

降雨による斜面崩壊と河道区間の土砂収支を 考慮したダム堆砂量の推定

高橋 大地 / TAKAHASHI, Daichi

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院デザイン工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. デザイン工学研究科編 / Bulletin of graduate studies.
Art and Technology

(巻 / Volume)

12

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

8

(発行年 / Year)

2023-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00030248>

降雨による斜面崩壊と河道区間の土砂収支を考慮したダム堆砂量の推定

ESTIMATION OF RESERVOIR SEDIMENTATION CONSIDERING LAND FAILURES TRIGGERED BY PRECIPITATION AS WELL AS SEDIMENT TRANSPORT IN RIVER CHANNELS

高橋 大地

Daichi TAKAHASHI

主査 道奥康治 副査 酒井久和・鈴木善晴・石川忠晴

法政大学大学院デザイン工学研究科都市環境デザイン工学専攻博士後期課程

Since the global climate change will accelerate sediment yield from watersheds with increasing intensity and frequency of precipitation, many dams will more significantly suffer in future from losing their storage capacities with reservoir sedimentation. In this study, a conceptual model of reservoir sedimentation was proposed, where the sediment yield was estimated from land failures triggered by precipitation in the catchment and the sediment balance in the channel system was parameterized by a "sediment storage function". Furthermore, the increased amount of sediment yield from the catchments was estimated based on the rainfall increase assumed by the MLIT for the end of this century and the reservoir sedimentation under the global climate change was predicted by using the present model.

Key Words : dam sedimentation, sediment yield, armoring, climate change

1. 序論

わが国のダム計画では 100 年間の堆砂量を推計して水平堆砂の仮定の下に堆砂容量を確保することになっているが、それを超えた後のことは想定されていない。実際、100 年堆砂の原則に基づくダム計画が始まってからすでに 60 年以上が経過した現在、堆砂量が計画値を上回るダムが少なからず出現している (図 1)。この事実だけで現行の堆砂量推算手法の妥当性を判断することはできないが、地球温暖化にともなう豪雨頻度・規模の増加を背景に土砂生産と貯水池堆砂の加速が懸念されていることを勘案すると、長期的かつ正確な堆砂量の予測が喫緊の課題であることは間違いない。

近年、ダム流域の土砂生産と、ダムに至るまでの河道区間における流砂現象を物理的に記述するために、ダム流域の分布型流出モデルと河道区間の土砂水理モデルを組み合わせた貯水池堆砂量の予測がさまざまに試みられている^{2,3)}。しかし、ダム流域の土砂動態は多くの素過程からなる複雑系であり、流域時空間を補間する観測情報を収集して多数のモデル・パラメータを同定することは容易ではない。

そこで、本研究では降雨時系列から土砂生産量を推定する「崩壊地モデル」と河道区間の土砂の貯留・輸送過程

を記述する「溪流モデル」を組み合わせ、一定の広がりを持つ流域内の土砂収支から堆砂量を予測する手法 (以下、貯水池堆砂量推定モデル) を提案した。特に、できるだけ多くのダム流域へ適用することを念頭におき、パラメータ数を必要最小限に抑えながらも水文・地形・地質の諸特性を反映できることをモデルの基本要件とした。さらに、本モデルを用いて将来気候における堆砂動向を推算した結果、いずれのダムにおいても堆砂の進行が実績より顕著に加速することを確認した。

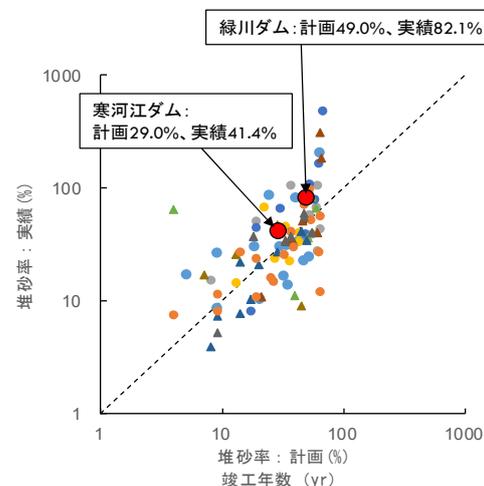


図 1 国土交通省管理ダムの堆砂率 (例えば 1)

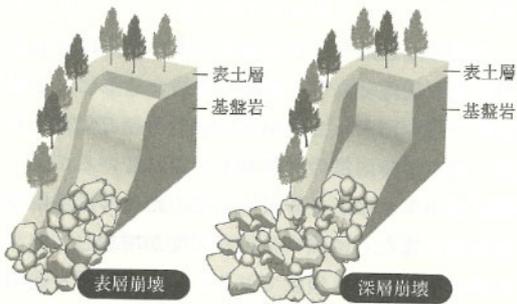


図2 崩壊の例（表層崩壊，深層崩壊）⁴⁾

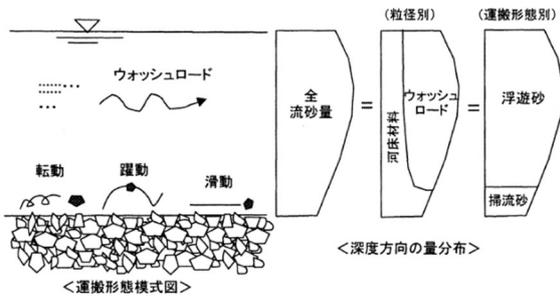


図3 河道輸送の例（流砂の運搬形態）⁵⁾

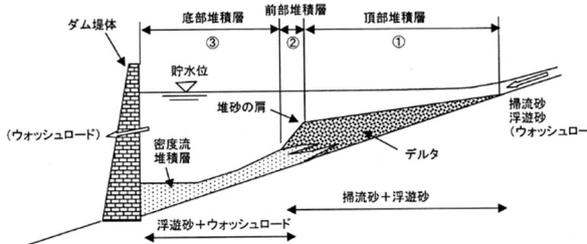


図4 典型的な堆砂形状⁵⁾

2. ダム堆砂予測の留意事項と考え方

貯水池堆砂量推定モデルを構築するにあたり，既往研究において土砂動態として考慮されている素過程として土砂生産過程（図2），河道内輸送（図3），貯水池の堆砂（図4）について整理した．土砂動態について全て貯水池モデルに反映させようとする，モデルが複雑系となり汎用性・実用性を高めることができないため，本研究ではこれらのプロセスを理解した上でダム流域の土砂収支を包括的に記述しモデル構造の簡素化を試みた．

