



Title	雪底の表面形態
Author(s)	成瀬, 廉二
Citation	低温科学. 物理篇, 39, 75-80
Issue Date	1981-03-18
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/18415">http://hdl.handle.net/2115/18415</a>
Type	bulletin (article)
File Information	39_p75-80.pdf



[Instructions for use](#)

## 雪 庇 の 表 面 形 態\*

成 瀬 廉 二

(低温科学研究所)

(昭和55年10月受理)

### I. ま え が き

雪庇はふぶきや地ふぶきによって運ばれた雪粒子が、山稜や地形の不整地の風下に堆積して形成されたもので、地形と風の影響による雪の吹きだまりの代表的なものと言える。筆者等<sup>1)</sup>は、前年、大雪山旭岳西斜面中腹に成長した一つの雪庇において、主としてピットの断面観測等により雪庇内部の構造および雪質について調査を行い、雪庇の成長過程、雪庇の変形、および庇の上部、下部の雪質の相違について報告した。

雪庇に関する調査研究は古くから多くあるが(例えば<sup>2-4)</sup>、雪庇の形態について定量的に測定し、研究した例はない。筆者は、特に雪庇の下部斜面の形に注目し、1979年および1980年の冬期、旭岳西斜面にて地形の異なる様々な地点に形成された雪庇の調査を行った。調査には巻尺(スチールテープ)と傾斜計(クリノメーター)を用い、雪庇表面の最大傾斜方向に沿う傾斜の分布を測定した。

### II. 雪庇下部斜面の形態

旭岳西斜面に見られる雪庇の一般的な断面図を第1図に模式的に示す。Seligman<sup>2)</sup>が名づけた雪庇各部分の名称を図示した。庇(face)が片持梁状に長く伸びる<sup>5)</sup>こともあるが、筆者は、このように庇が顕著なもののみを雪庇とは見なさず、地形の不整地前後に形成される root から scarp までの全体の堆積物を雪庇と呼ぶ。また、庇の上部斜面とは root から roof まで、下部斜面とは scarp を表わす。なお本論文では、(X, Y)座標軸の原点を庇(face)の下端にとり、水平(谷側)方向に X 軸、鉛直上方に Y 軸をとる。庇が明瞭に発達していない場合は、表面の輪郭が上に凸(convex)から凹(concave)に変わる変曲点に原点をとった。

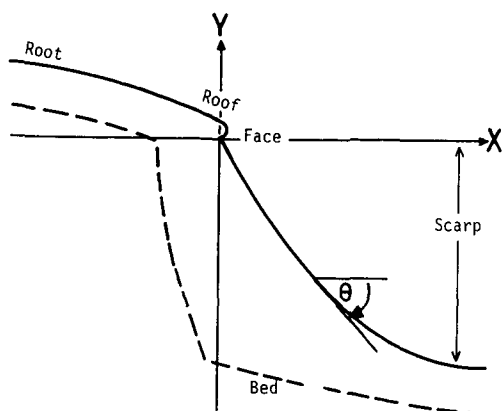
雪庇下部斜面の傾斜  $\tan \theta$  と水平距離  $X$  (m) との関係の一例を第2図に示す(但し、傾斜角  $\theta$  度は正にとる)。庇直下の傾斜(白丸)は大きい、下方(黒丸)では  $\tan \theta$  は  $X$  とともに直線的に減少している( $\tan \theta$  と  $X$  の相関係数:  $-0.991$ )。両者が直線関係にあると見なすと、

$$\tan \theta = -\frac{dY}{dX} = -\alpha X + \beta, \quad (\alpha, \beta \text{ は正の定数}) \quad (1)$$

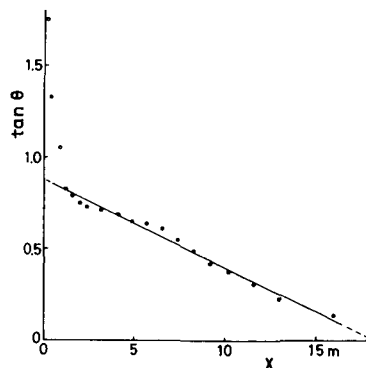
と表わされ、 $Y$  と  $X$  の関係は、

$$Y = \frac{\alpha}{2} \left( X - \frac{\beta}{\alpha} \right)^2 - \frac{\beta^2}{2\alpha}, \quad (2)$$

