

## 降雨や地形指標が山地源流域からの生産土砂量にばらつきを与える影響の評価

筑波大学 ○對馬美紗 内田太郎

## 1. はじめに

これまで山地源流域からの流出土砂量（生産土砂量）を予測するにあたり多くの研究が行われ、生産土砂量の大小に寄与する要因として降雨指標や地形指標に関する様々な指標が報告されてきた（例えば、1),2)。これらの研究は、①近接する複数の流域の生産土砂量について分析した研究、②同一流域からの複数出水の生産土砂量について分析した研究に大別される。①から、降雨分布や地形指標の違いによりある程度、流域からの生産土砂量の違いが説明できること、②からは、同一流域であっても、降雨強度などの影響により、出水ごとに生産土砂量が異なることが示された。さらに、過去の土砂流出の影響などを受け、流域内に蓄積される土砂量（移動可能土砂量）が、隣り合う源流域であっても異なることが、流域間の生産土砂量の違いに寄与していることが示されてきている<sup>3),4)</sup>。しかし、従来の研究は②に関する研究は多いものの、①の1出水による近接する数十以上の山地源流域からの生産土砂量の空間分布に及ぼす降雨量・地形量の影響について、定量的に明らかにした例は必ずしも多くない。

そこで、本研究では、福岡県朝倉市赤谷川流域を対象に、記録的な豪雨時の山地源流域からの生産土砂量が、(1)これまで生産土砂量の予測手法の説明変数として提案されてきた降雨量・地形指標から受ける影響、(2)移動可能土砂量など降雨量や地形指標以外の要因から受ける影響、を定量的に評価することを目的とした。

## 2. 研究方法

## 2.1. 1次谷流域の作成

本研究では、主な土砂生産源である1次谷流域を対象とした。流域区分には、災害前のLPデータ（1mDEMを10mDEMにリサイズ）を利用した。集水面積と勾配の関係<sup>5)</sup>から、集水面積が10,000m<sup>2</sup>以上の地点を1次谷の開始点と定義し、Strahler法を用いて谷次数区分を行ったのち、1次谷流域を抽出した。その結果、本研究で対象となる流域数は花崗閃緑岩域で142流域、泥質片岩域で117流域となった。

## 2.2. 生産土砂量の算出

本研究では、1次谷流域内の侵食土砂量から堆積土砂量を差し引いた土砂量が、1次谷流域から

下流への生産土砂量であるとした。

災害前後のLPを用いて差分解析を行い、差分解析結果と傾斜量図を参考に斜面崩壊や土石流などの土砂移動により標高に変化があったと思われる範囲を判読し、土砂移動範囲ポリゴンを作成した。差分解析結果から、土砂移動範囲ポリゴン内の侵食土砂量、堆積土砂量を整理し、流域ごとの生産土砂量を算出した。また、本研究では流域面積による影響を含まないよう生産土砂量を流域面積で除した比生産土砂量を用いた。

## 2.3. 降雨および地形指標の整理

これまで既往研究<sup>1),2)</sup>にて、生産土砂量の大小に影響を与えるとされてきた降雨及び地形指標を整理した。その結果、7降雨指標（30分～24時間最大雨量および総雨量）と、13地形指標（表1）について、生産土砂量との相関関係を相関係数を用いて整理した。この時、降雨指標には気象庁の解析雨量（1kmメッシュ）を用いた。

## 3. 結果・考察

## 3.1. 1次谷流域の生産土砂量の地質ごとの分布

生産土砂量は、全流域でみると $1.62 \times 10^3 \sim 1.35 \times 10^6 \text{ km}^2/\text{m}^3$ の間に分布し、3オーダー程度の違いがあった。地質ごとにみると、花崗閃緑岩では $1.62 \times 10^3 \sim 4.6 \times 10^5 \text{ km}^2/\text{m}^3$ 、泥質片岩では $2.60 \times 10^3 \sim 1.35 \times 10^6 \text{ km}^2/\text{m}^3$ に分布していた。全流域の場合と、地質で分けた場合とで、分布幅や分布形状には大きな違いがみられなかった。

## 3.2. 生産土砂量と降雨・地形指標との相関関係

1次谷流域からの比生産土砂量と、降雨及び地形指標の相関関係について、相関係数を用いて整理した（表2）。全流域でみた場合、降雨指標では、最大3時間雨量を除いた6指標について正の相関

