

桂沢ダム流域の融雪流出について

村端克己** 大石 功** 小川芳明*

まえがき

積雪地における河川の融雪出水は、時により洪水をもたらすことがあり、また発電、その他の用水からみると積雪は一種のダムとも考えられ、治水上および利水上その機構の解明は重要な問題である。すなわち、融雪流出量をなんらかの方法で推算することができれば融雪水を安全かつ有効に処理しうる。

本文では桂沢ダム流域を対象にして融雪の要因の2, 3について解析を試みた。桂沢ダムは石狩川支流の幾春別川上流部に建設され、洪水調節のほか、発電、上水道およびかんがい用水源になっている多目的ダムで、流域面積は151.2 km²である。

融雪流出量の推算法は大別して、(1)熱収支に基づく理

論的方法と、(2)気温日数 (Degree day) による経験的方法とに分けられる。(1)の方法で融雪量を推算するためには、流域内各地点における気温、風速、湿度、日射量、雪面の albedo など多くの資料が必要である。これらすべての観測値を求めることは、小範囲な試験区域などは別として、一般の河川流域における気象観測の実情では無理であり、(1)の方法を実際の河川流域に適用するのは困難であると考えられる。

一方、(2)の Degree day による方法は融雪の原因となる諸因子を気温で代表させる方法で、気温の資料があれば融雪量を推算することができ、簡単で有効な実用的方法といわれている。Degree day とは日平均気温が融雪のはじまると考えられる温度 (本文では0°Cとした)

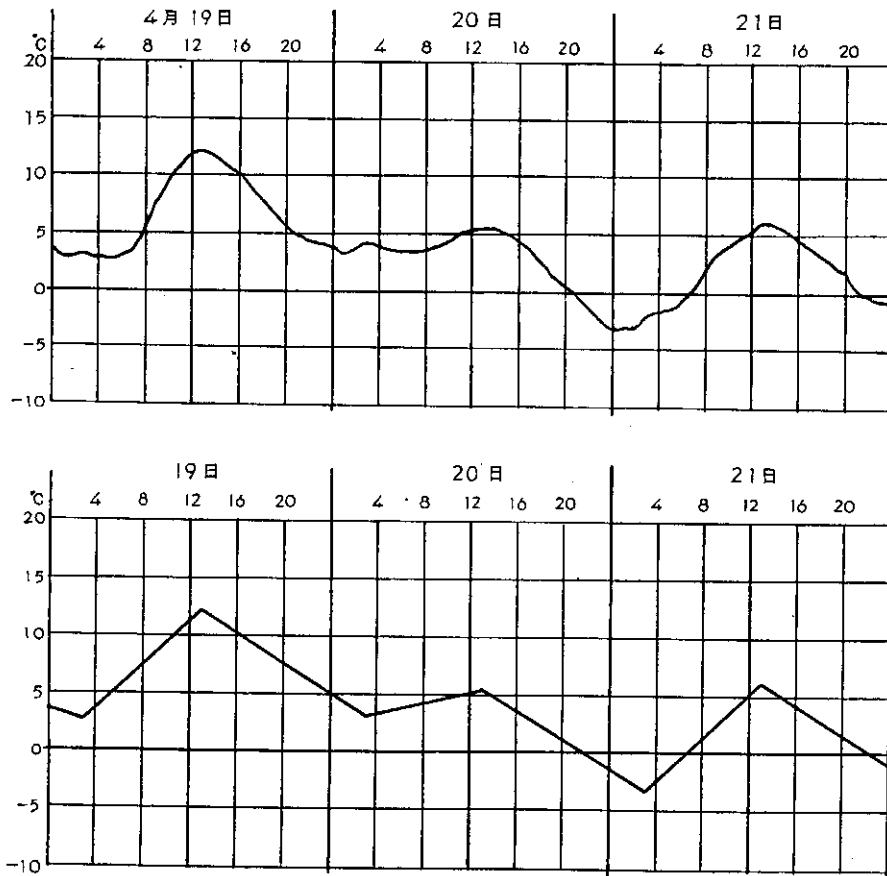


図-1 Degree hour の計算例

* 河川研究室長 ** 同室

を越える度数に1日という時間を乗じた量である。しかし、1日において気温が0°C以上になる部分があっても平均気温は0°C以下になることがあり、実際には融雪が起こっても Degree day が0であるというみかけ上の不合理が生じる。そこで、より正確を期するため、0°C以上の積算気温 (Degree hour) による方法が提唱されており、本文でもこの方法によって解析を行なった。

