



Title	地ふぶきにおける雪面の波状模様の生成と運動
Author(s)	小林, 俊一; KOBAYASHI, Shun'ichi
Citation	低温科学. 物理篇, 29, 81-92
Issue Date	1972-03-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18172
Type	departmental bulletin paper
File Information	29_p81-92.pdf



地ふぶきにおける雪面の波状模様の生成と運動*

小林 俊一

(低温科学研究所)

(昭和46年9月受理)

I. 序 論

積雪表面に強い風が吹くと、地ふぶきの発生のために、特に雪面が新雪で被われている時には、積雪表面層は侵蝕と堆積の作用を受けて再配分される。その際雪面上には種々の波状模様** (例えば、さざ波模様、サスツルギー又はスカブラ、波浪模様、バルハン、堆雪丘等) が形成される。さざ波模様 (ripple mark) は雪面が風による侵蝕と飛雪粒子の堆積の作用を受けて小さな波状になったものであり、サスツルギー (sastrugi, застрыги) 又はスカブラ (skavler) は風の侵蝕作用を受けて削られた雪面の鋭い浮きぼり模様であり、波浪模様 (Wave) は雪面が風による侵蝕と飛雪粒子の堆積を交互に著しく受けて、あたかも海面上の波浪のようになったものであり、堆雪丘 (Snow dune) は飛雪を伴った風によってできた、砂丘 (dune) に似た丘陵状の吹きだまりであり、バルハン (barchan, бархан) は、堆雪丘や波浪模様が三日月状に変形したものである。これらの模様の生成、消滅、運動のメカニズムを知る事は、その場所での風の乱流構造と対応して重要であり興味ある問題である。

これらの模様の観察と形態的な分類の記載に関しては、V. Cornish¹⁾ (1914)、畠山²⁾ (1936)、G. A. Doumani³⁾ (1966)、大浦⁴⁾ (1966) 等によりすでに報告されている。特に、これらの模様に関する研究の重要な意義は、例えば南極大陸の氷床上の雪面の状態を調べるための基礎となる事である。例えば、サスツルギー等の分布は、その地域の気候風土の特徴を表わす事になり、単調な白い大陸の気象の大雑把な区分けが可能となる。さらに、大陸の氷の増減に関係して、雪面はいわば初期条件を与える事になる。これら南極における雪面状態に関しては、K. B. Mather, M. J. Goodspeed⁵⁾ (1958)、K. B. Mather⁶⁾ (1962)、大浦・山田⁷⁾ (1966)、藤原・遠藤 (1971)⁸⁾ 等によって報告されており、南極大陸での斜面下降風や低気圧性の風と密接な関係がある。

筆者は、北海道においてこれらの模様の地ふぶき時における生成と運動を重点に調べたので、その結果について以下に報告する。

II. 雪面模様の分類

一般にこれらの模様が形成される時の基本要素としては、地ふぶき時における積雪表面層の再配分が、侵蝕と堆積の組み合わせによって行なわれる事である。したがって、大部分の研究

* 北海道大学低温科学研究所業績 第1152号

** これらの模様の日本名は現在統一的に使用されているものではない

者は、侵蝕 (erosion) と堆積 (deposition) のパターンとして大雑把に分類している。ここで注意すべきことは、筆者の観察によれば、地ふぶき時には侵蝕と堆積は同時におこっているが、侵蝕域では堆積に比べて侵蝕が卓越していることである。そのような意味を含めて筆者は次の如く5つに分類した。ただし、この分類は、時間的には1回の地ふぶきが発生している期間(数時間から数十時間)に生成した雪面模様について、場所的には北海道における雪面模様について便宜的になされたものである。

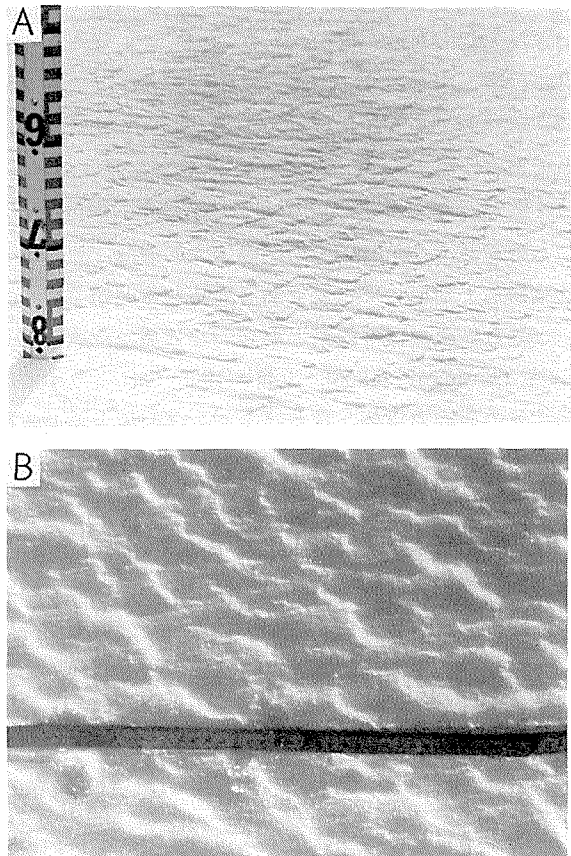
- (I) 侵蝕域における波状模様……(例; サスツルギー, 侵蝕痕 (pit))
- (II) 堆積域における波状模様……(例; さざ波模様, 堆雪丘, バルハン)
- (III) 平衡域における波状模様……(例; 小サスツルギー, さざ波模様)
- (IV) 混合域における波状模様……(例; 波浪模様)
- (V) その他 (障害物による積雪の不整, 雪庇, 風成雪板 (wind slab), 日射融雪による積雪の不整)

ここで、(III)の意味は、雪面から飛び出す雪粒子の量と雪面に落ちて留まる雪粒子の量がだいたい等しく、従って見かけ上雪面の高さの変化が少ない場合である。(IV)では、侵蝕の卓越時と、堆積の卓越時がある周期で交互にやってくる時で、従って雪面の高さの変化は振動的で、その振幅は新雪の厚さと風速の大きさに伴って大きくなる。札幌では、新雪が厚く 10 m/s 以上の強風時に良く観察される。(V)については本論文では取りあつかわない。

