



| | |
|------------------|---|
| Title | 地ふぶき時における積雪表面層の侵蝕と堆積 II |
| Author(s) | 小林, 俊一; KOBAYASHI, Shun'ichi; 石川, 信敬 他 |
| Citation | 低温科学. 物理篇, 28, 135-140 |
| Issue Date | 1971-03-25 |
| Doc URL | https://hdl.handle.net/2115/18145 |
| Type | departmental bulletin paper |
| File Information | 28_p135-140.pdf |



地ふぶきにおける積雪表面層の侵蝕と堆積 II*

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 45 年 8 月 8 日受理)

I. ま え が き

積雪地における雪面と風の相互作用の研究は、地ふぶきの現象の解明のために重要である。風が弱い時、非常に平坦な雪原に降雪があり、新雪が厚く積もると、その後の強風による地ふぶきの発生のために、積雪表面層は飛雪粒子を介して侵蝕と堆積がくり返される。その結果、雪面にはいろいろな凹凸の様子が観察される事を前に報告¹⁾した。風の中には乱流構造があるので、特に雪面が軟かい新雪で被われている場合には、地ふぶきによってなんらかの乱流構造の側面を雪面に痕跡として残すに違いない。この事は大気乱流の研究とも関連して興味がある。小林、石田²⁾は超音波風速計を用いて風の乱流と雪面との相互作用を研究している。

今回は主に、雪面にできる sastrugi 群の間隔や波状模様の波長と風の乱流要素の大きさとの関係について報告する。

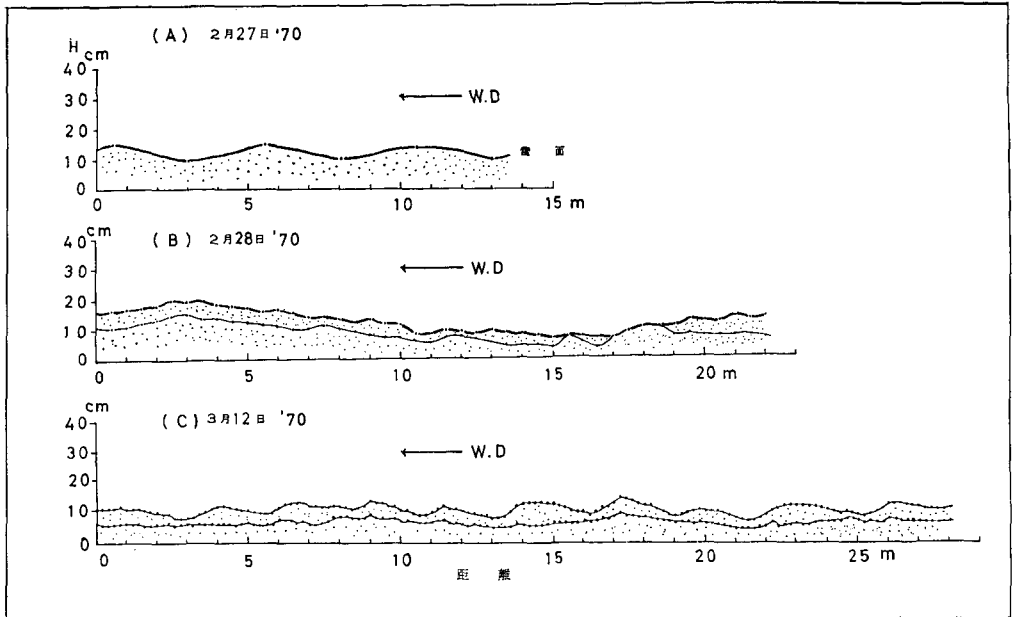
II. 観測方法と測定結果

観測は 1969 年 12 月から 1970 年 3 月の冬期間、北海道大学の農場で行なった。この雪原の大きさは約 600×600 m で地ふぶき時の主風向はほとんど北又は北西である。大部分の測定はこの風下側で行なった。観察の対称としたのは細かいさざなみ模様 (ripple) とか、sastrugi の一つ一つではなく、これらが群を成している分布状態、特にこれらの群の間隔と波状模様 (海のうねり波に似ている) の波長についてである。何故なら、超音波風速計で測定した乱流要素の大きさ³⁾とこれらの大きさがほぼ一致する事がわかったからで、以下にそれぞれの観測例について述べる。

(1) 波状模様の観察

波状模様とは、海のうねり波に似た外観を呈し、軟かい新雪が厚く表面を被っている時に、強い風が吹き地ふぶきが発生する事によって作られる。これは主に地ふぶきの最盛期に観察される (図版 I (a), (b))。地ふぶきが休止に近づく減衰期には、雪面は平坦になる傾向があるのでこの模様は消される事が多い。又地ふぶき休止後にも雪面にその痕跡をとどめている場合もあ

