

山地流域における河川支流からの土砂流出現象に関わる因子の検討

九州大学工学部 学生会員 ○吉田 眞子
九州大学大学院 正会員 池見 洋明

九州大学大学院 正会員 三谷 泰浩
九州大学大学院 学生会員 中西 隆之介

1. はじめに

我が国は多雨地帯、急峻な地形という特徴から河川を通じて大量に発生する土砂による問題を抱えてきた。例えば、ダム貯水池内に過剰に流入した土砂は貯水能力、洪水調節機能を低下させ、同時にダム下流域において河床低下による橋脚の不安定化、砂浜や干潟の減少の原因となっている。また、本研究で対象とする流域(図1)では過去に多数の斜面崩壊が発生したことで、大量の土砂が河川内に流入し、大規模な浸水被害が発生した。このような土砂問題を解決するためには流域内の土砂動態を把握することが重要である。しかし、観測されているのはダムからの放流量や貯水池内の堆砂量だけであり、河川支流からの土砂流出量や土砂生産に関係する因子は把握できていない。

本研究では GIS を用いて、対象流域の様々な特徴を地理空間情報として分析し、統計的手法を用いて河川支流からの土砂流出に関する因子の抽出を行う。

2. 数値標高モデル(DEM)の作成

流域の地形解析や集水区域を決定する水理解析を行うために、H23年の航空レーザー測量で計測されたX, Y, Zの座標値をもつ点群データから数値標高モデル(DEM)を作成する。

レーザー測量の計測値は森林が広く分布する流域を約1~2mの間隔で計測したデータであるため、樹高を示す点が多く含まれている。そこで、流域を任意の格子間隔に区切り、格子内の計測値から最低値を地表として抽出し、ラスタデータへ変換する。格子間隔は初期値10mから徐々に大きくし、エラー値や全体的な地形の勾配を考慮し、最終的に格子間隔30mのDEMを作成した。

3. 土砂流出に関わる因子の整理

土砂流出現象は、流域の規模・形状、地形、地質、地被条件、水文・気象条件、河道の水理特性、人為的諸作用に支配される¹⁾。土砂流出に関わる因子は素因と誘因に区分され、誘因は「水文・気象条件」であり、素因は「水文・気象条件」を除く全ての因子である。

考えられる素因を表1に、誘因を表2に示す。素因のうち流域の規模・形状、地形、河道の水理特性を地形特

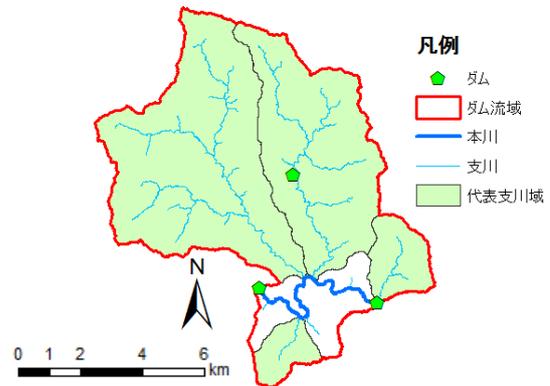


図1 対象流域図

表1 土砂流出に関わる素因

素因	定義	データソース	
誘導地形量	円形度	$4 \times \pi \times \text{流域面積} / (\text{流域縁辺長})^2$	DEM (数値標高モデル)
	伸長率	$\frac{2 \sqrt{\text{流域面積} / \pi}}{\text{流域末端からの最遠点距離}}$	
	起伏比	$\frac{\text{最大標高差}}{\text{流域末端からの最高標高点までの距離}}$	
	粗度数	最大標高差 × 河川密度	
	曲率	サーフェスの2次導関数の標準偏差	
	傾斜角	サーフェスの1次導関数の平均値	
	単位流れ盤	単位面積当たりの流れ盤の面積	
	単位受け盤	単位面積当たりの受け盤の面積	
	水流密度	全ての水流長さ/流域面積	
1次水流密度	1次水流長さ/流域面積		
地被条件	土地利用	荒地、建物及び人口造成地、森林、田及び農用地の4つに区分	土地利用細分メッシュデータ 2009(国土交通省) 衛星データと航空写真
	裸地	植生がなく斜面崩壊の危険性がある箇所	
地質	地質	四万十累層群北帯にて砂岩と泥岩に区分	宮崎県地質図第5版

