

## 積雪表面雪粒子の飛び出し風速の気温依存

佐藤研吾 高橋修平(北見工業大学)

### はじめに

地吹雪の発生する条件を調べるため、積雪表面にミニ風洞を設置して、雪粒子の飛び出す時の風速を計測した。同時に、積雪表面から採取した雪粒子の終端落下速度などを観測した。また降雪時に積雪表面からサンプルを採取し、低温室に保存し、屋外の積雪と比較を行った

### 雪粒子飛び出し風速

ワーキングセクションは高さ 50mm×幅 50mm×長さ 300mm のミニ風洞低部を自然積雪表面上に設置し、風洞内風速を徐々にあげ、雪粒子が動き出したときの、風洞中央風速を測定した(図 1)。



図 1 観測風景

### 雪粒子終端落下速度

積雪表面から採取した雪粒子を落下させて終端落下速度を測定した。

雪粒子は高さ 160cm の円筒上部から落下させ(図 2)、円筒下部の落下速度測定装置により雪粒子の終端落下速度と粒径を測定した。落下速度装置の、2つの赤外センサー(図 3)を通過する時間差から終端落下速度を求め、その遮蔽率から雪粒子の粒径を求めた。

また雪粒子間結合力の影響を調べるために、新雪の降雪直後から、屋外、低温室 1(-5℃)、低温室(-20℃)の3箇所を終端落下速度と粒径を測定した。

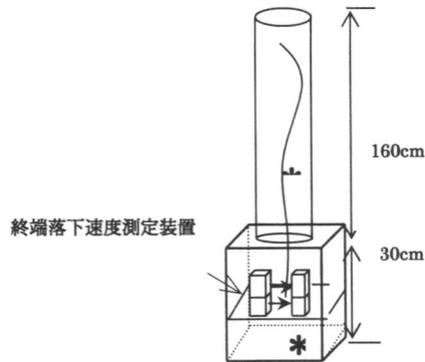


図 2 終端落下速度測定概略図

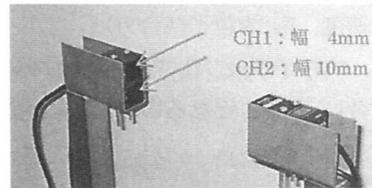


図 3 赤外センサー

### 低温室における保存雪実験

飛び出し風速、終端速度の変化の温度依存を調べるために、自然積雪表面から採取したサンプル(25cm×40cm×10cm)を-20℃と-5℃の低温室に新雪を保存し、屋外の積雪表面粒子との日経過の比較を行った。

### 飛び出し風速と終端落下速度との関係

飛び出し風速と終端落下速度の関係を考慮するために、雪粒子にかかる力の概念を図 4 に示す。

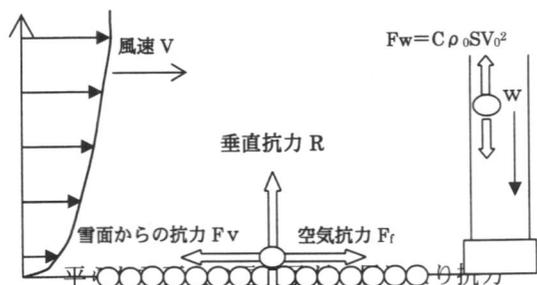


図 4 雪粒子にかかる力の概念図

雪粒子間の結合力  $F_b$  (雪粒子結合力) に打ち勝ち、飛び出そうとする時について考える (図 5)。

雪粒子が受ける空気抗力を  $F_v$  とすると、

$$F_v = \frac{1}{2} C \rho_0 S V_0^2 \quad (1)$$

( $C$ : 抵抗係数,  $\rho_0$ : 空気密度,  $S$ : 粒子の面積,  $V_0$ : 粒子が受ける風速 )

雪粒子が雪面から受ける力  $F_f$  は、摩擦力  $\mu mg$  および雪粒子結合力  $F_b$  との和であるので

$$F_f = \mu mg + F_b \quad (2)$$

( $\mu$ : 摩擦係数,  $m$ : 雪粒子の質量,  $g$ : 重力加速度,  $F_b$ : 雪粒子結合力)

