

金沢大学工学部 正 員 ○高瀬信忠
大阪府土木部 正 員 野村継男

1. はじめに

融雪出水を解析する場合における積雪にかかる熱エネルギー入力¹⁾の指標として、気温が最も重要な因子であることは一般に認められているところであるが、この気温を媒介とする熱エネルギーの指標を実際の自然状態に対応させて正確に把握することが必要になってくるわけである。この気温の重要性に着目して、従来、米国で発展してきた Degree-day 法は融雪の経験的研究として注目すべきものであるが、わが国では境博士が、わが国河川に適合した Degree-hour factor 法まで発展させ²⁾、その後幾つかの注目すべき研究もなされている。しかしながら、これ等の方法は凍結線、雪線など境界線の考慮や標高差による気温分布のとり扱いなどが理論的、そして具体的に明らかでない欠点がある。本研究では、気温の分布を地域的なものへ発展させる方法の一つとして、体積気温³⁾の概念を導入し、実際の適用例として北陸河川の手取川について研究したものである。

2. 等融雪帯の概念

融雪出水は全地域において一様に生起しているわけではなく、各地帯からの融雪出水が合成されたものであるが、気温は一般に高度に従って一定の低減率 γ で分布(100m上るとに $0.3 \sim 0.7^\circ\text{C}$ 程度の温度低下で、最も普通には約 0.6°C といわれている)しており、ある高さでは平均的に温度が同一であるとみることのできる、これらの線を結ぶことによって等融雪線、あるいは等融雪帯が推定できるものと思われる。そして、これら等融雪帯の積分が体積気温の概念となるのであるが、体積気温とは流域最低点における気温 T_0 を高さにし、流域面積を底面積とする立体から流域体積を気温に変換して除いた空間の体積で表わされる熱エネルギーの指標である。

いま図-1および図-2におけるように流域内に凍結線(気温 0°C に相当する等高線)が生じた場合、それ以上の部分では積雪が存在しても融雪現象は生起して⁴⁾なく、また気温が 0°C 以上になっても積雪がなければ融雪は当然起こりえないわけであるが、流域内にこのような雪線(積雪深0の地帯)が存在しない場合を考えると、高山帯をひかえる流域では、融雪期において凍結線が流域最低点の気温変化に準じて昇降しているものと思われる。

3. 積算体積気温の推定

いま流域最低点における気温を T_0 、流域面積が A_0 、流域体積および気温低減率を V_0 、 γ とすれば、

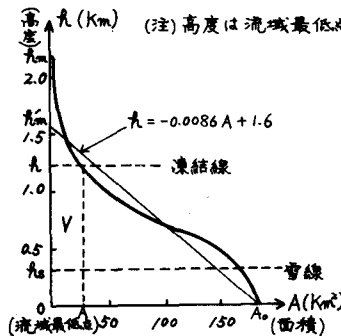


図-1 面積～高度曲線
(手取川・瀬戸堰堤地点)

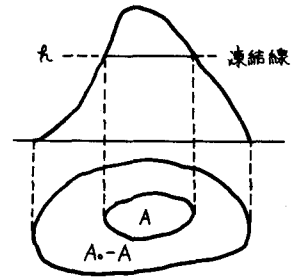


図-2 流域内に凍結線が生じた場合

積算体積気温 S_T は体積気温の積分であるから、次式で表わすことができる。

$$S_T = \int \{ (A_0 - A) T_0 - rV \} dt = A_0 \int T_0 dt - \int A T_0 dt - r \int V dt \quad \text{----- (1)}$$

なお凍結線の高さ $h = T_0/r$ であり、したがって A, V は T_0 の関数となるのであるが、融雪出水の予報などにおいては(1)式をできるだけ早く、そして、なるべく簡単に計算することが必要なので、図-1の面積～高度曲線が直線 $h = -T_0/r + h_m$ で近似できるものとすれば、

$$\left. \begin{aligned} A &= (h_m - h)/r \quad \text{or} \quad h = (h_m - h)/r \\ V &= \int_0^h A dh = \int_0^h \{ (h_m - h)/r \} dh = h(2h_m - h)/(2r) \end{aligned} \right\} \quad \text{----- (2)}$$

