

森林の状態が土砂流出に与える影響について

徳島大学大学院 学生会員 ○福田郁子 徳島大学大学院 正会員 武藤裕則
徳島大学大学院 正会員 田村隆雄 徳島大学大学院 学生会員 小井宣秀

1. 研究の背景と目的：荒廃した森林を流域内に持つ河川では、土砂生産量や河川への流入土砂量の増加が見られ、降水多量時には崩壊の危険性が高まることが指摘されている．そのため、山地流域からの土砂流出を予測することは、河道の維持、管理を行う上で重要な要素のひとつとされている．これまで、土砂流出予測モデルとして、高橋ら¹⁾の SERMOW や欧州で用いられている SHETRAN²⁾ など多くのものが開発されてきた．これらは、様々な事象を表現できる一方で、設定する条件やパラメータが多く、非常に複雑なモデルとなっている．そこで本研究では 流出土砂量を予測する簡易なモデルを作成し、その精度を検証するとともに、流域内の森林の状態や地形が土砂流出にどのように寄与しているのかを考察する．

2. 対象流域および解析手法：対象流域は、和歌山県の二級河川富田川流域内の西谷川流域（流域面積 5.25 km²、流路延長 2.0km）及び熊野川谷川流域（流域面積 1.03 km²、流路延長 0.72km）である（図 1）．両流域では、2014 年ならびに 2016 年から継続して現地観測を行なっている．計測項目は、流域内降水量、流域下流端における水位及び流砂量である．一方、予測にあたっては、流域の斜面部に地表面流分離直列 2 段タンクモデル、河道部に修正 Muskingum-Cunge 法、水位観測点での H-Q 曲線の推定に水位-流量変換モデルを用いて流出解析を行い、推定される水位から流域下流端での掃流砂量を算出した．用いた掃流砂量式は芦田・道上の式（式（1））及び Meyer Peter Muller の式（式（2））である．

$$q_B = 17\tau_{*c}^{\frac{3}{2}} \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*}\right) \left(1 - \frac{u_{*c}}{u_*}\right)^{\frac{2}{3}} \sqrt{sgd^3} \quad (1)$$

$$q_B = 8(\tau_{*c} - 0.047)^{\frac{2}{3}} \sqrt{sgd^3} \quad (2)$$

3. 現地観測及び解析結果：図 2 に現地観測の結果から得られた降雨イベントごとの総降水量と単位流域面積あたりの流出土砂量の関係を示す．これより、西谷川流域では総降水量が増加すると流出土砂量も増加するが、熊野川谷川流域では、多少のばらつきはあるもの、総降水量が変化しても、流出土砂量はあまり変化しないという傾向がわかる．また、同量の降水量に対して、熊野川谷川流域は西谷川流域の約 3～6 倍の土砂が流出することがわかった．次に、降雨イベント①（2016 年 6 月 19 日～7 月 22 日、総降水量 692.5mm）における、両流域でのモデルによる推定土砂量と、観測土砂量の結果を表 1 に示す．観測結果に対して推定土砂量は非常に大きな値となったが、単位面積当たりの土砂量の流域間比は観測結果



図 1 対象流域

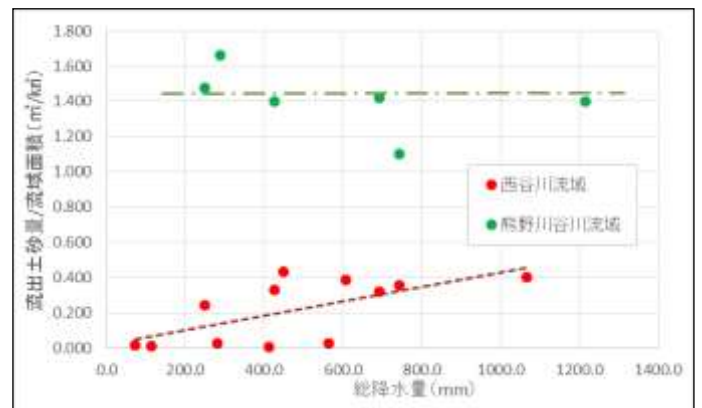


図 2 総降水量と単位面積当たりの流出土砂量

表 1 降雨イベント①の解析及び観測結果

	総量 (m³)		単位面積当たり (m³/km²)	
	西谷川	熊野川谷川	西谷川	熊野川谷川
式 (1)	47,400	26,000	9,000	25,500
式 (2)	6,400	3,500	1,200	3,400
観測	1.68	1.45	0.32	1.42

の傾向と同様であることがわかった．ここで、推定土砂量が過大となるのは、モデル内でのエネルギー勾配

I_e の与え方に問題があると考え、降雨イベント②(2015 年 11 月 14 日～17 日、総降水量 99.0mm) について、エネルギー勾配を変化させたときの推定土砂量の応答を検討した(表 2)。このイベントの観測土砂量は 0.134 m³であり、エネルギー勾配を河道勾配の約 1/3～1/7 とすると観測値に近づくことがわかった。他イベント及び熊野川谷川流域についてもこの比率を基に計算を行なったが、本イベントほども観測値に近づけることはできなかったため、イベントごとにエネルギー勾配を変化させる必要があると考えられる。当初は、観測地点は落差工上流であることからほぼ等流水深と仮定し、エネルギー勾配として河道勾配を用いた検討を行なったが、降雨イベント期間内で取り得る最大水深が 40cm ほどであるにも関わらず、河床は最大で 20cm もの高低差があることから、実際は等流であるという判断をし難い状況であると考えた。

