

## d4PDFを用いた気候変動による土砂流出量への影響評価

広島大学 学生会員 ○木戸 理歩  
 広島大学 正会員 井上 卓也  
 広島大学 正会員 鳩野 美佐子  
 京都大学 正会員 山野井 一輝

## 1. 目的

気候変動に伴う降雨時間の増加や平均気温の上昇に起因する土砂流出量の増加が喫緊の課題である。土砂流出量の増加は下流の河床形態や流路変動に影響を及ぼし、破堤による外水氾濫や落橋のような被害を招く為、気候変動による土砂流出量の変化を予測することは重要である。IPCC 第六次評価報告書<sup>1)</sup>によると気候変動により世界の平均気温は1.0~5.7°C上昇し、降水量が増加する可能性が高い。世界の平均気温が4°C上昇した世界をシミュレーションすると降雨量は約1.3倍、流量は約1.4倍増加すると予測されている。マニングの式や芦田道上の式から土砂流出量は流量の9/10乗に比例すると考えられたため、流量が約1.4倍増加することのみを考慮すると、流出土砂量は約1.35倍増加する。しかし、川越ら<sup>2)</sup>は将来的に斜面崩壊が増加し、山地の土砂生産が増大すると予測しているが、斜面崩壊による土砂生産は流量の増加に依存しないため、土砂の発生要因が変化すると考えられる。このような変化を踏まえると、先述した流出土砂量が約1.35倍増加するという予測以上の増加が考えられる。現在、気候変動を踏まえた河川整備計画は降雨量や流量の増加量をもとに行われているため、流出土砂量の増加を適切に評価できていない可能性がある。以上より本研究では斜面崩壊を土砂生産の要因としたモデルに、気候変動のシミュレーションデータを入力することで気候変動による土砂流出量の変化を検討する。また、発生源別の流出土砂量を求め、気候変動による雨の降り方の変化が土砂流出の要因の変化、流出土砂量に与える影響を明らかにする。

## 2. 方法

山野井ら<sup>3)</sup>が開発した土砂の生産・供給・輸送の統合モデルを用いて、降雨量、地形データ、粒度分布から流量、流出土砂量を計算する。このモデルでは斜面崩壊に

より生産された土砂が河道に供給され、溪床において侵食と堆積を繰り返しながら運搬される。なお、本研究では発生源ごとの土砂に番号を付け、発生源別の流出土砂量を計算できるようにモデルを改良した。河床の貯留土砂の質量保存則を以下の式に示す。

$$(1 - \lambda) \frac{\partial z_b}{\partial t} = \frac{1}{B_{ci}} (Q_{b(t-1)j} - Q_{bi,j} + Q_{s(t-1)j} - Q_{si,j} + Q_{bi,j=2} + Q_{si,j=2})$$

ここで $\lambda$ は河床材料の空隙率、 $z_b$ は河床位、 $Q_{bi,j}$ 、 $Q_{si,j}$ は単位河道番号 $i$ の掃流砂量、浮遊砂量であり、 $j = 1$ は溪床、 $j = 2$ は斜面から発生した土砂である。

対象流域は北海道十勝川水系ペケレベツ川の上流部とする。この地域には周氷河堆積物が分布し、10m以上の土砂層の分布が確認されている。平成28年8月の北海道豪雨ではこの流域で既往最大の降雨を記録した。その際のピーク流量と流出土砂量を用いてモデルパラメータを調整する。その後、大量アンサンブル気候予測データであるd4PDF<sup>4)</sup>を5kmにダウンスケーリングした現在気候550年分と将来気候555年分の降雨量をプログラムに入力し、流量、流出土砂量を出力する。このようにして得られた大量の流量、流出土砂量を用いて統計的な評価を行った。

## 3. モデルの検証

平成28年8月豪雨におけるピーク流量は北海道提供資料<sup>6)</sup>より402m<sup>3</sup>/s、国土交通省提供資料<sup>7)</sup>より流出土砂量は380300m<sup>3</sup>であった。宮崎ら<sup>5)</sup>はそのうち7割が溪床から発生したと述べている。入力する降雨量データは7月1日から8月21日までは新朝日雨量観測所にて観測された降雨量、8月22日から9月5日まではアメダス降雨分布内から流域内の降雨を切り取ったものとする。ピーク流量301m<sup>3</sup>/s、流出土砂量302132m<sup>3</sup>を出力し、平成28年豪雨を概ね再現できた。

