

都市型河川である田川流域の 流出率, 貯留量及び部分流出寄与率について

宇都宮大学工学部 ○ 学生員 藤野 誠
 宇都宮大学工学部 学生員 渡邊 宗一郎
 宇都宮大学大学院工学研究科 正会員 鈴木 善晴
 宇都宮大学大学院工学研究科 正会員 長谷部 正彦

1. はじめに

都市型河川である田川流域に着目し, その流出特性を把握することを目的とする. 特に, 流域の流出率や貯留量といった指標に着目し, 各出水事例での挙動変化を把握することにより, 流出形態を分析する. また流域面積に, 変化する部分流出寄与率の概念を取り入れて検討し, 最後に都市型河川と山地河川の流出特性を比較する.

2. 解析対象流域の概要

解析対象流域は, 栃木県日光市の東部を源流とし, 鬼怒川に合流する一級河川である田川である. 本流域は, 流域住民の生活用水や農業用水として活用され, 破堤・越水の際には宇都宮市に甚大な被害を及ぼすため, 的確な洪水予測が求められる河川であり, 流域面積 220.4km^2 , 流路延長 78km である. 表-1 に流域の土地利用状態を示す. この流域の土地利用は, 市街地が 19.90km^2 , 山地が 36.00km^2 であることから, 都市流域と山地流域の混合流域であることがわかる. 次に, この流域の概要図を図-1 に示す. 流域内には, 4 地点の水位観測地点及び 3 箇所の降雨観測地点があり, 各水位観測地点を上流域 (桜橋流量観測地点), 上流域を含む中流域 (幸橋流量観測地点, 東橋流量観測地点), 上中流域を含む下流域 (明治橋流域) とし, 4 観測所の流域から構成している.

3. 流域特性

流域特性について検討を行う指標は, 流出率と流域貯留量の 2 種類とする.

(1) 流出率

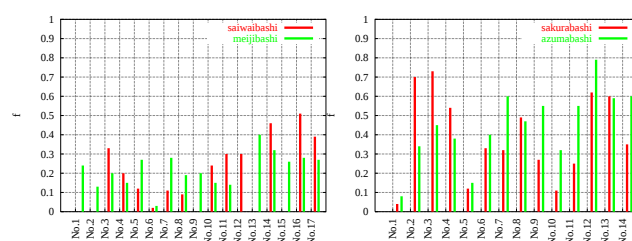
まず, 流出率について検討する. 図-2 に各出水事例時の流出率を年代別に示す. この図より, 流域の流出率は一定値をとらず, 値は 0.05 から 0.8 程度までを示し, ばらつきが大きいことがわかる. また, 1980 年代と 2000 年代を比較すると, 2000 年代の流出率のほうが全体的に大きな値を示してい

表-1 流域内土地利用状態

土地利用	市街地	山地	水田	畑	計
面積 (km^2)	43.91	79.28	89.85	7.36	220.4
構成比率 (%)	19.90	36.00	40.80	3.30	100.0



図-1 田川流域概要図



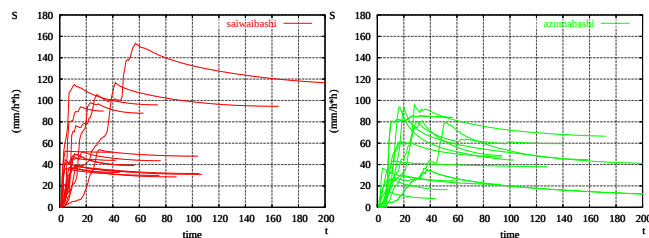
(1) 1980 年代の流出率 (2) 2000 年代の流出率

図-2 解析対象事例における流出率

ることがわかる. これにより, この流域が都市化されるにつれ, 流出率が増加し, 貯留性の低い流出特性に推移している可能性が推察される. ここで, 神流川では, 流出率がほぼ 0.6 から 0.7 程度の値を取ることから, 解析流域においては, 複雑な流出形態を有していることがわかる.

Key Words: 流出率, 貯留量, 部分流出寄与率, フィルター分離 AR 法

〒 321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学工学部建設学科 Tel.028-689-6214 Fax.028-689-6213



