

南極の斜面下降風域における
サスツルギやドリフトの消耗について

上 田 豊*

Some Aspects of Ablation of Sastrugi and Drifts in the Area
Subjected to Katabatic Winds in Antarctica

Yutaka AGETA*

Abstract: The observations were made on net ablation of some of sastrugi and drifts (like barchanoids) in the area subjected to strong katabatic winds between 100 and 200 km inland from the Antarctic coast near Syowa Station in September and November, 1969 and in January, 1970 by means of the stake measurements.

The net ablation of hard sastrugi during the period from November to January (mean 2.8 cm/month) was larger than that from September to November (mean 0.7 cm/month). The large amount of ablation from November to January may be attributed to the increase of solar radiation which accelerates sublimation-deflation on the surface of sastrugi.

On the other hand, net ablation of soft sastrugi and drifts from September to November was larger than that from November to January. The large amount of ablation from September to November may be attributed to the strong erosion by the wind, since sastrugi and drifts were soft. Since they were hardened or flattened after erosion by the wind from September to November, the ablation from November to January was not larger than that from September to November.

Since the rate of ablation at the top of sastrugi and drifts was higher than that at the surrounding surface in late spring and summer, and the bulk of yearly accumulation is deposited in autumn and winter, it can be said that surface irregularities are supposed to be built up in winter, then smoothed in summer. The best season for yearly stake measurements is considered to be the end of summer when the more accurate value of mean net accumulation may be expected since surface irregularities are less than any other season.

* 名古屋大学理学部水質科学研究施設. Water Research Laboratory, Faculty of Science, Nagoya University, Chikusa-ku, Nagoya.

Gow (1965) and WELLER (1969) gave some explanation for the higher rate of net ablation of sastrugi than the surrounding surface at the South Pole and Plateau Station. However, since the area of this report is located where the katabatic winds are strong as mentioned above, the situation is different from their case. According to the logarithmic increase of wind velocity, the top of sastrugi is expected to be subjected to stronger winds, hence greater wind erosion, than the surrounding surface.

1. ま え が き

南極大陸の海岸寄りの地域では、その中央部に比較して一般に氷床の表面傾斜が大きいので、強い斜面下降風が吹くためサスツルギが発達し、雪面の起伏を複雑にしている。そのため、降雪があっても一様に堆積せず、同じ場所でも風が強くあたる雪面では風による侵蝕を受け、風が弱まる雪面では降雪や飛雪が堆積しやすいと考えられる。したがって、このような地域の平均積雪量を、比較的短い特定の期間の限られた地点の観測結果から推定する場合、かなりの誤差が生ずるおそれがある。

特に日本隊の内陸調査は、主に上記のような特性を示す地域で行なわれているが、雪尺はルート標識も兼ねているため、一般に平坦な雪面を選んで立てられている。しかしそのような雪面の測定結果だけで、雪面の起伏の激しい地域全体の積雪量を代表させるには疑問がある。そこでこのような問題について考察し、より正確な積雪量のデータを得るための予察的調査として、ここに報告する観測を実施した。

2. 観測方法と調査地域の状況

DOUMANI (1967) は、積雪の表面形態を erosional なものと depositional なものにわけ、前者を sastrugi, irregular pattern, pit, footprint その他、後者を drift form, current ripple mark, barchanoid などに分けている。今回の観測は、第10次日本南極地域観測隊の旅行ルートのうち、海岸からの距離が大体 100 km~200 km, 高度約 1500 m~2000 m の大陸斜面上の11地点において(図1), 積雪表面の形態のうち、erosional なものの代表としてサスツルギ, depositional なものの代表としてドリフト* をえらび、春から夏

* ここでドリフトと記したものは、barchanoid に似たたてよこ数 m のスケールをもつが、DOUMANI (1967) の Fig. 8,9 にあるような形よりも、主に楕円形や卵形もしくは円形に近いものなど、様々の平面形をもち、20 cm 前後の厚さをもつ。本論文では、このような depositional な雪面形態の総称として、とりあえずドリフトと記すことにする(そのうちの一例を図5に示した)。一方サスツルギは、高さも幅(卓越風向に直交する方向)も数十 cm で、その前面(風上側)や側面に風の侵蝕によってでき

