



Title	南極における強風時の吹雪
Author(s)	小林, 俊一; KOBAYASHI, Shun'ichi; 石川, 信敬 他
Citation	低温科学. 物理篇, 42, 65-79
Issue Date	1984-03-05
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/18483">https://hdl.handle.net/2115/18483</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	42_p65-79.pdf



## 南極における強風時の吹雪\*

小林俊一・石川信敬

(低温科学研究所)

大畑哲夫

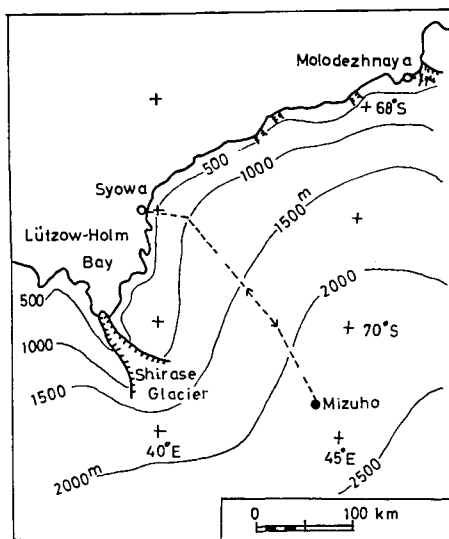
(名古屋大学水圏科学研究所)

(昭和58年10月受理)

### I. まえがき

降雪を伴って、かつ強い風が吹き、地表に積った雪も同時に舞いあがり、水平視程も垂直視程も悪化する現象を一般に吹雪 (snow storm) と呼んでいる。特に北米では、低気圧と共に激しい降雪と強風を伴う気象条件の時をブリザード (blizzard) と呼んでいるが、これなどは最も激しい吹雪に相当し、特に雪嵐とか暴風雪とか呼ぶ場合もある。主に雪面近くを雪が移動する地吹雪の研究は、多くの研究者によって詳しくなされているが、ブリザードに相当する激しい吹雪の観測は少ない。このブリザードは、南極では日常的な現象として知られているが、観測は危険を伴うので少ないというのが現状である。南極のブリザードも降雪を伴った暴風雪状態をいい、南極大陸周辺に位置する昭和基地では低気圧の通過時に強風と悪視程のため外出は大変危険となるため光学的な方法で吹雪量変動が測定されたにすぎない<sup>1)</sup>。他方、みずほ基地 (第1図参照) は海岸から約250 km 内陸部の海拔高度約2,200 m の大陸氷床にあるので、低気圧の影響は多少は弱まり昭和基地に比較してブリザード時の風速は弱い。しかし、寒冷なカタバ風が年中吹き (年平均気温  $-33^{\circ}\text{C}$ 、年平均風速  $11\text{ m/s}$ )<sup>2),3)</sup> 吹雪を発生させている。みずほ基地は、低気圧の影響や冬の放射冷却が強まった時には、風速が  $15\sim 20\text{ m/s}$  位まで強まり、高い吹雪となって視程が  $100\text{ m}$  以下と悪化する。このようなブリザードに相当する吹雪の発生日数は、1980年では年間141日あり、低い吹雪をも含めると年間303日にもなる (第2図参照)。

今回は、みずほ基地の30 m の気象観測用



第1図 南極みずほ基地付近図

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第2598号

タワー<sup>4)</sup>を利用して強風時の吹雪移動量の測定を重点的に行ったので報告する。

## II. 測定方法

### 1. 吹雪計

吹雪移動量を測定するために入口が直径2 cm と5 cm の箱型の吹雪計を用いた。箱の大きさは、たて15 cm, よこ15 cm, 長さ40 cm で、出口は35メッシュ(開口0.42 mm)の金網が付いた開閉可能な蓋が取り付けられている。箱の中には受け皿があり、そこに溜った雪を、皿を引き出して重量測定した。入口が直径2 cm の吹雪計は8 m の支柱に、それぞれ0.3 m, 0.7 m, 1.3 m, 2.05 m, 3.28 m の5点の高度に取り付け(第3図), 入口が直径5 cm の吹雪計は30 m タワーに、それぞれ6.5 m, 14 m, 28 m の3点の高度に取り付けた。この箱型の吹雪計の全体の捕捉率<sup>5)</sup>は0.297であった。

### 2. 風速と気温の分布

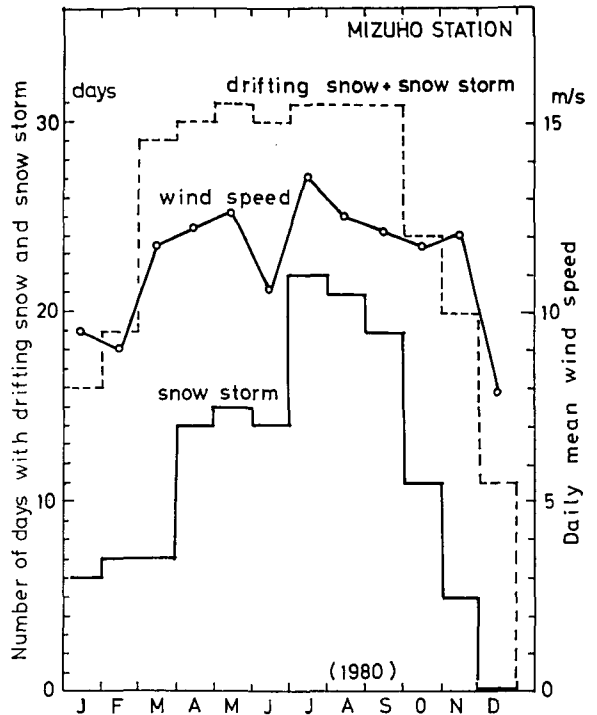
風速と気温の分布の測定は、30 m タワーで行われた。風速は3杯風速計を、気温はプラチニウム抵抗温度計をそれぞれ、0.5 m, 1 m, 1.5 m, 3.5 m, 7.5 m, 15.5 m, 29.5 m の7点の高度に取り付けて測定した。それらの詳しい測定結果については、Ohata 他<sup>6)</sup>によって報告されている。

### 3. 視程

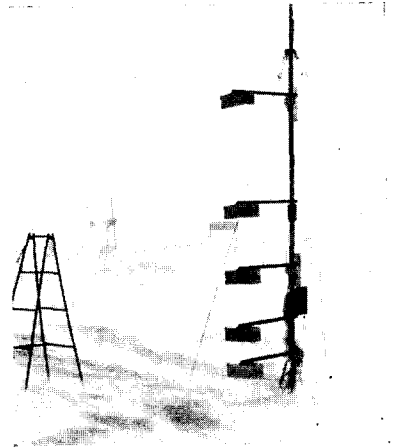
水平視程は、風向に直角な方向に、燃料ドラムを2 km までの間に10個配列して目視観測によって行った。垂直視程に関係のある吹雪の高さは、30 m タワーから約50 m 離れた地点から、タワーの見える境界の高さを目視観測した。

