HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	吹雪における雪粒子の運動の観察
Author(s)	荒岡, 邦明; 前野, 紀一
Citation	低温科學. 物理篇, 39, 49-54
Issue Date	1981-03-18
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18412
Type	departmental bulletin paper
File Information	39_p49-54.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Kuniaki ARAOKA and Norikazu MAENO 1980 Observations of Particle Motions in Blowing Snow. *Low Temperature Science Ser. A, 39.* (With English Summary p. 54)

吹雪における雪粒子の運動の観察*

荒岡邦明**
(北海道大学大学院　理学研究科)

前野紀一
(低温科学研究所)

(昭和55年10月受理)

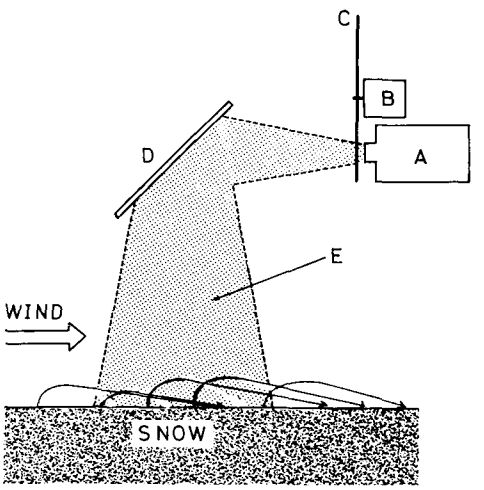
I. 緒　　言

吹雪は，雪の流動化現象の一つと考えることができる[1,2]。流動状態の雪に於て最も重要な物理過程は雪粒子の運動であるが，個々の雪粒子の運動を直接観測する研究は未だ行なわれていない。飛砂の研究に於てはBagnold[3]やChepil[4]が砂粒子の運動の軌跡を写真撮影した。同様の方法は，地吹雪に於ける雪粒子の運動にも適用された[5,6]。しかし，いずれの場合も，軌跡の形のみが重要視され，個々の雪粒子の運動については解析されなかった。

我々は，個々の雪粒子の運動を室内の風洞でも野外でも比較的容易に調べることができる装置を組み立てた。それは，原理的にはBagnold以来この分野で古くから用いられてきた手法と同じである。しかし，光源には適当な時間間隔の信号が加えられている為，1枚の写真から個々の粒子の運動の軌跡と同時に，各時刻に於ける速度や加速度を知ることができるという利点を持っている。本報告では，この装置の特長とその応用の可能性について述べ，測定結果の詳細は別に報告する[7,8]。

II. 雪粒子の撮影装置

第1図は吹雪に於ける雪粒子の運動を撮影する装置の略図である。光源（スライド・プロジェクター）から発せられた光は，スライド・マウントに差込んだスリットを通り，光の幕となって雪面に鉛直に投影される。雪面上での光の幕の幅は7 mm，長さは17 cmである。スライド・プロジェクターの前面にはシンクロナス・モーターに連結したアクリルの透明円板が一定速度で回転している。円板には，一定時間間隔で光を遮蔽する様に縞状に塗装が施こされてい



第1図　測定装置。A：スライド・プロジェクター，B：シンクロナス・モーター，C：円板，D：鏡，E：光の幕

*　北海道大学低温科学研究所業績　第2277号
**　現所属，基礎地盤コンサルタンツ（株）

る。円板の回転数は25 Hzと50 Hzの2段階に切り替えることができ，縞の数は18本と36本の2種類の円板が用いられた。

光の幕に照らされた雪粒子の運動は真横から，できる限り近い距離（約25 cm）から撮影された。使用したレンズはニコン製のマイクロ・ニッコール（50 mm, f 3.5）で，撮影の感度を高くする為にレンズの絞りは開放とし，フィルム（Kodak製 TRI-X）の現像時間は32分（ASA感度6400に相当）に延ばした。このようにして撮影された写真の軌跡には一定時間間隔で切れ目が入り，これがタイムマークとなる。雪粒子が完全に光の幕の中を通過する時，粒子速度は最高180 m/sまで読み取れるが，光幕を横切る粒子の場合は10 m/sが限度である。