解析方法

1 Degree hour の計算法

1日の気温変化は自記温度計の記録があれば求められるが、簡易観測所では毎日の最高、最低気温のみを記録するのが普通である。このため気温変化を Sine-曲線、指数曲線などに仮定する方法があるが、本文では簡便法として、気温は直線的に変化するものと仮定した。一般に最低気温は日の出直前といわれるが、本解析で使った桂沢ダム管理所の温度記録によれば、最低は午前3時、最高は午後1時であることが多かった。そこで本文では、最低気温は午前3時、最高気温は午後1時で、この間は直線的に変化するものとして Degree hour を計算した。実例を図-1に示したが、ある3週間について本文による方法で計算した Degree hour の値は実際の自記グラフで求めた値に対して誤差が最大で10%、平均4%であった。

2 雪線

雪線とは雪のある部分とない部分に分ける線、すなわち積雪区域の下限で、融雪期においては降雪がない限り雪線は毎日上昇していくと考えられる。桂沢ダム流域における雪線の移動は観測されていないため、石狩川上流部において観測された平均上昇率22m/日を適用し、またダム管理所地点(標高192m)の根雪終日から毎日の雪線高度を推定した。(表-1参照)

表-1 管理所地点の根雪終日と推定融雪終了日

年	根雪終日	融雪終了日
36年	4月22日	5月29日
37年	4月11日	5月18日
38年	4月1日	5月12日
39年	4月14日	5月22日
40年	5月8日	6月14日

3 凍結線

凍結線とは気温が0°Cである地点を連ねた線であるが、1日の平均的なものとして日最高気温あるいは日平均気温が0°Cである点を連ねた線とすることが考えられる。筆者らは Degree hour の計算および融雪量の推

算過程を考慮して、Degree hour を計算し地点(ダム管理所)において気温が0°C以上である時間内の平均気温から凍結線高度を推定するのが妥当と考えた。すなわち、管理所(標高192m)における前述の平均気温を T_f とし、気温てい減率を0.6°C/100mとすれば、毎日の平均的な凍結線高度 H_f は次式によって求めることができる。

$$H_f = 192 + \frac{100}{0.6} T_f \quad (\text{m}) \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$T_f = \frac{D}{t_0} \quad (^\circ\text{C}) \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここに D: 1日の Degree hour (°C·hr)

t_0 : 管理所で気温が0°C以上である時間(hr)

4 積算気温面積

図-2に面積高度曲線の模式図を示したが、いま、雪線高度を H_s (m)、凍結線高度を H_f (m) とすれば、それぞれの全流域面積に対する百分率 p_s 、 p_f はただちに見いだされる。融雪は雪線と凍結線の間で起きるから、全流域面積を A_0 とすれば、融雪面積 A は次のようになる。

$$A = \frac{p_s - p_f}{100} A_0 = k A_0 \quad \dots\dots\dots(3)$$

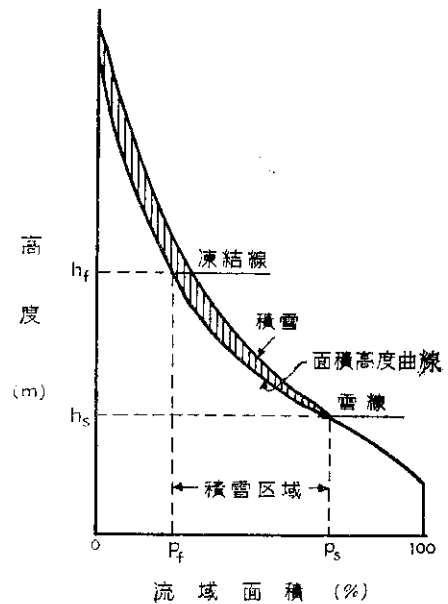


図-2 融雪区域の高度と面積の関係

(3)式によって求めた融雪面積 A に Degree hour (D) を乗じて毎日の積算気温面積 $D \cdot A$ を得る。 $D \cdot A$ は融雪流出量を支配するおもな要素を数量的に表わしたものである。しかし、融雪流出量を算定するには融雪面積 A と全流域面積 A_0 との比 k を用い、 $k \cdot D$ をもって積算気温面積とした方が便利である。 $k \cdot D$ は全流域面積を1としたときの積算気温面積で、単位は (°C·hr) である。

