

宗谷海岸附近の snow dune の方向について
 —— 第1次隊・第6次隊の航空写真による解析結果 ——

大浦浩文*・山田知充*

ON THE ORIENTATION OF SNOW DUNES IN THE VICINITY
 OF SÔYA COAST
 ——RESULTS OF ANALYSIS OF THE AIR PHOTOGRAPHS
 TAKEN BY THE FIRST AND THE SIXTH J.A.R.E.——

Hirobumi ÔURA* and Tomomi YAMADA*

Abstract

The orientation of snow dunes in the vicinity of Sôya Coast was investigated from the air photographs taken by the first J.A.R.E. in 1956-57 and the sixth in 1961-52. It was

revealed that the snow dunes are developed by two kinds of winds, one is cyclonic wind and the other is katabatic wind. It was also found that the snow dunes near Syowa Station were produced by the cyclonic wind.

I. ま え が き

1956年～1957年の第1次南極地域観測隊と、1961～1962年の第6次南極地域観測隊によって撮影された航空写真^{1, 2)}から、snow duneの方向を測定し、宗谷海岸とLützow-Holm湾のsnow duneの方向分布図を作成した。次にsnow duneを形成し、その形を維持している風について2, 3の考察を試みた。

南極大陸の雪面上には、地上風によって主に2種類の模様が形成される。それはsastrugiとsnow duneである。Sastrugiは強い風のために固くしまった雪面が削られてでき上るいわば風によってできた雪面上の浮き彫り模様である。せいぜい1m程度の高さしかなく、

* 北海道大学低温科学研究所。The Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University.

比較的小さな模様である (Fig. 1). 一方 snow dune は飛雪を伴った強い風によってできる丘陵状の吹きだまりで、平地にも見られるが、しばしば露岩や雪面の突起地形、海上にある氷山の風下側に見られる。その形は風の吹きぬける方向に長く尾を引いており、長さ数mから時には数 100m にも発達する比較的大きな模様である (Fig. 2). Sastrugi も snow dune も、その方向は成因から考えて風の方向と一致しているはずである。従って、これらの方向を測定することによって、地ふぶきを伴うような強風についての卓越風の方角 (以下地ふぶき風向と呼ぶ) を知ることができる*。

このことに着目して、オーストラリア・ニュージーランド南極地域観測隊の夏の大陸調査旅行隊は、地上で sastrugi と snow dune の方向を測定して、その測定地点の卓越風の方角を推定した報告を出している^{3) 4)}。

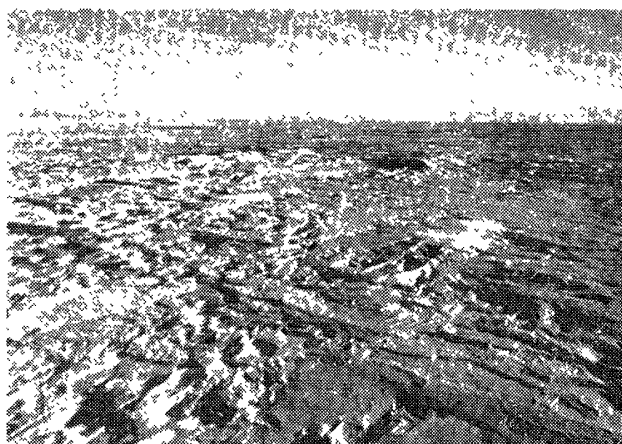


Fig. 1. Sastrugi on snow field.

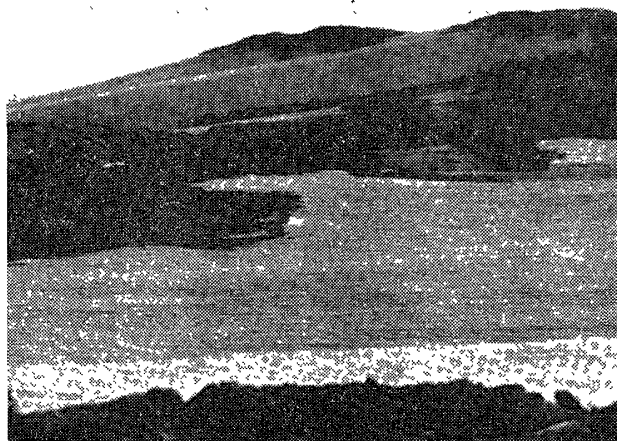


Fig. 2. Snow dune on the leeward of a large bare rock.