キーワード 気候変動, 大量アンサンブル, d4PDF, 土砂流出, 土砂生産, 斜面崩壊

連絡先 〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-4 広島大学大学院工学系研究科 社会基盤環境工学 専攻事務室  
 TEL: 082-424-7194-

#### 4. シミュレーション結果

入力した d4PDF 降雨量と計算結果の流量，流出土砂量の現在と将来の確率水文量を求めた．それらの累積確率密度関数を図 4.1 から 4.3 に示す．なお，上述の諸量はそれぞれの現在気候と将来気候を合わせた最大値で割り，正規化している．その結果，気候変動により確率年 10 年の降雨量は 1.5 倍，流量は 2.1 倍，流出土砂量は 3.0 倍増加するのに対し，確率年 100 年の場合は降雨量が 1.7 倍，流量が 2.4 倍，流出土砂量が 6.7 倍増加した．気候変動による流出土砂量の増加率は降雨量のそれと比べて，確率年の増加に伴い大きくなった．

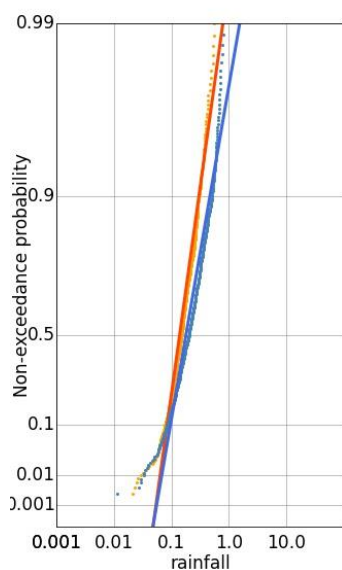


図 4.1 降雨量

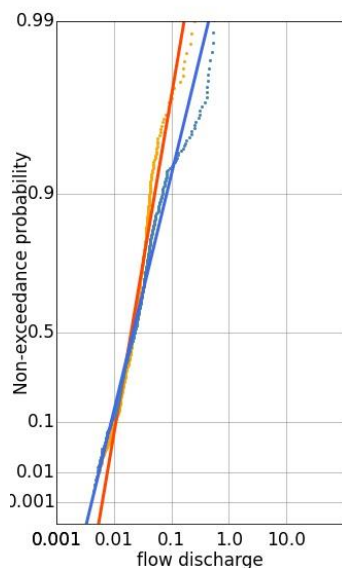


図 4.2 流量

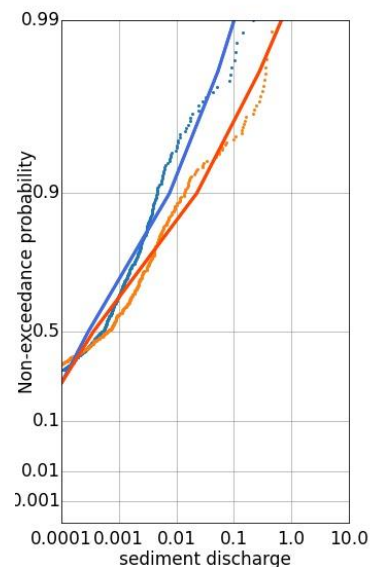


図 4.3 流出土砂量

図 4.4 から図 4.7 に増加率が大きく変化した確率年 10 年以上の流出土砂量を発生源が溪床と斜面であるものに区別したものを示す．

