



| | |
|------------------|---|
| Title | 地ふびきによる積雪表面層の侵蝕と堆積 |
| Author(s) | 小林, 俊一; 石川, 信敬 |
| Citation | 低温科学. 物理篇, 27, 107-114 |
| Issue Date | 1970-03-31 |
| Doc URL | http://hdl.handle.net/2115/18105 |
| Type | bulletin (article) |
| File Information | 27_p107-114.pdf |



[Instructions for use](#)

地ふぶきによる積雪表面層の侵蝕と堆積 I*

小林 俊一

(低温科学研究所)

石川 信敬

(北海道大学大学院 理学研究科)

(昭和44年7月受理)

I. ま え が き

非常に平坦な雪原においても、地ふぶき時には、風の乱流、飛雪粒子の運動、地ふぶきの状態等の変動によって、積雪表面層は、移送されてきた雪粒が、そこに堆積して層の厚さを増したり、又表面層は侵蝕を受け、厚さが減少したり、更に平衡状態を維持して、その厚さの増減が見られなかったりする。これらの複雑な組み合わせの結果、地ふぶき時には、雪原にいろいろな凹凸のある模様を残す。例えば、さざなみ模様、サスツルギー、バルハン、snow dune 等がそれである。これらの生成過程及び条件とか分類等が、Cornish (1914)¹⁾、Kotlyakov (1961)²⁾、Doumani (1966)³⁾、大浦 (1966)⁴⁾ 等によってなされているが、これらの模様の詳しい生成過程の研究は、まだ困難のようである。飛砂による問題は Bagnold (1954)⁵⁾ によって、物理的に詳しく研究されている。雪粒に比較して、砂粒のとりあつかいが容易だからであろう。著者等は、第1段階として、地ふぶきによって影響を受ける積雪表面層に着目して、地ふぶき後に広い雪原を卓越風の主風向 (NW) に沿って断面観測した結果に就いて報告する。

II. 観測方法と測定結果

前に、地ふぶき時に、地ふぶきの影響を受ける積雪表面層の厚さの変化を観測した事がある⁶⁾。いろいろ観測してみると、同一地点でも、その層の厚さが増えたり、減ったり、平衡状態を維持していたりする。その観測例を第1表に示す。これについては、今後積雪表面層と地ふぶきの状態、更に風の構造との間にどのような相互作用があるかを詳しく調べるつもりである。

又一地点の観察ばかりでなく、かなり広い雪原の風上から風下側に至る地ふぶきの影響を受ける積雪表面層の堆積変化を調べてみるのも興味ある問題である。そこで北海道大学の第2農場で、地ふぶき後に、風下側にある低温科学研究所内の定設観測地点から、風上側の NW の方向に向って、積雪表面層がどのように影響を受けたかを断面観測によって調べた。その調査地域の写真を第1図に示す。調査は、全部で3回行なわれた。

* 北海道大学低温科学研究所業績 第970号

第1表 風で運ばれた雪の堆積変化

| | 時刻 | 相対的な高さ h cm | 前観測時からの高さの変化 Δh cm | 期間 Δt min | Δh/Δt mm/min | 地ふぶきの状態 |
|---------------|-------------|----------------|-----------------------|--------------|-----------------|-------------------------------|
| 1月23日 | 11:30~13:45 | +1.5 | +1.5 | 135 | +0.111 | 降雪を伴った地ふぶき |
| | ~14:30 | +1.5 | 0.0 | 45 | 0.0 | 1 cm 以下の純粋な低い地ふぶき |
| | ~14:45 | +7.0 | +5.5 | 15 | +3.67 | 1 m 以下の純粋な地ふぶき |
| | ~14:50 | +7.5 | +0.5 | 5 | +1.0 | " |
| | ~15:35 | +7.0 | -0.4 | 45 | -0.111 | 降雪を伴った高い地ふぶき |
| | ~15:50 | +5.0 | -2.0 | 15 | -1.33 | 高い純粋な地ふぶき |
| | ~19:50 | +4.0 | -1.0 | 240 | -0.417 | " |
| | ~22:05 | +3.5 | -0.5 | 135 | -0.037 | |
| | ~23:00 | +2.5 | -1.0 | 55 | -0.182 | アラレ混入の地ふぶき |
| 1月24日 | ~ 0:30 | +3.0 | +0.5 | 90 | +0.056 | |
| | ~ 1:54 | +3.0 | 0.0 | 84 | 0.0 | |
| 2月6日 (A)** | 11:05~12:00 | 0.0 | 0.0 | 55 | 0.0 | 雪温 $T_s = -5.4^\circ\text{C}$ |
| | ~13:30 | +0.5 | +0.5 | 90 | +0.0555 | |
| | ~18:10 | -1.0 | -1.5 | 280 | -0.0535 | |
| 2月6日 (B)** | 11:05~12:00 | 0.0 | 0.0 | 55 | 0.0 | 雪温 $T_s = -5.4^\circ\text{C}$ |
| | ~13:30 | -0.5 | -0.5 | 90 | -0.0555 | |
| | ~18:10 | +3.0 | +3.5 | 280 | +0.0125 | |