今回は航空写真を用いたため、sastrugi は小さ過ぎて写真に写っていませんでしたので、snow dune の方向だけを測定して地ふぶき風向を決定しました。

II. 資料および測定の精度

用いた資料は Table 1 のような垂直航空写真である。使用した垂直航空写真の 1 部分を Fig. 3 に示す。矢印が snow dune である。Snow dune は写真上で少なくとも 3mm 以上ないとその方向を測定することは困難である。従って、snow dune は実際の長さが第 1 次隊の航空写真では約 30m、第 6 次隊のものでは約 80m 以上のものしか測定するこ

* Sastrugi や snow dune の方向を頭から尾に向うように取ることになれば、これ等はちょうど風向と同じ方向で、向きが反対ということになる。また、地ふぶき風向とは、正確には、輸送される雪の量を重みに加えて統計した風向頻度分布における卓越風向を指す。

Table 1. Information on air photographs.

第1次南極 地域観測隊	撮影年月日	1957年1月31日及び2月1日
	写真機	K17C レンズ メトロゴン $f = 15\text{ cm}$
	撮影高度	1,500 ~ 1,800 m
	写真縮尺	1/10,000 ~ 1/12,000
	撮影範囲	2.2×2.3 ~ 2.64×2.76 km
第6次南極 地域観測隊	撮影年月日	1962年1月21 ~ 23日
	写真機	ツァイス・エロトポグラフ製 RMK 11.5/18
	撮影高度	3,000 m
	写真縮尺	1/26,000
	撮影範囲	4.7×4.7 km

とができなかった。

垂直航空写真に写っている snow dune の方向を測定するにあたって、その精度に関して次の点を考慮する必要がある⁵⁾ (Fig. 4 参照)。

1. 航空写真に附随する誤差

(a) 地上に高低があるために生ずる誤差。

(b) 写真機の光軸が鉛直になっていないために生ずる誤差。

(c) 飛行機が横から受ける風に流されないようにするため、進路と機首の方向が一致していないことから生ずる誤差。

(a)は実体鏡を用いて補正することができるが、これによって生ずる誤差は極くわずかなものである。(b)の補正は、日本隊の行動範囲では、今の処、垂直航空写真の偏位修正を行なえるほど基準点密度が大きくないため不可能である。(a)と(b)に関して斜面が $1/20$ 傾いており、光軸が垂直軸と 3° 傾いているとしてその誤差を求めてみると、せいぜい 4° 程度

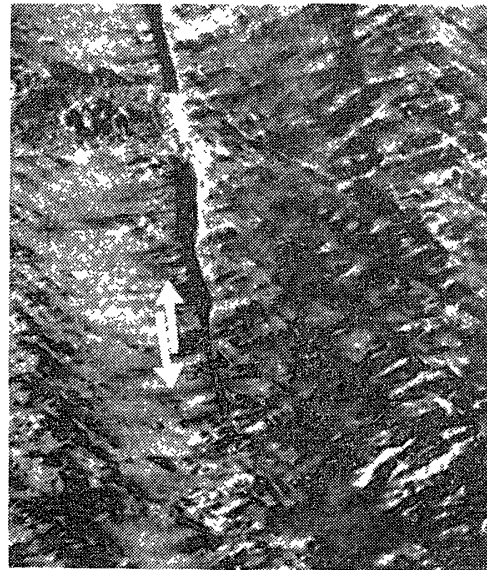


Fig. 3. Two kinds of snow dunes having different orientations at the same place in the air photograph.

