

## 同一地域における山地上流域からの流出土砂量のばらつきに関する確率モデルを用いた評価

筑波大学 ○對馬美紗 内田太郎

## 1. 背景

近年の気候変動に伴う豪雨の増加により、山地上流域から大量の土砂が流出、平野部へ流下・氾濫する、土砂・洪水氾濫のような現象が頻繁に発生している。土砂・洪水氾濫対策を進めていくにあたり、山地上流域からの流出土砂量を推定する技術開発が求められている。

これまでの山地上流域からの流出土砂量の実態把握に関する研究は、1 流域からの長期間の流出土砂量を対象にした研究と、複数流域からの 1 イベントの流出土砂量を対象にした研究に分けられる。1 流域からの長期間の土砂流出を対象とした研究では、確率モデルを用いた再現<sup>1)</sup>や流出土砂量の大小と相関のある指標の整理<sup>2)</sup>などが行われてきている。一方で、1 流域からの長期間の流出土砂量を対象にした研究と、複数流域からの 1 イベントの流出土砂量を対象にした研究の両研究を通して、流出土砂量のばらつきを定量的に把握し、そのばらつきを生む要因について検討された例は多くない。

本報告では、同一地域における山地上流域からの流出土砂量のばらつきについて、累積頻度分布を用いて整理し、時空間的な視点から検討を行った。

## 2. 方法

## 2.1. 空間的なばらつきに関するデータの整理

空間的なばらつきを整理するため、1 イベント時の複数流域からの流出土砂量を整理した。本研究では、2017 年九州北部豪雨時の福岡県赤谷川流域の 1 次谷流域からの流出土砂量を対象とした。

初めに、1 次谷流域に分割した。分割にあたっては、集水面積と勾配の関係から、集水面積が  $10^4 \text{ m}^2$  以上の地点を 1 次谷の開始点と定義し流域区分を行った。次に、2 時期の LP データを用いた差分解析結果から、土砂移動範囲ポリゴンを作成し、ポリゴン内の移動土砂量を整理した。1 次谷ごとに侵食土砂量・堆積土砂量を算出したのち、それらの差し引きである流出土砂量を整理した。

さらに、流出土砂量を小さい順に並べ、累積頻度グラフを作成した。

## 2.2. 時間的なばらつきに関するデータの整理

時間的なばらつきを整理するため、1 流域から

の長期的な土砂移動イベントが対象となっている既往研究を収集し、流出土砂量の累積頻度について整理を行った。

## 3. 結果と考察

## 3.1. 複数流域からの 1 イベントの流出土砂量のばらつき

赤谷川流域を 1 次谷流域で流域分割した結果、259 流域となった。流域面積は  $0.003 \sim 0.1 \text{ km}^2$  であり平均流域面積は  $0.03 \text{ km}^2$  である。各流域の標高差は最小値が 36 m 最大値は 230 m、平均値は 108 m となっている。また、流域ごとに算出した流出土砂量は、 $-1.6 \times 10^3 \sim 3.1 \times 10^4 \text{ m}^3$  となっており、平均値は  $3.3 \times 10^3 \text{ m}^3$  であった。

對馬・内田 (2023) は、1 次谷流域からの流出土砂量のばらつきと 7 降雨指標・13 地形指標との相関関係を整理した。その結果、降雨もしくは地形条件がより近い流域間の流出土砂量であっても、ばらつきの程度を極端に小さくできる指標はみられず、地形量や降雨規模では流出土砂量の違いを表現することはできなかった。

## 3.2. 1 流域からの長期間の土砂流出のばらつき

## 1) de Haas and Densmore (2019) の例

de Haas and Densmore (2019) は、カリフォルニア州の 10 流域からの流出土砂を対象としている。対象流域の流域面積は、 $0.1 \sim 2.8 \text{ km}^2$ 、各流域の標高差は  $400 \sim 1200 \text{ m}$  である。各流域からの 1 イベントの流出土砂量は、谷出口に形成される土石流ローブの体積から推定している。流出土砂量のサンプル数 (n) は、 $84 \sim 851$  であり、推定された流出土砂量 (中央値) の最小値  $140 \pm 55 \text{ m}^3$ 、最大値は  $830 \pm 330 \text{ m}^3$  となっている。

推定された流出土砂量は、値の小さい順に並べられ累積頻度グラフを用いて整理されている。1 流域からの流出土砂であるにも関わらず、流出土砂量は 3~4 オーダーの分布幅でばらついている。de Haas and Densmore (2019) は、このばらつきは、溪床内に堆積する土砂と谷出口まで土砂を運搬する力に依存すると述べている。

## 2) Hong et al.(2015) の例

Hong et al.(2015) は、中国の Jiangjia 流域の、おおよそ 40 年間の 139 イベントの流出土砂量を対象としている。Jiangjia 流域の流域面積は  $48.6$

km<sup>2</sup>であり、流域の谷出口周辺には恒久的な土石流観測所が設置されている。この観測所では、溪床幅、土石流の厚さ、イベント毎の土砂密度、継続時間、および速度が観測されている。139 イベントで観測された土砂量は、 $1.7 \times 10^2 \sim 1.26 \times 10^6$  m<sup>3</sup>であった。