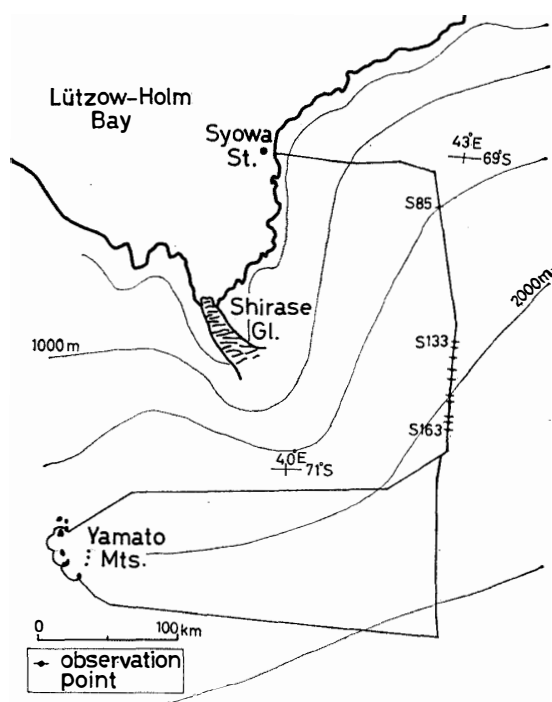


図 1 観測点の位置と10次隊の旅行ルート

Fig. 1. The locations of observation points and traverse route of the 10th Japanese Antarctic Research Expedition (in 1969-1970).

にかけて実施した。

調査は、1969年9月20日～22日（春旅行帰途）に合計10個のサスツルギと合計7個のドリフトの上（表1, 2のtop, 図2の雪尺, 図3, 4, 5の雪尺No. 1）やそれらのすぐ横（表1, 2のbottom, 図3, 4の雪尺No. 2）に雪尺を立て、いろいろな方向からの写真撮影、形状や硬さの定性的観察、サスツルギの高さの測定などを行なった。そして同年11月9日～15日（夏旅行往路）と1970年1月23日～26日（夏旅行帰途）に同一のものについて雪尺高の再測と、いろいろな方向からの写真撮影その他を行なった。

10次隊の旅行ルートの9月の状態は、海岸付近では雪面の凹凸は大きくないが、 $69^{\circ}30'S$ を越すと50cm位の高さのサスツルギが時々みられるようになり、 $70^{\circ}S$ を越すと

0.5～1mの高さのサスツルギもみられるようになる。ルートに沿って数kmから数十kmの距離ごとにおこる氷床高度の階段状の変化にともなって、サスツルギが卓越した地帯やドリフトの卓越した地帯や雪面の凹凸の小さい地帯などが交互に分布するが、大まかにいえば、10次隊が旅行した $72^{\circ}S$ 付近まででは、内陸部ほど雪面の凹凸が激しいといえる。

今回の観測では、雪面の形態のうちサスツルギとドリフトを選んだが、ある特定地点の雪面の形態は、堆積されてから侵蝕されるにしたがってドリフトからサスツルギになる場合もあり、時間的経過にしたがって別な名称でよばれたり、分類の困難な中間的タイプがあったりする。したがって今回の観測でサスツルギとかドリフトとか称したものは、9月での状態をさしている。また、ある特定地点にサスツルギやドリフトや、その他様々の雪面形態が混在し、それらが様々の形成・消耗の過程をとっているので、今回の各地点でのわずかな観測結果がその地点を代表するものとはみなせない。このように、雪面形態について論ずる場合、複雑な要素がからまりあっているので、今回の数少ないデータでは非常に問題が多いが、た凹面部が顕著であり側面の傾斜が急である（図2, 3, 4）。このように、今回の調査では、いろいろな雪面形態のうちから主に形と大きさによって観測対象を選択し、分類した。

サスツルギやドリフトの消耗に関与する気象条件は調査地域内ではほぼ一様と考え、得られたデータから一応の考察を試みる。

3. 観測結果と考察

雪尺による測定結果をサスツルギとドリフトに分けて、表1と表2に示した。表中の値は現場の雪の厚さの増減の量（単位 cm）で、－は消耗、＋は涵養の実質量（net）をあらわす。表には、サスツルギやドリフトの上（top）の9月から11月にかけての値（第3欄）と11月から翌年1月にかけての値（第4欄）およびそれらの合計（第5欄）、またサスツルギやドリフトのすぐ横（bottom）の9月から11月にかけての値（第7欄）と11月から翌年1月にかけての値（第8欄）およびそれらの合計（第9欄）が示されている。また、9月から翌年1月にかけてのサスツルギやドリフトの上の雪尺測定値（第5欄）からそれらのすぐ横での値（第9欄）を差引いてえられる値を、サスツルギやドリフトの同期間における高さの変化として第10欄に示した。第10欄のカッコでかこんだ値は、サスツルギの高さの直接測定値又は写真から読みとられた値によって得られた高さの変化である。表1の第11欄には、サスツルギの9月の高さを示した。したがって第11欄の値に第10欄の値を加えることによって、1月の高さを求めることができる。参考のため、平坦な雪面の値として、ルート標識による測定結果も示した（表1：第12～14欄、表2：第11～13欄）。

