深成岩類，火山岩類，変成岩類）の割合を変数として用いた．危険箇所の土地利用は，森林率と建物用地率を変数として求めた．多重共線性を考慮し，地質と土地利用を，それぞれ 1 つずつ選択した計 10 個のモデルを構築した．赤池情報基準に基づいて変数選択を行った．以上の解析を，土石流，地すべり，がけ崩れのそれぞれとその合計について行った．

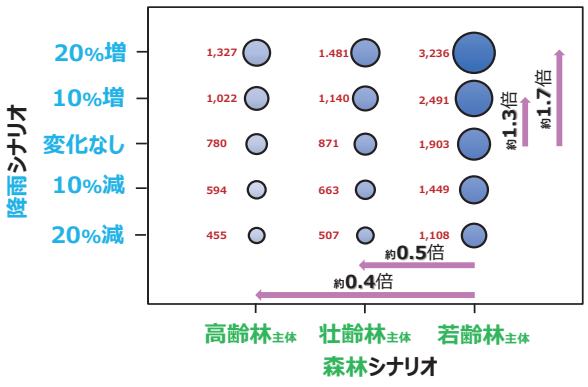


図-2 土砂災害発生件数の予測値

表-3 にはモデルで選択された変数を示した．土砂災害発生件数全体を見ると，多くのモデルで降水量と危険箇所数が正の係数と共に選択された．また，付加体地質は，負の係数と共に選択された．付加体地質の場所では，深層崩壊が起こりやすいことが知られている．頻度と規模は一般的には負の関係にあるため，少ない頻度で大規模な災害が起こるというのが，付加体の特徴であると考えられる．土砂災害を 3 タイプに分けた場合でも同様の結果が見られたが，がけ崩れに限り，森林が負の係数と共に，建物用地が正の係数と共に選択された．このように，土砂災害発生件数には，降水量と危険箇所数（暴露量），地質が関わっていること，土砂災害の種類により影響要因が異なることがわかった．

6. 暴露量（暴露人口）の評価 [8)]

国土数値情報 [9)] として利用可能な土砂災害危険箇所データ及び，2015 年の 250 m メッシュの人口データを用い，土砂災害危険箇所が少しでも含まれるメッシュの住民を，暴露人口としてカウントした．この人口を各メッシュの中央に位置する市区町村に割

表-3 正（+）及び負（−）の係数と共に選択された変数（RF：降水指標，PA：危険箇所，G：地質，LU：土地利用）． $P < 0.05$ **の変数は太字で示した．**

入力した地質と土地利用	合計		がけ崩れ		地すべり		土石流	
	+	−	+	−	+	−	+	−
付加体，森林	**RF, PA**	**G**	**RF, PA**	**G**, LU	**RF, PA**	G	**RF, PA**	**G**
堆積岩，森林	**RF, PA, G**		RF, **PA**	**LU**	RF, **PA**		**RF, PA**	
深成岩，森林	**PA**	G	**PA**	**LU**	RF, **PA**		**RF, PA**	
火山岩，森林	**RF, PA, G**	LU	RF, **PA**, G	**LU**	RF, **PA**		**RF, PA, G**	
変成岩，森林	RF, **PA**		**PA**	**LU**	RF, **PA**		**RF, PA**	G
付加体，建物用地	**RF, PA**, LU	**G**	**RF, PA, LU**	**G**	**RF, PA**	G	**RF, PA**	**G**
堆積岩，建物用地	**RF, PA, G**, LU		RF, **PA, LU**		RF, **PA**		**RF, PA**	
深成岩，建物用地	RF, **PA, LU**		RF, **PA, LU**		RF, **PA**		**RF, PA**	
火山岩，建物用地	**RF, PA, G**, LU		RF, **PA**, G, **LU**		RF, **PA**		**RF, PA, G**	
変成岩，建物用地	RF, **PA, LU**		RF, **PA, LU**		RF, **PA**		**RF, PA**	G

り当て，各市区町村で全人口あたりの暴露人口（暴露人口比）を算出した．暴露人口比は変わらないと仮定し，各市区町村の過去の人口及び将来の人口予測から，1920 年～2050 年の 5 年毎の暴露人口を各市区町村で算出した．

2015 年時点において，土砂災害の危険性が高い場所に住む暴露人口は 24.0×10^6 人であり，全人口の19%を占めた．暴露人口比 0.1 毎に市区町村を分類すると，暴露人口比が 0.0-0.1 の市区町村が最も多く，暴露人口比が大きくなるに従い市区町村数は少なくなった．暴露人口の合計は，暴露人口比が 0.1-0.2 の市区町村が最も大きくなった．

