

II-21 積雪平均密度・融雪量の推定方法について

群馬高専 正会員 山本 好克

1. はじめに 積雪のある山地流域を対象とした水資源計画などでは、積雪量や融雪量の推定が重要となる。著者は先¹⁾に、有用かつ実用的な日融雪量推定式の構築を目指した第一歩として、気温と降雨とを融雪の熱源とした菅原による日融雪量推定式²⁾に、“融雪開始気温”と名付けたパラメータを導入し、北海道天塩川上流に位置する岩尾内ダム流域(流域面積 331.4km²)で観測された 1978 年 8月から 1980 年 7月までの2年間の気温、降水量および積雪量の資料を用いて検討した結果、導入式および式中のパラメータ決定方法の有意性を見出すことができた。

ここでは、提案した推定式の一層の有用性および実用性を計るために、また、解析上導入した“積雪平均密度”の推定式とそのパラメータ決定方法の妥当性について、やはり、北海道石狩川上流に位置する豊平峡ダム流域(流域面積 134.0km²)で観測された 1978 年 8月から 1980 年 7月までの2年間の気温、降水量および積雪深の資料を用いて検討するものである。

2. 融雪開始気温を導入した日融雪量推定式 菅原は、日単位の流出解析において次式の日融雪量推定式を用いている。 $M_s = m t + p t / 80$ 、 $t > 0$ (1)

ここに、 M_s : 日融雪量 (mm/day)、 m : 融雪定数、 t : 日平均気温 (°C)、 p : 日降雨量 (mm/day)である。

式(1)の有用性は、融雪が始まるとする日平均気温 t の決定にあらうとの観点から、式(1)に“融雪開始気温 t_0 ”を導入した次式を設定した。

$$M_s = m(t - t_0) + p(t - t_0) / 80, \quad t > t_0 \quad \text{..... (2)}$$

式(2)の意味は、 t が t_0 より高ければ $(t - t_0)$ の m 倍の雪が解け、さらにその日に降水量 p があればこれを降雨量 p であるとし、降雨の温度も $(t - t_0)$ と考え、氷の融解熱が 80 cal/g であることから、 $p(t - t_0)/80$ の雪が解ける、としたものである。もちろん式(2)に見合う積雪量がある場合であるが、この積雪量は、 t が t_0 以下であればその日の降水量 p は降雪量 p とあるとして推定できることになる。

3. 積雪平均密度とパラメータ決定方法 対象流域の日融雪量を式(2)を用いて推定するには、融雪定数 m と融雪開始気温 t_0 をあらかじめ決定しておく必要があるから、先¹⁾には、対象流域の最適な m 、 t_0 を、式(2)を用いた計算積雪量 S' と実測積雪量 S との相関と誤差とを評価して決定した。しかし、積雪期間中の積雪量の観測は、積雪密度の測定が困難なことから、積雪深で得られることがほとんどである。そこでここでは、パラメータ m 、 t_0 の最適値は、積雪平均密度 ρ を用いて、計算積雪量 S' を積雪深 D に換算し、実測積雪深 D との相関と誤差とを評価して決定することにする。

ところで積雪密度は、積雪中の空隙量や含水率などによる雪質の違いや、積雪時期による圧密などのために大きく変化する。秋田谷ら³⁾は、北海道各地の積雪調査から、積雪平均密度 ρ (g/cm³) と積雪深 D (cm) との間にはべき乗の関係があることを見出し、たとえば、2月の積雪平均密度の最小値は、 $\rho_{\min} = 0.068 D^{0.26}$ となり、積雪深がわかれば平均密度の最小値が求まる、としている。以上のことからここでは、 ρ と D の関係を式(3)とおき、 D と S との関係を求めて式(4)とする。

$$\rho = \alpha D^{\beta} \quad \text{..... (3)}, \quad D = k S^n, \quad k = (1/\alpha)^n, \quad n = 1/(\beta + 1) \quad \text{..... (4)}$$

こうして、対象流域の最適な m 、 t_0 および α 、 β は、式(2)、(3)、(4)を用いて積雪深を計算すれば決定できる。すなわち、 m 、 t_0 、 α 、 β の組合せを種々変化させ、計算値 D' と実測値 D との相関係数 R が高くかつ絶対誤差 $ER (= \sum |D' - D| / N, N$: 積雪日数) が最小値を示す組合せをもって最適値とする。なお、 m 、 t_0 は積雪期間中一定、 α 、 β は次式のように月毎に変化するものとする。

$$\rho = \alpha_i D^{\beta_i}, \quad i = 1 \sim M \quad (M : \text{積雪月数}) \quad \text{..... (5)}$$

積雪深の計算は、 t が t_0 より高ければ融雪、 t_0 以下でかつ降水量があればこれを降雪量として、積雪平均密度を用いて行なう。この計算手順のフローを図-1に示す。