具体的にはモデル構造を簡素化させるため，集中定数型モデルを構築することとし，土砂生産過程として，どのダム流域でも発生しうる降雨起因の表層崩壊に注目し，降雨をパラメータとして崩壊地面積を計算する「崩壊地モデル」を導入する．さらに，崩壊地モデルで計算される

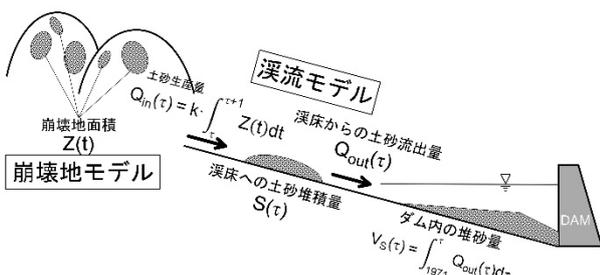


図5 貯水池堆砂量推定モデルの概念図

崩壊地面積に応じた土砂量を供給し，渓流区間における土砂収支を記述する「渓流モデル」を導入することで貯水池堆砂量を計算する．

3. 対象流域の特性

(1) 緑川ダム貯水池

緑川ダムは熊本県の一級河川緑川水系緑川に位置する国土交通省管理の多目的ダムであり，主ダムは堤高76.5m，堤頂長295.0mである．水源は流域北部の阿蘇カルデラ外輪山と南部の九州山地に広がり，流域面積は395km²である．計画堆砂量は1,080万m³であり，令和元年度時点の総堆砂量は約887万m³と計画堆砂量の約82%となっている

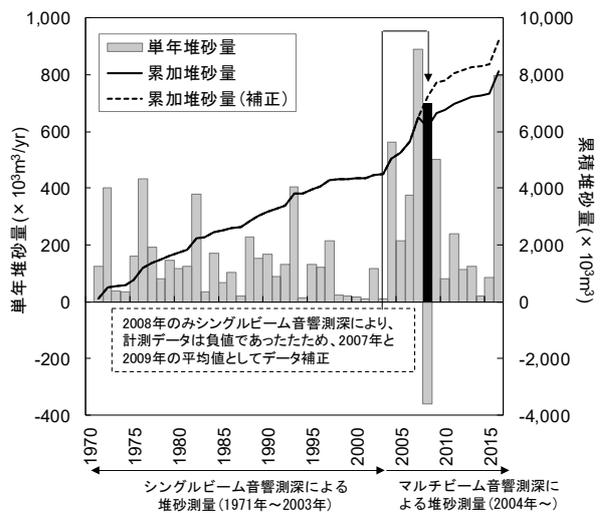


図6 緑川ダムの実績堆砂量の推移

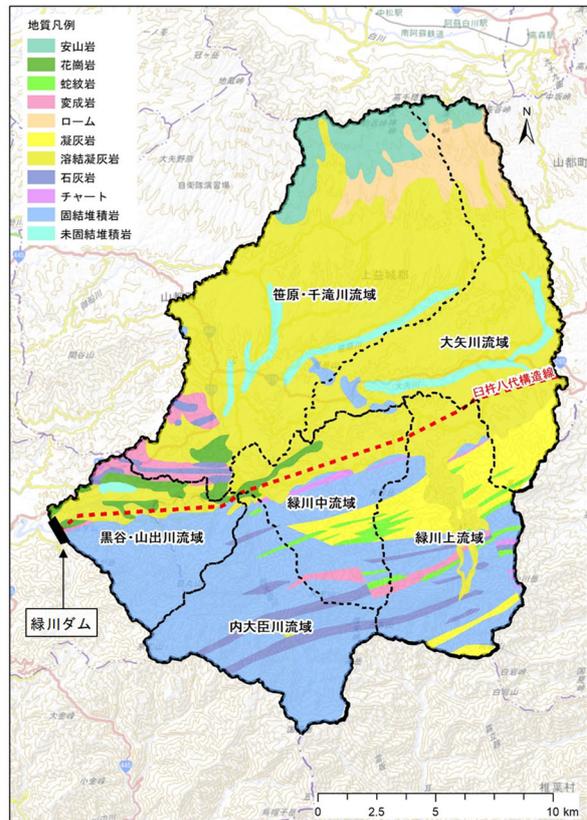


図7 表層地質図（緑川ダム流域）

る(図6)。

流域は東西方向に走る臼杵八代構造線によって南北方向に二分されている。構造線以北は標高800m以下の地帯が多く、阿蘇カルデラ外輪山が含まれ、全体的に開析が進み、傾斜度は概ね10°~15°で、なだらかな地形となっており、地質は阿蘇火山帯の山麓地を構成する火成岩が多く分布している。構造線以南は源頭部で標高1,200m以上となる急峻な九州山地に属し、傾斜度30°以上の地形が大部分を占めており、地質はジュラ紀付加体(海底の堆積物等が海洋プレートの沈み込みにより大陸に付加された地質帯)が広がっている(図7)。