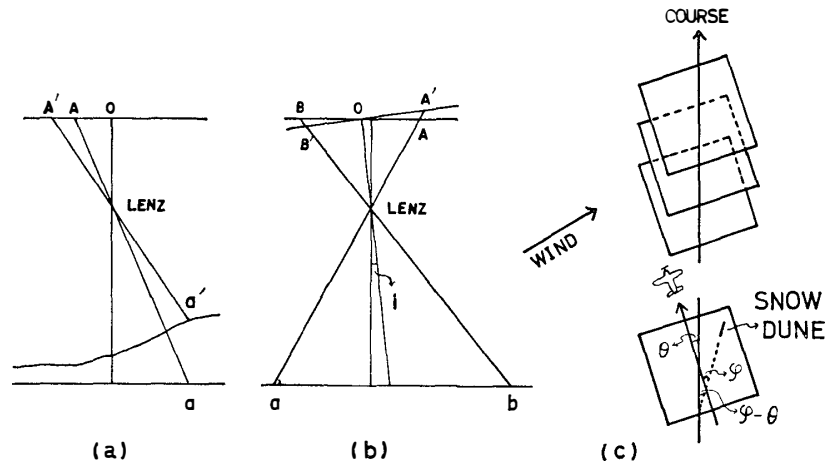


Fig. 4. Error source in the measurement of the snow dune orientation from vertical air photograph.

(a) Height a' makes error AA' on air photograph.

(b) Inclination i of optical axis from vertical line makes errors $OA-OA'$ and $OB-OB'$.

(c) Because of deflection θ of the plain from the course, snow dune orientation φ on the air photograph is $\varphi-\theta$ to the course.

であったので、補正はほどこさなかった。(c)による誤差は風の強い場合は 15° にも達することがあるので、(c)による誤差の補正はほどこした。

2. 場所による snow dune の向きのはらつき

同一の写真上にも地形の影響で場所によって snow dune の方向に違いが見られる。中には同一地点で 90° 近くも方向の違った snow dune が見られたが、これはその snow dune を形成した風が全く別の風系に属すると考えられるので、ここでは問題にしない。ここで問題にしているのは、同一の風系でできたと思われる、ほとんど同じ方向にそろうた snow dune の方向の違いまたははらつきである。この方向のはらつきは、たかだか 5° 程度であった。従って、地ふぶき風向を snow dune から求める場合には、平均風向 $\pm 2.5^\circ$ 程度のあいまさは避けられない。

従って、ここで求めた個々の snow dune の方向は、第1項に述べた系統的な誤差 4° と第2項で述べた偏差 2.5° との和 6.5° 程度以下の偏差で地ふぶき風向を表わしているであろう。しかし、今回の測定は、結局、地ふぶき風向の測定であり、あまり厳密な精度は要求されないからこれで充分である。

III. Snow dune の方向分布

上述の方法で得た宗谷海岸と Lützow-Holm 湾の snow dune の方向分布を Fig. 5 に示す。図上鎖線は第1次隊の飛行経路を、実線は第6次隊の飛行経路を表わす。矢印は、矢じりにあたる地点の snow dune の方向を表わす。一部飛行経路の外に記入した矢印があるが、その場合には矢印の先端の地点での snow dune の方向を示している。矢印の向きは snow dune の頭から尾に向うようにとってある。次に snow dune の方向分布について注目すべき点を示す。