5 流出解析と Degree hour factor

河川の流出は一般に基底流出と直接流出に分けられる

注1) -3°C/day くらいから融雪が生ずるらしい。

が、融雪期において直接流出はさらに融雪による流出と降雨による流出とに分けられる。

いま河川の流量を Q 、直接流出のうち融雪による流量を Q_s 、降雨による流量を Q_r 、基底流量を Q_o とすれば、

$$Q_s = Q - (Q_r + Q_o) \dots\dots\dots(4)$$

ある期間の流出量については、

$$V_s = \int Q_s dt = \int Q dt - \int (Q_r + Q_o) dt \\ = V - (V_r + V_o) \dots\dots\dots(5)$$

ここで V 、 V_s 、 V_r 、 V_o はそれぞれ Q 、 Q_s 、 Q_r 、 Q_o に対応する流出量である。

図-5に毎日の流量と $k \cdot D$ を対比して示したが、両者の変化はある時間のずれをもって対応しており、この時間のずれは融雪の進行に伴って小さくなるが、4月半ばで9時間と推定されている。また1日の kD による融雪流出量は1日で終わるものではなく、何日かにわたって分布しているので平均化されて現われるため、 kD の変化に比べて流量の変化は緩慢なようである。

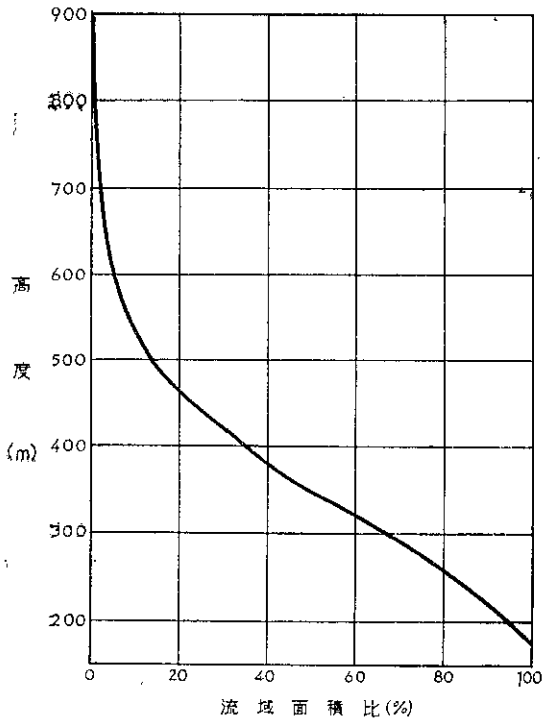


図-3 高度一面積比図 (桂沢ダム流域)

そこで、ある期間について融雪流出量 V_s と $\sum kD$ 、あるいは $\sum D \cdot A$ をとれば、Degree hour factor f_s あるいは f'_s は次式で求められる。

$$f'_s = \frac{V_s}{\sum kD} \text{ (mm}^3/\text{C} \cdot \text{hr)} \dots\dots\dots(6)$$

$$f_s = \frac{V_s}{\sum DA} \text{ (mm/C} \cdot \text{hr)} \dots\dots\dots(7)$$

f'_s と f_s の関係は、 $k = A/A_o$ であるから

$$f_s = \frac{f'_s}{A_o} \times 1000 \dots\dots\dots(8)$$

基底流量は巨視的に見て、融雪初期においては冬期渴

水量とはほぼ等しく、融雪の進行とともに増大し、融雪終期にはしだいに減少すると考えられる。またこれは年により異なる値を示すと考えられるが、本文では各年の融雪初期の流量を比較し、平均的なものとして $1 \text{ m}^3/\text{s}$ をとり、各年の全融雪期間一定とした。

