

雪線高度の気温、残雪量を考慮した融雪量の算定式について

ESTIMATION OF SNOW MELTING VOLUME FROM TEMPERATURE OF SNOW LINE AND REMAINING SNOW AMOUNT

日野 幹雄*・長谷部正彦**・野田賢治***

By Mikio HINO, Masahiko HASEBE and Kenji NODA

1. まえがき

積雪地域における春季の河川流出量は、ほとんど融雪による融雪水である。この融雪量が、発電、公共用水の供給源となるので利水上の見地からみても重要な水資源となる。融雪出水の解析手法は、熱収支に基づく方法と経験的な方法に区別される。熱収支による融雪の解析(たとえば、Wilson¹⁾)では、融雪の原因となる熱量として、大気からの熱、大気中の水蒸気の凝結熱、日射熱などを熱力学的に計算して融雪量が見積もられる。

経験的な方法としては、気温日数を用いる方法がある。融雪の原因となる因子には、気温、風速・湿度、日射量、地熱、暖かい雨からの熱、雪面の Albedo 等が考えられるが、気温日数法は、これらの因子の代表として、気温を用いて融雪量を算定する方法である。本論文では、水文資料により、気温日数法の融雪量と積算気温および積算気温面積との関係が比例関係にないことを示し、新たに、残雪量と雪線での積算気温を考慮した融雪の流出機構を考えた。その結果、融雪量は、残雪量と雪線での平均気温の積算気温の積に比例することを示し、融雪量の求める式を提案した。

2. 観測資料の水文特性

(1) 水文資料

解析の対象流域は、奥只見ダムの集水域である只見川上流域(流域面積 $A=425.4 \text{ km}^2$)である。観測資料は、奥只見地点(緯度; $N 37^{\circ}09'$, 経度; $E 139^{\circ}15'$, 標高 782 m)で観測された日単位の降水量(降雪量・降雨量)、奥

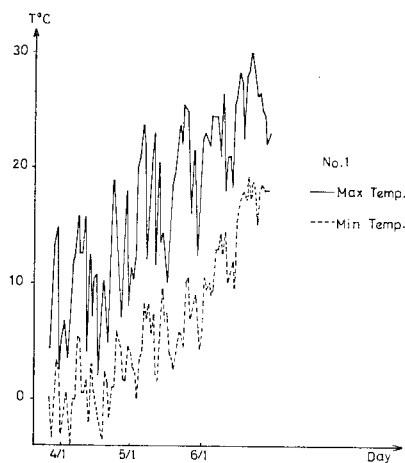


図-1 最高、最低気温図

只見湖に流入する流入量、午前9時に測定された気温、最高気温、最低気温、当日午前9時から翌日午前9時までの24時間に積もった降雪深である。図-1に最高気温、最低気温の一例を示す。

解析期間(データの採られている期間)は、降雪の始まる前年の11月から融雪が終わるであろうと思われる6月までである。解析には、降雪・融雪タイプの異なる4例、1979年(No. 1)、1974年(No. 2)、1972年(No. 3)、1975年(No. 4)を選んだ。

この4例の総降水量、総降雨量、総降雪量(降水量の降雨量と降雪量の区別は後に示す)、流出率(総流出量/総降水量)を表-1に示す。表から理解できる

表-1 解析年の総降水量、総降雨量、総降雪量、流出率

	降雨量 (m^3/s)	降雪量 (m^3/s)	降水量 (m^3/s)	流出量 (m^3/s)	流出率 f
No. 1	3 584	6 474	10 058	9 267	0.921
No. 2	2 196	10 615	12 811	11 628	0.908
No. 3	3 604	6 686	10 290	9 395	0.913
No. 4	3 961	8 738	12 699	11 471	0.903

* 正会員 工博 東京工業大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 工博 宇都宮大学助教授 工学部土木工学科

*** 正会員 東京工業大学(現・前田建設)

ように No. 1, No. 3 は総降雨量, 総降雪量および総流出量が近い値となっており, No. 2, No. 4 は, これらに比べて総流出量, 総降雪量が多い。また, No. 2, No. 4 は, 降水量と流出量がほぼ同じであるが, 降雨量の降水量に対する割合は, それぞれ, 17%, 31% とでかなり異なる。

(2) 融雪特性と貯留量

融雪特性と貯留量を調べるために, No. 1, No. 2 の降水量(降雪量を含む)と流出量の累積値を 図-2(a), (b) に示す。また, 解析開始時期 (t_1 日) での降雨のない期間における流出ハイドログラフの逓減部から基底となる流出量を求める。

$$Q_b = Q_0 e^{-\alpha t} \dots\dots\dots (1)$$

ここに, Q_b : 基底流量, Q_0 : 降雨がやんだ後 2~3 日以後の流出量, α : 逓減係数, t : 時間(日)

式(1)を t_0 日から考えている時間(日)まで積分すると基底流量の累積値が求まる。その累積値を 図-2(a), (b) の破線で示す。

融雪開始日は, 流出時系列の累積値線と基底流量の累積値線とが離れ始める点以後と考えられる。 図-2(a), (b) から, 融雪は, 2月以降で生じ, 4, 5月で融雪量が顕著に増加し, 5月末頃から減少して, 6月末頃に終え