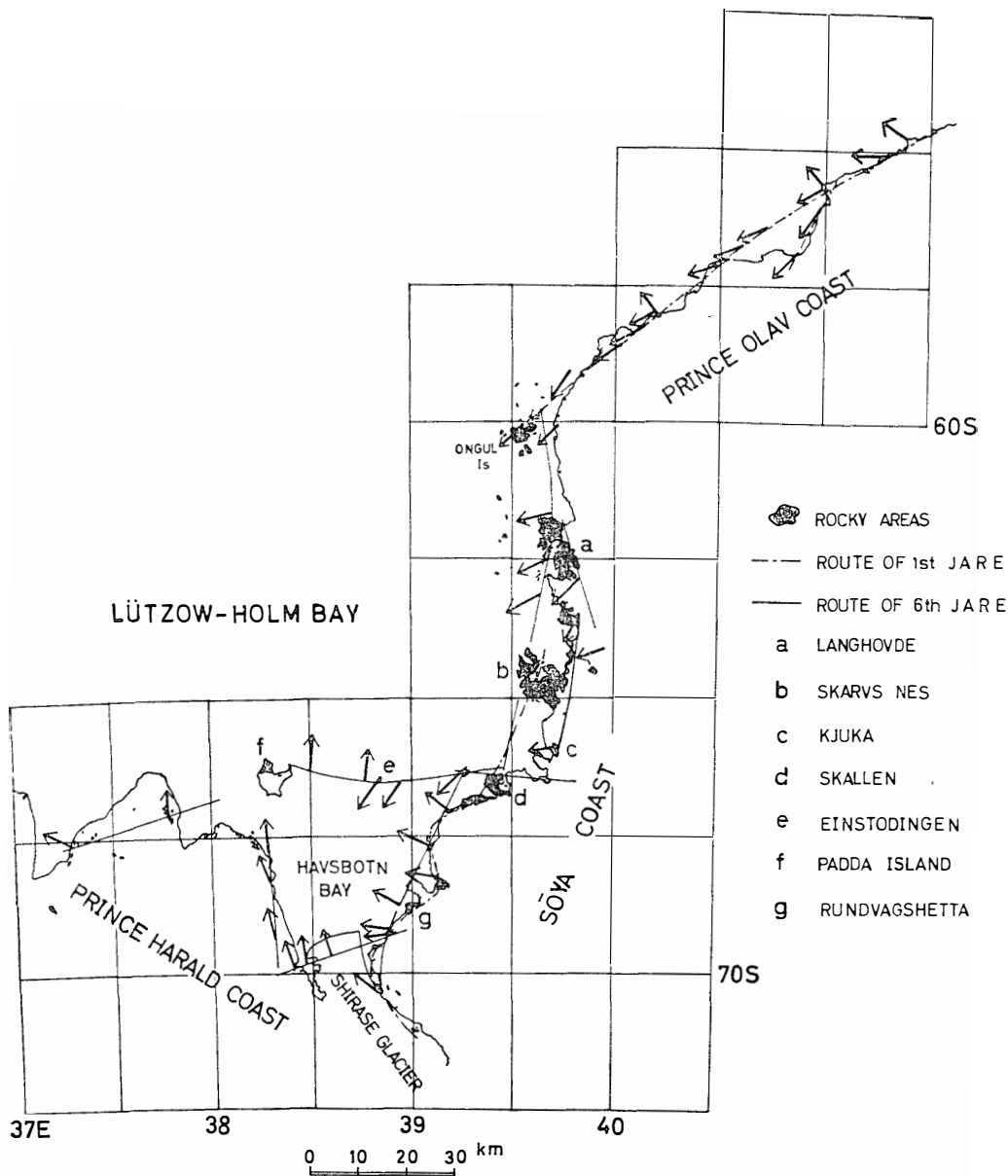


Fig. 5. Distribution map of snow dune orientations in the vicinity of the Sôya Coast.

1. Snow dune には海岸の最大傾斜線に沿って、吹き降ろす方向に尾を引いたものと、昭和基地の snow dune とほぼ一致した方向を持ったものとの2種類の方向の snow dune が見られる。これは宗谷海岸附近の snow dune を形成し、その形を維持する風系に2種類あることを暗示している。

2. Prince Olav Coast 沿いの snow dune には、Fig. 3 のように同一地点で異なった方向を持つものが同時に存在していた。また Einstödingen 島を境にしてその西と東では、わずか10km程度離れているに過ぎないのに、snow dune の向きがほとんど 180° も異なっていた。

3. 宗谷海岸の Skallen から白瀬氷河までの第1次隊と第6次隊の飛行経路には一致した部分がある。そこで、まったく同じ地点を撮影した第1次隊と第6次隊の写真を見ると、Fig. 6 からわかるように、5年間の時間間隔があったにもかかわらず snow dune の方向、大きさ、できている場所まで非常によく一致していた。このことは地ふぶき風向には年変化が無いということを示す事実と考えてよいであろう。