札幌で観察される雪面模様はごく限られており、さざ波模様、サスツルギー、波浪模様の程度である。その一例の写真を第1~4図に掲げた。堆雪丘、バルハン、侵蝕痕については、南極での観察が報告されており、札幌では見られなかった。

またこれらの雪面の模様の配置の様子から次の如く2つの分類がなされることもある^{9),10)}。

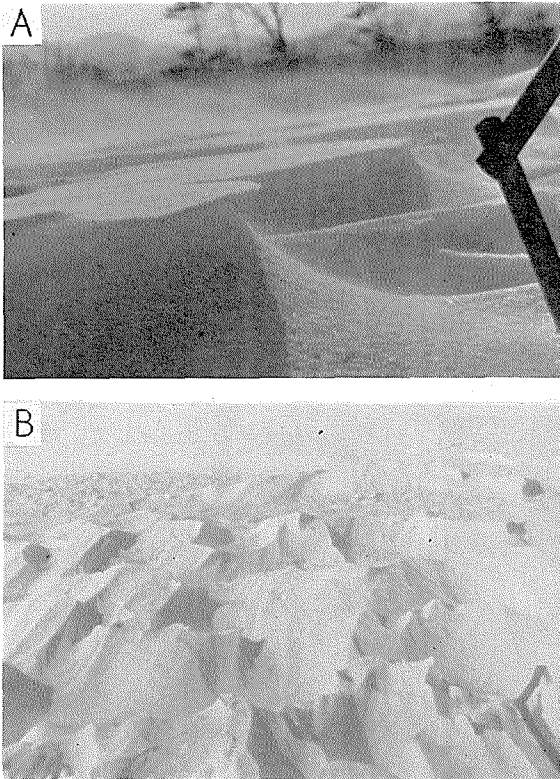
- (A) 主風向に対して直角に配置している模様 Transverse features……(例; さざ波模様, 波浪模様等)



第1図 さざ波模様 (於北大農場)

A) 1970年12月9日撮影 (波長4.7 cm)

B) 1968年2月21日撮影 (波長8~10 cm)



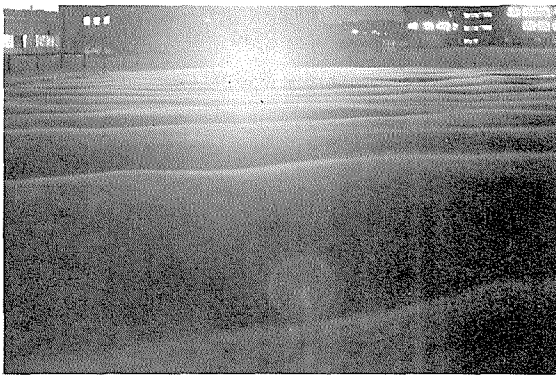
第2図 サスツルギー (於北大農場)
A, B) 1967年3月11日撮影

(B) 主風向に対して平行に配置している模様 Longitudinal features……(例; 堆雪丘, サスツルギー等)

何故, 雪面模様がこのような2つの配置をとるかは詳しくわかっていないが, 雪面上の軟雪の量と風の強弱に関係しているらしい。この分類についての議論は本論文では扱わないことにする。

III. 雪面模様の生成条件と進行速度

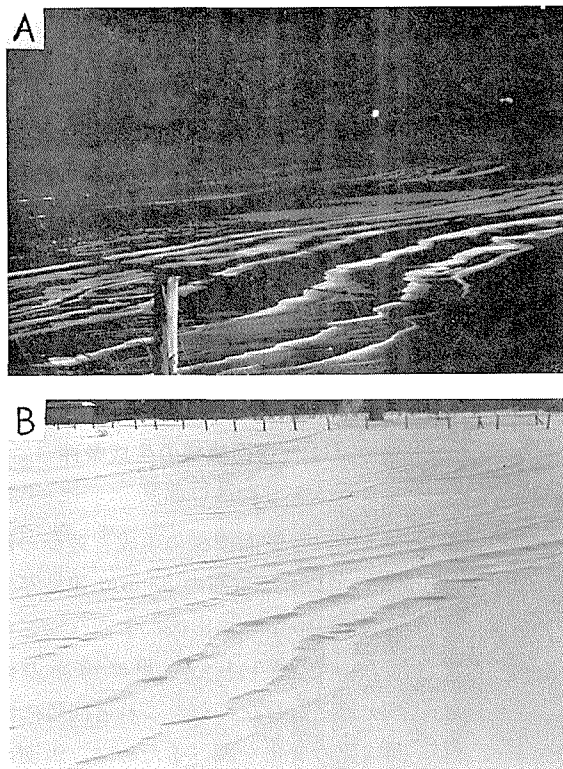
これら雪面模様の生成と運動の観測は, おもに雪面の 35 mm 連続写真撮影と, 16 mm 撮影機によるコマどりによって行なわれた。更に雪面のスケッチ等を行なった。これと同時に雪面状態の変化を調べるために, 雪面の高さの変化, 密度, 硬度, 雪温, 気温, 風速を測定し, 更に雪面のアニリン薄片¹⁾写真を作って雪粒子の結合状態や風による雪面の雪粒子の篩分け作用を調べた。これらの雪面模様は, 雪面の雪が再分配され易い状態, すなわち雪面が不安定な時には, 消滅, 生成を短時間のうちにくりかえす。従ってその形を維持している時間すなわち寿命時間を知ることは, その雪面の安定度*と関連して重要に思える。今回は生成の初期の段階を測定した例が少なかったので結論が出なかった。更に, これらの雪面模様は, 進行性のもので, 此



第3図 波浪模様 (於北大農場)
1971年1月7日撮影 (波長3~4m)

れの速い遅いも雪面の安定度と密度な関係があるように思える。この意味で大雑把には, 雪面の安定度を軟雪(新雪)と硬雪によって区別できるであろう。この雪面の安定度に関しては,

* ここでは風による侵蝕に対する雪面の抵抗の程度を意味し, 雪粒同志の結合状態(焼結の程度)や湿り程度等に関係した定性的な意味で用いている



第4図 波浪模様 (於北大農場)

- A) 1971年1月14日撮影 (波長4~5.5 m)
 B) 1971年1月15日撮影 (波長8 m)