* 雪の中に AI の板を設置し、その上の雪の厚さの変化を測定した。従って雪面には障害物は無い

** (A) と (B) は約 10 m 風向に直角に離れている

第1回(1月18日)は、17日18:00から18日8:00頃までに積ったと思われる新雪の厚さが、NWの方向に一様であるかどうかを調べるために行なった。降雪期間の風速は、観測小屋附近の高さ約1.5 mでの4杯のロビンソン型風速計で測った。10分間の風程から求めた降雪期間中の平均風速は0.5 m/sであった。断面観測の結果は、第2図に示したように、新雪層の厚さは8 cmでほぼ一様であった。

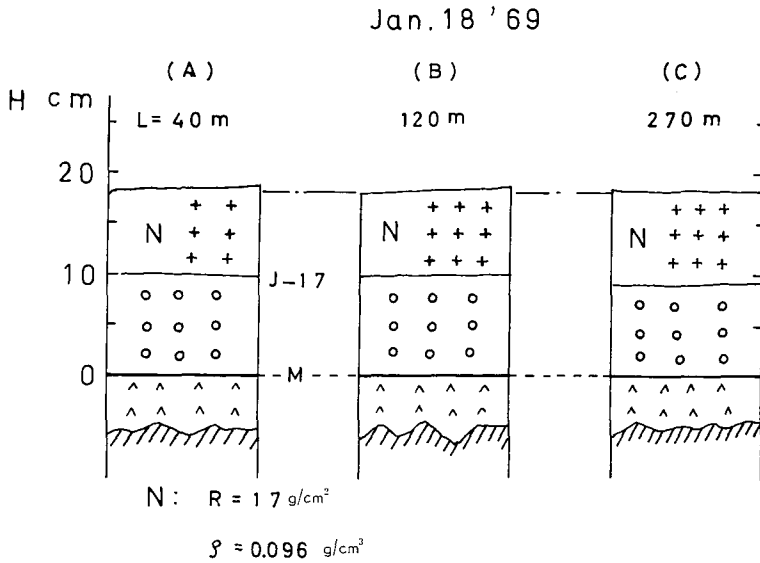
第2回(1月24日)は、地ふぶき後に行なった。降雪期間は22日17:00から

23日8:00にかけてで、23日11:00に新雪層の厚さを測定したら16 cmであった。この期間の平均風速は、1.2 m/sであった。新雪層は綿のように積った雪で密度の測定は、箱型のサンプラーでは不能であった。その時の硬度は1.53 g/cm²であった。23日の12:30頃から高い地ふぶきが降雪を伴って発生し、視界はゼロ状態(white out)となった。地ふぶき期間(23日



