

土石流の規模推定に向けた山地溪流の集水領域に関する研究

中谷加奈¹・里深好文²

Study on Debris Flow Scale Estimation With Water Catchment Area for Mountainous Torrent

Kana NAKATANI¹ and Yoshifumi SATOFUKA²

Abstract

In this study, we applied debris flow simulations on 2014 August Hiroshima disaster. We focused on water supply volume calculated from rainfall to the basin area. From results, many torrents especially in small basin and granite showed lack of water to behave as the real disaster. We assumed that the water supply from neighboring and internal mountain such as ground water affects to the debris flow scale. We also considered that it relates to three-dimensional topography, which can be described with basin volume. From results, basin volume showed good relationships with the debris flow scale than using basin area.

キーワード：土石流, 規模推定, 山地溪流, 集水領域, シミュレーション, GIS

Key words: debris flow, scale estimation, mountainous torrent, water catchment area, simulation, GIS analysis

1. はじめに

近年は頻発する豪雨により土砂災害が増加傾向^{例えば1,2)}にある。土石流は、その流動性の高さにより、発件数に対する人的・物的被害が他の土砂災害と比較して甚大になることから、適切な規模の推定手法の提案が求められる。

土石流は、土砂と水を構成材料とする混合物の流れである。土石流を含む山間部からの移動土砂量は、現地調査や複数時期の地形データの差分から詳細に把握できる。急勾配の領域で崩壊が発生

した場合、水と混合した流れではない剛体に近い状態では、土砂の移動距離は短い^{3,4)}。その多くは崩壊高さ³⁾と移動距離の比が1以下であり、住宅地等の緩勾配エリアまで移動することはない。すなわち、山間部の斜面に土砂が多量に存在しても、水の供給量に対応する土砂量のみが土石流として挙動して移動距離が長くなると考えられる。一方、実務上は流出土砂量や移動可能土砂量から土石流規模が推定されることが多く⁵⁾、土石流を構成する水の起源や量に着目した研究は少ない。

¹ 京都大学大学院農学研究科
Graduate School of Agriculture, Kyoto University

² 立命館大学理工学部
Department of Civil Engineering, Ritsumeikan University

日本の土石流の主な発生誘因は豪雨で⁶⁾、発生時刻やピーク流量は1時間雨量や10分間雨量などの強い短時間降雨量が影響することが知られ⁷⁻¹⁰⁾、土石流を構成する水の多くは山地流域への降雨由来と推測される。降雨流出やそれに伴う山地からの土砂流出を検討する際、集水領域には流域が一般的に用いられる^{11,12)}。流域面積が数10 km²以上の河川では流域への降雨と水の流出の対応もよく、流域に立体的な地形や勾配を合わせた地形指標を用いた手法も提案される¹³⁾。一方、土石流は溪流の流域面積が1～3オーダー小さく、土砂の割合が多く、短時間の流出であることから流域面積の大きな河川での降雨流出の知見をそのまま活用出来ない。

中谷ら¹⁴⁾は土石流事例をシミュレーションで検討する際、流域面積への降雨量を基に⁵⁾水の供給量を算出している。一方、土石流の規模は降雨量と線形的な関係を示すものではなく、ピーク流量は降雨から推定される値より大きくなる場合がある⁶⁾。土石流発生時に流域への降雨量より多くの水流出が推測される事例もあり^{15,16)}、隣接溪流からの水移動¹⁷⁾や山体内部からの水の寄与の影響が考えられるが、定量的な検討はない。最近では細粒土砂が液相として挙動する等、現象論から土石流の水の供給源を考慮する検討もあるが^{例えは^{18,19)}}、流域面積への降雨以上の水流出を説明するには至らない。また、実際の流出土砂量を基に土石流規模を検討する指標にも流域面積が用いられるが、小さな流域で相関が明瞭でなく^{例えは^{20,21)}}、流域面積が規模を表す十分な指標とはいえない。

本研究では、2014年8月に広島市安佐南区で土石流が発生した溪流を対象とした。まず、流域面積への降雨による水の供給量で大災害と同程度の土石流が発生するかを土石流シミュレーションで検討した。実際の流出土砂量と計算結果を比較するとともに、GISを用いて地質や流域の形状や複数の流域間の配置を検討した。次に、流出土砂量を基にした土石流規模について、従来の山地流域の面積だけでなく、三次元的な地形を考慮した流域サイズを検討した。複数の流域サイズと土石流規模との対応や、シミュレーション結果と比較検

証することにより、土石流規模の推定に関する新たな知見を得ることを目指した。

2. 検討対象と流域の諸元

2014年8月に土石流が発生した広島市安佐南区の18溪流²⁾を対象とした(図1)。災害発生前の2010年3月に計測された解像度1mのDEM(Digital Elevation Model)を基に、各溪流の流域についてQGISを用いて抽出して、面積や体積を算出した。