(2) 寒河江ダム貯水池

寒河江ダムは山形県の一級河川最上川水系寒河江川に位置する国土交通省管理の多目的ダムであり、堤高

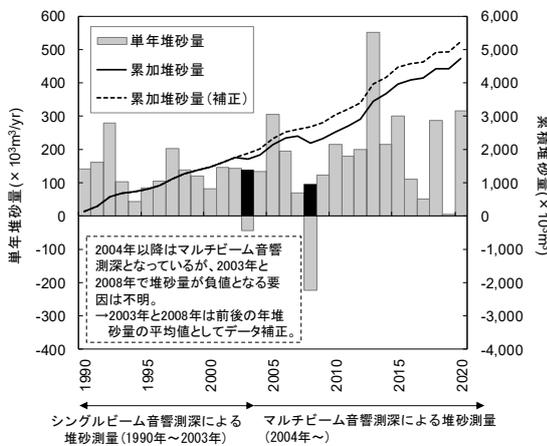


図8 寒河江ダムの実績堆砂量の推移

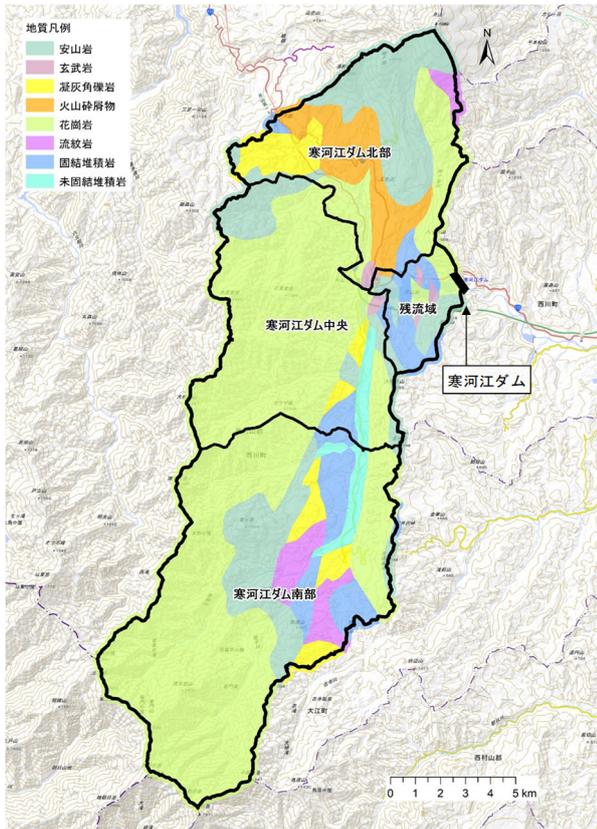


図9 表層地質図(寒河江ダム流域)

112.0m, 堤頂長510.0mである。水源は北部の月山と南部の朝日連峰であり、流域面積は231km²である。計画堆砂量は1,100万m³であり、令和元年度時点の総堆砂量は約450万m³と計画堆砂量の約41%となっている(図8)。

流域は南北に長く、北部は全体的に開析の進んだなだらかな地形を呈し、傾斜度は概ね15°~25°の範囲にあり、地質は月山山麓に広がる安山岩と火山砕屑物で構成されている。南部は急峻な朝日連峰に属し、傾斜度は概ね25°~35°で起伏に富んだ険しい地形を呈しており、地質は主に花崗岩で構成されている(図9)。

4. 航空写真解析による崩壊地の調査

ダム流域の生産土砂量を把握するにあたって、航空写真判読により崩壊地面積を推定する。一般に航空写真判読による崩壊地の抽出は目視により行われるが、航空写真の質や判読者によって結果のばらつきが生じる可能性が高い。そこで、本研究では画像処理技術を用いて、定量的な崩壊地判定基準を検証した上で、対象流域の崩壊地面積を算出した。

(1) 解析方法

a) 解析用画像に対する前処理

航空写真解析は図10に示すフローに従う。本研究では崩壊地面積の経年変化を把握するため、複数時期の航空写真について同じ精度で解析を実施する必要がある。そのため解析用として、全ての航空写真について幾何補正を行い、解像度とコントラスト値を統一した後、樹冠の乱

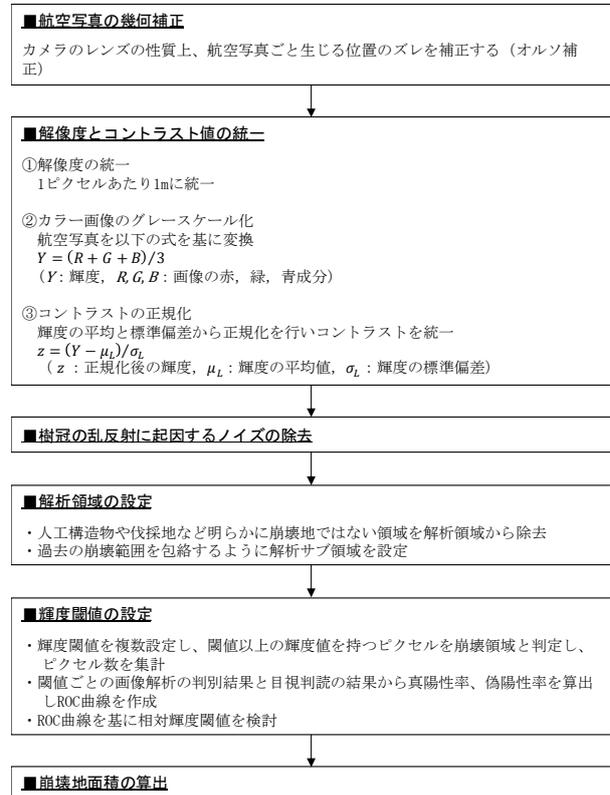


図10 航空写真解析実施フロー

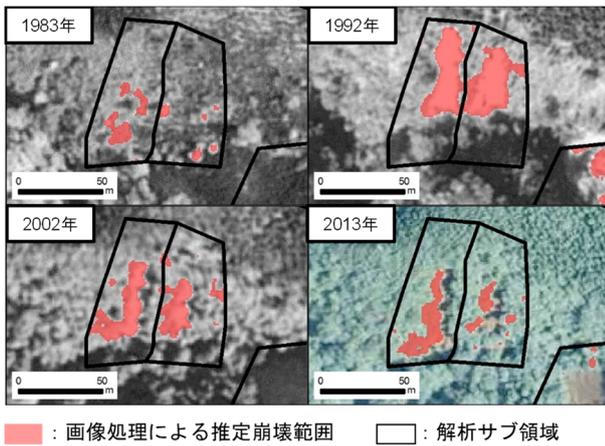


図 11 解析サブ領域の設定事例

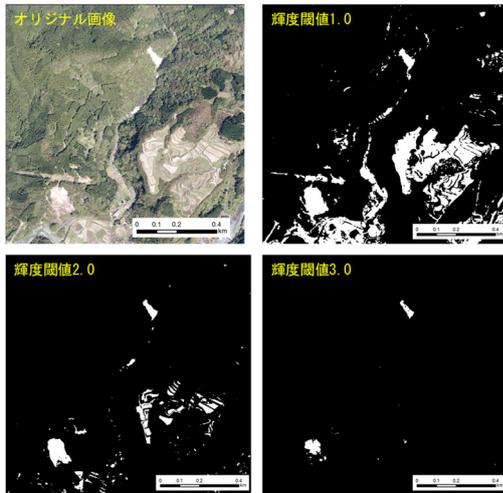


図 12 輝度閾値による抽出結果の違い

反射に起因するノイズをメジアンフィルタ処理で除去した画像を用意した。

b) 解析領域の設定

一般に崩壊地は植生が乏しいので周囲と比較して明るく映る。そこでモノクロ画像における輝度値に閾値を設けて判別することとした。ただし、人工構造物や河床等砂礫面、林道、耕作地、伐採地などを崩壊地として誤読する恐れがあるため、全ての画像についてそれらを目視により除外した。続いて、全画像上で崩壊地とみられる区域を全て抽出し、それらを包括するように解析サブ領域を設定した崩壊地面積の変化を求めた（図 11）。

