



Title	気温等単純な気象要素による融雪予測について
Author(s)	小島, 賢治; 本山, 秀明; 山田, 芳則
Citation	低温科学. 物理篇, 42, 101-110
Issue Date	1984-03-05
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/18486">http://hdl.handle.net/2115/18486</a>
Type	bulletin (article)
File Information	42_p101-110.pdf



[Instructions for use](#)

## 気温等単純な気象要素による融雪予測について\*

小島賢治  
(低温科学研究所)

本山秀明・山田芳則  
(北海道大学大学院 理学研究科)  
(昭和58年10月受理)

### I. 緒言

融雪量は積雪表面層の熱収支によって決まる。この熱収支に最も大きく関与するのは一般に雪による放射吸収であり、顕熱伝達、潜熱伝達がこれに次ぐ。一方、実用的融雪予測には気温または積算気温のみを指標とする経験式が古くから種々提唱され<sup>1-3)</sup>、また実際に用いられてきたが、使われる式は場合によりまちまちである。たとえば、石井<sup>2)</sup>は日平均気温が $-3^{\circ}\text{C}$ 以上で融雪が観測されることから、積算気温としても日平均気温に $3^{\circ}\text{C}$ を加えて正のものを積算することを提唱し、筆者<sup>4)</sup>もこれを融雪量推定に応用してよい結果を得、石狩川の融雪出水予測にも石井の融雪量と気温の関係に近いものが使用されている<sup>5)</sup>。近年、高橋他<sup>6)</sup>は大雪山の夏の雪渓表面における熱収支各項を気温の関数として表わし、融雪熱量を日射をパラメータとして気温と関係づけ、これから融雪係数と気温との関係を求めた。そして、日射量が $200 \text{ ly}\cdot\text{d}^{-1}$ より大きくても小さくても、日平均気温が $5^{\circ}\text{C}$ 以下では融雪係数は日射量に大きく左右されて定まらなると論じた。夏の雪渓については、融雪係数は発散しない条件下にあるとして、 $0^{\circ}\text{C}$ 以上の日平均気温の10日間積算による係数(いわゆる degree-day factor)を求めた。

一方、近藤<sup>7)</sup>は理論的考察に基づく熱収支から、融解熱～気温曲線を相対湿度と入力放射をパラメータとして表わした。

以上のような背景を考慮しつつ、初冬から5月上旬までの融雪量と各種の気温(日平均、日最高、正の気温の時間積算、その他)との相関関係を筆者等の実測値に基づいて調べた。今のところ過去の研究の追試にすぎない観もあるが、とりあえずこの報告にまとめておくことにした。

### II. 観測方法

#### 1. 場所と時期

融雪量と気象要素の測定を行った場所は、札幌の低温科学研究所構内の広い露場と、北海道北部の母子里にある低温研融雪観測室の露場である。時期は、札幌では12月中旬から4月上旬まで、母子里では4月中旬から5月上旬までである。母子里の融雪期は通常札幌の雪が消え

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第2596号

てから始まる。この報告に用いたデータは1979年12月から1983年4月1日までに得たものである。

## 2. 気象要素と融雪量の測定方法

a) 気温と湿球温度：雪面上1 m（または1.5 m）の白金抵抗センサに常時通風して昼夜連続記録した。センサの1本は湿球とし、凍結する時は1時間に3分間ずつ熱風を吹きつけて融氷吸水させた。これが乾球に影響しない程度に互に離して設置した。

b) 放射収支量：EKO-CN-11型示差放射計で放射収支量およびその30分積算値を連続記録した。

c) 風速：雪面上1 mの風速およびその30分平均値を光電式小型3杯風速計で測定する一方、プロペラ式微風向風速計で10分平均風速を連続記録した。ただし後者は高さ固定である（札幌では地面上2 m、母子里では2.8 m）。

d) 融雪量：

(i) 固定雪尺：1.5 cm角の細い雪尺（1 mm目盛）をひとつの露場に3本たて、雪面低下量 $\Delta H$ を朝夕2回読みとり、その3本平均値に雪面付近の雪密度 $G$ を掛けた $G\overline{\Delta H}$ をもって読取り時刻間の融雪量とした。ただし、雪の圧密による沈降が無視出来る時だけ融雪測定に用いた。固定雪尺は本来全積雪深のルーチン観測用のものである。

(ii) 短かい雪尺：圧密による雪面低下が無視できない時は、長さ20 cmおよび50 cmの物指を雪にたて、その下端との相対的 snow 面低下 $\Delta H$ を測定した。

(iii) ラインメータ（雪中埋込）：面積 $80 \times 80$  cmの浅い集水器を積雪内に埋め、その直下に雨量計をおいて、電接回数器で流下水量を測定した。これは母子里で積雪深が50 cm以上のときだけ使用できた。

