



Title	大雪山旭岳の融雪調査
Author(s)	久保田, 裕士; KUBOTA, Hiroshi; 深見, 浩司 他
Citation	低温科学. 物理篇, 36, 181-188
Issue Date	1979-03-10
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18365
Type	departmental bulletin paper
File Information	36_p181-188.pdf



大雪山旭岳の融雪調査*

久保田裕士・深見浩司

大前宏和・金田安弘

(北海道大学大学院 理学研究科)

山田知充

(低温科学研究所)

(昭和53年10月受理)

I. ま え が き

積雪表面での融雪量は、積雪表面の熱収支によって規定されている。山岳地帯の斜面積雪の熱収支は、たとえ同一地域で同一高度の裸地であっても、斜面の向きや傾斜角によって熱収支が異なり、従って融雪量も異なっている。また高度が違えば、融雪量も当然違ってくる。

一方、長い期間の融雪量 M は積算暖度 ΣT に比例し、

$$M = k\Sigma T \quad (1)$$

で表わされることが経験的に知られている(たとえば石井¹⁾, 井上・松田²⁾)。比例定数 k ($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{deg} \cdot \text{day}$) は degree-day factor と呼ばれ、日平均気温 1°C 当り (1 degree-day 当り) の融雪量 (g/cm^2) を意味している。(1) 式は k の値さえ既知であれば、比較的観測あるいは推定の容易な日平均気温から、ある長い期間の融雪量をかなりの精度で見積ることができる点で非常に有用である。 k の値は、その意味からいっても積雪表面の熱収支によっていろいろと異なった値をとることになり、当然山の斜面の向きによっても、傾斜角によっても、高度によってもまた時期によっても異なるであろう。

そこで、融雪量や degree-day factor の値が、斜面の向きや高度、時期によってどの程度違うかに重点を置いて、旭岳周辺斜面の高山裸地帯において調査した。

II. 調査方法

第1図に融雪量を測定した地点を示した。積雪量の少なかった西斜面を除いて、北・東・南の各斜面に高度を変えて2~3点ずつ測点を選んだ。長期間の融雪観測ができることを条件に測点を選んだため、高度差をあまり大きくとることができず、東斜面の測点E2以外の測点は、標高約2,040 mと約2,170 mの2つの高度に設定された。また以上の測点の傾斜角は20度から25度の間にそろえた。測点E2は、鞍部に近く傾斜角も12度で、他の測点と較べて地形的にやや異質な測点である。

* 北海道大学低温科学研究所業績 第1964号

調査は、旭岳において融雪が盛んに起こり始める5月下旬に開始した。調査期間は、5月25日から6月30日までと、6月30日から7月20日までであった。ここでは前者を第I期、後者を第II期と呼ぶことにする。

融雪量は、雪面低下量とその間に融けた積雪の平均密度を測定することによって求めた。

雪面低下量は、中尾等³⁾の用いた埋込みマークの方法により測定した。この方法は、雪尺の代りに、鉄パイプであけた鉛直な穴にタコ糸等を埋込み、雪面上に露出した糸の長さ

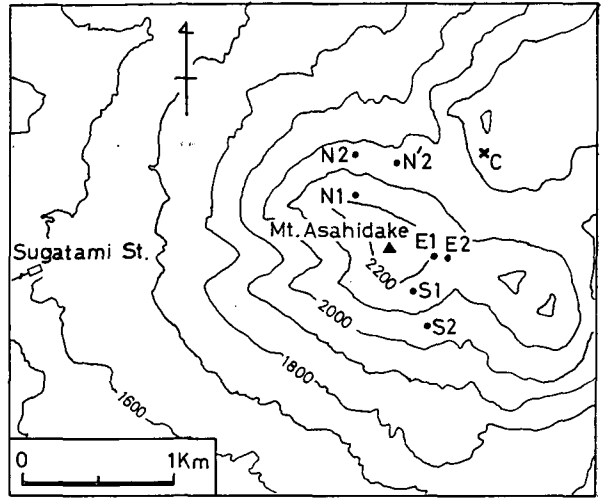
の変化を測定することによって雪面低下量を求めるものである。各測点ごとにそれぞれ3～6点ずつ埋込みマークを設置したが、正確な雪面低下量が得られたのは各測点につき1～3点であった。同一測点で得られた雪面低下量の測定値に、最大でも±3%以上のばらつきはなかった。また埋込みマークの方法の信頼性を確かめるために、測点S2において第II期に雪尺法と埋込みマーク法との比較測定を行なったが、両者の雪面低下量は4%の範囲で一致していたので、埋込みマーク法は十分信頼できることがわかった。