頃までは、風速が8 m/sで侵蝕状態が続き、風速が6 m/s位になると11:40頃までの短かい期間で堆積状態となった。それ以後は風速が8 m/sになってもほぼ平衡状態が続いた。侵蝕期間では、雪面には、ある広がりを持つ小さなサスツルギー群が見られ、それらの間隔は2~4 mであった。

例2; 第5図(B)は1971年1月12日の雪面の位置の時間的変化の例で、12:00頃までは平衡状態にあり、12:00~14:00までは混合状態に変化は振動的である。ただし、新雪の量は1~2 cmであったので、振幅も約1 cm位である。14:00以後は平衡状態となり地ふぶきは終わった。

例3; 第5図(C)は、1971年2月24日の雪面の位置の時間変化の例である。14:00~17:30頃までは混合状態が続き、以後はだいたい平衡状態になった。混合状態の特長は、堆積一侵蝕が振動的である。このような場合には wave (第3図, 第4図) が観察されるが、この日は雪面が硬く新雪層の厚さは2~4 cmで少なく、そのために、はっきりした波浪模様は観察されなかった。しかし、10数 mの間隔で、風の乱流構造を反映する雪煙の渦の柱が移動してゆくのが見られた。風速は5~7 m/sの範囲であった。

例4; 第6図は、1971年1月14日の例で、10:00~17:00までは振幅の大きい混合状態が

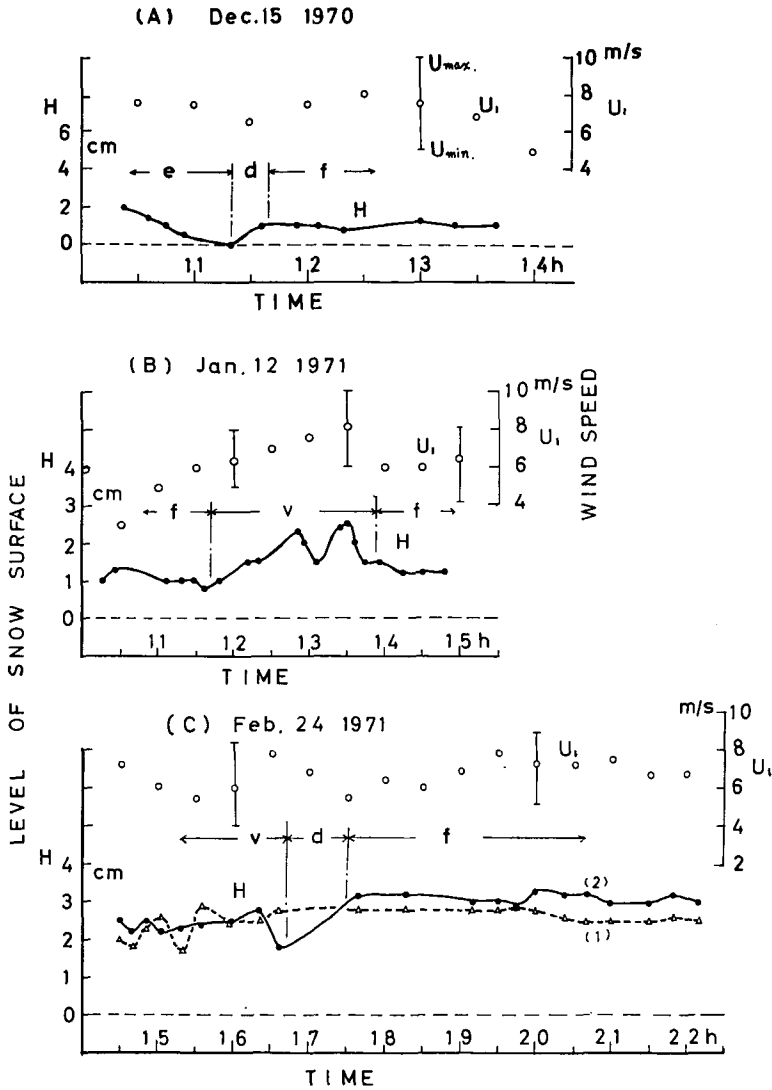
11次南極観測隊員渡辺¹²⁾によって注意されたことである。

以下に、札幌を中心に北海道で行なった観測例について記述しよう。一般に札幌の平地で行なった観測は(III)の平衡域や(IV)の混合域の場合が多い。場所的に障害物の後では、ある広がり(Ⅰ)の侵蝕域がみられる。

(1) 雪面の位置の相対的变化

雪面が堆積状態にあるか侵蝕状態にあるかを定める方法として、細い棒を立てて雪面の高さの変化を記録する方法と、雪の中にアルミ板を埋めてその上の雪の厚さの時間的変化を測定した。後者は雪面を乱さないという利点があるが、侵蝕が激しいと板が雪面に露出してその後の測定ができなかったこともあるので埋める深さに注意を要する。これらの方法で測定した数例について以下に述べる。

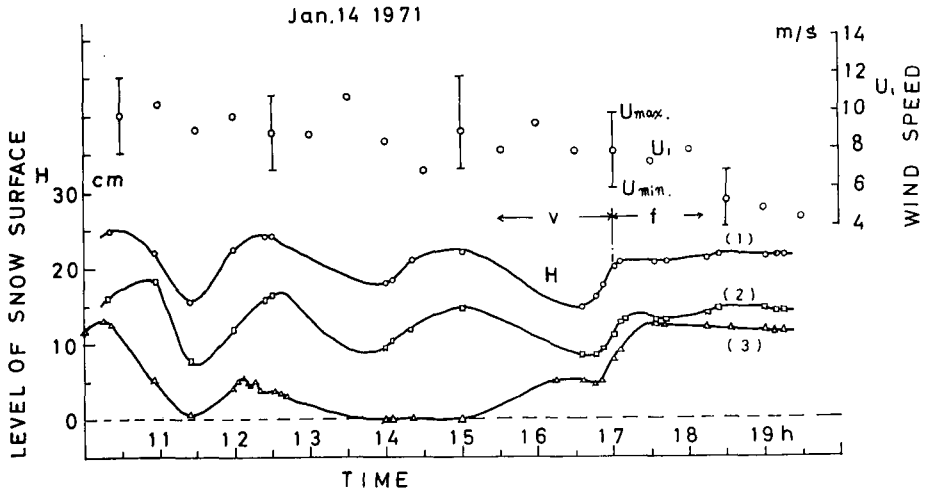
例1; 第5図(A)に、1970年12月15日の例を示した。10:00から11:20