(iv) ラインメータ（地中埋込型）：これは主に冬期間の地面融雪量の測定<sup>8)</sup>に使っているもので、表層融雪量は正しく把握されることが多い。しかし、雪が少なく透水性がよい雪質の時（1981年春）には信頼できる表層融雪量を記録できた。

(v) 全層断面測定：7~10日の間において積雪水量または密度と含水率の垂直分布を測定、この間に消失した上部積雪水量を求めた。

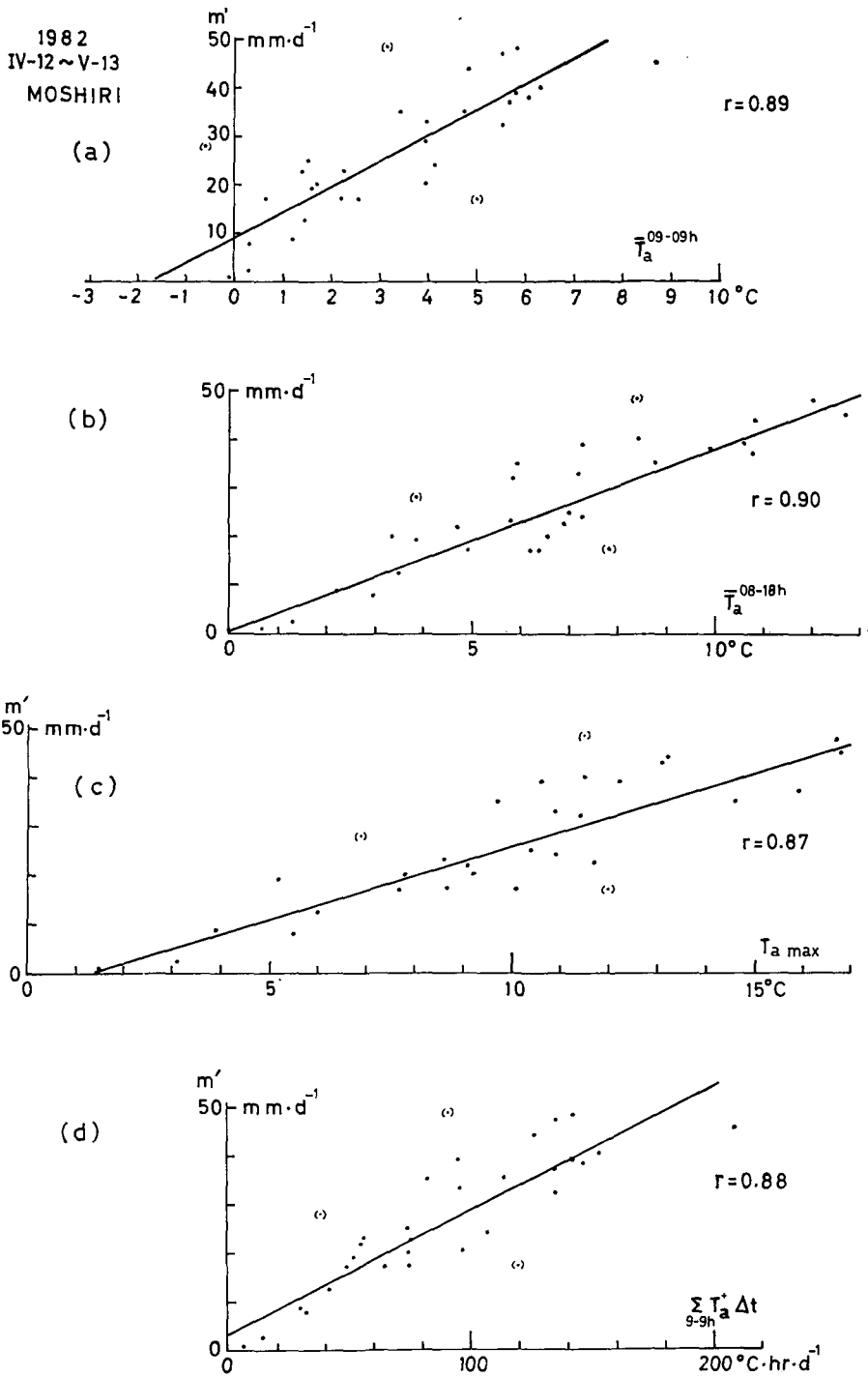
(vi) 上層断面測定：1~2月に稀に起るわずかな融雪量の測定は困難なことが多い。ひとつの方法として、表面近くに融雪水を含んだために密度が下層より大きい層が出来るような場合、融雪が無かった場合の密度分布を推定してそれと現実の密度分布との差から融雪水浸透分を推定した。また、積雪上部だけに見られる含水層の含水量を適当な時刻に測定して、少なくともその水分だけの融雪があったとみなすという方法を採用した場合もある。