### 4. 飛雪粒子

飛雪粒子は、スライドガラスに3%濃度のレプリカ液を塗って、約1秒から10秒の露出時間で捕捉した。1980年10月から1981年1月10日まで一日一回の観測を行った。



第2図 1980年みずほ基地付近における各月の吹雪発生日数と月平均風速の変化



第3図 箱型吹雪計の設置状態

## III. 観測結果

## 1. 吹雪フラックス

各高度を単位時間、単位面積を通過する吹雪の質量、すなわち吹雪フラックス (snow drift flux) を第1表に示した。ほとんどがブリザード期間中の測定結果である。吹雪計の捕捉率を小さくして、露出時間を長くした理由は、ブリザード期間中には、外に出て測定が出来ないため、ブリザード期間中に吹雪計の中に雪がいっぱい捕捉されて測定不能となることを避けるためである。吹雪フラックスの代表的な高度分布の例を第4図に示した。図中の分布例の番号は第1表の測定番号に対応している。また第1表には、高度7.2 mの観測期間中の平均風速値と高度1.7 mの平均気温の値をも示してある。これまで、みずほ基地での吹雪フラックスの測定は、雪面から1 mの高度まで測定して、それらの値から10 m高度まで外挿による積分値の

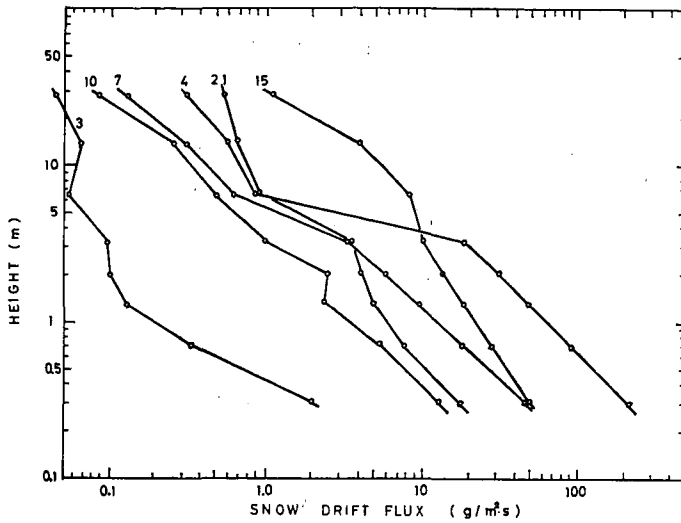
第1表 1980年みずほ基地で測定した吹雪フラックス

No.	期 間	露 出 時 間 (分)	各高度 (cm) での吹雪フラックス (g/m <sup>2</sup> ・s)*								U** (m/s)	T*** (C°)
			30	70	130	205	328	650	1400	2800		
1	Feb. 6-7	1980	61.8	31.2	18.0	12.2	8.5				14.8	-19.1
2	Feb. 16-18	1275	14.8	3.4	1.3	0.9	0.5				11.7	-21.2
3	Feb. 18-27	13215	2.0	0.3	0.13	0.1	0.1	0.06	0.07	0.05	9.8	-27.5
4	Feb. 27-Mar. 1	4440	215.0	90.0	48.3	31.0	18.6	0.85	0.57	0.31	13.9	-28.0
5	Mar. 1-7	8295	11.1	2.7	0.9	0.4	0.1				11.3	-29.9
6	Mar. 7-10	5055	22.1	6.1	3.0	1.7	0.9	0.13	0.05	0.01	12.0	-32.6
7	Mar. 12-15	4320	47.5	17.8	9.5	5.8	3.3	0.62	0.31	0.13	12.3	-32.0
8	Mar. 19-25	9000	67.0	28.1	14.4	8.9	5.6	1.78	0.54	0.33	13.8	-34.5
9	Mar. 27-Apr. 11	22170	30.0	15.0	8.6	5.8	4.2				12.9	-30.0
10	Apr. 11-14	4425	12.8	5.3	2.4	2.5	1.0	0.49	0.26	0.09	10.5	-33.9
11	Apr. 14-17	4245	135.0	57.3	32.0	20.2	15.2	1.65	0.79	0.31	13.0	-26.2
12	Apr. 17-21	5670	4.9	2.7	1.6	1.4	1.1	0.25	0.15	0.08	9.8	-34.3
13	Apr. 21-27	8670	27.6	15.5	9.8	6.5	4.5	1.23	0.69	0.33	12.7	-44.3
14	May 23-29	8730	8.7	3.1	2.2	1.6	1.3				9.0	-39.5
15	Aug. 25-Sep. 2	12300	50.0	28.0	18.7	13.6	10.1	8.15	3.92	1.10	12.8	-39.3
16	Sep. 3	7170	42.1	18.9	11.0	10.7	9.5				11.9	-32.8
17	Sep. 8-15	10230	36.7	12.9	6.8	4.9	3.8	0.71	0.41	0.30	13.5	-36.9
18	Sep. 15-24	13590	27.8	9.7	7.1	3.8	2.6				12.6	-35.3
19	Sep. 30-Oct. 5	8040	34.9	15.8	10.2	8.9	7.3				12.1	-41.7
20	Oct. 5-11	9240	23.2	11.1	6.6	5.4	4.6	1.22	0.69	0.38	11.1	-37.2
21	Oct. 12-19	8310	17.9	7.7	5.0	4.1	3.6	0.93	0.69	0.57	10.1	-38.2
22	Oct. 21-24	3420	46.3	18.0	11.2	8.9	7.3				12.5	-34.5
23	Oct. 25-Nov. 4	14580	54.0	27.0	16.1	11.0	8.6	0.37	0.25	0.20	14.4	-30.9

\* 捕捉率0.297を考慮した値

\*\* 高度7.2 mでの期間中の平均風速

\*\*\* 高度1.7 mでの期間中の平均気温



第4図 ブリザード時の吹雪フラックスの高度分布

結果が示されてきた<sup>7)</sup>。今回、約 30 m までの測定は、第 4 図のごとく比較的直線近似ができるので、過去に報告した 10 m 高度までの外挿値は、良い近似値を与えていたといえる。

