

金沢大学工学部 正 員 高瀬信忠

金沢大学工学部 正 員 寺島 泰

金沢大学大学院 学生員 ○野村継男

1. はじめに

融雪出水を扱うには、積雪にかかる熱エネルギーとこれに対応する応答を研究しなければならない。熱エネルギー源としては、気温、日射、風、湿度、雨、地熱などが考えられるが、地熱は積雪下では地面はかなりの深さまで冷えているので、その影響は非常に小さく、日射はこの影響が気温に反映され、風は局地的にみた場合、融雪量とよい相関をもっているが流域全体を考えた場合、定量的な把握も困難であるけれども結果的には雪面上の空気を乱し、雪面温度を変化させるのであるから、雪面上の気温変化がこれを反映するであろう。また湿度と雨は、雨が暖雨なり考慮されるが熱量としては案外小さいともいわれている。このように積雪にかかる熱エネルギー入力の指標として気温が最も重要視されてよく、また気温は観測や観測結果の定量的処理の容易さといった利点もある。本文では以上の点を考慮して、熱エネルギー入力の指標として気温のみをとりあげ、そして考えることにする。

2. 体積気温の概念

気温は一般に標高とともに逆比例して低下することが知られており、ここではこの関係が成立するとして標高による気温分布を考慮した熱エネルギー入力の指標として、体積気温なる概念を導入する。融雪は雪面上の温度に関係するので体積気温は図-1に示すように、流域最低点における気温を T_0 とすると、高さが T_0 、底面積が流域面積 A なる立体図形の体積から、流域体積（流域最低点を通る平面上にのる地形の体積）を負の気温体積と考えて除いた量である。すなわち体積気温を T_v 、標高を気温に変換した流域体積を v とすると

$$T_v = T_0 A - v \quad \text{----- (1)}$$

したがって、気温に変換した流域体積などのように計算するかは問題であるが、これは図-2に示す柱体の体積の和として作ることができる面積～高度曲線から、(b)図における面積を計算することによって求めることができる。この体積を V とすれば、これを負の気温体積として考えるときは、標高 h を γh （ γ は気温のてい減率）にとるので、(1)式から除外すべき v は

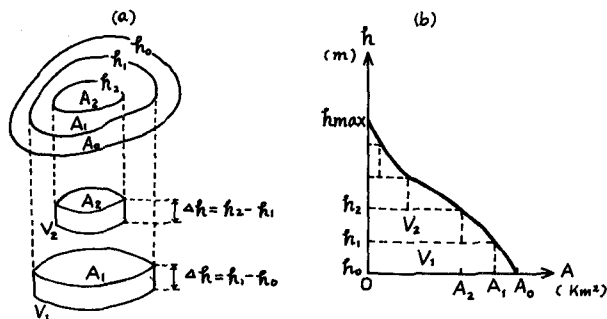


図-2. 流域の面積～高度曲線

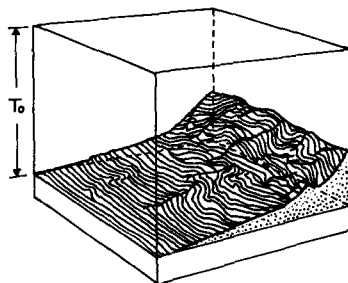


図-1. 体積気温の概念図

$$T_v = \gamma V \quad \text{----- (2)}$$

したがって、求める体積気温は、(1)、(2)式より

$$T_v = T_0 A - \gamma V \quad \text{----- (3)}$$

ところで T_0 は時間とともに変化し、 T_v の時間に対する積分が熱エネルギー入力の直接的な指標となる。つまりこれを積算体積気温 S_T とすると、 S_T が融雪流出量と対応するわけである。流域内に凍結線が生じないとき、 S_T は

$$S_T = \int T_v dt = \int (T_0 A - \gamma V) dt = A \int T_0 dt - \gamma V \int dt \quad \text{----- (4)}$$

γ は、 100°m 上ごとに $0.3 \sim 0.7^\circ\text{C}$ 程度の温度低下といわれているが、最も普通に考えられている 0.6°C とする。¹⁾ サーモグラフが完全に記録されておれば $\int T_0 dt$ はサーモグラフの面積である。

3. 流域に凍結線が生じた場合の処理

流域に凍結線（気温 0°C に相当する等高線）が生じた場合は、融雪域は実際の流域と一致せず、時間とともに変化することになる。流域内に凍結線が生じる位置は $h = T_0 / \gamma$ 以上の高さであって、図-3は凍結線が生じた場合の簡単な様相を示したものであるが、その凍結線が生じている流域の面積を a 、流域体積を V とすれば、体積気温は

$$T_v = T_0 (A - a) - \gamma (V - V') \quad \text{----- (5)}$$

となる。なお実際問題としては、降雪期には凍結線が生じているわけ、また日中ある程度暖かいときでも、夜間は冷えるので凍結線が生じ、夜が明けて暖かくなるにつれて凍結線は漸次高い方にゆき、遂にはなくなつて流域全体から融雪が起るものと考えられる。

4. 実際河川に対する適用

解析対象流域としては、石川県を流れる手取川流域の鶴来地点（流域面積 747.5 km^2 ）を選

んだ。しかし同河川流域内には気温の資料が少なく、鶴来地点上流において1ヶ所あるに過ぎないが、その資料を有効に使って気温の変化と融雪出水量を対応させ考察した。流域に与えられる外部エネルギーは、積算体積気温として(4)式によつて表わされるのであるが、 $\int dt$ は時間の積分であるから、 $\gamma V \int dt$ は時間に比例するものと考えてよい。Aは流域面積として常数であるから、 $\int T_0 dt$ を1時間ごとに区切って計算すると S_T の時間的な変化がわかることになる。この S_T の強弱によつて融雪が行なわれるのであるが、気温の変化によつては朝6時頃より $T_0 > 0^\circ\text{C}$ となつて流域の凍結線が漸次高くなつてゆき、遂には流域全体から融雪が起り、午後遅くなつて気温が下がるにつれて凍結線も漸次低くなり、そして午後5時頃 $T_0 < 0^\circ\text{C}$ となつて、融雪もほぼ時を同じくして始まり、そして終るものと考えられる。しかし融雪は積雪面の表層で起るから、融雪水が屋内を通過するのに時間がかかるわけ、これらが出水の遅滞時間に関係するのであるが、実際の融雪出水と対応させると比較的良好に対応していることが認められた。

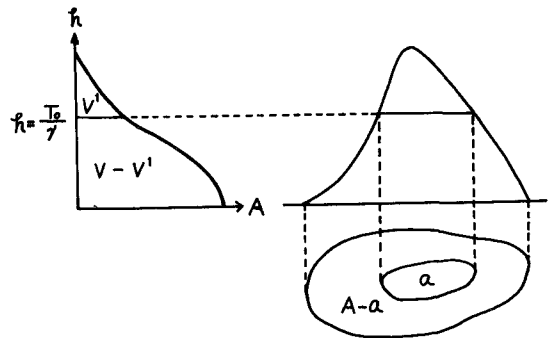


図-3. 流域に凍結線が生じた場合

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.