## III. 測定結果

### 1. 融雪指標

融雪量との相関を調べた要素は次の通りである。

(1) 日平均気温 $\overline{T}_a^d$ , (2) 昼間08~18時平均気温 $\overline{T}_a^{08-18}$ , (3) 日最高気温 $T_{a\max}$ , (4) 1日のうちの正の気温の時間積算 $\sum_a T_a^+ dt$  ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{hr}\cdot\text{d}^{-1}$ ), (4a) 不特定の融雪量観測期間 (MOPとよぶ)



第1図 (a) 日融雪量  $m'$  と日平均気温  $\bar{T}_a^{09-09h}$  との関係。(b)  $m'$  と昼間10時間08~18時平均気温  $\bar{T}_a^{08-18h}$  の関係。(c)  $m'$  と日最高気温  $T_{a\max}$  との関係。(d)  $m'$  と0°C以上の気温の積算  $\sum T_a^+ \Delta t$  (°C·hr·d<sup>-1</sup>) との関係。何れも1982年母子里の融雪期1カ月間のデータによる

内の積算気温  $\sum_{MOP} T_a^+ dt$  ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{hr}$ ), (5) MOP 内の正の気温と風速の積の積算  $\sum_{MOP} u T_a^+ dt$  ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}\cdot\text{hr}$ ), (6) 融雪時間帯 (MP とよぶ) の湿球温度の平均  $\bar{T}_w^{\text{MP}}$ , (7) MP 内の放射収支  $Q_R$  ( $\text{ly} = \text{cal}\cdot\text{cm}^{-2}$ ) 等である。

上記の 7 項目のうちの (1)~(4) との相関を調べたのは日融雪量  $m'$  ( $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ ) であるが, 1 日として 09-09 時をとった場合と 17-17 時をとった場合とがある。前者に対しては 09~09 時平均気温, 後者に対しては 0~24 時平均気温を用いた。(4a), (5) と比較したのは連続何日間か融雪があった場合の積算融雪量  $\Delta m$  (mm) が多い。またこれによって平均日融雪量を求めて, (1)~(4) それぞれの平均値との関係を見た例もある。

## 2. 日融雪量と各種気温との相関の測定例

日融雪量  $m'$  と気温 (1)~(4) の各々との相関を調べた例として, 第 1 図に 1982 年 4 月 12 日から約 1 カ月間に母子里で観測した結果を示す。

図の (a), (b), (c), (d) はそれぞれ上記の (1), (2), (3), (4) に対応する。縦軸が日融雪量, 横軸が気温 ((d) は積算気温 ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{hr}\cdot\text{d}^{-1}$ )) である。最小 2 乗法による回帰直線を示し, 相関係数  $r$  の値も記入した。値は何れの場合もかなりちらばっているが, 相関係数は融雪指標にどれをとっても大差なく, 0.87~0.90 の範囲にある。ただし, 図にプロットした点に ( ) をつけた 3 例は統計から除外してある。次の節で述べる 3 年分のデータを集めての統計についても同様である。

回帰式は札幌については 4 年分, 母子里については 3 年分のデータを集めた結果に関するものを次節の表に示すが, その中に含まれていない日最高気温と日融雪量との関係についてだけ, 第 1 図 (c) の回帰直線の式をここに示しておく。すなわち,

$$m' = -4.1 + 3.0 T_{a \max} \quad (\text{mm}\cdot\text{d}^{-1})$$

推定誤差 (standard error of estimate) は  $3.7 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ ,  $T_{a \max} (m'=0) = 1.4^{\circ}\text{C}$  である。図示はしてないが, 札幌の同じ年の融雪期については,

