

# 航空レーザ測量データを活用した豪雨時の山地上流域からの流出土砂量の空間的ばらつきに関する分析

對馬美紗・内田太郎

## 1. はじめに

近年の豪雨時の土砂・洪水氾濫被害に伴い、国総研では「河床変動計算を用いた土砂・洪水氾濫対策に関する砂防施設配置検討の手引き（案）<sup>1)</sup>」（以下「手引き（案）」という。）を作成し、豪雨時の山地流域における土砂の流送・堆積過程について、河床変動計算等を用いた施設配置計画の評価・作成に関する手法を取りまとめた。

過去の災害事例を対象に、再現計算による入力条件や解析手法について十分に検証を行った場合でも、将来生じうる現象に対する評価結果には多くの不確実性が含まれる可能性がある。特に、河床変動計算の入力条件の一つである流出（生産）土砂量は、地形・地質が一見同じに見える流域であっても、流域間で異なる可能性が考えられる。そこで、河床変動計算に入力する際に、小流域からの流出土砂量の空間的ばらつきを考慮するなど、予測結果の不確実性の評価を実施することは重要な課題であると考えられる。

これまででも、山地上流域からの流出土砂量の予測において、経験的な手法<sup>2),3),4)</sup>や数値モデルを用いた研究・解析<sup>5),6)</sup>が行われてきたが、実際の土砂移動現象は複雑であり、既往手法による予測精度は必ずしも高くはない。確率的な評価を取り入れ予測精度の向上を目指した研究<sup>7)</sup>もあるが、いずれにおいても多くの技術は現在も研究途上であると考えられる。

また、近年航空レーザ測量データが蓄積され、従来に比べ格段に高精度なデータの取得が可能となった。そこで本研究では、今後の土砂・洪水氾濫対策の検討に用いる河床変動計算の入力条件に関する基礎情報を得るため、航空レーザ測量データを用い、同一条件下（地域・地質・降雨）における、山地上流域からの流出土砂量の空間的ばらつきの実態の評価を行った。

## 2. 対象とする災害

本研究では、比較的近年の豪雨により土砂災害が集中して発生、かつ災害前後の航空レーザ測量データが入手可能な5災害を対象とした。

- (1) 2009年中国・北九州北部豪雨（山口県防府市／剣川流域）
- (2) 2011年新潟・福島豪雨（新潟県南魚沼市／登川流域）
- (3) 2014年8月豪雨（広島県広島市／太田川流域）
- (4) 2015年関東・東北豪雨（栃木県日光市／芹沢・入山沢）
- (5) 2017年九州北部豪雨（福岡県朝倉市／赤谷川流域）

## 3. 検討手法

### 3.1 対象範囲の設定

本研究では、災害ごとに地質や降雨条件が概ね同一と扱える範囲を抽出し、検討対象範囲とした（図-1、表-1）。

#### 3.1.1 流域区分

1/25,000地形図の等高線より、谷幅が谷の奥行よりも小さくなる最も上流の地点を谷の開始点（1次谷の上流端）とし、谷次数区分による流域の分割を行った。その上で、対象流域末端から4次谷の上流端までの区間のうち、最長距離の区間となるものを主溪流とし、主溪流に合流する2次谷もしくは3次谷を本研究の対象とした。ただし、本研究で扱う土砂移動には深層崩壊に該当する規模の崩壊は対象とせず、極端に規模の大きい土砂移動を含む小流域はあらかじめ除外した。その結果、除外した流域は、日光の1流域である。

#### 3.1.2 地質条件の整理

本研究では、対象範囲の地質条件が一様となるよう、20万分の1日本シームレス地質図（基本版）を用いて、地質条件の整理を行った。空間的ばらつきの分析を目的としていることから、分類結果が複雑化することを防ぐため、20万分の1シームレス地質図全国統一凡例：岩石区分大分類を用いた5区分（堆積岩類、付加コンプレックス、火山岩類、深成岩類、変成岩類）とした。