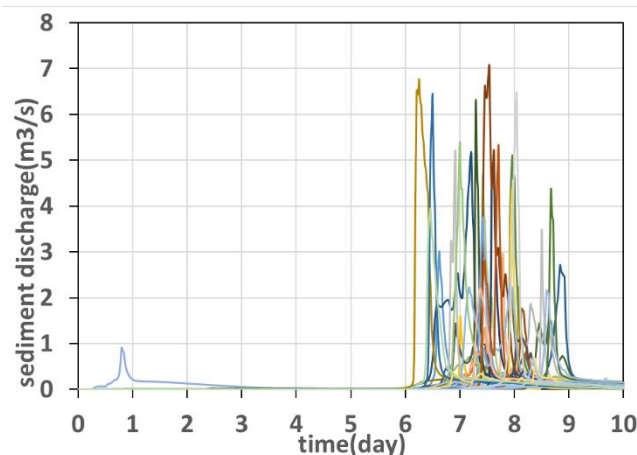


図 4.4 将来気候の流出土砂量（溪床）

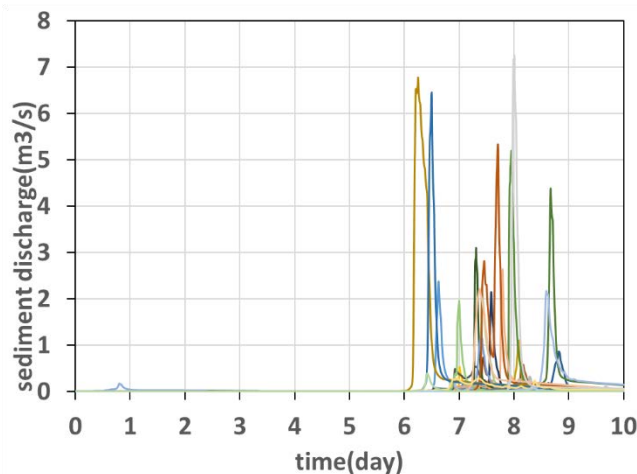


図 4.5 将来気候の流出土砂量（斜面）

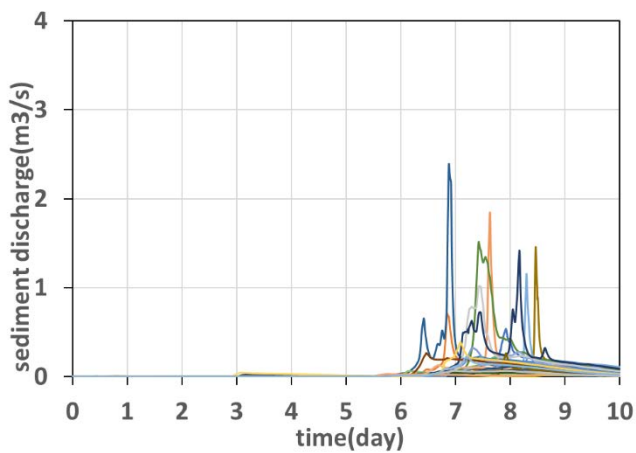


図 4.6 現在気候の流出土砂量（溪床）

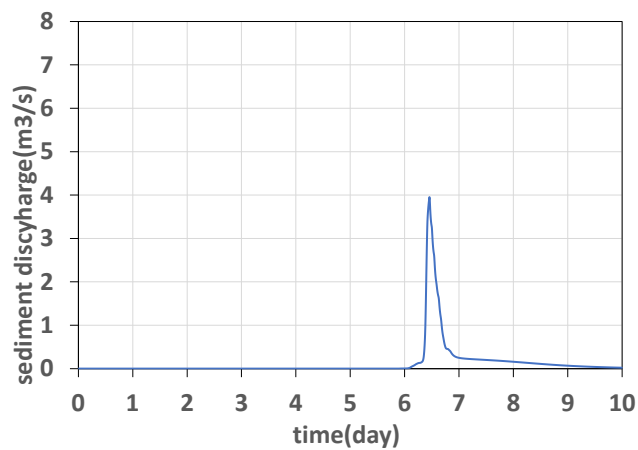


図 4.8 HA\_m105 の 2102 年の流出土砂量（溪床）

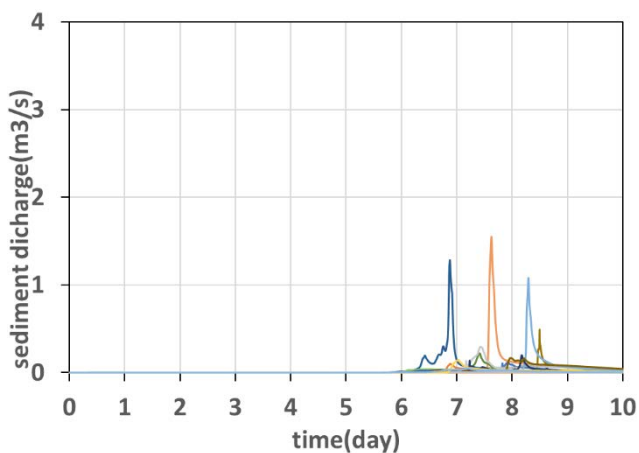


図 4.7 現在気候の流出土砂量（斜面）

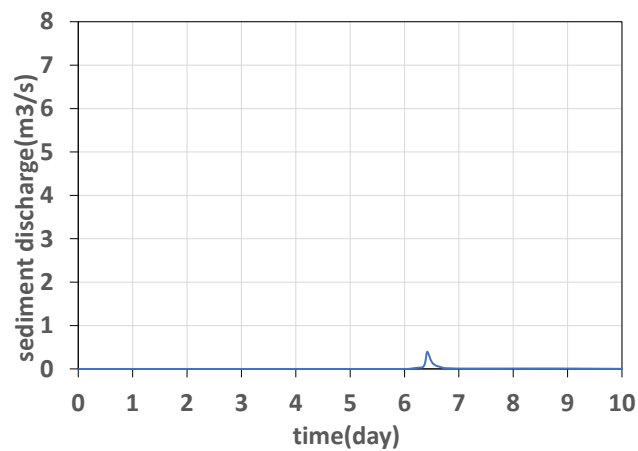


図 4.9 HA\_m105 の 2102 年の流出土砂量（斜面）

図より現在気候では斜面からの流出土砂量は溪床からに比べて小さくなっており、最大でも溪床からの流出土砂量の半分程度しか流出していない。それに対して、将来気候では斜面からの流出土砂量が増加し、溪床からの土砂量と同程度になるメンバが複数確認できる。次に将来気候の HFB\_HA\_m105 の 2102 年と HFB\_HA\_m104 の 2062 年それぞれにおける溪床からの流出土砂量、斜面からの流出土砂量、平均粒径の変化を図 4.8 から図 4.13 に示す。