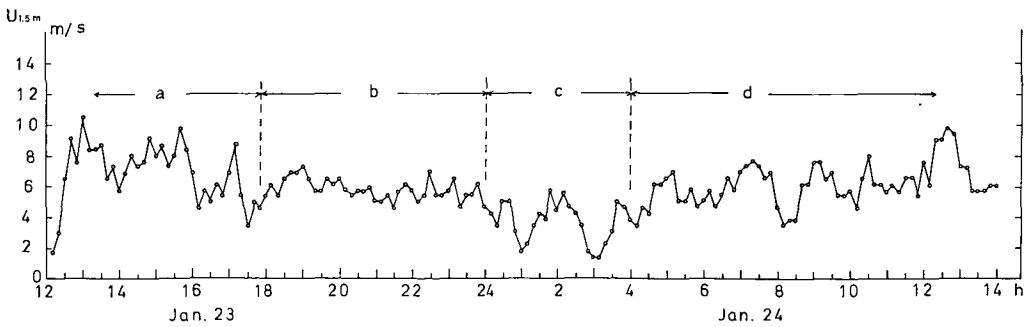
第1図 調査した雪原

NWの方向に向って風上側を見た写真。右側のプレハブ小屋は、本研究所気象学部門の地ふぶき定設観測小屋



第2図 1月18日の断面観測

風の弱い時の降雪が雪原に一樣に積もるかどうかを調べた。
 $L=40 \text{ m}$ とは風下側の基準点からNWの風上側に行った距離



第3図 定設観測地点での地ふぶき時の風速変動 (1月23~24日)

12:00~24日14:00)の風速変動を第3図に掲げた。表面の硬度 R 、密度 ρ は次のように変わっていった。

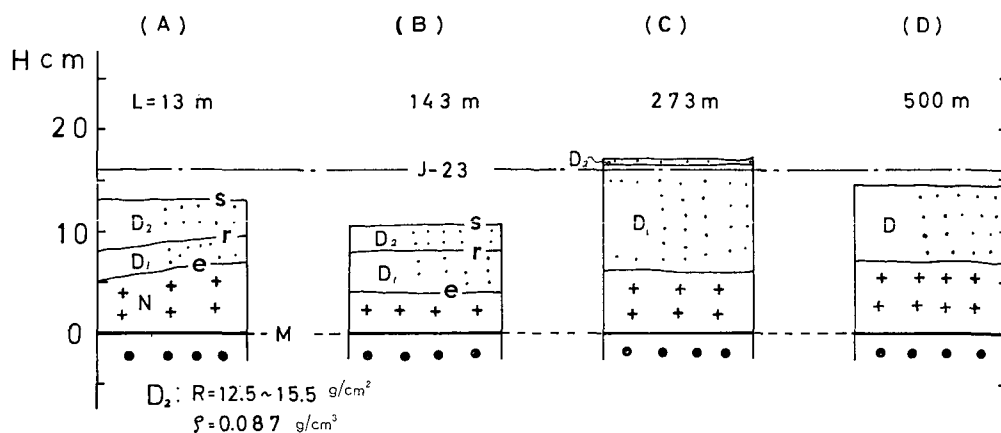
23日 (22:50); $R=9.6 \text{ g/cm}^2$, $\rho=0.0587 \text{ g/cm}^3$, 雪温 $T_s = -4^\circ\text{C}$

24日 (0:30); $R=14\sim15.5 \text{ g/cm}^2$, $\rho=0.0795 \text{ g/cm}^3$

24日 (1:55); $R=12.5\sim15.5 \text{ g/cm}^2$, $\rho=0.0872 \text{ g/cm}^3$

24日14:00頃から地ふぶきは弱くなったので、風上側に向かって、堆積変化を調べるため断面観測を行なった。その結果を第4図に示す。観測点の数が少ないので結論はでないが、著者等の子想は、風上側程新雪層の残部が少なく、地ふぶきによって移送されてきた堆積層の厚さも少ないだろうという事だったが、そのような傾向は見られなかった。図中の(D)は、最も風上側にあるが、地ふぶきの影響層が一層しか見られない。民家の影響で始めの新雪層の侵蝕