小流域が複数の地質にまたがるような場合は、小流域の面積の50%以上を占める地質の採用を基

本とし、面積が同程度の場合は、上流側に分布する地質を採用した(図-1)。

### 3.1.3 雨量条件の整理

対象範囲の雨量条件を一様とするため、気象庁解析雨量データ(GRIB2形式、格子間隔1km)より、各災害時における連続30分~24時間の積算雨量(30分、60分、3時間、6時間、12時間、24時間)の最大値による整理を行った。

対象流域と1kmメッシュ雨量データが50%以上重なるメッシュを対象とし、対象流域全体の各最大雨量の平均値を算出し、各メッシュの実績値と平均値の比を用いて対象範囲の絞り込みを行った。ここでは、平均値に対する比が、全ての指標において0.7~1.3の範囲を対象範囲として抽出した

(図-2)。

検討対象とした範囲を図-1および表-1に示す。

### 3.2 データ解析

本検討では、災害前後の航空レーザ測量データ(計測密度:1点以上/m<sup>2</sup>、メッシュサイズ:1m)を用いて差分解析を行い、流出土砂量(=侵食・崩壊土砂量-堆積土砂量)を算出した。次に、3.1.1で区分した小流域ごとに、単位面積当たりの流出土砂量を求め、対象範囲ごとに、流出土砂量の傾向と累積頻度を整理した。また、日光において流出土砂量がマイナス値となる(崩壊・侵食土砂量よりも堆積土砂量が大きくなる)小流域があったが、解析結果には含めないこととした。

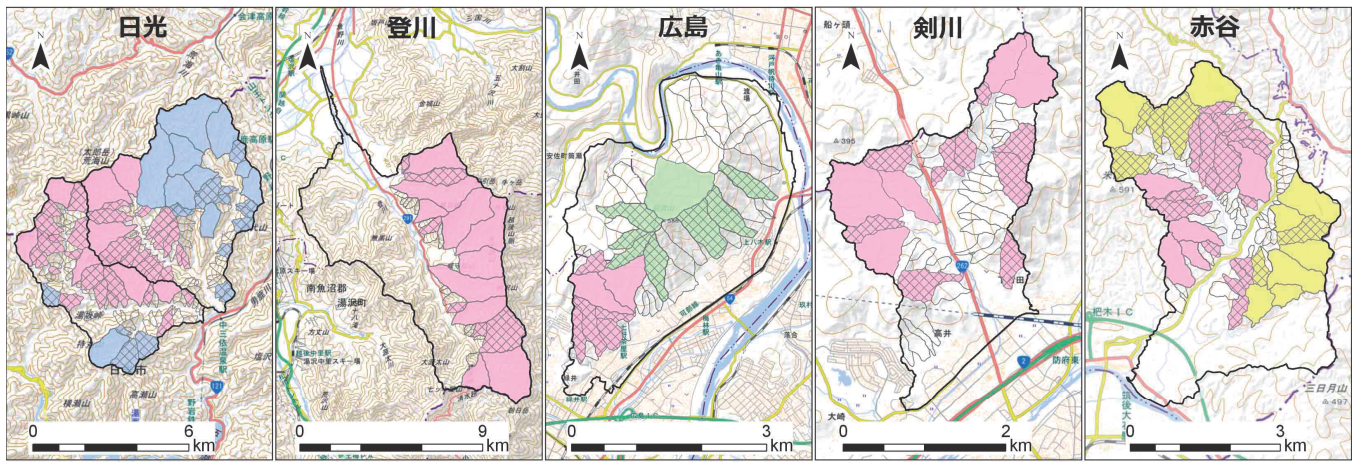


図-1 対象エリア一覧(背景には地理院地図を使用)