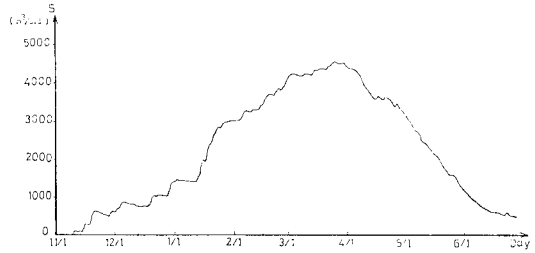


図-3 貯留量

る。次に, 累積降水量から累積流出量を引いた貯留量(流出率の出し方は後に示すが)は式(2)で求め 図-3 に示す。

$$S = \int_{t_1}^t f \cdot R dt - \int_{t_1}^t Q dt \dots\dots\dots (2)$$

ここに, S : 貯留量, R : 降水量, Q : 流出量, f : 流出率

(3) 流出率

図-2(a), (b) に流出量, 降水量のそれぞれの累積値を示しているが, 最終解析日(6月30日)以降の累積値も, 6月の最後の一洪水のハイドログラフの逓減部を指数関数に近似することによって求めて図に示してある。

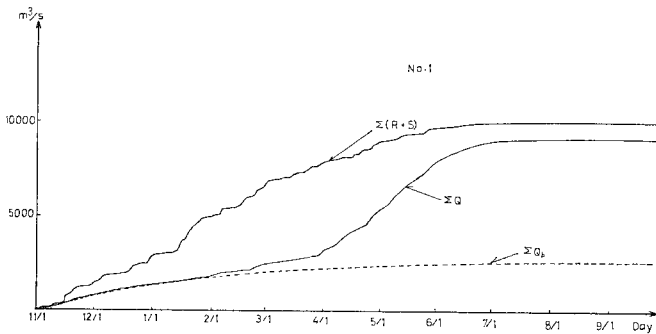
図-2(a), (b) から流出量, 降水量の累積値(積分値)が一定になり, 融雪が完了したことがわかる。流出率は一定になった所の降水量の累積値と流出量の累積値の比で表わされ式(3)となる。

$$f = \frac{\text{融雪完了時の累積流出量}}{\text{融雪完了時の累積降水量}} \dots\dots\dots (3)$$

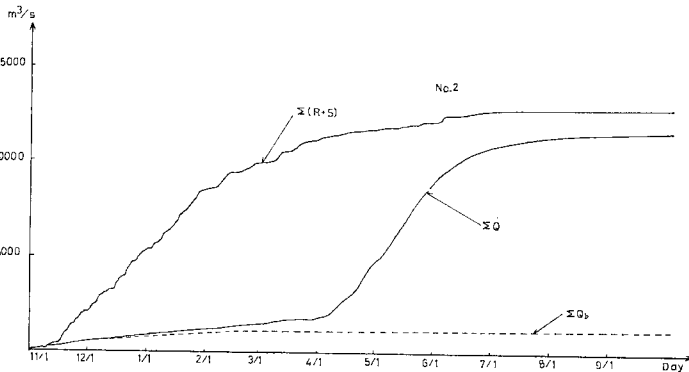
3. 降水量の降雨量と降雪量への区分と融雪量の算定

(1) 降雨量・降雪量の分離

さて, 奥只見地域, 積雪・気象・流量調査資料²⁾には降雪も単に降水量として記載されており, 降雨か降雪かの区別はない。これを以下に述べる解析のために降雨量と降雪量に識別する必要がある。ここでは, 降水があり, 天候が雪で降雪深が前日に比べて増加している場合には, その日の降水は降雪であるとした。 図-4(a)~(d)に降雨・降雪のハイトグラフと流出量のハイドログラフを示す。

