

山地源流域からの生産土砂量のばらつきに影響を与える崩壊面積と崩壊深さの役割

筑波大学 ○對馬美紗 内田太郎

1. 背景

山地源流域からの生産土砂量を推定するための要因として、様々な降雨・地形指標が生産土砂量と相関があるとして報告されてきた（例えば、de Haas and Densmore、2019）。一方、對馬・内田（2023）（以下、「前報」）は、2017 年九州北部豪雨時の、福岡県赤谷川流域の複数の山地源流域を対象に、7 降雨指標と 13 地形指標が、山地源流域からの生産土砂量のばらつきに与える影響を整理した。その結果、山地源流域からの生産土砂量のばらつきと明瞭な相関を示す地形指標はなく、最も大きい相関を示した平均傾斜（%）であっても、相関係数は 0.38 と高いとは言い難かった。そこで、本報告では、山地源流域の生産土砂量が降雨・地形指標との相関が見られなかった理由について、既往研究の整理とデータの分析により検討した。

2. 方法

2.1. 既往研究の整理

山地源流域の流出土砂量・生産土砂量の実測値と地形指標・降雨指標の関係性を検証した研究を収集分析した。

2.2. 2017 年九州北部豪雨時のデータ整理

本研究では、前報で対象とした 2017 年九州北部豪雨時の土砂流出を対象とした。はじめに、1 次谷流域に分割した。分割にあたっては、前報同様、集

水面積と勾配の関係から、集水面積が 10⁴ m² 以上の地点を 1 次谷の開始点と定義し流域区分を行った。その上で、流域内を斜面部（集水面積が 10³m² 以下）、0 次谷溪床部、1 次谷溪床部に区分した。

次に、2 時期の LP データを用いた差分解析結果から、土砂移動範囲ポリゴンを作成、土砂移動範囲面積を計測した。その上で、ポリゴン内の生産土砂量を整理し、面積で除した崩壊深さを算出した。面積、深さ、土砂量の算出結果は地形区分ごとに整理した。

本報告では、1 次谷流域ごとに整理した生産土砂量に及ぼす土砂移動面積と深さの影響の大小について相対的に比較した。この時、次元の違いに伴う相関係数への影響を除くために、崩壊面積を 0.5 乗し、深さと次元を統一した。

3. 結果と考察

3.1 既往研究との比較

近年の山地流域からの生産土砂量の推定を目的とした既往研究は、①1 流域・多数イベント、②複数流域・多数イベント、③複数流域・1 イベントの土砂流出を対象とした研究に分けられる。さらに、(A) 生産土砂量そのものと、(B) 単位面積当たりの土砂量 (比生産土砂量) とに分類された（表 1）。

表 1 に示すように、②、③の複数流域からの (A) 生産土砂量を対象とした研究では、生産土砂量は

表 1 山地流域からの算出土砂量を対象とした既往研究

引用文献名	流域面積 (km2)	対象現象	対象流域数	対象土砂	土砂の起源	土砂堆積の影響	規定要因	非規定要因
對馬・内田 (2023)	0.004~0.1	1 イベント	(1 地域) 複数流域	m3/km2	斜面	小	—	降雨、地形指標
Reid ら (2016)	0.007~0.02	1 イベント	(1 地域) 複数流域	m3	溪流	大	溪床勾配 (5 度以上)	—
Coe ら (2020)	0.6~0.25	1 イベント	(1 地域) 複数流域	m3	斜面 (+溪流)	小	—	地形指標
Marchi ら (2019)	0.021~17.69	1 イベント	(複数地域) 複数流域	m3	溪流?	大	流域面積	—
de Haas and Densmore (2019)	0.1~3.0	多数イベントの平均	(1 地域) 複数流域	m3	(斜面+) 溪流	大	流域面積、主溪流長、流域の周長、起伏量、メルトン比	起伏量比、流域形状を表す地形指標
Gartner ら (2014)	?	多数イベント	(1 地域) 複数流域	m3	(斜面+) 溪流	大	15 分雨量強度、標高差	—
de Haas ら (2022)	4.6	多数イベント	1 流域	m3	溪流	大	河床の水分状況、直近の流出による痕跡等	長期間の先行降雨
Guilinger ら (2020)	0.00095 0.065	多数イベント	1 流域	m3 m3/km2	斜面 (斜面+) 溪流	小 大	斜面域の移動可能土砂量 斜面域の移動可能土砂量、 溪床内の移動可能土砂量	— —

流域面積等の流域の大きさの影響（de Haas and Densmore,2019: Marchi ら,2019）や、降雨量（Gartner ら、2014）の影響を受けることが報告されている。一方で、①の1流域に注目した場合は、土砂流出の履歴や流域内の土砂の堆積状況の影響を受けると指摘されてきた（Guilinger ら,2020: de Haas ら,2022）。