表1、2のサスツルギやドリフトは、海岸寄りのものから順にならべてある。ひとつのステーションで2行にわたっているものは、同じ行にならべた値が、1個のサスツルギ又はドリフトの上とそのすぐ横に立てられた1対の雪尺の測定値であり、そのような測定を2組のサスツルギ又はドリフトについて行なったことを示す。なお表1のサスツルギは、サスツルギの上における消耗が、11月～1月（第4欄）が9月～11月（第3欄）より大きいものを上段、小さいものを下段にわけて示した。

表1上段のサスツルギ（図2）の上は、表1下段のサスツルギや表2のドリフトにくらべて、調査地点による消耗量のばらつきが小さい（第3、4欄）。消耗がひとつの測定間隔において一定の率でおこっていたと仮定すると、表1上段のサスツルギは9月～11月に平均 0.7 cm/month（第3欄より）、11月～1月に平均 2.8 cm/month（第4欄より）と、春にくらべて夏の方が約4倍の消耗率を示している。9月～1月のこの付近の平均風速に大きな月別変化はないので（上田，1971），このようなちがいの多くは Gow（1965）が指摘しているように、夏になって太陽高度が高くなることにより雪面の昇華がすすむうえ、同時に雪面付近がやわらかくなるため、雪が風に飛ばされやすくなることによると考えられる。実際、S

表1 サスツルギについての雪尺測定結果

Table 1. Results of stake measurements on sastrugi.

unit: cm (snow)

Station No.	Top of sastrugi				Bottom of sastrugi				Change of height*	Height of sastrugi	Flat surface**			Location		
	Stake No.	Sep.20-22 ~Nov. 9-15	Nov.9-15 ~Jan.23-26	Total	Stake No.	Sep.20-22 ~Nov. 9-15	Nov.9-15 ~Jan.23-26	Total	Total	Sep.20-22	Sep.20-22 ~Nov. 9-15 (12)	Nov. 9-15 ~Jan.23-26 (13)	Total (14)	Lat. (S)	Long. (E)	Alt. (m)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)			
S 139	1	- 1.2	- 5.1	- 6.3	2	+ 1.9	+ 5.8	+ 7.7	-14	20	+ 1	+ 8	+ 9	70°19'	43°06'	1925
S 143	1	- 1.7	- 8.6	-10.3	2	- 0.2	- 4.5	- 4.7	- 6	25	- 1	+ 1	0	70 23	43 06	1946
S 155	1	- 0.6	- 3.8	- 4.4							- 8	- 4	-12	70 35	43 05	1992
S 159	1	- 2.2	- 9.6	-11.8	3		+10.9		(-20)	70	0	+ 9	+ 9	70 39	43 06	2006
	2	- 0.8	- 7.2	- 8.0	4		+37.9		(-45)	70						
S 163	1	- 0.8	- 6.4	- 7.2	2		+ 6.8		(-15)	45	-11	- 3	-14	70 43	43 07	2025
S 85	1	-20.2	-11.9	-32.1					(-25)	25	+ 1	-10	- 9	69 22	42 38	1522
S 133	1	-11.0	- 9 6	-20.6	2	+14.4	-12.6	+ 1.8	-22	30	+17	- 6	+11	70 12	43 06	1923
S 147	1	-28.6	- 6.9	-35.5	2	+ 1.4	+ 2.6	+ 4.0	-40	50	0	- 4	- 4	70 27	43 06	1954
S 161	1	-23.7	- 0.6	-24.3					(-25)	25	0	+ 2	+ 2	70 41	43 06	2012

The sastrugi in upper rows is harder than that in lower rows in September.

* calculated from the changes of levels of top and bottom of sastrugi where stakes were set (column 5 minus column 9), but values in parentheses are according to the direct measurements of height of sastrugi with less precision.

