

## 2025年山林火災後の流出土砂量予測に向けた海外手法の適用

-平成6年8月広島県竹原市で発生した火災事例を対象として-

愛媛大学 ○齋藤慎之佑, 近本捺姫\*<sup>1</sup>, 木村諱, 廣田清治\*<sup>1</sup>現 林野庁四国森林管理局愛媛森林管理署

## 1. 背景と目的

山林火災は、植生および土壌環境に大きな変化をもたらし、山地流域における土砂流出の活発化を招く要因となる。これまでも火災後の土砂流出事例は数多く報告されているが、特に北米西海岸地域などの山林火災多発地域では、火災後の降雨に伴う土石流などの大規模な土砂流出の被害が深刻な問題となっている。そのため北米では、過去に記録された堆砂量データをもとに火災後の流出土砂量の経験的予測手法の開発が古くから行われており、近年では、そうした予測手法が火災後のハザード評価や防災対策に活用されている（例えばUSGS, 2025）。他方で、日本においてこれまで開発されてきた流出土砂量の予測手法は降雨条件に基づくものが主であり、火災の影響を考慮した手法はいまだ確立されていない（内田, 2019）。そこで本研究では、日本国内で火災後の土砂流出が確認された事例を対象に、海外で提案された既存の経験的予測手法を用いて流出土砂量を予測し、実測値との差を明らかにして、その要因を考察することを目的とした。

## 2. 研究方法

本研究では、日本国内の山林火災事例について文献に記載のある砂防堰堤への堆砂記録をもとに火災後の流出土砂量の実測値を求める。既存の手法を用いた流出土砂量の予測においては、入力条件（説明変数）となる降雨量や各流域の地形量、山林火災による消失面積などの情報を文献等の記載やGISを用いた地理空間情報の解析を通じて取得し、計算を行う。こうして得られた実測値と予測値を比較することで、既存手法を用いた予測の妥当性や実測値との乖離の要因を詳しく分析する。

## 2.1 対象とする山林火災事例

日本国内の火災事例は1994年8月11日に広島県竹原市で発生した山林火災を対象とする。火災による焼失面積は378 haに及び（広島県竹原市土木事務所, 1995）、流域の植生および表層環境に顕著な変化をもたらした。石井ら(2000)は、内浜川および大乗川流域において火災後の土砂流出特性を把握するため、4年間にわたる観測を実施している。この観測では、流域内の5基の砂防堰堤の堆砂測量に基づき、年間堆砂量が整理されている。なお、同研究では、堆砂量を流域面積および経過年数で除した比堆砂変動量 ( $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ ) として整理している。そのため、本解析では比堆砂量 ( $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ ) を流出土砂量 ( $\text{m}^3$ ) に換算する。

## 2.2 既存の経験的予測手法

山林火災後の流出土砂量の予測にはGertner et al. (2014)が提案した経験的予測モデルを用いた。同研究では、土砂流出に影響を及ぼす複数の因子を説明変数とした重回帰分析により、2種類の土砂流出予測手法が構築されている。その1つである長期モデルは、土石流 (debris flow) や土砂・洪水氾濫 (sediment-laden flood) により流域出口の遊砂地 (debris-retention basin) への堆砂量データ 344 件をもとに構築されたものであり、火災後の降雨イベント時における山地流域からの流出土砂量を推定することが可能である。

本研究では、次式に示す長期モデルを用いて流出土砂量の予測値を算出する。

$$\ln V = 6.07 + 0.71 \times \ln i_{60} + 0.22 \times \ln Bt - 0.24 \times \ln T + 0.49 \times \ln A + 0.03 \times \sqrt{R} \quad (1)$$

ここで、 $V$ は流出土砂量 ( $\text{m}^3$ )、 $i_{60}$ は各期間における最大時間雨量 ( $\text{mm/h}$ )、 $Bt$ は流域内における焼失面積 ( $\text{km}^2$ )、 $T$ は火災からの経過年数 (年)、 $A$ は流域面積 ( $\text{km}^2$ )、 $R$ は起伏量 (m) である。 $\ln$  が付された項については、元の値を自然対数に変換している。

## 2.3 実測値と予測値の算出方法

実測値の算出には前述した比堆砂変動量 ( $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ ) を、各ダム上流域の流域面積および火災後の経過年数で除することにより、単位期間あたりの流出土砂量 ( $\text{m}^3$ ) に換算した。算出は、上流域の焼失が確認された堰堤 No. 1~No. 3 で比堆砂量が正の値を示す経過年のみを対象とした。各堰堤での核燃の比堆砂変動量をみると、No. 1 堰堤では1~4年目に235, 87, 35, 62, No. 2 堰堤では1~3年目に7750, 2008, 91, No. 3 堰堤では1~3年目に3697, 107 である。