第5図 雪面の位置の時間変化

- A) 1970年12月15日(雪の中に埋めたAl板が基準面0の位置)
 - B) 1971年1月12日(雪の中に埋めたAl板が基準面0の位置)
 - C) 1971年2月24日((1)と(2)は風向に沿って1m離れている棒の読み)
- 図中の e: 侵蝕状態, d: 堆積状態, f: 平衡状態, v: 混合状態(振動的)

続き、それ以後は平衡状態となった。混合状態の時には、8 m/s 以上の風が吹き、新雪層の厚さが 15 cm 位であったので雪面には波長が 4~6 m、波高が 14 cm の波浪模様が観察された。この振動の周期からおおよその波長が分っているので波浪模様の移動速度を計算できる。例えば第 6 図の曲線 (2) から 11:30~13:00 頃の間では山と谷の時間(半周期)が 60 分位であるからこの時間の波浪模様の波長を 5 m とすれば移動速度は 4.2 cm/min となる。また曲線 (1) と (2) は 1 m 離れているのでこの位相差(例えば 15 分)を知れば移動速度は 6.7 cm/min となり後で



第6図 雪面の位置の時間変化 (1971年1月14日)

(1)と(2)は1m離れた雪面の位置での棒の読み, (3)は雪の中に埋めたAl板上の雪の厚さの変化, v: 混合状態(振動的), f: 平衡状態

述べる実測値と一致する。また波浪模様の谷の部分には必ずサスツルギーがみられ、この部分には海の波の生成を考えると同様な剝離流の存在が想起される。これが平衡状態になると第4図の如き、波長が約7.8m、波高が4.3cmの波浪模様に変った。この時の風速は5~7m/sであった。

(2) 雪面模様の運動

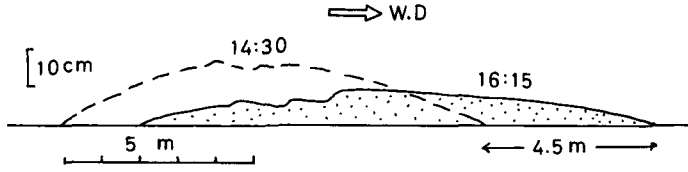
地ふぶき時の雪面の波状模様は、大部分が移動性のものである。M. Mellor¹³⁾(1965)は、

第1表 主に南極における測定例*

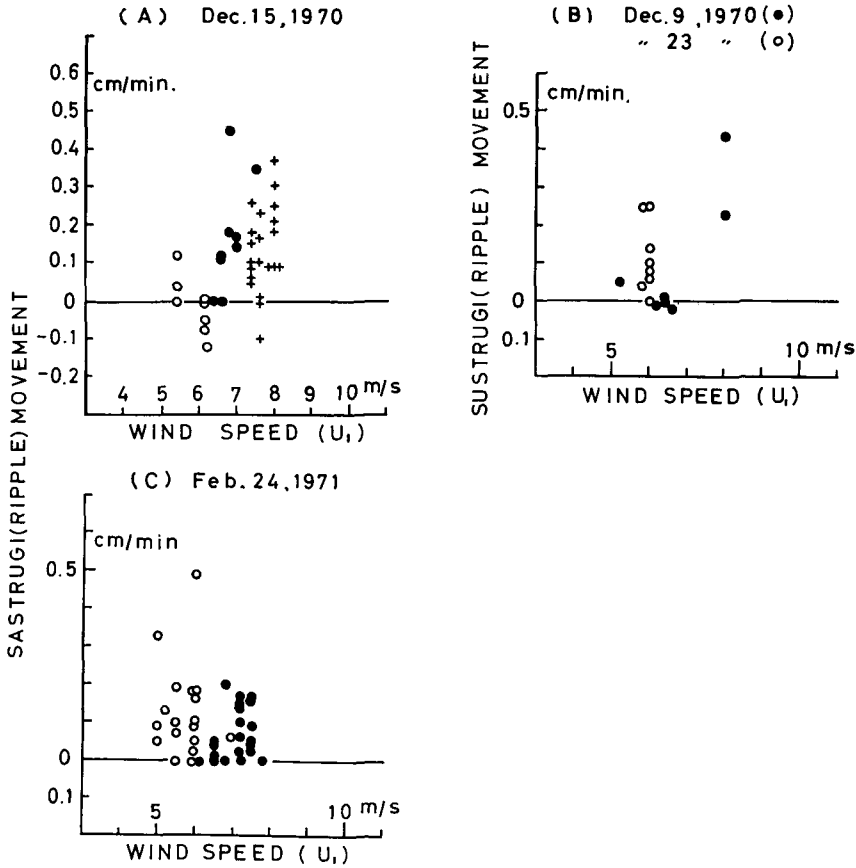
名称	大 き さ (m)				配 置 (主風向に 対して)	移動速度 (cm/分)	測定者	備 考
	高 さ	幅	長 さ	波 長				
堆 雪 丘 (Snow dune)	0.5~2	2~20	10~100	—	平 行	—		雪面が堆積状態の時で、低気圧性のブリザードの時出来易い。この時は気温は高く焼結が早い。斜面下降風になると侵蝕が卓越し、巨大なサスツルギー(高さが1.5m)位になる。
サスツルギー (Sastrugi)	0.1~0.15	0.2~0.4	1~2	—	平 行	0.1~1.0	Mellor	雪面が侵蝕状態の時で、斜面下降風が卓越し雪面は乾いた冷い雪粒である。
小バルハン (Small barchan)	—	—	2	—		2	Benson	これは三日月形の堆雪丘である。
波 浪 模 様 (Wave)	0.1~0.2	—	—	5~10	直 角	5	Cornish	強風低温の時出来る。
さざ波模様 (Ripple)	—	—	—	0.1~0.4	直 角	5~20		雪面がさらさらした雪粒の時出来易い。

* M. Mellor の文献¹³⁾より筆者が表にまとめた。

Jan.14 1971 (WAVE TRAVEL)