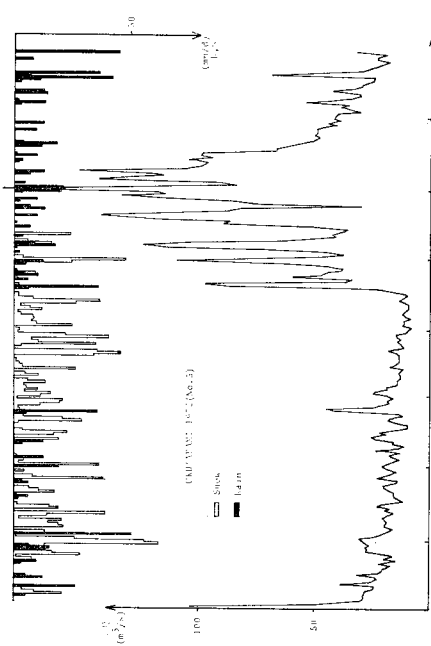


(a) No. 1

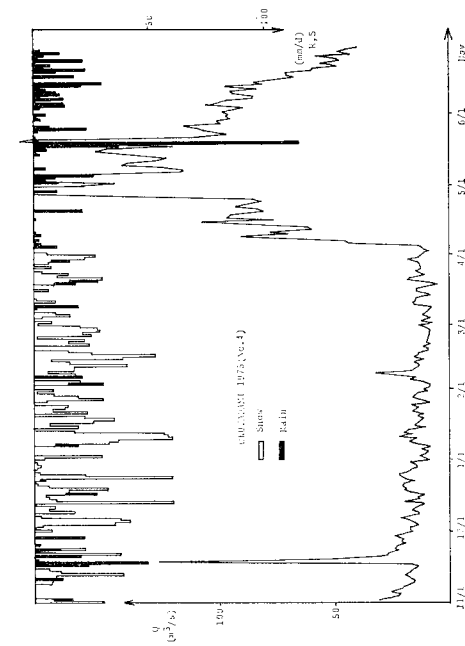


(b) No. 2

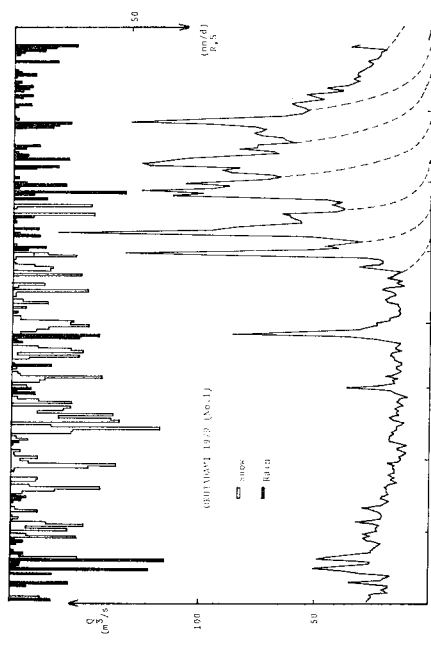
図-2 降水量と流出量および基底流量の累積値



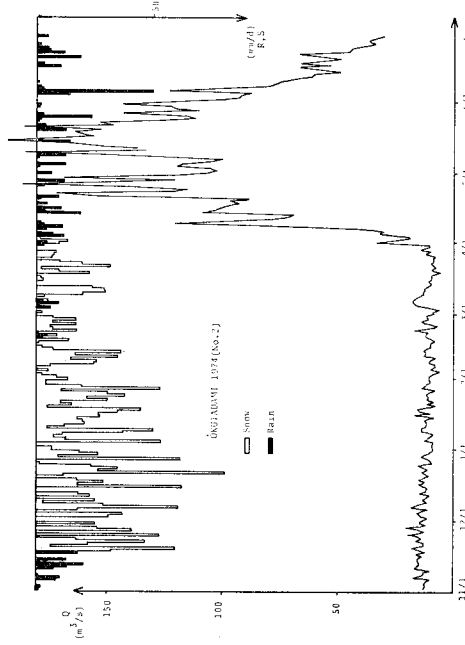
(a) No. 1



(b) No. 2



(c) No. 3



(d) No. 4

図4 ハイエトグラフとハイドログラフ

(2) 融雪量の算定

まず、融雪期の流出を各洪水ごとの流出に分離する。これには、流出量のハイドログラフの逓減部を逓減曲線 ($Q=Q_0e^{-\alpha t}$, Q_0 :ピーク流量, α :逓減係数, t :ピーク流量時以降の日数) で近似して行った。一例として、流出ハイドログラフの図(図-4(a))に上記の方法で分割した洪水を示した。

次に、洪水流出から降雨による分を分離し、各区間の融雪量 Q_{SN} を次式によって求める。

$$Q_{SN} = Q_i - f_r \cdot R_i \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここに、 Q_{SN} : i 洪水の融雪量, Q_i : i 洪水の流出量, f_r : 流出率, R_i : i 洪水の降雨量

流出率 f_r は、降雪のない降雨(11月の資料)時の洪水で決定した。

4. 凍結線と雪線と平均気温の関係の検討

(1) 平均気温

当流域で得られている気温データは、奥只見観測所(標高 782 m)における日最高、最低気温の資料のみである。しかし、観測所と最頂点(標高 2346 m)の高度差は、1500 m 余りあり、気温差がかなりある。一般に気温の高度差による平均変化率すなわち気温減率は $0.6^\circ\text{C}/100\text{ m}$, 乾燥大気 of 断熱減率は $1.0^\circ\text{C}/100\text{ m}$ であるといわれているから観測所と最頂点では、約 $9.4^\circ\text{C} \sim 15^\circ\text{C}$ の気温差があることになる。したがって、生データを融雪に関する気温として直接使うことはできず、融雪期間の任意の高度における平均気温を生データから求めなければならない。

まず積算気温(ただし、時間単位で1日)についての

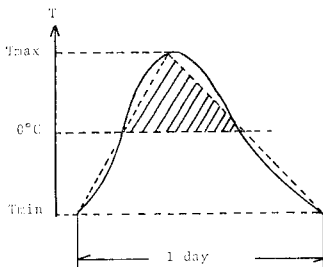


図-5 積算気温

平均気温 \bar{T} を求める³⁾(図-5)。図の斜線部の平均を求めるには毎日の時間単位の気温データが必要であるが、時間単位のデータはなかったため、1日の温度変化を図-5に示す