我々の方法では1枚の写真の上で粒子の運動の軌跡を容易に辿ることができ，なお且つ各時刻の速度が求められるという利点がある。この点では粒子の速度が求められない従来の軌跡のみの写真や，軌跡の形が簡単には得られない高速度カメラによる撮影及び閃光時間の短かいストロボの連続発光による撮影などと比べて優れている。しかし，我々の方法では個々の粒子の形状，或いはそれらの回転運動を正確に捉えることはできない。この点は雪粒子を捕捉したり，ストロボ装置を併用することによって補なえるものと考えられる。照明用の装置全体は1個の木箱（50 cm×50 cm×50 cm）に納められ，野外での観測にも使用されるように工夫された。

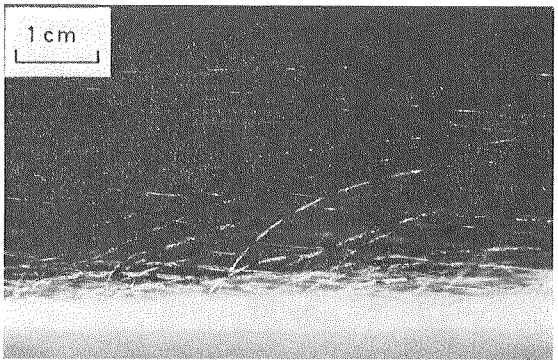
III. 結　　果

雪粒子の運動は雪面の形や風の構造等に依って複雑な影響を受ける。ここでは雪粒子の運動についての詳細な議論は省き，我々の装置で得られたいくつかの写真の例を示す。

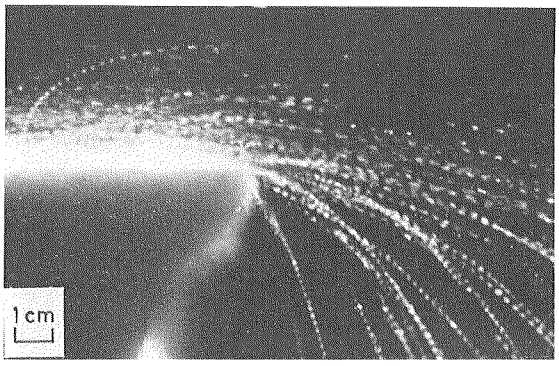
1. 風洞内の吹雪

実効長8 mの低温風洞（−9.0°C）の底面にほぐした雪を水平に一様に敷き，人工的に吹雪を起こした。この時の雪粒子の写真が第2図である。雪粒子の運動の方向は写真の左から右であり，各粒子の軌跡の途切れの間隔が3.6×10^{-3}秒である。各時刻に於ける雪粒子の速度や加速度はタイムマークの間隔を測ることによって容易に求めることができる。

単一の軌跡の中で光ったり光らなかったり，或いはある瞬間だけ何回も光って写っている場合があるが，これは雪粒



第2図　水平な雪面上の雪粒子の運動。雪面から25 cmの風速5 m/s。タイムマークの間隔3.6×10^{-3}秒，カメラの露出時間0.5秒



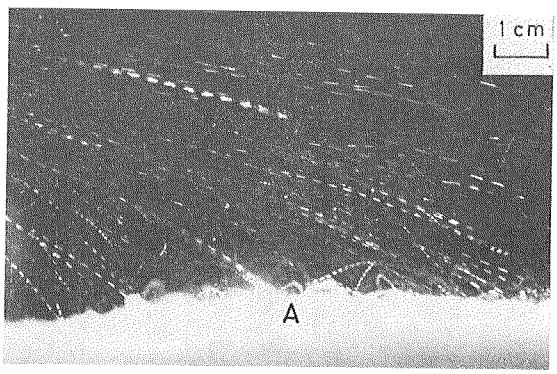
第3図　階段をつけた雪面での雪粒子の運動。階段の上端表面から20 cm上空の風速5 m/s

子の回転によるものと考えられる。通常，雪粒子の形は複雑であるから，全ての面が等しい反射率を持っているとは限らない。従って，この写真は，吹雪に於て雪粒子が複雑な回転運動を伴なって移動していることを明らかにしたことになる。

