

令和6年に伊吹山で発生した土石流の流下過程に関する研究

○鹿島歌乃¹⁾ 中谷加奈²⁾ 山野井一輝²⁾ 正岡直也³⁾

1)京都大学大学院工学研究科, 2) 京都大学防災研究所

3) 京都大学大学院農学研究科

1. はじめに

滋賀県米原市に位置する伊吹山では、土石流や土砂流出が2024年7月1日、15日、25日の計3回発生した。1日の土石流では、床上2軒、床下2軒、25日の土石流では、床上2軒（重複1軒）、床下3軒（重複1軒）、計7軒の家屋被害が出た¹⁾。滋賀県の担当者（以降、滋賀県等）からの情報では、伊吹山の流域では近年シカの食害等により植生が無くなり荒廃したことで侵食が活発化している。また、ガリ侵食等によるみず道の変化により、降雨時に従来とは異なる流域への水移動が発生するようになった。そのため、不安定土砂を有する下流域の勝山谷川に、従来よりも水供給が増えたことで、土石流が複数回発生したと推測されている。

本研究では、土石流発災前後の複数の地形データを用いて、QGISを用いた地形解析を行い、流域の変化について検討した。さらに、土石流シミュレーションにより、流域の変化や植生の有無による水供給の違いが、土石流の流出過程に及ぼす影響、災害状況との対応について検討した。

2. QGISによる流域解析

伊吹山南西部において、発災前（R4年測量）、発災後（R6年7月27日測量）、基盤地図情報（R4、R2年測量）のデータを用いてQGISのGRASSのr.watershed機能を使い流域を算出した。オリジナルの解像度は発災前・発災後のデータは1mメッシュ、基盤地図情報は5mメッシュである。比較のため、発災前・発災後のデータを5mメッシュに変換したものも用いた。流域面積の計算には、単一流向（SFD）と複数流向（MFD）の2つの方法を用いた。MFDは、隣接セルへの傾斜を比例配分の重み付け係数として使用して、標高の低い全てのセルに分配されるのに対し、SFDは1方向のみに分配される²⁾。谷や流域界の明瞭な地形では、水は1方向のみに流出するため流域の計算においてSFDを用いる方が妥当だが、谷や流域界の不明瞭な地形では、流域をまたいで流出するケースがある。伊吹山ではSFD、MFD両方で計算を行った。

勝山谷川の流域面積の解析結果を図1に示す。本研究の解析では、発災前後の地形データの差異や、MFDやSFD等のアルゴリズムの差異よりも、

解像度の方が流域面積に与える影響が大きい結果となった。

本検討で得た流域の中では、1mメッシュでの解析結果が現地調査や現在の流域に近い結果となった。滋賀県等の情報では、以前は弥高川流域（図2ドット部）だったが、勝山谷川の流域（図2塗りつぶし部）に変化した領域は図2の青丸に示す領域である。また、図2の緑丸に示す領域は本研究の解析で解像度の違いにより勝山谷川流域（図2塗りつぶし部）と大富川流域（図2斜線部）とで変化した領域である。勝山谷川流域では、最大1.23km²、最小0.87km²であり、41%の差が生じた（図2）。

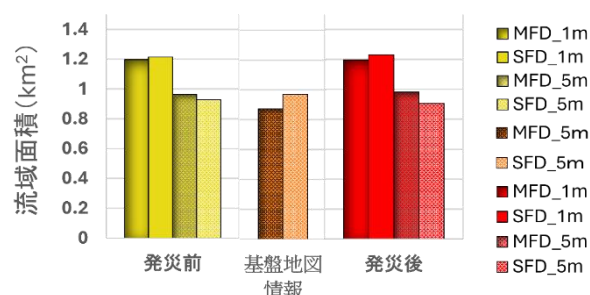


図1 勝山谷川の流域面積



図2 流域解析の結果、面積最小(上)と面積最大(下)

3. 土石流シミュレーション

令和6年に伊吹山の勝山谷川流域で発生した土石流を対象として、Hyper KANAKO システム³⁾を用いて土石流シミュレーションを実施した。

発災前 2022 年の 1m メッシュの地形データを用いた。地形解析で得られた流域面積のうち最大と最小の値を用いて、住宅地へ土砂流出した地点より下流域の面積を除去した面積を用いた。降雨量は、最初に土砂流出が発生した 7 月 1 日の発災直前のピーク雨量として 10 分間雨量 10mm を用いた。流出率は、植生の有無を考慮して 1（全流出、植生なし）と 0.7（植生あり）の 2 種類とした。供給ハイドログラフを、ピーク流量（ m^3/s ）＝10 分雨量×流域面積×流出率/600 のピーク継続時間 600 秒の台形ハイドログラフで設定した。