ような三角形で近似した。日平均気温は、横軸を 1 (day) とし 0°C 以上の斜線部の面積(積算気温)を求め、それを1日で割った値で、次式で求める。

$$\bar{T} = \frac{T_{\max}^2}{2(T_{\max} - T_{\min})} \quad \dots\dots\dots(5)$$

ここに、 \bar{T} : 平均気温, T_{\max} : 観測所の日最高気温, T_{\min} : 観測所の日最低気温。

(2) 凍結線

次に、日最高気温が 0°C である高度として凍結線を定義する。これより上の区域では、直接、空気からの熱伝達(顕熱)、雪面への凝結の際に放出される潜熱による以外の融雪は起こらない。

凍結線の高度 (H_F) は、観測所の標高 (H_0)、観測所における最高気温 ($(T_0)_{\max}$) とすれば、次式になる。

$$H_F = H_0 + (T_0)_{\max} / r \quad \dots\dots\dots(6)$$

ここに、 r は高度差による気温減率であり、 $r=0.6^\circ\text{C}/100\text{ m}$ (平均大気) $\sim 1.0^\circ\text{C}/100\text{ m}$ (乾燥大気) である。

また融雪区域の高度 H における最高気温 ($(T_H)_{\max}$)、最低気温 ($(T_H)_{\min}$) は次式になる。

$$\left. \begin{aligned} (T_H)_{\max} &= (T_0)_{\max} - r \cdot (H - H_0) \\ (T_H)_{\min} &= (T_0)_{\min} - r \cdot (H - H_0) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots(7)$$

式(7)を式(5)に代入すると任意高度 H の平均気温 (\bar{T}_H) が求まる。

$$\bar{T}_H = \frac{\{(T_0)_{\max} - r \cdot (H - H_0)\}^2}{2\{(T_0)_{\max} - (T_0)_{\min}\}} \quad \dots\dots\dots(8)$$

(3) 雪線と日最低気温の関係

融雪の進行状況は雪線高度の上昇によって知ることができる。これは気温特に日最低気温に関連すると思われる。幸いに、この解析対象流域の雪線高さを求めるのであるが、No. 1(1979)についての雪線高の資料は、ランドサット資料により求められている⁴⁾。No. 1以外の各年の雪線高を推定するために、No. 1の観測所における日最低気温 $(T_0)_{\min}$ と No. 1の雪線高さ (H_{SN}) との関係を求める。

日々の日最低気温の上下はかなり大きい。しかし、雪線はこれに対して鈍く応答するのであろうから、平均日最低気温との関係のみみる。このため、観測値の累積日最

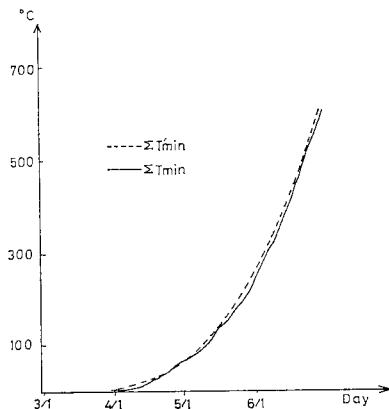


図-6 累積最低気温の日変化

月 日	雪線高度
3月 29日	840 m
5月 4日	1180 m
5月 22日	1560 m

低気温 ($\sum T_{\min}$) と日 (day) をグラフに示す(図-6(実線)). この図より, この解析期間では $\sum T_{\min}$ は t (日) の増加とともに指数関数的に増加している

ことがわかる. そこで, この関係を指数関数 $a \cdot t^k$ で近似し(図-6(破線)), これより, 平滑化された日最低気温を求める.

$$\sum T_{\min}' = a \cdot t^k \dots\dots\dots (9)$$
 No. 1 では, $a = 1.570 \times 10^{-3}$, $k = 3.658$, t : 日, $t=1$ は, 融雪開始日とする. No. 1 については, 武田・高橋の論文⁴⁾により積雪面積, 雪線高を与える日(3点)(表-2)が得られているので, その日における雪線高さ H_{SN} と上式により求められた T_{\min}' の関係を 図-7 に示す. この図は直線になっている. このことから平滑化した日最低気温 T_{\min}' と雪線高度 H_{SN} 関係は, 次式になる.

$$H_{SN} = 108 T_{\min}' + H_0 \dots\dots\dots (10)$$

ここに, H_0 : 観測所の標高.

図-8 には, 上式と T_{\min}' により求めた No. 1 の雪線高さとの関係を示している. ◎印がランドサットにより求めた各日(3点)の雪線高度である. また, 式(10)によると雪線付近では, 気温の変化率が 100 m につき 0.93°C 下がることになり, 気温減率が $\gamma = 1^\circ\text{C}/100\text{m}$ にほぼ対応している. これより融雪期の大気は乾燥大気であるといえるがこの時期の気候から考えても妥当な結論であろう.