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第2282号



第1図 雪庇断面の模式図



第2図 雪庇 A の下部斜面の傾斜と庇からの水平距離の関係 (旭岳夫婦沼, 第1表参照)

なる二次曲線となる。

そこで雪庇下部斜面の一般的な形として、

$$Y = a(X_0 - X)^b + Y_0, \quad (0 \leq X \leq X_0) \tag{3}$$

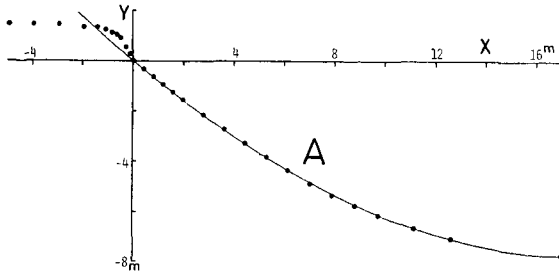
のべき乗式を与える。但し、 $X, Y$  は (m)。まず、表面勾配が 0 となる座標  $(X_0, Y_0)$  を第 2 図と同様な外挿法により求め、しかるのち (3) 式において最小自乗法により  $X$  上の  $Y$  の回帰曲線を求めた。規模、形態の異なる四つの雪庇 (A, E, F, H) の表面測定値と回帰曲線を第 3 図～第 6 図に示す。白丸は座標  $(X_0, Y_0)$  の点である。測定を行った全雪庇について、得られた回帰係数、指数、回帰線のまわりの標準偏差等を、雪庇の標高、張り出し方位とともに第 1 表にまとめて示す。A～H は旭岳西斜面の雪庇、I は参考のために示した防雪柵の風下吹きだまりに形成された小雪庇である。回帰線のまわりの標準偏差は  $\pm 0.1$  m 前後で、いずれの雪庇も非常によくべき乗式に近似される。雪庇 A～H の指数  $b$  は 1.8 から 2.0 の間にあり、放物線に近い。雪庇下部の基盤の形態は不明であるが、どこでもこのような曲線の地形であるとは考えられない。

第1表 雪庇 A～I における回帰曲線、 $Y = a(X_0 - X)^b + Y_0$  の定数

Snow Cornice <sup>1</sup>	Altitude (m)	Direction	Date	$X_0$ (m)	$Y_0$ (m)	$a$	$b$	Standard Deviation* (m)	$\frac{X_0}{Y_0}$	$\theta_0$ (°)
A	1,620	E	'80. 2. 5	17.0	- 7.7	0.039	1.87	$\pm 0.05$	2.2	40.3
B	1,550	N	'80. 3. 20	15.9	- 8.1	0.040	1.90	$\pm 0.07$	2.0	44.1
C	1,500	S SW	'80. 2. 5	30.2	-14.2	0.019	1.97	$\pm 0.29$	2.1	42.8
D	1,490	S	'79. 2. 27	5.9	- 3.5	0.134	1.81	$\pm 0.05$	1.7	47.0
E	1,490	S	'79. 3. 29	17.9	- 7.9	0.022	2.03	$\pm 0.12$	2.3	41.9
F	1,490	SW	'80. 2. 5	26.3	-13.1	0.029	1.87	$\pm 0.04$	2.0	43.0
G	1,490	S	'80. 3. 18	14.5	- 8.0	0.042	1.98	$\pm 0.08$	1.8	47.5
H	1,450	S	'80. 2. 5	10.1	- 5.8	0.065	1.95	$\pm 0.07$	1.7	48.2
I**	50	E S E	'80. 2. 28	5.5	- 1.1	0.021	2.20	$\pm 0.02$	5.0	23.7