## 2. ブリザード時の高度 30 m までの接地気層

第 1 表と対応する期間の平均風速と平均気温の分布を第 2 表に示した。第 2 表には、雪面から高度 30 m の気層の平均リチャードソン数 (Richardson number)  $Ri$  と安定指数 (Stability index)  $S$  の値をも示した。 $S$  は (1) 式から、 $Ri$  は (2) 式から計算した。すなわち、

$$S = \frac{g}{\bar{\theta}} \frac{\Delta\theta}{\Delta Z}, \quad (1)$$

$$Ri = \frac{g}{\bar{\theta}} \frac{\Delta\theta/\Delta Z}{(\Delta U/\Delta Z)^2} = \frac{S}{(\Delta U/\Delta Z)^2} \quad (2)$$

ここで、 $g$  は重力の加速度、 $\bar{\theta}$  は気層の平均温位 ( $^{\circ}\text{K}$ )、 $\Delta\theta/\Delta Z$  は温位勾配、 $\Delta U/\Delta Z$  は風速勾配で、いずれも 29.5 m と 0.5 m の高度の値から計算した。一般に、地吹雪時の接地気層は中立条件 ( $Ri=0$ ,  $S=0$ ) の場合が多いが、カタバ風帯のみずほ基地では、強風の吹雪時でもほとんど安定条件 ( $Ri>0$ ,  $S>0$ ) の場合が多い。ブリザード時の代表的な風速分布の例を第 5 図に示した。中立条件の場合には、高度を片対数表示で表わせば、風速の高度分布は直線になるが、安定条件の場合には、高度が増すにしたがって加速される方向に直線から外れてゆく。いま、30 m 高度の実際の風速を  $U_{30}$ 、30 m 高度での直線から外れた部分の風速を  $U_1$  とすれば、この二つの風速比  $U_1/U_{30}$  の値は、一般に安定指数が増すと直線的に増加する<sup>8)</sup>。しかし、みずほ基地でのブリザード時の場合は、第 6 図に示したごとく、海氷上で測定した真木<sup>8)</sup>の結果に比べて、同じ安定指数で  $U_1/U_{30}$  の値は大きく、かつ直線関係はみられず一定値を示した。

## 3. 水平視程と吹雪の高さ

みずほ基地での水平視程の測定は、雪面上 2 km の間に燃料ドラム缶を 10 個置いて、目視観測によった。したがって、ドラム缶の置いていない 2 km から 10 km の間の視程は、観測者の

第2表 1980年みずほ基地で測定した吹雪時の風速と気温の鉛直分布と平均安定指数(S)とリチャードソン数(Ri)

No.	期 間	風 速 (m/s)							気 温 (°C)							S	Ri
		U <sub>7</sub> 29.5 m	U <sub>6</sub> 15.5 m	U <sub>5</sub> 7.5 m	U <sub>4</sub> 3.5 m	U <sub>3</sub> 1.5 m	U <sub>2</sub> 1 m	U <sub>1</sub> 0.5 m	T <sub>7</sub> 29.5 m	T <sub>6</sub> 15.5 m	T <sub>5</sub> 7.5 m	T <sub>4</sub> 3.5 m	T <sub>3</sub> 1.5 m	T <sub>2</sub> 1 m	T <sub>1</sub> 0.5 m		
1	Feb. 6-7	14.6	13.4	11.9	11.4	10.1	9.6	7.5	-17.6	-17.8	-17.7	-17.9	-18.1	-18.3	-18.4	0.00115	0.019
2	Feb. 16-18	12.2	11.0	9.7	9.0	8.3	8.2	8.0	-19.1	-19.3	-19.2	-19.4	-19.6	-19.8	-19.9	0.00108	0.052
3	Feb. 18-27	12.4	11.1	9.7	9.0	8.3	8.2	8.0	-26.3	-26.6	-26.5	-26.7	-27.0	-27.2	-27.3	0.00135	0.059
4	Feb. 21-Mar. 1	20.8	19.3	17.3	16.0	14.8	14.4	14.0	-23.5	-23.3	-23.5	-23.6	-23.6	-23.9	-24.1	0.00157	0.029
5	Mar. 1-7	12.9	11.5	10.0	9.2	8.4	8.0	7.5	-28.3	-27.6	-27.7	-28.1	-28.3	-28.4	-28.6	0.0004	0.011
6	Mar. 7-10	13.5	12.3	10.9	10.1	9.3	9.3	9.0	-30.0	-30.3	-30.3	-30.4	-30.6	-30.7	-30.8	0.0011	0.047
7	Mar. 12-15	14.4	13.0	11.4	10.7	9.8	9.7	9.5	-30.0	-30.5	-30.6	-30.6	-30.8	-31.0	-31.1	0.0015	0.052
8	Mar. 19-25	15.5	14.0	12.3	11.5	10.5	10.4	10.2	-34.8	-32.4	-32.5	-32.6	-32.8	-33.0	-33.1	0.0016	0.047
9	Mar. 27-Apr. 11	15.7	14.3	12.6	11.7	10.7	10.5	10.3	-28.2	-28.7	-28.7	-28.8	-29.1	-29.3	-29.4	0.0017	0.047
10	Apr. 11-14	9.8	9.1	8.6	8.2	7.8	7.8	7.4	-30.0	-31.7	-32.0	-32.3	-32.6	-32.8	-32.9	0.0041	0.581
11	Apr. 14-17	17.6	15.0	13.9	13.0	12.0	11.8	11.4	-22.5	-22.8	-22.7	-23.1	-23.4	-23.6	-23.7	0.0016	0.035
12	Apr. 17-21	9.8	9.4	8.2	7.8	7.3	7.4	7.2	-30.1	-31.9	-32.0	-32.3	-32.6	-32.8	-33.0	0.0041	0.508
13	Apr. 21-27	(9.6)	11.4	11.3	11.0	10.2	10.2	10.0	-40.7	-42.2	-42.3	-42.6	-42.8	-42.9	-43.1	0.0026	0.294
14	May 23-29	12.0	10.5	9.6	8.9	8.0	7.8	7.7	-34.6	-36.2	-36.3	-37.1	-37.3	-37.4	-37.7	0.0044	0.202
15	Aug. 25-Sep. 2	13.6	12.9	11.0	10.0	9.1	8.9	8.8	-33.9	-25.8	-25.9	-36.2	-36.5	-36.6	-36.8	0.0041	0.153
16	Sep. 3	16.5	14.6	12.6	11.6	10.4	10.1	9.7	-29.0	-29.6	-29.6	-30.0	-30.4	-30.5	-30.7	0.0024	0.043
17	Sep. 8-15	15.7	13.9	12.0	11.1	10.0	9.8	9.6	-33.6	-34.0	-34.2	-34.4	-34.8	-34.9	-35.1	0.0021	0.049
18	Sep. 15-24	15.5	13.8	12.0	11.1	10.0	9.9	9.8	-32.1	-32.6	-32.7	-32.9	-33.2	-33.3	-33.4	0.0018	0.047
19	Sep. 30-Oct. 5	13.9	12.3	10.6	9.8	9.0	8.8	8.75	-47.3	-47.7	-47.7	-47.8	-48.1	-48.2	-48.3	0.0015	0.046
20	Oct. 5-11	13.3	12.1	10.5	9.8	8.7	8.5	8.4	-34.0	-35.2	-35.3	-35.5	-35.7	-35.8	-35.9	0.0027	0.094
21	Oct. 12-19	12.1	10.7	9.2	8.5	7.6	7.5	7.3	-35.5	-36.2	-36.3	-36.4	-36.7	-36.8	-36.9	0.0020	0.074
22	Oct. 21-24	15.9	14.5	12.9	12.0	10.9	10.7	10.6	-35.2	-35.4	-35.2	-35.4	-35.5	-35.6	-35.7	0.0007	0.021
23	Oct. 25-Nov. 4	16.1	14.6	12.9	12.0	11.0	10.9	10.7	-36.6	-36.9	-36.9	-37.0	-37.3	-37.4	-37.5	0.0013	0.037