予測値の算出は既存の経験的予測手法の説明変数に対応するデータを広島県竹原市の火災事例から取得し、適用した。各

説明変数の数値は表-1 に示す。時間雨量 (mm/h) は石井ら(2000) の報告を参照した。流域の焼失面積 (km<sup>2</sup>) は、各砂防ダムが位置する上流域の焼失率と流域面積に基づき算出した。経過年数 (年) および流域面積 (km<sup>2</sup>) についても同報告に基づき整理した。さらに起伏量 (m) は、国土地理院が提供する 5 m メッシュの数値標高モデルを用いて、対象流域内における最高標高と最低標高の差として算出した。

表-1 流出土砂量予測に必要な説明変数

堰堤	最大時間雨量 ( $i_{60}$ , mm/h)				焼失面積 ( $Bt$ , km <sup>2</sup> )	流域面積 ( $A$ , km <sup>2</sup> )	起伏量 ( $R$ , m)
	1年目	2年目	3年目	4年目			
No. 1					0.10	0.52	225.90
No. 2	41	29	30	18	0.13	0.18	159.60
No. 3					0.02	0.02	93.40

### 3. 結果

流出土砂量の実測値と予測値および予測値に対する実測値の比を表-2 に示す。実測値に着目すると堰堤ごとに異なる変動を示していることがわかる。No. 1 堰堤では、1年目 (122 m<sup>3</sup>) から3年目 (55 m<sup>3</sup>) にかけて流出土砂量は減少傾向を示すが、4年目には 129 m<sup>3</sup> と再び増加に転じている。No. 2 堰堤では、1年目 (1395 m<sup>3</sup>) から3年目 (49 m<sup>3</sup>) にかけて顕著な減少が見られ、時間の経過とともに流出土砂量が急激に低減している。No. 3 堰堤についても同様の傾向がみられ、経過年数の増加に伴う流出土砂量の低減傾向が確認される。

予測値に着目すると、各堰堤において共通して経過年数の増加に伴う減少傾向が確認される。No. 1 堰堤では、1年目 (4188 m<sup>3</sup>) から2年目 (2779 m<sup>3</sup>) にかけて大きく減少し、3年目および4年目はともに 2566 m<sup>3</sup> とほぼ一定の値を示している。このことから、初期に急激な減少が生じた後、予測値は一定水準に収束する傾向が認められる。No. 2 堰堤においても同様に、1年目 (2416 m<sup>3</sup>) から2年目 (1604 m<sup>3</sup>)、3年目 (1480 m<sup>3</sup>) へと段階的に減少しており、時間経過に伴う単調減少傾向が明瞭である。No. 3 堰堤では、1年目 (493 m<sup>3</sup>) から3年目 (308 m<sup>3</sup>) へと減少しており、他の堰堤と同様に経過年数の増加に伴う低減傾向が確認される。予測値と実測値の比較では、全体として予測値が実測値を大きく上回る。予測値に対する実測値の比は、多くのケースで 0.1 未満となっており、本モデルは実測値に対して過大評価する傾向を示している。No. 1 堰堤では、1年目および2年目で 0.03 と極めて低く、予測値が実測値の 30 倍以上となっている。その後、3年目 (0.21)、4年目 (0.50) と増加しており、経過年数とともに予測精度が相対的に改善する傾向が見られる。No. 2 堰堤では、1年目 (0.57)、2年目 (0.45) と比較的高い値を示すが、3年目には 0.03 まで急激に低下しており、時間の経過に伴って予測誤差の増大が確認された。No. 3 堰堤では、全期間を通じて比が 0.16 および 0.019 と低く、一貫して過大評価をしている。

本モデルは本研究対象地域において流出土砂量を過大評価することが明らかとなった。また、予測精度の時間的変化は堰堤ごとに異なり、経過年数の増加に伴って精度が改善する場合と、乖離が拡大する場合が確認された。したがって、本モデルの適用性は一様ではなく、流域条件や時間スケールに依存する可能性が高いと考えられる。

表-2 流出土砂量の実測値と予測値

堰堤	経過年	実測値 (m <sup>3</sup> )	予測値 (m <sup>3</sup> )	比 (実測/予測)
No. 1	1年目	122	4188	0.03
	2年目	90	2779	0.03
	3年目	55	2566	0.20
	4年目	129	2566	0.50
No. 2	1年目	1395	2416	0.60
	2年目	723	1604	0.50
	3年目	49	1480	0.03
No. 3	1年目	79	493	0.16
	3年目	6	308	0.02

【引用文献】 Gertner, J.E., Cannon, S.H., Santi, P.M. (2014): Empirical models for predicting volumes of sediment deposited by debris flows and sediment-laden floods in the transverse of southern California. *Engineering Geology*, 176, 45-56. 石井靖雄・小山内信智・岩波英行(2000): 山林火災により植生が変化した流域における土砂流出の実態, 砂防学会誌 53(1), p. 56-58; 内田太郎・對馬美沙・堀田紀文・倉本和正・藤村直樹・手塚咲子・近藤玲二・山越隆雄・渡邊尚・熊澤至朗・今森直紀 (2019): アメリカ西海岸における土砂・洪水氾濫対策, 2019年度砂防学会研究発表会概要集, p. 35-36