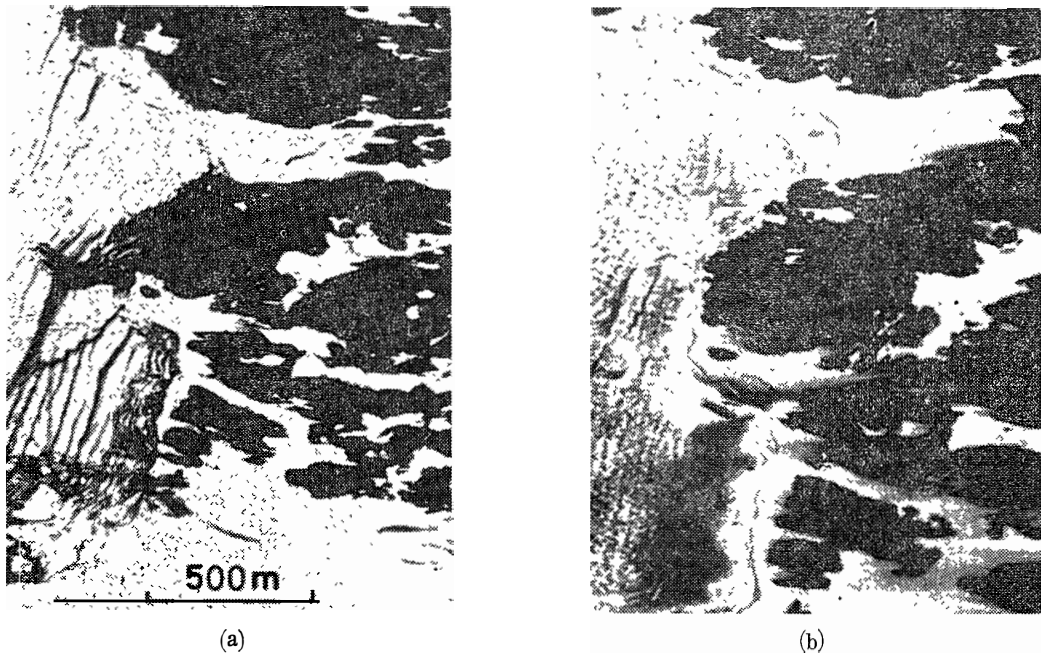


Fig. 6. Same orientation of snow dune at the same point photographed with interval of 5 years.

(a) Air photograph taken by the first J.A.R.E. 1957.

(b) Air photograph taken by the sixth J.A.R.E. 1962.

IV. Snow dune を形成し、その形を維持する風系について

1. 斜面下降風

斜面下降風は大陸内部で、輻射冷却して密度の大きくなった空気が、重力によって斜面を流れ降りる気流である。きわめて強い風を吹かせるが、海岸で跳水現象を起こし、海岸より数 km も沖へ出ると、風速は著しく弱くなることが知られている⁶⁾。風上で削り取られた雪粒は、この跳水現象を起こす海岸附近で最もよく堆積し、吹き溜り、つまり snow dune を作りやすいと思われる。南極地方では斜面下降風の方向はコリオリの力のため、最大傾斜線から少し左にずれる。しかし、そのずれはあまり大きくないから、大体斜面の最大傾斜線に沿って、海の方に尾を引いた snow dune、つまり海岸線にほぼ垂直な向きをもった snow dune、はこの斜面下降風によってできたものと考えられる。

2. 低気圧性の風

地ふぶきを引き起こす風としては、小範囲の地域にかざられる斜面下降風の他に、広域に亘る気圧配置の結果生ずる低気圧性の風が考えられる。この場合には降雪を伴うことが多いので snow dune はできやすい。

以上2種類の風が Fig. 5 に表わされた snow dune の方向と如何なる関係にあるか個々のものについて調べてみよう。

3. 昭和基地の地ふぶき風向

1957年3月から1958年1月までの昭和基地の風向別風速頻度を村越は調べているが、NEが全風向観測回数の約70%を占めており、風速10m/s以上の風向もやはりNEが51%を占めて卓越している⁷⁾。また、気象庁の Antarctic Meteorological Data No. 2⁸⁾を用い、1961年1月から12月までの一年間について、3時間おきの定時観測時に地ふぶきがあった回数、および降雪があつてかつ風速7m/s以上あった回数を求めてみると、Fig. 7, Table 2 のようになる*。降雪があつて風速7m/s以上の場合の頻度はNEが64%という非常に大き

* 地上気象観測資料の数字記号による表現法によれば、記事の欄には1つの現象しか表現できないため、この欄で降雪を表わせば、その時地ふぶきがあつても、それを表現することができない。従つて、降雪があり、しかも、風速が7m/s以上であれば、当然地ふぶきが起こっているものとしてこのような統計を試みた。

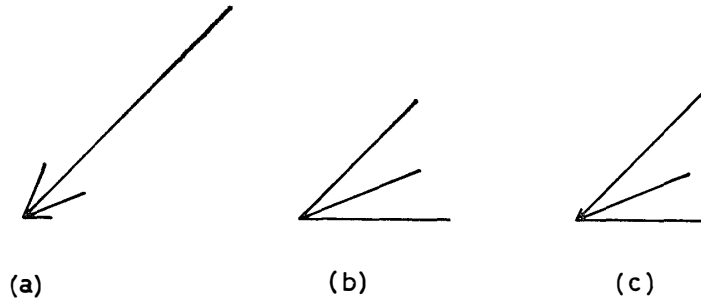


Fig. 7. Frequency of wind direction observed every three hours at Syowa Station (Jan.-Dec. 1961).