又，この写真には吹雪に於ける雪粒子の三つの運動型，即ち滑り (creep)，跳躍 (saltation)，及び浮遊 (suspension) の全てが写っている。

第3図は，水平な雪面に高さ5 cm の階段を作った時の写真である。階段の形は，初めは直角であったが，風下側には時間の経過とともに雪庇が成長した。写真は雪庇が約3 cm 風下側に成長した時の状況である。階段のすぐ風下には気流が渦を巻き，逆流している領域が存在することが知られているが，この写真には渦に巻き込まれて運動している雪粒子は写っていない。これは光幕が雪庇に遮蔽されている為と，逆流に追従する微小粒子が消えるような写真現像をした為である。この写真からは，跳躍しながら階段を通り越して行く粒子の運動の様子や，階段および雪庇の風下で雪粒子が風の抵抗と重力の複雑な力を受けて落下しているのがわかる。

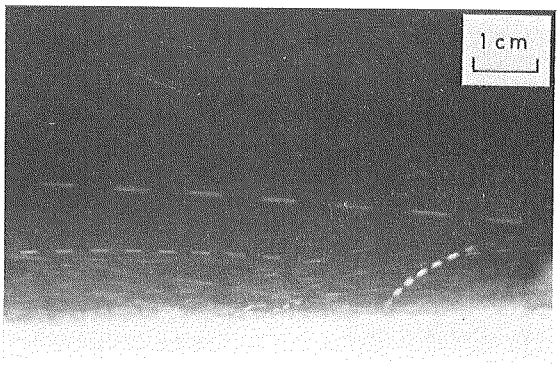
水平な雪面上に階段がある時，階段の後方には吹き溜りができるが，この時の雪粒子の運動を第4図に示す。階段の高さは5 cm で，これは階段の後方 10 cm 付近の写真である。階段の所で剝離した風の境界層が風下で再び雪面に着く点（第4図，A）の近くでは堆積が最大になり，雪粒子は大きさによってA点の前後に分配される。つまり粒径や速度が大きい雪粒子はA点或いはより風下に分配され，慣性の小さい雪粒子は逆流によって階段に近い所に分配される。しかし，この写真からは吹き溜りでの雪粒子の堆積には粒子の慣性だけでなく，雪面での雪粒子の反発や破壊などの複雑な効果が関係していることが示唆される。



第4図　階段後方の吹き溜り付近での雪粒子の運動。雪面から 25 cm の風速 5 m/s

2. 野外での雪粒子の運動

第5図は新雪上で弱い吹雪が起っている時の雪粒子の運動の軌跡である。観測当時（1980年2月29日，羽幌）雪面は軟らかかったが，このような時でも雪粒子は雪面を跳躍し得ることが理解される。

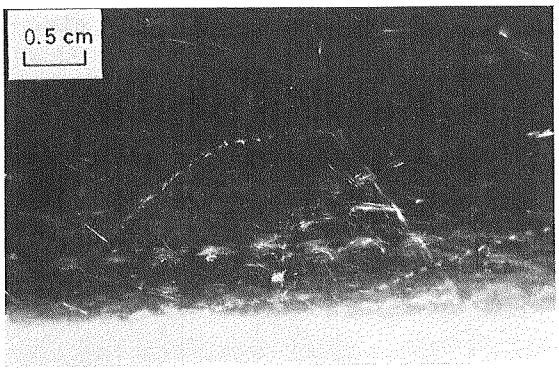


第5図　新雪の上での弱い吹雪。風速 4 m/s（高度 15 cm）。温度 −8.0°C

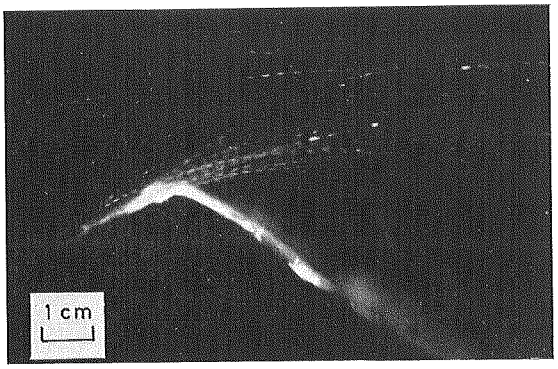
強い吹雪の時の雪粒子の運動の写真が第6図である。風洞での軌跡や野外での弱い吹雪の時の軌跡と比較して，各粒

