

日本大学生産工学部 正会員 三 浦 晃

日本大学生産工学部 正会員 西 川 肇

日本大学生産工学部 正会員 坪 松 学

1. はじめに 平野部の少ない地形である我が国にとっては降雨の流域貯留効果は少ない。降雪は降雨と異なり一時に河川に流出することなく、標高の高い流域では長期間貯留され水の需要が増す頃に融雪による出水が始まる有効な水資源といえる。しかしながら、その融雪量を測定するには非常な困難と経費の必要を伴いまた、広域にわたる融雪流出機構の確たる解明がなされていないことなどから、水資源としての融雪流出量の有効利用が十分に行なわれていないのが我が国の現状と思われる。融雪解析に関する研究は物理学的熱収支に基づく理論的な方法と、主に気温を因子とするDegree Day 法等による経験的方法に大別されている。また、最近では融雪機構の解明のためにRemote sensing データの活用がいくつかの方面から研究され始めている。本研究は、山岳流域に於ける積雪の範囲と積雪の消失状況を融雪流出の特性として融雪流出量を予測するMartinec Modelを用いて、利根川上流の矢木沢ダム流域を解析対象としてLandsat Data等を用いて融雪流出量の推定を行なったものである。

2. Martinec Model

Martinec Modelは中央ヨーロッパ山岳地に於ける山岳流域の融雪流出特性、すなわち流域の積雪範囲の減少度合に基いた融雪モデルとしてJ.Martinecにより開発されたもので、アメリカではLandsat 画像データ等を応用した融雪出水シュミレーションにも応用され始めている。このモデルは小流域に於ける短期間予測と周期的な融雪流出量の評価には適合性があるとされている。Martinecは流域からの融雪流出高を次のように提唱している。⁽¹⁾

$$M_n = M_{n-1} (1 - k) + R_{n-1} \cdot k \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 R : 流域からの融雪流出高 (cm), M : 毎日の融雪深 (cm), k : 消失係数, n : n 番目の日

(1) 式の融雪深に関しては、実用的な方法としてDegree Day を用い、次のように表わされる。

$$M_n = a \cdot T \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 a : Degree Day Factor (cm/°C・Day), T : Degree Day Number (°C・Day)

積雪範囲の消失係数 k は日々の融雪量の変化量 $k = R_n / R_{n-1}$ として求める。(2) 式を(1) 式に代入して流域の流出係数を考慮に入ると融雪による流域からの流出量 Q_n (m³/s) は次式のようにになる。

$$Q_n = f \cdot a \cdot T (1 - k) + Q_{n-1} \cdot k \quad \text{----- (3)}$$

融雪期間中に降雨があった場合、その量は(3) 式に加算される。また、降雨による融雪効果の変化は一般には無視できるとされている。

3. 解析対象流域と積雪状況の概要

対象流域は集水面積が167.4km²、ダム地点の標高が870m、流域最高地点が2140m である。Fig-1は国土地理院発行1/25000地形図より流域内標高値を黒白の濃淡で表示し、水系を視覚化したものである。Fig-2は1979年3月29日、5月4日、5月28日のLandsat Dataより流域内の積雪範囲を求め、それぞれ重ね合わせて黒の濃淡で積雪範囲の減少の様子を示したものである。

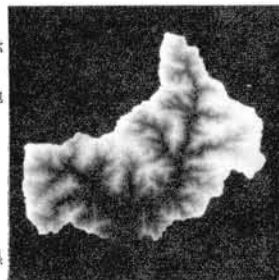


Fig-1 流域水系図



Fig-2 積雪域の変化

4. 融雪流出量計算

矢木沢ダム流域は流域面積の大きさに比して標高差が大きい故、標高により積雪状況も異なると考えられるから流域を標高差により3つに再分割した。標高870mから1500mまでをA地帯、1500mから2000mまでをB地帯、2000m以上をC地帯とし、融雪期間中の降雨を加算して(3)式を次のように変形した。⁽²⁾

$$Q_n = f \left\{ [Q_{an}(T_n + aT_n) \cdot S_{an} + P_{an}] \frac{A_n \times 10^{-2}}{86400} + [Q_{bn}(T_n + aT_n) \cdot S_{bn} + P_{bn}] \frac{A_b \times 10^{-2}}{86400} + [Q_{cn}(T_n + aT_n) \cdot S_{cn} + P_{cn}] \frac{A_c \times 10^{-2}}{86400} \right\} (1 - k_n) + Q_{n-1} \cdot k_n \quad \dots (4)$$