4. 適用例 豊平峡ダム流域の m 、 t_0 、 α_i 、 β_i の値は、ダム地点で観測された1978年8月-1979年7月（Case 1）、1979年8月-1980年7月（Case 2）の2年間の日平均気温 t （℃）、日最低気温と日最高気温との平均値）、日降水量 p （mm/day）、積雪深 D （cm/day）の資料を用いて、図-1の計算手順に従って解析し検討した結果 $m=2$ 、 $t_0=-3$ ℃、 $\beta_i=0.26$ 、 α_i は表-1であることを見出した。これらの値を用いた積雪深の再現例を図-2に示す。図から、計算値と実測値との適合性が良好であることが見られる。

積雪平均密度式(5)の乗数 β_i は、積雪期間中一定とおけるその値は0.26、また係数 α_i は、たとえばCase 1の2月は0.06と、秋田谷ら³⁾による値に近似していること、さらには、3月初旬に実測された積雪深256cm地点での積雪平均密度0.32g/cm³に対し計算によるそれは0.34g/cm³であることなどから、式(5)および α_i 、 β_i の決定方法の妥当性が推量できた。

5. おわりに 提案式(2)および積雪平均密度式(5)を豊平峡ダム流域に適用し検討した結果、これらの式の有意性とパラメータ決定方法の妥当性を見出すことができた。こうして、融雪量だけではなく水資源賦存量としての積雪量の推定も可能となるが、このことと、パラメータ m 、 t_0 と流域特性および α_i 、 β_i と積雪特性などとの関連性については、より多くの流域を対象とした検討をもって明らかにして行く必要がある。今後の課題としたい。

最後に、資料の整理と計算に多大な援助を得た群馬高専学生北村光君（現・復建エンジニアリング（株））にお礼申し上げる。

参考文献 1) 山本：日融雪量推定式とそのパラメータ決定方法について、第44回年講2、P.P.96-97 1989. 10月 2) 菅原：流出解析法、共立出版、P.101、1972 3) 秋田谷ら：北海道の平地積雪の特性（1977～79年冬期）、低温科学 物理篇 第38輯、昭和54年

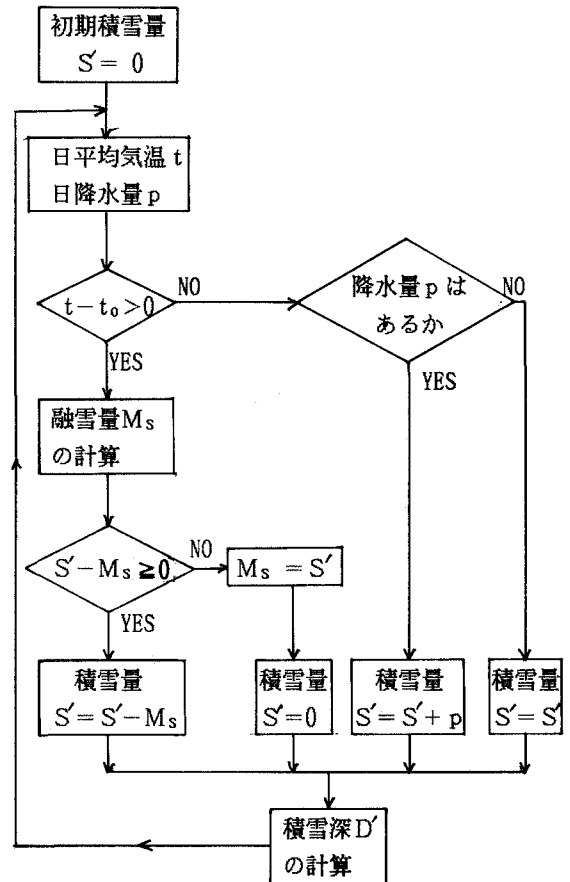


図-1 積雪深計算手順のフローチャート

表-1 積雪平均密度式の係数 α_i

α 月	11	12	1	2	3	4
Case 1	0.02	0.02	0.05	0.06	0.08	0.11
Case 2	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08

1978 11-1979 4月

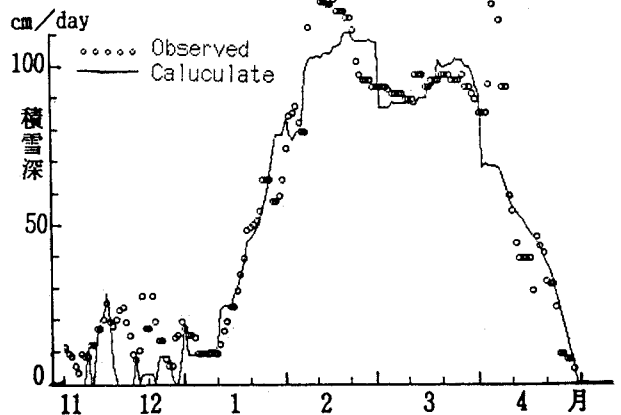


図-2 積雪深の再現例