

## II-14 融雪水の地表面到達量に対する 貯留関数法の適用

北見工業大学 正員 中尾隆志  
北見工業大学 正員 佐渡公明

1. はじめに 融雪出水の解析は、1)積雪表面における融雪量の推定、2)表面融雪量の積雪層内の浸透、3)地表面から河川への流出過程の3つに大別される。このうち1)については厳密には雪面での熱収支を求めればよく、簡便な方法としてはDegree-Day, Degree-hour法により推定される。3)については融雪水の地表面到達量がわかればこれを入力データとし、通常の流出解析と同様に行なうことができる。2)については積雪層を不飽和浸透域として取り扱う方法や Laramieら<sup>1)</sup>(以下、MIT法と略す。)が行なっている1時間当りの地表面到達率を求める方法が提案されている。しかし、両者の方法はいずれもその算定にあたって、積雪密度や含水率等をパラメータとするため計算が複雑となり実際の融雪解析には実用的ではない。本研究の目的は従来から洪水流出解析で広く用いられている貯留関数法を用い積雪表面融雪量から地表面到達量を求めることである。最後に、本方法とMIT法との比較検討を昭和63年の実測データをもとに示す。

2. 積雪表面融雪量 雪面での融雪量は雪面における熱収支量より求めることができる。雪面に対する加熱を正とし、潜熱伝達率及び顕熱伝達率として強制対流のみを考えた小島の式を用いると、雪面熱収支量  $Ht$  は次式で表わせる。

$$Ht = R_N + LU(e_a - e_s) \times 10^{-3} + 0.38U(\theta_a - \theta_s) + C_w \rho_w r(\theta_r - \theta_s) \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $R_N$ :純放射量、 $L$ :蒸発の潜熱、 $U$ :風速、 $e_a$ :空気中の水蒸気圧、 $e_s$ :雪面の飽和水蒸気圧、 $\theta_a$ 、 $\theta_s$ :気温、雪面の温度、 $C_w$ 、 $\rho_w$ :水の比熱、密度、 $r$ :降水量、 $\theta_r$ :雨滴の温度

融雪最盛期のような場合、積雪温度は $0^\circ\text{C}$ とみなされ、 $e_s = 6.11\text{mb}$ 、 $\theta_s = 0^\circ\text{C}$ となり式(1)は簡単になる。積雪温度が $0^\circ\text{C}$ でない場合、 $Ht$ は最初に積雪温度を上昇させ積雪全層を $0^\circ\text{C}$ にするのに $Ht$ の一部または全部が使われ、残りが表面融雪に寄与する。いずれの場合でも積雪表面の融雪量 $M_0$ は温度が $0^\circ\text{C}$ の時の $Ht$ を融解の潜熱 $l$ で除することにより次式で求まる。

$$M_0 = \frac{Ht}{l \cdot \rho_w} \dots\dots\dots (2)$$

3. 貯留関数法による地表面到達量の計算方法 雪面での融雪水は時間と共に徐々に積雪層内に浸透し、積雪層内の含水率を増加させながら積雪下面に達する。MIT法では雪面融雪水の一部は積雪層中に貯留し、最大含水量を超過した分が時間と共に地表面に到達するとしており、1時間後の地表面到達量は、積雪深をパラメータとした地表面到達率 $Pc$ と積雪層内の最大含水量からの超過分 $\Delta Wc$ より、

$$M_m = (Pc / 100) \times \Delta Wc \dots\dots\dots (3)$$

と求められる。積雪深が大となれば $Pc$ は小となり、密度が大となれば最大含水量は大となるので積雪深か密度のいずれかが大きくなれば $M_0$ と $M_m$ の差は大きくなる。このように雪面での融雪はすぐに地表面に到達せず積雪内に貯留され、時間の経過と共に地表面に達し、その流出過程は一般に非線形と思われる。従って、運動方程式として積雪層内の貯留量 $S$ を地表面到達量 $M_s$ の指数型関数とすると次式で示される。

$$S_{t+T_1} = K \cdot M_{s,t}^P \dots\dots\dots (4)$$

但し、 $M_{s,t+T_1}$ :遅れ時間 $T_1$ を考慮した融雪水の地表面到達量  $M_{s,t+T_1} = M_s(t+T_1)$ 、 $K, P$ :定数

一方、日積算値で考えた時の表面融雪量に対する地表面到達量の割合を $f$ とすれば、連続の式は式(5)で表わされ、式(4)と式(5)から式(6)が得られる。

$$\frac{dS_i}{dt} = f \cdot M_o - M_{s,i} \quad \dots\dots(5),$$

$$\frac{dM_{s,i}}{dt} = \frac{(f \cdot M_o - M_{s,i})}{K \cdot P} M_{s,i}^{1-P} \quad \dots\dots(6)$$

