



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	天塩地方山地の雪庇調査 Ⅱ
Author(s)	小林, 大二; KOBAYASHI, Daiji; 石川, 信敬 他
Citation	低温科学. 物理篇, 29, 103-114
Issue Date	1972-03-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18174
Type	departmental bulletin paper
File Information	29_p103-114.pdf



天塩地方山地の雪庇調査 II*

小林大二・成瀬廉二

小林俊一・石田 完

(低温科学研究所)

石川信敬・西尾文彦

(北海道大学大学院 理学研究科)

(昭和46年9月受理)

I. ま え が き

前年の1970年に引き続き1971年にも、北海道北部天塩地方問寒別の山地にある北海道大学低温科学研究所雪崩観測実験室周辺の山稜に成長した雪庇について、調査をおこなったのでその結果を報告する。地ふぶき現象に関連させて雪庇の生成について第II章に、雪庇の成長と変形の過程について第III章に、雪庇の分布、張り出し方向と局地的な卓越風との関係について第IV章に報告する。筆者らのうち、小林大二が第II章を、石川信敬が第III章を、西尾文彦が第IV章を、主として担当し、まとめた。

観測期間は、第1回目が1月20日～1月29日、第2回目が3月4日～3月7日、第3回目が3月24日であった。

II. 雪庇の生成と地ふぶき

山稜にできる雪庇はその特異な形態と、崩壊による雪崩誘発など災害問題等によって古来山岳に生活する人々の注目をあつめてきた。従って雪庇に関する文献は数多い。しかしながら雪庇の生成を定量的に扱った論文は非常に少ない。最近では古川¹⁾が定量的な研究をおこなった。山稜や崖の縁にできる雪庇の成因については諸説^{2),3)}があるが、雪庇は吹溜りと着雪の現象が同時におこって形成されると考えられる。従って雪庇の研究にとって、地ふぶき現象の機構から解明することも重要であると考えられる。

筆者らは、1969年に札幌の平地において、みぞの縁にできる小雪庇の観測をおこなった³⁾。その観測結果は次の2点に要約された。1) 雪庇は片持梁のようになっていて自重で沈降しつつその上面及び先端に飛雪を堆積付着させて成長する。2) みぞの中にできる気流の渦によって運ばれる飛雪は雪庇の下面に付着しない。

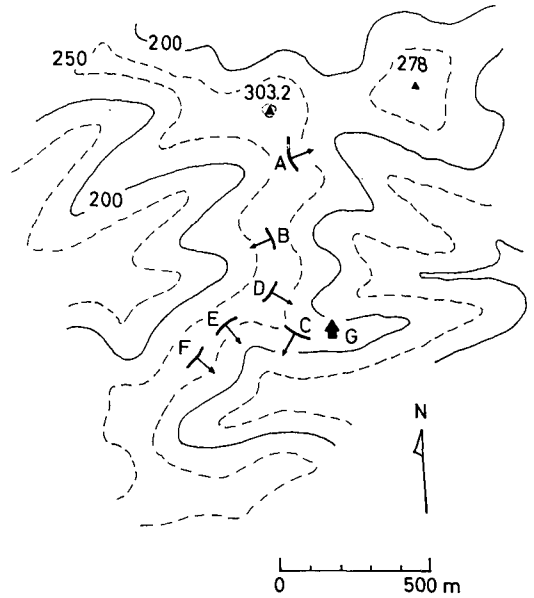
平地におけるみぞの縁と、山岳地の山稜や崖の縁とでは、空間的な規模が大いに異なる上に、雪粒を運ぶ風の構造も異なるであろう。筆者らは、今年度の問寒別山地における雪庇調査

* 北海道大学低温科学研究所業績 第1142号

の際、前述の平地の結果が山地にも適用できるかという目的をも含み、地ふぶき量と雪庇成長量との関係を観測した。

観測点周辺の地形図を第1図に示す。1971年1月24日にはD点、3月5日にはCにて観測をおこなった。D点はほぼ北東～南西に走る尾根の南東側に張り出した雪庇、C点はほぼ東西に走る尾根の南側に張り出した雪庇である。地ふぶき量(g/cm)は、尾根の上の平坦地に掘ったみぞに吹溜る雪の量を測定する方法⁴⁾によって求めた。雪庇成長量(g/cm)も、みぞによる地ふぶき量測定方法と同様に、時折雪庇表面に色水を噴霧しその後雪庇の断面観測をおこないその間の堆積量から求めた。その結果を第1表に示す。1969年の平地の結果(一部報告済み³⁾)もあわせて示してある。

観測例が少ない上に、いずれも風速の弱い時の観測であるため、尾根上の地ふぶき量の内雪庇に捕捉される割合について一般的なことを結論することはできない。しかし今回の観測では、雪庇の捕捉率が1月24日2%前後から、3月5日の50%以上へと大きく異なっていた。このことから、雪庇は地ふぶきの発生中でなければ生成されないが、地ふぶきのある時でも地ふぶき量に比例して雪庇が成長するとはかぎらな



