

地形的特徴に着目した山地流域の土砂流出特性に関する統計的分析

国土技術政策総合研究所 ○高橋源貴 坂井佑介^{※1} 山越隆雄

京都大学防災研究所 松四雄騎

東京大学大学院農学生命科学研究科 堀田紀文

※1 現 国土交通省 九州地方整備局 阿蘇砂防事務所

1. はじめに

近年、気候変動による豪雨の頻発化・激甚化に伴い、土砂災害の発生形態も多様化しており、中でも土砂・洪水氾濫による被害が多発している。土砂・洪水氾濫は「豪雨により上流域から流出した多量の土砂が谷出口より下流の河道で堆積することにより、河床上昇・河道閉塞が引き起こされ発生する」ため¹⁾、土砂・洪水氾濫の発生危険度の高い流域を抽出するためには、河道へ土砂が届きやすい山地流域を推定（山地流域から河道への土砂流出特性を把握）することが有効であると考えられる。

本研究は、土砂流出特性の指標として土砂流出率（流出土砂量/生産土砂量）を把握した上で、山地流域の地形的特徴との関係を統計的な観点から分析した結果を報告する。

2. 研究の手法

2. 1 対象流域及び分析の対象とする流域の設定

対象とする流域は、図1に示す平成29年7月九州北部豪雨において土砂・洪水氾濫が発生した筑後川右岸流域（佐田川上流域：約50km²、北川流域：約7km²、赤谷川流域：約20km²）とした。当該災害について、災害前後のLPデータの差分解析結果と空中写真を用いて土砂移動範囲の判読を行い、LP差分のプラス値を生産土砂量、マイナス値を堆積土砂量と定義して土砂収支図を作成した。

また、分析の対象とする流域は、Montgomery (2001)²⁾を参考に、図2に示すような斜面崩壊や土石流が流下現象から堆積現象に遷移する溪床勾配10°程度となる集水面積を目安に、谷の合流点あるいは砂防堰堤の位置を下流端として設定した（以下、分析対象小流域という）。

2. 2 土砂流出率と比生産土砂量

流出土砂量は、生産された土砂のうち分析対象小流域内に堆積した土砂を差し引いた土砂量（生産土砂量-堆積土砂量）とし、土砂流出率はそれを割合としたもの（流出土砂量/生産土砂量）とした。また、土砂流出特性は、分析対象小流域内での土砂生産状況によって変化することが考えられる。このことから、生産土砂量を流域面積あたりに換算した比生産土砂量（生産土砂量/流域面積）と土砂流出率の関係を整理するとともに、土砂流出特性の分析は図3に示



図1 対象流域

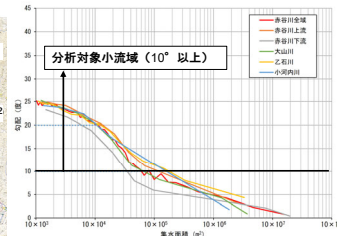


図2 集水面積と勾配の関係

表1 検討に用いた地形指標一覧

対象領域	地形条件・水理条件	備考
分析対象小流域	渓流の勾配の平均値	勾配、勾配比、谷幅、谷幅比、水深は50m毎に算出する。谷幅及び水深の算出方法は坂井ら（2013）を参考とする。
	渓流の谷幅の平均値	「ポリゴン内の任意メッシュ」と「ポリゴン内の下流端」との比高Hと流下距離Lから任意メッシュ毎の等価摩擦係数H/Lを計測し、ポリゴン内で集計して平均値を算出する。
	河道近接度	

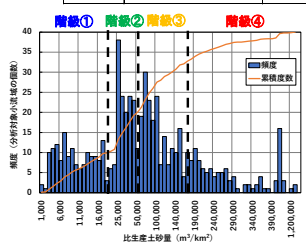


図3 比生産土砂量の頻度分布

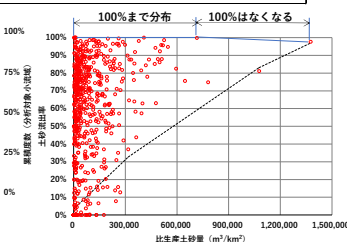


図4 比生産土砂量と土砂流出率の関係

すように、分析対象小流域の数が概ね同数になるように比生産土砂量を4つに階級区分し、階級毎に分析を行った。

2. 3 分析に用いる地形指標

表1に、土砂流出率との関係を分析する地形指標の一覧を示す。溪流の縦断形状や横断形状を反映した勾配・谷幅等の指標に加え、分析対象小流域内の全メッシュと流出点の位置関係（比高と流下距離）から求まる等価摩擦係数を平均化した値（以下、河道近接度という。）を設定した。なお、土砂流出率及び地形指標は、定義した分析対象小流域単位で算出・設定した。

3. 分析結果及び考察

3. 1 比生産土砂量と土砂流出率の関係

図4に比生産土砂量と土砂流出率の関係を示す。図4より、比生産土砂量が大きなデータの数はいくつか少ないものの、比生産土砂量の増大に伴って、データの表す点が、より土砂流出率が高い領域に偏在しているように見える。比生産土砂量が小さい流域では少数の崩壊が点在しているため、流出点に近い斜面で崩壊が発生している場合は土砂流出率が大きくなり、流出点に近い斜面で崩壊が発生している場合