密度は、埋込みマーク設置時にスノーサンプラーを用いて積雪表面から鉛直に2m前後の積雪を採取して求め、これを埋込みマーク再測定までに融けた積雪(実際には3m前後の雪面の低下があった。)の平均密度とした。ただし積雪内部の厚い氷板のため、表面から50cm程度の長さの積雪しか採取できない場合もあった(第I期の測点S2及びE1)。その場合は、他の測点の密度の値から適当な補間を行なってその測点の密度とみなした。

融雪量は、雪面低下量と平均濡れ密度の積として求め、積雪中に含まれていた水に対する補正は行なわなかった。

観測期間中の気温は、第1図に示した標高2,170mの測点S1、及び標高1,595mの高山裸地帯に位置する株式会社大雪山ハイランドのロープウェイ姿見駅において、それぞれ自記温度計によって測定した。

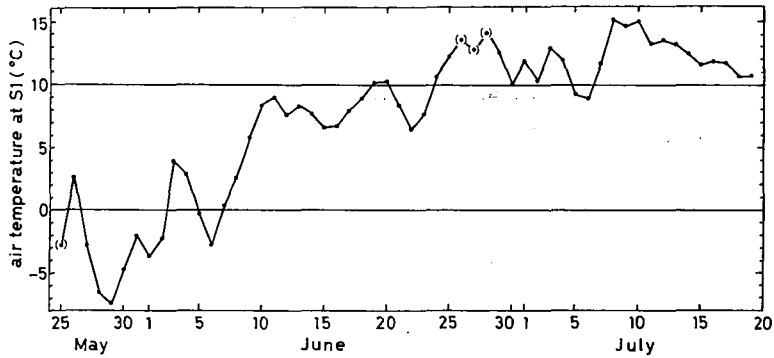
なお、天候や融雪の進行状況を監視するため、第1図に示したC地点にタイマー付8ミリカメラを設置し、1時間1コマの旭岳東斜面の自動コマ撮り撮影を行なった。



第1図 観測地域の概念図。N1, N2, N'2は北斜面の測点。E1, E2は東斜面の測点。S1, S2は南斜面の測点。Cは8ミリカメラを設置した地点

III. 観測結果

測点S1における、全期間にわたる日平均気温の変化の様子を第2図に示した。日平均気温は、0時から3時間ごとの定時の値を算術平均して求めた。観測開始後6月上旬までは、日