* 北海道大学低温科学研究所業績 第 1091 号



第1図 波状模様 の 断面図

- (A) 2月27日 $\lambda \approx 5 \sim 6 \text{ m}$, $U_{1m} \approx 8.0 \text{ m/s}$
 (B) 2月28日 $\lambda \approx 13 \text{ m}$, $U_{1m} \approx 3.3 \sim 4.0 \text{ m/s}$
 (C) 3月12日 $\lambda \approx 2.8 \text{ m}$

る(図版 I(c))。その時には積雪表面層に断面を作って観察した。その例を第1図に示す。ただし図中の(A)は、地ふぶきの最中に山と谷の深さ、波長を測定したもので、(B)、(C)は地ふぶき休止後に断面を作って測定したものである。以下にその観測例について述べる。

観測例 1; 2月5日 17:00 頃観察した例が図版 I(a)である。波状模様は風向に対して直角に並び、海岸に波が打ち寄せる状況に似ている。この時の山から山までの距離、即ち波長は5.5~6 mで波高は5~6 cmであった。そして谷の所には例外なく小さな sastrugi ができていた。15:00の新雪層の厚さは5 cm位でその時は中位の地ふぶきで、その後降雪を伴った高い地ふぶきに変わった。谷の所は明らかに侵蝕部分である。平均風速は1 m 高で約8~10 m/sであった。

観測例 2; 2月27日 10:00 頃、低気圧性の強い北西の風が吹き、降雪を伴った高い地ふぶきとなった。新雪の厚さは約10~14 cmで、10:30頃雪面上には図版 I(b)、第1図(A)のような波長が約5~6 mの波状模様が観察された。谷の所には例外なく波漣(ripple)ができていた。この期間の1 m 高の平均風速は約8 m/sで、気温は -4.0°C 、雪温は -3.5°C であった。翌28日 12:00に積雪表面層を断面観測した結果が第1図(B)である。波長が約13 mでゆるやかになっている。これは27日 17:00頃の地ふぶき減衰期に作られたもので、その時の1 m 高の平均風速は約3.3~4.0 m/sであった。

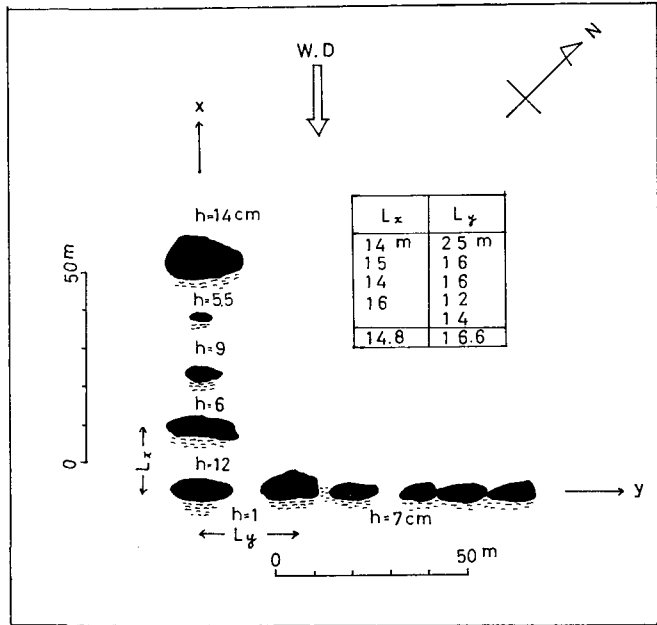
観測例 3; 3月11日に降雪を伴った高い地ふぶきがあり、翌12日 16:00に断面観測を行なった結果が第1図(C)である。地ふぶき休止後も雪面に波状模様を残していた。図版 I(c)に

雪面の写真が示されている。

(2) Sastrugi 群の観察

雪面が新雪でなく比較的硬い表面 (例えば, 雪面の硬度が $50 \sim 100 \text{ g/cm}^2$, 密度が $0.1 \sim 0.18 \text{ g/cm}^3$) の場合には, 地ふぶき時の雪面の模様は波状模様が観察されずに, 図版 I (d)~(f) に掲げたような sastrugi 群がある間隔をなして分布している。これらの間隔は, 前述の波状模様の波長に対応すると考えて, この場合には主にこの間隔の測定を行なった。以下にその観測例について述べる。

観測例 1; 12月26日, 降雪を伴った強い地ふぶきがあり, 翌27日に雪面の観察を行なった。図版 I (d) の写真の如く, 侵蝕された部分は下の古い積雪面にまで及び, 黒く見える凹