$$m' = -2.7 + 2.1 T_{a \max}$$

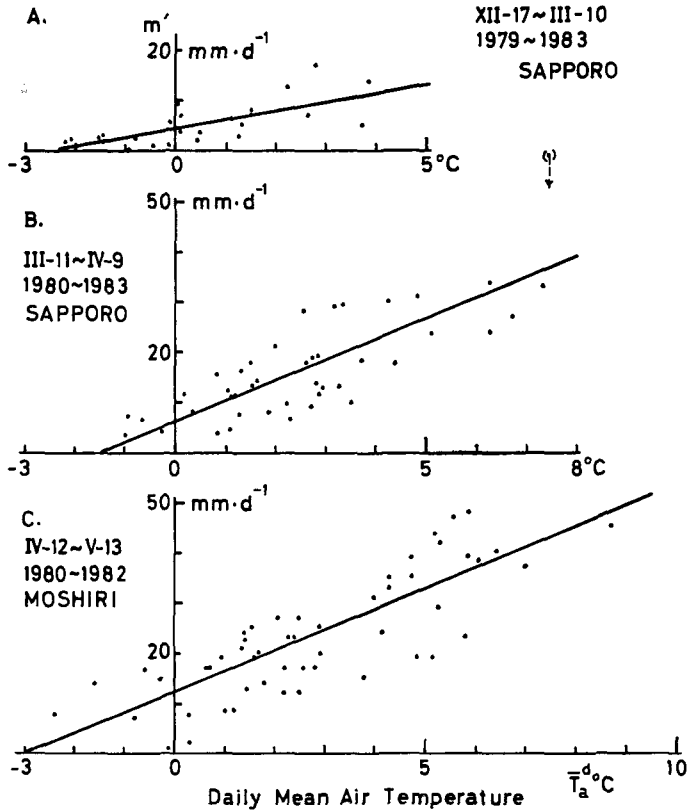
$$\text{相関係数: } r = 0.85, T_{a \max} (m'=0) = 1.3^{\circ}\text{C}$$

を得た。日最高気温も融雪指標として悪くないといえよう。  $1 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$  以上の融雪が起るか否かの目安のひとつに, 日最高気温  $1.7^{\circ}\text{C}$  (概略  $+2^{\circ}\text{C}$ ) としてもよいであろう。

融雪最盛期にあっては, 特別に悪天候の場合を除けば, 融雪熱量の 70% 以上は放射吸収である。気温が融雪指標となり得るためには放射収支と気温との相関がよくなければならない。第 1 図のデータを得たときの毎日の正の放射収支と 08~18 時平均気温との相関係数は 0.87, また, 1980 年 12 月 25 日~1981 年 4 月 7 日の間の札幌の融雪 19 例につき, 融雪熱量と MP 内放射収支との関係では, 相関係数が 0.95 であった。

## 3. 時期別 3~4 年分の観測値による統計

積雪期を 3 つの時期にわけた。A. 12 月中旬~3 月上旬, B. 3 月中旬~4 月上旬 (これまで札幌), C. 4 月中旬~5 月上旬 (母子里) である。B は札幌の融雪期, C は母子里の融雪期である。



第2図 時期別の日融雪量と日平均気温との関係

- A. 札幌の融雪期前 (12月中旬~3月上旬), 1979~1983年4年分のデータ。
  - B. 札幌の融雪期 (3月中旬~4月上旬), Aと同じ4年分のまとめ。
  - C. 母子里の融雪期 (4月中旬~5月上旬), 1980~82年3年分のデータ。
- 各直線回帰式, 相関係数等は第1表にある (\*印)

第2図にこれらの期間における日融雪量  $m'$  と日平均気温との関係をプロットした。同図A., B., およびC. はそれぞれ期間A, B, Cに対応する。各期間毎の回帰直線を太めの実線で示した。季節が進んで放射収量が増すにつれて, 同じ温度に対する融雪量が増す。第1表に期間Aについての  $m'$  と指標 (1) および (4), 期間Bについては  $m'$  と (1), (4), および (2), ならびに  $\Delta m$  と (4a) および (5), 期間Cについては  $m'$  と日平均気温との関係を表わす回帰式, 相関係数, 標準誤差, 期間内融雪日の平均放射収量などを示した。第2図A, BおよびCの回帰直線を表わす式の前に\*印をつけた。

第2図Bにプロットした点のうち, ( ) で囲んだ1点が特にかげ離れているがこれも統計に入れてある。この特別に大きい融雪量は, その日の8~18時平均水蒸気圧 (高さ1m) が9.35 mbと異常に高かったことに関連がある。他の43点中42点までは3.3~7 mbの間であり, その76%までが6.11 mb以下 (雪が蒸発) であった。

これまでの統計結果では, 風速を考慮しても融雪量との相関は必ずしも良くならない。理由を明らかにするには至っていない。風が強いために融雪が進んだ例は実際にある一方, 雪

第1表 3~4年分のデータによる期間別の融雪量と気温、積算気温等との関係。

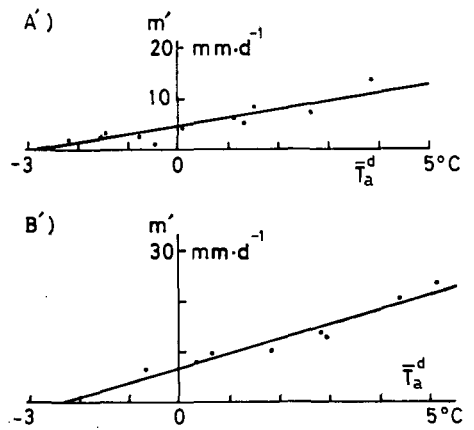
$m'$ : 日融雪量,  $T_a^d$ : 日平均気温,  $\Sigma T_a^+ dt$ : プラス気温の時間積算 ( $m'$ との関係では  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{hr}\cdot\text{d}^{-1}$ ,  $\Delta m$  には  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{hr}$ ),  $T_a^{08-18}$ : 8~18時の間の平均気温,  $\Sigma u T_a^+ dt$ :  $0^{\circ}\text{C}$  以上の1時間平均気温とその1時間の平均風速との積の積算