Jan. 24 '69



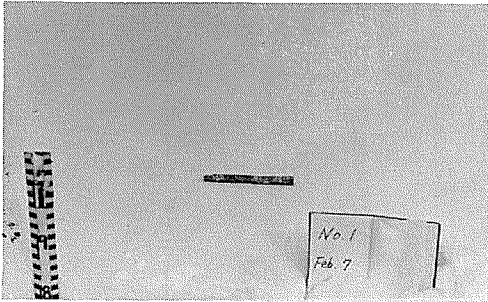
第4図 1月24日の断面観測

- N: 新雪層, 地ふぶき前(23日)には約16cmの厚さであった
 D₁, D₂: 地ふぶきによって堆積した層
 M: 断面観測の際の目印層

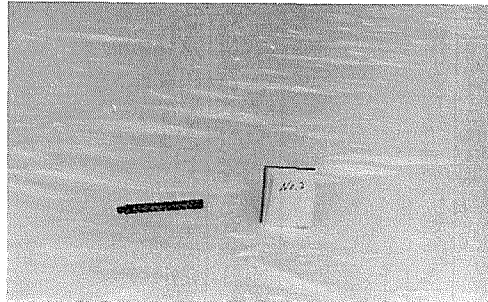
は思ったより著しくない。民家のすぐ風下なので風が多少弱まるため地ふぶきによる堆積量がかなりある。図中の(C)は、雪原のほぼ中央にNEの方向に道路が走っていて、道路の風下側は凹部を作っているのので、地ふぶきによる堆積量は著しく、23日の地ふぶき前の新雪層の表面よりわずかに増加している。図中(A), (B)においては、最初の強い地ふぶきで、eの面まで新雪層が侵蝕され、その時の風速は第3図のaの期間に相当する。次に風速が弱まり、地ふぶき中であっても、雪面は堆積状態となってD₁の層を形成した。その期間の風速はbの期間であろう。更に風速がcの期間のように弱まると地ふぶきは休止し雪面がrの所にできる。再び風速がdの期間のように増加し地ふぶきが発生し、堆積状態となりD₂の層が形成したと考えられる。

第3回(2月7日)は、4日20:00から5日11:00にかけて降雪があった。その間の平均風速は1.3 m/sで新雪深は48 cmであった。5日14:00頃から地ふぶきが発生し、15:30頃には10 m/sの風が吹き高い地ふぶきになった。その時の雪温は $T_s = -0.2^\circ\text{C}$ であった。地ふぶきは6日になっても続き10:00頃は高い地ふぶきのためwhite outの状態となり、雪面の密度は $\rho = 0.221 \text{ g/cm}^3$ (15:00)、雪温 $T_s = -6.5^\circ\text{C}$ (17:25)、硬度 $R = 150 \text{ g/cm}^2$ (18:00)であった。21:50頃やや低い地ふぶきとなった。

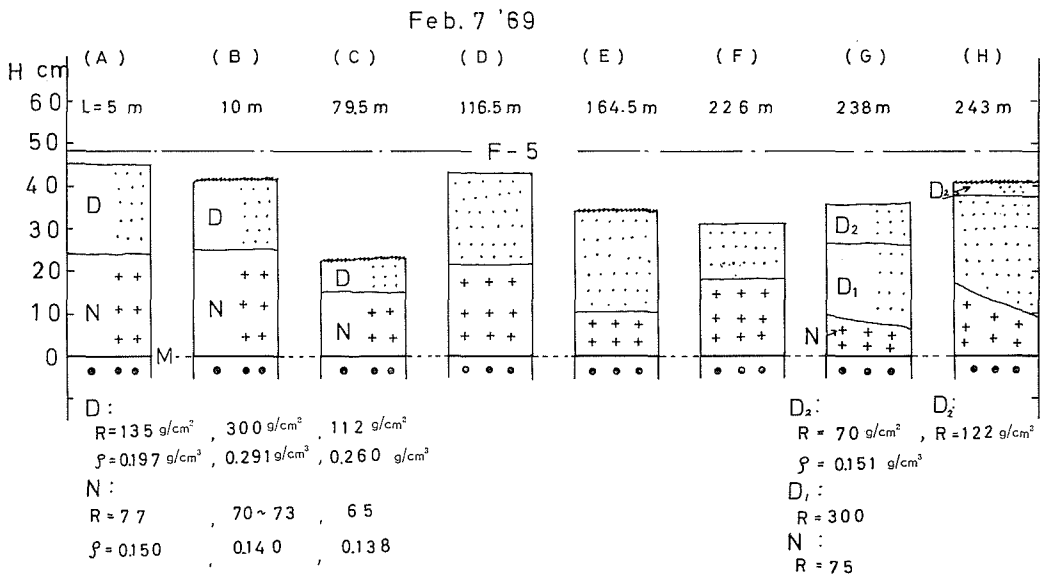
調査は7日13:00頃から行なった。雪面は第5図、第6図に示したような凹凸模様の群がある場所と全くない場所が10 m位の間隔で分布していたので(第2表)、それに着目して断面観測を行なった。その結果を第7図に示す。この図からは、侵蝕や堆積の状態の変化に規則性は見られない。もっと短い周期をもって波動状に変化していると思われたので、雪原の中央付近で8 m位の長さの断面を風向に平行に作った。その断面の写真を第8図に示す。これを詳しくスケッチしたものが第9図である。予想した通り始めの新雪層では、波動状に侵蝕を受けた様子ははっきりとわかる。第10図の地ふぶき期間中の風速変動と対応させると、始めの強い