c) 最適な輝度閾値の設定

定量的な崩壊地判定基準として解析用画像の輝度を利用する。各流域において、一時期で画像解析を実施し、さまざまな輝度閾値に対応する崩壊地を推定する（図 12）。続いて、判別結果の「真陽性率 (TPF)」と「偽陽性率 (FPF)」を評価する。「真陽性率」とは目視判読で崩壊ありと判別された領域に属するピクセルの中で、画像解析でも崩壊ありと判定されたピクセルの比率をあらわす。また、「偽陽性率」とは目視判読で崩壊なしと判別された領域において、画像解析から崩壊ありと誤判定されたピクセルの比率をあらわす。したがって、「真陽性率」が大きいほど

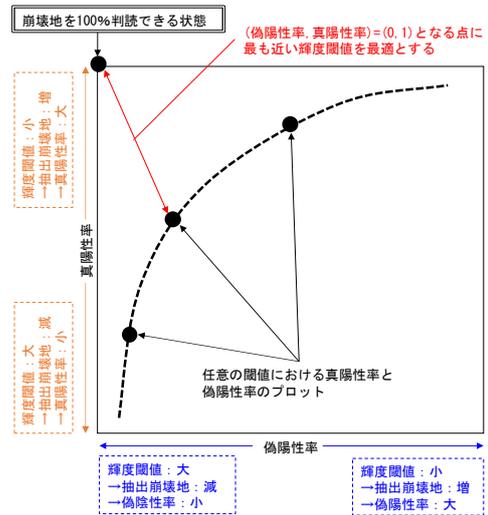


図 13 ROC 曲線による最適値検討のイメージ

目視で崩壊地と判読されたピクセルに対しての正解率が高く、「偽陽性率」が大きいほど目視で崩壊なしと判読されたピクセルが画像解析では誤って崩壊地と判別され不正解率が大きいことを示す（図 13）。

(2) 緑川ダム流域における崩壊地の動向

緑川ダム流域は流域面積が大きく、流域全体をカバーする航空写真を収集することが困難であった。そのため、2013 年以前に得られた航空写真を組み合わせ、目視判読による崩壊地の抽出を行った（図 14）。その結果、臼杵八代構造線以南に崩壊地が集中していることを確認したため、当該流域については構造線以南流域に限定して面

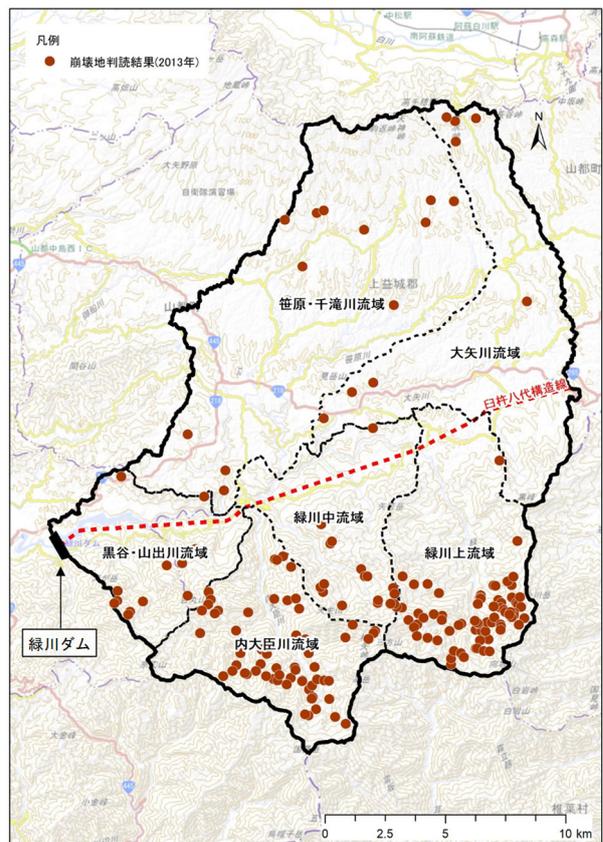


図 14 航空写真解析実施フロー

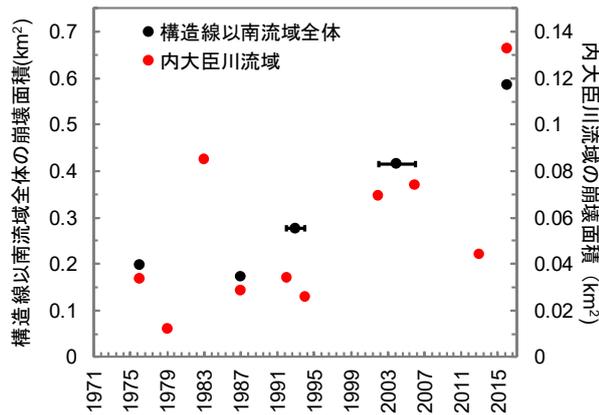


図 15 崩壊地面積の経年変化（緑川ダム流域）

像解析を実施した。

構造線以南流域の航空写真撮影状況を確認した結果、以南流域全体を撮影していたのは 5 セットのみであったが、小流域の内大臣川流域に限定すると 10 セットの画像が得られた。

上記の方法に沿って構造線以南流域と内大臣川流域のそれぞれについて画像解析から推定された崩壊地面積を図 15 に示す。両流域の面積比がおおよそ 5:1 であることを考慮して同図の縦軸スケールはそれぞれの流域別に設定されている。これより両流域の崩壊地面積の経年変化特性は非常に類似しており相関性が高いことが確認されたため、内大臣川流域の崩壊地面積の経年変化は構造線以南流域、さらには緑川ダム流域全体の崩壊地面積の経年変化を概ね代表している可能性が高いと考えた。