** mean value of measurements of a set of two stakes at each station.

表 2 ドリフトについての雪尺測定結果

Table 2. Results of stake measurements on drifts.

unit: cm (snow)

Top of drifts					Bottom of drifts				Change of height*	Flat surface**			Location		
Station No. (1)	Stake No. (2)	Sep.20-22 ~Nov. 9-15 (3)	Nov. 9-15 ~Jan.23-26 (4)	Total (5)	Stake No. (6)	Sep.20-22 ~Nov. 9-15 (7)	Nov. 9-15 ~Jan.23-26 (8)	Total (9)	Total (10)	Sep.20-22 ~Nov. 9-15 (11)	Nov.9-15 ~Jan.23-26 (12)	Total (13)	Lat. (S) (14)	Long. (E) (15)	Alt. (m) (16)
S 85	2	- 0.3	- 5.0	- 5.3	4	- 0.7	- 4.2	- 4.9	-12	+ 1	-10	- 9	69°22'	42°38'	1522
	3	-12.2	- 4.6	-16.8											
S 135	1	-15.2	- 4.8	-20.0						+20	- 8	+12	70 15	43 06	1909
S 139	3	-15.2	- 1.9	-17.1						+ 1	+ 8	+ 9	70 19	43 06	1925
S 147	3	- 9.0	- 5.2	-14.2						0	- 4	- 4	70 27	43 06	1954
S 153	1	-20.6	- 0.3	-20.9						- 1	+ 4	+ 3	70 33	43 05	1979
S 161	2	-21.4	+ 2.1	-19.3						0	+ 2	+ 2	70 41	43 06	2012

* calculated from the changes of levels of top and bottom of drifts where stakes were set (column 5 minus column 9).

** mean value of measurements of a set of two stakes at each station.

159 における木下式硬度計による測定では、雪尺を立てたふたつのサスツルギの上の表面硬度が11月には平均約 $5 \times 10 \text{ kg/cm}^2$ で、1月には平均約 $2 \times 10 \text{ kg/cm}^2$ とやわらかくなっていた。

表1下段のサスツルギ(図3, 図4)は、表1上段のものにくらべて9月には比較的やわらかかったが、これは風圧による硬化が進んでなかったからと考えられる。したがって、表1上段のものにくらべて形成された時期が新しいのであろう。特に S147 のサスツルギ(図4)は、4日前につけられた雪上車の シュプール の上をおおってできたものであるが、表1下段の他のサスツルギも、おそらく春になってからの降雪や飛雪によってできた吹きだまりが風に侵蝕されてできたものであろう。

このように表1下段のサスツルギは、やわらかいために9月～11月に風による侵蝕を強くうけて平坦化又は、風圧によって硬化したため、11月～1月には9月～11月のように風による侵蝕を特に強くうけることがなくなったと考えられる。そのため11月～1月には、表1上段に似た消耗量を示している(第4欄)。特に S133 と S147 のサスツルギは、9月にあった風上側への底状の突出部が11月にはなくなっていた(図4)。

サスツルギを表1では消耗量の9月～11月と11月～1月の値のちがいから分けて考えたが、以上のことから、それは形成時期のちがいによると推察されることがわかった。しかしながら、もっと多くのサスツルギについて調査すれば、表1上段と下段の間隔的な消耗の型がでてくることは十分考えられる。

表2のドリフト(図5)は、比較的硬かった S85 雪尺 No. 2 を除いて、9月～11月の消耗(第3欄)が11月～1月(第4欄)よりかなり大きい。これは、先にのべた表1下段のサスツルギと同様の理由によると考えられる。

表1, 2(第3, 4欄)より、一般的にサスツルギやドリフトの上はすべて消耗を示し(表2の S161 で11月～1月に正の値を示しているのは、11月にはドリフトは消え、平坦面となっていたため)、それらのすぐ横の雪面(第7, 8欄)よりも大きな消耗をうけていることがわかる。そのため表1, 2(第10欄)からわかるように、サスツルギやドリフトの上と、それらの横との雪尺を立てた雪面間の比高が、9月～1月に大体 10～40 cm の範囲で、すべての場合について減少している。また平坦な雪面は、値にばらつきがあるが、S85 以外のすべての調査地点が分布している S121～S170 間の各ステーション2本毎の100本のルート標識による同年の測定結果の平均値は、9月～11月が +0.2 cm, 11月～1月が -2.4 cm なので、やはり一般的には、サスツルギやドリフトの上が平坦面よりも大きな消耗をうけている。これらのことは、春から夏にかけてこの付近の雪面が全般的に平坦化することを示して