4. 森林情報をふまえた流出土砂量の検討：森林の状況を評価する指標として、「(林齢) - (標準伐期齢)」を考えた。森林資源情報と森林計画図を用いて小班ごとの評価指標を算出し、10 年ごとに区切った評価指標とそれぞれの樹種を用いて、マトリックスを作成した。評価指標とその流域内の分布の様子を図 3 及び図 4 に示す。表内の数値は、流域の森林面積に対する該当する評価指標の小班の面積の割合を表している。両流域において評価指標が+11～+20 の小班の面積が最も大きく、標準伐期齢を 20 年近く過ぎた樹木が多いことがわかる。図 5 に、評価指標ごとの面積割合と、各流域で主要な評価指標を持つエリアで採取した土壌の代表粒径 D₆₀ を示す。図より、熊野川谷川流域の方が細かい粒径を持つエリアの面積が大きいことがわかり、そのため熊野川谷川流域では土砂が流出しやすいものと考えられる。また熊野川谷川流域は、西谷川流域と比較して斜面勾配が大きく、流域内に崩壊地を持つことから、土砂が流出しやすい状態にあると考えられる。

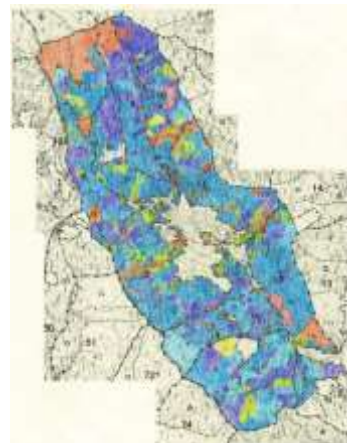
5.まとめ：本研究では、観測結果及び解析結果を用いて、西谷川流域と熊野川谷川流域における土砂流出の傾向について考えた。また、この傾向について 2 流域での森林や地形の状況の違いを基に検討したところ、熊野川流域の方が土砂が流出しやすい状況であるということがわかった。土砂流出予測モデルについては、観測結果と同様の傾向を示す流砂量を算出できたが、エネルギー勾配の与え方などの点に、さらに改良の余地があると考えられる。

6.参考文献：1) 高橋保, 井上素行, 中川一, 里深好文：山岳流域における土砂流出の予測, 水工学論文集, 第 44 巻, pp.717-722, 2000.2

2)Bathurst,J.C. : Physically-based erosion and sediment yield modeling: the SHETRAN concept, Modeling erosion, sediment transport and sediment yield, IHP-VI Technical Document in Hydrology, No.60, pp.47-67, 2002

表 2 降雨イベント②での I_e と Q_s の関係(西谷川)

芦田・道上の式		MPM 式	
I _e	Q _s (m ³)	I _e	Q _s (m ³)
1/50	5,244.55	1/50	625.56
1/100	806.83	1/100	61.75
1/300	3.70	1/160	2.09
1/350	0.27	1/170	0.61



(林齢) - (標準伐期齢)	西谷川		
	広葉樹	スギ	ヒノキ
-40～-31			
-30～-21			
-20～-11		0.50%	3.86%
-10～-1	0.97%	0.42%	7.17%
0			1.10%
+1～+10	0.01%	0.48%	21.15%
+11～+20	0.04%	2.58%	23.22%
+21～+30	0.04%	3.25%	18.48%
+31～+40	7.30%	0.35%	3.74%
+41～+50	3.68%	0.29%	0.64%
+51～+60		0.09%	

図 3 西谷川流域の評価指標の分布



(林齢) - (標準伐期齢)	熊野川谷川		
	広葉樹	スギ	ヒノキ
-40～-31			
-30～-21			
-20～-11			
-10～-1			2.23%
0			
+1～+10	20.67%		4.13%
+11～+20	32.83%	0.26%	3.42%
+21～+30	0.26%	19.48%	2.74%
+31～+40	0.70%	0.84%	
+41～+50	11.98%		
+51～+60			

図 4 熊野川谷川流域の評価指標の分布

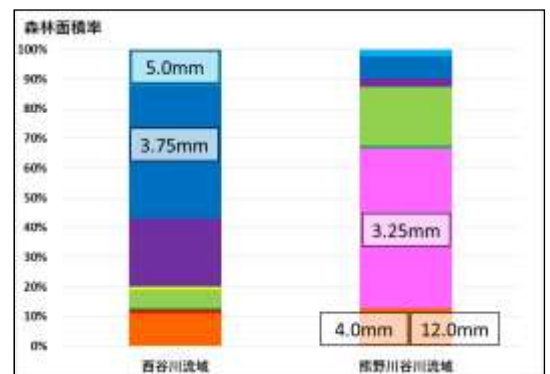


図 5 各流域の主な指標の代表粒径