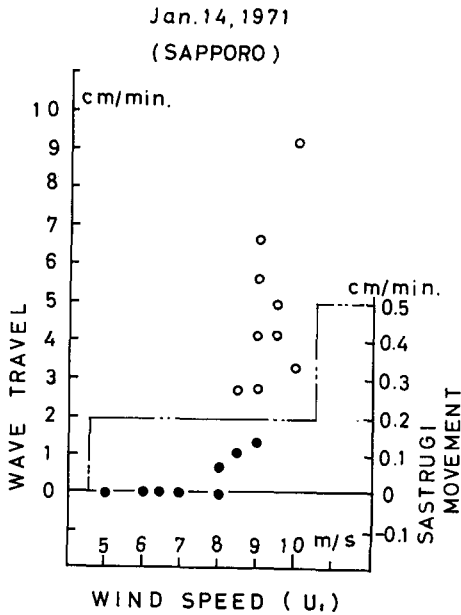


第7図 波浪模様の断面の時間的变化 (1971年1月14日)
移動速度は約 4.3 cm/min



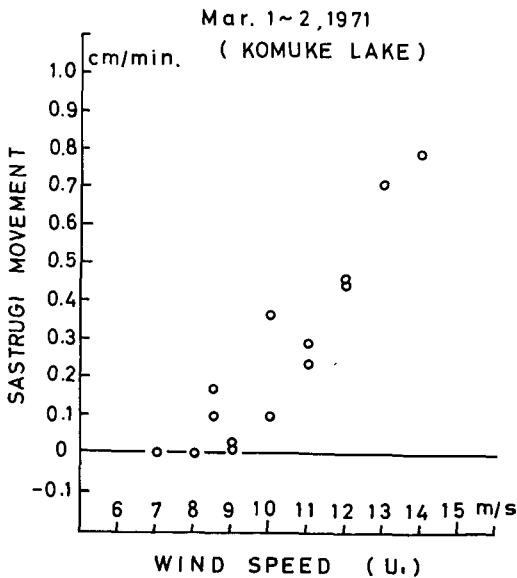
第8図 さざ波模様またはサスツルギーの移動速度

- A) 1970年12月15日
 - ; 10:00~11:20, ○; 11:20~11:40, +; 11:40~14:00 (小サスツルギー, 図版I(B))
- B) ●; 1970年12月9日, 14:30~15:20 (波長4.7 cmのさざ波模様, 第1図)
○; 1970年12月23日, 13:40~14:30 (小サスツルギー)
- C) 1971年2月24日
 - ; 14:30~16:20, ○; 15:30~22:10 (幅4 cm, 高さ0.5 cm, 波長10.4 cmの小サスツルギー, 図版I(A))



第9図 波浪模様とサスツルギーの移動速度
(1971年1月14日)

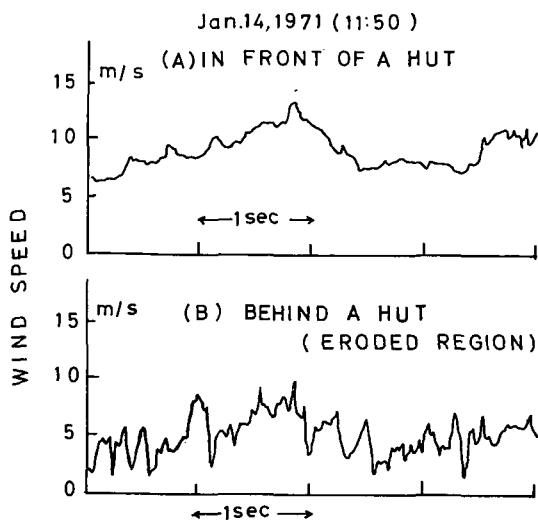
○; 波浪模様, ●; 小屋の風下側の吹き払い部分(侵蝕域)に出来たサスツルギー



第10図 サスツルギーの移動速度
(1971年3月1日~2日,
於紋別・小向湖)

おもに南極における他の人達による観察結果から第1表に示す如く記述している。筆者は、おもに札幌で、棒を立てての測定と35 mm写真測定、16 mm撮写機によるコマどり撮影(1~5秒間隔)によって、これらの模様の運動を調べた。16 mm撮写機によるコマどり写真は1例しか得られなかった。1 mの間隔を動く間位は雪面模様は殆んど形を変えないが大部分は時間とともに移動しつつ生成、消滅をくり返している。従ってその寿命時間は、雪面の安定度や風の乱流構造(風の息)と関係があるかもしれない。またこれらの模様は全く形を変えることなく移動するのではなく、多少形を変えつつ移動を行なっている。例えば、第7図には波浪模様の断面の時間変化をスケッチしたものを表わしてあるが、形を変えて進行していることがわかる。前面の進行のみ着目すれば、約4.3 cm/minの進行速度である。また図版I(E), (F)には、波浪模様群の進行状態が示されている。これは個々の模様の進行速度と同程度であろう。このように、形の変形にはあまり注意せずに先端の位置の変化から決定した移度と風速との関係を第8~10図に掲げた。第8図は、小さなサスツルギーやさざ波模様(高さ为数cm程度のもの、図版I(A)~(B)参照)の移動速度を示す。高さ1 mの風速が5~8 m/sで、移動速度は0.5 cm/min以内である。サスツルギー等の移動速度が零の所では、地ふぶきは発生しているが、見かけ上サスツルギーは変位していない。負の値は見かけ上風上方向に変位する時でこのような時は堆積が卓越する。しかし、波浪模様の移動速度は第9図の白丸印で示す如く2~10 cm/minの範囲で、サスツルギーの移

動速度よりも1桁大である。この時小屋の裏側にできた吹き払い域、すなわち侵蝕域に見られる



第11図 小屋の前後の風速変動
雪面上80cmに置いた超音波風速計による測定
A) 小屋の風上側
B) 小屋の風下側(侵蝕域)

第2表 小屋の風上と風下における乱流測定
(測定点145cm, 読みとり時間1.1秒, データ個数330個)