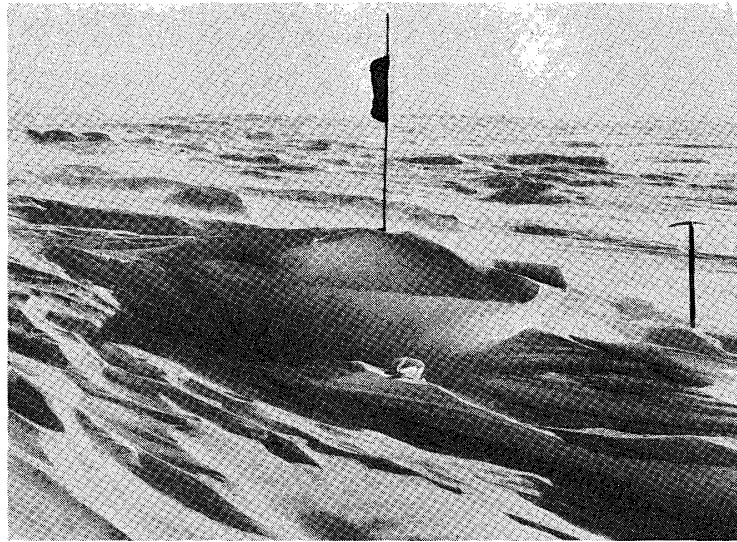


図 2 S 159 のサスツルギ——1969年9月20日（旅行ルートのうちで最大級のもの。この地域の風向は変化が少ないので、雪尺の旗のはためいている方向や雪面の模様から、卓越風向がわかる）

Fig. 2. Sastrugi at S 159, September 20, 1969. (Large sastrugi encountered along the traverse route. The direction of prevailing wind is known by the fluttering direction of a flag or by the trend of surface configuration since the wind direction in this region varies little.)



図 3 A S 133 のサスツルギの正面——1969年9月21日（写真中の数字は雪尺の番号）

Fig. 3 A. The front view of sastrugi at S 133, September 21, 1969. (Numerals are stake numbers.)

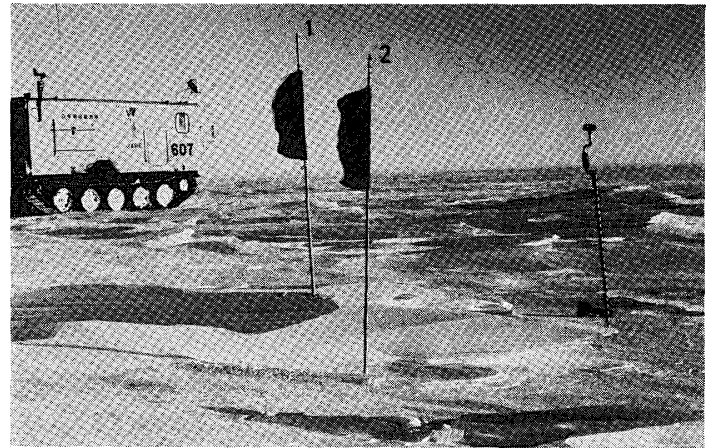


図 3 A' S 133 のサスツルギの側面——1969年9月21日
Fig. 3 A'. The side view of sastrugi at S 133, September 21, 1969

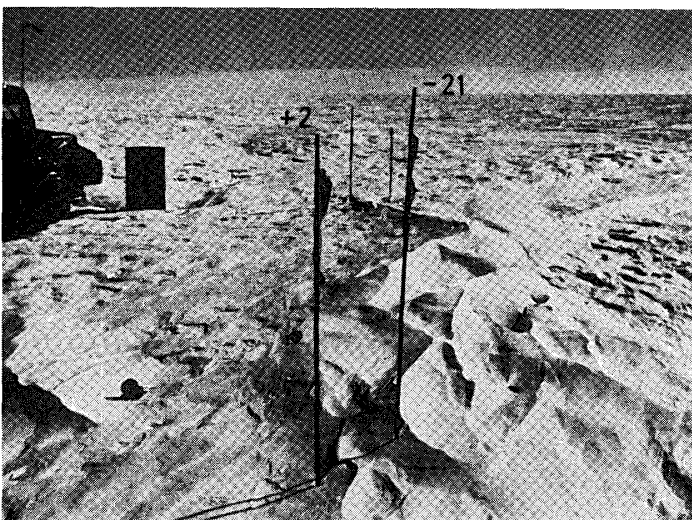


図 3 B. 同じ場所の状態——1970年1月24日（写真中の数字は、それぞれの雪尺が立っている雪面の高さの9月からの変化。単位 cm）

Fig. 3 B. The appearance of the same place, January 24, 1970. (Numerals denote changes, since September, of the level of the surface where each stake was set; unit cm)