融雪期における降雨は高度により降雪に変わる場合もある。したがって観測所が少なく、しかも流域の低いところにある場合は、降雨と降雪の境界を見いだすのは非常に困難である。桂沢ダム流域において降雨は管理所のみで観測されているが、流域の最高部との差が約 800 m 程度であるので降雨があるような暖い日では凍結線は十分高いかまたは存在しないと考え、管理所で降雨として観測された場合は全流域とも降雨であったとした。

ただし夏期における流域内各観測点の資料を見ると、管理所の降雨量は全流域の平均とはなっていないので実績から修正して用いた。降雨流出も融雪流出と同じように何日かにわたるのであるが、降雨出水の遅れ時間は、雪中に一時滞留されるので融雪の場合より多くとらねばならない。そこで遅れ時間を12時間と考え、Snyderの総合配分図を参考にして流量配分を次のように仮定した。

日次	1	2	3
流出百分率(%)	50	30	20

なお、流出率は積雪面積の割合によって異なると考えられるが、平均的な値である 0.75 を用いた。

解析結果および考察

昭和36年から40年までの5年間について、各旬に期間をとって計算した Degree hour factor は表-2 およ

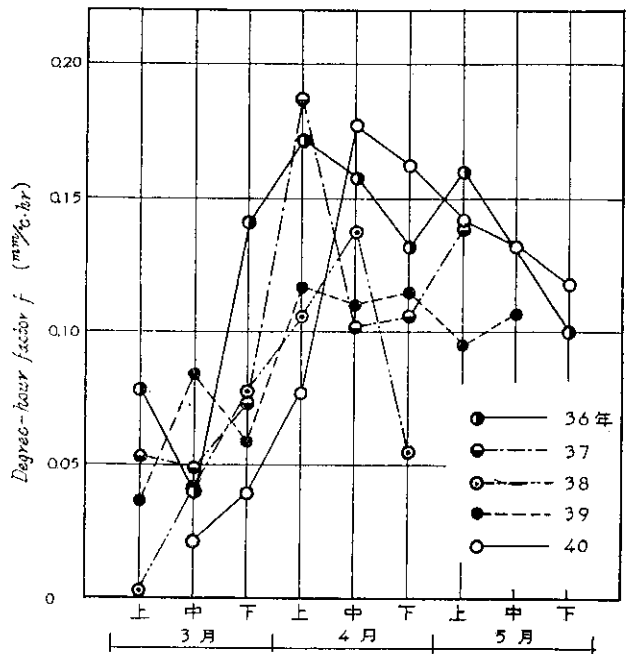


図-4 Degree hour の旬変化

表-2 Degree hour factor の計算

年	月 日	日数 (日)	ΣQ (m^3/s)	ΣQ_0 (m^3/s)	$\Sigma Q - \Sigma Q_0$ (m^3/s)	V ($10^3 m^3$)	V_r ($10^3 m^3$)	V_s ($10^3 m^3$)	ΣKD ($^{\circ}C \cdot hr$)	f'_s ($10^3 m^3 / ^{\circ}C \cdot hr$)	f_s ($mm / ^{\circ}C \cdot hr$)
36年	3. 1~10	10	15.91	10.00	5.91	511	0	511	43.3	11.80	0.078
	11~20	10	21.59	10.00	11.59	1,001	0	1,001	165.5	6.05	0.040
	21~31	11	40.99	11.00	29.99	2,591	83	2,508	118.0	21.25	0.141
	4. 1~10	10	225.67	10.00	215.67	18,634	1,773	16,861	646.7	26.07	0.172
	11~20	10	358.86	10.00	348.86	30,142	722	29,420	1,233.5	23.85	0.158
	21~30	10	340.80	10.00	339.80	29,359	567	28,792	1,446.2	19.91	0.132
	5. 1~10	10	212.64	10.00	202.64	17,508	5,103	12,405	512.4	24.21	0.160
	11~20	10	94.82	10.00	84.82	7,328	4,329	2,936	63.0	46.60	0.308
	21~29	9	39.06	9.00	30.06	2,597	2,506	91	6.0	15.17	0.100
37年	3. 1~10	10	13.72	10.00	2.72	235	0	235	29.6	7.94	0.053
	11~20	10	18.72	10.00	8.72	753	0	753	102.1	7.38	0.049
	21~31	11	29.31	11.00	18.31	1,583	0	1,583	142.8	11.09	0.073
	4. 1~10	10	436.19	10.00	426.19	36,823	6,330	30,493	1,079.4	28.25	0.187
	11~20	10	235.45	10.00	225.45	19,479	3,381	16,098	1,042.4	15.44	0.102
	21~30	10	95.82	10.00	85.82	7,415	1,567	5,848	363.2	16.10	0.106
