Ⅱ－２７

手取川および黒部川における融雪出水に関する研究

金沢大学工学部　正　員　高瀬信忠
金沢大学工学部　学生員　○野村継男

１．はじめに

融雪出水における気温の重要性はいうまでもないのであるが、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計量することが重要となってくる。すなわち気温については、気温のてい減則に従った高度気温分布と融雪域変動を考慮することである。融雪域とは凍結線と雪線で囲まれる積雪地帯であって、この上に乗る熱エネルギーによって融雪を生ずると考えられる地域である。融雪出水に関する研究として融雪因子に気温を用いる経験的手法にいわゆる Degree-day (hour) factor法があるが、一地点の気温（あるいは気温面積）を用いるため標高による気温変化が目立つ流域では、これらで正しく熱エネルギーの指標が与えられない。また凍結線の時間的な移動の影響や雪線のとり扱い方が明らかでないので、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[1]の概念を用いた各場合における算定の基礎式について考慮し、実際的適用例として北陸河川の手取川および黒部川について研究したものである。

２．流域内に凍結線が存在する場合

体積気温とは、図－１に示す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。いま流域に図－２に示すように凍結線が生じ、そして諸量が与えられたとすると、融雪に関係する積算体積気温S_Tは次式で与えられる。

$$S_T = \int\{(A_0 - A)T_0 - \gamma V\}\,dt$$
$$= A_0\int T_0\,dt - \int(AT_0 + \gamma V)\,dt \qquad \text{-----}(1)$$

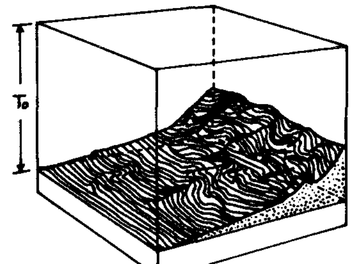

図-1.

凍結線の高さhは気温の低減率をγとすると、$h = T_0/\gamma$ であり、これと図－２からA，VはT_0の関数となることがわかる。面積～高度曲線が直線 $h = -kA + h_m$ で近似されたとすると

$$\left.\begin{aligned} A &= (h_m - h)/k \\ V &= \int_0^h A\,dh = \int_0^h (h_m - h)/k\,dh = h(2h_m - h)/2k \end{aligned}\right\} \cdots\cdots(2)$$

(2)式を(1)式に代入すると

$$S_T = (A_0 - 2h_m/k)\int T_0\,dt + 3/2k\gamma\int T_0^2\,dt$$
$$= 3/2k\gamma\int T_0^2\,dt - A_0\int T_0\,dt \qquad \text{-----}(3)$$

(3)式が凍結線移動時におけるS_Tの基礎式で，$\int T_0^2\,dt$，$\int T_0\,dt$ は毎時気温が記録されておれば容易に求められる。凍結線が生じていない場合は(1)式において $A = 0$，$V = V_0$とおいて，

$$S_T = A_0\int T_0\,dt - \gamma V_0\int dt \qquad \text{-----}(4)$$

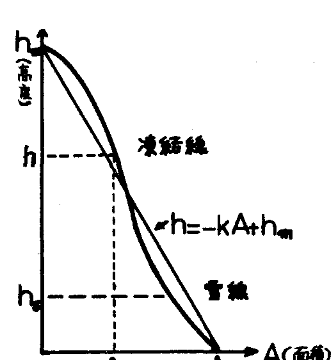

図-2

3．雪線後退時におけるS_Tの基礎式

2.と同様にして面積～高度曲線が直線で近似されるとし、雪線の高度をh_sとすると（図－２参照）

$$\left.\begin{aligned} A &= (1-h_s/h_m)A_0 = uA_0 \ , \ V_0 = h_m A_0/2 \ , \ u = 1-h_s/h_m \\ V &= \tfrac{1}{2}(1-h_s/h_m)A_0 \times (h_m-h_s) = \tfrac{1}{2}h_m\cdot(h_m-h_s)^2 A_0 = u^2 V_0 \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots (5)$$