第1図 観測点周辺の地形図

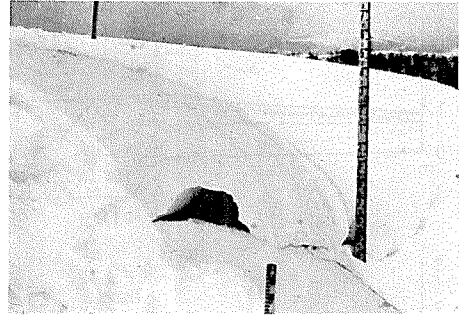
A~Fは断面測定を実施した雪庇
 ↑(G)は北大低温研雪崩観測所
 ↳は矢印の方向に雪庇が張り出していることを示す

第1表 地ふぶき量と雪庇成長量

観測月日	観測地点	継続時間(分)	平均風速(1m高) m/sec	気温 °C	雪温 °C	降雪	地ふぶき量(A) g/cm	雪庇成長量(B) g/cm	地ふぶき強度 g/cm-sec	雪庇の捕捉率 $\frac{B}{A} \times 100$ (%)
1971年 1月 24日	天塩山地山稜 D点									
	尾根上部平坦面の幅約9m	80	5.3	-8		なし	330	8.2	6.9	2.5
	風上斜面(林地)傾斜 22°	140	4.6			なし	450	7.2	5.4	1.6
	風下斜面 傾斜 25°	140	5.1			なし	—	8.3	—	—
1971年 3月 5日	天塩山地山稜 C点	130	5.5	-5.9		中弱	308	156	2.0	51
	尾根上部平坦面の幅約15m	140	4.2	-6.5		弱	133	72	0.85	54
	風上斜面(粗林)傾斜 20°									
	風下斜面 傾斜 30°									
1969年 1月 28日	札幌平地みぞの縁	55	4.9		-6.2	中	32(16)	13(4)	0.97	41(25)
	()内は平行な2本のみぞ	45	4.7		-6.8	時折	15(14)	4(4)	0.56	30(30)
	の風下側のみぞでの値、飽和に達していないので地ふぶき量が少ない	55	4.7		-7.2	弱	30(10)	12(5)	0.91	40(50)

い、ということがわかる。この事実は経験的に知られていたことだが、第1表に示した結果は、たまたま両極端に近い例が観測されたのかもしれない。

3月5日の降雪をともなった地ふぶきにより急激に成長したC点の雪庇の断面写真を、第2図に示す。断面に見えるたわんだ層理は、雪庇が成長している際時々表面に噴霧した色水の層である。色水噴霧の時、その面はほぼ水平に近い表面



第2図 C点の雪庇の断面写真(3月6日)

であった。このことから、雪庇は自重でたれ下りながら、その上側と先端部に飛雪を堆積、付着させながら成長していくということが確認された。温度が高く、日射があれば飛雪が跳躍しにくくなり雪庇へ付着、堆積する確率も大きくなる⁵⁾。又庇のたれ下るクリープも高温の時は速くなり、たれ下った部分に堆積する雪の量も多くなる。又降雪のある地ふぶきの場合は、降雪結晶が原型に近い形で飛んでくるので、雪庇に付着しやすい。さらに、地ふぶきの時飛雪の垂直方向の空間分布は雪面に近づくにつれて指数関数的に増加する、という地ふぶきの機構⁶⁾は、雪庇の生成にとって都合の良い条件を備えている。

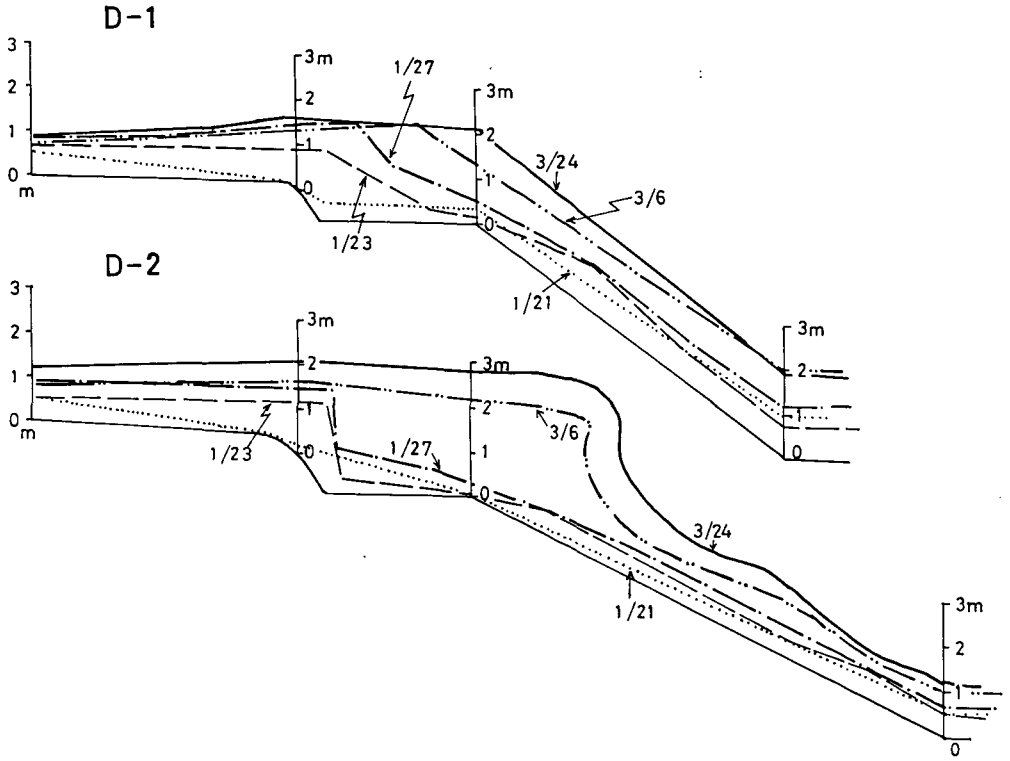
以上に述べたように、雪庇の成長には、気温、雪温、雪粒子の形、風の強さ、地形などの要因に複雑に作用している。