第2図 測点 S1 における日平均気温の変化。()は推定値

第1表 調査結果。()は推定値

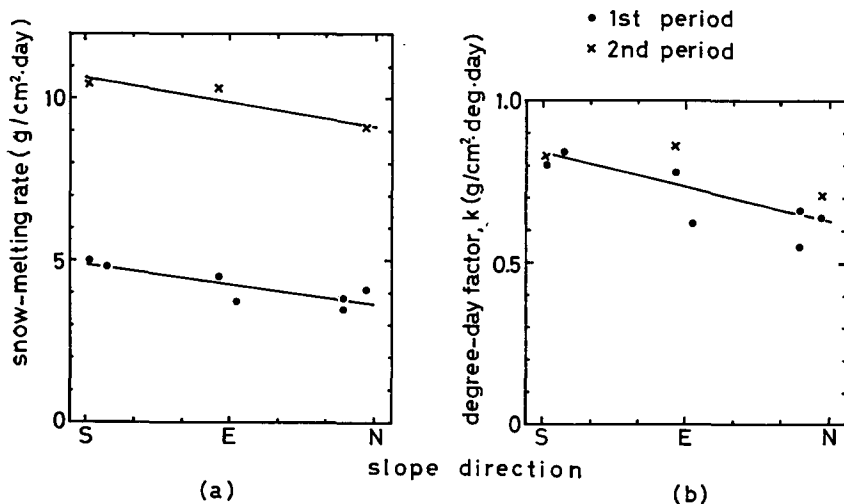
	測点	南斜面		東斜面		北斜面		
		S1	S2	E1	E2	N1	N2	N'2
	標高 (m)	2,170	2,050	2,180	2,140	2,170	2,040	2,030
	傾斜角 (度)	20	23	21	12	25	25	24
	斜面の向き	S13°E	S2°E	N97°E	N86°E	N19°E	N5°E	N19°E
第I期	雪面低下量 (cm)	311	322	283	233	266	277	240
5月25日～	平均密度 (g/cm ³)	0.56	(0.56)	(0.57)	0.57	0.52	0.53	0.53
6月30日	融雪量 (g/cm ²)	174	180	161	132	138	147	127
(36日間)	平均融雪速度 (g/cm ² ·day)	4.8	5.0	4.5	3.7	3.8	4.1	3.5
	積算暖度 (deg·day)	208	226	207	213	208	228	230
	degree-day factor (g/cm ² ·deg·day)	0.84	0.80	0.78	0.62	0.66	0.64	0.55
第II期	雪面低下量 (cm)		335	321			306	
6月30日～	平均密度 (g/cm ³)		0.62	0.64			0.59	
7月20日	融雪量 (g/cm ²)		208	205			181	
(20日間)	平均融雪速度 (g/cm ² ·day)		10.4	10.3			9.1	
	積算暖度 (deg·day)		252	239			253	
	degree-day factor (g/cm ² ·deg·day)		0.83	0.86			0.71	

平均気温がマイナスの日が多く、8ミリカメラのコマ撮り撮影から、この間に若干の降雪があったことがわかった。気温は6月上旬になってようやく急激な上昇を開始した。この年の北海道の夏の気温は例年よりかなり高めに経過したので、測点 S1 で得られた気温も、6月中旬以降は平年値よりかなり高めの値であると思われる。

先に述べた2地点で得られた気温から求めた第I期、第II期の観測斜面の平均気温減率は、それぞれ 0.59 deg/100 m, 0.50 deg/100 m であった。

第1表に融雪観測の結果を示した。ここで雪面低下量及び融雪量は斜面に垂直な方向の値に換算してある。0°C 以上の日平均気温の積算暖度は、同一高度で気温は斜面の向きによらないと仮定し、測点 S1 の気温から各測点高度の気温を前述の気温減率で補正して求めた。

各観測斜面に設置した上部の測点と下部の測点の高度差は、高々 140 m 程度であったため、融雪量、degree-day factor の高度による違いに明らかな傾向は認められなかった。そこで高度の違いは無視し各測点の平均融雪速度と斜面の向きとの関係を第 3 図 (a) に、また degree-day factor と斜面の向きとの関係を第 3 図 (b) に示した。第 3 図から明らかに、第 I 期、第 II 期共に北斜面より南斜面で融雪速度が大きいことがわかる。従って degree-day factor も当然北斜面より南斜面で大きい、第 I 期、第 II 期の値にそれほど大きな違いはなく、南斜面で $0.80 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{deg} \cdot \text{day}$ 、北斜面では $0.65 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{deg} \cdot \text{day}$ 程度であった。



第 3 図 (a) 各測点の平均融雪速度と斜面の向きとの関係、(b) 各測点の degree-day factor と斜面の向きとの関係

同一測点で第 I 期と第 II 期の degree-day factor の値を比較すると、第 I 期より第 II 期の値の方が多少大きかった。この原因の一つとして、第 I 期の観測期間中に降雪のあったことが挙げられる。すなわち融雪量は正味の雪面低下量から求めたものであり、第 I 期における実際の融雪量は降雪の分だけこれより多かったと考えられるからである。従って、実際の融雪量を見積る上では、degree-day factor の値は、同一方向の斜面については第 I 期も第 II 期とほぼ同じであったと考えてよかろう。雪壁雪渓での融雪観測においても²⁾、degree-day factor は一夏にわたってほぼ一定値をとっていた。今回の観測結果もこれを支持しており、ある地点の degree-day factor の値は、融雪最盛期の夏になると時期によらずほぼ一定と見なすことができる。