表2 土砂流出に関わる誘因

誘因	分析項目 (1000m ²)	データソース
降水量	最大時間降水量(48,24,12,6時間)、総降水量	H21~H23年の雨量観測所のデータ
流量	総流入量、有効流量(40,20,10,5m ³ /sに相当する流量)	

性として、鈴木²⁾、田代ら³⁾が示す誘導地形量を定量化する。地質、地被条件に関しては、項目ごとに各支川流域を占める面積で整理する。誘因は水文・気象条件として降水量と流量の2つを因子とする。降水量はH21~H23年の実績雨量データにより支川ごとの降水量を算出し、流量は実績雨量データと前節で作成したDEMに基づき、TOPMODEL⁴⁾を用いて支川ごとに算出する。

4. 土砂流出因子の選定

土砂流出因子を選定するために、前節で述べた素因を用いて主成分分析を行う。図2より変数間の主成分負荷量を表す矢印の向きから因子同士の相関性を把握する。

その結果、地質に関しては四万十累層群北帯砂岩(Geology1)が流域面積に関する粗度数、1次水流密度、

水流密度と、四万十累層群北帯泥岩 (Geology2)が建物及び人口造成地、起伏比と高い相関性があった。地被条件に関しては森林が受け盤と、裸地や田及び農用地が流れ盤と高い相関性があった。誘導地形量に関しては円形度と曲率が高い相関性を示した。

この分析結果から、流れ盤では構造的に斜面崩壊が起きやすく、受け盤より斜面の安定勾配が低下するため、裸地が多く生じ、田及び農用地が分布する傾向を示したと考えられる。

これらの結果より、伸長率、円形度、四万十累層群北帯砂岩、四万十累層群北帯泥岩、荒地、裸地、傾斜角、森林によって土砂流出現象を評価できると考えられる。

5. 土砂流出の影響因子の抽出

土砂流出現象に関わる因子を明らかにするために、対象流域の代表4支川(図1)で重回帰分析を行う。目的変数はH21~H23年における各支川の土砂流出量であり、これはTOPMODELで構築した流量予測モデルとダム貯水池で観測した堆砂量を用いて河床変動計算⁵⁾にて算出する。前節で選定した素因、誘因から土砂量と相関性の高い因子を抽出すると、裸地、円形度、荒地、伸長率、四万十累層群北帯泥岩、森林そして総降水量の7項目が相関係数0.7以上を示した。これら7項目に関して多重共線性を考慮し、重回帰分析を行った結果、

$$[\text{土砂量}] = -0.2545 [\text{総降水量}] + 278600 [\text{裸地}] + 89430 [\text{傾斜角}] - 2763000 [\text{m}^3] \quad (1)$$

となり、決定係数は0.6057となった。つまり、土砂量に対して「総降水量」、「傾斜角」、「裸地」が最も相関性が高いといえる。式(1)の「傾斜角」と「裸地」は毎年変化するような因子ではないため、第2項と第3項の和を用いて土砂流出量のポテンシャルを評価する。

主成分分析と重回帰分析を行った流域は図3の流域Dである。式(1)を用いて、全流域の各支川の「傾斜角」と「裸地」による土砂流出量のポテンシャルを評価した結果を図3に示す。流域A, B, Cは各ダム貯水池の実績堆砂量が他流域よりも非常に多いことが知られており⁶⁾、図からもそれらのダム流域では土砂流出量の多い支川が多数確認される。さらに本川の左岸側に土砂流出量の多い支川が集中することが明らかになった。