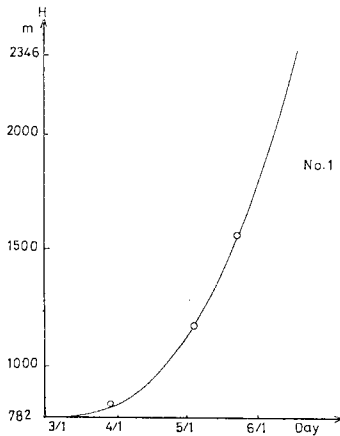


図-8 雪線高度と日の関係

次に, 雪線高度と式(6)で与えられる雪線での平均気温との関係を 図-9 に示す. これによると気温の上昇とともに雪線が上がっていくことがわかる.

以上のようにして日最低気温の資料と式(10)により, No. 1 以外の年の雪線高さを推定することができる(図-10(a), (b)).

(4) 融雪面積

さて, 凍結線高度と雪線

高度が求まったので, 面積高度線⁴⁾(図-11)を用いて融雪面積 A_M が求まる. 図より, 標高 782~1785 m, 1785~2346 m の2つの区間についてそれぞれを直線近似すると, 高度差とその区間の面積は次式で表わされる.

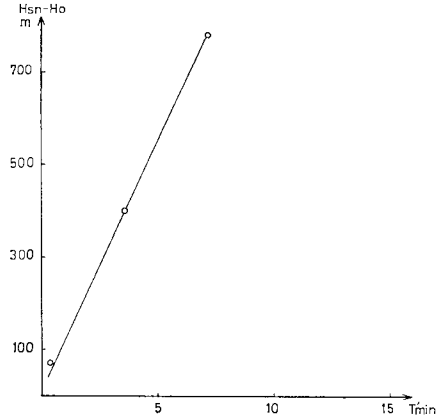


図-7 H_{SN} と T_{\min}' の関係

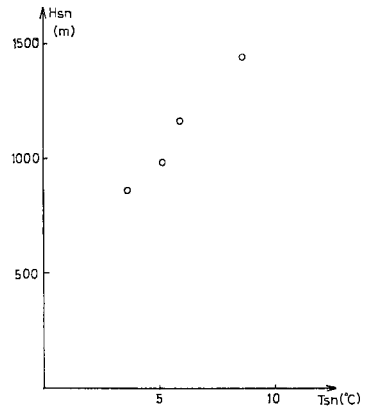
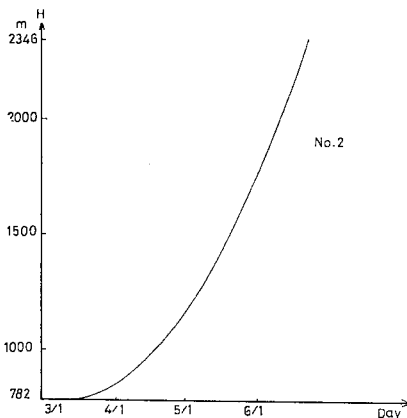
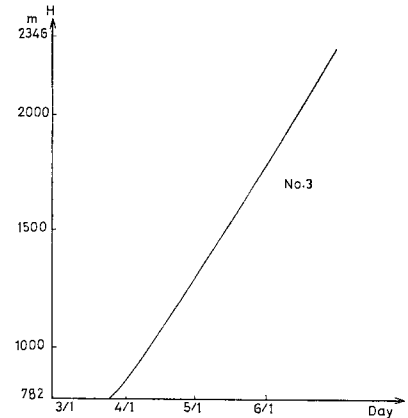


図-9 雪線高度と雪線での平均気温の関係



(a) No. 2



(b) No. 3

図-10 雪線高度と日の関係

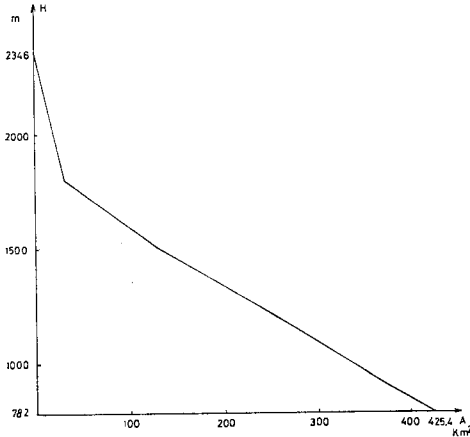


図-11 面積高度線

$$A_M = \int_{H_{SN}}^{H_F} b \cdot dH \dots\dots\dots (11)$$

ここに、 H_F : 凍結線高度、 H_{SN} : 雪線高度、 b : 定数
なお本解析例では

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{標高 } 782 \text{ m} - 1785 \text{ m} \text{ の区間,} \\ \quad \quad \quad dA = 0.392 dH \quad (b_1 = 0.392) \\ \text{標高 } 1785 \text{ m} - 2346 \text{ m} \text{ の区間,} \\ \quad \quad \quad dA = 0.0568 dH \quad (b_2 = 0.0568) \end{array} \right.$$

である。

5. 融雪流出機構に関する考察 (融雪流出モデル)