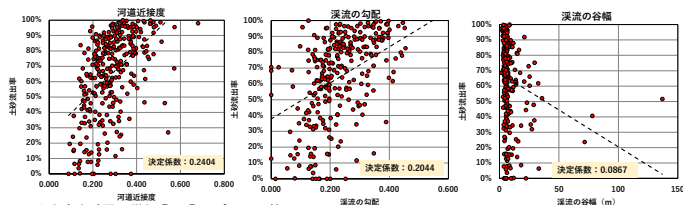


図5 各地形指標と土砂流出率の関係

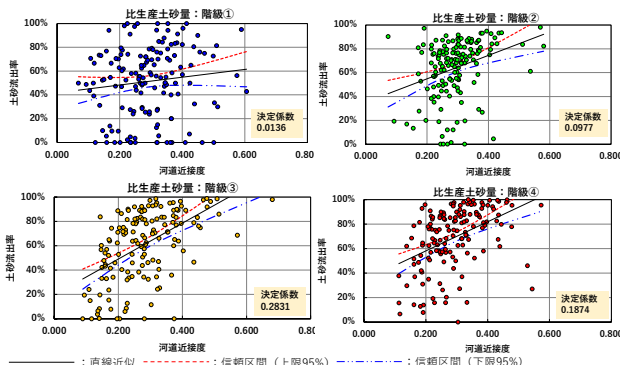


図6 河道近接度と土砂流出率の関係

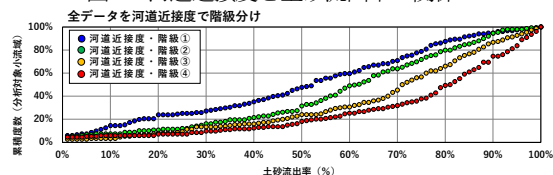


図7 河道近接度の階級別の累積度数

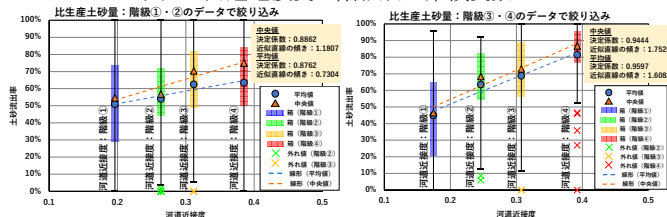


図8 土砂流出率の平均値・中央値の推移

は土砂流出率が小さくなる。すなわち、崩壊発生場所と流出点の位置関係がばらついており、分布幅が大きくなったと考えられる。一方で、比生産土砂量が大きい流域では多数の崩壊があらゆる斜面で発生しているため、崩壊発生場所と流出点の位置関係のばらつきが解消されるとともに、分析対象小流域内に堆積できる容量以上の土砂が生産された流域が大半を占めていたため、高い土砂流出率で分布幅が小さくなったと考えられる。そして、比生産土砂量を考慮して崩壊発生場所と流出点の位置関係のばらつきの影響を解消することで、地形指標と土砂流出率の関係を適切に評価できると考えられる。

3. 2 各地形指標と土砂流出率の関係

表-1 に示す地形指標を説明変数とした単回帰分析の結果を図5に示す。図5より、河道近接度を説明変数とした場合で、最も良好な相関(決定係数0.24程度)が確認される。このことから以後、河道近接度に焦点を絞って分析を進めることとした。

図3の比生産土砂量の階級毎に、土砂流出率と河道近接度の関係をプロットした結果を図6に示す。図より、階級

の大きい方が信頼区間の上限95%と下限95%の幅が狭まり、正の相関が強くなる(決定係数が階級③で0.28程度、階級④で0.19程度となる)傾向が確認される。これは崩壊発生場所と流出点の位置関係のばらつきの解消により、地形の影響がより明瞭になったことによるものと考えられる。

3. 3 頻度分布を用いた分析

ここでは、分析対象小流域の数が概ね同数になるように、全データを河道近接度で4つに階級区分し、土砂流出率の頻度分布を作成した。図7に河道近接度の階級別の累積度数(分析対象小流域)を示す。図7より、河道近接度の階級の増大に伴い、土砂流出率の高い分析対象小流域の占める割合が増加していることが読み取れる。

図8には、河道近接度の各階級の平均値と土砂流出率の平均値・中央値の関係をプロットしたものを、箱ひげ図と併せて示す。当該関係の整理に際して、まずは比生産土砂量で分析対象小流域のデータの絞り込みを行った(比生産土砂量の階級が①・②と③・④のデータに2分割した)。そして、絞り込んだデータを更に河道近接度で4つに階級区分し、河道近接度の階級毎に平均値・中央値のプロット及び箱ひげ図の作成を行った。図8より、各階級の河道近接度の平均値と土砂流出率の平均値・中央値の間には、良好な相関があることが分かった。また、図8の近似直線の傾きは、比生産土砂量の階級③・④のデータの方が大きいことが確認できる。このことより、比生産土砂量の階級が大きなデータで絞ることで崩壊発生場所と流出点の位置関係のばらつきが解消され、土砂流出率と相関のある河道近接度の効果をより明確に示すことができたと言える。

4. まとめ

本稿の結果より、河道近接度は山地流域の土砂流出特性を説明する上で有効な地形指標であることが示せた。今後は、土砂・洪水氾濫の発生危険度の高い流域の抽出を様々な観点から総合的に実施できるように、異なる地形指標(始点と終点間の流下経路の形状を反映した指標)を用いた統計分析や、数値計算プログラム等を用いた力学的な観点からの分析を実施する予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部：土砂・洪水氾濫により大きな被害のおそれのある流域の調査要領(案)(試行版)、2022.3
- 2) Montgomery: Slope distributions, threshold hillslopes and steady-state topography, American Journal of Science, Vol. 301, April/May, 2001, P. 432-454