IV. 考 察

今回の調査で、北斜面より南斜面で融雪速度の大きいことが観測された。このような斜面による融雪速度の違いは、直観的に北斜面より南斜面で、斜面上の単位面積に入射する日射量が多いことで説明される。しかし、はたして日射量の違いだけで、この南北斜面の融雪速度の差を説明できるかどうか考察する。

斜面の方位角 λ と傾斜角 β の違いによって斜面上の単位面積が受ける日射量にどのような

違いがあるかを知るために、まず水平面日射量 I_0 に対する斜面の日射量 I の比 r が、 λ と β どのように変化するかを考える。日射は直達光と散乱光とから成るが、斜面による日射量の違いをもたらすのは主に直達光成分である。従って、直達光成分が散乱光成分に較べて無視できるような曇天の場合には、 r の値は各斜面でほとんど 1 に等しい値をとることになる。雲量が減少し、晴れているほど直達光成分の日射量に占める割合が大きくなるので、 r の値は南斜面で 1 よりますます大きくなり、北斜面では 1 よりますます小さくなる。

このように実際の r の値は、南斜面では $r \geq 1$ 、北斜面では $0 < r \leq 1$ の値をとっていろいろ変化しており、実測しなければわからないことになる。そこで、日射量のすべてが直達光成分である場合、すなわち大気による日射の吸収、散乱の全くない仮想的な場合について、 r の値が斜面の方位角 λ と傾斜角 β でどのように変化するかを理論的に計算してみた。実際の大気を通過してくる日射は、快晴の場合、直達光成分がかなりの部分を占めている。従ってここで求める r と λ 、 β の関係は、快晴時の、 r の値が各斜面で 1 から最も大きくずれる場合、すなわち日射量の斜面方位による違いが、最も極端に現われる場合の関性に近いものになるであろう。

大気による日射の吸収、散乱の全くない場合、斜面上の単位面積に入射する 1 日の日射量 H は、

$$H = S_0 \int_{t_1}^{t_2} \left\{ \sin h \cos \beta + \cos h \cos (t - \lambda) \sin \beta \right\} dt \quad (2)$$

で与えられる⁴⁾。ここで h は水平面に対する太陽高度角、 t は時角、 S_0 は太陽常数、 β は斜面の傾斜角、 λ は斜面の方位角で南を 0 とし、南から西へ回る方向をプラスにとる。 t_1 、 t_2 はそれぞれ斜面に日のあたり始める時の時角、かげり始める時の時角である。また、太陽高度角 h は次の式で求めることができる。

$$\sin h = \cos \delta \cos \varphi \cos t + \sin \delta \sin \varphi \quad (3)$$

ここで δ は赤緯、 φ は緯度である。水平面における 1 日の日射量 H_0 は、(2) 式から

$$H_0 = S_0 \int_{t_1}^{t_2} \sin h dt \quad (4)$$

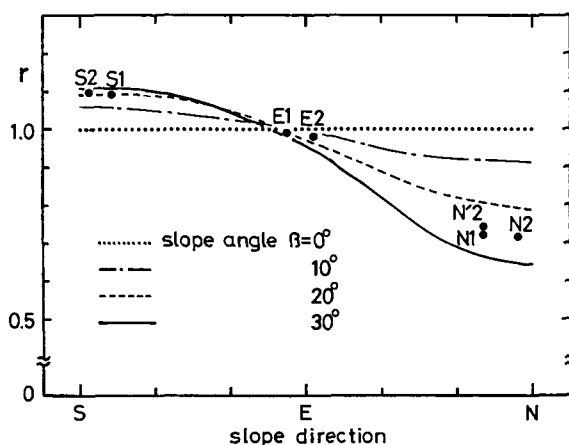
である。ここで t_1 、 t_2 はそれぞれ水平面での日の出、日の入の時角である。(2)・(4) 式から、大気による日射の吸収、散乱がない場合について、水平面日射量に対する斜面の日射量の比 r は、

$$r = \frac{H}{H_0} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \left\{ \sin h \cos \beta + \cos h \cos (t - \lambda) \sin \beta \right\} dt}{\int_{t_1}^{t_2} \sin h dt} \quad (5)$$