年	期 間	場 所	サン プ ル 数 n	直 線 回 帰 式	相 関 係 数 r	$T(m' \rightarrow 0)$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	標準誤差 $S_{m'}$ ( $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ )	平均放射 吸収 $\bar{Q}_a$ ( $\text{ly}\cdot\text{d}^{-1}$ )
1979~1983	A. 12月中旬~ 3月上旬	札幌	*27	$m' = 4.1 + 1.8 T_a^d$ ( $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ )	0.69	-2.3	3.1	15.6
			26	$m' = 0.2 + 0.14 \Sigma T_a^+ dt$ ( $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ )	0.65		3.0	
1979~1982	"	"	16	$\Delta m = 0.0 + 0.16 \Sigma T_a^+ dt$ ( $\text{mm}$ )	0.78			19.2
1980~1983	B. 3月中旬~ 4月上旬	札幌	*44	$m' = 5.8 + 4.1 T_a^d$ ( $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ )	0.81	-1.4	6.3	110.2
			44	$m' = 1.3 + 0.21 \Sigma T_a^+ dt$ ( $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ )	0.83		6.0	
1980~1982	"	"	30	$m' = 0.2 + 3.5 T_a^{08-18}$ ( $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ )	0.77	(-0.1)		105.8
			32	$\Delta m = 2.2 + 0.20 \Sigma T_a^+ dt$ ( $\text{mm}$ )	0.87			
	"	"	32	$\Delta m \sim \Sigma u T_a^+ dt$	0.86			
1980~1982	C. 4月中旬~ 5月上旬	母子里	*53	$m' = 12.3 + 4.10 T_a^d$ $= 4.10 (3.0 + T_a^d)$ ( $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ )	0.81	-3.0	4.0	173.1 (1981, 1982)

の蒸発が非常にさかんな時は、風が強くても融雪を促進しないことがある。そこで、全観測例につき昼間平均水蒸気圧を算出したが、今のところデータの解析に特例を除いて充分役立てることが出来なかった。

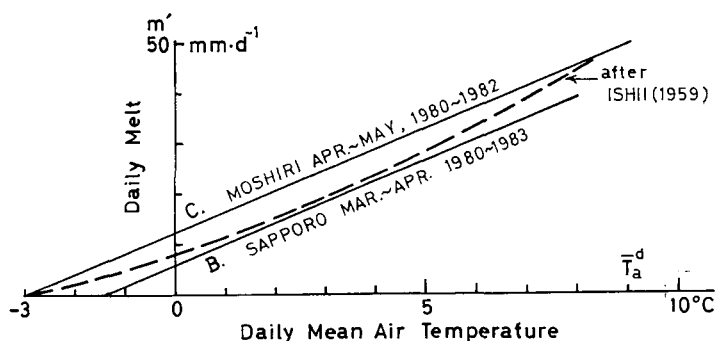
第1表の最後の式は北海道の多雪山地の4月中旬~5月上旬の平均の融雪予測式として使えるものと思う。ただし、融雪は日平均気温が  $-3^{\circ}\text{C}$  以上で起り、積算気温(デグリーデー)は日平均気温に3度を加えたものを積算して係数は  $4.1 \text{ mm } (^{\circ}\text{C}\cdot\text{day})^{-1}$  ということになる(札幌の融雪期には  $-3^{\circ}\text{C}$  より  $1^{\circ}\text{C}$  以上高い値を得た)。

第2図Aで示した期間Aの融雪量~平均気温の相関係数は0.69で、第1表のうち最低であるが、このサンプルの中から正の放射収支が  $9\sim 20 \text{ ly}\cdot\text{d}^{-1}$ 、湿度80%以下の12例を選んでプロットすると第3図A')のようになり、相関係数は0.90



第3図 A') 第2図Aより放射収支  $9\sim 20 \text{ ly}\cdot\text{d}^{-1}$ 、湿度80%以下の12サンプルをプロット、相関係数は0.21増で0.90となる。B') 第2図Bより放射収支  $70\sim 90 \text{ ly}\cdot\text{d}^{-1}$ の8サンプルをプロット、相関係数は0.95となる