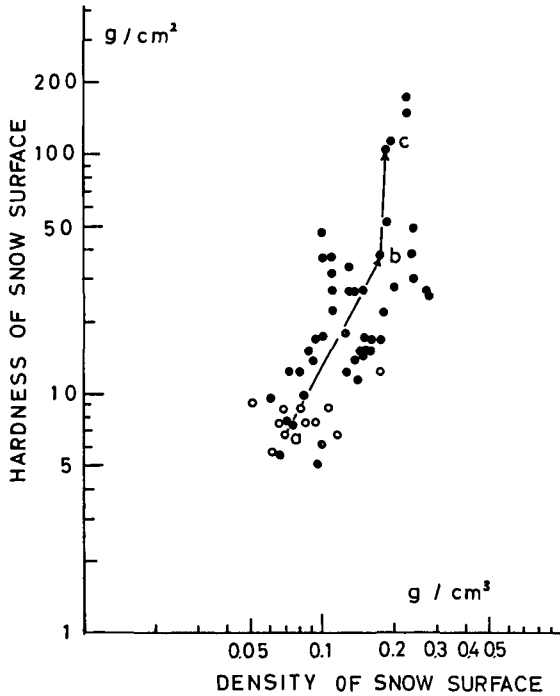
	平均風速 (m/s)	乱れ速度 (m/s)	乱流強度 (%)
風上側	9.1	1.7	18.8
風下側(20m後)	6.7	1.7	25.8

サスツルギーの移動速度を同図の黒丸印で示した。0~0.2 cm/min の範囲であった。この時の小屋の前と後で超音波風速計で風速変動を記録した例が第11図である。明らかに小屋の後は前よりも乱流状態が著しい。又、小屋の前と20m位後で同時測定した結果、第2表の平均風速は後の方が小さいが乱流強度は大きくなる。これまでの測定は、おもに300m位の広がりを持つ北海道大学の農場の平

坦地で行なったものである。第10図は、紋別市にある小向湖(約1kmの広がりを持つ)の水上で測定したサスツルギーの移動速度を示している。ほぼ風速とともに移動速度は増加してい

第3表 山岳部におけるサスツルギーの移動(1971年 於開寒別)

月日	観測時間	移動速度 (cm/分)			風速 (m/s)	備考
		例1	例2	例3		
1.22	14:43~15:25	0.7	0.24	0.36	16	サスツルギーの高さは5~9cm, 風速は4mの高さの平均風速である。 *は侵蝕が進み先端が薄くなって、その部分が飛ばされたために見かけ上移動速度が大きくなった。
	~16:00	0.67	0.56	0.33	17	
	~16:50	0.4	0.2	0.2	17	
	~18:45	0.17	0.35	0.8*	14	
1.24	11:30~12:00	—	0.53		4.5	サスツルギーの高さは4~7cm, 風速は1mの高さの平均風速である。
	~12:35	0.27	0.4		4.5	
	~14:40	0.28	0.29		5.0	
	~15:40	0.16	0.11		4.0	
	~16:35	0.18	0.14		4.5	
3.5	10:28~11:34	0.05			7	気温 -6.0°C サスツルギーの高さ5cm位
	~12:14	0.11				
	~13:30	0.09				
	~16:50	0.02				
	~17:17	0				
3.7	10:08~13:00	0.66	0.73		10	サスツルギーの大きさは高さ35cm位, 幅は100cm位である。
	12:40~12:50	0.17	0.08	0.1		
	~15:50	0.09	0.04	0.02		



第12図 地ふぶき時の雪面の密度と硬度
(雪温は $0^{\circ}\text{C}\sim-10^{\circ}\text{C}$ の範囲)
○; 地ふぶき発生前
●; 地ふぶき時

残る傾向があるが(図版Iの(d)), 地ふぶきの弱い時には堆積域と侵蝕域の雪面の粒の大きさには顕著な差は認められなかった。小島¹⁴⁾は飛雪時の雪粒の分布の顕微鏡写真を示した。これによれば雪面より遠い所ほど雪粒の大きさは小さい傾向を示している。しかし雪面に着目すれば、強い地ふぶき以外は風による篩い分け作用は少ないようである。一般に雪粒の形は、枝の多い新雪の破片がほとんどの場合である。これは南極などで斜面下降風によって長い距離を旅行してくる雪粒と比較すると興味あるかも知れない。

III. 結 語

地ふぶきにおける風と雪面の相互作用の研究の一つとして、雪面にできる波状模様の挙動について調べた。雪面の模様の広がりや風の乱流の大きさの関係については大雑把な関係が調べられてきた^{15),16)}。これらの相互作用のメカニズムにまで立ち入るとすれば、まず個々の波状模様の詳しい挙動について調べなければならない。今回は、おもに雪面の観察から以下のことがはっきりした。

1. 雪面上の波状模様の分類には、基本的な要素として侵蝕と堆積の組み合わせによる積雪表面層の再分配に着目しなければならない。
2. 波浪模様ができる時は、新雪層が厚く、雪面の位置の変化は振動的となる。その移動

る。また山岳地帯の例として、第3表には、間寒別にあるナダレ観測所の近くの尾根上で測定したサスツルギーの移動速度が掲げている。山岳地帯の雪面は風成雪化しつつあり雪面が安定して一般に移動速度は小さい。

(3) 地ふぶき時の雪面の性質

地ふぶきの発生しやすい雪面は新雪かそれとも降雪がある時である。地ふぶき時の雪面の密度と硬度を第12図に示した。これは札幌において地ふぶき時に、3冬に亘って測定したものである。図中のa, b, cは矢印の如く新雪から地ふぶきが発生し終るまでの密度、硬度の変化の一例である。また色々な雪面、すなわち、波浪模様の谷や山、また吹き溜り地帯とか、みぞに落ちてたまった雪や侵蝕地帯等から雪を採って薄片を作り、雪粒の大きさや形から風による篩い分け作用を調べ、その結果は地ふぶきの強い時に堆積域に比べて侵蝕には大きな粒が

速度はサスツルギーに比べて1桁大きい。

3. サスツルギーは侵蝕域に発達し、そこでは風の乱流が大きい。この領域の雪面はしだいに安定してサスツルギーの移動は次第に小さくなる。サスツルギーの発達のためには、更に強い風と大きい乱流が必要となる。

これら雪面模様の生成の機構を解析するにはさらに詳しい研究が必要である。例えば、風の微細な乱流構造との相互作用や、地ふぶき密度の大きい雪面近くの層の風の構造や、飛雪粒子の運動論的研究、風の運動量が積雪粒子に与えられる機構等未解決の問題が多い。また Radok (1968)¹⁶⁾ は雪面の堆積—侵蝕を空気中の飛雪粒子の雪面からの収束発散で論じている。