融雪水は、積雪地域と非積雪地域の境界線すなわち雪線で生じると考える (図-12)。

微小融雪面積 dA 、その高度差 dH とする。残雪量 (dSN) を積雪面積 A で割ると平均積雪深 (h) は、次式により求まる。

$$h = dSN/A \dots\dots\dots (12)$$

次に、雪線での積算気温を $\Sigma \bar{T}_{SN}$ とする。ただし、 \bar{T}_{SN} は雪線の平均気温である。このとき融雪量 (Q_{SN}) は、次式で求まる (図-12)。

$$Q_{SN} = \Sigma \bar{T}_{SN} \times \frac{dA}{dH} \times h \dots\dots\dots (13)$$

上式は、雪線高度での高度差 (温度差) による積雪面積

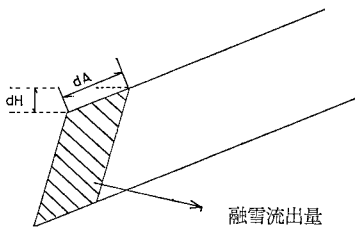


図-12 融雪流出モデル

の変化幅面積に積雪深を乗じて積雪容量を求め、そして融雪量は、この積雪容量と雪線付近の積算気温の積に比例して求まることを示している。つまり、従来の気温日数法は積雪面積と積算気温の積に比例する (面的にとらえている) としていたが、本論文では、積雪容量と積算気温の積に比例する (空間的にとらえている) として融雪量を求める。式 (12) と式 (13) により融雪量は式 (14) になる。

$$\begin{aligned} Q_{SN} &= \Sigma \bar{T}_{SN} \cdot \frac{dA}{dH} \cdot \frac{dSN}{A} \\ &= \Sigma \bar{T}_{SN} \cdot dSN \cdot \frac{dA}{A} \cdot \frac{1}{dH} \\ &= \Sigma \bar{T}_{SN} \cdot dSN \cdot \frac{d(\ln A)}{dH} \\ &= \alpha \cdot \Sigma \bar{T}_{SN} \cdot dSN \dots\dots\dots (14) \end{aligned}$$

ここに、

$$\alpha = \frac{d(\ln A)}{dH} \dots\dots\dots (15)$$

となる。

標高と積雪面積の関係が式 (15) を満足すると、つまり標高と積雪面積が対数関係にあれば、 α は定数でなければならない。

以上のようにして融雪水は雪線付近で生じると考え、かつ標高と積雪面積が対数の関係にあれば、融雪量は融雪量と雪線付近の積算気温の積に比例して求まる事が提案された。

6. 実データによる融雪モデルの検討

(1) 気温日数法の検討

5. の融雪量と残雪量と雪線の積算気温との関係 (融雪流出モデル) を実データにより検証する前に従来の気温日数法により整理し、融雪量と積算気温および積算気温面積の関係を調べる。

気温日数法による融雪量は次式で表わされる。

$$Q_{SN} = K \cdot \Sigma \bar{T} \dots\dots\dots (16)$$

ここに、 Q_{SN} : 融雪量 ($\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{day}$)、 \bar{T} : 日平均のうち 0°C 以上の日平均気温 ($^\circ\text{C}$)、 $\Sigma \bar{T}$: Q_{SN} と同じ期間の日平均気温の積算値 ($^\circ\text{C} \cdot \text{day}$)、 K : 気温日融雪率 ($\text{m}^3/\text{s}/^\circ\text{C}$)。

本解析では、日平均気温には、2つの場合を考えた。一つは、雪線での平均気温 \bar{T}_{SN} 、他方では、凍結線と雪線間の融雪区域の平均気温 \bar{T}_{mean} である。図-13 に雪線での積算気温と融雪量の関係を示す (\bar{T}_{mean} の積算気温と融雪量の関係は、 $\bar{T}_{SN} \sim Q_{SN}$ の関係の図より、ばらつきが多いのでここでは省く)。この結果、融雪量と積算気温の関係が比例しているとは判断しにく

い。

次に、積算気温面積と融雪量の関係（これも気温日数法である）を検討する。融雪量は次式で表わされる。

$$Q_{SN} = K' \cdot \sum \bar{T} \cdot A_M \dots \dots \dots (17)$$

ここに、 Q_{SN} 、 \bar{T} 、 $\sum \bar{T}$ は前出と同じ、 A_M ：融雪面積 (km^2)、 K' ：気温日融雪率 [$\text{m}^3/\text{s}/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{km}^2)$]

上式は、式 (16) と異なり、積算気温面積を求めるときに、融雪水がどこでとけるかが、積算気温面積を求めるときに次式に含まれているので、式 (16) より物理的である。

積算気温面積は、式 (8) と式 (11) より式 (18) で求まる。

$$\sum \bar{T}_H \cdot A_M = \sum \frac{1}{2\{(T_0)_{\max} - (T_0)_{\min}\}} \cdot \int_{H_{SN}}^{H_F} b \cdot \{(T_0)_{\max} - \tau(H - H_0)\}^2 dH \dots \dots \dots (18)$$