(3) 寒河江ダム流域における崩壊地の動向

寒河江ダム流域では流域全体をカバーする航空写真の組合せが 4 セット得られ、その航空写真の画像解析から推定された崩壊地面積を図 16 に示す。寒河江ダム流域は豪雪地帯であるため、豪雨による斜面崩壊に加えて、雪崩による斜面崩壊を考慮する必要があるが、後者による崩壊地形の特徴と土砂生産量が小さいことを勘案して、降雨起因の崩壊地面積のみを抽出した。寒河江ダム流域では崩壊地面積が経年的に増加している。

5. 緑川ダム貯水池における堆砂量の推定

上記で記述した通り、本研究では貯水池堆砂量を「崩壊

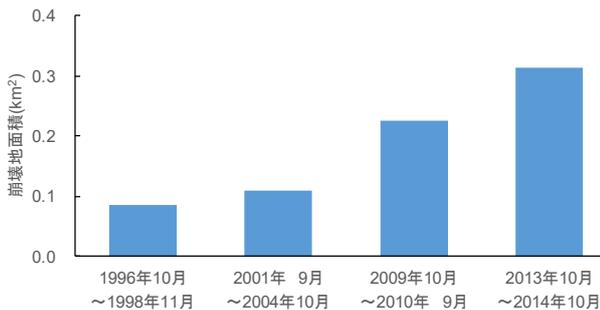


図 16 崩壊地面積の経年変化（寒河江ダム流域）

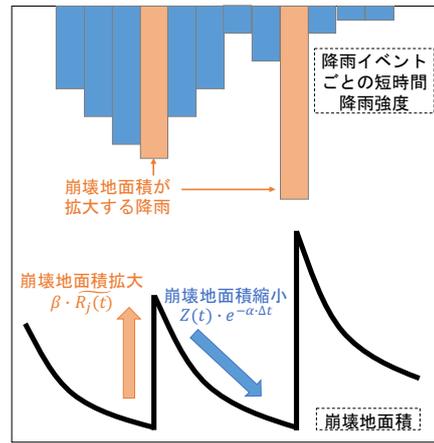


図 17 崩壊地モデルによる経年変化のイメージ

地モデル」と「溪流モデル」により推定する。両モデルの考え方と緑川ダム流域の検討結果を以降に示す。

(1) 崩壊地モデルによる生産土砂量の推定

a) 崩壊地モデルの概念

崩壊地モデルは個々の崩壊地の拡大・縮小を記述するのではなく、流域内崩壊地の総面積のみの増減を考え、流域での土砂生産速度が崩壊地総面積に比例すると仮定する。崩壊地モデルでは、ある時刻 t における崩壊地面積 $Z(t)$ は主に土壌水分、降雨強度、植生回復とともに変動する。まず、地盤が飽和に至る降雨継続時間 T_{sa} とその累積雨量 R_{sa} (以下、飽和雨量) を雨量・流出高時系列から求め、 R_{sa} を越える降雨イベントの中からさらに j 時間雨量強度 $\widetilde{R}_j(t)$ がある閾値 R_{jc} (以下、斜面崩壊雨量強度) を越える降雨事象を抽出し $Z(t)$ の経時変化を式(1)であらわす。

$$Z(t+\Delta t) = Z(t) \cdot e^{-\alpha \Delta t} + \beta \cdot \widetilde{R}_j(t) \quad (1)$$

ここに、 α は植生回復にともなう $Z(t)$ の減少率、 β は降雨 $\widetilde{R}_j(t)$ による $Z(t)$ の増加率、 Δt は積分時間間隔である。

$\widetilde{R}_j(t) \geq R_{jc}$ の時に斜面が崩壊して式(1)右辺第 2 項にしたがい $Z(t)$ は増加するが、 $\widetilde{R}_j(t) < R_{jc}$ の場合には、 $\widetilde{R}_j(t) = 0$ であり式(1)右辺第 1 項のように植生回復にともなう $Z(t)$ は指数関数的に減少する (図 17)。

b) 飽和雨量の設定

式(1)のうち、降雨に関するパラメータである R_{sa} 、 R_{jc} を設定する。緑川ダム流域については、ダム竣工後の 45 年間に於いてダム流入量のピーク値が 500 m³/s 以上の出水

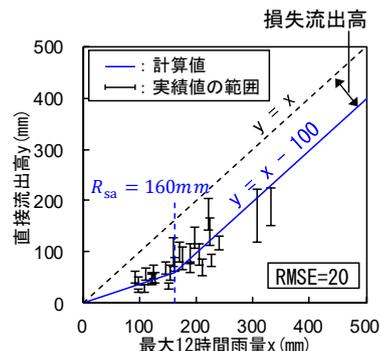


図 18 飽和雨量の検討結果（緑川ダム流域）

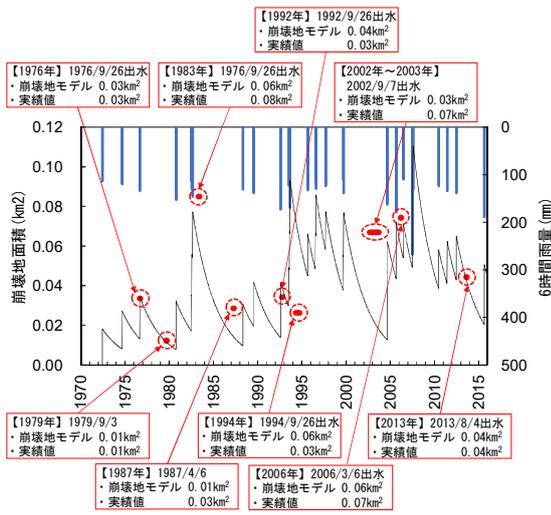


図 19 崩壊地モデルの再現性 (緑川ダム流域)

