

人口減少に伴う土地利用及び河道変化による中小河川の流量変動評価

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少なく、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・風間¹⁾は土地利用毎の粗度、蒸発散量、浸透量の違いを考慮し、土地利用変化に伴う中小河川の流量の変動評価を行った。結果として、人が住まなくなった流域において森林化及び氾濫の発生を誘発することが下流の洪水リスクの低下を促すことを示した。しかし、流域の変化は大規模なものであり、人口減少に伴う段階的な変化の想定が課題として挙げられた。したがって、まずは様々な河道変化に伴う流量の変動評価を行うことを目的とした。

2. 対象流域とデータセット

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塙子沢・大谷川流域である。須川・大谷川は人口減少の予想される流域であり、塙子沢は人口が0人にも関わらず、国立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72.6km²、大谷川において約48.6km²、塙子沢において約3.1km²である。

対象期間は、2019年7月1日から2020年6月30日までである。解析に使用したデータは、表-1に示す通りである。解析メッシュサイズを100m×100mとして解析を行った。

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・風間¹⁾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。

表-1 データセット

項目	データ	備考
気象	降水量	気象庁より取得した解析雨量データから流域のメッシュサイズに合わせて作成
	気温、積雪深、風速、日照時間	須川：山形AMeDAS観測所より取得 塙子沢・大谷川：国立研究所より取得
流量	流量	須川：村山総合支庁河川砂防課より取得した水位データより Manning の式を用いて作成 塙子沢・大谷川：国立研究所より取得
地形	標高	基盤地図情報ダウンロードサービスより取得
	河道、土地利用	国土数値情報より取得
	流向	隣り合う8方向のメッシュの内、標高差が最も大きい方向に流水するよう作成
	流域	流出点（流量観測点）より上流にあり、これらのメッシュへと流出するメッシュ群として作成

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

$$Q = 1/n A^{5/3} I^{1/2} S^{-2/3} \quad (2)$$

$$R_{in} = k_{in} \times h \quad (3)$$

$$\partial s/\partial t = R_{in} - q_b \quad (4)$$

$$s = k_s q_b^{p_s} \quad (5)$$

ここで、Aは断面積(m²)、Qは流量(m³/s)、tは時間(s)、xは流下方向の距離(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)、B_mはメッシュ幅(m)、nはManningの粗度係数(s/m^{1/3})、Iは河床勾配、Sは潤辺(m)、k_{in}はモデル定数(/s)、hは水深(m)、sは見かけの貯留高(m)、q_bは土壌内における流出速度(m/s)、k_s、p_sはモデル定数である。なお、各モデル定数は千葉・風間と同様に、塙子沢・大谷川流域においてk_{in} = 9.0 × 10⁻⁵/s、k_s = 100、p_s = 0.3、須川流域においてk_{in} = 4.8 × 10⁻⁴/s、k_s = 80、p_s = 0.5とした。

3.2 氾濫の想定

人口減少地域において、河川管理が行き届かずに植生が繁茂する状況が見られる。このような変化に伴い、河道内水位は上昇し、氾濫が発生しやすくなる。そのため、河道において氾濫が発生することを想定した。

河道水位が氾濫発生水深を上回る場合に、氾濫が発生する。氾濫した水は河道脇に滞留し、河道水位の低下とともに流下する。しかし、氾濫する流量について正確に想定することは困難である。そのため、河道水位と氾濫原水位の関係から武田ら²⁾にならい越流公式を用いて氾濫により流出する量と河道に戻る量を決定した。

$$Q_o = 0.35B_m \times |h_d| \sqrt{2g|h_d|} \quad (6)$$

$$h_d = h_f + h_o - h \quad (7)$$

ここで、Q_o:越流量(m³/s)、h_dが正の場合河道に流入し、

負の場合河道から流出することとした), h_d : 越流水深(m), h_f : 氾濫原水深(m), h_o : 氾濫発生水深(m)である. なお, 氾濫原水深 h_f について, 以下の式により氾濫面積を仮定して求めた.

$$h_f = V_i/B_m B_f \quad (8)$$

$$B_f = V/L_f(h_{max} - h_o) \quad (9)$$

ここで, V_i : i 時間目の氾濫原の水かさ(m^3), B_f : 河道からの氾濫幅(m), V : h_o を越えた水かさの合計(m^3), h_{max} : 土地利用変化後の最大水深(m), L_f : h_o を越えた河川長の合計(m)である.