Hong et al.(2015) は、このばらつきを生む原因について検討を行ってはいないものの、降雨の影響を検討していく必要があると述べている。

### 3.3. 既往研究との比較

赤谷川 1 次谷流域からの流出土砂量（空間的なばらつき）と、既往研究にて整理された流出土砂量（時間的なばらつき）の累積頻度分布を比較した（図 1）。

累積頻度分布の形状は、流域の大きさや時間変動と空間変動の違いによらず、累積頻度が 1 に近づくにつれて、頻度が増加する程度が小さくなる S 字の形状を示しており、共通して対数正規分布に似た傾向が見て取れる。また、1 流域からの土砂流出であっても長期間でみた場合には、de Haas and Densmore (2019)では 3~4 オーダー、Hong et al. (2015)では 4 オーダーのばらつきが見られる。これらの研究では、流出土砂量がばらつく要因として、降雨規模の違いにおける運搬可能土砂量の違いによる可能性を示唆している。一方で、降雨規模に影響している場合、分布形状が対数正規分布を示すとは考えにくく、流出土砂量が対数正規分布に似た形状を示すことは、降雨規模のばらつきに起因する運搬可能土砂量違いのみでは、流出土砂量の時間変動を十分に説明できないと考えられる。この結果は、赤谷川の流出土砂量の空間分布が、運搬可能土砂量を規定すると考えられる要因（流域面積、河床勾配、降雨規模）で十分に説明できなかったことと一致する。つまり、流出土砂量のばらつきは、運搬可能土砂ではなく、移動可能土砂による影響を大きく受けている可能性が考えられる。

言い換えれば、對馬・内田（2023）における検討について、1 次谷流域からの流出土砂量と降雨または地形指標との間に明瞭な相関が表れなかった要因の一つとして、流域内に堆積する移動可能土砂量を表すような地形指標を用いることができなかったことが考えられる。

## 4. まとめ

本研究では、同一流域における山地上流域からの流出土砂量のばらつきについて、1 イベント複数流域からの流出土砂量を 1 流域の長期間の流出土砂量を対象に、累積頻度分布を用いて比較・整理を行った。

その結果、次の可能性が考えられた。

- ◆ 1 流域からの長期間の流出土砂量の累積頻度分布の形状から、山地流域からの流出土砂量は、運搬可能土砂よりも移動可能土砂量による影響をより強く受けている可能性が考えられる。
- ◆ 山地上流域からの流出土砂量がばらつきを生む要因として、①同一流域であっても、流域内の移動可能土砂量の大小は時間的にランダムに分布していること、また、②移動可能土砂量の大小が時間的にランダムである流域が空間的にもランダムに分布している可能性が考えられる。

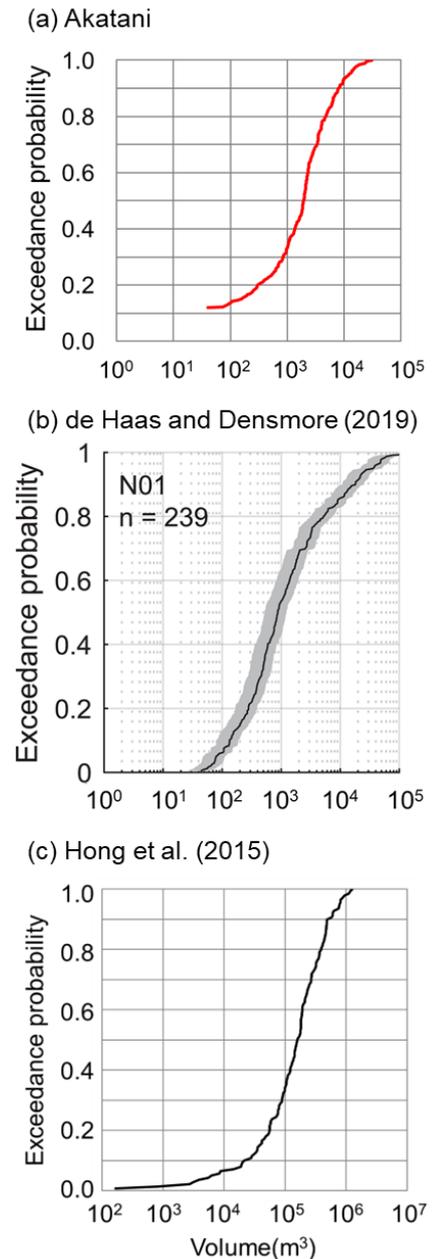


図 2 本研究および既往研究における流出土砂量のばらつき

#### 【参考文献】

- 1) Y. Hong et al. (2015), Engineering Geology, 187,122-134
- 2) de Haas and Densmore (2019), The Geological Society of America ,47,8,791-794
- 3) 對馬・内田(2023) ,砂防学会発表会北海道大会 ,P-122