

## 蒸発散を考慮した土地利用変化による中小河川の流量の変動評価

東北大学大学院工学研究科  
東北大学大学院工学研究科

学生会員 ○千葉 皓太  
正会員 風間 聡

## 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。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。将来の河川管理において、コストを抑えながら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。

人口減少について考慮して流出解析を行う研究はなく、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。千葉ら<sup>1)</sup>は土地利用毎の浸透量や粗度の違いを考慮し、土地利用変化に伴う中小河川への影響評価を行った。その中で、インプットデータの精度と土地利用変化に伴う浸透以外の要素の考慮が課題として挙げられた。インプットデータの精度向上を早急に行うことは困難である。流出解析において蒸発散を考慮した既往研究は多く存在する。そこで、本研究の目的は、土地利用毎の蒸発散を考慮した流出モデルを構築し、人口減少を想定した土地利用変化による影響予測を行うこととする。

## 2. 対象流域とデータセット

対象流域は山形県上山市から山形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南側から流入する大谷川流域、北側から流入する塙子沢流域である(図-1)。須川・大谷川は将来的に人口減少が予想される流域であり、塙子沢は人口が0人にもかかわらず流量が観測されている希少な流域である。流域面積は、須川が約72.6km<sup>2</sup>、大谷川が約48.6km<sup>2</sup>、塙子沢が約3.1km<sup>2</sup>である。

対象期間は、塙子沢における流量データが存在する2019年7月1日から2020年6月30日までとした。

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、流量である。蒸発散を考慮するにあたり、新たに日照時間、NDVI (Normalized Difference Vegetation Index: 正規化植生指標)データも使用した。NDVIはUSGSより取得したLandsat-8データである。解析メッシュサイズを100m×100mとして解析を行った。



図-1 対象流域地図

## 3. 解析手法

## 3.1 分布型流出モデル

分布型流出モデルについて、千葉ら<sup>1)</sup>にならい、直接流出と河川流出において連続の式とManningの式、基底流出において貯留関数法を用いて推定した。

$$\partial A/\partial t + \partial Q/\partial x = (R + SM - R_{in} - E)B \quad (1)$$

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

ここで、 $A$ は断面積(m<sup>2</sup>)、 $B$ はメッシュ幅(m)、 $R$ は降雨量(m/s)、 $SM$ は融雪量(m/s)、 $R_{in}$ は浸透量(m/s)、 $E$ は蒸発散量(m/s)、 $x$ は流下方向の距離(m)である。

## 3.2 土地利用毎の蒸発散量

浸透量と同様に、蒸発散量は土地利用毎に異なる。蒸発散量は、Hamon式より求まるポテンシャル蒸発散量 $E_p$ と近藤<sup>2)</sup>の考案した無次元蒸発散量 $E/E_p$ との積より求まる。無次元蒸発散量は既往研究<sup>2),3)</sup>において考案された計算式を組み合わせるにより算出した。

$$E = E_p \times E/E_p \quad (5)$$

$$E_p = C_e D_0^2 p_t \quad (6)$$

$$p_t = 217 \times e_{SAT} / (\overline{T_{day}} + 273.15) \quad (7)$$

$$e_{SAT} = 6.11 \times 10^{7.5 \overline{T_{day}} / (\overline{T_{day}} + 237.3)} \quad (8)$$

$$E/E_p = \begin{cases} \frac{0.78}{1 + \exp(LAI(m) - 2.2)} & (\text{森林}) \\ 0.45 + 0.40\{1 - \exp(-1.5LAI(m))\} & (\text{草地}) \\ 0.80 & (\text{水田}) \end{cases} \quad (9)$$

$$LAI(m) = \begin{cases} LAI_{min} & (NDVI < 0.40) \\ \frac{NDVI(m) - 0.40}{NDVI_{max} - 0.40} (LAI_{max} - LAI_{min}) + LAI_{min} & (0.40 \leq NDVI < 0.80) \\ 0.80 & (NDVI \geq 0.80) \end{cases} \quad (10)$$

キーワード 土地利用変化 流出解析 分布型流出モデル 蒸発散

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/>

ここで、 $p_t$  : 月平均気温に対する飽和絶対湿度( $g/m^3$ ),  $e_{SAT}$  : 飽和水蒸気圧(hPa),  $\overline{T_{day}}$  : 日平均気温( $^{\circ}C$ ),  $D_0$  : 可照時間(可照時間が 12 時間のとき,  $D_0 = 1.0$ とした),  $C_E$  : 定数( $=1.62 \times 10^{-3} m^4/s/kg$ ),  $LAI(m)$  : 月別 LAI(葉面積指数, 森林において  $0 \leq LAI \leq 7$ , 草地において  $0 \leq LAI \leq 4.5$ ),  $NDVI(m)$  : 月別 NDVI(正規化植生指標)である. 月別 NDVI について, 図-2 に示す.