流域を抽出する際、流域末端の谷出口の設定箇所がその面積や体積等に影響する。対象地域では2014年の災害後から、砂防堰堤の整備が進められた。本研究では、災害前に指定が予定されていた土砂災害警戒区域(災害時は未指定)^{2,22)}の上流端が流域の谷出口となるように設定した。その結果、堰堤よりも下流側となっている。本検討は災害前のDEMを用いたため、災害や施設整備の影響による地形変化が考慮されないことや、既往検討で^{2,23,24)}災害前に想定された谷出口を境界とした流域が用いられることから、この方法を採用した。異なる谷出口の設定方法や複数の方法による比較、妥当性の検証は今後検討を進める。

図1に抽出した各流域と溪流名を示す。三次元

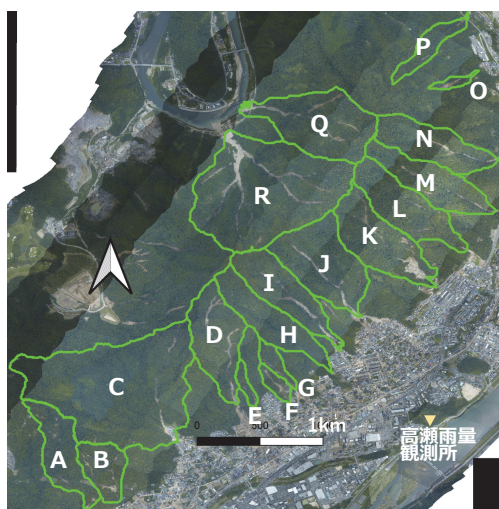


図1 対象とした広島市安佐南区の18溪流の流域(緑線が流域界、背景は災害後オルソ)

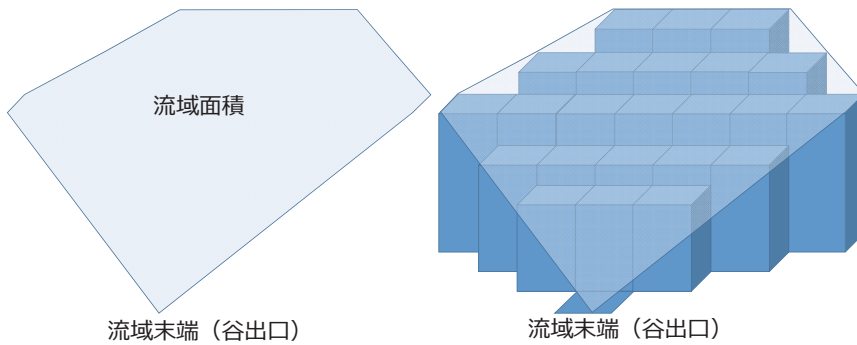


図2 流域の体積の抽出イメージ図

表1 対象とした18溪流の諸元と土石流シミュレーションでの設定条件

溪流名	溪流の諸元						シミュレーションの設定条件	
	流域面積 Area (km ²)	流域体積 Volume (km ³)	流域の 代表勾配 θ (deg)	Area* $\tan\theta$ (km ²)	流出土砂量 Sediment (m ³)	地質 G: 花崗岩 S: 堆積岩	供給した 水の量 / Sediment	1D 領域 流路長 (m)
A	0.171	0.022	30.9	0.102	13,000	G	1.7	940
B	0.109	0.009	30.8	0.065	7,200	G	2.0	760
C	0.766	0.120	29.8	0.438	11,200	G	9.0	950
D	0.222	0.047	33.6	0.148	33,000	G+S	0.9	1,370
E	0.023	0.002	31.5	0.014	3,100	G	1.0	280
F	0.031	0.002	31.4	0.019	2,000	G	2.1	190
G	0.036	0.004	36.6	0.027	7,900	G	0.6	300
H	0.190	0.047	37.5	0.146	4,900	G+S	5.1	495
I	0.203	0.053	37.7	0.157	22,200	G+S	1.2	900
J	0.285	0.064	34.9	0.199	10,400	G+S	3.6	735
K	0.249	0.050	31.3	0.152	8,900	G+S	3.7	750
L	0.221	0.067	32.4	0.140	12,100	G+S	2.4	1,105
M	0.199	0.046	33.5	0.132	19,100	G+S	1.4	1,130
N	0.199	0.053	34.5	0.137	16,600	G+S	1.6	620
O	0.018	0.002	34.8	0.013	2,400	G+S	1.0	260
P	0.071	0.009	31.7	0.044	3,400	G+S	2.8	455
Q	0.313	0.102	35.8	0.225	33,900	S	1.2	1,505
R	0.669	0.194	36.5	0.496	62,300	S	1.4	3,115

