

# 紀伊山系における気候変動を踏まえた 降雨評価と生産土砂量への影響に関する一考察

株式会社建設技術研究所 ○西尾潤太, 松原智生, 日名純也, 村井臣成,  
西口幸希, 石川莉紗子, 中島秀明, 菅原嵩史  
国土交通省近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所 岸本優輝、山本洋

## 1. はじめに

近年, 気候変動に伴う降雨量の増大が指摘されており, 「気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会」では, 降雨量が広域的には 2℃上昇シナリオで 1.1 倍, 4℃上昇シナリオで 1.2~1.3 倍 (北海道, 九州北西部を除く) となることが示されている。

「気候変動を踏まえた砂防技術検討会」では, 山間部の降雨量変化倍率が空間的に異なることが示されている。斜面崩壊は降雨を誘因として発生することから, 崩壊による土砂量にも空間的な差異が生じると考えられる。この影響を評価することは, 気候変動に対応した土砂災害対策を進める上で重要な事項の 1 つである。

崩壊生産土砂量は経験的手法に基づいて設定されることが多く, 紀伊山系の現行計画では打萩式により算出されている。現行計画の崩壊タイミングは, H23 災害実績を基に, 累積雨量が 800mm となるタイミングが設定されている。このように, 崩壊生産土砂量と崩壊発生タイミングは, 既往災害から経験的に設定されており, 気候変動による未知の降雨を想定する場合に外挿となるため, 十分な精度が確保されないおそれがある。これらの課題解決のため, 「気候変動を踏まえた砂防技術検討会」では, 物理モデルに基づく解析的な手法による斜面崩壊・土砂生産予測の高度化に関する検討がなされている。

本研究では, 気候変動による山間部の局所的な降雨増大に伴う崩壊の空間的な差異を明らかにするために, 紀伊山系熊野川流域の九尾ダム上流域 (流域面積 109km<sup>2</sup>) を対象として, 5km メッシュで 2℃上昇シナリオを想定した将来気候モデル d2PDF を用いて, 山間部の局所的な崩壊生産土砂量の変化について検討した。また, 本検討では, 土砂生産予測手法の違いによる影響を確認するため, 経験的な手法と物理モデルを用いて崩壊生産土砂量および崩壊タイミングについて比較した。

## 2. 検討手法

### 2.1 降雨量変化倍率の算出

降雨量変化倍率は, d2PDF の海洋モデルおよび摂動が異なる 12 モデルのアンサンブルケースごとに, 各メッシュの現在気候の 1/100 超過確率規模の降雨量と将来気候 (2℃上昇シナリオ) の 1/100 超過確率規模の降雨量を算出し, その変化倍率とした。

### 2.2 土砂量変化倍率の算出

崩壊生産土砂量は, 経験的手法である打萩式と, 空間的な降雨を入力条件として斜面崩壊の発生を物理的に予測可能なモデル SiMHiS<sup>1)</sup> により算出した。なお, 土砂量変化倍率は, それぞれの手法で算出した土砂量 (計画降雨時) を基準とした変化倍率として, 中流域区分 (現行計画の土砂量の設定流域区分) 毎に算出した。

#### 2.2.1 経験的な手法 (打萩式) の概要

打萩式は, 既往災害における降雨量と崩壊面積率  $Y$  の関係を整理し, 下式のように設定された崩壊予測式である。

$$Y = K \times 10^{-6} (R - r)^2$$

ここで,  $K$  は紀伊山系では流域・地質ごとに設定された係数,  $r$  は崩壊無降雨量である。計画降雨量  $R$  は災害実績を考慮し 2 日雨量とされている。

気候変動を踏まえた計画降雨量は, 計画規模の計画降雨量 (2 日雨量) に対して各メッシュの降雨量変化倍率を乗じることで考慮した。

#### 2.2.2 物理モデル (SiMHiS) の概要

SiMHiS は, 各斜面要素 (図 1) に降雨波形を与えることで, 各斜面の土中水分量を解析し, 斜面崩壊の発生を判定可能なモデルである。斜面崩壊は次式により算出した斜面安全率  $R_t$  が 1.0 を下回った時刻で発生したと判定される。

$$R_t = \gamma \cdot W_{cr} / W_t$$

ここで,  $W_t$  は各斜面の時刻  $t$  における土中水分量,  $W_{cr}$  は斜面長, 勾配および降雨強度を変数とした回帰式により得られる限界土中水分量である。また, 崩壊補正係数  $\gamma$  は, 流域ごとの崩壊特性の差異を表現するための係数であり, 後述の再現計算により設定した。

気候変動を踏まえた降雨波形は, 計画規模の降雨波形のうち 48 時間を, 各メッシュの降雨倍率で引き伸ばし設定した。引き伸ばし期間は, 降雨倍率が 1.1 倍となることを想定した場合に, 土砂運搬能力が最大となる期間とした。