表1 地形指標の定義と算出方法

| 地形指標                                 | 単位              | 定義および算出方法                                         |
|--------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------|
| Perimeter : P                        | km              | 流域の周長                                             |
| Area : A                             | km <sup>2</sup> | 流域面積                                              |
| Relief : H                           | m               | 主溪流の最高標高点から谷出口までの標高差                              |
| Length : L                           | m               | 主溪流長                                              |
| Relief Ratio : R                     | —               | $R = H/L$                                         |
| Number of 0th valleys                | 個               | 1次谷流域内の0次谷数                                       |
| Mean Drainage Area (DA)              | m <sup>2</sup>  | GISにて算出                                           |
| Mean Slope                           | %               | GISにて算出                                           |
| Mean Topographic Wetness Index (TWI) | —               | $TWI = \ln(a/\tan\theta)$<br>a:集水面積、 $\theta$ :勾配 |
| Melton Ratio : M                     | —               | $M = H/A^{0.5}$                                   |
| Form Factor : F                      | —               | $F = A/L^2$                                       |
| Elongation Ratio : E                 | —               | $E = (2(A/\pi)^{0.5})/L$                          |
| Circularity Index : C                | —               | $C = 4\pi A/P$                                    |

を示した ( $R = 0.21 \sim 0.36$ ,  $p < 0.01$ )。

一方、多くの地形指標は生産土砂量と明瞭な相関は見られなかった。生産土砂量と明瞭な相関がみられた指標は Mean Slope、Relief ratio、Circularity index の 3 指標のみであった ( $R = 0.21 \sim 0.36$ ,  $p < 0.01$ )。ただし、これらの指標であっても、地質別で見た場合は、明瞭な相関関係ではないことが多かった (表 2)。

### 3.3. 降雨・地形指標による生産土砂量のばらつき

3.2 にて、相対的に相関が高かった①30 分最大雨量(mm)、②総雨量(mm)、③Mean Slope (%), ④Circularity index の各指標が、同程度である流域の生産土砂量の違いを整理した。ここでは、指標が同程度となるように概ね 8、16、32 個の集団に分割した上で、各集団に属する流域の比生産土砂量の標準偏差を算出し、集団を増やしていった (各指標の違いがより小さい流域の集団にした) 時のばらつきの変化を整理した (図 1)。

全流域から算出した生産土砂量の標準偏差が  $10^{0.50} \text{ km}^2/\text{m}^3$  であるのに対し、集団数を大きくしていくことで、ばらつきが小さくなる傾向にあった。一方で、標準偏差が最も小さくなったのは Mean Slope・16 等分の時であり、全体の標準偏差値の 0.8 倍程度と、標準偏差は大きくは減少しなかった。

## 4. まとめ

本研究では、LP を用いて赤谷川流域を対象に、降雨や地形指標が 1 次谷流域からの生産土砂量と与える影響について定量的な評価を行った。その結果、次のことが明らかとなった

◆ 山地源流域からの生産土砂量は、従来指摘されてきた降雨量や一部の地形量と相関が見られた。しかし、降雨量や地形量の条件が同程度である流域間であっても、生産土砂量のばらつきは大きかった。

◆ 生産土砂量は、本検討で用いなかった指標 (例えば、移動可能土砂量や過去の土砂流出による溪流内の状況など) の影響を強く受けている可能性が示唆された。

#### 【参考文献】

- 1) de Haas and Densmore (2019), The Geological Society of America, 47, 8, 791-794
- 2) Gartner et al. (2008), Engineering Geology, 176, 45-56
- 3) Brayshaw and Hassan (2009), Geomorphology, 109, 122-131
- 4) De Haas et al (2020), Scientific Reports, 10, 14024
- 5) Montgomery (2001), American Journal of Science, 301, .432-454

