

### 気象要素と融雪出水の関連性評価

東北大学 学生会員 ○高 雷  
 東北大学大学院 正 会 員 風間 聡  
 東北大学大学院 正 会 員 朝岡 良浩

#### 1. はじめに

日本は世界的にも有数な水に恵まれた国である。ところが、水資源に恵まれている半面、洪水の危険性がある。洪水は台風や前線に伴う大雨に起因するものが第一に考えられる。これらに加えて、豪雪地帯の河川では、急激な昇温による融雪と降雨が重なり生じるのが融雪洪水である。近年では気候変動により豪雪や気温の異常上昇など、極端現象が生じ、大規模な融雪洪水が発生する可能性が十分に考えられる。

融雪出水に関する研究は多くなされてきた。例えば小池<sup>1)</sup>らは、降水、日射量、気温などのデータを用いた融雪洪水モデルを提案し、その有効性を示した。柏<sup>2)</sup>らは同化手法を用いて積雪量の補正を行い積雪量推定モデルの精度を向上させた。甲山<sup>3)</sup>らはDegree Hour法を改良したTemperature Index 法を用いた融雪出水モデルで融雪洪水の再現計算を行った。融雪出水の再現研究は多く行われたが、気象要素(気温・降雨・積雪)と融雪出水量の関連性は未だ不明な点が多い。そこで本研究では、分布型流出モデルに対し、気象要素の感度分析を行い、出水量への影響度評価を目的とする。

#### 2. 対象地域・データセットの概要

対象地域は秋田県北部に位置する米代川流域である。水源は中岳および八幡平から発し幹川流路延は136km、流域面積4100km<sup>2</sup>の一級河川である(図1)。

解析に使用した標高データ、平年積雪深は国土数値情報から、気温データ、降水量データ、風速データ、は地域気象観測(AMeDAS:Automated Meteorological Data Acquisition System)データから、日照時間は国立天文台から取得した。また、さらに流域の流量の比較のため実測の流量データを水文水質データベースより取得した。解像度は250m×250mを基本メッシュとし、米代川流域周辺を含む328×328個に分割し計算を行った。

#### 3. 流出計算

流出計算は、柏<sup>2)</sup>らが開発した分布型流出モデルを基本とし、蒸発散を考慮したモデルを用いた。モデルでは、斜面部の流出成分を直接流出と基底流出に分け、直接流層を kinematic wave 法、基底流層は貯留関数法

を用いて算出した。河道部は kinematic wave 法を用いて算出した。

#### 3-1. kinematic wave 法

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = (r_e + SM)B \tag{1}$$

$$Q = \frac{1}{n} B h^{5/3} I^{1/2} \tag{2}$$

ここで、 $A$ は流水断面積( $m^2$ )、 $B$ はメッシュ幅( $m$ )、 $Q$ は流量( $m^3/s$ )、 $r_e$ は効降雨量( $m/s$ )、 $t$ は時間( $s$ )、 $x$ は流下方向の距離( $m$ )、 $h$ は水深( $m$ )、 $n$ はマンニングの粗度係数( $m^{-1/3} \cdot s$ )、 $I$ は流路勾配である。

#### 3-2. 貯留関数法

$$\frac{ds}{dt} = r' - q \tag{3}$$

$$s = kq^p \tag{4}$$

ここで、 $s$ は見かけの貯留高( $m$ )、 $r'$ は浸透量( $m/s$ )、 $q$ は基底流の流出高( $m/s$ )、 $k$ 、 $p$ はモデル定数( $k=150.0$ 、 $p=0.5$ )である。浸透量  $r'$ は以下の式により求めた。

$$r' = k_a \times h \tag{5}$$

ここで  $k_a$ はモデル定数( $k_a=5.55 \times 10^{-6}$ )である。

#### 3-3. 積雪量の標高補正

一般的に標高が高いほど降雪量が多い。本研究は重み付き距離平均法により求めた降雪量に対し、近藤ら(1995)にならい、以下の式の標高補正を行い、積雪量

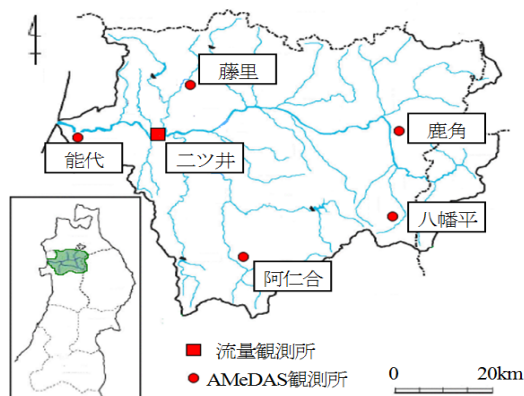


図1 米代川流域

における標高依存性を考慮した。

$$SF = SF_i \times \{1 + \alpha(elv - elv_k)\} \quad (7)$$

ここで、 $SF_i$ : 修正後の降雪量(mm/h),  $SF_i$ : 修正前の降雪量(mm/h),  $elv$ : 修正地点の標高(m),  $elv_k$ : 観測所の標高(m),  $\alpha$ : 補正係数(0.001)である。

