

## 阿武隈川水系における流木流出特性の解明

東北大学 学生会員 ○阿部 祐太  
 東北大学 正会員 小森 大輔  
 東北大学 学生会員 中村 雅志

## 1. 背景・目的

Komori *et al.*<sup>1)</sup> は、流木流出には降水イベント時の流木発生を伴う大規模流木流出と、通常時の流域内に堆積した流木が再移動する基底流木流出の2種類の流木流出特性を反映させた貯留関数モデルを世界で初めて提案した。そして、岩手県の北上川流域における5つのダム流域を対象として検証を行った結果、4つのダム流域において再現性を得ている。

以上の背景から、本研究においては北日本内における流木流出特性の違いを明らかにするため、七ヶ宿ダム流域と摺上川ダム流域を対象に以下の2点を目的とした。

- 1) 貯留関数モデルを適用し、阿武隈川水系における流木流出メカニズムを理解する。
- 2) 北上川水系のダム流域における貯留関数モデルの適用結果と比較し、阿武隈川水系における流木流出の特徴を解明する。

## 2. 対象地域

対象とした七ヶ宿ダムは宮城県刈田郡七ヶ宿町、摺上川ダムは福島県福島市飯坂町に位置しており、阿武隈川水系に属する。直接流域面積は七ヶ宿ダム流域が236.6 km<sup>2</sup>、摺上川ダム流域が160.0 km<sup>2</sup>である。また、解析に必要な流出流木量の観測値データを国土交通省より入手した。



図-1 対象地域

## 3. 手法

流出流木量推定のための、Komori *et al.*と同様の手順を下記(1)、(2)に示す。

## (1) 発生流木量の推定

## a) 降水量

年最大降水イベントを流木が発生するイベントと仮定した。流域に隣接する AMcDAS 観測所による降水量の観測値の平均値から、流域平均24時間降水量を算出しその値が最大となる時間を各年の流木が発生するイベントとした。そのイベントにおける観測値から、逆距離加重法を用いて流域内年最大24時間降水量分布を作成した。

## b) 傾斜度

MERIT DEM<sup>2)</sup> (3秒解像度) から、GISを用いて50mメッシュの傾斜度を算出した。

## c) 土質パラメータ

Moriguchi *et al.*<sup>3)</sup>に倣い、USDAによる12区分の土壌分類ごとの土質パラメータを設定した。土壌分布はISRICの公開する250m解像度のデータを用いた。

## d) 地下水浸透高

Rosso *et al.*<sup>4)</sup>に基づき、表層土における地下水浸透高  $h$  を次のように算出した。

$$ap - q = \frac{dS}{dt} = a \times \frac{e}{1+e} \times (1 - S_r) \times \frac{dh}{dt} (h \leq D) \quad (1)$$

$$ap - q - r = 0 \quad (h > D) \quad (2)$$

ここで、 $a$ : 表面積 (mm<sup>2</sup>)、 $p$ : 降水量 (mm/day)、 $q$ : 地下水流出量 (mm<sup>3</sup>/day)、 $S$ : 貯留量 (mm<sup>3</sup>)、 $e$ : 間隙率(-)、 $S_r$ : 飽和度(-)、 $h$ : 表層土の地下水浸透高 (mm)、 $D$ : 表層土厚 (mm)、 $r$ : 地表面流出量 (mm<sup>3</sup>/day) である。また、ダルシー則より、式(3)が成り立つ。

$$q = (wh \cos \beta) K \tan \beta \quad (3)$$

ここで、 $w$ : 幅 (mm)、 $\beta$ : 傾斜度 (rad)、 $K$ : 透水係数 (mm/day) である。さらに、式(1)、(3)を用いて初期状態において表層土に地下水が浸透していない状態を仮定し、 $h$  は式

(4) のように表される.

$$h = \frac{ap}{Kwsin\beta} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{1+e}{e-eS_r} \frac{Twsin\beta}{aD} t\right) \right] \quad (4)$$

**e) 安全率 (FS)**

Chaithong *et al.*<sup>5)</sup>に基づき, 式 (5) を用いた.

$$FS = \frac{c' + [(h\gamma_{sat}) + (D-h)\gamma_t - (\gamma_w h)] \cos^2 \beta \tan \phi'}{[(h\gamma') + (D-h) + (\gamma_w h)] \sin \beta \cos \beta} \quad (5)$$

ここで,  $c'$ : 粘着力 ( $\text{kN}/\text{m}^2$ ),  $\gamma_{sat}$ : 飽和単位体積重量 ( $\text{kN}/\text{m}^3$ ),  $\gamma_t$ : 湿潤単位体積重量 ( $\text{kN}/\text{m}^3$ ),  $\gamma_w$ : 水中単位体積重量 ( $\text{kN}/\text{m}^3$ ),  $\phi'$ : 内部摩擦角 (rad) である. 解像度は 50m とし,  $FS < 1$  となった箇所を斜面崩壊箇所とした.