に改善される。第2図Bのサンプル中から放射吸収量  $70 \sim 90 \text{ ly} \cdot \text{d}^{-1}$  の8例につきプロットすると第3図B)となり、相関係数は0.95となる。もちろん回帰直線の傾きは後者の方が大きい。なお、期間Aの融雪日の放射吸収の最大は  $60 \text{ ly} \cdot \text{d}^{-1}$  であり、期間Bの放射吸収量は  $40 \sim 240 \text{ ly} \cdot \text{d}^{-1}$  の範囲にあった。ちなみに、期間Cの母子里では、1982年の場合、 $52 \sim 325 \text{ ly} \cdot \text{d}^{-1}$  であった。



第4図 第2図B.およびC.の回帰直線と石井の日融雪量～日平均気温曲線との比較

第4図には石井<sup>2)</sup>が得た  $m'$  と  $\bar{T}_a^d$  との関係を保い破線で、第2図C.およびB.の回帰直線を実線で示して比較した。わずかな差でよく一致して居り、 $m'=0$ の平均気温も同じ  $-3^\circ\text{C}$  である。

#### 4. いわゆる degree·day factor と degree·hour factor

(i) 日融雪量を  $m'$   $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 、日平均気温を  $\bar{T}^d$   $^\circ\text{C}$  とし、有効日平均気温  $T'$  を  $T' = 3.0 + T^d$  とする。 $m'/T' = k_a$  の期間内平均  $\bar{k}_a$  を d.d.f. (1) とする。

(ii) 主に10日前後の融雪量  $\Delta m$  (mm) とその間の積算有効気温  $\Sigma T' \Delta t$  ( $^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ ) との比  $\Delta m / \Sigma T' \Delta t = k_a$  の平均  $\bar{k}_a$  を d.d.f. (2) とする。

(iii) 1日ないし数日間の融雪量  $\Delta m$  (mm) と  $0^\circ\text{C}$  以上の気温の積算  $\Sigma T^+ \Delta t$  ( $^\circ\text{C} \cdot \text{hr}$ ) との比  $\Delta m / \Sigma T^+ \Delta t = \bar{k}_h$  の平均  $\bar{k}_h$  を degree·hour factor (d.h.f.) とする。

1979～1982年の3年分のデータにより、期間A、BおよびCのそれぞれにつきd.d.f. (1)、d.d.f. (2) およびd.h.f.を求めて第2表に示した。ただしd.d.f. (1)の期間Cの値は上記の平均ではなくて前出の回帰式の係数である(両者の差は  $0.1 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$  程度である)。期間Bの有効気温を  $(3 + \bar{T}^d)^\circ\text{C}$  とすることには疑義があるが、簡単のためにそのようにした。

どの融雪係数も期間A、B、Cの順に大きくなって居り、期間Cをさらに2分して4月と5月上旬とに分けると、d.d.f. (1)はそれぞれ3.8および  $4.7 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$  となる。

(iv) これだけ述べても有効気温  $T'$  を嫌むきは多いと思われる。多くの人々が好むように、 $0^\circ\text{C}$  以上の日平均気温  $\bar{T}^{d+}$  を用いるd.d.f. (0)を期間Cについて  $m'/\bar{T}^{d+} = k_{a0}$  の63日平均(サンプル個数47)として求めたところ、 $\bar{k}_{a0} = 10.0 \text{ mm} (\text{d} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$  を得た。この値は高橋他<sup>6)</sup>が大雪山の雪溪の8月の融雪に対して得た係数値と一致する。

母子里の融雪期に日平均気温が  $0^\circ\text{C}$  以下で融雪が起る回数は全融雪日数の15%以下であ



第2表 期間別融雪係数 (degree·day factor と degree·hour factor),  
1979~1982年3年分のデータより。

$\bar{k}'_d$  は  $k'_d = m'/T'$ ,  $T' = 3.0 + \bar{T}'_a$  の各期間平均。  $\bar{k}_d$  は  $k_d = \Delta m / \Sigma T' \Delta t$  ( $\text{mm} \cdot (\text{C} \cdot \text{d})^{-1}$ ) の各期間内平均。  $\bar{k}_h$  は  $k_h = \Delta m / \Sigma T + \Delta t$  ( $\text{mm} \cdot (\text{C} \cdot \text{hr})^{-1}$ ) の各期間内平均。  $\sigma$  は  $k'_d$ ,  $k_h$  等の標準偏差 (推定標準誤差ではない)