第5図 凹凸のない雪面 (2月7日)

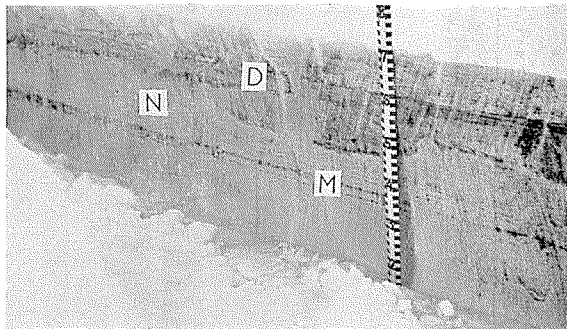


第6図 凸凹のある雪面 (2月7日)



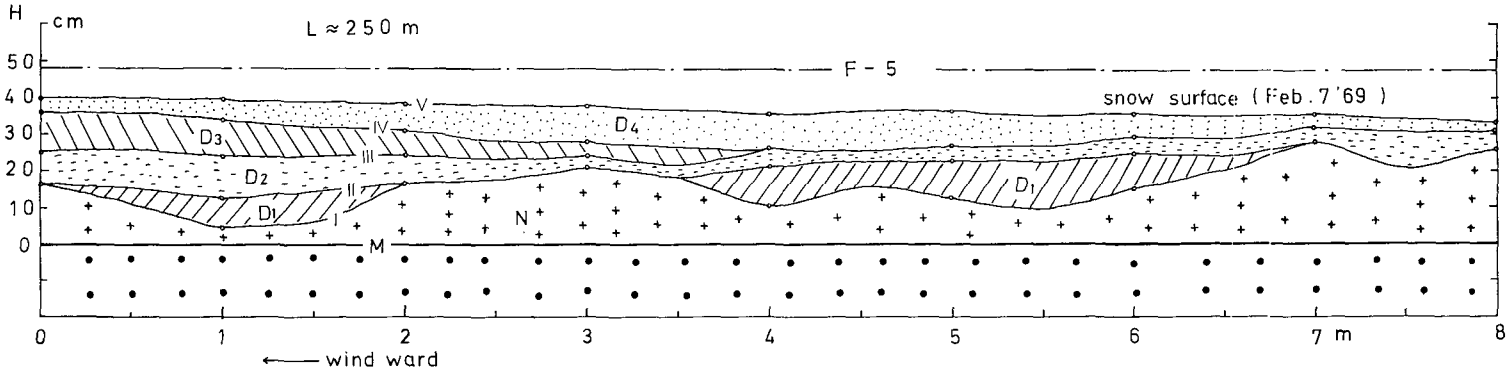
第7図 2月7日の断面観測

- N: 新雪層, 地ふぶき前 (2月5日) には 48 cm の厚さであった
 D: 地ふぶきによって堆積した層
 M: 断面観測の際の目印層
 (B), (C), (E), (H) 表面に凸凹模様がある
 (A), (D), (F), (G) 表面に凸凹模様がない