子の運動は非常に不規則である。短かい軌跡が多く見られるのは主風向に平行に投影された光の幕を雪粒子が横切って運動したことを示している。又，軌跡が急に曲ったり，非常に大きな落下速度を持つ雪粒子が存在するのは，強い吹雪に於て地表付近の風は激しく変動し，雪粒子の運動に複雑な影響を及ぼしているからである。特に，強い吹雪の写真に見られる太い，けば立った不規則な形の軌跡は，いくつかの雪粒子が一塊となって運動していたり，空中で破壊したりすることを示している。

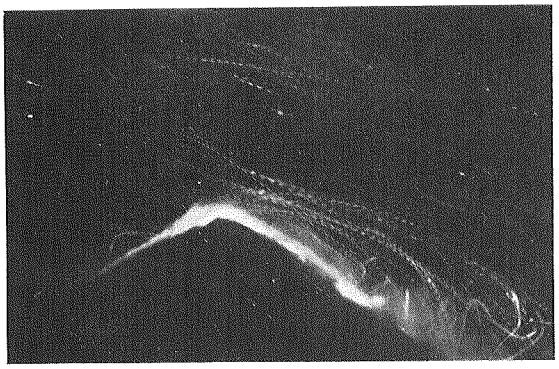
水平な雪面に長さ26cmの斜面を作った時の雪粒子の運動の例を第7と8図に示す（1980年3月20日，大雪山湧駒別）。これは，新雪の上に高さ15cm，断面が三角形の土手状の障害物を作った時の周辺の雪粒子の運動を示す写真である。吹雪は送風器を用いて人工的に起こした。送風器は風車型で口径3.1cmの吹き出し口を持ち，吹き出し口での風速は20 m/sのものを用いた。風が一定方向に吹いている時，風上側の上り斜面で空気の流れが斜面に押しつけられ，これに対応して吹雪層も薄くなっている。風の強さや向きを振動させた時には，風下側の下り斜面上に複雑な軌跡が見られる（第8図）。



第6図 強い吹雪の時の飛雪粒子の運動。風速6.9 m/s（高度50 cm）。温度 −3°C



第7図 小さな斜面の周辺での雪粒子の運動。20 m/sの風を5m離れた所から吹かせた。温度 −14°C



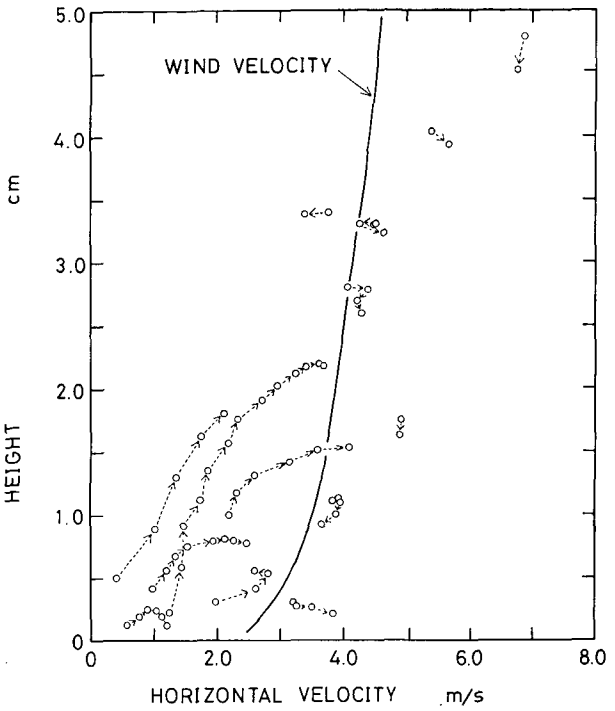
第8図 小さな斜面付近での雪粒子の運動。風向，風の強さに変化を与えた時。温度 −14°C

