

## 流出モデルを用いた土地利用・植生変化による中小河川への影響評価

東北大学大学院工学研究科	学生会員	○千葉	皓太
東北大学大学院工学研究科	学生会員	柳原	駿太
東北大学大学院工学研究科	正会員	風間	聡
東北大学大学院工学研究科	正会員	会田	俊介

## 1. 背景と目的

近年、日本において毎年のように豪雨災害が発生しており、今後も水害の激甚化・頻発化が予想される<sup>1)</sup>。また、人口減少に伴い地方部において税収は減少し、インフラ施設の維持管理は困難になる<sup>2)</sup>。将来の河川管理において、低コストによる激甚災害に対応する必要に迫られることが想定される。人口減少の激しい中小河川において、管理を行わないことも将来必要に迫られるかもしれない。河川管理放棄の検討を行う研究は行われておらず、人口減少に伴う水文過程の変化は不明な点が多い。人口減少は、田畑や居住地の放棄等の土地利用変化や森林放棄による植生変化を促す。したがって、本研究は、中小河川の土地利用・植生変化による流量の影響評価を目的とする。

## 2. 対象流域

対象流域は山形県上山市を流れる須川の上流域、福島県三島町を流れる只見川に流入する埴子沢・大谷川流域である(図-1)。須川・大谷川は人口減少の予想される流域であり、埴子沢は人口0人にも関わらず、国立環境研究所が流量を観測している希少な流域である。流域面積は、須川において約72.6km<sup>2</sup>、大谷川において約48.6km<sup>2</sup>、埴子沢において約3.1km<sup>2</sup>である。

対象期間は、埴子沢において流量データの存在する2019年7月1日から2020年6月30日までである。

## 3. データセット

解析に使用したデータは、標高、流向、流域、河道、土地利用、気象、流量、浸透能、植生である。解像度を100m×100mとして解析を行った。

## 4. 使用モデル

流出モデルは積雪・融雪モデルと分布型流出モデルにより構成される。



図-1 対象流域地図

## 4.1 積雪・融雪モデル

積雪モデルについて、風間<sup>3)</sup>のSWEモデルおよび全層積雪密度推定モデルを用いた。降水形態は気温2°C以下を降雪、2°Cより高い場合を降雨とした。融雪量について表面融解はdegree hour法を用いて推定され、底面融解は2.0mm/dayとした。

$$SM = K \times T + 2.0/24 \quad (1)$$

ここで、 $SM$ は融雪量(mm/h)、 $K$ は融雪係数(=0.20mm/°C/h)、 $T$ は一時間の平均気温(°C)である。

## 4.2 分布型流出モデル

分布型流出モデルについて、Kazama *et al.*<sup>4)</sup>にならない、直接流出と河川流出を連続の式とManningの式、基底流出において貯留関数法を用いて推定した。

$$\partial A / \partial t + \partial Q / \partial x = (R + SM - R_{in})B \quad (2)$$

$$Q = 1/n B h^{5/3} I^{1/2} \quad (3)$$

$$R_{in} = k_{in} \times h \quad (4)$$

$$\partial s / \partial t = R_{in} - q_b \quad (5)$$

$$s = k_s q_b^{p_s} \quad (6)$$

ここで、 $A$ は断面積(m<sup>2</sup>)、 $B$ はメッシュ幅(m)、 $Q$ は流量(m<sup>3</sup>/s)、 $R$ は降雨量(m/s)、 $R_{in}$ は浸透量(m/s)、 $t$ は時間(s)、

キーワード 人口減少 流出解析 分布型流出モデル 浸透量

連絡先 東北大学 水環境システム学研究室 <http://kaigan.civil.tohoku.ac.jp/kaigan/>

$x$ は流下方向の距離(m),  $k_{in}$ はモデル定数(/s),  $s$ は見かけの貯留高(m),  $q_b$ は基底流の流出高(m),  $k_s, p_s$ はモデル定数である。

浸透量は土地利用ごとに異なる。既往研究の浸透能を参考にした浸透比率 $P_u$ を用いて土地利用ごとに異なる浸透量 $R_{in,u}$ を設定した。

$$R_{in,u} = k_{in,u} \times h \tag{7}$$

$$k_{in} = \frac{1}{\sum_{u=1}^m A_u} \sum_{u=1}^m A_u k_{in,u} \tag{8}$$

$$k_{in,u} = k_{in,1} \times P_u \tag{9}$$

ここで、 $k_{in,u}$ は土地利用 $u$ のモデル定数(/s),  $A_u$ は流域内の土地利用 $u$ のメッシュ数(個),  $k_{in,1}$ は森林のモデル定数(/s)である。

### 5. 結果と考察

流量観測点のある埴子沢流域, 水位観測所のある須川流域において流量の推定値と観測値を比較し, モデル定数の修正を行った。観測値と推定値の誤差指標として Nash-sutcliffe 効率係数(NS 係数)を用いた。埴子沢流域において、 $k_a = 8.0 \times 10^{-5}/s, k = 100.0, p = 0.3$ の際に NS=0.84 となり, 再現性の高い結果が得られた(図-2)。須川流域において、 $k_a = 2.0 \times 10^{-4}/s, k = 40.0, p = 0.5$ の際に NS=0.62 と推定された。