図-14 に融雪量と積算気温面積との関係を示す。この図には 融雪開始時の 残雪量 (ΔSN_0) を示す (残雪量の求め方は後に示す)。

図より各年については、それぞれ積算気温面積が大きくなるほど融雪量が大きくなる傾向があるが、この解析法でも、融雪量と積算気温面積が比例関係にあるとはいえない。

(2) 融雪流出についての提案式

上述のように気温日数法を適用したが、いずれの場合でも気温日融雪率は一定の値を示していない。このように融雪量と積算気温あるいは積算気温面積との間にばらつきのある原因としては、気温日数法では式 (16)、(17) により求められた融雪量は、すぐに流出していく流出量となると考えたためであろう。しかし、実際の融雪現象は次のように考えられる。

積算気温(熱)により融けた雪がそのまま流出量として河川に流出してくるのではなく、融雪水の一部は積雪層に浸透して再び凍結し積雪層の密度が変化するのである。そして、気温日数の増加とともに雪質はしまっていくのであろう。このことは気温日数と雪の密度がよい比例関係を示すという J. Martinec⁵⁾ のデータによっても裏付けられる。

前節で融雪域は、凍結線と雪線の間にあるとしたが、標高が高くなると雪線から離れた所では、平均気温はかなり低く、融雪水が積雪層を流れる間にまわりの雪によって凍結してしまい流出は起こらない(積雪層の密度が変化する)と考えれば、融雪流出量は雪線付近の融雪によるものがかなりの割合を占めるであろう。また、雪線高度と雪線での平均気温の関係(前出 図-9)からも、

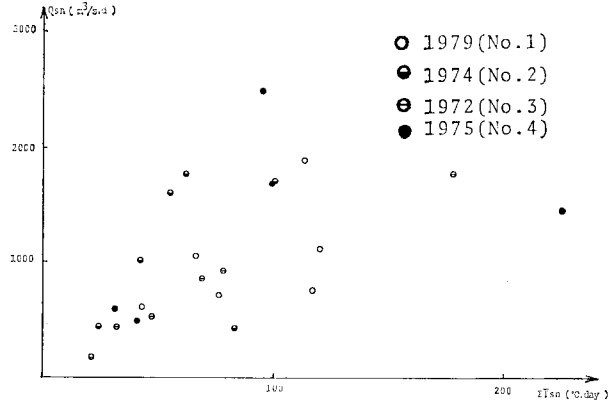


図-13 融雪量と雪線での積算気温の関係 (従来の方法ではよい結果は得られない)

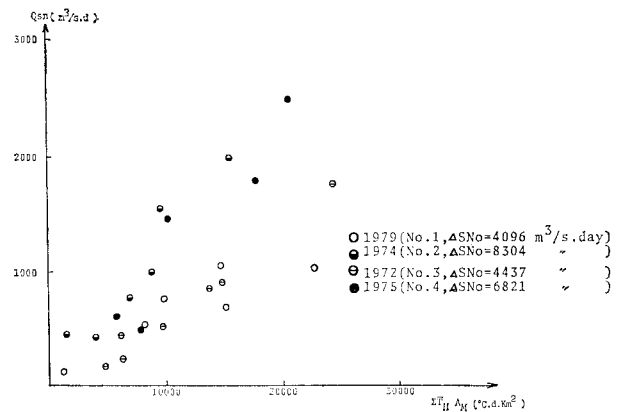


図-14 融雪量と積算気温面積の関係(同上)

融雪は、雪線付近で生じているものと思われる。

このことから雪線での平均気温 (\bar{T}_{SN})、残雪量 (ΔSN)、融雪量 (Q_{SN}) とを用いて、前出の融雪流出モデル (式 (14)) を検討する。なお、残雪量は次のようにして求める。

$$\Delta SN = f \times (t \text{ 日までの総降水量} - (t \text{ 日までの総流出量}) \dots \dots \dots (19)$$

ここに、 f ：流出率。

まず、式 (15) の条件を満足するか否かを知るために、標高と積雪面積との関係を 図-15 に示す。図中にはラ

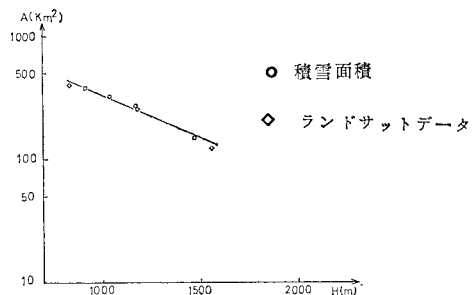


図-15 標高と積雪面積の関係

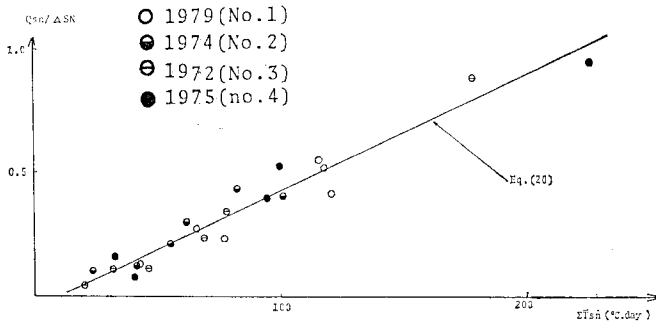


図-16 $Q_{SN}/\Delta SN$ と $\Sigma \bar{T}_{SN}$ の関係
(最終的に得られた本論文の結果)