既往研究では、地形指標や降雨指標と相関がみられたにもかかわらず、前報では、同様な相関が見られなかった要因の一つとして、(A) 生産土砂量、(B) 比生産土砂量の違いが考えられる。すなわち、(A) 生産土砂量を対象とした研究では、流域面積等の流域の空間スケールに関わる要因と関係がみられたが、(B) 比生産土砂量を対象としたことによって、流域の空間スケールに関わる要因の影響が不明瞭になった可能性が考えられる。

さらに、前報で降雨要因の影響が見られなかったことから、本対象流域は、場の条件が一樣でなかった可能性が考えられる。ちなみに、降雨要因との関連が見られた Gartner ら（2014）の研究は、山火事後の土砂流出を対象としており、地表面の状況など、ある程度、場の条件が一樣であった可能性が考えられる。一方、赤谷川流域は、Guilinger ら（2020）等の成果同様に、過去の土砂移動の履歴の影響を受けた流域内の移動可能な土砂の蓄積量が空間的に不均一であり、これが影響した可能性が考えられる。

3.2 土砂移動範囲の面積および深さと1次谷流域からの生産土砂量との関係

土砂移動の深さについて、花崗岩域に分布する流域の90%以上が0.5～1.5 mの範囲に分布していた（図1）。これは変成岩域であっても同様の傾向であった。

面積および深さと生産土砂量の相関関係について比較すると、特に斜面域では崩壊面積との相関係数は0.8以上であり、崩壊深さと比較して高い相関にあった（表2）。崩壊深さについては、崩壊深さそのもののばらつきが0～2.5mと小さいことや、各地形間における深さが大きな差を示さないことから、面積と比較して小さい相関関係となることが考えられる。

以上の結果から、生産土砂量の多い流域は土砂の移動深さの影響が大きいわけではないことが分かった。一方で、土砂移動が生じる範囲の大小が流域によって違った可能性が考えられる。

4. まとめ

本研究では、山地源流域からの生産土砂量における既往研究を整理するとともに、赤谷川流域を対象に

崩壊面積や崩壊深さに着目し、これらの指標が生産土砂量のばらつきに与える影響を検討し、赤谷川流域の非生産土砂量が地形指標や降雨指標と明瞭な相関がみられなかった原因を分析した。その結果、以下の可能性が考えられた。

- ◆ 山地源流域からの生産土砂量は、主に斜面域に分布した土層が土砂生産源となったが、降雨の影響を一律に受けるような程度の土層が形成されていなかったために、降雨との相関が明瞭に現れなかったことが考えられる。
- ◆ 山地源流域からの生産土砂量がばらつきを生む一因として、土層が分布する範囲が大きい流域とそうでない流域の差による影響が考えられる。

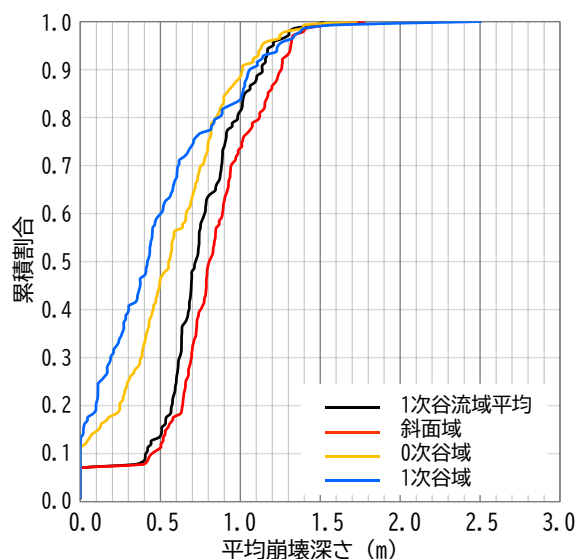


図2 1次谷流域の崩壊深さの累積頻度分布（花崗岩の例）

表2 崩壊面積^{0.5}(m)および崩壊深さ(m)と生産土砂量(m³)の相関(表中の数字は相関係数を示す)

地質	標本数	全域	斜面域	0次谷域	1次谷域
崩壊面積					
深成岩	142	0.80 **	0.85 **	0.65 **	0.45 **
変成岩	117	0.78 **	0.82 **	0.66 **	0.38 **
崩壊深さ					
深成岩	142	0.51 **	0.47 **	0.61 **	0.53 **
変成岩	117	0.66 **	0.65 **	0.61 **	0.53 **

** $p < 0.01$, * $0.01 < p < 0.05$

【参考文献】

- 1) 對馬・内田(2023), 砂防学会発表会北海道大会, P-122
- 2) de Haas and Densmore (2019), The Geological Society of America, 47, 8, 791-794
- 3) Reid et al. (2016), Geomorphology, 273, 396-411
- 4) Coe et al. (2020), 13th International Symposium on Landslides
- 5) Gartner et al. (2014), Engineering Geology, 176, 45-56
- 6) Marchi et al. (2019), Earth Surf. Process. Landforms 44, 933-943
- 7) de Haas et al. (2022), Geophysical Research Letters, 49, e2021GL097611.
- 8) Guilinger et al. (2020), Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 125, e2020JF005527.