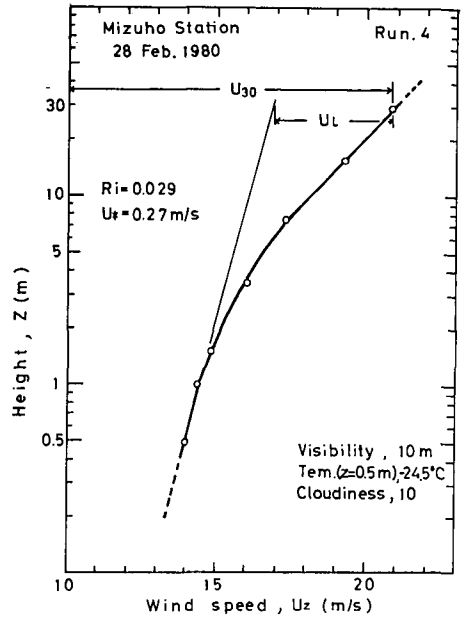
強風時の吹雪

主観による測定といえる。第7図は、1980年の第21次南極観測隊がみずほ基地で測定した水平視程の値と風速の関係を示してあり、値のばらつきは大きい、それらの傾向を示す実線を引いてある。また図中の点線は真木<sup>8)</sup>が第11次南極観測隊に参加した際に、昭和基地で得た結果である。風速計の高度はみずほ基地では7.2m、昭和基地では10mであった。強い吹雪になると同じ風速値でも、みずほ基地の方が視程が悪いという傾向がみられる。

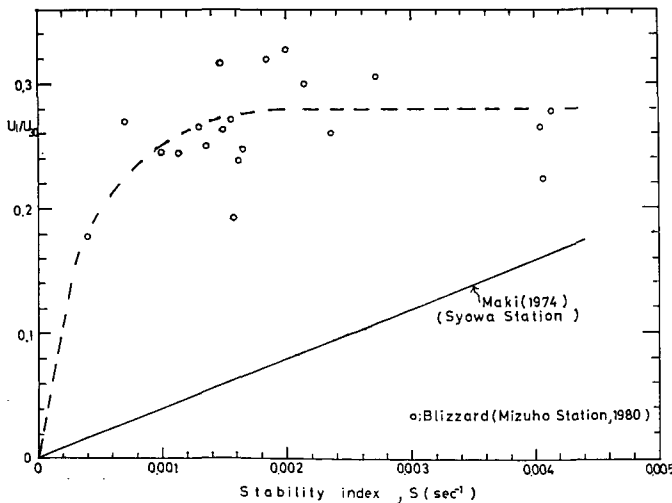
次に、第8図は、みずほ基地の30mタワーの下層部分が吹雪で見えなくなる高さ、その時の水平視程の関係を示している。水平視程が100m以下になると急に30mタワー全体がかすんで見えなくなる。この水平視程が100mの時の吹雪量の値を推定しよう。すなわち、吹雪フラックスを風速で割れば、吹雪の空間密度

(snow drift density) が得られる。第9図は水平視程と2m高度の吹雪空間密度の関係を示した。実線は、Budd<sup>9)</sup>他の関係を示した。みずほ基地で得られた値は、ばらつきが大きい、100mの視程の時の、2m高度の吹雪空間密度の値は約 $1/m^3$ に相当する。

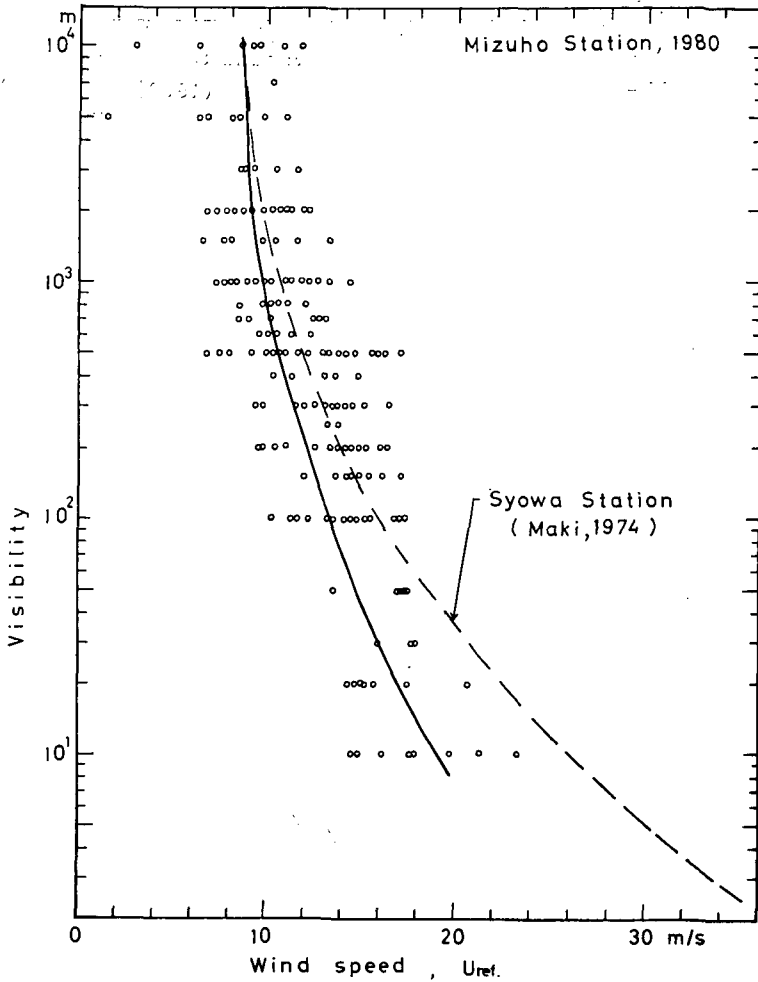
さらに、目視観測からの吹雪の高さの推定はこの場合30mが限界である。実際にはどの高度まで吹雪が存在するののかということは興味のある問題である。そこで一つの目安として、測器の吹雪空間密度の測定限界値を $0.01 g/m^3$ と考えて、その値をとる高度と10m高度の風速



