表面積雪粒子の飛び出し風速の観測

佐藤研吾　谷藤崇　高橋修平　（北見工大）

1）はじめに

積雪表面の粒子の変態に伴う吹雪発生条件の変化を明らかにするために、ミニ風洞（図 1）で表面積雪粒子の飛び出し風速の測定および積雪表面変化の観測を行った。また雪粒子間の結合力を調べるために、積雪表面における引張り実験、安息角の実験を行い、野外における地吹雪の計測により自然地吹雪との対応を調べた。なお上記した実験、観測は低温室を使わず、すべて北見工業大学グラウンド露場にて行った。

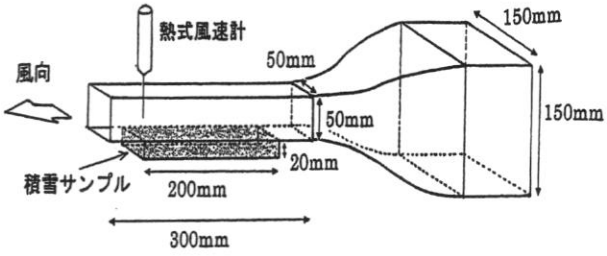


図 1　北見工業大学ミニ風洞

2）雪粒子飛び出し風速 V_T の測定

北見工業大学グラウンドにおいて、ミニ風洞（図 1：測定部 5cm×5cm×20cm）下部に積雪表面より採取した自然雪面ブロック(2cm×5cm×20cm)を設置し、風速を徐々に上げていき、雪粒子の飛び出した時の風速 V_T を測定した。図 2 に観測期間中の気象条件を示す。図 3 は 1 月 16 日から 2 月 15 日までの雪粒子の飛び出し開始風速 V_T と関連気象条件を示している。観測期間中はほぼ毎日降雪が見られたが、1cm 以上の降雪があった時 V_T が小さくなった。前日に 1～3cm の降雪があった 1 月 19,26,30 日は、飛び出し開始風速 V_T はおよそ 5m/s に小さくなった。しかし降雪後 1～3 日経過すると V_T は 10 m/s 前後と大きくなった。1 月 10 日は前日に 7.6cm の降雪があったが、その後気温がプラスになり、表面融解が起こったためその後 4 日間はミニ風洞の風速測定限界の 15m/s でも雪粒子は飛び出さなかった。