的な地形を考慮した流域サイズとして、流域において流域末端よりも標高の高い部分の総和を流域の体積として算出した。体積の抽出イメージは流域末端と同じ標高の水平面と、地表の流域界から鉛直に降ろした面とで山体を切り取るものである。GISで算出する際は図2右に示すように、用いたDEMの正方形格子毎の四角柱の体積の総和となる。

表1左に各溪流の流域の面積 Area、体積 Volume、代表勾配 θ 、災害時に各溪流で報告されている²³⁾流域の谷出口から下流側に流出した土砂

量 Sediment、地質の分布²⁵⁾を示す。代表勾配は、流域の最高標高と最低標高の差とその水平距離から求めた。地質の G は花崗岩、S は堆積岩を示し、G+S は花崗岩と堆積岩の両者が流域内に分布することを示す。

3. 流域面積を集水領域とした土石流シミュレーション

流域面積への降雨による水の量で、災害と同程度の土砂流出が発生するかを検証するために、

HyperKANAKO (以降 HK) で²⁶⁾土石流シミュレーションを実施した。HK は高橋モデル²⁷⁾を採用しており、設定した土砂と供給した水に対して、溪流の勾配に応じた土石流の侵食・堆積が表現される。本検討では、外部から供給される水の量が最も少ない状態で土石流が発生するシナリオを想定するため、河床堆積物中の水は飽和条件とした。

3.1 計算条件

計算では急勾配の谷部を一次元 (1D) 領域 (計算点間隔 5 m, 川幅 10 m), 下流側で氾濫堆積が広がった住宅地を二次元 (2D) 領域 (1 m メッシュ) として災害時の土砂移動範囲を囲むよう設定した。溪流の多くは 2 章で設定した谷出口が 1D と 2D の境界となる。一方、溪流 B, C, K, R では谷出口より上流の堰堤付近から横断方向へ広がる堆積がみられたことから、これらは堰堤を境界として地形条件を設定した。

HK は 1D 領域の合流は考慮できないため、災害状況^{2,23)}やオルソ写真を基に、上流で複数箇所から土砂移動があった場合は、土砂移動量が多いエリアを計算上の流路として設定した。表 1 左に示した各溪流の流出土砂量 Sediment (m³) を 1D 領域に均一厚さで設定している。

上流端から供給する水の総量を (流域面積 × 雨量 × 流出率) により算出¹⁴⁾した。流域面積は表 1 左に示す各溪流の数値を、雨量は高瀬観測所で土石流発生日に記録された最大 3 時間降雨量 187 mm を²⁾、流出率は山地を想定して 0.7 とした¹⁴⁾。ハイドログラフは日本の土石流観測事例を基に²⁸⁾、台

形形状で継続時間 350 秒 (ピーク継続 250 秒) とした。

表 1 右に各溪流の水の供給量と流出土砂量 Sediment の比率、並びに 1D 領域の流路長を示す。その他の計算に用いたパラメータは、2014 年や 2018 年に広島市で発生した土石流事例の調査や検討を参考に^{2,14,24)}、表 2 のように設定した。降雨量と流域面積から算出される水の量と流出土砂量の対応を検討するため、災害後に溪流上に残存していた土砂は考慮せず、固定床上に流出土砂を均一に敷き詰める単純化した条件で実施した。この手法で設定したハイドログラフやパラメータを用いた土石流シミュレーションの結果から、災害時の被害が甚大な箇所の抽出や、堆積や最大水位の警戒区域内での危険度分布が表現可能なことを溪流 D や溪流 I で^{24,29)}示している。

各対象は実災害を想定した一つの土石流シナリオを検討して、移動可能土砂は 1D 領域に均一厚さで分布することや、土砂のサイズは一つの代表粒径で表現すること、土石流は一波で短時間の台形状のハイドログラフで発生するものと仮定した。実際には、溪流での移動可能土砂の分布に偏りがあることや、異なるサイズが幅広く存在すること、複数波や異なる継続時間やピーク流量を示すハイドログラフ、後続流による再侵食の発生など異なる土石流シナリオも考えられる。異なるシナリオ、特にハイドログラフの違いによる影響や複合的なシナリオによる評価方法は、別途検討を進める予定である。

3.2 計算結果

計算終了時の 2D 領域の堆積厚を図 3 左に示す。溪流 D を対象とした計算結果の拡大図を図 3 中央に、災害の状況²³⁾に加筆を図 3 右に示す。溪流 D の結果と災害状況を比較すると、計算結果の方が堆積 50 cm 以上を示す範囲が狭く、他の溪流でも同様に計算の方が狭い結果を示した。

1D 領域に計算終了時点で残存した土砂量を供給した土砂量 Sediment で除した土砂残存率 (%) を算出した。結果を図 4 左に示す。流域面積と降雨を指標とした水の量では、土砂が残存する溪流