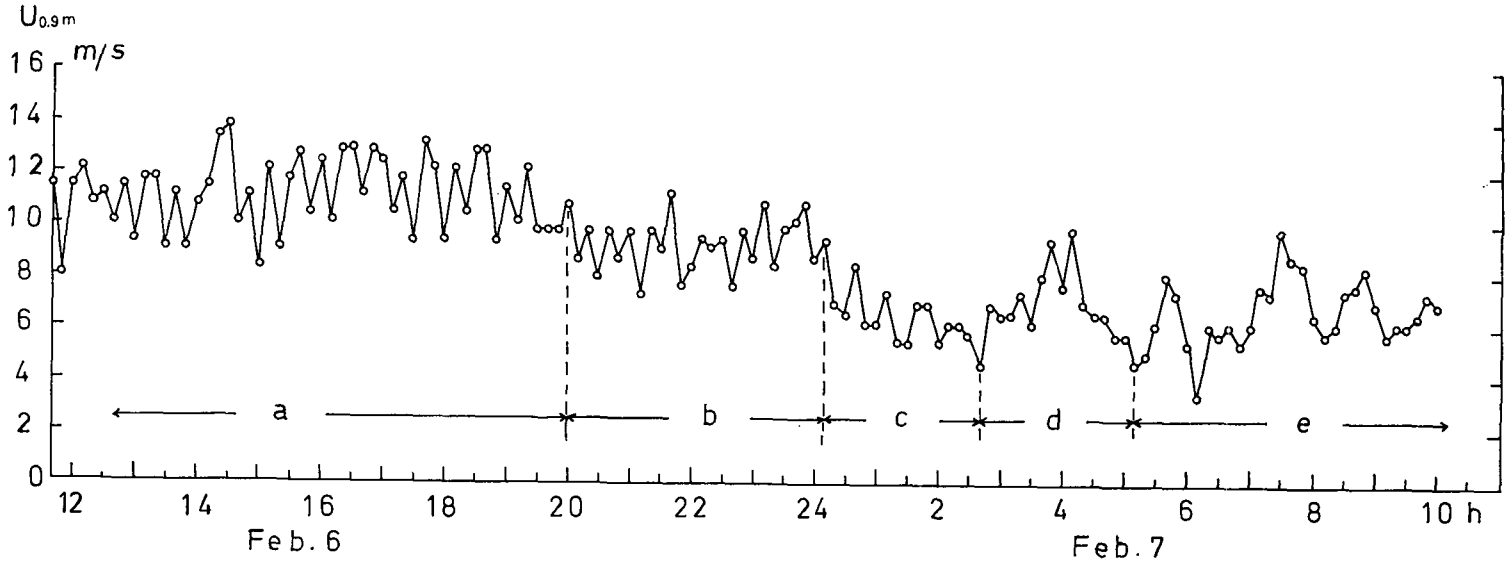


第8図 積雪表面層の長い断面観測

- N: 地ふぶきの影響を受けない新雪層
 D: 地ふぶきによる堆積層
 M: 目印層



第9図 第8図をスケッチした図



第10図 定設観測地点での地ふぶき時の風速変動 (2月6~7日)

第2表 サスツルギー群の間隔
(2月7日)

| 測定番号 <i>n</i> | 基準点から風上側への距離 <i>L</i> m | サスツルギー群の間隔 <i>x</i> m |
|------------------|----------------------------|--------------------------|
| 1 | 10 | 10 |
| 2 | 20 | 10 |
| 3 | 30 | 10 |
| 4 | 43 | 13 |
| 5 | 51.5 | 8.5 |
| 6 | 62 | 10.5 |
| 7 | 70 | 8 |
| 8 | 79.5 | 9.5 |
| 9 | 94.5 | 15 |
| 10 | 104.5 | 10 |
| 11 | 111.5 | 7 |
| 12 | 121.5 | 10 |
| 13 | 134 | 12.5 |
| 14 | 147.5 | 13.5 |
| 15 | 156.5 | 9 |
| 16 | 164.5 | 8 |
| 17 | 174.5 | 10 |
| 18 | 187 | 12.5 |
| 19 | 190 | 13 |
| 20 | 199.5 | 9.5 |
| 21 | 208.5 | 9 |
| 22 | 223 | 14.5 |
| 23 | 233 | 10 |

平均 $\langle x \rangle = 10.6$ m

標準偏差 $\sigma = \sqrt{\frac{\sum x^2}{n}} = 2.12$ m

変動係数 C.V. = $\frac{\sigma}{\langle x \rangle} \times 100 = 20\%$

地ふぶきで新雪層は I の面まで侵蝕された。その期間の風速は a で 11 m/s 位の風速である。次に風速が b の期間のように 9 m/s 位にやや弱くなると、雪面の凹部のみに、地ふぶきによる堆積層 D_1 が作られ雪面を平坦にしようとする。この時点では風速はまだ強いから侵蝕が優勢である。更に c の期間の如く風速が弱まると、堆積の方が優勢となり、 D_2 の堆積層が形成される。そして又 d の期間で一時風が強くなると凹部には堆積、凸部は侵蝕を受けるか又は全く堆積がないので IV の面が作られる。そして e のように、普通程度の地ふぶき時の風速となると、 D_4 の堆積層が形成される。