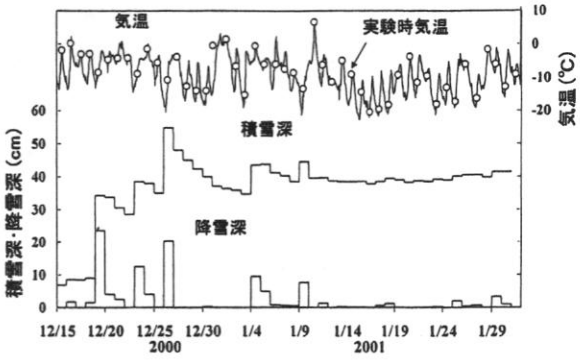


図 2　気象条件

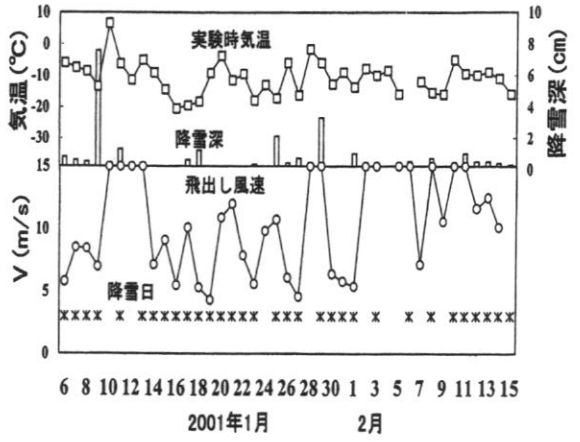


図 3　飛び出し開始風速 V_T と気象条件

3）雪粒子にかかる力の釣り合いについて

図4に示すように雪面からの抗力 F_f と空気抗力 Fv とすると、$V_0=V_T$ で粒子が飛び出すとき、$F_f=Fv$ より

$$C\rho_0 SV^2=\mu mg+F_b \cdots ①$$

（μ：摩擦係数　F_b：結合力　ρ_0：空気密度、S：断面積　V_0：初速度　C：抵抗係数）

静止空気中での終端落下速度を W とすると、$Fw=mg$ より

$$C\rho_0 SW^2=mg \cdots ②$$

①、②より

$$V_T=K\sqrt{\mu+F_b/mg}\ W \cdots ③$$

$$V_T=K\sqrt{\mu}W \cdots ④$$

（Z は風速の高さ補正の係数

$K=\ln(Z_1/Z_0)/\ln(Z_2/Z_0)$）

となり、飛び出し開始風速 V_T と終端落下速度 W は $\sqrt{\mu}$ で比例関係にあることが考えらえるので、V_T と W の相関を調べると相関係数 R=0.9 の正の相関が得られた。（図5）

4）粒子における表面摩擦力の測定

表面雪粒子の結合度合を測定するために 18cm×18cm フェルト布地を雪面上に置き、引っ張ることにより最大表面摩擦力 F_f を測定した（図6）。図7に F_f と飛び出し開始風速 V_T を示す。新雪が降ったとき、V_T が小さくなると共に、F_f は小さくなる傾向を示した。そこで図8において F_f より求めた摩擦係数 μ と V_T との関係を示す。黒丸は新雪、白丸は旧雪を示す。先ほどの関係式