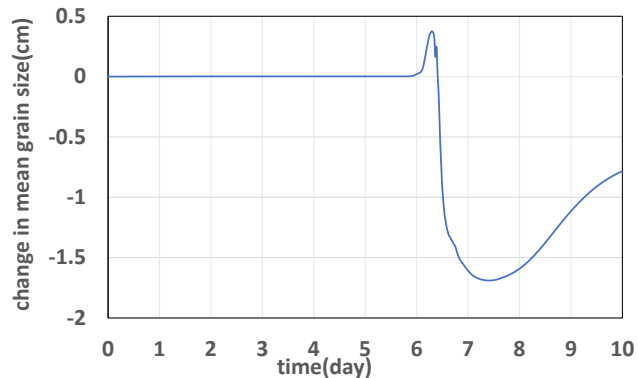


図 4.10 HA\_m105 の 2102 年の平均粒径の変化

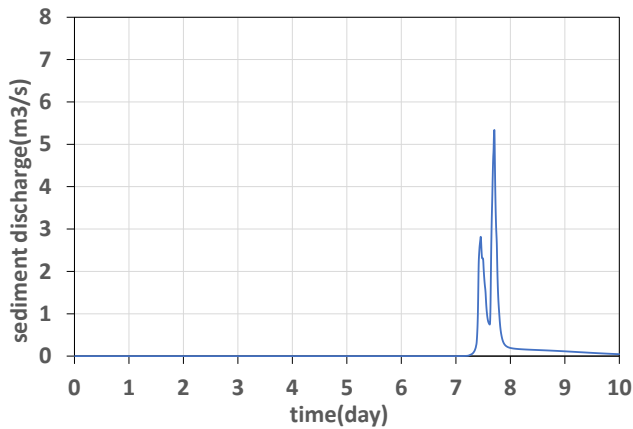


図 4.11 HA\_m104 の 2062 年の流出土砂量（溪床）

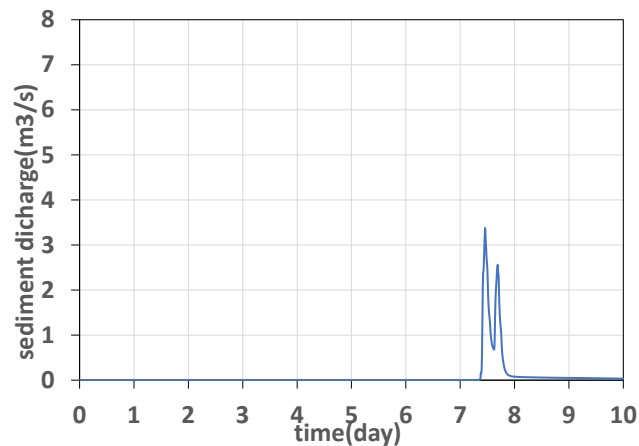


図 4.12 HA\_m104 2062 年の流出土砂量（斜面）

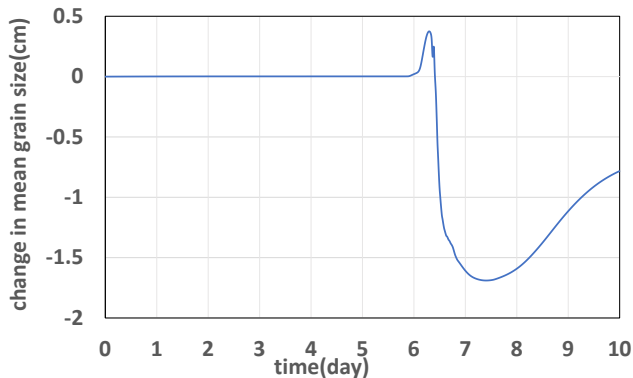


図 4.13 HA\_m104 2062 年の平均粒径の変化

この二年の流出土砂量を見比べると、溪床からの流出土砂量は同程度であるが、斜面からの流出土砂量は HA\_m105 の 2102 年より HA\_m104 の 2062 年の方がかなり多くなっている。また、平均粒径の変化を見ると斜面からの流出土砂量の少ない HA\_m105 の 2102 年は平均粒径が増加しているのに対し、斜面からの流出土砂量の少ない HFB\_HA\_m104 の 2062 年は平均粒径がほぼ増加していないことが分かる。このように、斜面から土砂が流入することで粗粒化が抑制される。

## 5. 考察

気候変動により流出土砂量が増加する要因として複数の理由が考えられる。まず、降雨量が増加すると流量が増加し、溪床からの流出土砂量が増加する。次に斜面崩壊による流出土砂が増加することで斜面から土砂が供給され、流出土砂量が増加する。また、斜面からの供給土砂の増加により粗粒化が抑制されると考えられる。これにより、流量が多い時間が長くなっても溪床からの流出土砂量が減衰しづらくなり、流出土砂量の増加に寄与すると考えられる。以上のような複合的な理由により、気候変動が進むと流出土砂量は降雨量以上に増加すると考えられる。