となり、 r は時期を定めれば斜面の向き λ と傾斜角 β の関数として求めることができる。

(5) 式から計算した全調査期間の平均の r の値と斜面の向きとの関係を、傾斜角 β をパラメータにして第 4 図に示した。斜面方位角 λ 、傾斜角 β の各測点、図上で対応する位置を、黒丸(●)で参考のために示しておいた。

次に実際の斜面上での熱収支を考えてみる。斜面の日射量 I は、水平面日射量を I_0 とすると、 r の定義から、



第4図 (5)式で定義される r の値と斜面の向きとの関係

$$I = rI_0 \quad (6)$$

である。雪面に与えられる熱量のうちの吸収日射量以外の熱量、すなわち長波長放射収支、顕熱伝達量、潜熱伝達量、雨からの伝達熱量の和を Q とすると、 Q は、

$$Q = P - (1 - \alpha)rI_0 \quad (7)$$

で与えられる。ここで P は融雪熱量、 α は雪面のアルベドである。融雪熱量 P が斜面の向き λ と傾斜角 β によって異なるのはすべて吸収日射量の斜面による違いで説明できるとするならば、 Q は斜面の向きや傾斜角によらず一定値をとらなくてはならないことになる。

そこで、旭岳の観測斜面の各測点について、(7)式から Q の値を計算した。 P は実測した融雪量から求めた日平均融雪熱量を用いた（平均を求める際、日平均気温が 0°C 以上の日数で割算した）。雪面のアルベドは、第I期は $\alpha = 0.55$ 、第II期は $\alpha = 0.45$ と推定した。融雪がある程度進行すれば、アルベドは 0.6 以下になること、また第II期最終日の7月20日に南斜面、東斜面において、簡易アルベドメーター⁵⁾を用いてアルベドを測定したところ、 0.45 の値を得たこと等から判断してこれらの値は推定されたものである。 r の値は各測点における斜面の方位角 λ と傾斜角 β から第1近似として(5)式を用いて計算した。調査期間が夏至の前後にあたり r の季節変化は小さいので、 r は全調査期間中の平均の値を用いた。水平面日射量 I_0 は現場で測定していないので、旭岳から西北西約 40 km の旭川地方気象台（標高 115 m ）の日射量を、第1近似として旭岳周辺斜面における水平面日射量 I_0 とみなした。旭岳の各測点で確実に融雪が起きていると考えることのできる日平均気温が 0°C 以上の日のみについて、旭川における第I期、第II期の日射量の日平均値を求めたところ、それぞれ 441 ly/day 、 427 ly/day であった。

以上に述べた P 、 α 、 r 、 I_0 の値を用いて計算した各斜面における吸収日射量 $(1 - \alpha)rI_0$ とそれ以外の融雪熱量 Q を各斜面ごとに平均して第5図に示した。ただし地形的にやや異質な測点 E2 の値は、除外した。図に見られるように第I期、第II期とも、 Q はわずかに南斜面で大きく、北斜面で小さいか、あるいはほとんど斜面による違いはないという結果が得られた。

Q の計算に用いた r の値は (5) 式で計算されたものであり、前に詳しく述べたように、日射量のうちかなりの部分を直達光成分が占める快晴時の、斜面方位による日射量の違いが最も大きくなる場合の値であった。実際には、観測斜面が雲におおわれることがしばしばあることから、実際の南斜面の r の値は、(5) 式で計算された r の値 (>1) よりも、もっと 1 に近い値であり、北斜面の r の値 (<1) も、もっと 1 に近い値である。また水平面日射量 I_0 についても、旭岳の方が旭川より雲におおわれる頻度の大きいことから考えて、旭岳の実際の水平面日射量は、(7) 式の計算に用いた旭川の水平面日射量よりも小さいはずである。従って実際の吸収日射量 $(1-\alpha)rI_0$ の値の南北斜面の差は、(7) 式を計算する際に見積った差よりかなり小さいはずであり、吸収日射量以外の融雪熱量 Q の、南斜面の値と北斜面の値の差は、実際には第 5 図に示した差よりもかなり大きいはずである。結局、融雪量の斜面方位による違いを吸収日射量の違いだけで説明することはできないことになる。ただし、実際の Q の値が斜面方位によってどの程度違っているかを量的に議論することは、資料がないのでここではまだできない。