第2図 ある間隔で分布している侵蝕域のスケッチ図 (12月27日) 黒い部分は新雪の下の古い積雪面, h は新雪の厚さを示す

侵蝕された部分は下の古い積雪面にまで及び, 黒く見える凹

第1表 sastrugi 群の分布*

| (A) 1月15日 '70 | | | (B) 2月23日 '70 | | |
|-----------------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------|
| sastrugi 群の幅 x m | sastrugi のない領域の幅 y m | sastrugi 群の間隔 x_s m | sastrugi 群の幅 x m | sastrugi のない領域の幅 y m | sastrugi 群の間隔 x_s m |
| 6 | 3 | 9 | 5.2 | 10.6 | 15.8 |
| 4 | 3 | 7 | 4.2 | 7.4 | 11.6 |
| 5 | 2.5 | 7.5 | 4.0 | 6.6 | 10.6 |
| 2 | 1.5 | 3.5 | 4.7 | 5.3 | 10.0 |
| 5 | 4.5 | 9.5 | 6.0 | 10.0 | 16.0 |
| 7.5 | 2.5 | 10.0 | 3.0 | 8.0 | 11.0 |
| 2 | 3 | 5 | 5.7 | 12.0 | 17.7 |
| 4 | 2 | 6 | 9.9 | 9.6 | 19.5 |
| 3 | 1.5 | 4.5 | 6.0 | 7.5 | 13.5 |
| 2.5 | 2 | 4.5 | 5.5 | 6.5 | 12.0 |
| 4.5 | 3.5 | 8.0 | 5.0 | 5.0 | 10.0 |
| 5 | 6 | 11 | | | |
| 3 | 1.5 | 4.5 | | | |
| 5 | 4 | 9 | | | |
| 5 | 3 | 8 | | | |
| 平均 | | 7.13 | 平均 | | 13.4 |

* 風向に沿う直線上で, sastrugi のある領域の幅 (x) とない領域の幅 (y) をそれぞれ測定し, sastrugi 群の間隔を $x_s = x + y$ とした

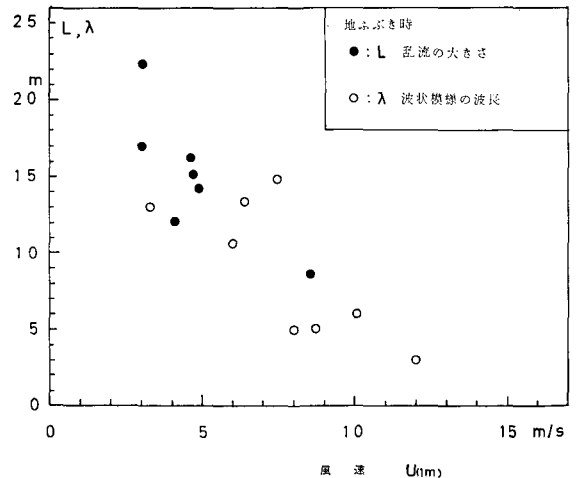
部となって点在していた。これをスケッチしたのが第2図で、風向に平行な凹部の配列の間隔は約14.8m、風向に直角な凹部の配列の間隔は約16.6mであった。凹部の風下側には sastrugi が見られた。地ふぶき時の1m高の平均風速は約7.5m/sであった。

観測例2; 1月14日17:30頃、降雪を伴った高い地ふぶきがあり、雪面には波長が約5mの波状模様が観察された。この時の1m高の平均風速は約8.7m/sであった。翌15日10:00に雪面の観察を行なった。その雪面の写真が図版I(e)に示されている。sastrugi 群と共に波状模様も認められる。sastrugi 群の間隔を測った結果を第1表(A)に示した。間隔の平均は7.13mであった。

観測例3; 2月23日12:00、降雪を伴った地ふぶきがあり、雪面は図版I(f)に見られる小さな sastrugi 群が観察された。雪面の硬度は、sastrugi 上で 27 g/cm^2 、侵蝕されていない雪面の所が 17 g/cm^2 であった。雪面の密度はいずれも約 0.1 g/cm^3 、雪温は -9.5°C 、気温は -8.3°C であった。これら sastrugi 群の間隔を測定した結果を第1表(B)に示した。間隔の平均は13.4mで、地ふぶき時の1m高の平均風速は約6.4m/sであった。