III. 雪庇の成長過程

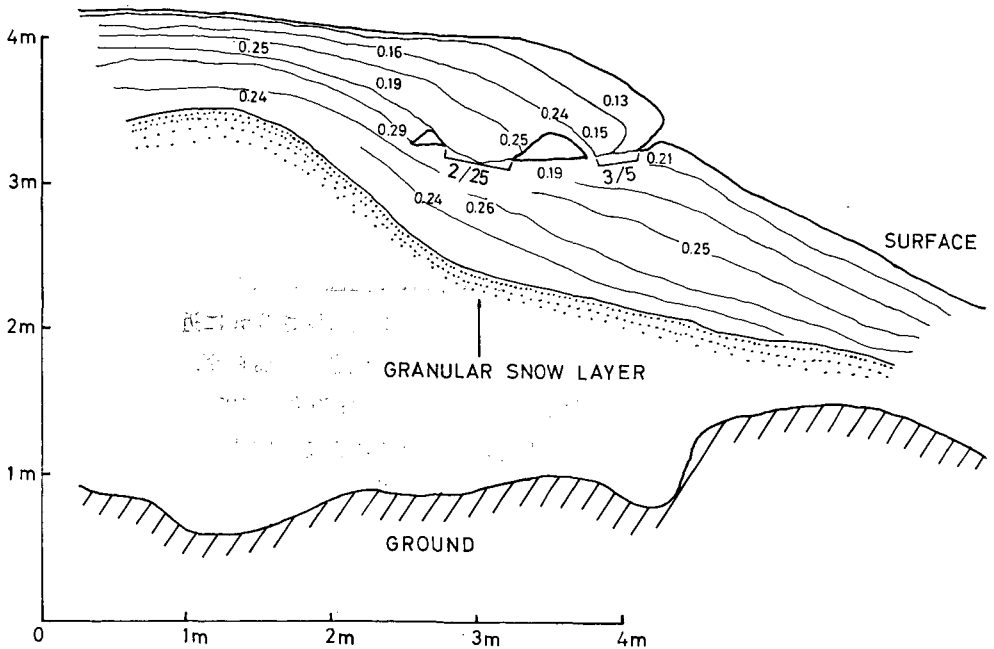
前年度の調査⁷⁾と同様に、雪庇の形について簡単な測量と断面観測により、雪庇の成長過程を調べた。測量をおこなった雪庇は、前年調査した雪庇と同じ場所(D点)に成長した雪庇であり、断面観測をおこなった雪庇は、雪庇の生成(第II章)について調べた雪庇と同じもの(C点)である。

D点における1月21日から3月24日までの雪庇成長の模式図を第3図に示す。D-1およびD-2は10mの距離をおき、いずれも雪庇の稜に直角に、つまり雪庇の張り出し方向(南東)に切った断面を示す。同じ雪庇の中のわずか10m離れた位置で、成長の様子や形態が大きく異なることがわかる。前年の1970年1月末には、D点で既に厚さ2mに近い大きな雪庇が発達していたが、今年の1月末には規模の小さな雪庇しか生成されておらず、2月から3月にかけて大きく成長した。雪崩観測所の気象観測データから、1970年と1971年の1月～3月の風向別頻度分布図を作成して調べてみたが、上述のような年による雪庇成長の様子の違いと風向との間に一義的な対応は見られなかった。局地的な卓越風が雪庇成長におよぼす効果については、次章で考察する。

C点において3月6日に実施した雪庇断面観測の結果を第4図に示す。第2図に示した雪庇断面写真と同じ断面である。図中に記した日付は、尾根上の積雪記録から推定したその層の堆積月日を示し、層間の数字は積雪の密度である。層の中央部分に顕著なザラメ層があるが、この層は、気象記録から2月2～4日の暖気で表面が融解して生成されたものと判定された。