表 2 計算に用いたパラメータ

パラメータ	数値 (単位)
計算時間	600 (s)
計算の時間間隔	0.01 (s)
粒径	0.2 (m)
砂礫の密度	2,650 (kg/m ³)
液相の密度	1,180 (kg/m ³)
砂の内部摩擦角	37 (deg)
河床の容積濃度	0.65
侵食速度係数	0.0007
堆積速度係数	0.05
マンニングの粗度係数	0.03 (s/m ^{1/3})

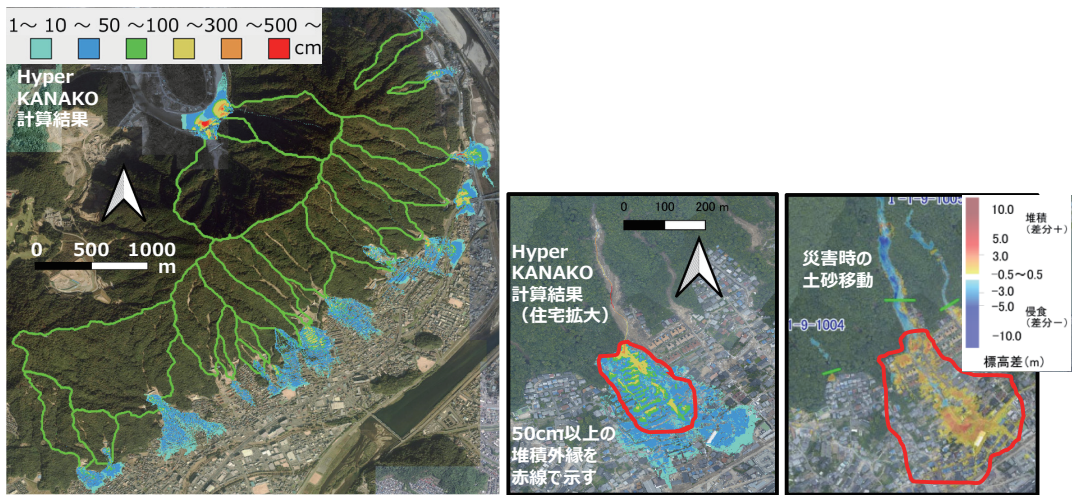


図3 計算終了時の2D領域の堆積厚(左:全対象溪流,中央:溪流Dの拡大図)と溪流Dの災害時の土砂移動状況²³⁾に加筆(右)

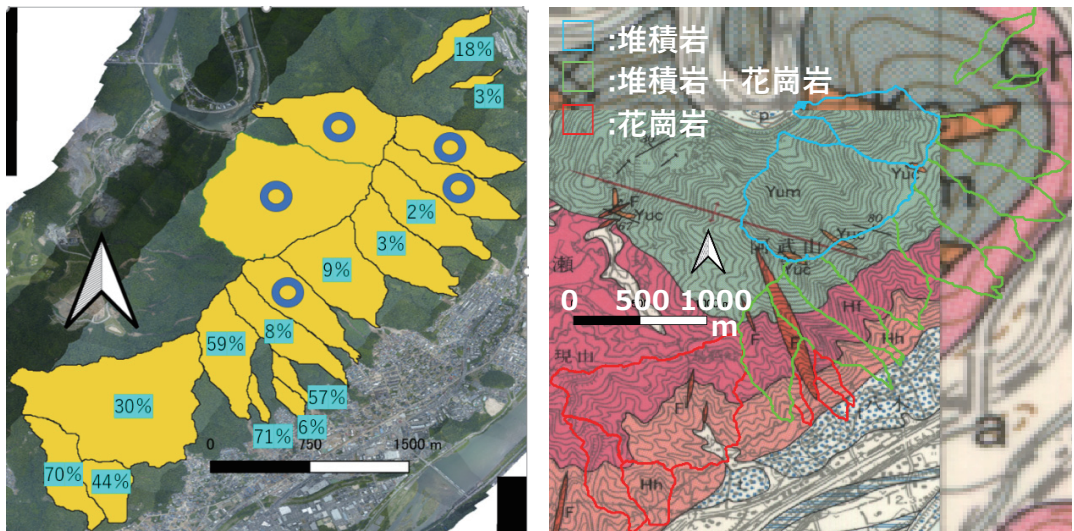


図4 計算終了時の1D領域の土砂残存率(左,○は全流出)と地質の分布(右,産総研の5万分の1ならびに20万分の1地質図²⁵⁾に加筆)

が多く、実災害と同等の土砂量が流出するためには水が不足する。ただし、計算に一溪流のみを用いた点、均一厚さの土砂や一律に川幅10mで設定した点など、設定条件による影響も考えられるため、今後は異なる条件も検討する。一方で、溪流E: 71%, A: 70%, D: 59%, G: 57%, B: 44%の5溪流は、土砂残存率が30%を超えたことから、