ここに、T: 気温低下による補正量 (°C・Day), S: 積雪範囲 (100% = 1.0), P: 降雨, A: 面積 (m²)
Fig-3 に流域内の標高差250m毎の地帯を表示した。消失係数を流出量の関数で表わして、次式とした。⁽²⁾

$$k = x Q^y \quad \dots (5)$$

ここに、x, y は定数

流出係数fは融雪の期間中は変化が小さいものとして、文献より0.75とした。⁽³⁾
Degree Day Numberを求めるためにダムサイトの毎日の最低気温と最高気温とを下流の藤原ダムとの相関関係を基にして求め、5月4日から5月12日の間は最低気温が1日を除いて0°以下にならなかった場合がないことから、最高気温と最低気温平均した値を毎日のDegree Day Numberとした。Degree Day Factor aの値は経験的に求めた次式を用いて計算した。⁽⁴⁾

$$a = 1.1 \rho_s / \rho_w \quad \dots (6) \quad \text{ここに、} \rho_s: \text{雪の密度} \quad \rho_w: \text{水の密度}$$

融雪に影響する積雪の表面層の密度と反射率との間には相関があり、積雪面の反射率から雪の密度の概略を知ることができる。Fig-4は5月4日のLandsat画像から求めた流域内の積雪面の反射率を示したものであるが白い部分ほど高い反射率であることを示しており、標高の高い場所ほど反射率が高いことがわかる。北海道での測定結果から積雪表面層の密度を0.2~0.5 (g/cm³)に変化すると仮定して(5)式より流域内のDegree Day FactorをA地帯は0.2, B地帯

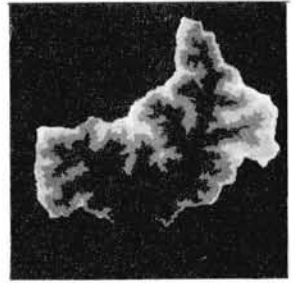


Fig-3 250 m 標高帯

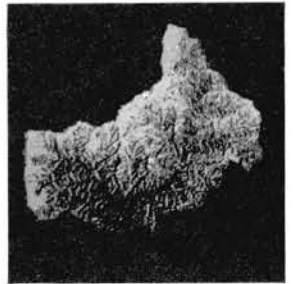


Fig-4 雪面反射率

は0.4, C地帯は0.6とした。ちなみに石狩川上流部流域のDegree Day Factorは0.3として解析されている。標高差による気温低下の補正Tは100mにつき0.6°C気温低下があるとしてA地帯で0°C・d, B地帯で-3°C・d, C地帯で-6°C・dとした。再分割面積はA地帯が127.208×10⁶ m², B地帯が39.842×10⁶ m², C地帯が0.35×10⁶ m²である。消失係数はダム流入実測値より降雨による流出量と基底流量を差し引いた値を基に試行錯誤的に逆算して求め、(5)式のxは0.950, yは0.860とした。

5. 計算結果

Fig-5に矢木沢ダム流入量の計算値と実測値ならびにダム地点観測降雨量を示した。計算値には基底流量、降雨による流出量が考慮してある。なお、矢木沢ダム流入量資料は建設省関東地建利根ダム統合管理事務所より入手し使用させていただいた。

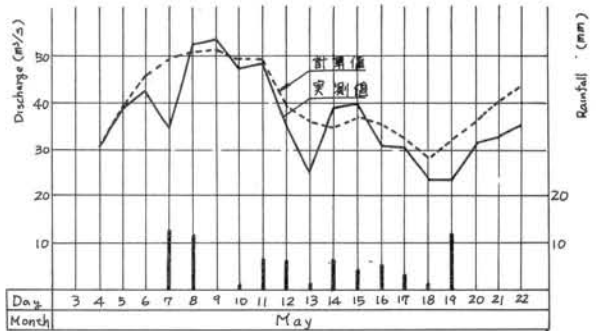


Fig 5 矢木沢ダム流入量

(1) J. Martinec, Snowmelt runoff Model for Stream Flow Forecast, Nordic Hydrology 6, 1975

(2) M. Howley, R. McCuen, A. Rango, Comparison of Models for Forecasting Snowmelt Runoff Volumes, Water Resources Bulletin Vol16 No5

(3) 境 隆雄, 河川の融雪流出に関する研究 土木学会論文集 第95号 昭和38年7月

(4) J. Martinec, The Degree-day Factor for Snowmelt-runoff Forecasting, IAHS Publication No51

(5) 小島賢治 融雪機構と熱収支 気象研究ノート 136号 1979