これは貯留関数法における降雨強度の項を表面融雪量に置き換え、流出高から初期流出高を差し引いたものを地表面到達量に置き換えたものに等しい。

**4. 昭和63年融雪期の北見工業大学寒地気象観測露場に対する適用** これまで述べた融雪モデルの適用例として、融雪最盛期である昭和63年 3月18日～29日まで北見工業大学寒地気象観測システムで得られたデータを用い、1時間毎の熱収支計算を行ない融雪量の計算値と、同時に測定された融雪量の実測値との比較検討を行なう。なお、雪面融雪量 $M_o$ は積雪の温度変化を考慮した熱収支から求められた融雪量を用いている。本気象観測システムでは地表面上に $90 \times 90\text{cm}$ のスノーライシメータを設置し、塩化ビニールパイプで地下室に導かれた融雪水を転倒枡で計測し、地表面到達量を実測している。スノーライシメータに到達する融雪水の集水面積を受け皿の面積に一致させるため、3月9日に受け皿の周りの積雪層を乱さないよう掘り起こし、ビニールで受け皿上の $90 \times 90\text{cm}$ の積雪柱に囲いをした後、周りの積雪を埋め戻した。

遅れ時間 $T_1$ については式(2)より求めた1時間毎の融雪量 $M_o$ がスノーライシメータの実測値 $M_{obs}$ より同時刻かまたはそれ以前に出現する3月21、27、28、29日の4日間についてそれぞれ $T_1$ を求めたところいずれも $T_1=0\text{hr}$ が得られ、次にこの4日間の $M_o$ 、 $M_{obs}$ から $S_o$ を求め、最小自乗法により $K=3.85$ 、 $P=0.287$ を得た。なお、簡単のために $f=1$ とした。図-1は $1\text{mm}$ スノーライシメータで測定された実測値 $M_{obs}$ 、式(6)をRunge-Kutta法で解いて得られた $M_s$ 及びMIT法による計算値 $M_m$ の比較の一例として3月21、28日の融雪量の時間変化を示している。いずれの日も $M_m$ に比べ $M_s$ の方が $M_{obs}$ により適合している。 $M_{obs}$ が0となっても $M_s$ が生じるのは $S=0$ になるまで流出させるようにしたからであり、最大含水量として積雪層に保持される量を考慮すること、及び $f < 1$ とすることにより実測値に近づくとと思われる。図-2は観測期間の $M_{obs}$ 、 $M_m$ 及び $M_s$ を日融雪量で比較している。含水量が最大含水量を超過しない3月19、20、22日と終日Cold Contentが0とならない24、25日は $M_{obs}$ があるにもかかわらず $M_m$ は0となる。最後に、貯留関数法で求めた計算値及びMIT法で求めた計算値の実測値に対する誤差を表1に示す。 $M_s$ の方が $M_m$ より精度が良いことがわかる。

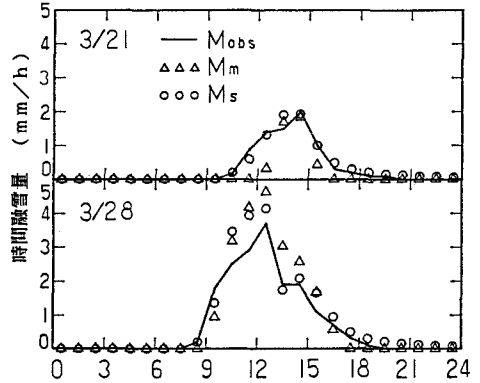


図-1 時間融雪量の比較

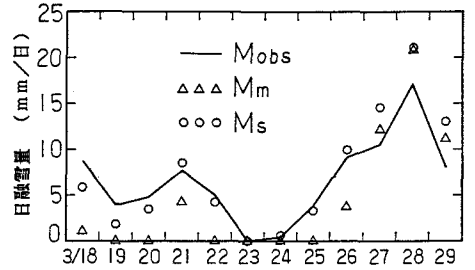


図-2 日融雪量の比較

表 1 融雪量計算値の誤差

月日	誤差の絶対値の平均 (mm/h)		誤差の平均 (mm/h)		誤差の標準偏差 (mm/h)	
	Mm	Ms	Mm	Ms	Mm	Ms
3/18	0.32	0.16	0.32	0.12	0.50	0.32
19	0.16	0.10	0.16	0.09	0.28	0.21
20	0.20	0.09	0.20	0.05	0.31	0.16
21	0.16	0.07	0.15	-0.04	0.29	0.12
22	0.21	0.07	0.21	0.03	0.35	0.17
23	-	-	-	-	-	-
24	0.02	0.02	0.02	-0.01	0.04	0.02
25	0.16	0.07	0.16	0.02	0.30	0.13
26	0.23	0.12	0.22	-0.04	0.53	0.25
27	0.21	0.19	-0.07	-0.17	0.42	0.28
28	0.29	0.22	-0.15	-0.17	0.47	0.32
29	0.16	0.21	-0.13	-0.21	0.30	0.25

参考文献 1) Laramie, R.L. and J.C. Schaake: Simulation of the Continuous Snowmelt Process, M.I.T. Report No.143, 1972.