III. 風の乱流の大きさと雪面模様との関係

雪面上に見られる波状模様の波長とか、sastrugi 群の間隔とかは、雪面近い大気の中に卓越する乱流の大きさとの関係がある。風の乱流と、雪面が飛雪粒子を介して相互作用した結果、乱流の痕跡が雪面に保存される。小林、石田²⁾が超音波風速計を使って、約0.5秒の風速変動の測定から乱流の大きさを求めた結果と比較したのが第3図である。図では、横軸の1m高の平均風速に対して、縦軸に乱流の大きさと波状模様の波長を表わしてある。風速が大きくなると、地ふぶきは強くなり乱流の大きさも、波状模様の波長も共に小さくなる。即ち、地ふぶき時の乱流の大きさと雪面の波状模様の波長は、両者が同時に観測されたのではないが、ほぼ一致するものと考えられる。



第3図 平均風速と風の乱流の大きさ及び波状模様の波長との関係

IV. あとがき

地ふぶき時にできる波状形侵蝕痕³⁾(例えば、小規模なものには ripple, sastrugi, 波状模様 (snow wave), snow barchan. 大規模なものに snow dune⁴⁾がある。)の生成のメカニズムを解明するには、saltation の機構と、風の微細構造についての詳しい研究が必要である。筆者等は、この模様を巨視的に観測して、sastrugi 群の間隔及び波状模様の波長が、超音波風速計で

測定した乱流の大きさ(約0.5秒の風速変動から求めた)とほぼ一致する事に注目した。又この様な波状模様は、問寒別にある低温科学研究所雪崩観測実験斜面でも観察されている。この場所が秋に笹竹で被われている時に、斜面上を吹く風のためその表面にある広がりを持った模様群が移動してゆくのを筆者等は観察している。この種の類似した現象としては他に、風浪⁵⁾、穂波⁶⁾、sand wave⁷⁾等があり、更に大規模な例として、広大な砂漠上で見られる longitudinal sand dune⁸⁾がある。これは大気境界層の中で卓越する helical roll vortices による事が観察されている。これらは雪面模様と同じく、風と風に接する面との相互作用によって現われる特徴的な現象として興味がある。

終わりに、本報告を書くにあたり、御指導を受けた石田完教授に、又討論に参加していただいた本研究所雪氷研究グループの方々に深く感謝いたします。

文 献

- 1) 小林俊一・石川信敬 1969 地ふぶきにおける積雪表面層の侵蝕と堆積 I. 低温科学, 物理篇, **27**, 107-114.
- 2) 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**, 125-134.
- 3) Mellor, M. 1965 Blowing Snow. Cold Regions Science and Engineering (F. J. Sanger ed.), CRREL Monographs, Part III, Sect. A 3 C, 79 pp.
- 4) 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.
- 5) 国司秀明 1964 風浪発生之谜. 自然, **6**, 109-116.
- 6) 井上栄一 1955 穂波の研究 (I). 農業気象, **11**, 18-22.
- 7) 矢野勝正・芦田和男・田中祐一郎 1965 砂漣に関する実験的研究 (第一報). 京大防災研究所年報, 第 8 号, 271-280.
- 8) S. R. Hanna 1969 The formation of longitudinal sand dune by large helical eddies in the atmosphere. *J. Appl. Meteorol.*, **8**, 874-883.

Summary

Snow waves and eroded regions (groups of sastrugi) as shown in Plate I (a)~(f) were seen on snow fields not only during drifting snow but also after drifting ceased. Measurements of the wave lengths of snow waves and the spacings of eroded regions were made in a snow field on the Hokkaido University Farm from Dec. 1969 to March 1970. The observed spacings of snow waves were nearly of the same order of magnitude as the scale of turbulence element obtained by the use of an ultra-sonic anemometer. The result is shown in Fig. 3. For example, when the mean wind speed at a height of 1 m above the snow surface was about 5~6 m/s, the spacing of groups of sastrugi was 13.4 m (Feb. 23, 1970) and the scale of turbulence was about 14~16 m (Feb. 20, 1969).

図 版 説 明

- I-a**; 1970年2月5日17:00の地ふぶき時における波状模様。波長5.5~6 m, 波高5~6 cm, 風向は写真の下から上
- I-b**; 1970年2月27日10:30の地ふぶき時における波状模様。波長5~6 m, 波高5~6 cm, 風向は写真の上から下
- I-c**; 1970年3月12日16:00撮す。11日の地ふぶき時にできた波状模様。風向は下から上
- I-d**; 1969年12月27日撮す。26日の地ふぶき時にできた侵蝕域(黒い部分)の分布。風向は左上から右下
- I-e**; 1970年1月15日撮す。14日の地ふぶき時にできた sastrugi 群の分布。風向は右下から左上
- I-f**; 1970年2月23日12:00の地ふぶき時における sastrugi 群の分布。風向は左上から右下