表-3 残雪量 (ΔSN) の時間的変化 (1975年)

解析期間	残雪量 (ΔSN)
11月10日~4月3日	6820.7(m ³ /s·d)
4月4日~4月12日	6326.1(m ³ /s·d)
4月13日~5月2日	3831.8(m ³ /s·d)
5月3日~5月7日	3235.2(m ³ /s·d)
5月8日~5月23日	1544.9(m ³ /s·d)
5月24日~6月17日	84.0(m ³ /s·d)

ンドサットによるデータ(◇印)も示す。この結果、標高と積雪面積は対数関係にあり、式(15)を満足する関係にあることがわかった。

さて、標高と積雪面積と対数関係であることが確かめられたので、残雪量 (ΔSN)、雪線での平均気温の積算気温 ($\Sigma \bar{T}_{SN}$)、融雪量を用いて式(14)にならって整理した。その結果の図を図-16に示す。なお、融雪量の推定式は次式となる。

$$Q_{SN} = \alpha \cdot \Delta SN \cdot \Sigma \bar{T}_{SN} + c$$

$$= 4.73 \times 10^{-3} \cdot \Delta SN \cdot \Sigma \bar{T}_{SN} - 0.051 \dots (20)$$

ここに各項の次元は、 Q_{SN} : m³/s·d、 ΔSN : m³/s·d、 $\Sigma \bar{T}_{SN}$: °C·day、 α : [°C·day]⁻¹である。また、回帰直線を求めたときの相関係数は $r=0.972$ であった。 $\alpha \Delta SN$ を気温日数法の気温日融雪率に対応していると考えたと本解析では気温日融雪率が時間的に変動していることが示された。従来より気温日融雪率は時間的に変動するとされている。ここでは、 α は一定なので、 ΔSN の時間的変動を表-3に示す。

この結果、式(14)は、融雪の流出機構を非常によく表わしていることを示した。つまり、融雪は雪線付近で生じ、その量は、残雪量と雪線付近での積算気温の積に比例するということが示された。

なお、水津・山田・若浜⁹⁾は、手稲山(標高1000m)における積雪の堆積と雪質の変化の解析のなかで融雪速度が高度に無関係で全山一様に融雪が進むと指摘している。この理由として、融雪のエネルギーは、日射、空気からの熱伝達(顕熱)、雪面への凝結により放出される潜熱の3つであるが、このうち日射量は高度は変わっても変化しないが、高い所では気温が低くても、風が強いので顕熱と潜熱の総和は低高度におけるそれとほとんど変わらないという説明を定性的にしている。このことは、

本研究での融雪流出機構の構造と矛盾しているように考えられるが、この異なる理由として、解析地点の標高や斜面勾配、高度差の大小の違い(手稲山(1000m)、奥只見(2300m))と北海道の雪質と奥只見流域の雪質と違い(内地では根雪になるまで、いく層かの凍結層がある)によるものと考えられる。この点について今後検討する必要があるであろう。

7. 結 論

気温日数法である融雪量と積算気温、あるいは積算気温面積との関係を奥只見流域の水文資料により検討したが、どちらの関係にも比例関係はみられず、したがって従来の気温日数法により求められる融雪量では不十分な場合があることが示された。本研究では、新たな融雪流出の機構つまり、融雪量と積算気温のみでなく残雪量を含めた融雪流出機構を考えることによって融雪量が求まる式を提案した。

この式から、標高と積雪面積が対数関係にあれば、融雪は雪線付近で起きて、その融雪量は、雪線での積算気温と残雪量の積に比例するという融雪期の融雪流出機構の構造が示された。

謝 辞：貴重な資料を提供していただいた電源開発株式会社の土木部設計室の藤野浩一氏、黒田重徳氏ならびに土木設計室の皆様から感謝の意を表わします。

また、本研究は自然災害特別研究(1)「豪雪地帯における融雪洪水の予測と制御」(研究代表者：東京工業大学工学部教授 日野幹雄・課題番号 57020014)の補助を受けた。

参 考 文 献

- 1) Wilson, W.T.: An Outline of the Thermodynamics of Snow-Melt, Trans. Am. Geop. Union, 1941.
- 2) 電源開発株式会社：奥只見地域、積雪・気象・流量調査資料, 1980年3月。
- 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, 1963年7月。
- 4) 武田 要・高橋 裕：Landsat 雪線情報と積算暖度法による流域最大積雪水量算定に関する研究, 土木学会論文報告集, 第311号, 1981年7月。
- 5) Martinec, J.: Snow melt-Runoff Model for Stream Flow Forecasts, Nordic Hydrology, No. 6, 1975.
- 6) 水津重雄・山田知充・若浜五郎：手稲山における積雪の堆積と雪質の変化, 低温科学, 物理篇, 第37号, 昭和53年。
- 7) 高瀬信忠：河川水文学, 森北出版, 1978年。
- 8) 日野幹雄・長谷部正彦・野田賢治：融雪時における河川の融雪流出機構の研究, 第37回年次学術講演会概要集, 第II部。
- 9) 日野幹雄・長谷部正彦・野田賢治：融雪出水の予測法, 第19回自然災害科学総合シンポジウム。