$$V_T=K\sqrt{\mu}W \cdots ④$$

という粒子間結合力を考慮しない理論式上に新雪がプロットされ、また理論式上にプロットされていない旧雪は

$$V_T=K\sqrt{\mu+F_b/mg}\ W \cdots ③$$

という式で表され、Fb のために V_T が大きくなると考えられる。

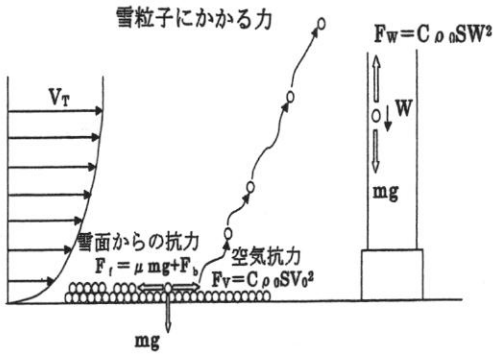


図4　雪粒子にかかる力

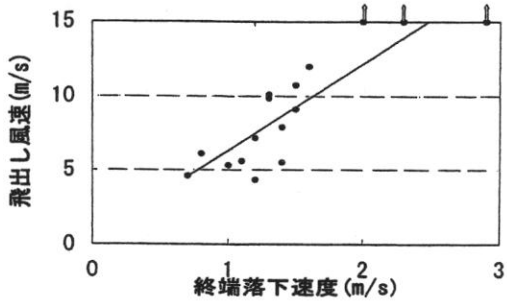


図5　飛び出し風速 V_T と終端落下速度の関係

フェルト生地

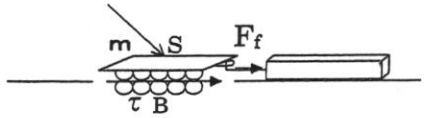


図6　表面摩擦力実験模式図

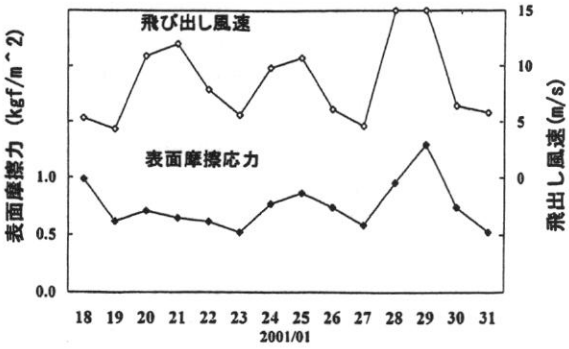


図7　飛び出し風速 V_T と表面摩擦応力の関係

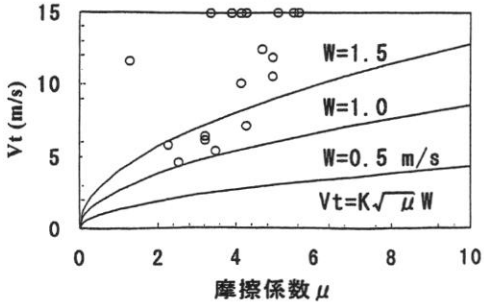


図8　V_T と摩擦係数 μ の関係

5）安息角について

雪粒子間の摩擦係数を測定するために別な実験として安息角の測定を行った。正面をアクリル板にした箱(図 9(a):60cm×37.5cm×30cm)の内部(図 9(b))に直径 3cm の円盤を高さ 15cm に設置し、上部の漏斗から雪を落として形成させた円錐型雪形状から安息角で求めた。図 10(a)、図 10(b)に示すように新雪時と降雪後 2 日経過した雪とでは、角度、高さともに著しく変化しているのがわかる。安息角は旧雪が 75° 以下新雪は 75° 以上で分けることができる。安息角より求めた摩擦係数 μ と V_T との関係を示した(図 11)。図中の黒丸は新雪、白丸は旧雪を示している。新雪は理論式(④式)に一致するような傾向を示し、旧雪は粒子間結合力の存在により V_T が大きくなっていると考えられる。図 12 に Fb/mg を求めた計算例を示す。V_T が 15 m/s の旧雪のときはおよそ結合力 Fb/が自重の 15～20 倍であることがわかる。

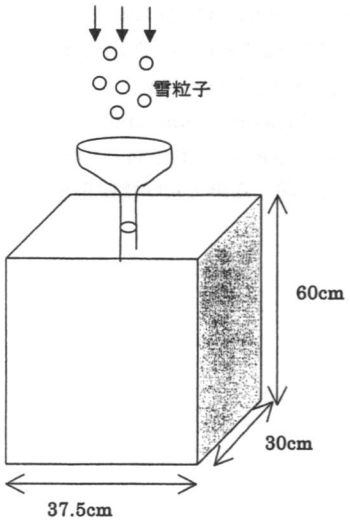


図 9(a)　安息角実験装置(外側)

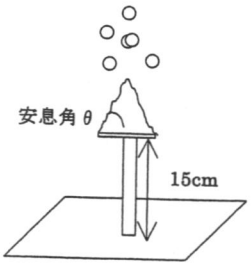
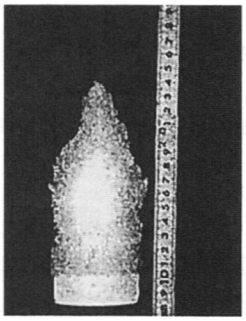


図 9(b)　安息角実験装置(内側)