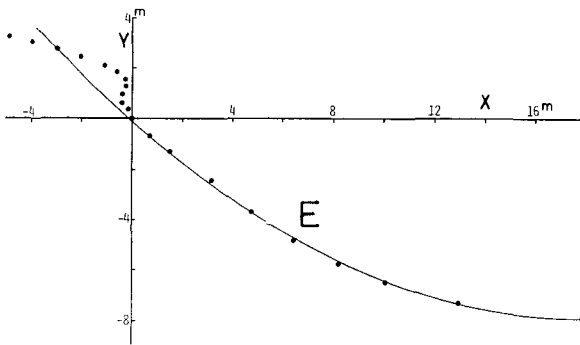
(note) \*  $X$  上の  $Y$  の回帰曲線のまわりの標準偏差

\*\* 防雪柵による吹きだまりの小雪庇 (羽幌・有明)



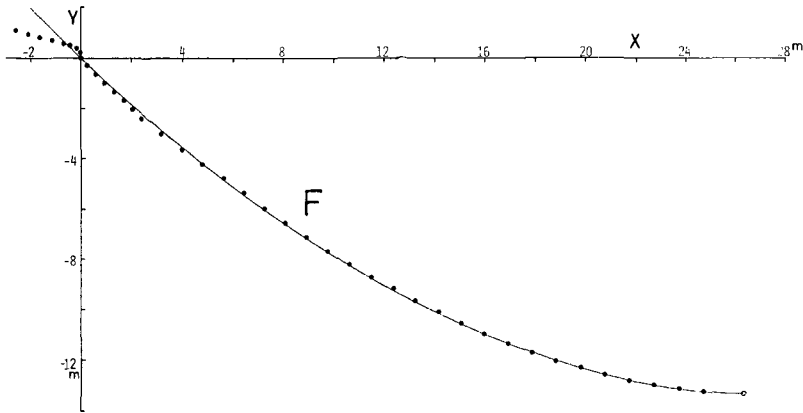
第3図 雪庇 A の表面輪郭

回帰曲線:  $Y=0.039(17.0-X)^{1.87}-7.7$  (m)



第4図 雪庇 E の表面輪郭

回帰曲線:  $Y=0.022(17.9-X)^{2.03}-7.9$  (m)



第5図 雪庇 F の表面輪郭

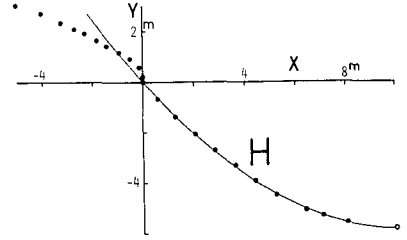
回帰曲線:  $Y=0.029(26.3-X)^{1.87}-13.1$  (m)

一方、回帰曲線の係数  $a$  は場所により、時により 0.02 から 0.13 の間で変化している。

曲線の勾配が 0 となる点の座標  $(X_0, Y_0)$  は、雪庇の規模を示す指標とも見なし得る。すなわち、 $-Y_0$  は雪庇の高さ、 $X_0$  は雪庇(下部)の長さを示す。その比  $(-X_0/Y_0)$  は 1.7 から 2.3 の間にあり、平均値は 2.0 である(第1表参照)。このことから、段差の高さの約 2 倍の距離までは、雪庇による吹きだまりの影響圏にあると考えられる。防雪柵では、柵高の 30 倍の距離まで柵の

影響による吹きだまりが見られることもあるが<sup>6,7)</sup>、障害物の形および吹きだまりの機構が雪庇とは大きく異っているためであると考えられる。

雪庇の表面傾斜は、局部的には庇の部分では90°以上になったり(第4図, 第6図参照), 垂れ下った庇の下面では180°以上になることもあり, 常にある安息角以下の値を示しているとは限らない。そこでこのような特異な部分(庇)を除いて, 雪庇表面に見られる最大の傾斜を調べる。なまの傾斜測定値は, 細かい表面起伏を反映するし, 測定誤差もあるので, (3)式の回帰曲線から



第6図 雪庇 H の表面輪郭

回帰曲線:  $Y = 0.065(10.1 - X)^{1.95} - 5.8$  (m)