1920 年の日本の全人口に占める暴露人口は 28%であり，2050 年には 17%まで減少すると予測された．暴露人口比で分類した市区町村別に暴露人口の変動を調べたところ，どの階級でも，初期には暴露人口が増加し，その後，減少する傾向にあった（**図-3a**）．ただし，暴露人口のピークの時期は階級別で異なっており，暴露人口比が大きい市区町村の方が早かった．2020 年の暴露人口で正規化したところ，暴露人口比が 0.9-1.0 の階級では，その変化が，他の階級と比較し，顕著に大きかった（**図-3b**）．

人口の少ない市区町村では，暴露人口比が大きいものの，人口自体が少ないため，暴露人口は大きくなかった．また，暴露人口の大幅な減少がみられ，今後も継続すると予測された．一方，人口の多い市区町村では，暴露人口比は小さいものの，人口自体が多いため，暴露人口が大きくなった．このように，暴露人口という視点で見た場合，人口が多い市区町村の重要性が高いと言える．ただし集合住宅などが多い都市部では，脆弱性が極端に小さい可能性が考えられる．そのため，ハザード，脆弱性も含めたリスク評価を行う際は，異なる結果になる可能性が高いため注意が必要である．

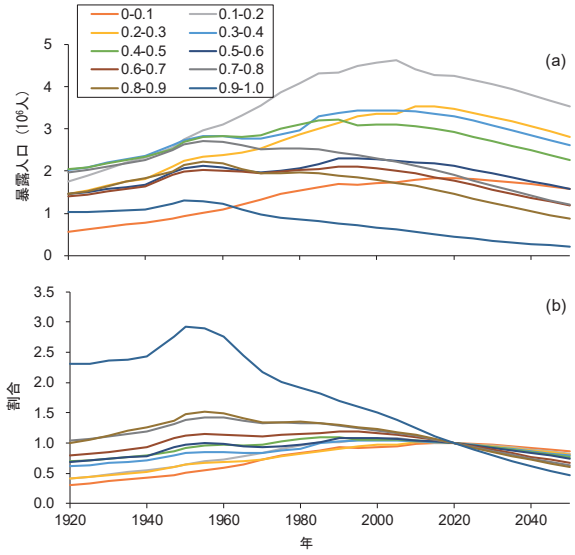


図-3　暴露人口比で整理した市区町村別の暴露人口の合計（a）．図 3-b は，2020 年の値で正規化している．

7. おわりに

本研究では，土砂災害の死者を生み出すリスクの変遷と影響要因を明らかにするとともに，ハザードと暴露量について，その特性と変動を明らかにした．今後，脆弱性も同様に評価することで，土砂災害の死者数減少に向けた，効果的な提案が可能になることが期待される．

謝辞：本研究は科研費 21K04590 を用いて行われた．

参考文献

1) 篠原慶規：日英用語解説：ハザードマップ，砂防学会誌，77 巻，5 号，pp.36，2025.
2) Shinohara, Y. and Kume, T.: Changes in the factors contributing to the reduction of landslide fatalities between 1945 and 2019 in Japan, Sci. Total Environ., Vol.872, 154392.
3) 篠原慶規，小松光：近年の土砂災害による死者・行方不明者数の経年変動，砂防学会誌，65 巻，5 号，pp. 3-9，2016.
4) 倉嶋 厚：気象災害の時代的変遷と，これに対応する防災気象情報の発展について，地学雑誌，86 巻，1 号，pp. 20-38，1977.
5) Shinohara, Y. and Shimomura, C.: Controlling factors resulting in decreases in landslide fatalities: a case study in Kure City, Japan, Nat. Hazards, Vol.121, pp.1165–1182, 2025.
6) Lusiana, N., Shinohara, Y., Imaizumi, F.: Quantifying effects of changes in forest age distribution on the landslide frequency in Japan, Nat. Hazards, Vol.120, pp.8581–8570, 2024.
7) Shinohara, Y. and Watanabe, Y.: Differences in factors determining landslide hazards among three types of landslides in Japan, Nat. Hazards, Vol.118, 1689–1705, 2023.
8) Shinohara, Y.: Historical and future trends in population exposed to landslides in Japan, Nat. Hazards, Vol.121, 18187–18203, 2025.
9) 国土交通省：国土数値情報．https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html（2024 年 10 月 16 日閲覧）

（2026.5.29　受付）