**(e) 発生流木量**

国土数値情報の公開する森林地域データを用いて, 斜面崩壊箇所のうち森林地域内に該当するものを抽出し, 総メッシュ数を算出した. これと, Crowther *et al.*による Global density map (2015) から得られる森林密度を乗じて発生した流木の本数を算出し, 現地調査から得た流木 1 本あたりの体積を乗じて, 発生流木量を算出した.

**(2) 流出流木量の推定**

1 段目のタンクにおいては, 大規模流木流出として流出する様子を以下の式のように表現した.

・  $S_1(m) \geq Z$  のとき

$$q_1(m) = S_1(m) - Z \quad (6)$$

$$P_{inf}(m) = b \times Z \quad (7)$$

・  $S_1(m) < Z$  のとき

$$q_1(m) = 0 \quad (8)$$

$$P_{inf}(m) = b \times S_1(m) \quad (9)$$

また,

$$\frac{dS_1}{dt} = \frac{P(m) - P_{inf}(m)}{dt} \quad (10)$$

ここで,  $q_1$ : 1 段目からの流出流木量 ( $\text{m}^3$ ),  $S_1$ : 1 段目の貯留流木量 ( $\text{m}^3$ ),  $Z$ : 1 段目のタンクの容量 ( $\text{m}^3$ ),  $P_{inf}$ : 1 段目から 2 段目への輸送流木量 ( $\text{m}^3$ ),  $b$ : 係数,  $P$ : 発生流木量 ( $\text{m}^3$ ),  $m$ : 年次 (-) である.

2 段目のタンクにおいては, 基底流木流出として流出する流木を式 (11), (12) のように表現した.

$$\frac{dS_2}{dt} = \frac{P_{inf} - q_2}{dt} \quad (11)$$

$$S_2 = k \times q_2^p \quad (12)$$

ここで,  $q_2$ : 2 段目からの流出流木量 ( $\text{m}^3$ ),  $S_2$ : 2 段目の貯留流木量 ( $\text{m}^3$ ),  $k$ : 係数である.

以上の式を用いて, 二乗差分平均誤差(RMSE)が最小と

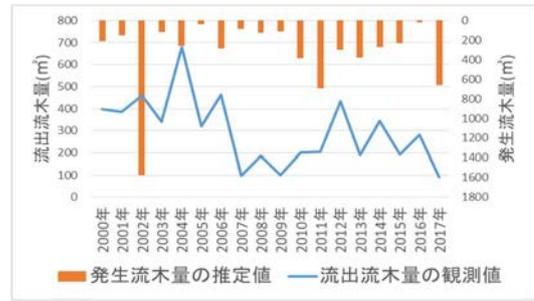


図-2 セヶ宿ダム流域における発生流木量の推定値と流出流木量の観測値

なるようにパラメータ  $b, Z, k, p$  の同定を行い, NS 係数を用いて再現性を評価した.

**4. 結果と考察**

図-2 に, セヶ宿ダム流域における発生流木量の推定値と流出流木量の観測値の関係を表したグラフを示す. このグラフから, 2002 年に発生した流木が森林内に蓄積され, 2004 年に流出したことが推察される. また, 貯留関数モデルを用いて検証し比較を行った.

**謝辞:**本研究の一部は, 一般財団法人河川情報センター, 科学研究費補助金 (代表: 小森大輔: 19H02395) の支援により実施された. ここに記し, 感謝の意を表す.

**参考文献**

- 1)Komori,D.Sukegawa,Y.Chaithong,T.Kazama,S:(2021)Modelling of large wood export at a watershed scale.Earth Surface Processes and Landforms, 1-9,doi : 10.1002/esp.5282
- 2)Yamazaki,D.Ikeshima,D.Tawatari,R.Yamaguchi,T.Fiachra O'Loughlin. Jeffery C. Neal. Christopher C. Sampson.Kanae,S.Paul-D.Bates:(2017)A high-accuracy map of global terrain elevations, Geophysical Research Letters doi:10.1002/2018GL072874
- 3)Moriguchi,S.Lemuel,N.Hashimoto,M.Terada,K:(2021)Mapping method of rainfall-induced landslide hazards by infiltration and slope stability analysis Landslides, vol18,p2039-2057
- 4)Rosso,R.. Rulli,M.C. Vannucchi,G:(2006)A physically based model for the hydraulic control on shallow landsliding, Water Resoures Research Special Collection vol.42,W06410,doi:10.1029/2005WR004369
- 5)Chaithong,T,Komori,D:(2017)Hydrogical geotechnical model to assess the extreme rainfall-induced shallow landslides, 地球環境研究論文集 Vol.73,No.3,pp.1\_223-228