表 2 生産土砂量と降雨・地形指標との相関

|                           | 全流域                | 花崗閃緑岩 | 泥質片岩                |
|---------------------------|--------------------|-------|---------------------|
| 降雨指標                      |                    |       |                     |
| 30 分最大雨量                  | 0.36 <sup>++</sup> | 0.11  | 0.39 <sup>++</sup>  |
| 60 分最大雨量                  | 0.27 <sup>++</sup> | -0.03 | 0.22 <sup>+</sup>   |
| 3 時間最大雨量                  | 0.12               | -0.09 | 0.03                |
| 6 時間最大雨量                  | 0.21 <sup>++</sup> | 0.01  | 0.17                |
| 12 時間最大雨量                 | 0.21 <sup>++</sup> | 0.10  | 0.22 <sup>+</sup>   |
| 24 時間最大雨量                 | 0.23 <sup>++</sup> | 0.11  | 0.24 <sup>+</sup>   |
| 総雨量                       | 0.25 <sup>++</sup> | 0.11  | 0.26 <sup>++</sup>  |
| 地形指標                      |                    |       |                     |
| Perimeter(km)             | -0.15 <sup>+</sup> | -0.02 | -0.18               |
| Area(km <sup>2</sup> )    | -0.07              | 0.02  | -0.05               |
| Relief(m)                 | 0.00               | -0.11 | -0.23 <sup>+</sup>  |
| Length(m)                 | -0.12              | -0.01 | -0.15               |
| Relief ratio              | 0.22 <sup>++</sup> | -0.12 | -0.08               |
| Number of 0th valleys     | -0.05              | 0.03  | -0.01               |
| Mean DA(m <sup>2</sup> )  | -0.11              | 0.08  | 0.16                |
| Mean Slope (%)            | 0.38 <sup>++</sup> | -0.01 | -0.14               |
| Mean TWI(m <sup>2</sup> ) | -0.14 <sup>+</sup> | 0.09  | 0.05                |
| Melton ratio              | 0.11               | -0.19 | -0.27 <sup>++</sup> |
| Form factor               | 0.11               | 0.07  | 0.23 <sup>+</sup>   |
| Elongation ratio          | 0.13 <sup>+</sup>  | 0.07  | 0.24 <sup>+</sup>   |
| Circularity index         | 0.21 <sup>++</sup> | 0.13  | 0.43 <sup>++</sup>  |

<sup>++</sup>  $p < 0.01$ , <sup>+</sup>  $0.01 < p < 0.05$

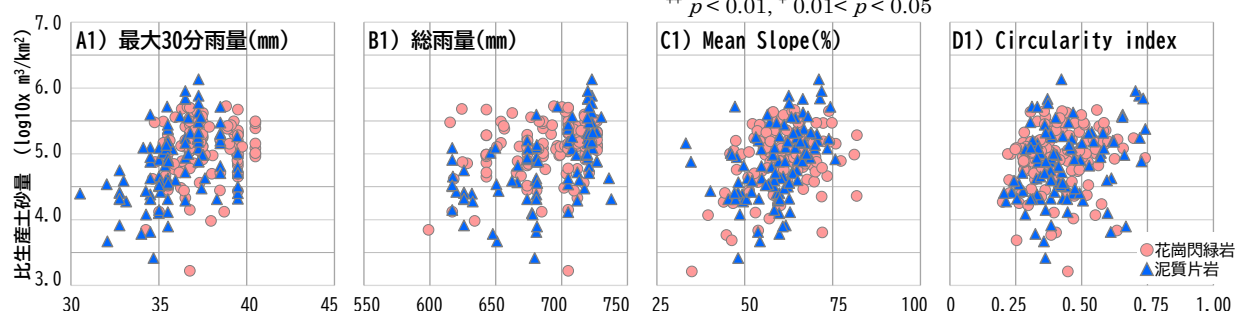


図 1 生産土砂量と降雨・地形指標との相関

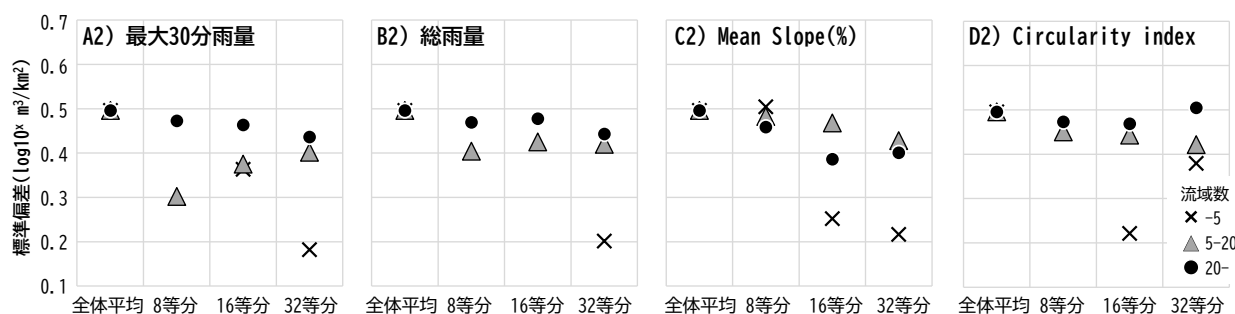


図 2 降雨・地形指標が同程度である流域間の生産土砂量のばらつきの変化