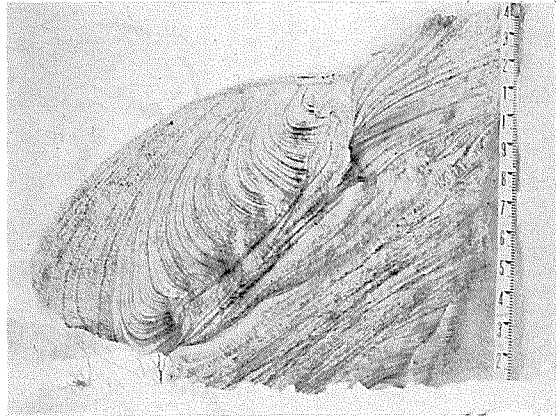


第3図 測量によって求めたD点の雪庇の断面図
D-1, D-2はお互いに平行に10m離れた断面



第4図 C点の雪庇の断面観測図(3月6日)
層間の数字は積雪の密度(g/cm^3)を示す

第4図および第2図の断面に大きな空洞が見られる。別の地点でもいくつか雪庇の断面を観察したが、一度生じた空洞が後につぶされてしまったと思われるもの、雪庇成長時から空洞が存在しなかったと思われるものなど色々な型が見られた。顕著な渦巻き模様を呈している雪庇の一例を第5図に示す。空洞は雪庇の成長の速い時、すなわち片持梁が自重でたれ下がるよりも速く庇の先端に飛雪が付着して伸び、その後たれ下った庇が下の雪面に達した結果生ずると考えられる。密度は、前年の観測と同様、下層程大きくなるというはっきりとした傾向は見られない。むしろ空洞の上、下、前、後で密度に大きな差が見られることが特徴的である。



第5図 渦巻き模様をしている雪庇断面の一例 (3月6日)
D点付近の雪庇

今年度の測量によって得られた雪庇断面の形の変化や、断面観測の結果から、雪庇は一冬を通じて序々に成長し続けるのではなく、その場所において雪庇生成にもっとも都合の良い地ふぶきや降雪があった時、一時期に大きく成長するということがわかった。

IV. 雪庇の分布と局地風

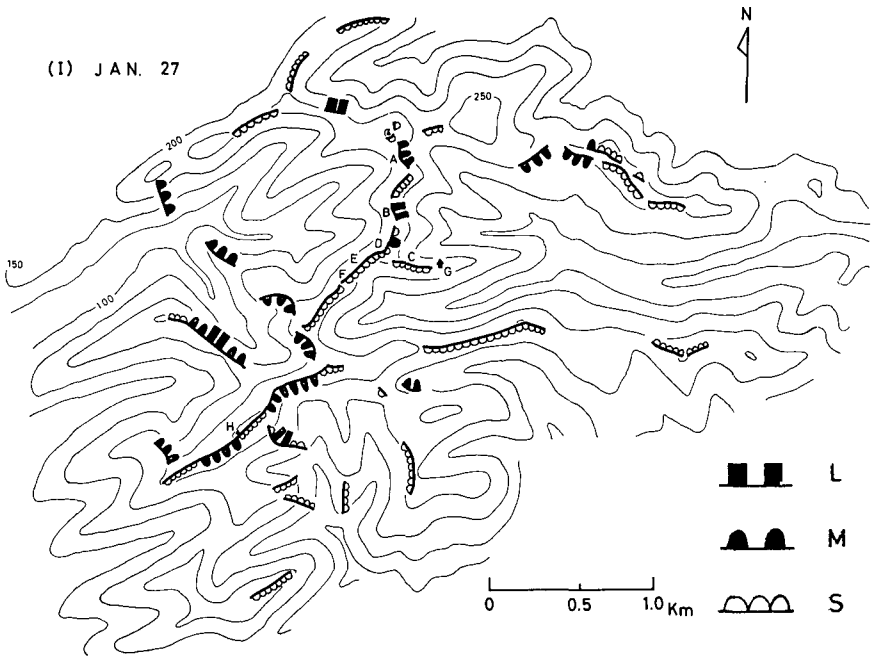
山地における積雪は極めて局地的な分布をする。雪庇はこのような異常な積雪を示す一つの現象であり、風と地形の影響によって生成され、おもに山稜に多く成長・発達する。著者らは、山地において積雪期(降雪期間)における局地的な卓越風を、雪庇の大きさと雪庇の張り出しの向き(雪庇壁の向き)から推定する試みを行なった。

1. 雪庇の分布

雪崩観測所周辺に分布する雪庇の殆んど全てを、約12km²の地域にわたって現場調査を行なった。この山塊で雪庇の大半は高度200m以上のところに発達した。またこの山塊の周囲には高度200m以上の山地はない。調査は1971年1月27日、3月23日の2回行なわれ、分布図を作成するために雪庇の形状から大きさを3段階に、L(大)、M(中)、S(小)と分類して記載した。L・M・Sを雪庇の庇状の先端より基部までの高さ(第8図の*h*)によって分類し、L(2m以上)、M(2m~1m)、S(1m以下)とした。雪庇の分布図を第6図(1月27日)および第7図(3月23日)に示す。