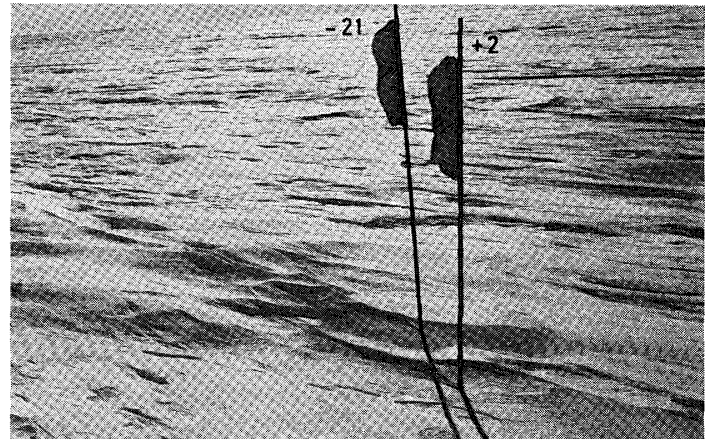


図 3 B' 同じ場所の状態——1970年1月24日（図 3 A' で示した9月の状態に比較して、背景の雪面起伏の顕著な平坦化がみられる。）
Fig. 3 B'. The appearance of the same place, January 24, 1970. (Conspicuous leveling of surface relief in the background is seen, comparing with the appearance in September shown in Fig. 3 A'.)

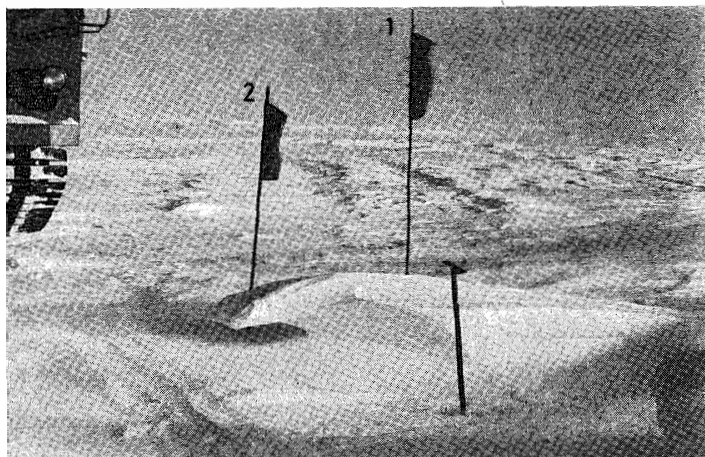


図 4 a S 147 の新しいサスツルギ——1969年9月20日
(4日前の雪上車のシュプール——写真中央——
上にできている。数字は雪尺番号。)

Fig. 4 a. New sastrugi at S 147, September 20, 1969.
(Formed on the rut—in the center—which was made
4 days ago. Numerals are stake numbers.)

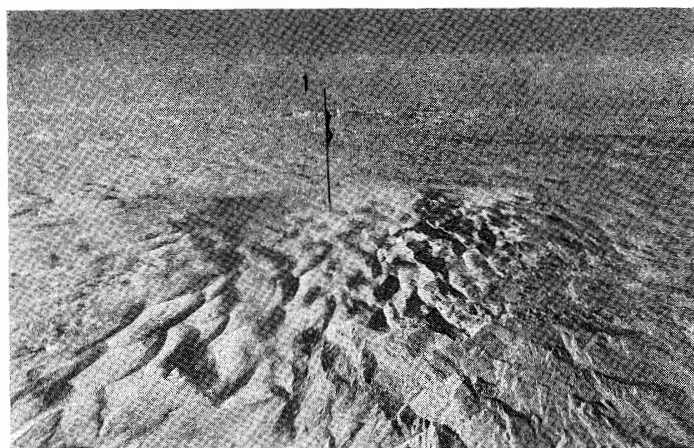


図 5 a S 153 のドリフト——1969年9月20日 (数字は
雪尺番号)

Fig. 5 a. A drift at S 153, September 20, 1969.
(Numerals are stake numbers.)

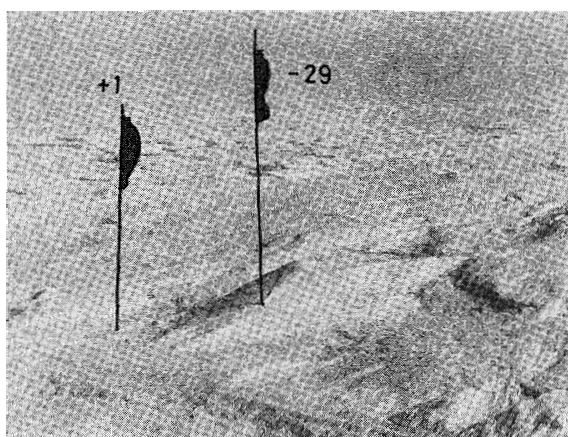


図 4 b 同じ場所の状態——1969年11月13日 (数字は9
月からの雪面の高さの変化)

Fig. 4 b. The appearance of the same place, November 13, 1969.
(Numerals denote changes, since September, of the
level of the surface.)