## 6. まとめ

気候変動により、降雨量、流量、流出土砂量はいずれも増加する。特に流出土砂量は、斜面崩壊の増加により、降雨量や流量以上に激しく増加すると考えられる。そのため、気候変動を踏まえた河川整備計画を進めていく上で、降雨量の増加に加え、流出土砂量の増加による影響を考慮する必要がある。

## 7. 参考文献

- 1) IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, et al (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- 2) 川越清樹ら：気候変動に伴う斜面崩壊に起因した土砂生産量の推計，河川技術論文集，V16，pp.77-82(2010.)
- 3) 山野井一輝ら：複合土砂災害シミュレータ SiMHIS を用いた山間地域における土砂災害の警戒避難情報の提供に関する一考察，砂防学会誌，V69，No6,pp.15-23(2016)
- 4) 星野剛ら：北海道における気候変動に伴う洪水リスクの変化，河川技術論文集，V24，pp.391-396，2018.
- 5) 宮崎知与ら：周氷河性斜面の崩壊・侵食に起因する大規模な土砂移動の実態，砂防学会誌，V71，No.2，pp.22-33，2018
- 6) （公社）土木学会 社会支援部門ホームページ，2016年8月北海道豪雨災害調査団報告書
- 7) [https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/kn/kawa\\_kei/splaat00000139gd-att/splaat0000013914.pdf](https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/kn/kawa_kei/splaat00000139gd-att/splaat0000013914.pdf)