貯留関数法からみた降雨および融雪流出の比較

Difference in the rain runoff and the snowmelt runoff judged from the parameters of the storage

routing model

佐藤江里子 工藤修一

Eriko Sato Kudo Syuichi

Kurashima Eiichi

倉島栄一

1.はじめに

融雪流出は積雪表層付近で生じた融雪水が 積雪層内を浸透し地表面に到達するという過程 を経るため降雨流出と比べて流出のしくみが異 なると考えられる.本研究では,積雪表層付近 の融雪水フラックスを推定し,これを入力要素 として貯留関数法のパラメータを同定し,その 値から降雨流出および融雪流出の相違について の考察を試みたものである.

2. 観測対象地および観測の概要



Fig.1 Outline of Akazawa experiment basin

対象は Fig.1 に示す岩手県雫石町にある岩手 大学農学部御明神演習林内の赤沢川流域(流域 面積 8.78km²)であり,流域内の下滝沢地点(東 経 140°36',北緯 39°40',標高 310m)においてライ シメータ法による地表面到達量の観測をはじめ 気象諸要素,積雪深を測定した.また標高 240m 地点に流量観測点を設けて水位観測を 行った.

 3.降雨流出と融雪流出の推定 積雪表層付近での融雪水フラックスの推定は
Jordan (1991)の SNTHERM モデルに準じ
た.この方法は積雪の有効飽和度の関数とした

$$\rho_l (1 - s_r) \overline{\Phi \Delta z} \frac{\partial s_e}{\partial t} = \frac{\rho_l^2 g}{\mu_l} \left[\left(\overline{K_{\max} s_e^3} \right)^{j+1} - \left(\overline{K_{\max} s_e^3} \right)^j \right] + \overline{M_{li} \Delta z} \left(1 - \frac{\rho_l}{\rho_i} \overline{s} \right) - \rho_l \overline{s} \frac{\partial \Delta z}{\partial t}$$
(1)

$$\begin{split} & \left[\overline{\rho_{t}c_{t}\Delta z} + L_{li}\overline{\gamma_{z}}\Delta zF + L_{vi}\overline{\left(\Phi_{sd} - s\Phi\right)\Delta z}\overline{f_{rh}C_{KT}}\right]}\frac{\partial T}{\partial t} \\ & -\left(\overline{U_{l}^{j+1} - U_{l}^{j}}\right)\left[\overline{H} - L_{li}\left(1 - \overline{f_{l}}\right)\right] \\ & = -c_{l}\left[\overline{\left(U_{l}T_{l}\right)^{j+1} - \left(U_{l}T_{l}\right)^{j}}\right] + \\ & \overline{\left(k_{e}\frac{\partial T}{\partial z}\right)^{j+\frac{1}{2}} - \left(k_{e}\frac{\partial T}{\partial z}\right)^{j-\frac{1}{2}}} + \left(\overline{I_{s}^{j+\frac{1}{2}} - I_{s}^{j-\frac{1}{2}}}\right) \end{split}$$
(2)

浸透フラックスを求めるための(1)式と,熱輸 送の(2)式から構成されている. ρ_1 (1.0×10³ kg· m⁻³)は水の密度, Φ は空隙率, s_eは有効飽和 度, µ1(1.787×10⁻³ N·s·m⁻²)は水の動粘性係数, g (9.8m s⁻²)は重力加速度, K_{max} (m²)は飽和時 に想定される最大の透水係数, M_{li} (kg·m⁻³·s⁻¹) は融雪速度, ρ_i (0.917×10³ kg·m⁻³)は氷の密度, sは飽和度, ρ_t (kg·m⁻³)は全構成物質を含めた バルク密度, F(K⁻¹)は液体水分量曲線(凍結 曲線)の傾き, L_{vi} (2.838×10⁶ J·kg⁻¹)は氷の単 位昇華熱, Φ_{sd} は液相気相率, f_{rh} は飽和1に 対する湿度, C_{KT} (N·m⁻²·K⁻¹)は飽和水蒸気圧 曲線の傾き, U_1 (kg·m⁻²·s⁻¹)は液体水のフラッ クス, $H(J\cdot kg^{-1})$ はモデルで導入されたエンタ ルピーのファクター, L_{li} (3.335 × 10⁵ J· kg⁻¹)は 氷の単位融解熱, f1 は全水分量に対する液体 水分の質量比, c1(4217.7J·kg⁻¹·K⁻¹)は水の比熱, k_e (W·K⁻¹·m⁻¹)は水蒸気輸送を含んだ有効熱伝

岩手大学農学部 Faculty of Agriculture Iwate University 融雪浸透 貯留関数法

導率, I_s(W・m⁻²)は雪層を透過する日射量である.これらの式は上方に向かうz軸を考え, 積雪層と土壌層を∆z(m)に分割して離散化し, 未知数に関する連立方程式に変形される.計算 にあたっては時間ステップ∆tを 1800(s)とした.



Fig.2 Estimated liquid water flux generated near the surface and observed water at the ground

Fig.2 は推定された積雪表層付近の浸透フラックスの一例である.

貯留関数法の基礎式は(3)式で示される. Q_l (mm)は,時刻*T* における流出量,r (mm)は 降雨量または積雪表層付近の推定浸透量,fは流入係数,K,p はぞれぞれ貯留量と流出量 にかかわるパラメータであり,遅れ時間 T_l が 考慮されている.

 $\frac{dQ_l}{dt} = \frac{1}{Kp} \left(fr - Q_l \right) Q_l^{1-p} \tag{3}$

代表的な降雨流出と融雪流出を抽出し,それぞ n_f , K, p および T_l を DFP 法によって同定 した.なお目的関数は χ^2 基準とした.ここで は降雨流出の例として(1)(05'8 月 14 日 23 時~ 17 日 3 時)および(2)(05'5 月 18 日 18 時~21 日 14 時)を,融雪流出の例として(1)(06'4 月 12 日 14 時~14 日 3 時)と(1)(05'3 月 29 日 4 時~30 日 9 時)を選び,得られたパラメータをそれぞ れ Table 1, Table 2 に示した.また,Fig.3 お よび Fig.4 はそれぞれ降雨流出と融雪流出の推 定八イドログラフを実測値と比較したものであ り,いずれも再現性は良好であると思われる.

単位貯留 *S* =1 に対する流出応答*Q* を(4)式で 比較すると,降雨流出では(1),(2)でそれぞれ 0.24,0.30 であり融雪流出では同様に0.05, 0.14 であった.今後の検証は必要であるが,

$$Q = \left(\frac{1}{K}S\right)^{1/p}$$
 (4)

この例に限れば融雪流出の応答は降雨流出に比 べて鈍いといえる.

Table 1 Parameters optimized by rain runoff

パラメータ	降雨(1)	降雨(2)	
f	0.229	0.336	
Κ	5.38	7.47	
p	0.862	0.607	
T_l	1.40	1.10	

Table 2 Parameters optimized by snowmelt runo
--

パラメータ	降雨(1)	降雨(2)	
f	0.371	0.575	
Κ	11.9	7.74	
р	1.18	0.972	
T_l	3.17	0.565	



Fig.3 Comparison between observed and calculated rain runoff



Fig.4 Comparison between observed and calculated snowmelt runoff

4.まとめ

積雪表層付近の融雪水フラックスの推定を行 い,これを用いて貯留関数のパラメータを同定 して降雨流出との比較を行ったところ,融雪流 出の応答がやや鈍いことが示された。

参考文献: Rachel Jordan(1991) A One-Dimensional Temperature Model for a Snow Cover, U.S. Army Corps of engineers Special Report 91-16, pp.1-49.