ここで、凍結線が存在しない場合のS_Tの基礎式(4)において、凍結線が存在する場合の$A_0 \to uA_0$，$T_0 \to T_0' = T_0 - \gamma h_s$，$V_0 \to u^2 V_0$　なる変換を行なうと

$$S_T = A_0 \int u T_0' \, dt - \gamma V_0 \int u^2 dt \quad \cdots\cdots\cdots (6)$$

なお、uの値は(5)式に示すとおりであるが、これは雪線が後退しはじめる日からの経過日数dの関数で、t（hour）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。

4．S_T式の一般化

一般に高山帯を有している比較的大きな流域では、次の三つの段階を経て融雪を完了するものと考えられる。①融雪の初期段階では、常時、凍結線が生じている。②第２段階として気温が全体的に上昇し、ある時間帯では凍結線が生じない。③融雪が進行してくると、雪線の後退が始まり、高山帯をひかえる流域では雪線の後退に②の現象が重なる。いま、時刻0～時刻t_1まで凍結線が生じ、これ以後、時刻t_2まで凍結線がないとして、雪線の存在を考慮すると、(3)式および(6)式などより

$$\begin{aligned} S_T = {} & 3/2\,k\gamma\cdot\int_0^{t_1}(T_0-\gamma h_s)^2 dt - uA_0\int_0^{t_1}(T_0-\gamma h_s)\,dt \\ & + uA_0\int_{t_1}^{t_2}(T_0-\gamma h_s)\,dt - \gamma u^2 V_0\,(t_2-t_1) \end{aligned} \quad \cdots\cdots\cdots (7)$$

(7)式は上述の３段階を満足する一般式であって、①の場合は$u=1$，$h_s=0$，$t_1=t_2$とおけばよい。また②の場合は、$h_s=0$，$u=1$とおいてえられるが、$u=1-h_s/h_m$　であるから、雪線の後退速度をv_sとすると、$u=1-v_s d/h_m$　である。雪線の後退速度は、わが国では大体　$20\sim25\,m/day$程度であるといわれている。

5．S_Tの融雪出水量Q_sへの変換および実際河川に対する適用

融雪出水量Q_sと上述したような各々の自然流域における状態に対応させて算定されるS_Tとの比，$C=Q_s/S_T$　は図－３に示すとおりS_TとQ_sのよい相関がえられているところから、ある範囲におさまる一定値であるように考えられる。このような常数Cが決定せられるならば、単位流出量曲線を用いて融雪出水の計算ハイドログラフがえられ、S_TとQ_sを対応させることができるわけである。解析対象流域としては、石川県を流れる手取川および富山県を流れる黒部川について解析したが、計算値と実際の融雪出水を対応させると比較的よく対応していることが認められた。

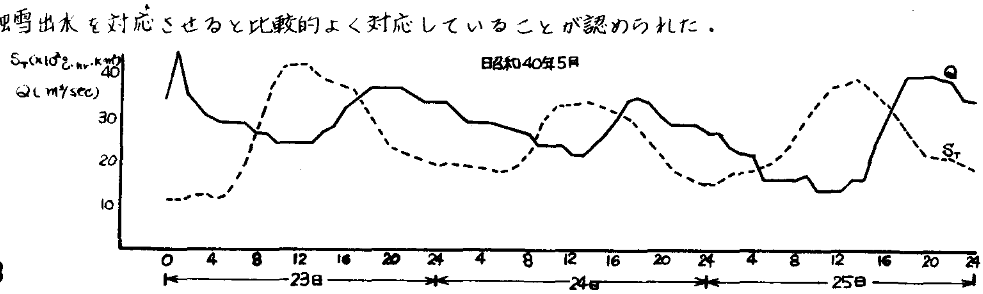

図-3

文献　1）高瀬信忠，寺島泰，野村継男：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．