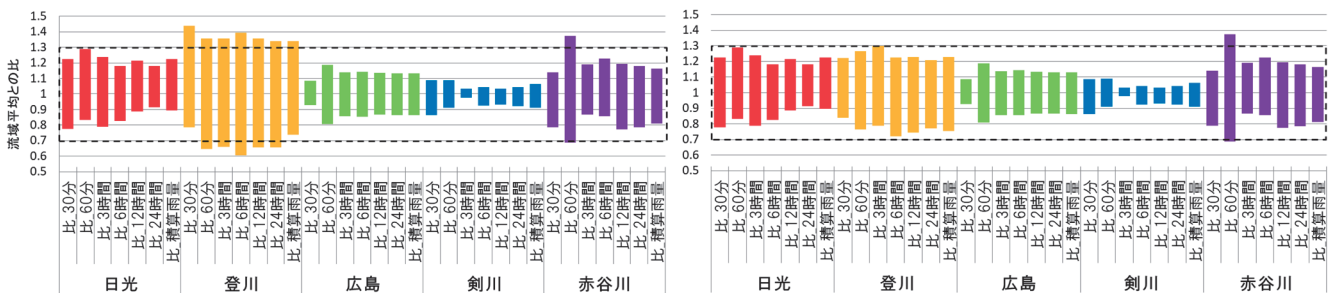


図-2 雨量条件の整理結果(左図:調整前、右図:調整後)

表-1 対象エリアの概要

	日光		登川		広島		剣川		赤谷川	
対象面積(km <sup>2</sup> )	58.27		37.37		11.02		6.29		20.27	
全流域面積(km <sup>2</sup> )	58.27		80.77		11.02		6.29		20.27	
小流域数	2次谷	48	6	12	10	24	3次谷	18	10	5
	3次谷	66	16	15	15	38	14	66	15	15
小流域面積(km <sup>2</sup> ):最小~最大	0.101~2.937		0.269~4.688		0.076~0.673		0.032~0.496		0.055~0.650	
地質別小流域数	◆深成岩類(花崗岩):40 ◆火山岩類(デイサイト・流紋岩):26		◆深成岩類(花崗岩):16		◆深成岩類(花崗岩):7 ◆付加コンプレックス:8		◆深成岩類(花崗岩):15		◆深成岩類(花崗岩):23 ◆変成岩類:15	

## 4. 結果と考察

### 4.1 流出土砂量について

算出された流出土砂量について、最大値・最小値・中央値について比較をした(図-3)。流出土砂量の中央値は、地質や地域によって異なっており、最小は日光・火山岩類で $6.3 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 、最大は赤谷川・深成岩で $1.2 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{km}^2$ であった。同様に、深成岩同士で中央値の比較を行ったところ、最小は登川流域で $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 、最大は赤谷川流域で $1.2 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{km}^2$ となり、地域間の差は最大で10倍近いものとなった。

また、最大値の最小値に対する比を見ると、最も小さいものは剣川・深成岩で13.4倍、最も大きいのが登川・深成岩で189.6倍となった。同一の地質、降雨条件下の同じ地域内であっても、2・3次谷からの流出土砂量の最大値・最小値の比は今回検討した範囲の中では平均で27.4倍であった。

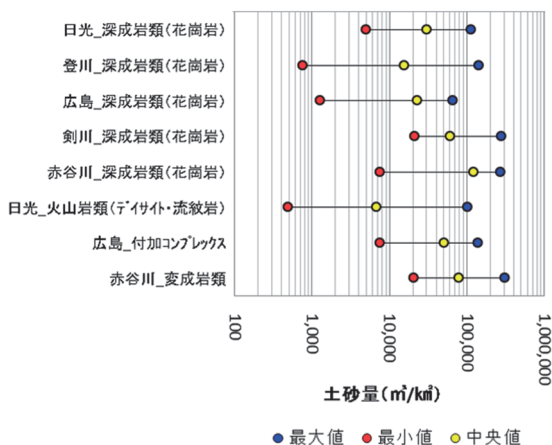


図-3 地域ごとの流出土砂量

### 4.2 対数正規分布との比較

図-4に、各範囲の流出土砂量を小さい順に並べ、地質別に累積頻度を示した。

対象流域内に複数の地質が存在する日光・広島・赤谷川について、中央値および累積頻度分布の状況を地域ごとに見ていく。まず、日光は深成岩類の中央値が $2.9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 、火山岩類では $6.6 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{km}^2$ であり、3地域の中で最も違いが大きい。次に、広島は深成岩類の中央値は $2.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 、付加コンプレックスでは $4.9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ であり、赤谷川は深成岩類の中央値は $1.2 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 、変成岩類では $7.7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ であり、地域間の差に比べると地質による差は小さかった。これらの地域では中央値のみならず、流出土砂量の累積頻

