

## 26. 分布型流出モデルを用いた土地利用変化による 中小河川流域への影響予測

千葉 皓太<sup>1\*</sup>・上野 和輝<sup>2</sup>・風間 聡<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院 工学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)

<sup>2</sup> 東北大学工学部建築・社会環境工学科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)

<sup>3</sup> 東北大学大学院教授 工学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)

\* E-mail: kota.chiba.r1@dc.tohoku.ac.jp

本研究の目的は、中小河川流域において流出解析を行い、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した。現土地利用と比較して、全域を森林とした土地利用かつ植生により覆われた河道に変化した場合の流量増減を評価した。年最大流量は須川・大谷川において減少し、洪水リスクの低下が示された。森林の植生が変化した場合の流量増減を評価した。植生毎の浸透量を塙子沢・大谷川流域において測定し、モデルに適用した。森林が全て針葉樹となる場合、年最大流量は全ての流域において増加した。森林が全て広葉樹となる場合、年最大流量は全ての流域において減少した。土地利用の森林への変化は流域の洪水リスクを低下させ、植生が広葉樹になる場合、下流の洪水リスクは最も低下した。

**Key Words :** *depopulation, runoff analysis, distributed runoff model, land-use, infiltration*

### 1. 序論

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、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。そこで、本研究の目的は、中小河川流域において流出解析を行い、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(図-1)。須川・大谷川は人口減少の予想される流域



図-1 対象流域分布図

であり、塙子沢は人口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>、塙子沢において約3.1km<sup>2</sup>である。

対象期間は、塙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。

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。解析メッシュサイズを100m×100mとして解析を行った。

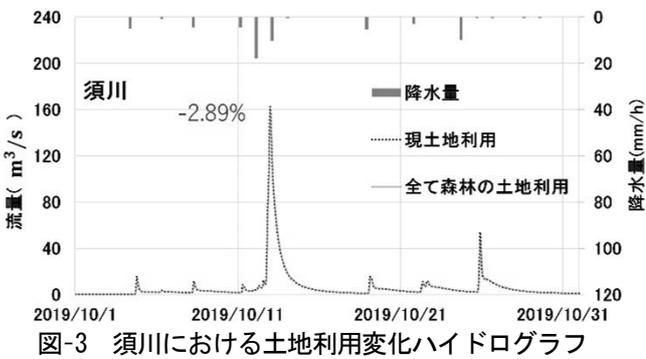
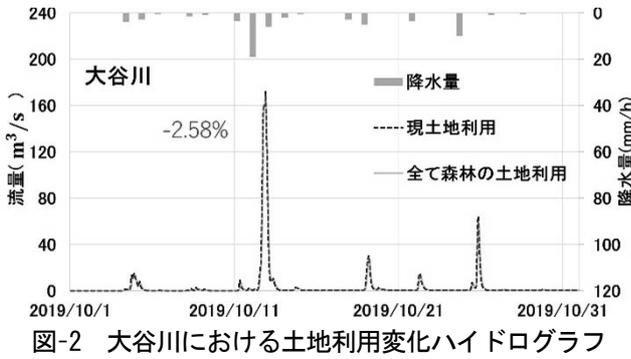


図-2 大谷川における土地利用変化ハイドログラフ

図-3 須川における土地利用変化ハイドログラフ

表-1 埴子沢・大谷川流域における透水試験結果

植生	b	土地利用種別	u	計測地点数	浸透量 $R_{u,b}$ (mm/h)			浸透比率 $P_{u,b}$		
					最小値	最大値	平均値	須川	大谷川	埴子沢
針葉樹	1	森林	1	3	25.74	27.08	26.27	0.74	0.81	0.69
広葉樹	2			6	17.31	89.02	48.94	1.39	1.51	1.29
伐採跡地	3			1	-	-	26.11	0.74	0.80	0.69
低木地	4			1	-	-	26.13	0.74	0.81	0.69

### 3. 解析手法

#### (1) 分布型流出モデル

分布型流出モデルについて、Kazama *et al.*<sup>3)</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。

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

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

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

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

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

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

#### (2) 土地利用・植生毎の浸透量

浸透量は土地利用・植生毎に異なる。既往研究の浸透量<sup>4),5)</sup>を参考にした浸透比率 $P_u$ を用いて土地利用毎に異なる浸透量 $R_{in,u}$ を設定した。埴子沢・大谷川流域において透水試験を行い、試験結果から植生毎の浸透比率 $P_{u,b}$ を算出した。

$$R_{in,u} = k_{in,u} \times h \quad (6)$$

$$k_{in} = \frac{1}{\sum_{u=1}^m A_u} \sum_{u=1}^m A_u k_{in,u} \quad (7)$$

$$k_{in,u} = k_{in,1} \times P_u \quad (8)$$

$$P_u = \frac{1}{\sum_{b=1}^n A_{u,b}} \sum_{b=1}^n A_{u,b} P_{u,b} \quad (9)$$

$$P_{u,b} = CR_{u,b} \quad (10)$$

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( $s$ )、 $A_{u,b}$ は流域内の植生 $b$ のメッシュ数(個)、 $C$ は任意定数( $h/mm$ )、 $R_{u,b}$ は植生毎の浸透量( $mm/h$ )である。