(a) 中流域（幸橋地点） (b) 中流域（東橋地点）
1980年代 2000年代

図-3 貯留量の時系列推移

(2) 流域貯留量

次に、各出水時に流域に貯留される水量について検討を行う。この水量を降雨開始時から i 時間までの流域貯留量とし、その算定には式 (1) を用いた。なお、最終的な時間ステップ i は、有効降雨量 fX で式 (1) を計算した場合に貯留量がゼロになる時間とする。

$$S(i) = \sum_{i=1}^h (X_i - y_i) \quad (1)$$

ここに、 $S(i)$ ：降雨開始時から i 時間までの貯留量 (mm)、 X_i ：観測降雨量 (mm/h)、 y_i ：流出高 (mm/h) とする。

図-3 に各流量観測地点における流域貯留量の時系列変化を示す。この図より、すべての出水事例で降雨継続時間が終了しても貯留量が残っていることがわかる。これを流域の残存貯留量と定義する。中流域を比較すると、残存貯留量自体の絶対量にはそれほど変化がないものの、1980年代と2000年代を比較した場合、1980年代のほうが多く貯留していることがわかる。また、上流域と下流域の貯留量を比較した結果、その挙動及び水量はほぼ同様の変化を示していた。ここで、下流域は上流域を内包しているため、流域貯留のほとんどが上流域に存在していると考えられる。これは、下流域に比べ、上流域のほうがより山地河川に近い土地利用状態となっているため、流域の貯留能力が卓越していると推察できる。

また、これら流出率と残存貯留量の関係を図-4 に示す。一般的な流域においては、流出率が減少すると貯留量が増える傾向にあると考えられる。本解析流域においてもそのような傾向が見られるものの、流出率-残存貯留量関係がばらついていて、これは、出水事例の先行降雨や洪水直前時の流量の違いにより、土壌の乾湿程度に影響を与え、貯留量及び流出率の関係が変化しているものと考えられるが、今後の課題として推察していくこととする。また、それは過去から現在に至るまで同様の結果となった。

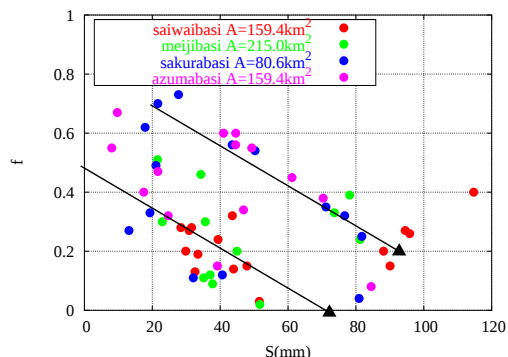
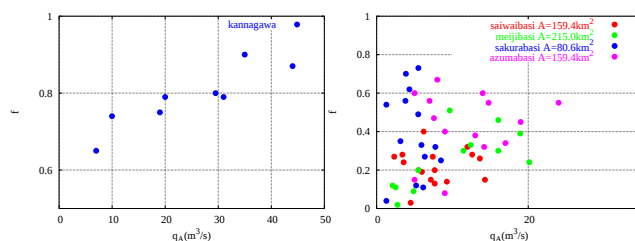


図-4 貯留量と残存流出率の関係



(a) 神流川解析事結果 (b) 田川解析事結果

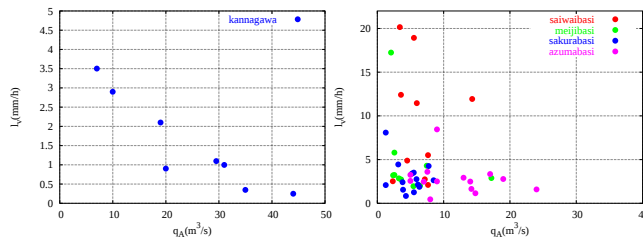
図-5 流出率と初期流量の関係

(3) 湿潤度指標としての洪水直前河川流量

次に、河川の湿潤度に着目し、流出解析を進める。流域においては、渇水状態が続いて土壌の湿潤度が低下すれば、河川流量のうち表面中間流出成分はほとんどなくなり、地下水流出成分も減少すると考えられる。また、長雨の場合には地下水水位が上昇し、その結果土壌の湿潤度が増加し、地下水流出・表面中間流出ともに増加すると考えられる。そこで、洪水直前の河川流量 q_A (以下初期流量とする) を流域土壌の湿潤度を代表する因子として捉え、流出との関係を検討する。

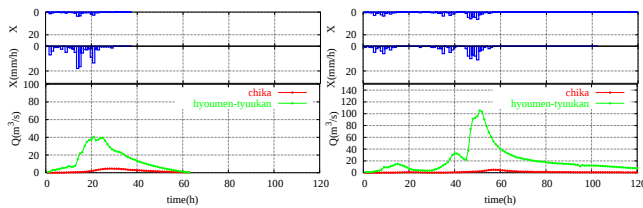
まず、流出率と初期流量の関係を考察する。図-5 に流出率と初期流量の関係を示す。同図の左図は、日野らが1982年に神流川流域を対象に解析を行った結果である¹⁾。神流川流域は、流域面積 373.6km²、流域全体が森林で覆われた山地河川である。同図より、流出率と初期流量の関係には高い相関が見られることがわかる。なお、日野らは同様の解析を相模川流域に対しても行っているが、そちらも高い相関を示している。ここで、同図右の田川流域での解析結果と比較すると、本解析では、流出率と初期流量の関係にあまり相関がないことがわかる。都市型河川である田川と山地河川である神流川では異なる結果が得られた。