流域への降雨を基にした水の供給量では、顕著に水不足が生じた溪流として扱う。土砂残存率30%を基準としたのは、降雨量と流域面積から水の量を算出する際に流出率0.7を採用したことを考慮した。設定条件の影響を考慮しても30%超過は高い残存率であるため、顕著に水不足が生じた溪流として扱った。

図4右には各溪流の地質の分布を示す。地質と残存率からは、花崗岩や花崗岩を含む流域で残存率が大きく水が不足する傾向を示し、地質が土石流を構成する水の量や起源に影響することが推測される。

流域の面積や形状の比較から、水が不足する溪流は 0.1 km^2 以下が多く、上流側に別流域が存在する溪流 E や G で残存率が多い傾向を示した。残存率が比較的大きな溪流は、59%の溪流 D よりも南西側に多い。溪流 F, G, H より北東側では、57%の溪流 G を除くと 0% の全流出や10% 以下の小さい溪流が大部分を占める。北東側では全流出と土砂が残存する溪流は隣り合う、あるいは山頂を挟んで反対側に位置するものがみられた。さらに、対象地域の全体を見ると、北東側は水が足りる傾向、南西側は不足傾向ともいえる。これらから、隣接溪流からの水移動や、山体に貯留された水の地下経路を経た水移動が発生して、土石流発生時に流域への降雨以上の水が供給されて、実際は土砂が残存せずに流出したことが推測される。

4. 土石流規模と流域サイズの検討

土石流シミュレーションから、流域面積への降雨を基にした供給量では水不足の溪流が多く、不足傾向なのは面積が小さい溪流や花崗岩に多く、水が十分な場と不足する場は隣接したり山体を挟んで位置することが示された。

流域面積を指標とした場合に、面積が小さいと土石流規模との相関が明瞭でない^{20,21)}のは、流域の面積だけでは土石流の土砂量や水の量を十分表せないためと推測される。土石流発生時には、流域への降雨に加えて、隣接溪流からの水移動や、山体内部からの水の発生や移動による寄与が、土石流規模、すなわち土砂量や水の量に及ぼす要因と考えられる。その影響を表す指標として、三次元的な地形を考慮した流域サイズを検討する。

流域サイズには面積 Area 、三次元的な地形を考慮した体積 Volume 、面積に流域の代表勾配の $\tan\theta$ を乗じた $\text{Area} \cdot \tan\theta$ の三種類を用いた。 $\text{Area} \cdot \tan\theta$ は厳密には体積を表さないが、同じ面

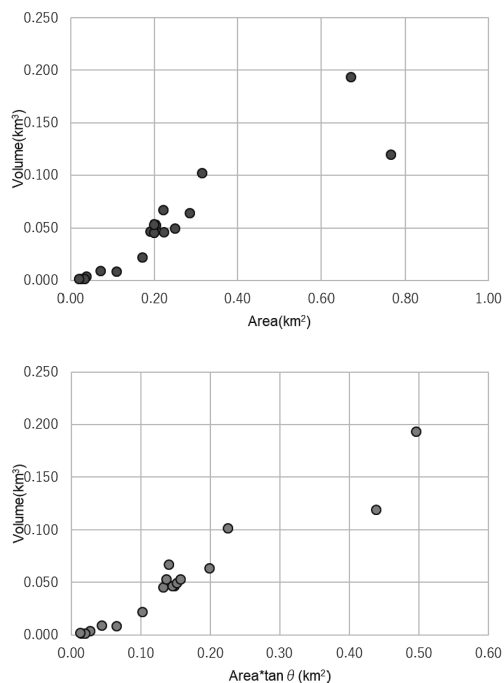


図5 流域の面積と体積の相関（上段）と $\text{Area} \cdot \tan\theta$ と体積の相関（下段）

積では勾配が大きいと値が大きく、勾配が小さいと相対的に小さくなるため、45度以下では形状を単純化した三次元的な指標となると考えた。

まず各指標の対応を確認した。一般に面積が大きければ体積も大きくなる考えられる。図5に対象溪流の面積と体積、 $\text{Area} \cdot \tan\theta$ と体積の相関を示す。面積が最大の溪流 C を除くと、面積が大きければ体積は大きくなる正の相関を示す。 $\text{Area} \cdot \tan\theta$ は大きくなるほど体積が大きくなる正の相関が全プロットで示され、三種類の指標は大部分で正の相関を示した。 Area 、 $\text{Area} \cdot \tan\theta$ と Volume を用いて、実際に報告された流出土砂量を基にした土石流規模との対応を検討した。

地形指標の面積や体積は発生する流出土砂量や水の量に影響することから、実災害で発生した流出土砂量 Sediment を地形指標で除した値を単位面積、 $\text{Area} \cdot \tan\theta$ 、体積あたりの土砂量として求めた。面積で除した土砂量は、比流出土砂量として広く用いられている²¹⁾。結果を表3と図6に示