6. おわりに

本研究では、航空レーザー測量から作成したDEM等に基づき、GISにて対象流域の各地理空間情報を整理し

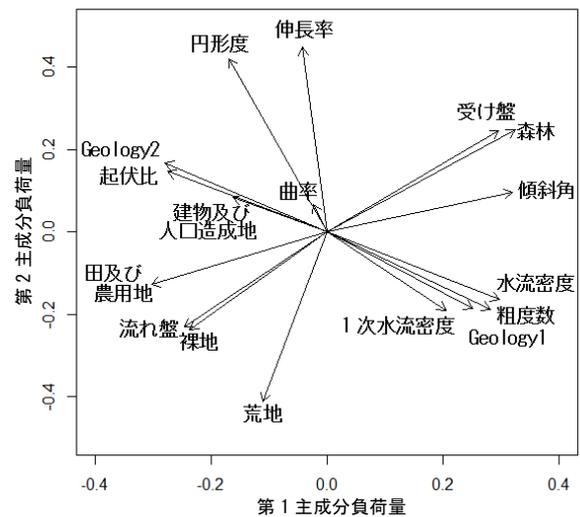


図2 主成分負荷量

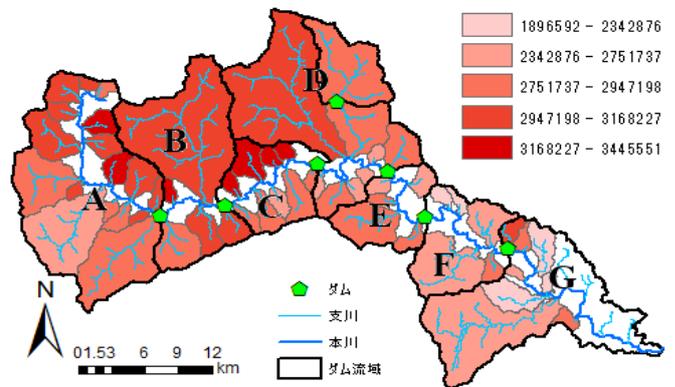


図3 傾斜角と裸地による土砂流出量のポテンシャルマップ

た。それらの因子を主成分分析した結果、土地利用、地質、地形の相関性より対象流域の特徴を把握した。そして、整理した素因、誘因により重回帰分析を行い土砂流出に影響する因子を抽出した結果、土砂流出量に関して「裸地」、「傾斜角」、「総降水量」の相関性が高く、対象流域においては山地の険しさ、土砂生産源となる裸地の分布が土砂流出量の指標になることが明らかになった。また、流域内の年間降水量が年ごとの土砂量の変化に大きく関わると推察できる。

参考文献

- 1) 吉良八郎：ダム計画と堆砂（その2）、農業土木学会誌、Vol.50, No.12, pp.1051-1055, 1982.
- 2) 鈴木隆介、建設技術者のための地形図読図入門、第3巻段丘・丘陵・山地、古今書院、pp.722-723, 2000.
- 3) 田代喬、佐藤圭輔、中村直斗、登立公平、辻本哲郎、流域の地質構造・地形特性に着目した河川景観の階層性の分析、河川技術論文集、Vol.13, pp.279-284, 2007.
- 4) Beven, K., R.Lamb, P.Quinn, R.Romanowicz and J.Freer, "Topmodel", Chapter18 in Computer Models of Watershed Hydrology, Edited by V.P.Singh, water resources publications, Highlands Ranch, Colorado, pp.627-668, 1995.
- 5) 独立行政法人土木研究所、水工研究グループ水理チーム、http://www.pwri.go.jp/team/dam_hydraulic/seika.htm.
- 6) 加来睦宏、市丸義次、江藤公彦、耳川水系の災害と整備計画、並びに上椎葉発電所水車・発電機更新工事などの計画、設計、施工について、平成23年度中小水力発電技術に関する実務研修会第1回テキスト、pp.21-84, 2011.