第5図 みずほ基地でのブリザード時の風速分布の例



第6図 みずほ基地でのブリザード時の安定指数と  $U_1/U_{30}$  の関係  
実線は昭和基地で得られた結果<sup>8)</sup>

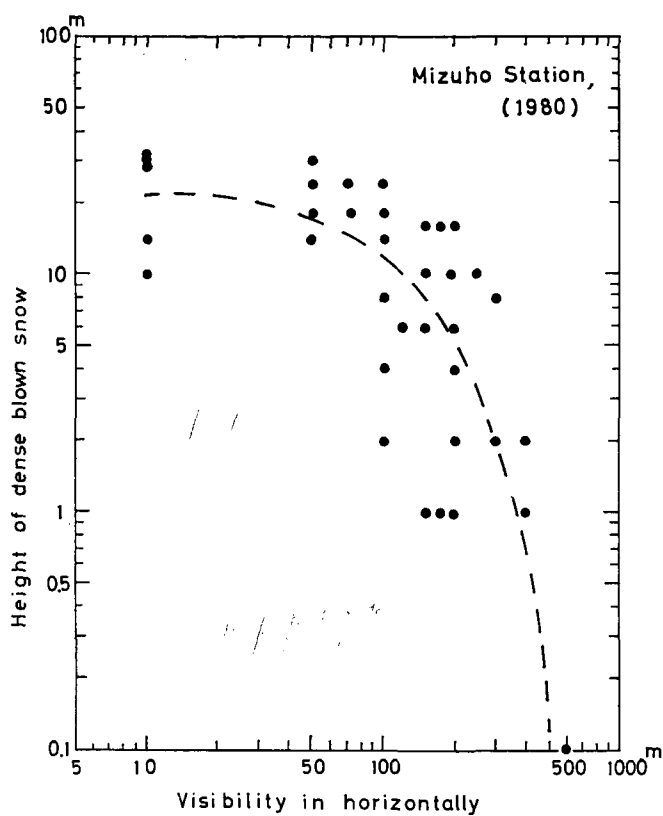


第7図 みずほ基地での水平視程と風速の関係  
点線は昭和基地で得られた結果<sup>8)</sup>

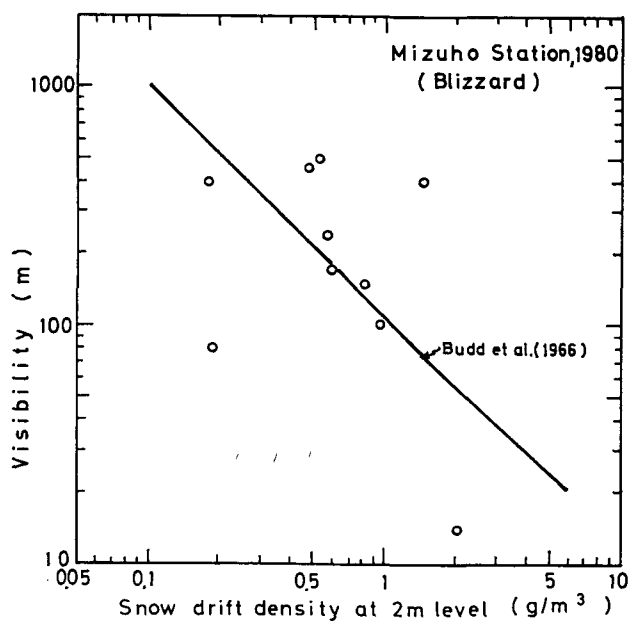
の関係を調べてみた。その結果を第10図に示す。この図から有効な吹雪高度は約70m以下であったといえる。図中に Budd<sup>10)</sup> がオーストラリアの Wilkes 基地で行った地吹雪時の結果を実線で示した。みずほ基地の場合には、風速の増加に対して吹雪の高さも増加するという傾向は得られなかった。吹雪の場合には、降雪の強さが影響すると思われるが、みずほ基地では、地吹雪の中で降雪の強さを測定することは大変難しい。現在のところ、飛雪粒子の結晶形を観察して降雪があるか無いかを判断する方法が行われているのみである。

#### 4. 飛雪粒子の特長

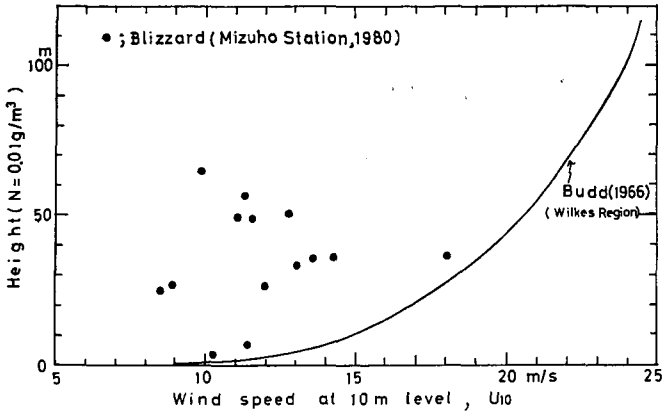
みずほ基地での飛雪粒子の観察は、成田<sup>11)</sup> によって報告された。それによると幾分丸味を帯びた粒子が観測される場合と、砲弾型の降雪結晶形を保っている粒子が観測される場合があり、後者の場合は明らかに降雪時の吹雪と断定して良い。著者等の飛雪粒子のレプリカ写真からの観察結果も、ブリザード時は、砲弾型かその集合からなる結晶形が卓越していた(第11図