次に、流域への降雨浸透速度と初期流量の関係を考察する。ここでは、第3項で検討を行った流域残存貯留量を降雨継続時間で除したものを降雨浸透速度として定義し、流域への降雨の浸透しや



(a) 神流川解析事結果 (b) 田川解析事結果

図-6 降雨浸透速度と初期流量の関係



(a) 幸橋地点 (b) 東橋地点

1986 年 9 月 2 日 2006 年 10 月 22 日

図-7 流量分離図

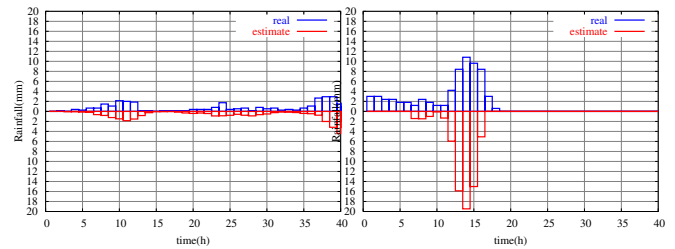
すさを示す指標として用いる．このようにして算出した降雨浸透速度と初期流量の関係を図-6 に示す．同図左は日野らが 1982 に神流川流域を対象に解析を行った結果である¹⁾．神流川流域の解析結果では，降雨浸透速度と初期流量の関係には初期流量が増加していくと指数関数的に損失速度が減少することが示された．しかし，同図右の田川流域解析結果では，降雨浸透速度と初期流量の間には明確な関係性を見ることができず，前項での解析同様に都市型河川である田川と山地型河川である神流川では異なる結果が得られた．

4. フィルター分離 AR 法

次に，より詳細な流出の挙動を検討するため，フィルター分離 AR 法を導入し，解析を行う．ここでフィルター分離 AR 法とは，観測流量を表面中間流出成分及び地下水中間流出成分に分離し，かつ各流出成分に寄与する降雨量を自己回帰式により求める手法である．フィルター分離 AR 法の詳細については，参考文献²⁾を参照されたい．

図-7 に幸橋流域での 1986 年 9 月 2 日出水事例及び東橋流域での 2006 年 10 月 22 日出水事例を成分分離した図を示す．同図より，地下水流出成分が全流出成分に占める割合は少ないといえ，寄与する地下水流出成分降雨も非常に小さな値をとっていることがわかる．これは，都市河川流域における地下水浸透性が低いことを示していると考えられる．

また，図-8 にフィルター分離 AR 法を用いて，逆推定した降雨量の例を示す．同図上のグラフが有



(a) 幸橋流域 (b) 東橋流域

1988 年 9 月 24 日 2006 年 6 月 15 日

図-8 逆推定降雨量の算出事例

効降雨量時系列，下が逆推定降雨量時系列を示す．なお，逆推定降雨量は 3 時間の移動平均を取り，総有効降雨量に対する誤差分をカットしている．同図より，逆推定降雨量のピーク値及び挙動は有効降雨量を再現性高く表現していることがわかる．よってフィルター分離 AR 法による解析結果が本解析流域にも適用可能であると判断し，今後の分析に用いる．

5. 部分流出寄与率

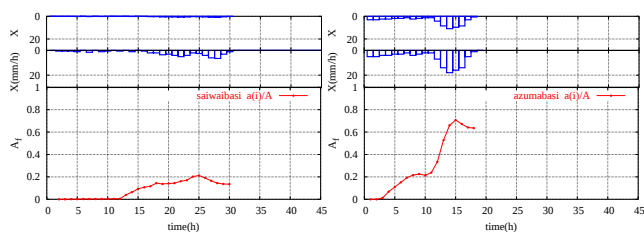
流出解析においては，一洪水に対して残存貯留量がゼロであるのが一般的であるが，本解析では，解析対象の全洪水に対して残存貯留量が生じる結果となった．そこで，本項では，残存貯留量の検討を行うために，前項で求めた逆推定降雨量と実測降雨量から流出時の部分流出寄与率による検討を行う．ここで部分流出寄与率とは，表面中間流出成分降雨が河道に直接流出する量を流域寄与域の面積比として表したもので，式 (2) で算出する²⁾．

$$A_f(i) = \frac{a}{A} = \frac{\sum x_S}{\sum X_i - \sum x_G} \quad (2)$$

ここに， $A_f(i)$ ：部分流出寄与率， a ：部分流域面積， A ：全流域面積， X_i ：実測降雨量， x_S ：逆推定した地下水流出成分に寄与する降雨量， x_G ：逆推定した表面中間流出成分に寄与する降雨量とする．