終りに、本報告を書くにあたり、御指導受けた石田完教授に深謝致します。また南極における問題と関連させて討論していただいた名古屋大学水質研究施設の渡辺興亜助手、南極のサスツルギーの写真や資料を多く送って下さった農業技術研究所井上栄一博士、真木太一技官の両氏、有益な助言と批判を寄せられた本研究所成瀬廉二助手、風の乱流測定を手伝ってくれた北海道大学大学院生西尾文彦君の諸氏に深く感謝いたします。

文 献

- 1) Cornish, V. 1914 *Waves of Sand and Snow*. T. Fisher Unwin, London, 383 pp.
- 2) 畠山久尚 1936 積雪と風. 応用物理, 第5巻, 第12号, 588-592.
- 3) Doumani, G. A. 1966 Surface structures in snow. *In Physics of Snow and Ice, Part 2* (H. Ôura, ed.), Inst. Low Temp. Sci., Sapporo, 1119-1136.
- 4) Ôura, H. 1966 Studies of blowing snow I. *In Physics of Snow and Ice, Part 2* (H. Ôura, ed.), Inst. Low Temp. Sci., Sapporo, 1085-1097.
- 5) Mather, K. B. and Goodspeed, M. J. 1959 Australia Antarctic ice thickness measurements and sastrugi observations, Mac-Robertson Land, 1957-1958. *Polar Record*, **9**, 436-445.
- 6) Mather, K. B. 1962 Further observation on sastrugi snow dune and the pattern of surface winds in Antarctica. *Polar Record*, **11**, 158-171.
- 7) 大浦浩文・山田知充 1966 宗谷海岸附近の snow dune の方向について. 南極資料, 第6号, 2076-2086.
- 8) Fujiwara, K. and Endô, Y. 1971 Preliminary report of glaciological studies. *JARE Scient. Rep., Special Issue* (Report of the Japanese Traverse Syowa-South Pole 1968-1969), No. 2, 30-48.
- 9) Orheim, O. 1966 Surface snow metamorphosis of the Antarctic Plateau. *Norsk Polarinstitutt-Årbok* 1966 Oslo 1968, 84-91.
- 10) Mellor, M. 1970 A brief review of snow drifting research. *In Snow Removal and Ice Control Research. Highway Res. Board, Spec. Rept.*, **115**, 196-209.
- 11) 木下誠一・若浜五郎 1959 アニリン固定法による積雪の薄片. 低温科学, 物理篇, **18**, 77-96.
- 12) 渡辺興亜 1971 南極資料に発表の予定.
- 13) Mellor, M. 1965 Blowing Snow. *Cold Regions Science and Engineering III A 3c*, CRREL, Hanover, 79 pp.
- 14) 小島賢治 1969 顕微鏡写真による飛雪粒子の観測. 低温科学, 物理篇, **27**, 115-130.
- 15) 小林俊一・石田 完 1970 地ふぶき時における風の乱流. 低温科学, 物理篇, **28**, 125-133.
- 16) 小林俊一・石川信敬 1970 地ふぶきにおける積雪表面層の侵蝕と堆積 II. 低温科学, 物理篇, **28**, 135-141.
- 17) Radok, U. 1968 Deposition and Erosion of Snow by the Wind. *CRREL, Res Rept.*, **230**, 23 pp.

Summary

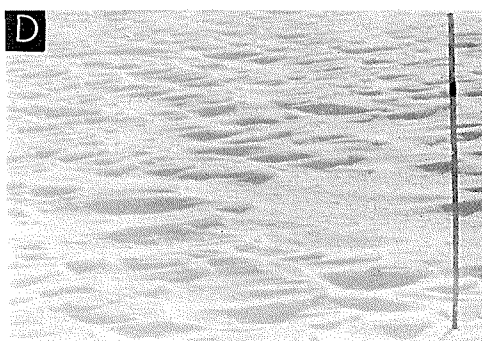
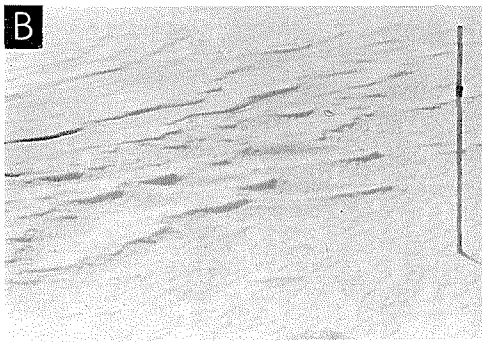
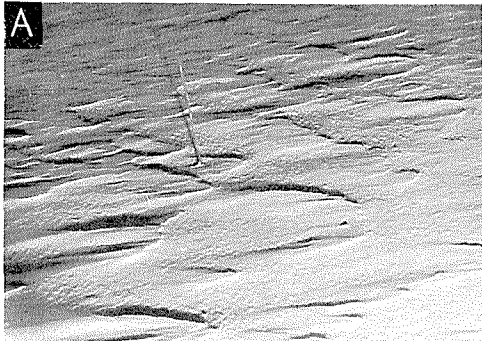
When a surface layer of deposited snow is being redistributed by the wind, surface microreliefs are formed on a snow field. The microreliefs formed during snow drifting can be classified by depositional and/or erosional patterns into the following four types: (1) the deposition type (deposition is dominant): dunes, ripples, barchans; (2) the erosion type (erosion is dominant): sastrugi, pits; (3) the equilibrium type (deposition equilibrates with erosion): ripples, small sastrugi; (4) the deposition/erosion type (periods of deposition and erosion occur alternately): waves.

To decide whether the snow surface had been eroded or deposited, we measured the change of the snow surface level by a stake or by an aluminum plate set in a snow layer. The results are shown in Figs. 5 and 6. The marks d, e, f and v in these figures correspond to the periods of deposition, erosion, equilibrium and deposition/erosion respectively. Ripples, sastrugi and waves were observed in a snow field on the campus of Hokkaido University. These features generally move during the period of formation. The movement of these features was observed by slow motion pictures taken by a 16 mm-movie camera and still photographs by a 35 mm camera.

Ripples as shown in Fig. 1 are small transverse waves with the wavelengths from 5 to 10 cm and wave heights (from trough to crest) from 2 to 5 mm. Ripples formed on the place where deposition was dominant; they transformed into sastrugis (longitudinal features) as a wind speed increased. Ripples migrated at the speed of less than 0.5 cm/min as shown in (B) of Fig. 8.