第8図 30 m タワーを利用して測った吹雪の高さと水平視程の関係



第9図 水平視程と2 m 高度の吹雪空間密度の関係  
実線はバード基地で得られた結果<sup>9)</sup>



第10図 吹雪空間密度が0.01 g/m<sup>3</sup>の値をとる高度と風速の関係  
実線はウィールクス基地での結果<sup>10)</sup>

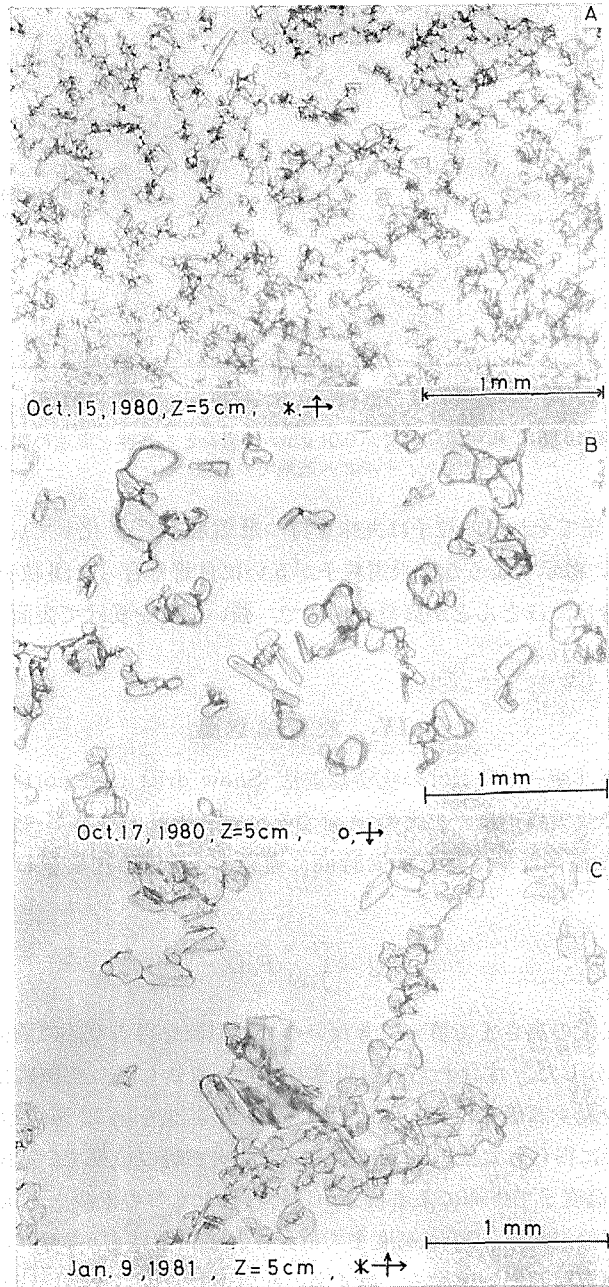
(A)。そして日数を経てそれらの粒子は丸味を持つ飛雪粒子に変化していった(第11図(B))。その他、第11図(C)に示すような、飛雪粒子が互いに付着し合った団粒構造を持つ場合も観測された。この場合は、ほとんどが真夏の期間で、強い日射を受けて表面が一時的に融解し付着し合ったものと思われる。

#### IV. 吹雪輸送量

今回得られたブリザード時だけの吹雪輸送量(Snow drift transport)と、これまでに得られた主に地吹雪時の吹雪輸送量<sup>7)</sup>と比較検討する。いま任意の高度Zでの吹雪フラックスをF<sub>z</sub>とすると、風向に直角な単位幅を単位時間に通過する吹雪輸送量Qは次の式によって得られる。

$$Q = \int_{z=0}^{z=\infty} F_z dZ \quad (3)$$

実際には、無限大の高さまで積分できないので近似値を得るために雪面から吹雪計の最高高度の28 mまで積分した。すなわち、実測値の範囲で積分した。実際にはもう少し上空まで吹雪があるので多少過少評価したことになるが実測値の結果を第12図に示した。図中の2本の点線は、これまでに得られた主にみずほ基地での地吹雪時の結果で、雪面から1 m高度までの実測値から10 m高度まで外挿による積分から得られたものの上限と下限値を示してある<sup>7)</sup>。ブリザード時の吹雪輸送量は、30 m高度まで積分されているにもかかわらず、これまでに得られた地吹雪時の測定範囲と一致する。第4図の吹雪フラックスの30 m高度までの測定結果をながめると、1 m高度までの測定結果をそのまま10 m高度まで外挿することが誤りであるとは考えられない。むしろブリザード時の大気の乱流拡散に問題があると思われるので次章で考察する。



第11図 飛雪粒子のレプリカ写真

- (A) 1980年10月15日 ブリザード時
- (B) 1980年10月17日 (A) から2日後の地吹雪時
- (C) 1981年1月9日 ブリザード時

V. 考 察

先ず、降雪を伴ったブリザード時の吹雪輸送量が、降雪を伴わない地吹雪時の値より大きくはなく、同程度であるということは理解し難いことである。しかし第6図に示したように、ブリザード時の接地気層は安定条件の風速分布の挙動を示している。すなわち、以上のことは乱流による拡散係数が小さいことを意味する。たとえば、大気が中立条件の場合には、運動量についての拡散係数は、

$$K = ku_*Z \quad (4)$$

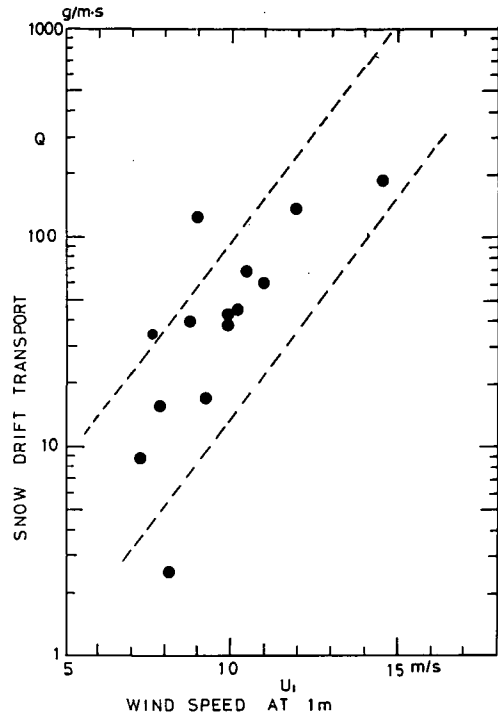
のごとく表わされる。ここで  $k$  はカルマン定数 (=0.4),  $u_*$  は摩擦速度 (Friction velocity),  $Z$  は高さである。しかるに大気が中立条件でない時の拡散係数は、