- (a) Wind-rose at wind velocity above 7 m/s with snow fall.
- (b) Wind-rose in the case of snow drifting without snow fall.
- (c) Wind-rose in the cases of (a) and (b) with snow drifting.

Table 2. Frequency of wind directions observed every three hours at Syowa Station (Jan.-Dec. 1961).

- (a) Frequency of wind direction with snow fall at wind velocity above 7 m/s.
- (b) Frequency of wind direction with snow drifting without snow fall.

		月												a), b) 別		a)+b)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	総計	頻度	総計	頻度
N	a			1					1		3			1	0.9	5	0.7
	b													4	0.7		
NNE	a	1			2	2	1		4	1	3			14	12.2	18	2.7
	b							2			2			4	0.7		
NE	a	7		1	12	4	5	10	4	6	3	9	10	71	64.0	274	40.9
	b	10	2	4	13	4	23	14	11	37	23	58	4	203	36.3		
ENE	a		1	3	7	2	1	1		1				16	14.4	176	26.3
	b			9	14	19	38	13	16	5	15	26	5	160	28.6		
E	a					4	1		2					7	6.3	189	28.2
	b			4	12	40	31	21	46	2	14	9	3	182	32.6		
ESE	a						1		1	1		2		5	0.9	5	0.7
	b																
SE	a																
	b																
SSE	a								1					1	0.2	1	0.1
	b																
S	a					1								1	0.9	1	0.1
	b																
SSW	a					1								1	0.9	1	0.1
	b																
月別 総計	a	8	1	5	21	14	8	11	10	8	6	9	10	111	100	672	100
	b	10	2	17	39	64	92	51	76	44	59	93	12	559	100		

な頻度を占めており、地ふぶきだけがあった場合の頻度は NE 36.3%, E 32.6%, ENE 28.6% となっている。降雪のある場合と無い場合の両方を加え合わせた場合の地ふぶき風向の頻度は NE が 40.9% と卓越している。

一方、Fig. 5 からわかるように、昭和基地における snow dune の向きは SW であり、降雪があり、かつ風速が 7m/s 以上の場合の風向頻度分布 (Fig. 7 a) ときわめてよい相関を示している。Fig. 7 a では NE の風向頻度がきわだって多いことが示されている。すべての地ふぶきについて統計した Fig. 7 c には ENE, E の成分もかなり目立っており、SW の方向の snow dune との相関は Fig. 7 a ほどよくない。

村越によれば、昭和基地における地ふぶきの発生は気圧の急下降と共に、風速が急に強くなって起こることが多く⁷⁾、また、地ふぶきで風が非常に強いときには、気温はその前後に比べて高く、逆に気温が下ると風速も弱まる^{7,9,10)}。そして、昭和基地の沖を通る低気圧による風はほとんど一定方向から吹き、その通過後も風向の急変ということはなく、風速だけが急に弱まってしまう。

一方、守田は昭和基地の風を分析し、斜面下降風の特徴を示す風*だけを選び出してみると、風速は 15 m/s を越えるものはないこと、卓越風向が ENE または E であることがわかったと報告している¹¹⁾。従って、地ふぶきを引き起こしたすべての風について方向の頻度分布を示している Fig. 7 c から、斜面下降風と考えられる ENE や E の風を取り去ると、残りの低気圧性の風の風向は、NE が卓越した頻度分布を持つと考えられ、ちょうど、降雪を伴った地ふぶき風向の頻度分布 Fig. 7 a とよく一致するのではないかと考えられる。従って、前に述べたように昭和基地の snow dune は降雪を伴った地ふぶきによって形成されるが、この地ふぶきを引き起こす風は低気圧性のものであるということがわかる。

4. 風系と snow dune の方向との関係

上記のことから、III 節 1 で述べた 2 種類の snow dune はそれぞれ斜面下降風と低気圧性の風による地ふぶき風向を示していると考えられる。III 節 2 で述べた Einstödingen 島より西の snow dune の方向は白瀬氷河を吹き降ろす風の方向と一致している。これまで斜面下降風は海岸からせいぜい数 km も沖へ出ると跳水現象のための風速は急速に減衰し、地ふぶきを起こし snow dune を形成するほどの風速はないと考えられており、また、その事実が