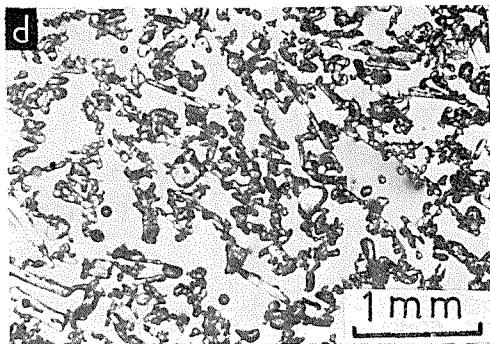
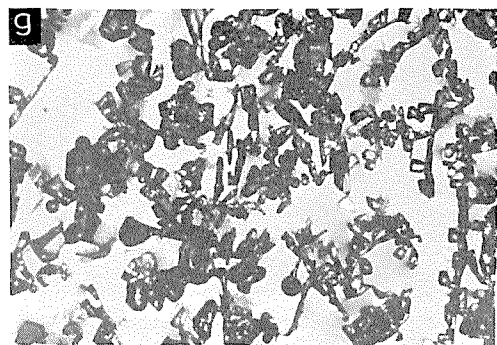
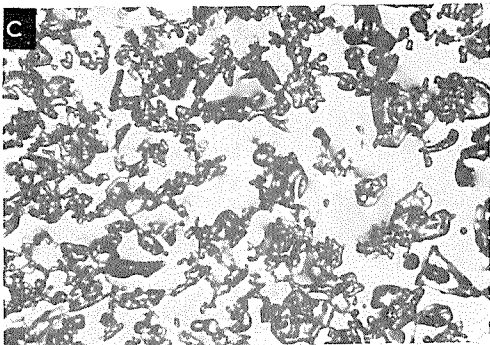
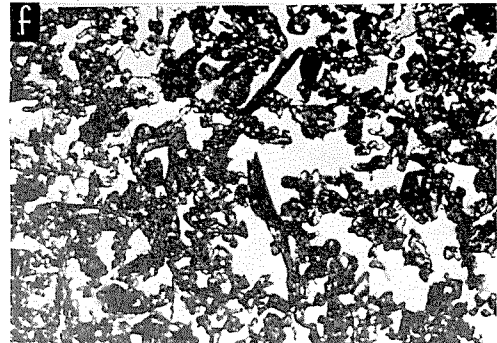
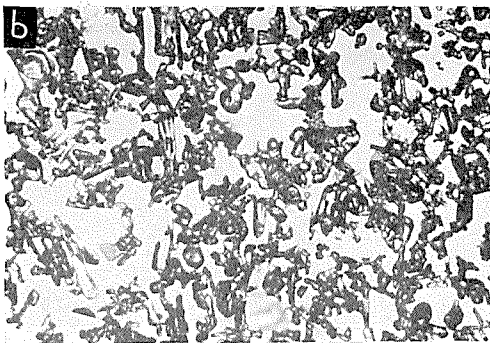
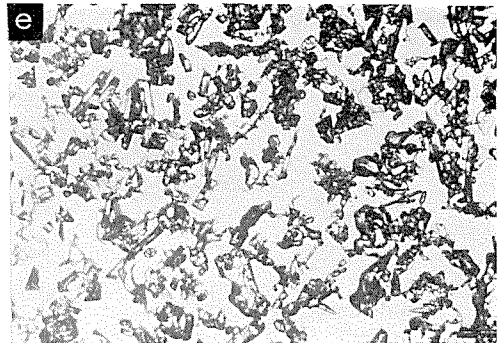
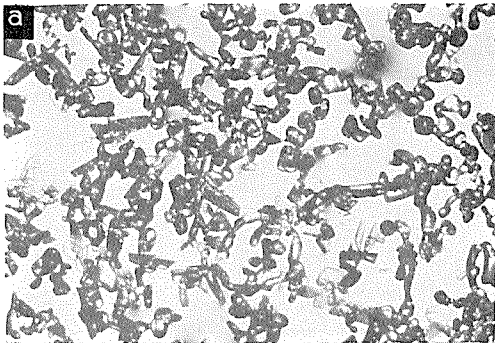
Sastrugi as shown in Fig. 2 formed when the snow surface was eroded, they were aligned in the wind direction. Sastrugi moved at the speed of less than 1.0 cm/min during their formation period as shown in Figs. 8, 10 and Table 3. Sastrugi ceased to move after they underwent age-hardening and the snow surface became stable.

The term, "waves", has been applied to a transverse undulation appearing to be waves of sea. Snow waves as shown in Figs. 3 and 4 formed when a strong wind blew with a speed more than 8 m/s after snow had laid 10 cm thick on the snow field. The level of the snow surface was of the vibrational type on the wave field as shown in Fig. 6. Waves had wavelengths from 3 to 15 m and wave heights from 5 to 20 cm. In the trough of the waves, eroded patterns like sastrugi were formed. This fact indicates that these waves in motion may be related to the phenomenon known as separated flows (also called vortices or eddies) in the wave troughs. The travel speed of the waves was in the range of 2 to 10 cm/min as shown in Fig. 9, and is larger than that of sastrugi.



図版 I 地ふぶき時に最も多く見られた雪面模様
の例 (於北大農場)

- (A) 1970年12月24日20:00
- (B) 1970年12月15日12:00, 小屋の風上側
- (C) 1970年12月15日11:00, 小屋の風上側
- (D) 1970年12月15日11:00, 小屋の風下側
(侵蝕域)のサスツルギー
- (E) 1971年1月14日14:03, 波浪模様群の
移動
- (F) 1971年1月14日14:20, (E)の写真と
比較して, 17分間に右下から左上に波浪
模様が移動した



図版 II 雪面の薄片写真 (1971 年 1 月 14 日)

- (a) 波浪模様の谷の部分 (11:25)
- (b) 波浪模様の山の部分 (11:25)
- (c) 波浪模様の風上面 (侵蝕面), (18:30)
- (d) 波浪模様の山の部分 (18:30)
- (e) 波浪模様の谷の部分 (18:30)
- (f) みぞの中にたまった雪 (18:30)
- (g) 小屋の後の侵蝕域 (18:30, 密度 0.23 g/cm^2 , 硬度 200 g/cm^2 , 雪温 -7°C)