

熱収支と分布型流出モデルを用いた融雪期ピーク流量と気象要素の関連性

東北大学大学院 学生会員 ○高 雷
三井共同建設コンサルタント 非会員 黒澤 祥一
東北大学大学院 正会員 風間 聡
東北大学大学院 正会員 小森 大輔

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が、水資源に恵まれている半面、水害が多発している。洪水には台風や前線に伴う大雨に起因するものに加え、豪雪地帯の河川には融雪洪水がある。近年では気候変動により豪雨、豪雪や気温の異常上昇など、極端現象が生じ、大規模な洪水、融雪洪水が発生することが懸念されている。

融雪出水に関する研究は多くなされてきた。例えば小池¹⁾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²⁾らは同化手法を用いて積雪量の補正を行い融雪出水モデルの精度を向上させた。甲山³⁾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・風)と融雪出水量の関連性は未だ不明な点が多い。高⁴⁾らはDegree Hour法を用いて気温、降雨や積雪の影響度を評価し、積雪量の影響が小さいことを明らかにした。しかし、降雨温度による融雪や風速による熱交換の影響を考慮出来ていない。そこで本研究では、分布型流出モデルに対し、熱収支法による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4100km²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、風速データ、は地域気象観測(AMeDAS)データから、降水データはレーダーアメダス解析雨量(RAP)より、湿度、日射量、大気圧は秋田気象台から、また、さらに流域の流量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²⁾らが開発した分布型流出モデルを用いた。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

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

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

ここで、 A は流水断面積(m²)、 B はメッシュ幅(m)、 Q は流量(m³/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}・s)、 I は流路勾配である。

3-2. 貯留関数法

$$\frac{ds}{dt} = r' - q \quad (3)$$

$$s = kq^p \quad (4)$$

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。

$$r' = k_a \times h \quad (5)$$

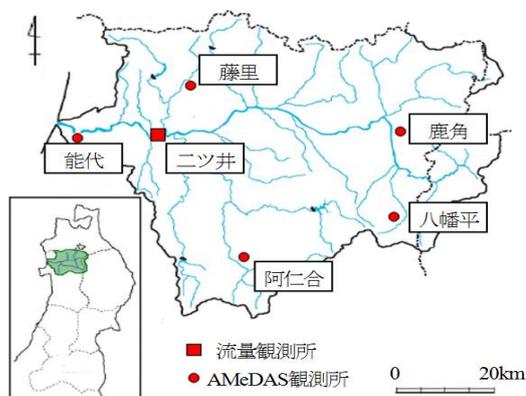


図1 米代川流域

ここで k_a はモデル定数 ($k_a=8.0 \times 10^{16}$) である。

3-3. 熱収支式

積雪表面において、以下のような厚さの無い熱収支式を考える。

$$r(1-A)S^- + \epsilon(L^- - \sigma T_s^4) - H - lE + QR = M \quad (6)$$

ここで、 L^- : 下向き大気放射量 (J/m^2)、 T_s : 積雪表面温度 ($^{\circ}C$)、 σ : ステファンボルツマン定数 ($=5.67 \times 10^{-8}$)、 ϵ : 雪面の射出率 ($=1.0$)、 $H \cdot lE$: 顕熱・潜熱フラックス (J/m^2) (大気へ出る向きを正)、 M : 積雪表面での融雪熱量 (J/m^2)、 QR : 降雨熱量 (J/m^2) である。顕熱・潜熱は以下のバルク式で表現する。

$$H = c_p \rho C_H U (T_0 - T_a) \quad (7)$$

$$lE = \rho \beta C_H U (q_{SAT}(T_s) - q) \quad (8)$$

ここで、 c_p : 定圧比熱 ($=1003.2 J/kg \cdot K$)、 ρ : 空気密度 (kg/m^3)、 U : 風速 (m/s)、 l : 水の気化の潜熱 (J/kg)、 q_{SAT} : 飽和比湿、 q : 比湿、 C_H : バルク輸送係数 ($=0.002$) である。