	5. 1~10	10	28.90	10.00	18.90	1,633	742	871	41.4	21.04	0.139
	11~18	8	29.36	8.00	21.36	1,846	1,846	0	0	0	0
	19~31	13	36.38	13.00	23.38	2,020	2,020	0	0	0	0
39年	3. 1~10	10	10.30	10.00	0.30	26	0	26	51.2	0.51	0.003
	11~21	10	42.45	10.00	32.45	2,804	0	2,804	448.2	6.26	0.041
	21~31	11	79.24	11.00	68.24	5,896	670	5,226	450.8	11.59	0.077
	4. 1~10	10	133.25	10.00	123.25	10,649	2,598	8,051	502.1	16.03	0.106
	11~20	10	148.96	10.00	138.96	12,006	1,957	10,049	482.0	20.85	0.138
	21~30	10	50.36	10.00	40.36	3,487	3,051	436	54.6	7.99	0.053
	5. 1~12	12	40.61	12.00	28.61	2,472	928	1,544	8.1	190.62	1.261
	12~20	8	45.38	8.00	37.38	3,230	3,230	0	0	0	0
	21~31	11	34.04	11.00	23.04	1,991	1,991	0	0	0	0
39年	3. 1~10	10	17.74	10.00	7.74	669	0	669	120.6	5.55	0.037
	11~20	10	19.75	10.00	9.75	842	0	842	66.0	12.76	0.084
	21~31	11	59.47	11.00	48.47	4,188	979	3,209	362.1	8.86	0.059
	4. 1~10	10	260.82	10.00	250.82	16,076	4,639	11,437	645.3	17.72	0.117
	11~20	10	289.11	10.00	279.11	24,115	2,526	21,589	1,294.2	16.68	0.110
	21~30	10	124.23	10.00	114.23	9,869	4,124	5,745	328.9	17.47	0.115
	5. 1~ 9	9	40.67	9.00	31.67	2,736	1,134	1,602	111.5	14.37	0.095
	10~22	13	56.33	13.00	43.33	3,744	3,478	266	16.5	16.12	0.107
	23~31	9	24.01	9.00	15.01	1,297	0	0	0	0	0
40年	3. 1~10	10	9.37	—	—	—	—	—	12.5	—	—
	11~20	10	13.93	10.00	3.93	340	0	340	109.3	3.11	0.021
	21~31	11	21.22	11.00	10.22	883	0	883	151.2	5.84	0.039
	4. 1~10	10	59.41	10.00	49.41	4,269	0	4,269	365.5	11.68	0.077
	11~20	10	180.68	10.00	170.68	14,747	0	14,747	547.5	26.94	0.178
	21~30	10	278.52	10.00	268.52	23,200	3,093	20,107	816.4	24.63	0.163
	5. 1~10	10	442.76	10.00	432.76	37,390	1,700	35,690	1,657.4	21.53	0.142
	11~20	10	302.06	10.00	292.06	25,234	1,340	23,894	1,187.9	20.11	0.133
	21~31	11	103.59	11.00	92.59	8,000	3,763	4,237	243.3	17.41	0.115