今回の調査で観測された斜面による融雪量の違いを日射量の違いだけで説明するのは困難であり、顕熱伝達量、あるいは潜熱伝達量も北斜面より南斜面で大きかったと結論される。このように、同一山域の同一高度でも、斜面の違いで日射以外の熱収支項も違っているという結果は、山岳積雪の融雪を取扱う上で、今後に残された興味ある課題であろう。

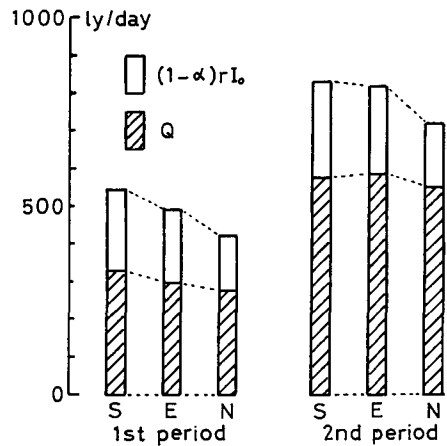
V. ま と め

1978 年夏の旭岳融雪調査の結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 斜面の向きによって融雪速度に明らかな違いがあった (第 3 図 (a))。
- 2) degree-day factor は、第 3 図 (b) に見られるような斜面依存性を示した。
- 3) 斜面の向きによる融雪速度の違いは、日射量が斜面の向きによって違うことだけでは説明困難であり、顕熱伝達量あるいは潜熱伝達量も北斜面より南斜面で大きかったと結論される。

斜面の向きによる融雪速度の違いの原因については定性的な推定の域を出ないが、将来熱収支観測によって定量的に明らかにすべき問題であろう。

本研究にあたり、低温科学研究所小島賢治教授、若浜五郎教授の御指導を得た。秋田谷英次講師から自記温度計を、油川英明助手からは簡易アルベドメーターを借用し、観測上の有益な助言をいただいた。調査及び結果の解析において、成瀬廉二助手、石川信敬助手から多くの



第 5 図 融雪熱量を吸収日射量 $(1-\alpha)rI_0$ とそれ以外の融雪熱量 Q に分離した図

御協力を仰いだ。また株式会社大雪山ハイランドの方々にはいろいろと調査の便宜をはかっていただいた。以上の方々に深く感謝の意を表します。

文 献

- 1) 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, 83 pp.
- 2) 井上雅之・松田益義 1973 大雪山雪壁雪渓における質量収支の研究. 雪氷, **35**, 4, 12-23.
- 3) 中尾正義・井上雅之・松田益義・若浜五郎 1975 大雪山の雪渓調査 VI (1972年度). 低温科学, 物理篇, **33**, 135-149.
- 4) Erwin Hoeck. 1958 Influence of radiation and temperature on the melting process of the snow cover. *SIPRE Trans.* **49**, 60 pp.
- 5) 油川英明・深見浩司 1978 簡易アルベドメーターの試作. 低温科学, 物理篇, **37**, 171-174.

Summary

A study was made of snow melting on slopes in altitudes between 2000 m and 2200 m around Mt. Asahidake (2290 m) during periods from 25 May to 30 June (36 days) and from 30 June to 20 July (20 days) 1978, aiming at examining the effects of slope direction on snow-melting rate and degree-day factor. This factor k ($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{deg} \cdot \text{day}$) is defined by $M = k\Sigma T$, where M is the amount of snowmelt and ΣT is the accumulated air temperatures above 0°C ($\text{degree} \cdot \text{day}$). The amounts of snowmelt were measured at several points on northern, eastern and southern slopes. Air temperatures were observed at two levels of 2170 m on the southern slope and 1595 m on the western slope.

The results show that the snow-melting rate and degree-day factor varied mainly with the slope direction, and that both were larger on the southern slopes than on the northern slopes (Fig. 3).

Discussion was made whether the difference in the snow-melting rate among observation points can be explained by the difference in the amount of solar radiation due to the effect of the slope direction. It was concluded that such an explanation only by the difference in solar radiation is insufficient, and that sensible heat transfer and/or latent heat transfer were also larger on the southern slope than on the northern slope.