4. 感度分析

融雪出水は、降雨量に加えて気温、降雨熱量、風速など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。

4-1. 対象時期

国土数値情報から得た平年的な積雪に、最も近く降水を伴った 2009 年 2 月 13 日 19 時～14 日 18 時の融雪出水を分析対象とした(図 2 の緑枠)。対象期間の流域内平均気温は $5.1^{\circ}C$ 、流域内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、45.3mm、1.8mm/h、2.0mm/h、1.2 ヶ月である。

4-2. 結果

気象要素をそれぞれ、気温は $+1^{\circ}C$ から $+5^{\circ}C$ 、降雨量、風速に関しては 25%、50%、75% 増加させて計算を行った、その際の二ツ井地点の推定流量への影響度を算出した。その結果を表 1 に示す。気温 $1^{\circ}C$ 上昇当たり流量へ $204m^3/s$ の影響を与え、 $3^{\circ}C \sim 4^{\circ}C$ 上昇の影響度と降水量の 25% 増が同程度の影響力があるということが示唆された。これは、高⁴らの結果に比べて気温の影響度が減少したが、気温が降雨量の次に影響度が高いことが同様に示された。また、他の気象要素に比べて風速は流量への影響度が小さいことが示された。したがって、融雪出水においては降雨量および気温の精度が大きく推定精度を左右すると言える。

謝辞：本研究は、三井共同建設コンサルタント、東北地域づくり協会および環境省の環境研究総合推進費 (S-14) の支援により実施された。ここに深甚な謝意を表す。

結論

- 1) 降水量の 25% 増と気温の $3^{\circ}C \sim 4^{\circ}C$ 上昇は同程度の影響を持つ。
- 2) 風速は他の気象要素と比べ融雪出水への影響度が小さいことが示唆された。

気温および降水に着目した精度向上が融雪出水に重要である。

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.
- 4) 高雷, 風間聡, 朝岡良浩: 分布型流出モデルを用いた気象要素と融雪出水の関連性, 土木学会東北支部論文集, 2015.

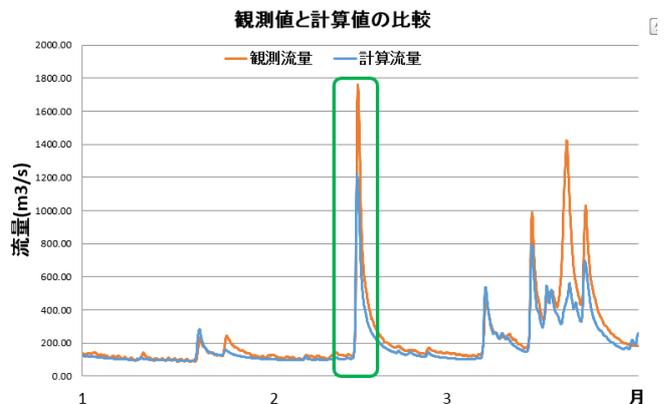


図 2 観測地と計算値の精度比較

表 1 気象要素ごとの感度分析結果

二ツ井地点		最大流量(m^3/s)	流量差(m^3/s)	流出高差(mm/day)	
推定値(通常)		1215.30			
気象要素	気温	+1 $^{\circ}C$	1420.15	204.84	4.32
		+2 $^{\circ}C$	1537.06	321.75	6.78
		+3 $^{\circ}C$	1617.82	402.51	8.48
		+4 $^{\circ}C$	1689.51	474.20	9.99
		+5 $^{\circ}C$	1765.62	550.31	11.60
	降水量	+25%	1656.13	440.82	9.29
		+50%	2138.77	923.46	19.46
		+75%	2661.97	1446.67	30.49
	風速	+25%	1247.53	32.22	0.68
+50%		1281.10	65.80	1.39	
+75%		1316.21	100.90	2.13	