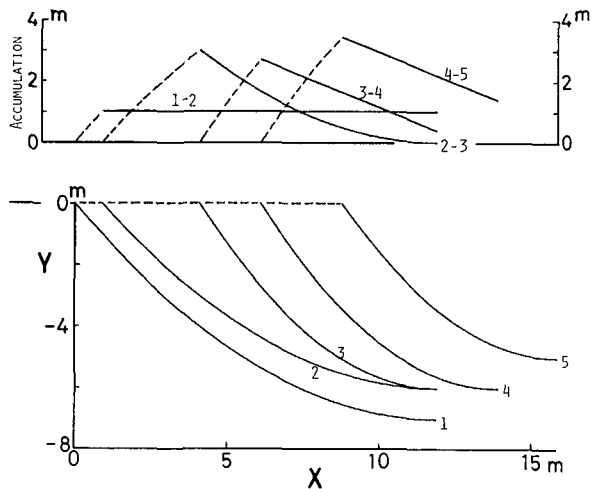
$$-\tan \theta_0 = \left( \frac{dY}{dX} \right)_{X=0} = -abX_0^{b-1}, \quad (4)$$

により, 庇直下 ( $X=0$ ) 点における表面傾斜  $\theta_0$  度を求め第1表に示した。 $\theta_0$  は40°から50°の範囲にあることがわかる(平均値: 44°)。この値は, 大雪山系の雪庇型雪溪<sup>8)</sup>の下部斜面の傾斜(雪壁雪溪: 35~40度<sup>9)</sup>, 40~45度<sup>10)</sup>, 北鎮北雪溪: 40度<sup>11)</sup>, 高根ヶ原 S, K 雪溪: 40~45度<sup>12)</sup>)にほぼ等しく, また Seligman<sup>2)</sup> が庇直下の scarp の最大傾斜の平均値として示した52.5度に近い。

### III. 雪庇の成長過程

雪庇下部斜面の形態を支配する要因には, 堆積時の新積雪深分布, 堆積後の風による削剝と雪粒子の再配分, 堆積後の積雪層の圧密および積雪の変形(クリープ)が考えられる。前報<sup>1)</sup>で述べたように, 積雪深約3.5 mの雪庇上部斜面(rootとroofの間)では積雪の圧密による表面低下は1カ月で70 cm, クリープによる表面の変位は1カ月で60 cm程度あり, これらの要因による影響も小さくはない。しかし, ここでは, いずれの機構が支配的であるかについては言及できないし, 雪庇下部斜面が二次曲線に近い形になることの説明はできない。ただ観測事実としては, 雪庇の下部斜面は, 一時的に異風向の風によって不規則な形を示したり, 庇部分の伸長や巻き込み等が生じて, 長期間にわたる標準的な状態としては放物線に近い形を保ちつつ成長(前進)している, と言うことができる。

第1表に示した D, E, F, G の四つの雪庇は, 同一地点で時期の異なる雪



第7図 雪庇の成長過程を示す模式図。  
上は新積雪深の分布

庇である(但し, Fは張り出し方位がやや異なる)。回帰曲線の指数は2に近いが, 係数は0.04から0.12まで大きな相違がある。以上の観測結果をふまえ, 雪庇の成長過程を示す模式図を第7図の下に示した。ここでは, 雪庇上部斜面には堆積せず, 下部斜面は二次曲線を保ちつつ庇が前進するものと仮定した。図に示した時刻1および2の曲線は係数を $0.05\text{ (m}^{-1}\text{)}$ , 時刻3, 4および5の曲線は係数を $0.10\text{ (m}^{-1}\text{)}$ とした。このような成長過程は, 雪庇断面に見られる層構造の分布<sup>1)</sup>を大局的には説明している。いま, 削剝と圧密と変形を無視し, 第7図下のような形で雪庇が成長するための新積雪深の分布を図の上に示す。期間(1~2), (3~4), (4~5)の実線部分は直線, 期間(2~3)は二次曲線の形となる。すなわち, 期間(1~2)は雪庇下部斜面に一樣な厚さの雪が堆積した場合, (3~4)および(4~5)は新積雪深が庇からの距離とともに直線的に減小した場合, (2~3)は二次曲線的に減小した場合をそれぞれ表わしている。