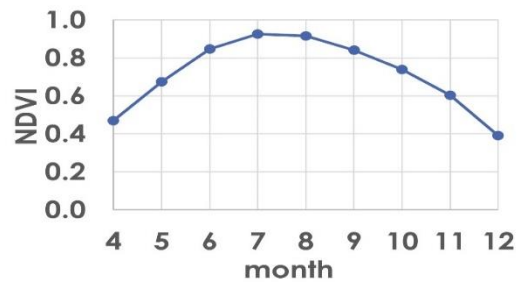


図-2 森林の月別 NDVI

4. 結果と考察

4.1 蒸発散モデルの構築

対象流域毎に蒸発散モデル導入前後の年減少流量と年日照時間を求めた(表-1). 対象流域は面積が大きく異なるため, 年減少流出高について比較した. 須川の減少流出高は大谷川・埴子沢と比べて小さな値である. これは日照時間の差によるものであると考えた. 年日照時間について, 須川と大谷川・埴子沢との間に約 300 時間の差異が見られる. 日照時間は蒸発散量の値に大きな影響を及ぼす. したがって, 年日照時間の少ない須川流域において蒸発散量が少なくなったと考えられる. また, 大谷川と埴子沢の間にも年減少流出高の差異が見られた. 両流域は同様の気象データを用いているため, 土地利用の違いにより流量の差異が生じたと考えた. 大谷川は建物用地など, 蒸発散を考慮していない土地利用が存在する. 一方, 埴子沢はそのような土地利用が存在しない. したがって, 建物用地などの存在する大谷川において蒸発散量が少なくなったと考えられる.

以上より, 気象や土地利用毎の違いを考慮した蒸発散モデルを構築することができたと考えられる.

4.2 土地利用変化

人口が 0 人になった場合, その流域の土地利用は最終的に森林に変化することが想定される. 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年最大流量, 豊水流量, 低水流量の増減を調べた(表-2). 土地利用を変化させた場合, 大谷川の年最大流量は 2.71%減少し, 豊水・低水流量はそれぞれ 2.71%, 1.99%増加した. 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. 豊水・低水流量の増加は流域の流量を安定させ, 豊富な水資源の供給を促す. 須川の年最大流量は 2.89%減少し, 豊水・低水流量はそれぞれ 3.06%, 1.65%増加した. 一方, 埴子沢の年最大流量は 1.19%増加し, 豊水・低水流量はそれぞれ 1.82%, 0.86%減少した. 以上より, 土地利用の森林への変化は人口減少流域に良い影響を及ぼすことが予想される.

本研究において新たに考慮した蒸発散の変化による流量増減を求めた. 蒸発散のみの変化による流量増減は全ての流域において  $10^5 \sim 10^2$  と小さな変化となる. したがって, 土地利用変化に伴う蒸発散のみの影響は小

表-1 年減少流量と年日照時間

|                  | 須川    | 大谷川   | 埴子沢   |
|------------------|-------|-------|-------|
| 年減少流量( $m^3/s$ ) | 168.9 | 529.6 | 43.4  |
| 減少割合(%)          | 0.74  | 4.38  | 5.82  |
| 年減少流出高(mm/year)  | 8.38  | 39.22 | 49.58 |
| 年日照時間(h)         | 1698  | 1963  | 1963  |

表-2 土地利用変化前後の各流量増減

| 変化パラメータ | 年最大流量増減(%)             |                        |                        |
|---------|------------------------|------------------------|------------------------|
|         | 須川                     | 大谷川                    | 埴子沢                    |
| 全て      | -2.89                  | -2.71                  | +1.19                  |
| 蒸発散のみ   | $-4.69 \times 10^{-5}$ | $-8.89 \times 10^{-5}$ | $+4.58 \times 10^{-4}$ |
| 全て      | 豊水流量増減(%)              |                        |                        |
|         | +3.06                  | +2.71                  | -1.82                  |
| 蒸発散のみ   | $-8.88 \times 10^{-5}$ | $-4.63 \times 10^{-3}$ | $+5.78 \times 10^{-3}$ |
| 全て      | 低水流量増減(%)              |                        |                        |
|         | +1.65                  | +1.99                  | -0.86                  |
| 蒸発散のみ   | $+3.41 \times 10^{-2}$ | $-5.81 \times 10^{-2}$ | $+8.84 \times 10^{-2}$ |

さく, 浸透や流下粗度の変化が流量に影響を及ぼすことが示された. 一方, 蒸発散による変化の大きさは低水流量に近づくにつれて増加している. このことから, 蒸発散は低水流量付近により大きな影響を及ぼすと考えられる.

今後は将来的な河川管理の検討を行うため, モデルによる河道貯留の表現に取り組むとともに, 土地利用の段階的な変化の想定などに取り組む.

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る.

参考文献

- 1) 千葉皓太, 上野和輝, 風間聡: 分布型流出モデルを用いた土地利用変化による中小河川への影響予測, 地球環境シンポジウム講演集, 29, pp.117-120, 2021.
- 2) 近藤純正: 種々の植生地における蒸発散量の降水量および葉面積指数への依存性, 水文・水資源学会誌, 第 11 巻, 7 号, pp.679-693, 1998.
- 3) 石井孝, 梨本真, 下垣久: 森林からの蒸発散を考慮した流出量算定手法の開発, 電力中央研究所報告資料, 2002.