先述のモデル定数を用いて土地利用変化の影響を評価した。全て森林に変化した土地利用かつ植生により覆われた河道を想定し, 解析した。現土地利用と全域を森林とした土地利用の流量増減を調べた。土地利用ごとに浸透量を変化させた場合, 須川の年最大流量は 2.89%減少した(図-3)。年最大流量の減少は洪水リスクを低下させ, 下流の被害軽減を促す。大谷川の年最大流量は 2.58%減少し, 人口減少の激しい2流域において洪水リスクの低下が示された。

上記の想定に加え, 森林の植生が変化した場合の流量を求めた。年最大流量の増減結果は表-1 の通りである。植生が全て広葉樹に変化した場合, 全ての流域の年最大流量は 15%以上増加し, 洪水リスクの増加が示された。一方, 植生が全て針葉樹に変化した場合, 全ての流域の年最大流量は 20%以上減少し, 洪水リスクの低下が示された。森林面積の割合が 8 割以上を占める中小河川流域において, 森林の変化は年最大流量に大きな影響を及ぼす。植生について, 広葉樹と針葉樹に変化した場合の流量増減の大きな傾向を示すことができた。実際の植生変

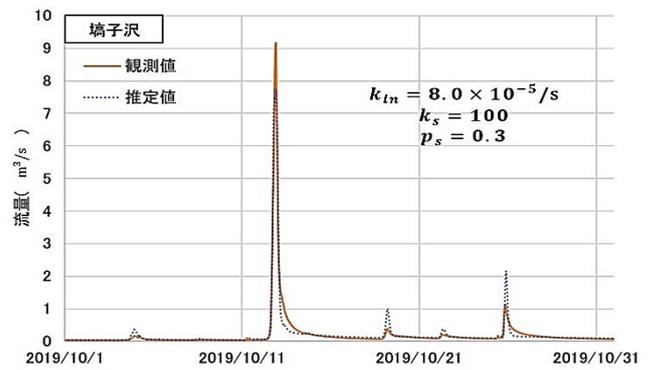


図-2 埴子沢の観測値と推定値のハイドログラフ

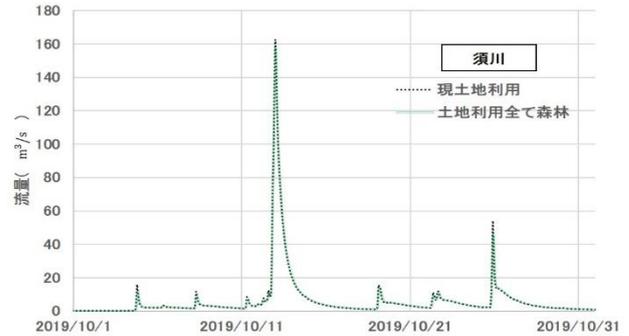


図-3 須川の現土地利用と全て森林の土地利用のハイドログラフ

表-1 植生が変化した場合の年最大流量増減

	植生	須川	埴子沢	大谷川
年最大流量	広葉樹	+37.90	+51.44	+16.24
増減(%)	針葉樹	-23.78	-29.57	-36.37

化はより複雑である。したがって, 今後は対象流域における植生の浸透量や分布等の情報をより細かくモデルに反映し, 植生変化に伴う流量の影響評価を行う。

**謝辞** : 本研究の一部は, 国立研究開発法人国立環境研究所気候変動適応プログラム気候変動影響評価手法の高度化に関する研究プロジェクト PJ-2-6 自治体との連携に基づく気候変動による水災害・水環境影響への適応策の評価の支援により実施された。また, 村山総合支庁河川砂防課と上山市土地改良区, 福島大学流域環境システム研究室からデータを提供して頂いた。最後に, 本研究は科学研究費補助金(20H00256, 代表: 風間聡)の助成を受けたものである。ここに深甚な謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 気象庁, 地球温暖化予測情報, 第9巻, pp.4-6, 2017.
- 2) 国土交通省, 河川維持管理の現状と課題, [https://www.cbr.mlit.go.jp/kawatomizu/kousyukai/pdf/2\\_miyamoto-2.pdf](https://www.cbr.mlit.go.jp/kawatomizu/kousyukai/pdf/2_miyamoto-2.pdf) (2021年3月31日最終閲覧)
- 3) 風間聡: 広域における積雪全層密度推定に関する研究, 水工論文集, 第41巻, pp.245-250, 1997.
- 4) So Kazama, Koji Sakamoto, Golam Saleh Ahmed Salem, Shunsuke Kashiwa, *Improving the accuracy of snow and hydrological models using assimilation by snow depth*, Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, Vol26, No.1, 05020043, 2020.10.29.