#### IV. あとがき

大雪山旭岳西斜面中腹に成長した雪庇の表面傾斜の観測結果から, いずれの雪庇も庇下部斜面の表面形態は近似的に二次曲線で表わされることを示した。但し, 今回調査を行った9つの雪庇は, 形態が雪庇として明瞭であると見られたもの, また観測者が近づき得る地点に形成されたもの, という対象物の選択には任意性があるため, 得られた結果が雪庇特有のものであると断定はできない。また雪庇がこのような形態をとることは, 堆積時の, あるいは堆積後の如何なる機構に起因しているのかについては未解明である。

本調査を行うにあたっては, 北大低温科学研究所大学院堀内康光君, 西村寛君(現在, 国立極地研), 鴻野繁和君, 金田安弘君(以上, 現在, 気象協会)のご協力を得た。また, 福井大学松岡春樹教授, 北大低温科学研究所石田完教授から有益な助言を受けた。以上の方々に厚く感謝の意を表します。

なお, 本研究に要した費用の一部は, 文部省科学研究費(空気と雪粒子の相互作用の研究)から支出された。

#### 文 献

- 1) 成瀬廉二・西村 寛 1979 雪庇の構造と雪質 I. 低温科学, 物理篇, **38**, 41-51.
- 2) Seligman, G. 1962 Snow structure and ski fields. R. & R. Clark, Ltd., Edinburgh, p. 555.
- 3) Latham, J. and Montagne, J. 1970 The possible importance of electrical forces in the development of snow cornices. *J. Glaciol.*, **9**, No. 57, 357-384.
- 4) 小林大二・成瀬廉二・小林俊一・石田 完・石川信敬・西尾文彦 1971 天塩地方山地の雪庇調査 II. 低温科学, 物理篇, **29**, 103-114.
- 5) 小林大二 1969 みぞの縁にできる小雪庇. 低温科学, 物理篇, **27**, 405-407.
- 6) Iversen, J. D. 1980 Wind tunnel modeling of snow fences and natural snow fence controls. (to be published).
- 7) Tabler, R. D. 1979 Geometry and density of drifts formed by snow fences. Proceedings of the Symposium on Snow in Motion (to be published in *J. Glaciol.*).
- 8) 樋口敬二・他 1979 総合報告—日本における雪溪の地域的特性とその変動. 雪氷, **41**, No. 3, 181-197.
- 9) 若浜五郎・他 1969 大雪山の雪溪調査 IV. (第4, 5年度). 低温科学, 物理篇, **27**, 181-194.

- 10) 若浜五郎・遠藤八十一・山田知充・牛木久雄・成瀬廉二 1968 大雪山の雪渓調査 (第3年度). 低温科学, 物理篇, **26**, 215-229.
- 11) 成瀬廉二・石本敬志・坂本雄三・高橋修平 1972 大雪山系における多年性雪渓の分布および「雪壁」雪渓の消長について (大雪山の雪渓調査 V). 低温科学, 物理篇, **30**, 115-128.
- 12) 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.

### Summary

Measurements were made on surface shapes of snow cornices in winter of 1979-1980 on the western slope of Mt. Asahidake in Hokkaido. We suppose the cross section of the lower part (scarp) of a snow cornice to be of the form of

$$Y = a(X_0 - X)^b + Y_0 \quad (0 \leq X \leq X_0),$$

where  $X$  is the horizontal distance from the front of a cornice measured positive leewards and  $Y$  is the vertical height above the highest point of the scarp measured positive upwards. A coordinate  $(X_0, Y_0)$  gives the lowest point of the scarp at which the surface slope becomes zero. The method of least squares was applied to determine constants  $a$ ,  $X_0$ ,  $Y_0$  and the exponent  $b$  for eight snow cornices projected towards different directions from the undulations of the ground.

The results of calculation showed that the values of  $b$  ranged from 1.81 to 2.03 and the standard deviation from each regression line was only as slight as about  $\pm 0.1$  m. It is concluded that the surface shape of the scarp of a cornice can be approximately represented by the form of a parabola with the coefficient  $a$  from 0.02 to 0.13. Maximum gradients of scarps were given by  $\arctan(abX_0^{b-1})$ , averaging  $44^\circ$ . The ratio,  $-X_0/Y_0$ , was also obtained as 1.7 to 2.3, which implies that the horizontal scale of the lower part of a cornice is controlled by the scale of about two times the height of the cornice.