期 間	場 所	degree·day factor (1)				degree·day factor (2)			degree·hour factor			
		融雪係数 $\bar{k}'_d$ ( $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$ )	個数 n	標準偏差 $\sigma$ ( $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$ )	分散率 $\sigma/\bar{k}'_d$ (%)	融雪係数 $\bar{k}_d$ ( $\text{mm} \cdot (\text{C} \cdot \text{d})^{-1}$ )	積算日数 $\Sigma \Delta t$ (d)	個数 n	融雪係数 $\bar{k}_h$ ( $\text{mm} \cdot (\text{C} \cdot \text{hr})^{-1}$ )	個数 n	標準偏差 $\sigma$ ( $\text{mm} \cdot (\text{C} \cdot \text{hr})^{-1}$ )	分散率 $\sigma/\bar{k}_h$ (%)
1979 XII~1982 V												
A. 12月中~3月上	札幌	1.8	16	0.86	48	—	—	—	[0.16]	16	0.14	68
B. 3月中~4月上	〃	2.6	29	0.94	41	2.5	3~10	8	0.24	31	0.11	48
C. 4月中~5月上	母子里	[4.1]	53	1.5	37	4.1	10~14	9	0.31	54	0.13	41
C <sub>1</sub> 4月中下旬	母子里	3.8	35	1.9	50	3.7	10~15	4	0.29	37	0.10	35
C <sub>2</sub> 5月上旬	〃	4.7	17	0.92	20	4.7	10~13	3	0.31 (1982のみ)	13	0.041	13

注: [ ] 内の数値は直線回帰式の係数

るし、その多くは融雪量  $15 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$  以下であるが、稀に第1図(a)にあるように  $28 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$  に達することもある。これは融雪量の測定誤差によるというよりは、当日が快晴微風でほとんど100%放射融雪であったと見るべきである。

#### IV. 要 約

実用的融雪予測には気温を融雪指標としてこれに融雪係数を掛けて融雪量を求める方法が一般に用いられ、またこれ以外の方法は実際には困難と思われる。気温といっても、日平均、昼間平均、日最高、積算気温 (degree·hr または degree·day) 等がある。これらの中どれが融雪指標として最適であるかをみるため、日融雪量  $m'$  あるいは複数の日にわたる融雪量  $\Delta m$  とこれらの指標との相関を調べたところ、相関係数は何れも大差なく、融雪期にあっては0.8~0.9であって相関が非常によいとはいえないが、それなりの推定誤差を見込めば上記の指標の何れもが使えるといえよう。従来よく用いられたのは日平均気温と積算気温であるが、日最高気温を使うと便利な場合はそれもよい。

積算気温 (デグリーデー) を用いるとき、日平均気温が  $0^\circ\text{C}$  以下でも  $-3^\circ\text{C}$  以上では融雪が起り得ることは考慮される必要がある。デグリーアワーの場合は  $0^\circ\text{C}$  以上の気温 (例えば1時間平均) の積算で充分である。そして融雪量と degree·hour との相関はかなり良い場合が多い。しかし、風速と気温の積の積算との相関は積算気温との相関に比べて特に良いわけではない。

近藤<sup>7)</sup>の理論的融雪~気温曲線のように、湿度と放射吸収量とをパラメータとして観測データを整理出来ればと思ったが、期待通りには行かなかった。しかし平均的傾向から特にかげ離れたデータの説明にこれらの要素を使うことは出来たし、融雪係数の時期的変化を理解する

上にも助けとなった。

2週間ないし1カ月間にわたる平均融雪速度が、年により地域によってどの程度差があり得るかも今後の検討課題としたい。

観測にあたり、北大雨竜地方演習林母子里作業所から種々便宜を計って頂いた。また低温科学研究所の石川助手は観測に大いに協力された。ここに併記して感謝の意を表わす。この研究は文部省科学研究費補助金、自然災害特別研究(2), No. 56025002 (代表: 小島) および No. 57025001 (代表: 小林大二) (以上同課題) の分担課題研究として行ったものである。

## 文 献

- 1) 境 隆雄 1963 河川の融雪流出に関する研究. 土木学会論文集, **95**, 9-20.
- 2) 石井幸男 1959 融雪の研究. 積雪基礎調査, 北海道電力株式会社, 札幌管区气象台, 84 pp.
- 3) 東北電力株式会社・仙台管区气象台 1960 融雪の物理に関する研究. 冬季只見川流域水文気象調査総合報告, 第1編, 80-121.
- 4) 大浦浩文・小島賢治・小林大二・小林俊一・成瀬廉二・石川信敬 1969 幾寅(金山ダム流域)における融雪の研究 II. 低温科学, 物理篇, **27**, 143-162.
- 5) 山口 甲 1971 融雪出水予報の事例. 雪氷, **33**, No. 4, 276-281.
- 6) 高橋修平・佐藤篤司・成瀬廉二 1981 大雪山「雪壁雪溪」の融雪に関する熱収支特性. 雪氷, **43**, No. 3, 147-154.
- 7) 近藤純正 1979 融雪量予測の基礎的研究. 第16回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集, 95-98.
- 8) 小島賢治 1980 冬季間の積雪下面における融雪量の連続観測(序報). 低温科学, 物理篇, **39**, 101-108.