発災前後の標高差分図を参考に 1 次元計算領域の上端を 3 合目に、下端を勝山谷川第一堰堤の上部に設定し、川幅は一律 10m とした。差分図や試行計算から、1 次元計算領域の上端から治山ダムが位置する 950m まで 2m の移動可能土砂を設定した。移動可能土砂量の合計は 19,000 m^3 （空隙込）である。

計算パラメータを表 1 に、計算ケースを表 2 に示す。発災後の航空写真や現地調査から、土石流の代表粒径、流体相密度を設定した。

表 1 計算パラメータ

パラメータ	数値
計算時間 (s)	900
計算時間間隔(s)	0.01
代表粒径 (m)	0.2
砂礫の密度 σ (kg/m^3)	2650
流体相の密度 ρ (kg/m^3)	1180
河床の容積濃度 C^*	0.65
侵食速度係数 δ_e	0.0007
堆積速度係数 δ_d	0.05
マンニングの粗度係数 ($\text{s}/\text{m}^{1/3}$)	0.03
1 次元領域の計算点間隔 (m)	5
1 次元領域の計算点数	256
2 次元領域のメッシュサイズ(m×m)	5×5
2 次元領域のメッシュ数	150×150

表 2 計算ケース

	流域面積 (km^2)	流出率	ピーク流量 (m^3/s)
Case1	1.03	1	17.2
Case2	1.03	0.7	12
Case3	0.67	1	11.2
Case4	0.67	0.7	7.8

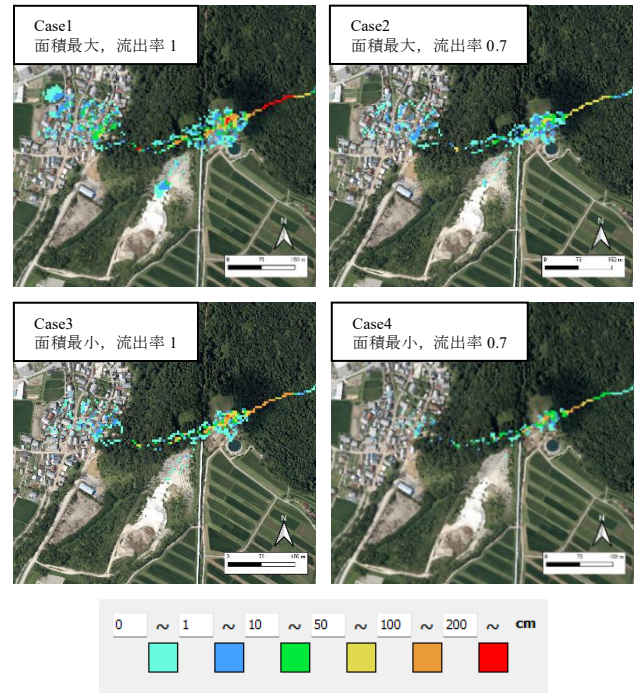


図 3 計算結果の堆積厚 (Case1~4)

計算終了時の 1 次元領域下流側から 2 次元領域の堆積厚を図 3 に示す。最大面積を用いて、降雨が全流出する裸地相当として流出率 1 を採用した Case1 が最も実災害に近い。谷出口付近の住宅地への土砂堆積が約 2m で、災害前後の差分図や土石流発生直後の谷出口の様子と比較しても、最も対応している。

一方、面積最小で植生の影響を考慮した流出率 0.7 を採用した Case4 は、土石流は流下するが堆積は谷の中に収まり、谷出口より下流にはほとんど流出しない。米原観測所における 10 分間雨量 10mm は、例年確認される規模の降雨である⁴⁾。滋賀県等からは、2024 年に土石流が頻発する前は、土砂流出が勝山谷川で発生しても谷の中で収まっていたとのことから、Case4 は 2023 年以前の状況を示したと考えられる。

謝辞 滋賀県の土木交通部流域政策局や琵琶湖環境部森林保全課からは土石流発生前後の LP データや、発災前後の伊吹山について貴重な情報を提供頂きました。また、朝日航洋株式会社から滋賀県に無償提供された航空写真や LP データについても活用させていただきました。ここに記して、感謝申し上げます。

参考文献 1) 米原市(2024):【令和 6 年 9 月 30 日午後 3 時時点】警戒レベルの解除および市の本部体制の変更について、2) GRASS GIS(2024):r.watershed - GRASS GIS manual, 3) 堀内ら(2012): 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, 4) 気象庁(2024):過去の気象データ