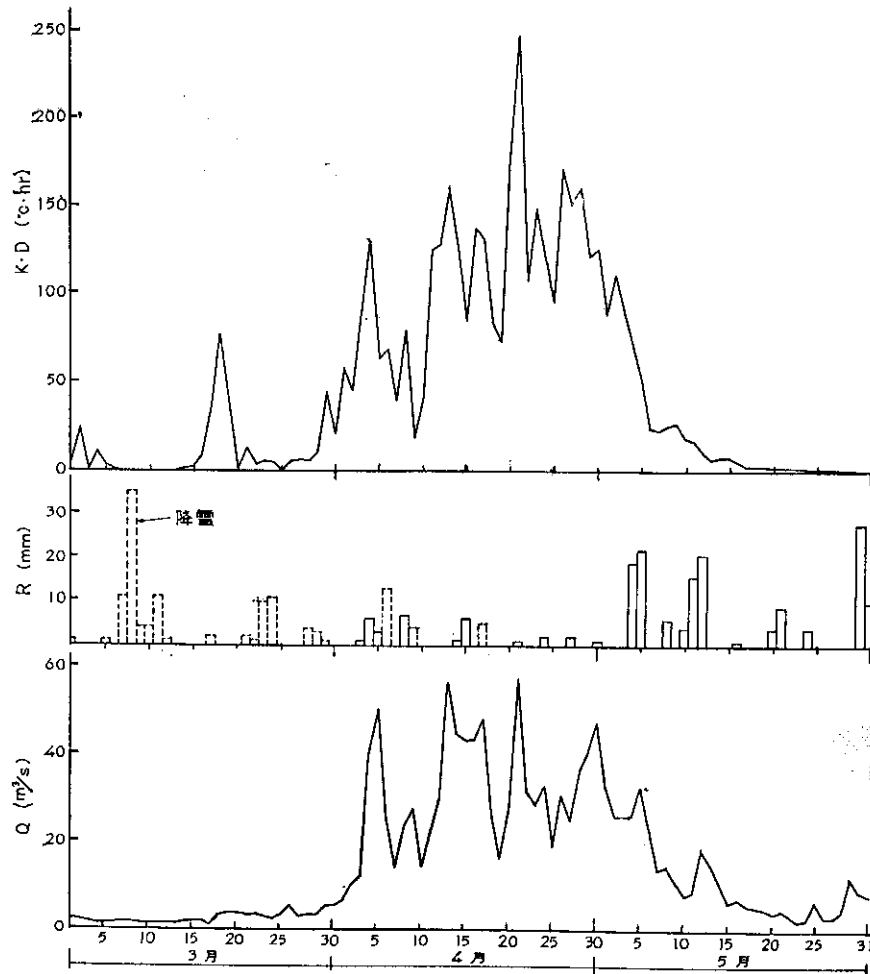


図-5 毎日の kD , 雨量および流量 (昭和 36 年)

び図-4に示した。これを見ると、融雪の進行に伴って f_s の値は増大し、終期にはいくぶん減少する傾向があり、他の解析例とよく類似している。しかし、各旬間の f_s を比較するとかなりバラツキが見られる。この原因として、解析過程において積算気温面積の値にかなり影響を及ぼす雪線高度を他流域の観測値から推定したこと、基底流量の決定方法、降雨の処理方法に問題が残っていることなどが考えられる。しかし、単に各旬間の比較でなく、各年についてはほぼ同様の状態と考えられる日（例えば管理所地点での根雪終日）を基準にとって解析した結果を比較すれば、 f_s の変化はほとんど同様になる。

あ と が き

今回の解析結果で次の結論を得た。

(1) 気温変化は最高気温と最低気温の間で直線的に変化するものとして取扱い、これによって計算した Degree hour の値は、実際の自記グラフによる値とよく一致する。

(2) Degree hour による推算法には雪線の上昇が非常に影響し、これを把握できれば融雪流出量をかなり正確に推定できる。

(3) Degree hour factor は5年間の解析から、3月上旬—0.034, 中旬—0.047, 下旬—0.078, 4月上旬—0.132, 中旬—0.137 ($\text{mm}/^{\circ}\text{C}\cdot\text{hr}$) 程度と推定される。

本文では Degree hour factor の値にバラツキがあったので昭和41年度の融雪流出量を推定するまでにいたらなかったが、今後、雪線の観測などについて検討し、融雪流出量を精度よく推定できるように研究を進めたいと考えている。

なお、資料収集に協力をいただいた桂沢ダム管理事務所の皆様へ感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1 境 隆雄： 河川の融雪流出に関する研究（土木学会論文集第95号，昭38年）
- 2 Linsley and others: Applied Hydrology
- 3 本間 仁： 河川工学（コロナ社）
- 4 小川・山田： 融雪に関する一実験
- 5 吉野： 桂沢ダムの積雪とその流出量について（4. 5は北海道開発局第5回技術研究発表会報文集）