III. あとがき

著者等は、地ふぶきにおける堆積層の表面には、凹凸の著しい模様は作られず、侵蝕層の表面にサスツルギーのような模様ができるのではないかと予想した。この事は障害物がある場合の風の弱まる堆積領域と、吹きさらしの侵蝕領域とでは明らかに観察されたが⁷⁾、平坦な雪原では、第 9 図の如く、途中の I, II, III, IV 面の表面状態を観察しなかったので、V 面(表面)の第 5 図、第 6 図の模様を観察しただけでは、その場所の層が堆積層か侵蝕層かを判定する事はできなかった。地ふぶきの途中で、時間を示す目印を付けておくべきであった。ただ、サスツルギーの群の間隔が、第 2 表に示されるように一様なのは、風の乱流構造と関係があるのではないか。著者等は、超音波風速計の風

速変動から自己相関函数 $R(\tau)$ を計算している⁸⁾。この $R(\tau)$ が 0 になるまでの時間 T は、1 つの乱流の状態が(大きさが L と仮定)風速計を通過する時間と考えて、平均風速 \bar{U} との間に $T=L/\bar{U}$ の関係がある(井上, 1952)⁹⁾。この L の大きさが、数 m から数 10 m の間にあるので今後これとの関係を追求する予定である。同時に、平面的に風速計を並べて、空間相関函数をも測定する事を考えている。

終りに、終始御指導をうけた石田完助教授、並びに数々の助言と討論をしていただいた小島賢治助教授、小林大二氏と本研究 snowy 氷研究グループの方々に、又、データの整理、計算を手伝っていただいた佐藤みち子嬢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) Kotlyakov, V. M. 1961 *The Snow Cover of the Antarctic and its Role in the Present-day Glaciation of the Continent*. Israel Program for Scientific Translations, 264 pp.
- 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) Bagnold, R. A. 1954 *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*. Mehuten Co., London, 265 pp.
- 6) 大浦浩文・小林大二・小林俊一 1967 地ふぶき時における風速の垂直分布特性 I. 低温科学, 物理篇, **25**, 73-88.
- 7) 小島賢治・他 未発表.
- 8) 大浦浩文・小林俊一・小林大二 1968 地ふぶき時における風速の垂直分布特性 II. 低温科学, 物理篇, **26**, 315-328.
- 9) 井上栄一 1952 地表風の構造. 農業技術研究所報告, **A-2**, 93 pp.

Summary

After a snow drift formation, the present writers walked through the snow field (cf. Fig. 1) along the prevailing wind direction NW to observe the areal variation of the structure of newly deposited snow cover. The snow was examined, by means of pit wall observations, to determine whether an area was eroded or was deposited by a snow drift. The trip was made 3 times. The first trip was carried out to make certain whether the newly fallen snow cover was uniformly deposited on the snow field, when the mean wind speed during snow-fall was 0.5 m/s. (cf. Fig. 2). The second trip and the third trip were carried out after uniform accumulation of new snow which was followed by drifting snow. The results are shown in Fig. 4 and Fig. 7 respectively. The variation of the feature of pit walls from an eroded area to deposited area could not be observed in detail at the small pits in these figures. Thus it was attempted, in the third trip, to make a long trench about 8 m in length along the prevailing wind direction as shown in Fig. 8 and Fig. 9.

The stratigraphic structure in Fig. 9, which was caused by alternative occurrences of erosion and deposits in each portion of the long pit wall, was found to have a close connection with the variation of wind speed with time as shown in Fig. 10.

On the third trip through the snowfield we also observed eroded regions and non-eroded regions on the snow surface as shown in Fig. 7 and Fig. 6 respectively. As shown in Table 2 the mean distance between one eroded region and another was 10.6 m. (The standard deviation and the coefficient of variation were calculated, i. e., $\sigma = 2.12$ m, $c.v. = 20\%$). These facts may be interesting in connection with the wind turbulence.