度分布形状は比較的近い形状であった(図-4)。

さらに、累積頻度分布の形状は対象地域によらず、概ね類似しており、土砂流出量は対数正規分布に近い分布形であることが予想された。そこで、流出土砂量の頻度分布を対数正規分布で表すことを試みた。その結果、全ての対象範囲において地域や地質に関わらず、土砂流出量は対数正規分布と近似した分布様式を取ることが分かった。また、流出土砂量の中央値にばらつきがあるものの、対数正規分布の傾きには対象流域間や地質によって大きな違いは見られなかった。

以上の結果から、対数正規分布を用いることにより、流出土砂量は確率的評価できる可能性が示された。

## 5. まとめ

本研究では、近年蓄積されてきた航空レーザ測量データを用い、地域・地質・降雨条件を同一条件とした時の山地上流域からの流出土砂量の空間的ばらつきについて分析を行った。

その結果、山地上流域からの単位面積当たりの流出土砂量は、一定程度条件を同一にした場合でも流域によっては1オーダーないしはそれ以上流出土砂量にばらつきが生じること、また頻度分布は対数正規分布で表現できることが示された。

さらに、山地上流域からの流出土砂量のばらつきは、流域面積が大きくなるとともに小さくなることが考えられ、また、平均的な流出土砂量は、流域の面積が大きくなるに従い単調に小さくなることが予想される。いずれにおいても、山地上流域からの流出土砂量のばらつきは、空間的なスケールによる影響が大きいことが考えられた。

このことから、現状、地形情報、降雨情報等から決定論的に山地上流域からの流出土砂量(河床変動計算における上流域の流出土砂量)を設定するのは難しい可能性が高いことが考えられる。

一方で、本研究の成果に基づくと、流出土砂量は設定する流域の空間的スケールを考慮した上で、対数正規分布を用いて確率的な評価が可能であることが示された。その上で、各流域からの予測精度を向上させるためには、地形条件から受ける影響のより詳細な検討や地下情報(土層厚、土壌特性)の取得に加え、それらの影響の評価などの研究を進める必要があると考えられる。