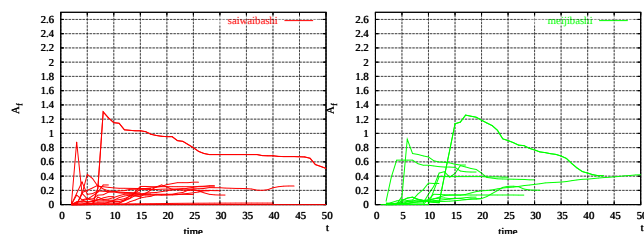
図-9 に幸橋流域での 1987 年 3 月 23 日出水事例及び東橋流域での 2006 年 6 月 15 日出水事例での計算結果を示す．この図より，流域の部分流出寄与率は時間とともに増加していることがわかる．また，降雨量の部分流出寄与率とピーク時間とはともによい一致を示している．

また，図-10 に各流域における部分流出寄与率の時系列変化を示す．この図より，流出の表面中間成分は，時系列とともに増加し，ある程度のタイムステップで一定値に収束していくことがわかる．また，その値が 1 にならないことから，本解析流域では，降雨が流域全体から河道に流出するのではなく，流域の特定部分から流出していることが

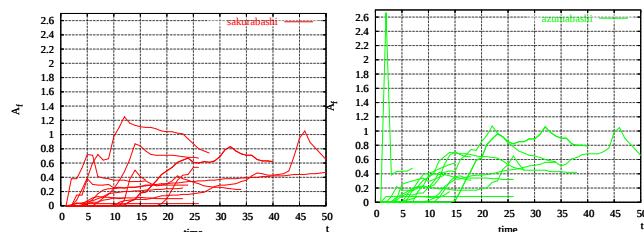


(a) 幸橋流域 (b) 東橋流域
1987年3月23日 2006年6月15日

図-9 部分流出寄与率と降雨量の関係



(a) 中流域 (幸橋地点) (b) 下流域 (明治橋地点)
1980年代



(c) 上流域 (桜橋地点) (d) 中流域 (東橋地点)
2000年代

図-10 部分流出寄与率の時系列変化

わかった。しかし、その特定部分が、流域内で常に同じ部分なのかどうかについては更に詳しい解析が必要である。

次に、それに伴い、部分流出寄与率と流出率の関係を図-11に示す。この図より、部分流出寄与率と流出率の間には、線形的な関係性があることが確認される結果となった。ここで、部分流出率の式より、本解析流域においては、地下水流出成分が非常に少ないことに由来することがわかる。

6. まとめと今後の課題

本研究では、まず、流域の流出率及び貯留量に着目した流域特性の検討を行った。その結果、流出率は一定値を取らずに解析対象出水事例ごとに大きなばらつきを示した。また、初期流量及び降雨浸透速度の観点から、都市型河川と山地型河川の比較を行い、都市型河川の特徴を考察した。両者の違いは、土地利用形態の違いであると考えられる。更に、フィルター分離AR法を用いた流量及びそれに寄与する降雨量の推定を行い、残存貯留量と

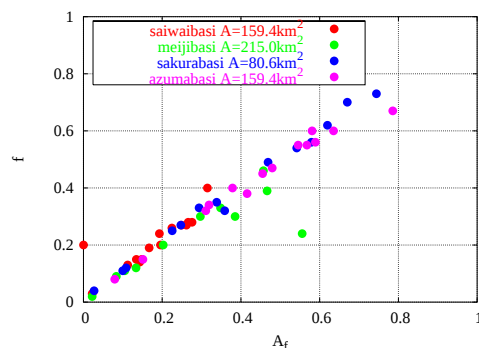


図-11 部分流出寄与率と流出率の関係

流出率及び部分流出寄与率との関係から流出解析を行った。

今後の課題としては、流出率の変化の原因を、降雨パターンの検討などの視点を加え、さらに水文学的に検討していくことを考える。

参考文献

- 1) 宮本浩樹：都市河川である田川流域の流出特性に関する研究，宇都宮大学大学院工学研究科エネルギー環境科学専攻修士論文 2008
- 2) 日野幹雄，長谷部正彦：流出率と湿潤指標としての洪水直前流量，土木学会論文報告集 第328号・1982年12月。
- 3) 日野幹雄，長谷部正彦：水文流出解析，森北出版株式会社，1985
- 4) 日野幹雄，長谷部正彦：流出成分への降雨分離則および部分流出域と流域貯留の関係について，土木学会論文集 第357号/II-3・1985年5月。