イベントのうち降雨波形と流量波形の対応が明確な28イベントを抽出した。続いて、6, 9, 12, 24, 48時間に対する累積降雨量と累積流出高との相関性を調べた結果、図18に示すように12時間雨量の場合に最も高い相関性が見られた。同図より、飽和雨量を $R_{sa} = 160 \text{ mm}$ と定め、崩壊地面積拡大の生起条件量を $R_{12}(t) > 160 \text{ mm}$ と設定した。

c) 崩壊地モデルの検討

斜面崩壊は比較的短時間の豪雨がトリガーとなって発生すると考えられるが、その時間スケールと強度の閾値は未知数である。そこで1, 3, 6, 12, 24 hrの時間雨量時系列 $R_j(t)$ に対し、図15の $Z(t)$ の実績値と式(1)による推定値が最も適合するモデル・パラメータの組み合わせ [$j=3 \text{ hr}$, $R_{jc}=35 \text{ mm}$, $\alpha=1.0 \times 10^{-3}$, $\beta=1.4 \times 10^{-3}$] が得られ、その再現値と実績値との比較を図19に示す。

(2) 溪流モデルの検討

「流域-ダム」をつなぐ河道システムを仮想的な一つの溪流区間に集約し、ある年 τ における溪流土砂貯留量 $S(\tau)$ を流域の年間生産土砂量 $Q_{in}(\tau)$ と溪流区間からの年間流出土砂量 $Q_{out}(\tau)$ により次式であらわす。

$$\frac{d}{d\tau} S(\tau) = Q_{in}(\tau) - Q_{out}(\tau) \quad (2)$$

ここに、 Q_{in} は式(1)の $Z(t)$ と年間土砂流出高 $k[\text{m/year}]$ を用いて次式で与えられる。

$$Q_{in}(\tau) = k \int_{\tau}^{\tau+1} Z(t) dt \quad (3)$$

$Q_{out}(t)$ は、溪流貯留土砂量 $S(\tau)$ の代数関数 (以下、土砂貯留関数) として次式であらわされる。

$$Q_{out}(\tau) = C_1 \cdot f_r(\tau) \cdot S(\tau)^p \quad (4)$$

ここに、 (C_1, p) はモデル定数である。

貯水池堆砂量 $V_s(\tau)$ は次式から算出される。

$$V_s(\tau) = \int_{t_0}^{\tau} Q_{out}(\tau) d\tau \quad (5)$$

表 1 降水量を用いた粗粒化指数の変化の過程

条件	A_r 値の変化	数式
$V_R(\tau-1) < V_{R1}$	A_r 不変	$A_r(\tau) = A_r(\tau-1)$
$V_{R1} < V_R(\tau-1) < V_{R2}$	A_r 増加	$A_r(\tau) = \gamma_1 A_r(\tau-1)$ $\gamma_1 > 1$
$V_{R2} < V_R(\tau-1)$	A_r 減少	$A_r(\tau) = \gamma_2 A_r(\tau-1)$ $0 < \gamma_2 < 1$

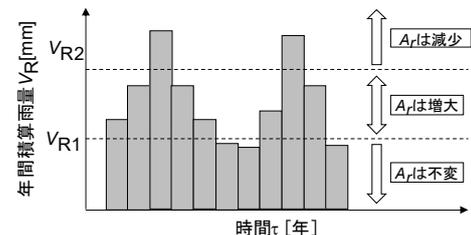


図 20 年間積算雨量と粗粒化指数の変化

ここに、 t_0 はダム管理の開始年である。

式(4)の $f_r(\tau)$ は当概年 τ の降雨履歴に応じて0~1の範囲で変化する次の重み係数である。

$$f_r(\tau) = \frac{\tanh\{a(r(\tau) - r_c(\tau))\} + 1}{2} \quad (6)$$

ここに、 $r(\tau)$ は土砂輸送をもたらす時間降雨強度の年間累積値であり、 $f_r(\tau)=0.5$ に相当する $r(\tau)$ を $r_c(\tau)$ とおく。

出水履歴に応じて溪流区間の貯留土砂粒度が変化することを考慮し、小さな出水イベントが継続する年では $r_c(\tau)$ を小さく設定して、大きな出水イベントが顕著な年には $r_c(\tau)$ を大きく設定する。これにより、前者の場合には貯留土砂の粗粒化が進み Armor Coat が発達するため $f_r(\tau)$ が小さく土砂流出 Q_{out} は抑制されるが、後者の場合には Armor Coat を含む貯留土砂が大量に流送され Q_{out} は増加する。以上のように、 $r_c(\tau)$ は貯留土砂の粒度を反映した溪流貯留土砂の移動限界をあらわすパラメータであり、出水履歴を反映した粗粒化指数 $A_r(\tau)$ を用いて次式のようにモデル化される。

$$r_c(\tau) = (r_{c-max} - r_{c-min}) \{ 1 - e^{-A_r(\tau)} \} + r_{c-min} \quad (7)$$

ここに、 r_p mm 以上の降雨時系列 $r(t) > r_p$ より年間雨量積算値 $V_R(\tau)$ を算出し、貯留土砂の粒度変化を規定する $V_R(\tau)$ の上下限閾値 (V_{R1}, V_{R2}) との比較から、(i) $V_R(\tau) < V_{R1}$ (小規模出水年) の時、粒度組成は変化せずに $A_r(\tau)$ は前年と同一値をとり、(ii) $V_R(\tau) > V_{R2}$ (大規模出水年) では、粗粒層とともに貯留土砂が流失して細粒化が進み $A_r(\tau)$ の前年値に比率 $\gamma_2 (0 < \gamma_2 < 1)$ を乗じて $A_r(\tau)$ は減少する。さらに、(iii) $V_{R1} \leq V_R \leq V_{R2}$ (中規模出水年) では粗粒化が進むために $A_r(\tau)$ は前年度値の γ_1 倍 ($\gamma_1 \geq 1$) に増加すると設定した (表1及び図20)。

(3) 貯水池堆砂量推定モデルの構築

前節までに述べてきた溪流モデルは多数のモデルパラメータを含んでおり、それらの組み合わせを決定することは容易でない。そこで以下では、観測データと物理的考察に基づき各パラメータの数値範囲を仮定したうえで適当なパラメータの刻み幅で多数のシミュレーションを行い、パラメータの最適な組み合わせを求めた (表2)。そ

表2 同定されたモデルパラメータ (緑川ダム流域)