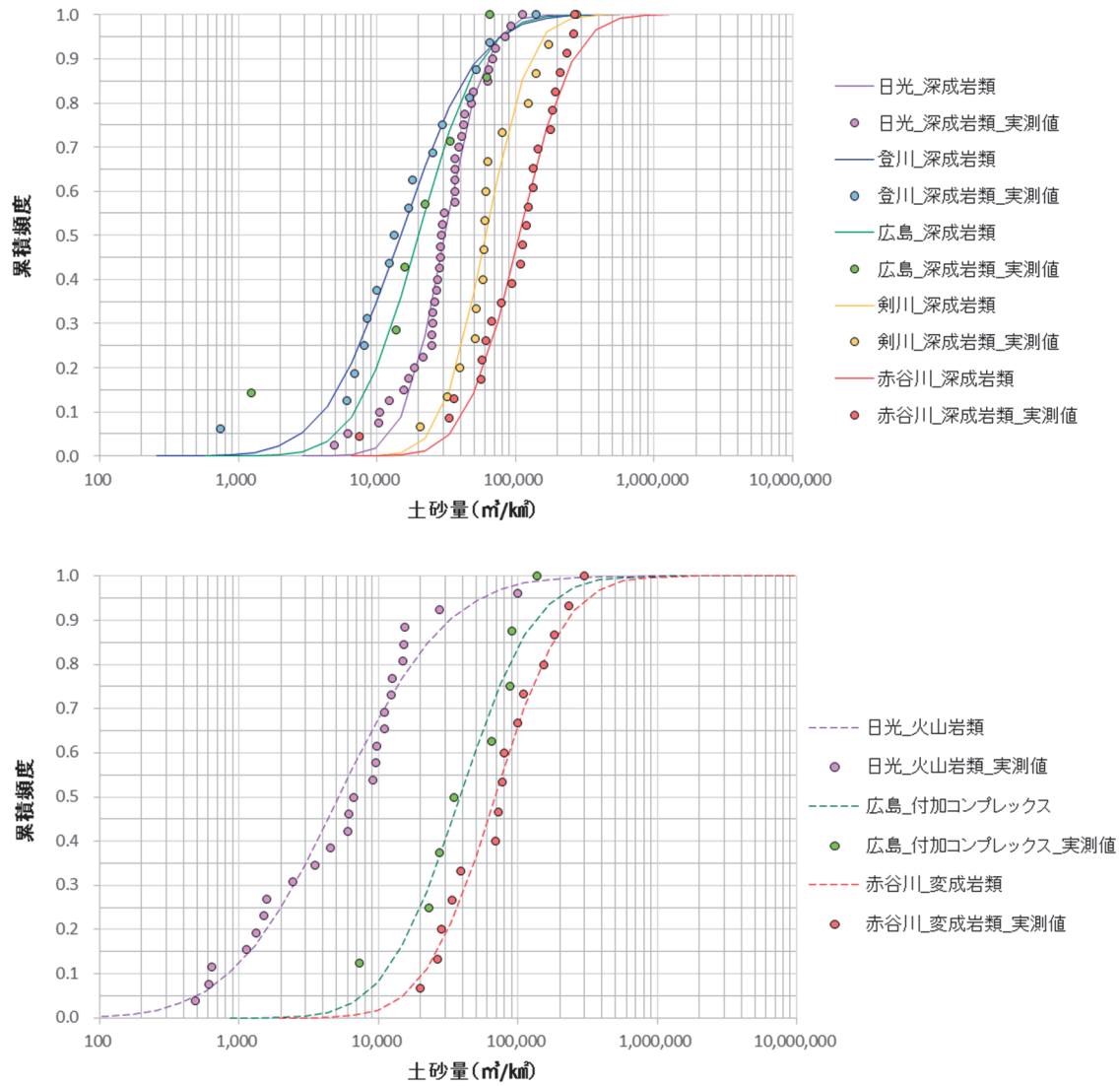


図-4 流出土砂量の累積頻度分布図（上図：深成岩類、下図：火山岩類・付加コンプレックス・変成岩類）

参考文献

- 1) 国総研砂防研究室：河床変動計算を用いた土砂・洪水氾濫対策に関する砂防施設配置検討の手引き（案）、国総研資料第1048号、2018
- 2) Gartner,J.E, Susan H. Cannon,S.H, Santi,P.M : Empirical models for predicting volumes of sediment deposited by debris flows and sediment-laden floods in the transverse ranges of southern California, 2014
- 3) Pak,J.H, Lee,J.J : A Statistical Sediment Yield Prediction Model Incorporating The Effect Of Fires And Subsequent Storm Events, 2008
- 4) 打萩珠男：ひと雨による山腹崩壊について、1971
- 5) 富田陽子、森 俊勇、宮 貴大、武蔵由育、鈴木伴征、水山高久：流域管理システム（WMS）のための土砂流出計算モデルと河床変動計算モデルの作成、2014
- 6) 山野井一輝、藤田正治：土砂生産・土砂供給・土砂輸送堆積統合型モデルの開発と山地流域への適用、2014
- 7) Raia,S, Alvioli,M, Rossi,M, Baum,R.L, Godt,J.W, Guzzetti,F : Improving predictive power of physically based rainfall-induced shallow landslide models: a probabilistic approach, 2014

對馬美紗



国土交通省国土技術政策  
総合研究所土砂災害研究  
部砂防研究室 交流研究  
員  
Misa TSUSHIMA

内田 太郎



国土交通省国土技術政策  
総合研究所土砂災害研究  
部砂防研究室長、博士  
（農学）  
Dr.Taro UCHIDA