### 3-4. モデルの精度

モデルの誤差評価関数として Nash-Sutcliffe 係数を用いた。Nash-Sutcliffe 係数の式を以下に示す。

$$\epsilon = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{N'} (Q_{oj} - Q_{sj})^2}{\sum_{j=1}^{N'} (Q_{oj} - N' \sum_{j=1}^{N'} Q_{oj})^2} \quad (6)$$

ここで、 $Q_{oj}$ はj時間目の実測流量(m<sup>3</sup>/s),  $Q_{sj}$ はj時間目の推定流量(m<sup>3</sup>/s),  $N'$ は解析した時間数,  $\epsilon$ は Nash-Sutcliffe 係数である。

一般には 0.8 程度を超えていれば良好な再現結果が得られたものと判断される。本研究で用いた流出計算モデルは 0.8 であり、精度は良いと言える(図 2)。

## 4. 既往大規模出水

米代川流域の過去(1979~2005 年)における、大規模出水を表 1 にまとめた。表 1 から冬に比べ夏において、大規模出水が多く発生していることが分かる。しかし、氾濫水位以上の規模で比較をすると、夏と冬では洪水の発生回数は変わらない。したがって、融雪洪水は夏の洪水と同程度の確率で氾濫の危険性があると言える。

## 5. 結果

融雪洪水は、降雨量に加え、積雪量、気温が大きく流量へ影響を与える。分布型流出モデルに対して感度分析を行い、それぞれの気象要素がどの程度流量へ影響を与えるのかを求めた。

### 5-1. 対象時期

国土数値情報から得た平年の積雪に最も近く、降雨を伴った 2004 年 3 月 17 ~18 日の融雪出水を分析対象とした。降雨規模はそれぞれ、流域平均総雨量、降雨強度、標準偏差、発生確率が、31.6mm, 2.8mm/h, 1.5, 1.4 ヶ月である。

### 5-2. 感度分析

感度分析は入力値である気象要素をそれぞれ、気温は +1℃ と +2℃, 降雨量と積雪量に関しては 25%, 50%, 75%増し計算を行った, その際の二ツ井地点の流量変化への影響度を算出した。その結果を表 2 に示す。気温 1℃ 上昇当たり流量へ 161m<sup>3</sup>/s の影響を与え, 2℃ 上昇と降雨量の 25%増が同程度の影響力があるということが示唆された。また、他の気象要素に比べて

積雪量は流量への影響度が小さいことが示された。これは、山脈が急勾配であるため、降雪の標高依存性により、山岳部の積雪量増加分に対し積雪面積が大きくなるためだと考えられる。

謝辞: 本研究は、三井共同建設コンサルタントおよび科学研究費補助金 (25241024, 代表: 竹門康弘) の助成を受けたものである。ここに謝意を表す。

### 結論

- 1) 降雨量の 25%増と気温の 2℃上昇は同程度の影響を持つ。
- 2) 積雪量はほかの気象要素と比べ融雪出水への影響度が著しく小さいことが示唆された。

### 参考文献

- 1) 小池俊雄, 高橋 裕, 吉野昭一: 融雪量分布のモデル化に関する研究, 土木学会論文集, 第363号/II-4, pp.165-174, 1985.
- 2) 柏俊輔, 朝岡良浩, 風間聡: 同化手法を用いた流出解析による山岳域の積雪分布推定, 土木学会東北支部論文集, 2012.
- 3) 甲山治, 佐原将史, 寶 馨: 分布型流出モデルを用いた融雪洪水の再現計算, 京都大学防災研究所年報, 52(B), pp67-76, 2009.

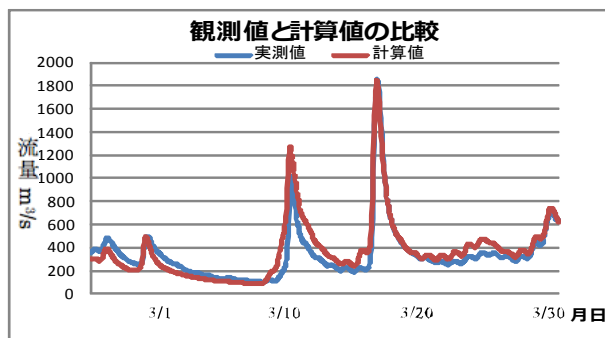


図 2 観測地と計算値の精度比較

表 1 米代川(二ツ井地点)における大規模出水件数

	避難水位	氾濫注意水位	水防団待機水位
夏(6~11月)	4	1	16
冬(12~5月)	4	1	6

表 2 気象要素ごとの感度分析結果

	最大流量		差
	観測値		
気温	+1℃	2016	161
	+2℃	2196	341
	125%	2186	331
降雨量	150%	2544	689
	175%	2918	1063
	125%	1903	48
積雪量	150%	1932	77
	175%	1933	78