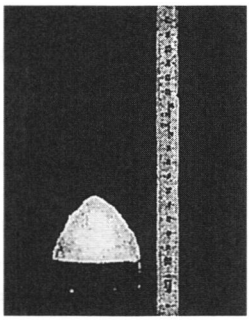


図 10(a) 新雪時の安息角　図 10(b)　降雪二日後の安息角

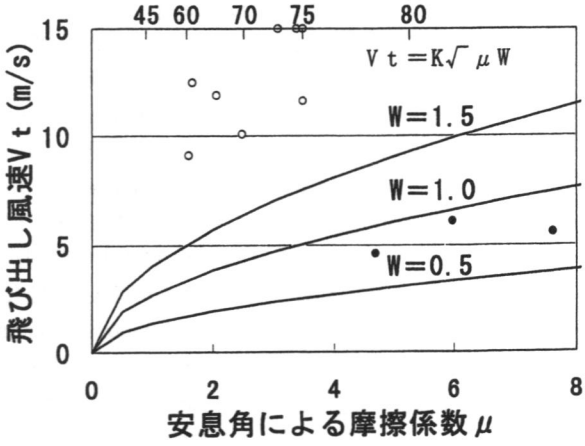


図 11　V_T と安息角による摩擦係数 μ の関係

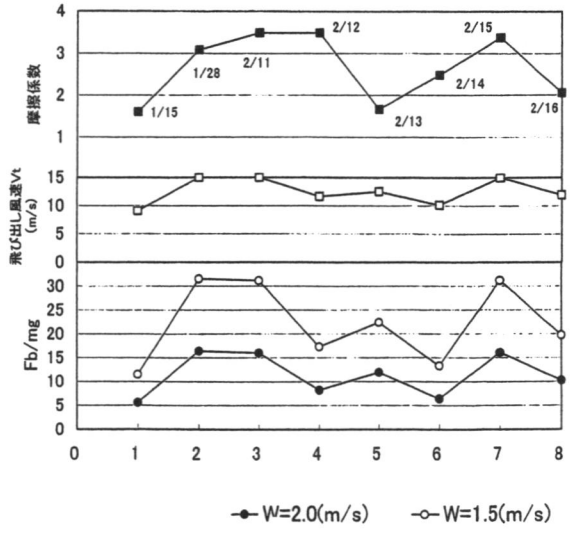


図 12　V_T と μ による Fb/mg の概算

6）まとめ

(1) ミニ風洞内における降雪直後の雪粒子飛び出し開始風速 V_T は降雪深 1cm 以上の時、5m/s であった。

(2) 降雪後 1～3 日経過後では V_T は 10m/s 前後と大きくなった。

(3) V_T と終端落下速度 W はよい対応を示し(R＝0.9)、これは雪粒子の変態に伴う空気抵抗係数の変化によるものである

(4) 安息角は新雪時に 75° 以上となり、旧雪は 75° 以下となった。

(5) 安息角より求めた摩擦係数 μ と飛び出し風速 V_T の関係から 1 月の雪の場合の粒子間結合力 Fb を自重で割った値を概算することができた。

参考文献

Bagnold.R.A.F.R.S. (1941)： The Physics of Blown and Desert Dunes. Chapman AND Hall ,265p

Budd.W.F. Dingle W.R.J. Radok .U (1966) : The Byrd Snow Drift Project Outline and Basic Resusts(Part Ⅱ ; S5.S6),Antectic Res. Ser.,**9**, 71—134

Radok.U (1977) : Snow Drift. Journal of Glaciology , 19 ,No81 , 1977,123—138

Chepil.W.S (1965) : Transport by Wind Chapter7 Transport of Soil and Snow by Wind. Meteorogical Mmonographs,July1965, **6**, No28,124－130

GILLERTTE.Dale A . (1974) : ON THE PRODUCTION OF SOIL WIND EROSION AEROSOLS HAVING THE POTENTIAL FOR LONG RANGE TRANSPORT. JOURNAL DE RECHERCHES ATMOSPHERIQUES 8 、735－744

Nishimura .K , Sugiura .K ,Nemoto .M ,Maeno.N (1998)： Measurements and Lsimulations of snow-particle saltation. Annals of Glaciology, **26**, 184－190

前野紀一・遠藤八十一・秋田谷英次・小林俊一・竹内政夫(2000)：基礎雪氷学講座Ⅲ雪崩と吹雪 . 古今書院,、232 p

進藤章二朗(1992)：低速風洞実験法. コロナ社、152p