(2)式を(1)式に代入し整理すると

$$S_T = (A_0 - 2h_m/r) \int T_0 dt + 3/(2r) \int T_0^2 dt = 3/(2r) \int T_0^2 dt - A_0 \int T_0 dt \quad \text{----- (3)}$$

(3)式は凍結線が流域内を移動する時の基礎式であるが、毎時気温 T_0 が観測されておれば容易に求めることができる。なお凍結線が生じてなく流域全体から融雪が生起している場合は(1)式で $A = 0, V = V_0$ において、次式で求めることができる。

$$S_T = A_0 \int T_0 dt - rV_0 \int dt \quad \text{----- (4)}$$

雪線後退時においても面積～高度曲線が同じく直線で近似され、雪線の高度を h_s とすれば、

$$\left. \begin{aligned} A &= (1 - h_s/h_m) A_0 = u A_0, \quad V_0 = A_0 h_m/2, \quad u = 1 - h_s/h_m \\ V &= (1 - h_s/h_m) \cdot A_0 \cdot (h_m - h_s)/2 = (h_m - h_s)^2 A_0 / (2h_m) = u^2 V_0 \end{aligned} \right\} \quad \text{----- (5)}$$

ここで凍結線が存在しない場合の(4)式において、 $A_0 \rightarrow u A_0, T_0 \rightarrow T_0' = T_0 - r h_s, V_0 \rightarrow u^2 V_0$ なる変換を行なえばよい。なお、 u は雪線が後退しはじめる日からの経過日数の関数であるが、 $t(h_s)$ で積分する時は常数とみなしても差支えないものと思われる。

$$S_T = A_0 u \int T_0' dt - r V_0 u^2 \int dt \quad \text{----- (6)}$$

4. 融雪出水予報などに対する実際河川への適用

解析対象流域としては、石川県を流れる寺取川支川尾添川流域の瀬戸堰堤地点(流域面積 187.0 km^2)を選んだが、水文資料としては同堰堤地点での毎時流量のハイドログラフと同地点付近にある建設省出張所の毎時気温資料を用い、(3)式あるいは(6)式により、 S_T を計算しハイドログラフと対応させてみたのが図-3である。この S_T から毎時流量 Q を推定する場合には、降雨から流量推定の場合と同じく単位図法的な概念を用いれば融雪出水の予報などが比較的早く行なうことができるわけである。

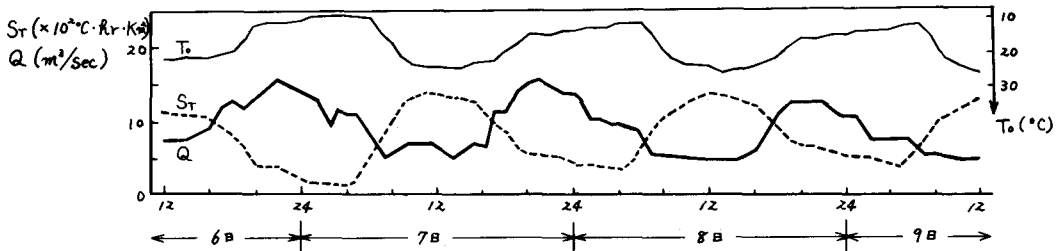


図-3 S_T とハイドログラフの対応図(昭和39年5月)

文献・1) 境隆雄：河川の融雪流出に関する研究、土木学会論文集95号、土木学会、昭.38.7.

2) 高瀬信忠、寺島泰、野村維男：融雪出水に関する基礎的研究、土木学会第25回年次学術講演会講演集・第2部、土木学会、昭.45.11.