し、図6では土砂残存率が30%を超えたケースと30%以下のケースを区別してプロットした。図5でAreaとVolume, Area*tanθとVolumeの間には正の相関を示したものの、図6の結果は異なる傾向を示した。

Areaを指標とした場合は、小さいときにSediment/Areaが大きく、Areaが大きくなると小さくなる傾向だが明瞭な相関は見られない。また、残存率30%を超える5溪流は0.22 km²以下に集中して、面積が小さく66×1,000 m³/km²以上の土砂量が多い場合に残存率が高かった。一方で0.22 km²以下では残存率30%以下も8溪流存在するため、一概に小さい面積が水不足に影響するとはいえない。30%以下の8溪流の中でも66×1,000 m³/km²以上が4溪流あることから、面積や単位面積あたりの土砂量を用いて、水が不足する溪流と十分な溪流を区別することは難しい。

Area*tanθを指標とした場合は、小さいときにSediment/Area*tanθが大きく、Area*tanθが大きくなると小さくなる傾向だが、Areaと同様に明瞭な相関は見られない。残存率30%を超える5溪流は0.15 km²以下に集中して、小さなArea*tanθで111×1,000 m³/km²以上の場合に残存率が高かつ

た。一方で0.15 km²以下で30%以下は7溪流で、Areaと比較すると少ないが、小さいArea*tanθが水不足に影響するとは一概にいえない。7溪流の中で111×1,000 m³/km²以上を示すのは3溪流でAreaよりも少なく、Area*tanθはAreaよりも規模や残存率の差を示す指標と考えられる。

Volumeを指標とした場合は、他の二つと比べて小さいときにSediment/Volumeが非常に大きく、Volumeが大きくなると緩やかに小さくなる減少傾向を明瞭に示す。30%を超える5溪流は0.05 km³以下に集中して、小さな体積で586×1,000 m³/km³以上の場合に、残存率が高かった。0.05 km³以下で残存率30%以下は4溪流で、30%を越える溪流数よりも少ない。4溪流の中で586×1,000 m³/km³以上を示すのは2溪流で、他の2つの指標と比較してVolumeやSediment/Volumeを指標とした場合は、残存率30%を境界としたプロットの区別も明瞭であり、体積が小さく体積当たりの土砂量が多い流域で、面積への降雨以上の水供給が発生したと推測できる。地形指標の中でVolumeが最も土石流規模との対応がよく、流域で発生し得る土石流の土砂量や水の量を表現したといえる。

表3 対象とした18溪流の各地形指標で除した土砂量

溪流名	Sediment/Area (1000× m ³ /km ²)	Sediment/Area*tanθ (1000× m ³ /km ²)	Sediment/Volume (1000× m ³ /km ³)
A	76	127	586
B	66	111	834
C	15	26	94
D	149	223	709
E	135	220	1,902
F	64	104	1,275
G	221	297	1,929
H	26	34	104
I	109	142	419
J	37	52	163
K	36	59	179
L	55	86	181
M	96	145	418
N	84	121	311
O	132	191	1,247
P	48	78	363
Q	108	150	333
R	93	126	322

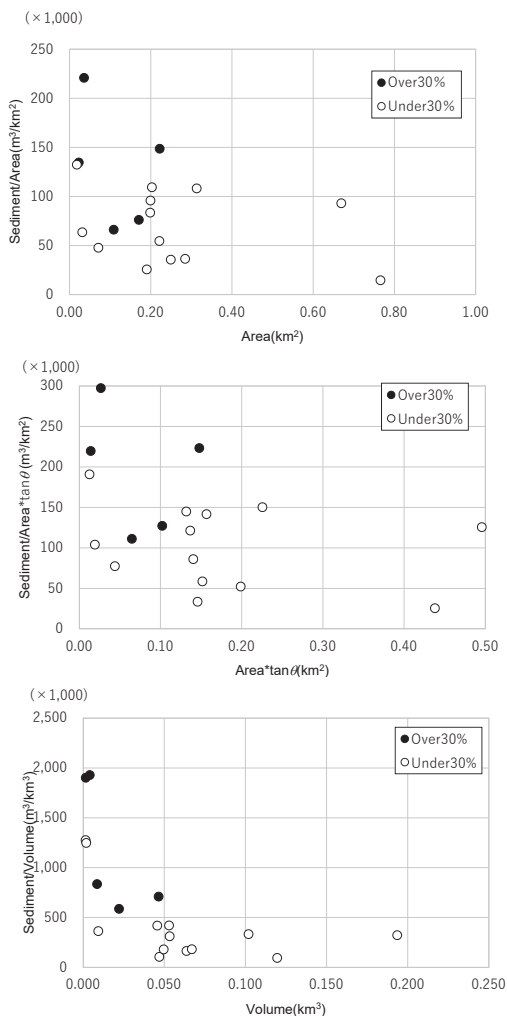


図6 流域の面積と土砂量（上段）， $\text{Area} \cdot \tan\theta$ と土砂量（中段），体積と土砂量（下段）（Over30%は土砂残存率30%を越える，Under30%は30%以下の溪流）