IV. 雪粒子の運動の解析例と結論

タイムマークの入った軌跡からは，各瞬間に於ける雪粒子の速度や加速度を求めることができる。風洞の水平な雪面上での吹雪の観測から得られた雪粒子の水平速度成分を数例第9図に示す。各点を結んでいる破線は雪粒子が運動した経過に対応している。又，図中の曲線はピトー管によって測定された平均風速である。雪粒子が上昇するとともに風によっ

て加速され，周囲の風と同程度の速度に迄なること，又逆に下降する時には大きくは減速されないことなどが理解される。この図からは雪粒子の各瞬間の加速度或いは減速度を求めることができるが，その結果は風と雪粒子の相互作用，特に雪面付近の風の構造について重要な情報を与える。雪粒子の運動についてのもっと詳しい解析は別に報告することにする。

この方法で求められる速度，加速度の相対誤差は誤差伝播の考えから見積ることができる。写真上の読み取りはディジタイザー（YHP 社，9864 A 型）で行なわれたが，その読み取り誤差及び回転円板の縞の間隔の誤差を考慮すると，速度，加速度の誤差はそれぞれ最大，11% 及び 20% となる。



第9図　雪粒子の水平速度の変化

これ迄，吹雪が起こっている時の雪面近傍の風の構造は直接測定されたことは余り無く，上空の雪粒子が少ない所での風の測定値から外挿されたり[3]，或いは，吹雪層の中で雪粒子の空間分布が一定に保たれるということを考慮して，理論的に求められたりしてきた[9]。しかし，吹雪層の中の風の構造は，風と雪粒子の相互作用を通じて求められるのが本筋であろう。この時，雪粒子の運動を比較的容易に観測且つ解析できる本装置は有効な研究手段となると考えられる。

最後に，風洞実験と野外観測に於ては，金田安弘氏（日本気象協会北海道本部），鴻野繁和氏（日本気象協会東京本部），大学院生の竹井巌氏及び堀内康光氏のお世話になった。又，写真撮影用照明装置の考案については北見工業大学の高橋修平氏に，ディジタイザーの使用については藤岡敏夫教授にお世話になった。心から感謝の意を表します。この研究に要した費用の一部は，文部省科学研究費補助金から支出された。

文　献

1) 前野紀一・西村浩一 1978 流動状態の雪の研究 I. 流動状態の雪の生成とその一般的性質. 低温科学，物理篇，**36**, 77-92.
2) Maeno, N. and Nishimura, K. 1979 Fluidization of Snow. *Cold Regions Sci. Tech.* **1**, 109-120.
3) Bagnold, R. A. 1936 The movement of desert sand. *Proc. Roy. Soc. Lond.*, **A 157**, 594-620.

4) Chepil, W. S. 1945 Dynamics of wind erosion: I. Nature of movement of soil by wind. *Soil Sci.*, **60**, 305-320.
5) 大浦浩文・小林大二・小林俊一 1967. 低い地ふぶきにおける飛雪の運動. 低温科学, 物理篇, **25**, 89-97.
6) Kobasashi, D. 1972 Studies of snow transport in low-level drifting snow. *Contr. Inst. Low Temp. Sci.* **A, 24**, 1-58.
7) Maeno, N., Araoka, K., Nishimura, K. and Kaneda, Y. 1979 Physical aspects of the wind-snow interaction in blowing snow. *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Ser.* VII, **6**, 127-141.
8) Araoka, K. and Naeno, N. Dynamical behaviors of snow particles in the saltation layer (in preparation).
9) Owen, P. R. 1964 Saltation of uniform grains in air. *J. Fluid Mech.*, **20**, 225-242.

Summary

Particle motions were photographed in blowing snow by use of a special photographic apparatus under the illumination with time marks. The screened beam of light, intercepted periodically by a rotating disk, was cast vertically onto a snow surface. Photographs of trajectories of snow particles contained time marks, from which velocities and accelerations could be estimated. The interval of the time marks was chosen to be 2.2×10^{-3}, 1.1×10^{-3}, and 5.6×10^{-4} seconds depending on wind velocities.

Many photographs were taken in a cold wind tunnel (-9°C) and a natural blowing snow field; three types of particle motions in snow drifts, viz., creep, saltation and suspension were confirmed and complex trajectories of particles near the steps, slopes and cornices were also obtained.