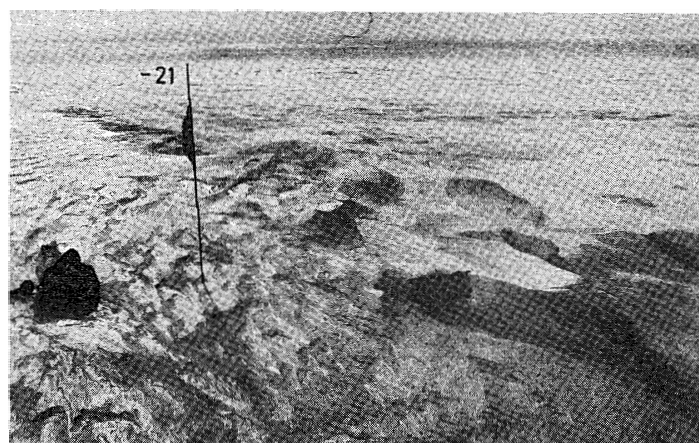


図 5 b 同じ場所の状態——1969年11月13日 (数字は9
月からの雪面の高さの変化)

Fig. 5 b. The appearance of the same place, November 13, 1969.
(Numerals denote changes, since September, of the
level of the surface.)

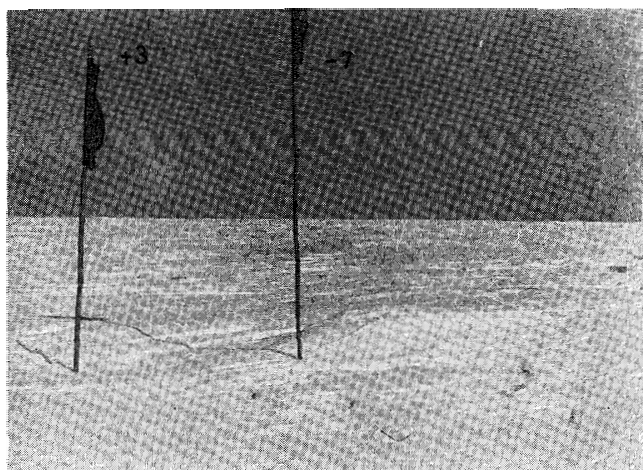


図 4 c 同じ場所の状態——1970年1月24日 (数字は11
月からの雪面の高さの変化)

Fig. 4 c. The appearance of the same place, January 24, 1970.
(Numerals denote changes, since November, of the
level of the surface.)

いる (図 3, 4, 5).

9 次隊 (FUJIWARA and ENDO, 1971) や 10 次隊 (未発表) の雪尺測定結果から, この付近の年間積雪量のほとんどは秋から冬にかけて得られる. 表 1 上段のサスツルギは, おそらくこの時期の積雪によってできた吹きだまりが風によって侵蝕されて形成されたものであろう. 以上のことから, 雪面の凹凸は, 全般的な傾向として, 主に冬に発達し, 夏に平坦化するという一年の周期を考えることができる. したがって年間積雪量を雪尺によって測定する場合, 一年間で最も雪面が平坦と思われる夏のおわりに測定する方が, 他の時期におこなうよりも積雪の堆積の不均一性が比較的消されているので, より信頼できる値が得られると考えられる.

4. サスツルギの消耗に関する問題点

前節の最後にのべたサスツルギの発達・消耗の周期は, 南極点 (Gow, 1965) やバード基地 ($79^{\circ}59'S$, $120^{\circ}01'W$) (BENSON, 1970) と同様なので, 南極大陸全域に共通した傾向をもつと考えられる. ただし, 形成されるサスツルギの大きさや, 積雪量, 消耗量などに地域差があるので, 翌年以降まで残存する多年性のサスツルギの量に地域差が生じ, それがのちの堆積によって形成される積雪断面の層構造の地域的特徴のひとつとなるであろう.

表 1, 2 や前節でのべたように, 雪尺によって測定されるサスツルギやドリフトの上の消耗は, そのすぐ横や平坦な雪面よりも一般に大きい. 勿論これらの測定値には, 降雪や飛雪がサスツルギやドリフトの上には堆積せず, そのまわりの雪面に堆積しやすいことが, ある程度影響しているであろう. Gow (1965) や WELLER (1969) は, 南極点とプラトー基地 ($79^{\circ}15'S$, $40^{\circ}30'E$) での調査から, サスツルギの側面はまわりの水平な雪面より太陽の放射をより多くうける傾斜角度をもっているので, サスツルギの消耗が大きいと説明している. しかし南極点やプラトー基地のような高緯度地域と本論文の対象地域のような海岸寄りの地域では太陽高度にちがいがあるので, この説明がそのまま今回の観測結果に適用できるとはかぎらない. またプラトー基地での ORHEIM (1968) の観測では, 12月~1月のサスツルギの幅の減少は, その高さの減少の約 $1/3$ であったが, 測定されたサスツルギの頂部は広くてほぼ水平なので (ORHEIM, 1968 の Fig. 3, 4 より), このようなサスツルギの頂部でうける太陽の放射は, まわりの平坦な雪面と同様と考えられる. この場合, 上記の Gow (1965) や WELLER (1969) の説明にしたがえば, サスツルギの側面がその頂部より消耗が大きいことになるので, 幅の減少が高さの減少より大きくなるはずであり, ORHEIM (1968) の観測結果と矛盾する. このように, 南極のサスツルギの消耗の機構についてはまだ問題が