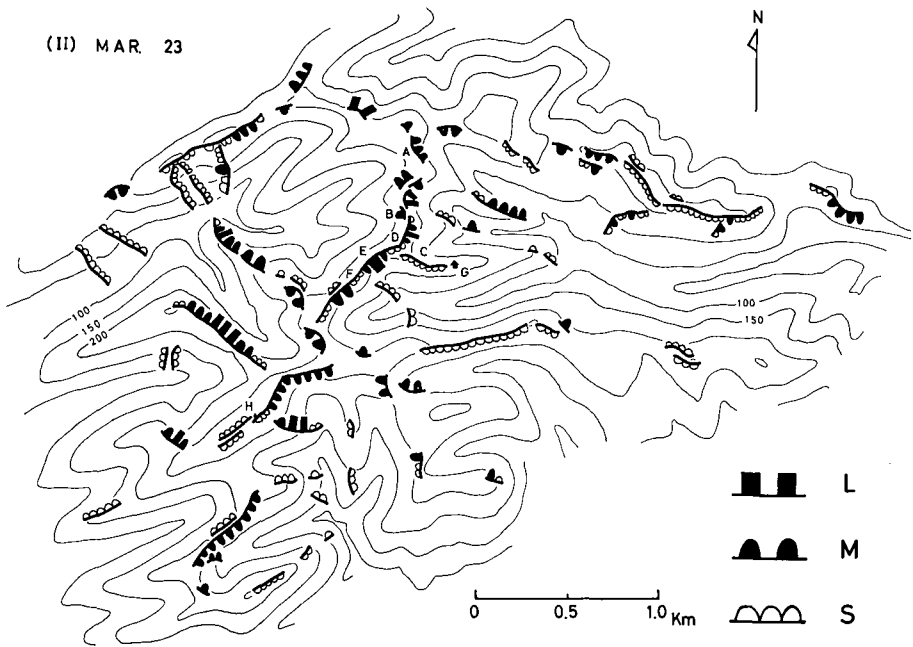
この分類を確かめるため、2回目(3月23日)の調査のとき第1図のA~Fの6点で雪庇の庇状の先端の高さ(*h*)と雪庇の質量についての関係を調べた。ここで用いる雪庇の質量とは以下のように定義する。

積雪は斜面の傾斜が小さく、風のない場合には一様になり(自然積雪)、雪庇が生成されるのは、風が積雪面の幾何学的形状によって剝離現象を生じるためであると考えられる。このこ



第6図 雪庇分布図 (1月27日)

A~Fは断面測定を実施した雪庇, Gは雪崩観測所
Hは望洋台 (標高313.2 m)



第7図 雪庇分布図 (3月23日)

A~Fは断面測定を実施した雪庇, Gは雪崩観測所
Hは望洋台 (標高313.2 m)

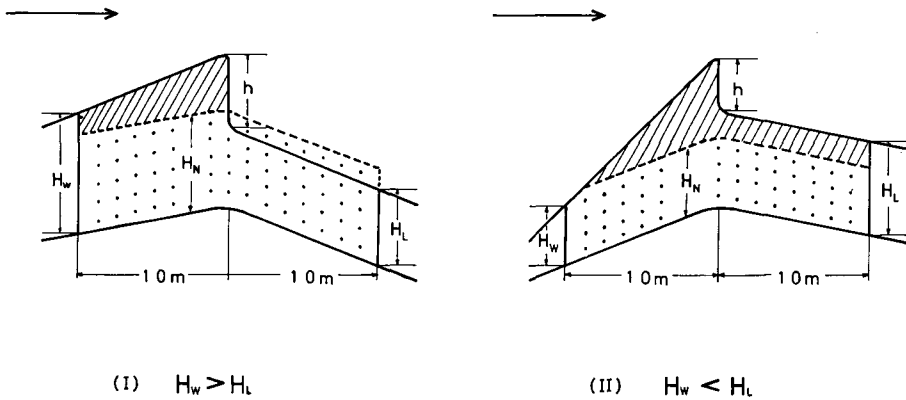
とより、自然積雪以外の積雪を風の働きにより生成された雪庇であるとし、この積雪の単位幅の体積（第8図の斜線部分）と密度の積をもって雪庇の質量と定義した。

雪庇の質量を求めるため、雪庇の庇状の先端から風上・風下側にそれぞれ10mにわたって、クリノメーターおよびスノーサンプラーにより断面図を作成した。第8図のように風上・風下側10mの地点での積雪深、 H_w 、 H_L の算術平均をとり、この H_N をここでは自然積雪深とした。

$$H_N = \frac{H_w + H_L}{2}$$

第8図に示した断面図の斜線部分の面積と密度から単位幅（1m）の雪庇の質量を求めた。A~Fの各雪庇について、雪庇の分類・雪庇の高さ（ h ）・密度・傾斜を第2表にまとめて示す。

この表からわかるように、雪庇の分類で、L（2m以上）は2.5トン以上、M（2m~1m）は1.6~2.5トン、S（1m以下）は1.6以下となり雪庇の庇の高さ（ h ）と質量の対応がつく。但しA



第8図 雪庇断面の模式図

H_w ; 風上側10mの地点の積雪深
 H_L ; 風下側10mの地点の積雪深
 H_N ; 自然積雪深

$$H_N = \frac{H_w + H_L}{2}$$

→は風向を示す

第2表 雪庇断面観測結果

観測点	分類	雪庇の高さ h (m)	質量 (g)	風上側		風下側	
				平均密度 (g/cm^3)	傾斜 ($^\circ$)	平均密度 (g/cm^3)	傾斜 ($^\circ$)
A	M (中)	1.4	1.31×10^6	0.39	0	0.31	30
B	M (中)	1.5	2.12	0.36	30	0.31	35
C	S (小)	0.7	1.00	0.39	0	0.30	28
D	M (中)	1.9	2.26	0.34	0	0.29	25
E	L (大)	2.1	2.57	0.41	0	0.37	30
F	S (小)	0.5	1.58	0.41	4	0.33	20