5. おわりに

本研究では、2014年8月の広島で土石流が発生した溪流を対象に、流域面積への降雨による水の供給量で災害規模の土石流が発生するかシミュレーションで検討した。結果から水が不足する溪流が多く、不足傾向なのは面積 0.1 km^2 以下や花崗岩に多く、水が十分な場と不足する場が隣接したり山体を挟んで位置することが示された。特に小さな流域は、面積では土石流発生に必要な土砂

や水の量を十分表さないと考え、隣接溪流や山体内部からの水移動を考慮した三次元的な流域のサイズを用いて、土石流規模との関係を検討した。結果から、流域の体積を指標とした場合に規模との対応が最もよく、シミュレーションで残存率が高い溪流と低い溪流の差も他の指標より明らかに示された。

本研究により、花崗岩では隣接流域からの水移動が発生する可能性や、水供給量には山体体積が影響する可能性が示された。森林水文分野の既往研究において、花崗岩は風化が進みやすく基岩への降雨浸透が多いこと³⁰⁾や、大傾斜の流域では地下水賦存量が多いこと³¹⁾、流域界を越えた地下水移動が実際に見られること³²⁾等も、この推察の根拠として挙げられる。

今後は、谷出口の設定方法やシミュレーションの条件設定を考慮するとともに、2018年の土砂災害など異なる土石流事例で検討を進めて、流域の面積や体積と規模との対応、地質の影響、流域の体積が水の量に及ぼす影響や、流域を越える水・土砂移動についても検討する。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費20K04706の助成を受けたものです。国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所からは災害前後のLPデータを提供頂きました。京都大学大学院農学研究科の辻淳基氏には、データ整理や解析に協力頂いた。広島大学大学院先進理工系科学研究科の長谷川祐治先生には、研究の遂行にあたって終始、協力や助言を頂いた。ここに記して感謝致します。

参考文献

- 1) 海堀正博・長谷川祐治・山下祐一ら、他16名：平成30年7月豪雨により広島県で発生した土砂災害、砂防学会誌、Vol.71, No.4, pp.49-60, 2018.
- 2) 海堀正博・石川芳治・里深好文ら、他13名：2014年8月20日に広島市で発生した集中豪雨に伴う土砂災害、砂防学会誌、Vol.67, No.3, pp.49-59, 2014.
- 3) 土木学会水工学委員会 水理公式編集小委員