$$K_m = \frac{ku_*Z}{\phi_m} \quad (5)$$

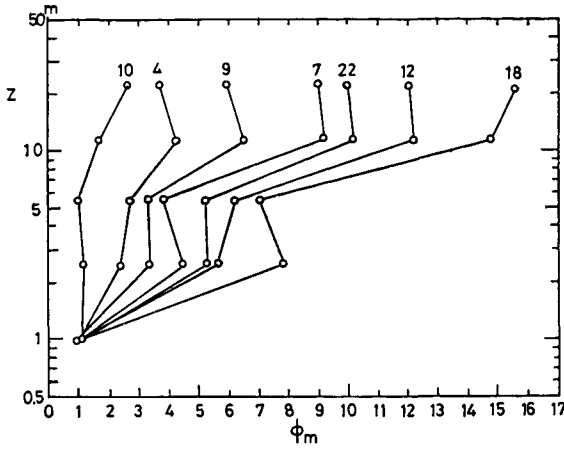
のごとく表わされる。ここで  $\phi_m$  は風速鉛直勾配を無次元化したもので、風速のシア関数とよばれ、次式のごとく定義されている (これまでの記述については、たとえば近藤<sup>12)</sup>を参照)。

$$\phi_m = \frac{kZ}{u_*} \frac{dU}{dZ} \quad (6)$$

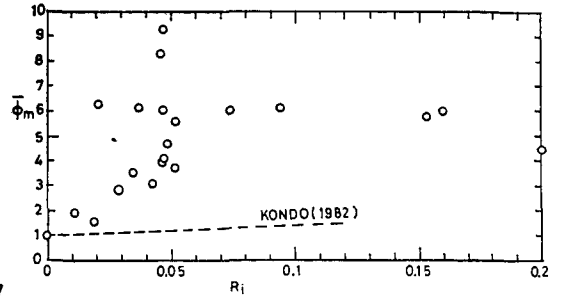
したがって、中立条件の場合には  $\phi_m=1$  である。安定条件の場合には、一般に  $\phi_m>1$  が知られている。第13図には、(6)式から計算されたブリザード時の  $\phi_m$  の高度分布を示した。 $\phi_m$  の値は、1 m 高度付近では中立条件に近いが、高度を増すと  $\phi_m$  の値は1より大きくなる。ただし、(6)式からの  $\phi_m$  の計算に際しては、 $u_*$  の値は、0.5 m から 1.5 m の間の風速分布の値の直線近似から計算した。また第14図には、地上と 30 m 高度の間の風速シア関数の平均値とリチャードソン数の関係を示した。図中の点線は、弱風時の安定な大気中の近藤<sup>12)</sup>の結果を示してある。 $\phi_m$  は一般に安定度の関数であるが、ブリザード時の  $\phi_m$  は安定度の依存性がみられず、 $\phi_m$  の値の絶対値は、同じ安定度でも近藤の値より大きな値を示した。このことは、(5)式から拡散係数も中立条件の場合に比べて小さな値となる。ただし、 $u_*$  が高さに関して一定と仮定した場合に限られる。実際には第5図の風速分布からわかるように、高くなるほど風速シアが大となり  $u_*$  が大きくなる。したがって、7.5 m と 29.5 m の風速値からも直線近似ができ  $u_*$  を計算して下層の値と比較した結果が第3表である。下層の値を  $u_{*1}$ 、上層の値を  $u_{*2}$  と



第12図 ブリザード時の吹雪輸送量と風速の関係  
2本の点線は主に地吹雪時の結果<sup>7)</sup>



第13図 ブリザード時の風速シア関数  $\phi_m$  の高度分布



第14図 平均風速シア関数  $\phi_m$  とリチャードソン数  $Ri$  の関係  
点線は弱風の場合の安定時の結果<sup>12)</sup>

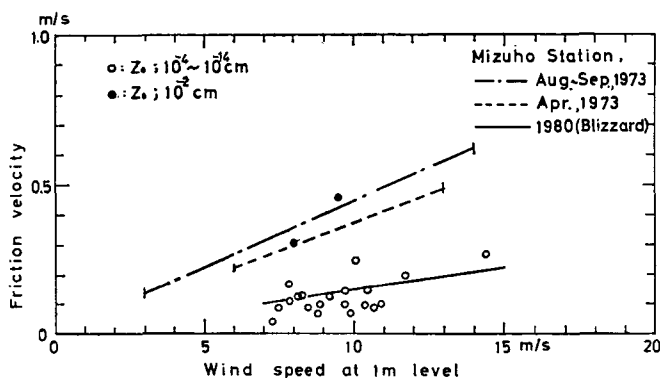
第3表 摩擦速度と風速のシア関数の比較

No.	摩擦速度 (cm/s)		$U_{*2}/U_{*1}$	風速のシア関数 $\phi_m$ (7.5 m~29.5 m)
	$U_{*1}$ (0.5 m~1.5 m)	$U_{*2}$ (7.5 m~29.5 m)		
1	0.46	0.77	1.7	1.9
2	0.13	0.71	5.5	5.9
3	0.13	0.77	5.9	6.3
4	0.27	1.87	6.9	4.0
5	0.31	0.83	2.7	2.8
6	0.13	0.75	5.8	6.1
7	0.10	0.87	8.7	9.1
8	0.10	0.92	9.2	9.7
9	0.15	0.88	5.9	6.3
10	0.17	0.34	2.0	2.2
11	0.20	0.54	2.7	2.4
12	0.04	0.48	11.9	12.0
13	—	—	—	—
14	0.11	0.41	3.7	4.1
15	0.10	0.75	7.5	8.7
16	0.25	1.07	4.3	4.7
17	0.15	1.07	7.1	7.5
18	0.07	1.02	14.6	15.2
19	0.07	0.94	13.4	14.1
20	0.09	0.80	8.9	9.4
21	0.09	0.83	9.3	9.7
22	0.09	0.83	9.3	10.1
23	0.10	0.90	9.0	9.7

して、摩擦速度の比  $u_{*2}/u_{*1}$  の値は、7.5 m と 29.5 m の間の平均風速シア関数  $\phi_m$  の値にほぼ等しい結果が得られた。いま、各高度の拡散係数が(5)式で近似できるとすれば、高い所ほど  $u_*$  が大きくなるが、 $\phi_m$  も大きくなるので、拡散係数は相殺されてある一定な関係が保持される。第3表の結果から、降雪を伴ったブリザード時の拡散係数  $K'$  を近似的に(7)式のようにおいた。

$$K' \approx ku_{*1}Z \tag{7}$$

次に、降雪を伴ったブリザード時の雪面近くの風速分布から計算した摩擦速度の値  $u_{*1}$  と、降雪を伴わない地吹雪時の摩擦速度の値  $u_*$  を 1 m の高さの風速との関係を調べた結果を第15図に示した。図中の点線と一点鎖線は、通常地吹雪時の値である。○印は、ブリザード時の値である。ここでは  $u_* > u_{*1}$  ( $K > K'$ ) の関係が得られた。