点の M (1.31 トン) は少し小さい。

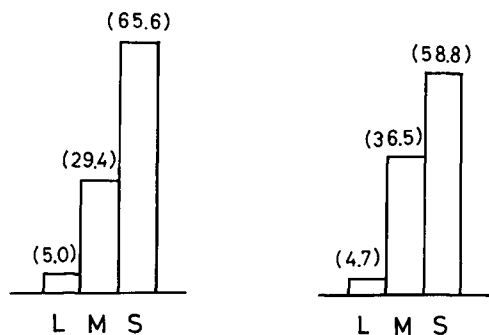
雪庇の生成している稜の延べ距離は、1月27日には8 km、3月23日には14.9 km で約1.9倍に増加している。L・M・Sの分類別頻度は、第9図に示す如く類似したパターンを示し、このようにL・M・Sの分類別の雪庇が同じ割合で発達していくことがわかる。

雪庇は風により生成されるが、それが成長・発達するのは風向に対する山稜の方向および斜面の傾斜など地形的要因が大きく効いてくる。この山塊で、大部分の雪庇は200 m以上の高度のところに生成されて

いるので、高度200 m以上の山稜の走る方向と雪庇の張り出しの向きを調べると、第10図に示したようになる。この図で4本の実線で表わしたヒストグラムは、高度200 m以上の山稜の総延長距離(18.65 km)に対する4つの方向(N~S, NE~SW, E~W, SE~NW)に走る山稜

(I) JAN. 27

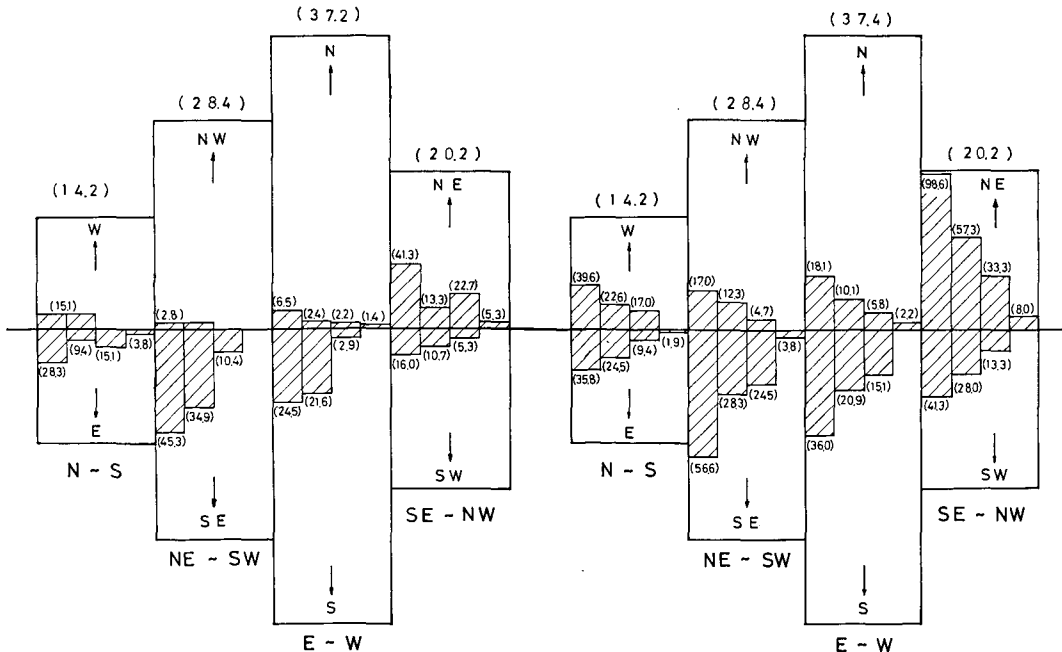
(II) MAR. 23



第9図 雪庇の分類別頻度分布
L(大), M(中), S(小)

(I) JAN. 27

(II) MAR. 23



第10図 山稜の方向別による雪庇の生成頻度分布

大きいヒストグラムは左より、N~S, NE~SW, E~W, SE~NWに走る山稜の距離を総延長距離に対する百分率 [() 中の数字] で表わしてある。その中の4本の斜線のヒストグラムは左より、総和、L, M, Sの順で各方向別の山稜に対する雪庇の延長距離で表わしてあり、()の数字は、その山稜に対する百分率を示す。矢印の方向が、雪庇の張り出しの向きである

の割合を示している。さらにその中の斜線で表わした4本のヒストグラムは、その方向に走る山稜の延長距離に対する雪庇の延長距離を、雪庇の大きさ別(L・M・S) およびそれらの総和について、雪庇の張り出しの向きを区別して表わしている。例えば、E~Wの方向に走る山稜は全体の37.2%で、この方向の山稜のうち3月には、北向きに張り出している雪庇は、L(2.2%), M(5.8%), S(10.1%), 総和(18.1%)になる。同様に南向きに張り出している雪庇は、M(15.1%), S(20.9%), 総和(36.0)になることを示している。

これから、この山塊で最も多く雪庇の生成するのは、SE~NWに走る山稜でNE向きの雪庇、次いでNE~SWに走る山稜でSE向き、E~Wに走る山稜でS方向きの雪庇の多いのがわかる。