### 4. 結果

#### (1) 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。土地利用毎に浸透量を変化させた場合、大谷川の年最大流量は2.58%減少し(図-2)、豊水・低水流量はそれぞれ2.80%、2.21%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。須川の年最大流量は2.89%減少し(図-3)、豊水・低水流量はそれぞれ2.98%、0.63%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1.66%、1.39%減少した。

#### (2) 現地透水試験

埴子沢・大谷川流域において、モデルに用いる浸透量データを得るため、透水試験を実施した。透水試験はインフィルトローメーターを用いて行った。試験結果を表-1に示す。今回の試験において浸透量の値にばらつきが見られた。浸透量は計測地点の環境や計測方法により異なる値を示す。流出点における流量増減を考える場合、植生毎の浸透量は得られた値の平均をとることにより表現できると考えた。したがって、植生毎の浸透量として、

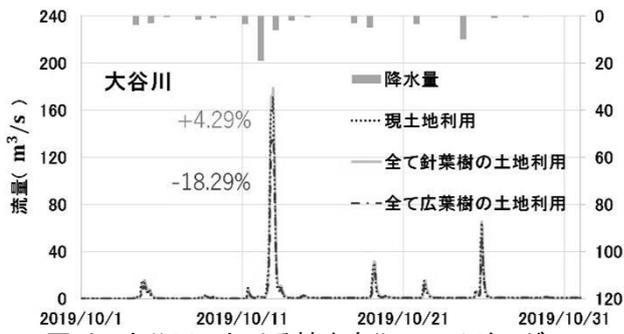


図-4 大谷川における植生変化のハイドログラフ

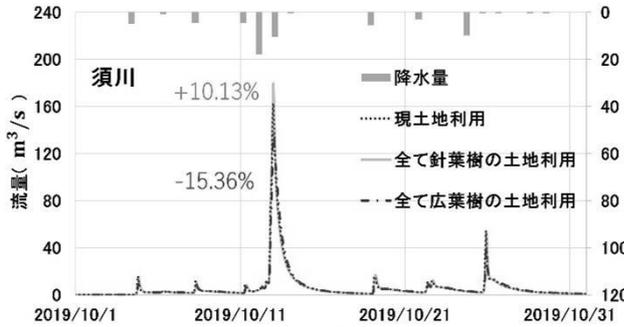


図-5 須川における植生変化のハイドログラフ

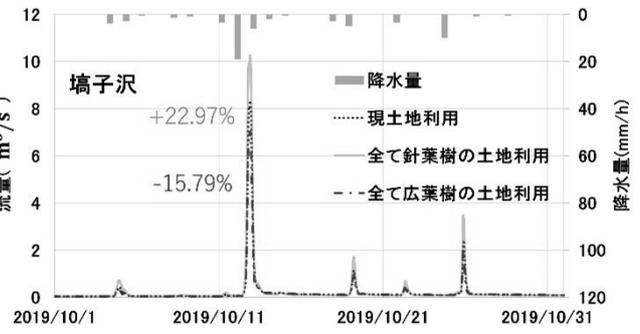


図-6 埴子沢における植生変化のハイドログラフ

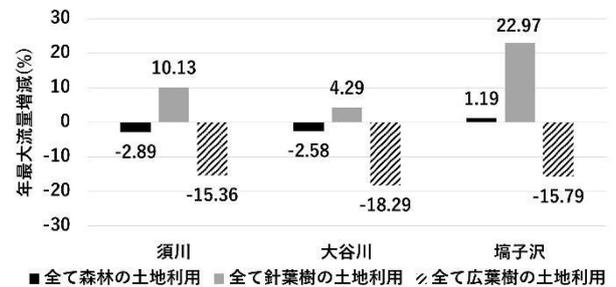


図-7 各流域における年最大流量増減の結果

実測値を植生毎に平均した値を解析に用いた。

安定状態に近い森林の植生において、広葉樹の浸透能が他の植生に比べて高い値を示した。村井<sup>9)</sup>の研究において、広葉樹は最も浸透量の大きいことが示されている。しかし、本研究のような明らかな浸透量の差は生じていない。よく管理された人工林針葉樹は広葉樹と同程度の浸透量を示す。今回の浸透試験を行った場所は管理が十分にされていない。管理放棄人工林は下層植生が貧しく、浸透量が広葉樹ほど高くならない。したがって、広葉樹と比較して針葉樹の浸透量が小さくなったと考える。伐採跡地について、伐採後の時間経過が短く、針葉樹と同程度の値を示した。インフィルトrometerを用いた透水試験において、正確な浸透量の値を得ることは困難であるが、植生毎の相対的な違いを把握することができた。計測地点数を増やし、植生毎の浸透量の違いを詳しく調べることが今後の課題である。

### (3) 森林の植生変化

森林への土地利用変化に加え、森林の植生が変化した場合の流量を求めた。埴子沢・大谷川流域における透水試験結果から、森林の植生が4種類で構成されることを仮定した。現土地利用と全域を針葉樹または広葉樹とした土地利用の流量増減を調べた。