* 吹きはじめの 1 時間以内に風速が 5m/s 以上増加するもの。午前 3 時ないし 6 時に風速の最大があり、昼間になると衰えるもの。風速の増大にもかかわらず、気温が上昇しないか、あるいはむしろ下降するもの。気圧が特に下っていないもの。陸風であるもの。

日本隊の数度の調査旅行でも確かめられている¹²⁾。しかし、Einstödingen 島附近の地形的な影響で、Havsbotn 湾に白瀬氷河およびその両側の大陸から吹き降りる斜面下降風が重畳して Padda 島附近まで跳水を起こすことなく押し出しているため、海岸から 40km も離れた海氷上の snow dune が斜面下降風の方に形成されているのであろう。

Langhovde から Skarvs Nes を経て Kjuka までの snow dune の方向は、昭和基地の snow dune の方向と一致していると共に、斜面下降風の方とも一致している。両方の風系の作用がちょうど一致する特別な地域なのであろう。

他の地域の snow dune の方向についても同様に、海岸線に直角なものは斜面下降風によるものであり、昭和基地の snow dune の方向とほとんど同じものは低気圧性の風によるものである。

V. む す び

以上の考察の結果、宗谷海岸附近の snow dune を形成し、その形を維持する風系には 2 種類あり、1 つは低気圧性の風で、他の 1 つは斜面下降風である。そして、昭和基地のそれは、低気圧性の風であることがわかった。さらに、これまで snow dune を形成する風は低気圧性の風であり、斜面下降風は sastrugi を形成するものであると言われていたが³⁾、斜面下降風によって snow dune も形成されるということがわかった。

ここで取扱った方法を南極全域に適用し、航空写真を利用して snow dune の方向を測定すれば、全域の地ふき風向を容易に決定することができるであろう。

この報告書を書くにあたっては、国土地理院の測図部長・原田美道氏ならびに吉田新生氏に貴重な航空写真の借用その他の件で御協力いただいた。またこの報告作成当時、北海道大学低温科学研究所におられ、現在国立科学博物館極地部極地第 1 課長の楠 宏氏は第 1 次隊の航空写真や実体鏡を貸して下さる等いろいろ便宜を計って下さった。これ等諸氏に心から感謝する。

文 献

- 1) 鍛冶昇三・印部英一 (1957) : 1956—57 年度地形測量部門報告。南極資料, 1, 17—28.
- 2) 吉田新生・柿沼清一 (1963) : 第 6 次南極地域観測隊測地部門。航空写真撮影・基準点測量実施報告。南極資料, 17, 30—34.
- 3) MATHER, K. B. (1962) : Further Observation on Sastrugi; Snow Dune and the Pattern of Surface Winds in Antarctica. Polar Record, 11, 158—171.

- 4) MATHER, K. B. and GOODSPEED, M. J. (1959) : Australia Antarctic Ice Thickness Measurements and Sastrugi Observations, Mac-Robertson Land, 1957—58. *Polar Record*, **9**, 436—445.
- 5) 尾崎幸男 (1961) : 写真測量. 森北出版株式会社, 東京, 200p.
- 6) BALL, F. K. (1957) : The Katabatic Winds of Adélie Land and King George V Land. *Tellus*, **9**, 201—208.
- 7) 村越 望 (1958) : 第1次越冬隊気象部門報告. 南極資料, **4**, 1—22。
- 8) The Japan Meteorological Agency (1964) : Antarctic Meteorological Data, Vol. 2, Surface Meteorological Data at the Syôwa Base. 313pp.
- 9) 村越 望 (1959) : 第4次越冬隊気象部門報告 (その2). 南極資料, **6**, 22—33.
- 10) NAKASIMA, Hiroshi (1961) : Statistical Investigation of Meteorological Data at Syowa Base. *Antarctic Record*, **11**, 68—74.
- 11) 守田康太郎 (1964) : 南極昭和基地における風の日変化について. 日本気象学会昭和39年春季大会講演.
- 12) 吉田栄夫・村越 望・矢田 明 (1962) : 第4次南極地域観測隊越冬隊の調査旅行における気象観測について. 南極資料, **15**, 12—24.

(昭和41年1月5日受理)