- 会 編：水理公式集 [2018年版]，pp.269-270，土木学会，2019.
- 4) 高橋保：土石流の機構と対策，近未来社，432 pp.17-18，2004.
 - 5) 国土交通省砂防部：砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説，2016.
 - 6) 丸谷知己 編：砂防学，pp.38-46，朝倉書店，2019.
 - 7) 諏訪浩：土石流の観測，砂防学会誌，Vol.45，No.1，pp.43-51，1992.
 - 8) 池田暁彦・水山高久・原口勝則：土石流の発生を支配する降雨量に関する考察，砂防学会誌，Vol.60，No.3，pp.26-31，2007.
 - 9) Tsunetaka H., Hotta N., Imaizumi, F. et al.: Variation in rainfall patterns triggering debris flow in the initiation zone of the Ichino-sawa torrent, Ohya landslide, Japan, *Geomorphology*, Vol.375, id.107529, 2021.
 - 10) 水山高久：わかりやすい砂防技術，一般財団法人全国治水砂防協会，pp.25-27，2015.
 - 11) 土木学会水工学委員会 水理公式編集小委員会 編：水理公式集 [2018年版]，pp.65-72，土木学会，2019.
 - 12) 芦田和男・江頭進治・中川一：21世紀の河川学，pp.171-180，京都大学学術出版会，2008.
 - 13) 土木学会水工学委員会 水理公式編集小委員会 編：水理公式集 [2018年版]，pp.11-12，土木学会，2019.
 - 14) 中谷加奈・長谷川祐治・笠原拓造・海堀正博・里深好文：平成30年7月豪雨で発生した土石流被害と谷出口の道路の影響，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.75，No.1，pp.403-413，2019.
 - 15) 中谷加奈・前田大介・里深好文・水山高久：平成21年7月に山口県防府市石原地区及び八幡谷溪流で発生した土石流の検討，第5回土砂災害に関するシンポジウム論文集，pp.81-86，2010.
 - 16) 廣田大空・中谷加奈・小杉賢一朗・里深好文・内田太郎：観測データを活用した山地溪流からの流出流量の推定手法，平成29年度（公社）砂防学会研究発表会概要集，pp.714-715，2017.
 - 17) 石川芳治・池田暁彦・柏原佳明・牛山素行ら，他11名：2013年10月16日台風26号による伊豆大島土砂災害，砂防学会誌，Vol.66，No.5，pp.61-72，2014.
 - 18) 西口幸希・内田太郎・石塚忠範・里深好文・中谷加奈：細粒土砂の挙動に着目した大規模土石流の流下過程に関する数値シミュレーション，深層崩壊に起因する土石流への適用，砂防学会誌，Vol.64，No.3，pp.11-20，2011.
 - 19) 中谷加奈・古谷智彦・長谷川祐治・小杉賢一朗・里深好文：細粒土砂の液相化が土石流挙動に及ぼす影響とその要因に関する検討，砂防学会誌，Vol.70，No.6，pp.3-11，2018.
 - 20) 蒲原潤一・内田太郎・田中健貴・松原智生・池田幸太郎・戸館光：土石流災害における土砂の到達範囲及び氾濫開始点の地形的特徴に関する近年の事例分析，砂防学会誌，Vol.70，No.1，pp.38-45，2017.
 - 21) 広島県：平成30年7月豪雨災害を踏まえた今後の水害・土砂災害対策のあり方検討会（第1回砂防部会）資料4-1，<https://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/attachment/330358.pdf>，参照2022-3-29.
 - 22) 広島県砂防課，土砂災害ポータルひろしま，<http://www.sabo.pref.hiroshima.lg.jp/portal/top.aspx>，参照2022-3-29.
 - 23) 吉野弘祐：広島災害の誘因の特徴と土砂移動の状況，公益社団法人砂防学会2014年広島土砂災害に関する緊急調査報告会講演概要集，JSECE Publication，No.74，pp.31-36，2014.
 - 24) 中谷加奈・長谷川祐治・里深好文：異なる Digital Elevation Model を用いたシミュレーションによる土石流の危険度分布の把握と避難計画への活用，砂防学会誌，Vol.72，No.6，pp.8-17，2020.
 - 25) 産総研地質調査総合センターウェブサイト，地質図 Navi，<https://gbank.gsj.jp/geonavi/>，参照2022-3-29.
 - 26) 堀内成郎・岩浪英二・中谷加奈・里深好文・水山高久：LP データを活用した土石流シミュレーションシステム「Hyper KANAKO」の開発，砂防学会誌，Vol.64，No.6，pp.25-31，2012.
 - 27) 高橋保・中川一：豪雨時に発生する石礫型土石流の予測，砂防学会誌，Vol.44，No.3，pp.12-19，1991.
 - 28) 池田暁彦・門馬直一・堀内成郎・山田利治：滑川北股沢で発生する土石流について，砂防学会誌，Vol.51，No.2，pp.31-38，1998.
 - 29) 中谷加奈・小杉恵・里深好文・水山高久：家屋や道路が土石流の氾濫・堆積に及ぼす影響，2014年8月に発生した広島土砂災害を対象として，砂防学会誌，Vol.69，No.5，pp.3-10，2017.
 - 30) Kosugi, K., Katsura, S., Katsuyama, M. et al.:

- Water flow processes in weathered granitic bedrock and their effects on runoff generation in a small headwater catchment, *Water Resources. Res.*, 42, W02414, doi:10.1029/2005WR00427, 2006.
- 31) Kosugi, K., Fujimoto, M., Katsura, S., et. al.: Localized bedrock aquifer distribution explains discharge from a headwater catchment, *Water Resources. Res.*, 47, W07530, doi:10.1029/2010WR009884, 2011.
- 32) Masaoka, N., Kosugi, K., Fujimoto, M.: Bedrock groundwater catchment area unveils rainfall-runoff processes in headwater basins, *Water Resources. Res.*, 57, e2021WR029888, doi:10.1029/2021WR029888, 2021.
- (投稿受理：2022年3月31日
訂正稿受理：2022年6月28日)

要 旨

本研究は2014年8月に広島で土石流が発生した溪流を対象に、流域面積と降雨量から求めた水の供給量と災害時に報告された流出土砂量を用いて土石流シミュレーションを実施した。結果から水が不足して土砂が残存する溪流が多く、不足傾向なのは面積が小さい溪流や花崗岩が多かった。土石流を構成する土砂量や水の量、すなわち土石流規模を表す集水領域の指標として、従来の流域面積では十分表現できないと考えて、隣接溪流や山体内部の水移動を考慮した三次元的なサイズとして流域の体積を用いて、土石流規模との関係を検討した。体積を指標にすると規模との対応が最もよく、シミュレーションでの土砂残存率の差も他の指標より明らかに示された。