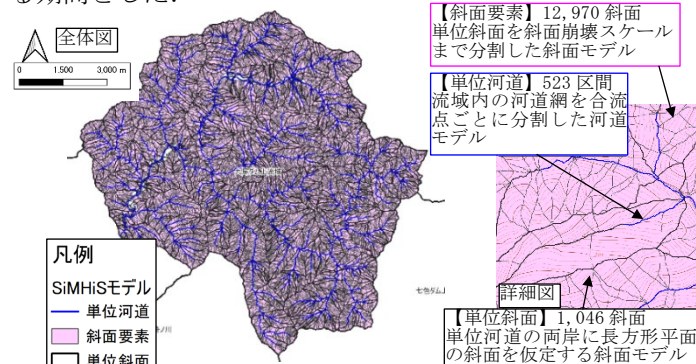


図1 九尾ダム上流域の地形モデル

## 3. 降雨量変化倍率の算出結果

降雨量変化倍率は九尾ダム上流域周辺の 12 メッシュ平均値は 1.06 倍であり, 広域の降雨量変化倍率 1.1 倍と概ね同程度となった。

d2PDF モデル別の結果では, 図 2 に示すような流域南東部で降雨が局所的に増大するモデルや流域全体で降雨が増大するモデルが確認された。

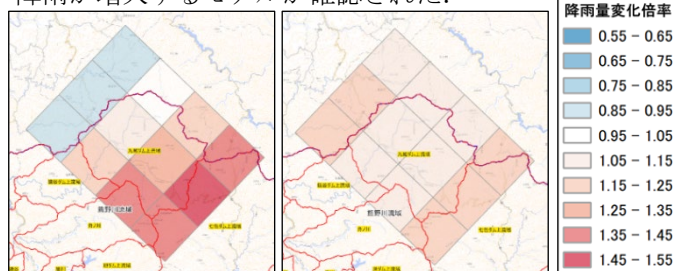


図2 九尾ダム上流域周辺メッシュの降雨量増加倍率

#### 4. 土砂量変化倍率・崩壊タイミングの算出結果

##### 4.1 打萩式による土砂量変化倍率の算出結果

打萩式により崩壊生産土砂量の変化倍率を算出した結果を図3に示す。降雨量変化倍率は各中流域の12モデル平均で1.04倍～1.11倍であったが、土砂量変化倍率は1.11倍から1.31倍となり、降雨量変化倍率に対して土砂量変化倍率が大きくなること示された。打萩式は、崩壊面積率が降雨の2乗に比例する式形であることから、この特性を反映した結果であると言える。

また、降雨量変化倍率が大きい将来気候モデルが確認された流域南東部の中流域（図3赤枠）では土砂量変化倍率も比較的大きい結果となった。

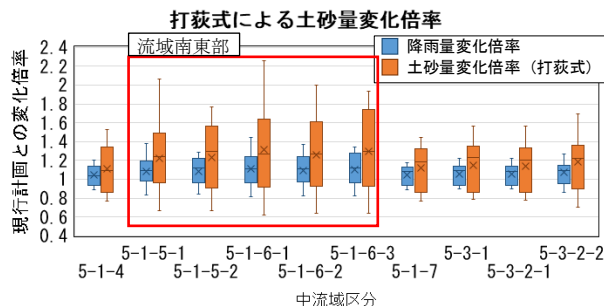


図3 打萩式による土砂量変化倍率

##### 4.2 SiMHiSによる土砂量変化倍率の算出結果

###### 4.2.1 SiMHiSの再現計算

SiMHiSで生産土砂量を算出するために、パラメータを適切に設定する必要がある。そこで土砂生産に関する再現計算を実施し、パラメータを設定した。再現対象事例は平成23年災害とした。

土砂生産に関する再現計算では、崩壊補正係数 $\gamma$ を1.44とすることで崩壊箇所数を概ね再現できた(図4)。崩壊1箇所あたりの崩壊生産土砂量は、平成23年災害実績の1箇所あたりの崩壊生産土砂量を設定した。再現計算により設定したパラメータを表1に示す。

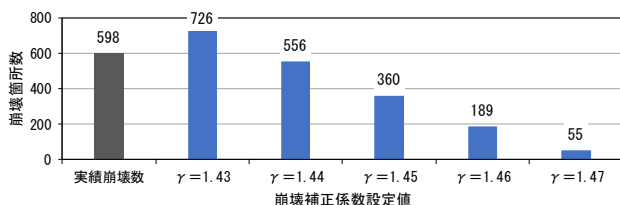


図4 土砂生産に関する再現計算結果

表1 SiMHiSの設定パラメータ

| 項目         | 設定値                              | 設定根拠     |
|------------|----------------------------------|----------|
| 斜面初期水位     | 2.0m                             | 再現計算より設定 |
| 間隙率        | 0.6                              | 既往研究設定値  |
| 透水係数       | $1.0 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ | 砂・礫程度    |
| 崩壊補正係数     | 1.44                             | 再現計算より設定 |
| 1崩壊あたりの土砂量 | 432m <sup>3</sup>                | H23実績    |