2. 局地的な卓越風と雪庇の張り出し方向

雪庇が生成し、成長・発達するためには地形的要因(斜面の傾斜・山稜の風に対する方向)と、風によって輸送される降雪と積雪がなければならない。地ふぶきによる飛雪粒子の輸送量(Q)は風速(V)の3乗に比例することが知られている^{3),8)}。

$$Q \propto V^3$$

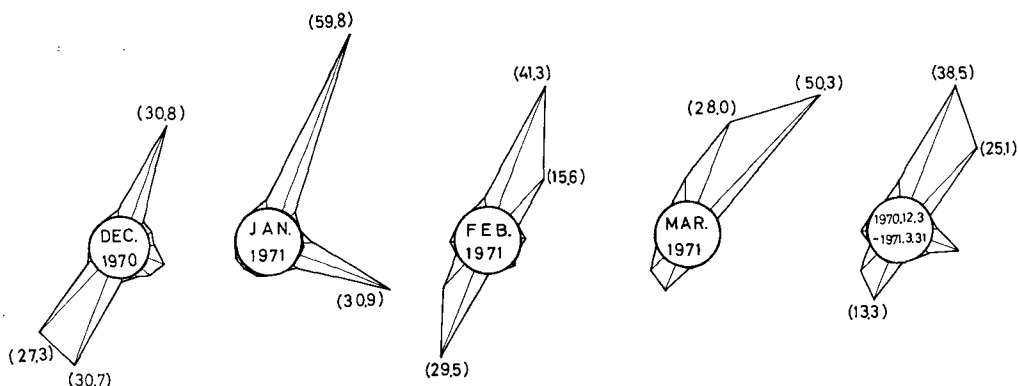
また地ふぶきの発生する風速の下限値が、約5 m/sであることが知られている³⁾。雪崩観測所で連続記録された風の資料を用い、上述のことと山稜・鞍部などは、この資料の風速より大きくなる可能性を考慮して(第3表を参照)、風速4 m/s以上の風向別風速の3乗の頻度分布を第11図に示した。

第3表 雪崩観測所とD点(山稜上)の風速

	雪崩観測所 (m/s)	D点(山稜上) (m/s)
1	4.5	4.0
2	4.5	4.5
3	3.8	2.5
4	4.0	5.0
5	4.9	5.5
6	6.1	7.5

以下にこの第11図と雪庇分布図(第6図、第7図)を用い、B・C・D点における雪庇の張り出しの向きと局地的な卓越風について述べる。

D点では、第12図に示すように雪崩観測所で、(1) 南西成分のとき北西の風、(2) 北~東



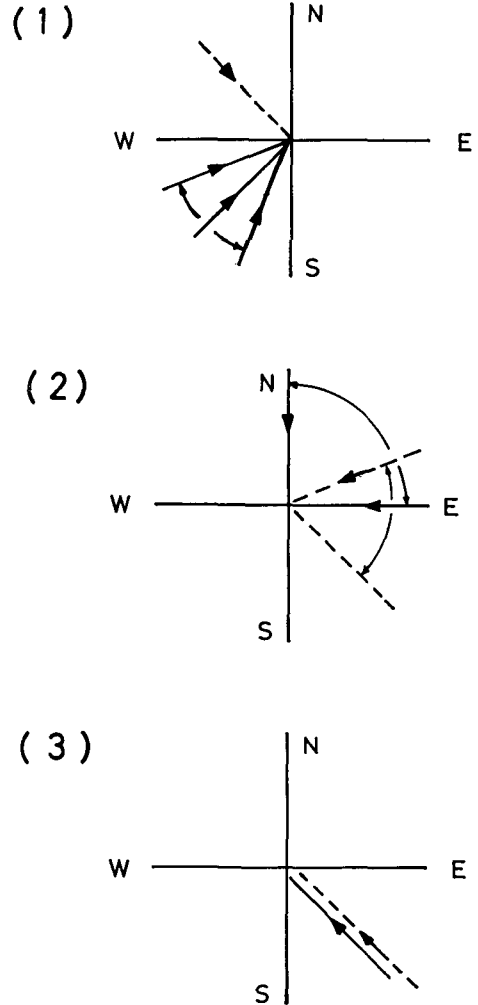
第11図 風速 V³ の風向別頻度分布

() の数字は、風速 4 m/s 以上の全方向について、V³ の積算値に対する方向別の百分率を示す

成分のとき東北東～南東の風，(3) 南東成分のときは両地点の風向が一致するという結果を，1月24日～1月27日の間にD点と雪崩観測所での9回の同時観測から得た。またその時の風速は両地点でだいたい同じか，D点が雪崩観測所より1～2m/s大きい(第3表を参照)。観測所における風向(第11図)を補正すると，D点では12月は北西の風が卓越し，1～3月は東～南東成分の風が卓越したことになる。またD点では山稜が北東～南西方向に走っている(第1図参照)，12月から1月にかけては南東向きに雪庇が張り出し，1月～3月には北西向きに卓越した雪庇が張り出すと予想される。しかるに観測結果では，1月27日には南東向きに小さく張り出していた雪庇が3月下旬には南東向きにむしろ1月のときより著しく発達しているのが見られた。ここの南東斜面は 25° ，北西斜面は 22° で粗林であった。