第15図 摩擦速度と風速の関係

点線と一点鎖線は地吹雪時の結果、○印はブリザード時の結果

ここで、拡散係数が(4)式で表わされ、雪粒子の落下速度  $w$  が一定という仮定で、吹雪密度に関する定常状態での拡散方程式を解くと、任意の高さの吹雪密度の高度分布は次式のごとく表わされる<sup>13)</sup>。

$$n(Z) = n(Z_1) \left( \frac{Z}{Z_1} \right)^{-w/ku_*} \tag{8}$$

吹雪フラックスと吹雪密度の換算は風速  $U$  を介して、 $n = F/U$  の式でできる。ここで  $Z_1$  は基準の高さを表わす。(8)式からわかるように、吹雪密度の高度分布は、雪粒子の落下速度と摩擦速度に鋭感である。したがって、 $w =$ 一定と仮定すれば、ブリザード時の吹雪密度は高くなると減少の割合が大きい。しかし降雪を伴うため高い所まで有意な吹雪密度が保たれると考えられるので全吹雪輸送量は、近似的には基準の風速に依存して(第12図)、降雪の影響は見かけ上現われなかった。

また、1 m の風速と摩擦速度が一次の直線関係にあるとするとその時の平均粗度 (roughness length)  $Z_0$  が計算できる。その値を第15図に示したが、摩擦速度が小さな値になることは  $Z_0$  が小さな値になることに対応する。このブリザード時の小さな  $Z_0$  の値は、雪面が空気力

学的に滑面となったことを意味し、その原因としては、雪面近くの吹雪粒子の流れが、見かけ上雪面で空気がスリップすることに対応し $Z_0$ が小さくなったと考えられる。

## VI. あとがき

南極みずほ基地において、従来あまり測定できなかったブリザード時の吹雪観測を、第21次南極観測隊に参加した際に行った。その結果、ブリザード時の全吹雪輸送量は、通常の地吹雪時の場合と同程度であった。その理由として雪面近くの摩擦速度が地吹雪時の摩擦速度の値より小さいことが示され、吹雪高度が高いにもかかわらず、全吹雪輸送量には変化がなかったことが示された。吹雪粒子の落下速度の考察ができなかったので、あいまいな点が残り、今後は雪粒子の落下速度の観測が是非必要である。

終りに、第21次南極観測隊越冬隊長である川口貞男国立極地研究所教授と隊員の全ての方々から観測を支援していただいた。また低温科学研究所の石田完教授からは本論文を校閲していただいた。あわせて深く感謝いたします。

なお、解析は一部、国立極地研究所の共同利用研究費によった。

## 文 献

- 1) 小林俊一・牧野勤儉 1975 昭和基地における強風時の光を利用した飛雪観測 (予報). 南極資料, **53**, 45-52.
- 2) Ohata, T., Kobayashi, S., Ishikawa, N. and Kawaguchi, S. 1981 Meteorological data at Mizuho Station, Antarctica in 1980. *JARE Data Rep.*, **65** (Meteorol. 10), 93 p.
- 3) 小林俊一・石川信敬・大畑哲夫・川口貞男 1982 第21次南極地域観測隊気水圏部門観測概報 1980. 南極資料, **75**, 57-74.
- 4) Mae, S., Wada, M. and Yamanouchi, T. 1981 The system of measurements of radiation and micrometeorological elements at Mizuho Station, East Antarctica: Installation and performance. *Antarct. Rec.*, **71**, 44-57.
- 5) 小林俊一 1974 サイクロン型地ふぶき計と引き出し箱型地ふぶき計の比較. 低温科学, 物理篇, **32**, 89-95.
- 6) Ohata, T., Ishikawa, N., Kobayashi, S. and Kawaguchi, S. 1983 Micrometeorological data at Mizuho Station, Antarctica in 1980. *JARE Data Rep.*, **79**, (Meteorol. 13), 374 p.
- 7) Kobayashi, S. 1978 Snow transport by katabatic winds in Mizuho Camp area, East Antarctica. *J. Meteorol. Soc. Japan*, **56**-2, 130-139.
- 8) Maki, T. 1974 Turbulence characteristics and micrometeorological structure of atmospheric surface layer in stable stratification in Antarctica. *Mem. Natl. Inst. Polar Res.*, Ser. B (Meteorol.) No. 2, 1-65.
- 9) Budd, W. F., Dingle, R. and Radok, U. 1966 The Byrd snow drift project; outline and basic results. *Antarctic Res. Ser.*, **9**, 71-134.
- 10) Budd, W. F. 1966 Glaciological studies in the region of Wilkes, Eastern Antarctica, 1961. *ANARE Sci. Rep.*, Ser. A (IV), Glaciology, No. 88, 1-149.
- 11) 成田英器 1977 雪面の硬さ, 飛雪形, 温度が地ふぶき現象に及ぼす影響. 低温科学, 物理篇, **35**, 77-89.
- 12) 近藤純正 1982 大気境界層の科学. 東京堂出版, 219 p.
- 13) Shiotani, M. and Arai, H. 1953 A short note on the snow storm. Second National Congress for Applied Mechanics, Science Council of Japan.

### Summary

A series of measurements of the mass flux of blowing snow under conditions of a strong wind and a snowfall was made on a katabatic wind slope (mean surface slope  $3 \times 10^{-3}$ ) at the Mizuho Station ( $70^{\circ}42.6'S$ ,  $44^{\circ}18.9'E$ ; 2230 m above mean sea level) in East Antarctica during the time the present authors participated as members of the wintering party in the 21st Japanese Antarctic Research Expedition (JARE-21) in 1979-1981.

Five collectors (2 cm in diameter of the inlet) were mounted on an 8 m high pole at the heights of 30, 70, 130, 205 and 328 cm, and three collectors (5 cm in diameter of the inlet) on a 30 m high micrometeorological observation tower at the heights of 6.5, 14 and 28 m. The collection efficiency of these collectors was 0.297.

The total snow drift transport in a unit time through a unit width of the vertical surface perpendicular to the wind direction was obtained by integrating mass fluxes vertically between two given heights  $Z=0$  (surface) and  $Z=28$  m.

Under the strong wind condition with a snowfall snow suspended at a higher level than under conditions of pure blowing snow, but the total snow drift transport was of the same order in both the conditions. However, the height of the suspension of snow was up to 70 m in the former, whilst it was up to 10 m in the latter. Thus, atmospheric structures were studied from the measurements of the profiles of wind speed and air temperature. As a result, the eddy viscosity at a low level was smaller under the former conditions than under the latter; so under the former the snow drift density near the snow surface showed the value smaller than under the latter.