## Summary

Melting rate of snow is determined by a heat balance at the surface layer of a snow cover. Radiative energy absorbed by the surface layer plays usually the most important role for the melting process. During the daytime each of the sensible and the latent heat exchange between snow and the atmosphere is less in magnitude than net radiation except under very wet and warm conditions. Practically, however, the amount of daily snowmelt is estimated by empirical formulae including only the daily mean air temperature or time-integrated air temperature above the melting point in °C·hr. The melted amount  $\Delta m$  for  $\Delta t$  days is often estimated by the sum of positive daily mean temperature  $\sum T_a^{d+} \Delta t$  (°C·d) and an empirical coefficient of proportionality. Many formulae or melting coefficients, which are called "degree-hour factor" or "degree-day factor", have been hitherto proposed, but that which is the most suitable has not yet been established. On this basis the relations, expressed variously, between the daily amount of snow melting and air temperature have been reexamined using the observed data collected in Sapporo and Moshiri in Hokkaido during the period from December, 1979, to March, 1983. Continuous melting of snow in Moshiri begins in the middle of April, when snow has melted away in Sapporo, where it starts melting about the 10th of March usually. Each snowy season is roughly divided into three periods: A from Dec. to March 10; B from March 11 to early April; and C from the middle of April to early May. Melt~temperature relations are examined for each period.

The results are as follows:

1. For period C in 1982 relation of the daily amount of snowmelt  $m'$  with (1) daily

mean air temperature  $\bar{T}_a^d$ , (2) 0800~1800 h diurnal mean air temperature  $\bar{T}_a^{08-18}$ , (3) daily maximum air temperature  $T_{\max}$ , and (4) time-integrated positive air temperature in  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{hr}$  were expressed by correlation coefficients, which were found to be 0.89, 0.90, 0.87, and 0.88 respectively (Fig. 1). No specially outstanding correlation could be found in any of them.

2. The daily maximum temperature, which has not been used usually as a melting index, may also be used for roughly estimating the daily melt, as is shown by our result. The regression line of Fig. 1(c) is expressed as

$$m' = -4.1 + 3.0 T_{\max} (\text{mm}\cdot\text{d}^{-1})$$

and  $T_{\max} = 2^{\circ}\text{C}$  may be an approximate criterion of occurrence of an apparent snowmelt, which is more than  $1 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ .

3. Correlation between daily positive net radiation and 0800~1800 h diurnal mean air temperature was found to have a coefficient of 0.87 or so.

4. Since the daily mean air temperature  $\bar{T}_a^d$  is most commonly used, the relation between  $m'$  and  $\bar{T}_a^d$  was examined for each of periods A, B, and C, summarizing 3~4 years data. The plots of the relations are shown in Fig. 2 A, B, and C respectively. The equations of the lines of regression for the relations between the melt amount and some indices mentioned in 1.-(1), (2), (4), and (4 a) are listed in Table 1. Three equations with a marker \* in Table 1 show the lines of A, B, C of Fig. 2. The last equation:  $m' = 4.1 (3.0 + \bar{T}_a^d) \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$  means that melting takes place when  $\bar{T}_a^d$  is higher than  $-3^{\circ}\text{C}$  and the melting coefficient (degree-day factor) concerning the effective temperature  $T' = 3.0 + \bar{T}_a^d$  is 4.1.

5. Melting coefficient (d. d. f.)  $k'_d$  defined as  $m'/T'$  increased from period A to C as net radiation increases. The values of it for A, B, and C are 1.8, 2.6, and 4.1  $\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$  (or  $\text{mm}(\text{C}\cdot\text{d})^{-1}$ ) on the average. The other melting coefficients (d. h. f.)  $k_h$  defined as  $\Delta m / \sum T_a^+ \Delta t$  in periods A, B, and C are 0.16, 0.24, and 0.31  $\text{mm}(\text{C}\cdot\text{hr})^{-1}$  respectively as shown in Table 2.

6. Another commonly used coefficient  $k_{40} = \Delta m / \sum T_a^{d+} \Delta t$  ( $\text{mm}(\text{C}\cdot\text{d})^{-1}$ , where  $T_a^d$  above  $0^{\circ}\text{C}$  is accumulated, was found to be 10.0 on the average of 47 samples of period C but with greater dispersion than  $k'_d$ .

7. Relative humidity or vapor pressure of the atmosphere could not be introduced to this statistics systematically, though it was helpful in explaining some abnormal points of the plot.

8. Consideration of the wind speed in the degree-hour method showed no improvement in correlation coefficients.