植生が全て針葉樹に変化した場合、全ての流域において年最大流量は増加した。大谷川の年最大流量は4.29%増加し(図-4)、豊水・低水流量はそれぞれ2.66%、11.13%減少した。須川の年最大流量は10.13%増加し(図-5)、豊水流量は1.58%、1.増加、低水流量は2.15%減少した。埴

子沢の年最大流量は22.97%増加し(図-6)、豊水・低水流量はそれぞれ12.00%、14.86%減少した。

植生が全て広葉樹に変化した場合、全ての流域において年最大流量は減少し、豊水・低水流量は増加した。大谷川の年最大流量は18.29%減少し、豊水・低水流量はそれぞれ19.57%、28.38%増加した。須川の年最大流量は15.36%減少し、豊水・低水流量はそれぞれ6.26%、3.63%増加した。埴子沢の年最大流量は15.79%減少し、豊水・低水流量はそれぞれ4.88%、4.88%増加した。土地利用変化と森林の植生変化の各想定における流量増減結果について、図-7に示す。

## 5. 考察

### (1) 土地利用変化

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が示された。一方、埴子沢において、年最大流量は増加し、洪水リスクの増加が示された。現土地利用において須川・大谷川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(表-2)。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、流量のピークの遅滞が起きる。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、洪水リスク

表-2 現土地利用(2016年)の種別割合

土地利用種別	須川		埴子沢		大谷川	
	メッシュ数	割合(%)	メッシュ数	割合(%)	メッシュ数	割合(%)
森林	6251	95.1	287	98.0	4305	98.3
その他の農用地	104	1.6	2	0.7	25	0.6
荒地	104	1.6	0	0.0	11	0.3
田	61	0.9	4	1.4	20	0.5
建物用地	46	0.7	0	0.0	18	0.4
その他の用地	6	0.1	0	0.0	0	0.0

は増加する。したがって、埴子沢において年最大流量の増加が示された。

## (2) 森林の植生変化

森林が針葉樹へ変化することを想定した場合、全ての流域において年最大流量は大きく増加した。一方、森林が広葉樹へ変化することを想定した場合、全ての流域において年最大流量は大きく減少した。植生毎の浸透量を考慮した場合、広葉樹が最も大きな値となる。植生が広葉樹に変化することにより、貯留機能が高まり、年最大流量が減少した。一方、針葉樹は広葉樹より浸透量が小さいため、貯留機能が低下し、年最大流量が増加した。

植生変化は流域の流量に大きな変化をもたらす。しかし、この変化の大きさは現地浸透試験の結果に大きく依存する。また、植生毎の違いについて、浸透以外の要因を考慮できていない。植生毎の違いとして、浸透量の他に粗度や樹幹遮断、蒸発散等が挙げられる<sup>7)</sup>。今後、浸透試験の地点数を増やすとともに、浸透以外の要因を植生毎に考慮する。

## 6. 結論

本研究は、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を目的に、中小河川流域において流出解析を行った。森林への土地利用変化は、流域の貯留機能を高め、ピーク流量を抑制させる。植生毎の浸透量の違いを考慮した場合、森林の針葉樹への植生変化はピーク流量を増加させる。一方、広葉樹への変化はピーク流量を減少させることを示した。

中小河川流域において森林の土地利用は9割以上を占める。森林の植生について、生物多様性の観点から人工林を広葉樹林に変える針広混合林化や広葉樹林化などが推進されている<sup>8)</sup>。人口減少地域において、森林や田畑の管理放棄の増加が問題視されている<sup>9)</sup>。将来的な水文過程の変化を考える上で、植生変化の影響を考慮することは重要である。今後、浸透以外の要因をモデルに組み込み、それらが水文過程に与える影響について予測する。

**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。

## 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7月31日最終閲覧)
- 3) 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, Vol.26, No.1, 05020043, 2020.10.29.
- 4) 村井宏, 岩崎勇作: 林地の水および土壌保全機能に関する研究(第1報), 林業試験場研究報告, 第274号, pp.23-84, 1975.
- 5) 平岡透, 幸弘美, 陸旻皎: 分布型流出モデルのための土地利用からの最大貯水能力及び最終浸透量の設定, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.68, No.2, pp.103-108, 2012.
- 6) 村井宏: 広葉樹林地, 針葉樹林地および草生地の水文特性の比較, 第37巻, 2号, pp.1-40, 1993.
- 7) 村上茂樹: 樹冠遮断のメカニズムと森林の増雨効果, 特集「森林水源涵養機能の研究方向・研究方針を問う」, 第56巻, 1号, pp.82-99, 2012.
- 8) 日本森林学会: 広葉樹林への誘導の可能性, No.59, 2010, <https://www.forestry.jp/publish/ForSci/BackNo/sk59/59.pdf> (2021年7月31日最終閲覧).
- 9) 国土交通省, 管理放棄地の現状と課題について, <https://www.mlit.go.jp/common/000051706.pdf> (2021年7月31日最終閲覧).