パラメータ	検討範囲	刻み	最終値
S_{1971}	$1.0 \times 10^6 \sim 2.0 \times 10^6$	0.1×10^6	1.5×10^6 [m]
C_1	0.001 ~ 0.100	0.001	0.100
p	1.1 ~ 1.4	0.1	1.2
V_{R1}	90 ~ 150	10	100[mm]
V_{R2}	250 ~ 450	50	400[mm]
A_{r0}	0.8 ~ 1.2	0.1	0.8
γ_1	1.1 ~ 1.5	0.1	1.2
γ_2	0.1 ~ 0.9	0.1	0.5
a	0.001 ~ 0.010	0.001	0.005
$r_{c \cdot \max}$	300 ~ 800	50	500[mm]
$r_{c \cdot \min}$	40 ~ 120	10	90[mm]

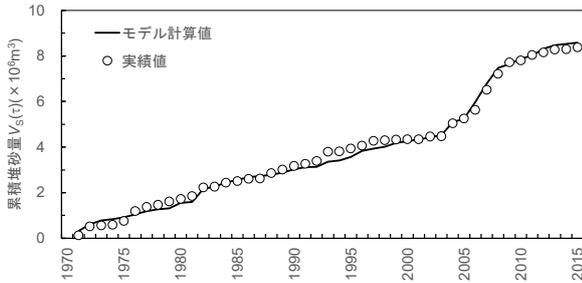


図21 貯水池堆砂量モデルによる堆砂量の再現性 (緑川ダム流域)

の結果、図21に示すようにモデル計算値と実績値は1オーダー以内に収まっており、特に緑川ダムの特徴である2004年以降の堆砂速度の上昇が精度よく再現されていることから本モデルの再現性は十分に高いと判断された。

6. 寒河江ダム流域における堆砂量の推定

緑川ダム流域と同様に寒河江ダム流域でも貯水池堆砂量推定モデルを検討した。

(1) 崩壊地モデルの構築

崩壊地モデルを構築するために降雨パラメータを決定する。まず、表層崩壊を規定する飽和雨量 R_{sa} と雨量強度限界値 R_{jc} を求めるためにダム竣工以降に観測されたピーク流入量が $300 \text{ m}^3/\text{s}$ を越える47イベントを対象に、降雨継続時間 $T_{sa}=6, 12, 24, 48 \text{ hr}$ の「降雨量-流出高」の相関性を調べた。その結果、図22に示すように $T_{sa}=48 \text{ hr}$ の場合に最も高い相関性が得られ飽和雨量 $R_{sa}=120 \text{ mm}$ を得た。次に、表層崩壊を誘発する雨量強度限界値 R_{jc} を定めるために、1, 3, 6, 12, 24 hr の時間雨量時系列 $R_i(t)$ に対し、図16の $Z(t)$ の実績値と式(1)による推定値が最も適合す

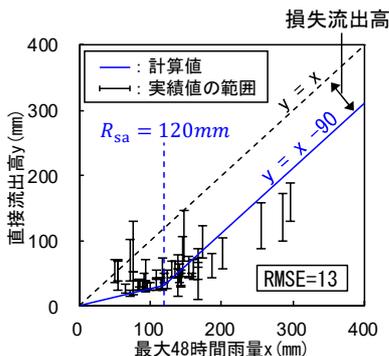


図22 飽和雨量の検討結果 (寒河江ダム流域)

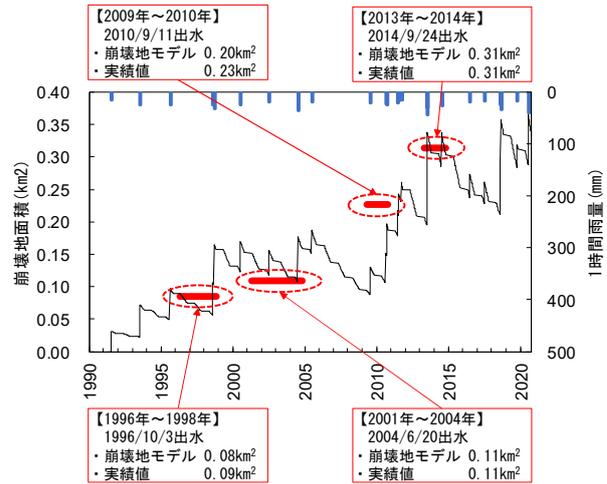


図23 崩壊地モデルの再現性 (寒河江ダム流域)

るモデル・パラメータの組み合わせ [$j=3 \text{ hr}$, $R_{jc}=35 \text{ mm}$, $\alpha=1.0 \times 10^{-3}$, $\beta=1.4 \times 10^{-3}$] が得られ、その再現値と実績値との比較を図23に示す。

(2) 渓流モデルの構築

渓流モデルについて最適なパラメータの組合せを検討した結果を表3に示す。その結果、図24に示すようにモデル計算値と実績値は1オーダー以内に収まっており、寒河江ダムでも再現性は十分に高いと判断された。

7. ダム堆砂量に及ぼす気候変動の影響評価

2つのダム貯水池の堆砂動向が本モデルにより概ね再現されたことから、このモデルを用いて貯水池堆砂に及ぼす気候変動の影響を推算した。

(1) 検討対象とする気候変動シナリオ

IPCCの第6次評価報告書によれば全球平均気温が1850年に比べて2011~2020年で 1.09° 上昇し、陸域の平均降

表3 同定されたモデルパラメータ (寒河江ダム流域)

パラメータ	検討範囲	刻み	最終値
S_{1991}	$0.8 \times 10^6 \sim 1.5 \times 10^6$	0.1×10^6	0.9×10^6 [m]
C_1	0.001 ~ 0.100	0.001	0.007
p	1.1 ~ 1.4	0.1	1.4
V_{R1}	160 ~ 240	10	250[mm]
V_{R2}	280 ~ 360	10	290[mm]
A_{r0}	0.8 ~ 1.2	0.1	1.2
γ_1	1.1 ~ 1.5	0.1	1.4
γ_2	0.1 ~ 0.9	0.1	0.7
a	0.001 ~ 0.010	0.001	0.010
$r_{c \cdot \max}$	50 ~ 200	10	150[mm]
$r_{c \cdot \min}$	0 ~ 50	10	10[mm]