4. 結果と考察

4.1 氾濫と土地利用変化による流量の変動評価

人口が0人になった場合, その流域の土地利用は徐々に荒廃し, 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, 解析を行った. 植生により覆われた河道は, 河道粗度を $0.030 \text{ s/m}^{1/3}$ から $0.100 \text{ s/m}^{1/3}$ にすることにより表現した. 現土地利用と全域を森林とした土地利用の年最大, 低水流量の増減を調べた.

土地利用を変化させた場合, 年最大流量は須川において6.85%, 大谷川において6.59%減少した. 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. 渇水流量は須川において1.25%, 大谷川において6.57%増加した. 渇水流量の増加は安定した水資源の供給につながる. 一方, 埴子沢の年最大流量は3.34%増加し, 渇水流量は18.0%減少した. 氾濫は須川・大谷川において発生したが, 埴子沢において発生しなかった.

土地利用が全て森林に変化した場合, 人口減少の予想される2流域において洪水リスクの低下及び水資源の安定化が示された. 一方, 埴子沢において, 洪水リスクの増加及び水資源の不安定化が示された. 現土地利用において須川・大谷川流域の人口は数百人程度であり, 建物用地等の土地利用が存在する. これらの土地利用は森林と比較すると, 貯留機能が低く, 降水はすぐに流出する. これらが森林の土地利用に変化することにより, 貯留機能が高まり, 流出が抑制される. したがって, 須川・大谷川において年最大流量が減少し, 洪水リスクが低下したと考える. 一方, 人口が0人である埴子沢の土地利用は, 森林と田, その他の農用地のみである. 田は森林よりも貯留機能が高く, 田を森林に変化させた場合, 流出が増幅される. したがって, 埴子沢において年最大流量が増加し, 洪水リスクが増加したと考える.

4.2 河道変化による流量の変動評価

河川管理の放棄は, 護岸崩壊や植生の繁茂を促す. 前節の想定に加えて, 川幅の拡幅・縮小, 護岸の切り崩し, 河道粗度の変化を想定した. 川幅と土地利用変化によ

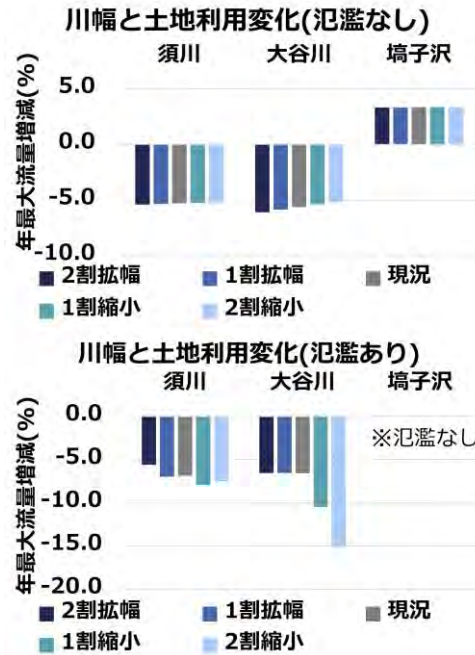


図-1 各流域の川幅と土地利用変化による年最大流量増減の比較

る年最大流量増減の比較結果について図-1に示す. 氾濫を考慮しない場合, 川幅の縮小に伴い年最大流量の減少幅は小さくなる. 氾濫を考慮した場合, 川幅の縮小に伴い年最大流量の減少幅は大きくなる. これは, 川幅の縮小が氾濫を促し, 氾濫原に貯留される量が増加するためである. 加えて, 護岸の切り崩し, 河道粗度の上昇は氾濫を考慮した場合, 下流へのピーク流出を抑制することが示された. 河川管理放棄に伴う河道変化は, 氾濫の発生を促す. 無居住化した中小河川流域を氾濫原として捉え, 氾濫を頻発化させることにより, 下流の洪水リスク抑制につながる可能性がある.

今後は流域の人口動態と土地利用の関係から, 段階的な変化を想定し, それらの変化が下流への流出に与える影響について評価する. 最終的に, 無居住化した中小河川流域における河川管理の検討を行う.

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, 風間聡: 分布型流出モデルを用いた人口減少による中小河川の流量の変動評価, 土木学会論文集(水工学), Vol.78, No.2, pp. I_535-I_540, 2022.
- 2) 武田誠, 上塚哲彦, 井上和也, 戸田圭一, 林秀樹: 都市域における高潮氾濫解析, 京都大学研究所年報, No. 39B-2, pp.499-518, 1996.