B点はD点の北東，およそ200mの地点で北北西～南南東に山稜が走っている。風向の頻度分布についてD点で北西の風の卓越するときB点では北西～西の風，東～南東の風の卓越するときB点でも東～南東の風の卓越することが地形から考えて予想される。D点での卓越風から考えて，12月には北西～西の風による東北東に張り出した雪庇が，1月～3月には東～南東の風による西南西に張り出した雪庇が生成されることが考えられる。観測によると1回目(1月27日)には，1月の東～南東の卓越した風で浸食を受けてはいたが，東北東に張り出した雪庇(L)を，2回目(3月23日)には西南西に張り出した雪庇(M)を観察した。ここの東北東の斜面は 30° ，西南西の斜面は 32° であった。

C点は雪崩観測所から西北西に約200m，風を連続観測しているエアロベーンから約150mの地点である。山稜は西北西～東南東に走っている。風向の頻度分布は第11図と一致することが予想される。従って12月は北北東向きに雪庇が生成されるであろうが，1月にはそのような雪庇を観測しなかった。1回目，2回目とも南南西に張り出した雪庇(S)を観測している。これは1月～3月にかけて北東成分の風が卓越していた結果によるものと考えられる。ここの南南西の斜面は 27° ，北北東の斜面は 15° で粗林であった。



第12図 雪崩観測所とD点(山稜上)の風向を示す

実線の矢印は雪崩観測所，破線の矢印はD点での風向を示す

以上のように、局地的な卓越風と雪庇の張り出しの向きについて、B点、C点では対応するが、D点では対応しない。

一般に局地的な卓越風と雪庇の張り出しの向きとは対応すると考えられているが、今回の観測結果からわかるように、地形的要因(斜面など)により、雪庇の生成され易い地形、されにくい地形が大きな影響を及ぼし、雪庇の張り出しの向き、大きさと局地的な卓越風を一義的に対応づけることはできない。

この調査に当っては、北海道大学農学部附属演習林天塩地方演習林長滝川貞夫氏、同演習林の方々、低温科学研究所雪害部門の方々に御援助していただいた。ここに記して感謝の意を表す。またこの調査の費用は文部省科学研究費により支出された。

文 献

- 1) 古川 巖・青木義勝 1966 雪庇防止柵の解析的研究. 日本積雪連合資料, No. 82, 17 pp.
- 2) 今野 篤・今井義雄・丸山久一 1956 雪庇防止における板柵柵の測定. 雪氷, 17, No. 3, 18-20.
- 3) 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.
- 4) 小林大二・小林俊一・石川信敬 1969 みぞによる地ふぶき量の測定. 低温科学, 物理篇, 27, 99-106.
- 5) Kuroiwa, D., Mizuno, Y. and Takeuchi, M. 1966 Micromeritical Property of Snow. *In Physics of Snow and Ice, Part 2* (H. Ôura ed.), Inst. Low Temp. Sci., Sapporo, 751-772.
- 6) 小林大二 1971 地ふぶき時の飛雪の移動. 日本気象学会北海道支部だより, No. 14, p. 8.
- 7) 石田 完・小林俊一・小林大二・石川信敬 1971 天塩地方山地の雪庇調査 I. 低温科学, 物理篇, 29, 93-101.
- 8) 成瀬廉二 1970 南極昭和基地対岸の大陸沿岸部における地ふぶき量の測定. 低温科学, 物理篇, 28, 147-154.
- 9) 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.
- 10) Seligman, G. 1962 Snow structure and ski fields. R. & R. Clark, Ltd., Edinburgh. 555 pp.

Summary

The authors investigated snow cornices as regards the development of a cornice concerning the snow-drift phenomenon, the process of the growth and deformation of a cornice, and a distribution of snow cornices on the ridges in the mountain in relation to the direction of the local prevailing winds.

The location selected for the research was in the Teshio mountainous district in the northern part of Hokkaido.

Observations were carried out three times in 1971: the first January 20 to 27, the second March 4 to 7, and the third March 23 to 24.

The amount of snow drifted on a ridge of the mountain and that of snow deposited at a cornice on the leeward side of the ridge measured at the same time. The results showed that the amount of snow trapped at the cornice was about 2 to 50 per cent of the amount of the drifted snow. It becomes clear that a cornice grows first at a leeward side of edge of a crest, and then it continues to grow when drift snow deposits and adheres around the tip of the cornice, whereby its frontal part is deformed and involved.

The process of the growth of a cornice from January 21 to March 24 was surveyed using snow stakes. In Fig. 3 dotted or broken lines, etc. show the profiles of two cross sections of a cornice at point D. Dates are indicated by arrow marks. Although cross sections D-1 and D-2 are only 10 m apart in the same cornice, the ways in which they are grown are quite different. A detailed observation of a cross section was made at the cornice at point C, as shown in Fig. 4. The densities of snow and the dates of the snow layer are indicated in the figure.

The distribution of snow cornices in this region, as seen in Figs. 6 and 7, was surveyed twice on January 17 and March 23, 1971. The cornices were classified into three types L, M and S by the height of the face of a cornice (h) as shown in Fig. 8. The mass of a cornice, as defined by the shadowed portion in Fig. 8, was measured at several points. Each type of L ($h > 2.0$ m), M ($2.0 \text{ m} > h > 1.0$ m) and S ($h < 1.0$ m) had the mass about more than 2.5, less than 2.5 to more than 1.6 and less than 1.6 tons.

Observations of the wind showed that the orientation of a cornice (normal to the face of cornice) did not always agree with the direction of the local prevailing winds.