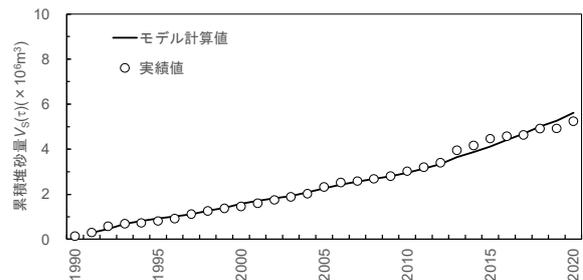


図24 貯水池堆砂量モデルによる堆砂量の再現性 (寒河江ダム流域)

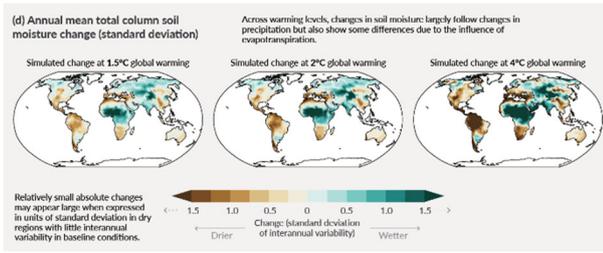


図 25 IPCC-AR6 による年平均降水量の変化の予測⁶⁾

表 4 引き伸ばし倍率

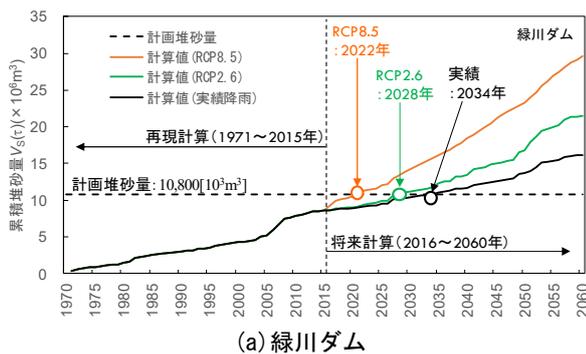
シナリオ	RCP2.6	RCP8.5
雨量強度	1.1	1.3
流量	1.2	1.4

水量について今世紀末には 1995～2014 年と比べて最大で 13%増加すると予想されている (図 25)。これらの IPCC による報告を受け、国土交通省では表 4 に示す気候変動シナリオを想定し降雨変化倍率と流量変化倍率の予測に基づく治水計画の改定を検討中である。

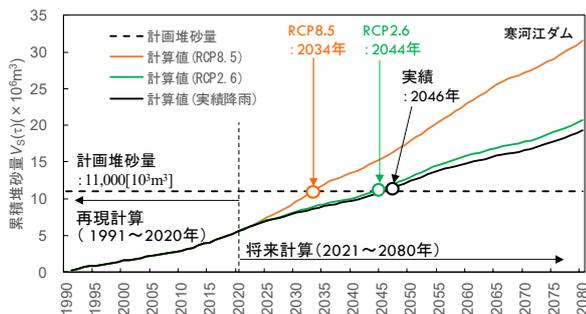
そこで本研究では表 4 の降雨変化倍率を実績降雨量に乗じて貯水池堆砂量に及ぼす将来気候の影響を検討した。なお、ここでの検討は 5 章及び 6 章の解析終了年に降雨倍率 (1.1 倍, 1.3 倍) を考慮した雨量時系列を追加することし、比較のため実績降雨をそのまま追加する場合も計算している。なお、近年の実績雨量には気候変動の影響がすでに反映されている可能性も否定できないが、本研究では試算的な感度分析として実績雨量時系列に降雨倍率を便宜的に乗じるにより堆砂量に及ぼす降雨量の変化の影響を評価する。

(2) 堆砂量に及ぼす気候変動の影響

将来気候の計算結果を図 26 に示しており、緑川ダムで



(a) 緑川ダム



(b) 寒河江ダム

図 26 気候変動が堆砂量に及ぼす影響

は RCP8.5 の下で実績降雨で計算した時の 1.8 倍の堆砂量が推定された。これは、これまでと同等の降雨が将来発生した場合には、計画堆砂量に到達するまでの期間として計画されていた 100 年が 63 年まで短縮され、RCP8.5 (降雨倍率 1.3) の下では 51 年までさらに短縮されることを意味する。一方、寒河江ダムでは計画堆砂量に到達するまでの期間として計画されていた 100 年について、これまでと同等の降雨が将来発生した場合は 56 年、RCP8.5 の下では 44 年まで短縮される結果となった。

本研究で構築した貯水池堆砂量推定モデルの活用方法として将来計算の一例を提案し、今後のダム管理戦略 (堆砂対策, 弾力的管理, ハイブリッド化, 維持管理費削減等) を進めるための有力な技術手段となり得ることを示した。

8. 結論

(1) 本研究の結論

本研究ではこれまで検討されてきたダム貯水池の堆砂量予測モデルよりも汎用性・実用性の高いモデルの提案を目指し、崩壊地の消長を降雨時系列から再現して土砂生産量を推定する崩壊地モデルと、溪流区間の土砂収支を土砂貯留関数で記述する溪流モデルを組み合わせ、パラメータの集中化を図ることにより可能な限り作業を簡素化した堆砂量予測モデルを開発した。さらに、本研究で構築した貯水池堆砂量推定モデルの活用方法として将来計算の一例を提案し、今後のダム管理戦略を進めるための有力な技術手段となり得ることを示した。

(2) 課題と展望

本研究では特に予測モデルの実用性を重視し、パラメータの集中化を図ることによりモデルの構成を簡素化することに傾注した。しかしながら、本モデルにも流砂現象に関わる諸仮説や流域ごとに設定すべきパラメータが少なからず含まれており、今後さらに多くのダム流域での適用実績を重ね、モデルの汎用性・実用性を向上することが必要であると考えている。

参考文献

- 国土交通省九州地方整備局：令和 2 年度九州地方ダム等管理フォローアップ委員会緑川ダム定期報告書 (案)【概要版】，2021
- 江頭進治, 松木 敬：河道貯留土砂を対象とした流出土砂の予測法，水工学論文集，735-740，1999
- 高秀秀信, 九津見生哲, 藤沢 寛：水系における土砂動態システムについて，第 27 回水理講演会論文集，767-772，1983
- 丸山知己：砂防学，朝倉書店，2019
- 大矢通弘, 角哲也, 嘉門雅史：ダム堆砂の性状把握とその利用法，ダム工学，Vol.12, No.3, p.174-187，2002
- IPCC：Summary for Policymakers，Climate Change 2021