##### 4.2.2 SiMHiSによる土砂量変化倍率の算出結果

SiMHiSにより崩壊生産土砂量の変化倍率を算出した結果を図5に示す。土砂量変化倍率は1.01～1.13倍であり降雨量変化倍率と概ね同程度となった。

解析上の崩壊箇所はいずれも斜面勾配30度以上であり、特に勾配が35～40度の斜面では12モデルの間で崩壊箇所数の差異が顕著であった。本検討の条件下では、勾配が35～40度の斜面で降雨量の変化による崩壊・非崩壊の判定が変動しやすいことが示唆された。

中流域5-1-6-2は、5-1-6-3と降雨変化倍率のモデル間のバラつきは同程度であるが、土砂量変化倍率のバラつきは5-1-6-3より大きい結果となった。5-1-6-2では、崩壊判定が変動しやすい勾配35～40度の斜面が多く存在し、同程度の降雨の差でも土砂量に変化しやすい条件であったためである。

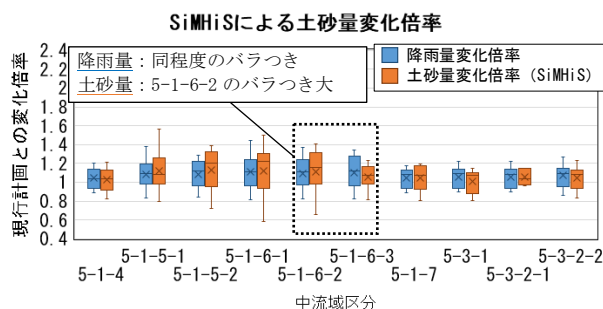


図5 SiMHiSによる土砂量変化倍率

##### 4.3 崩壊タイミングの算出結果

SiMHiSによるd2PDFの12モデルを用いた場合の崩壊箇所数の時間変化を図6に示す。現在気候の計画規模降雨波形を入力条件とした場合、計算開始後46時間頃から崩壊が発生し、降雨がピークとなる48時間頃に多数が崩壊する結果となった。現行計画における崩壊タイミングは、累積雨量を基に56時間と設定された。解析的手法による推定では、現行計画より8～10時間程度早く崩壊が生じる結果となった。

また、気候変動を考慮することで、最初の崩壊が発生する時刻は、最も早いモデルで42時間頃となり、現行計画規模と比較して4時間程度早く崩壊が生じることが確認された。また、降雨ピーク前の44～46時間に多数の崩壊が生じるモデルがあり、気候変動により早期に多数の崩壊が生じるようになることが確認された。

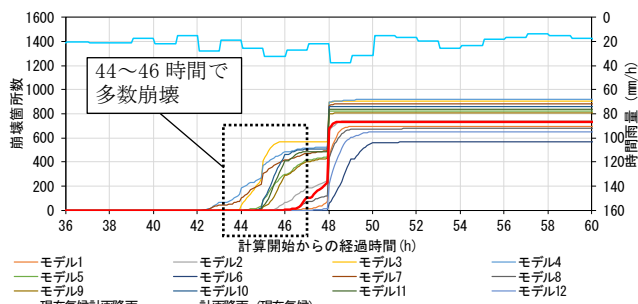


図6 SiMHiSによる崩壊タイミングの算出結果

##### 5. おわりに

本研究では、気候変動による局所的な土砂量変化倍率を算出した。また、経験的な手法の打萩式と解析的な手法であるSiMHiSにより土砂量変化倍率と崩壊タイミングを算出した。

土砂量は、降雨量が大きい地域・モデルで大きくなり、降雨量変化倍率が大きくなった流域南東部では土砂量変化倍率も増大することが確認された。ただし、SiMHiSでは地形等の影響も踏まえて崩壊を判定するため、降雨と土砂量の増大が一致しない結果となった。

また、崩壊タイミングは、SiMHiSで解析すると累積雨量から推測した崩壊タイミングより8～10時間程度早くなることが確認された。また、気候変動を想定した場合に、崩壊は4時間程度早くなり、降雨ピークより早い時刻に多数の崩壊が生じる場合がある。

今後は、一次元河床変動計算による被害想定を実施し、気候変動による土砂・洪水氾濫被害の拡大について検討するとともに、物理モデルの精度向上を図る予定である。

謝辞 本研究にあたってご意見を頂いた近畿地方整備局、国土交通省砂防部、国土技術政策総合研究所の関係各位には心より御礼申し上げます。

参考文献 1)山野井、藤田、砂防学会誌、Vol.69, No.6, p.15-23, 2016