多い。

11月～1月の平均風速は、南極点で 4.6 m/s、プラトー基地で 2.7 m/s であるが (MATHER and MILLER, 1967 の Fig. 1.61, 1.66 より), 本論文の調査地域では風向がほぼ一定した平均 10 m/s 前後の風が吹いていると考えてよい (上田, 1971)。このように海岸寄りの大陸斜面は内陸部に比べて風が強いので, サスツルギの消耗について風による侵蝕を重視する必要があると思われる。バード基地の地ふぶき時の雪面付近の風速の垂直分布は対数法則に従っているが (BUDD, DINGLE and RADOK, 1966), 一般の平坦な雪面と, その上に数十cm の高さで突出したサスツルギの頂部付近における風の侵蝕力の間には, かなりの差があると考えられる。このことが, 本論文の対象地域のサスツルギの頂部がまわりの雪面より大きい消耗を示し, 雪面の平坦化をすすめる要因になっている可能性があるが, これらの問題点に関しては, 今後の調査に待ちたい。

5. あ と が き

今回の観測は, えられたデータも少なく, 種類の考察には不十分なものである。特に, いろいろな方向からの写真撮影位置を固定しなかったため時期によって撮影方向がずれていることや, サスツルギの側面における消耗量の測定が欠けていることなどにより, サスツルギの質量収支などの三次元的な解析ができなかったことがあげられる。また, サスツルギやドリフトの分布状況などの面的なデータが欠けているため, その地域の平均積雪量との関係が量的につかめなかったこと, 積雪断面の層構造との対比やサスツルギが最も発達すると思われる冬期の観測が抜けていることなどがあげられる。したがって, これらの点に留意した今後のより充実した観測が望まれる。

おわりに, 調査を支援していただいた第10次内陸旅行隊の方方, 有益な助言をいただいた北海道大学低温科学研究所石田完教授, 成瀬廉二氏, 名古屋大学理学部水質科学研究施設樋口敬二教授, 渡辺興亜氏に深く感謝する。

文 献

- 上田 豊 (1971): 東南極みずほ高原付近の気象状態について. 南極資料, 41, 42-61.
- BENSON, C. S. (1970): Comparative snow studies on the Antarctic and Greenland ice sheets. Int. Symp. Antarctic Glaciol. Explor. (ISAGE), Hanover, 1968, Scott Polar Res. Inst., Cambridge, 242-253.
- BUDD, W. F., W. R. J. DINGLE and U. RADOK (1966): The Byrd snow drift project: Outline and basic results. Studies in Antarctic Meteorology, Antarctic Research Series 9, ed. by M. J. Rubin, Am. Geophys. Union, Washington, 71-134.

- DOUMANI, G. A. (1967): Surface structures in snow. Physics of snow and ice, Sapporo Conf. 1966, ed. by H. Ôura, Inst. Low Temp. Sci., Hokkaido Univ., 1119-1136.
- FUJIWARA, K. and Y. ENDO (1971): Preliminary report of glaciological studies. JARE Scient. Rep. Spec. Issue 2, Report of the Japanese Traverse Syowa-South Pole 1968-1969, 68-109.
- GOW, A. J. (1965): On the accumulation and seasonal stratification of snow at the South Pole. J. Glaciol., 5, 467-477.
- MATHER, K. B. and G. S. MILLER (1967): Notes on topographic factors affecting the surface wind in Antarctica, with special reference to katabatic winds and bibliography. Tech. Rep. Grant No. GA-900, Geophys. Inst. Univ. Alaska.
- ORHEIM, O. (1968): Surface snow metamorphosis on the Antarctic Plateau. Norsk Polarinstitut, Årbok 1966, 84-91.
- WELLER, G. (1969): The heat and mass balance of snow dunes on the central Antarctic plateau. J. Glaciol., 8, 277-284.

(1971年12月3日受理)