雪粒子が飛び出す瞬間は 2 つの力が釣り合い,  $F_v = F_f$  となるので、次式が成り立つ。

$$\frac{1}{2} C \rho_0 S V_0^2 = \mu mg + F_b \quad (3)$$

抵抗係数  $C$  は雪粒子の形状に大きく依存し、その抵抗係数の変化を表す指標として、終端落下速度を考える。

静止空気中での雪粒子の運動について考えると、空気抗力と重力が釣り合うため次式が成り立つ。

$$\frac{1}{2} C \rho_0 S w^2 = mg \quad (4)$$

( $w$ : 終端落下速度)

$$w = \sqrt{\frac{2mg}{C \rho_0 S}} \quad (5)$$

一般に吹雪観測に用いられる風速は、高さ 1.5m ~ 数 m の風速であり、粒子の高さの風速  $V_0$  とは異なる。風速計による風速を  $V$  とする時、 $V$  は  $V_0$  に比例し、

$$V = KV_0 \quad (6)$$

と表される。 $K$  は風速分布が対数分布してるとして粒径、観測高から求められる。

(表面粗度 = 0.05mm、粒径中央高さ

$Z_1 = 0.5\text{mm}$ 、

測定高  $Z_2 = 25\text{mm}$  より

$K = \ln(Z_2/Z_0) / \ln(Z_1/Z_0) = 2.7$  とした)。

雪粒子が飛び始める風速を飛び出し風速  $V_T$  とすると、式 (3)、(4) から  $C$ ,  $\rho_0$ ,  $S$  を消去することができ、式(6)を用いて、

$$V_T = K \sqrt{\mu + \frac{F_b}{mg}} \cdot w \quad (7)$$

飛び出し風速と終端落下速度  $w$  は比例関係となる。雪面と雪粒子結合力  $F_b$  がなければ ( $F_b = 0$ )、式(8)となる。

$$V_T = K \sqrt{\mu} \cdot w \quad (8)$$

以上のように理論上では、飛び出し風速  $V_T$  と静止空気中における終端落下速度  $w$  は比例関係となり、粒子によって異なる抵抗係数  $C$  を終端落下速度  $w$  に含ませることができる。この観点から  $V_T$ ,  $w$ ,  $\mu$  について観測を行った。

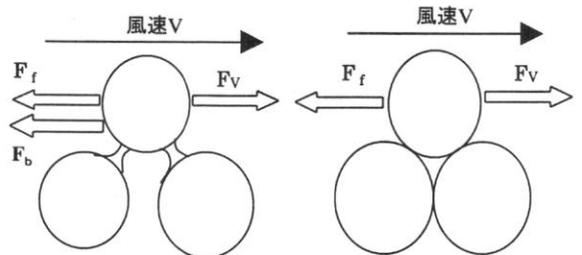


図 5 粒子間に結合力がある場合(右)と粒子間に結合力がない場合(左図)の概略図

### 観測結果

- 1) 枝状結晶は飛び出し風速はおおよそ 5(m/s)、終端落下速度は、ほぼ一定の 0.5 ~ 0.9(m/s) となり、広幅六花は飛び出し風速は 7 から 13(m/s)、終端落下速度は 0.6 ~ 1.5(m/s) となった (図 6、図 7)。

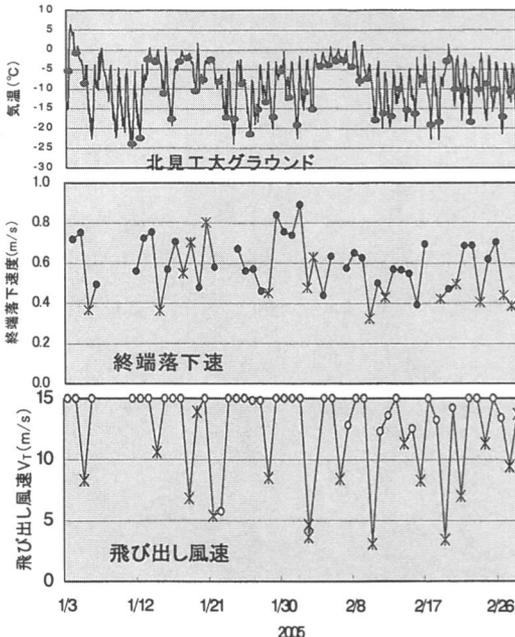


図6 飛び出し風速、終端速度、実験時気温時系列

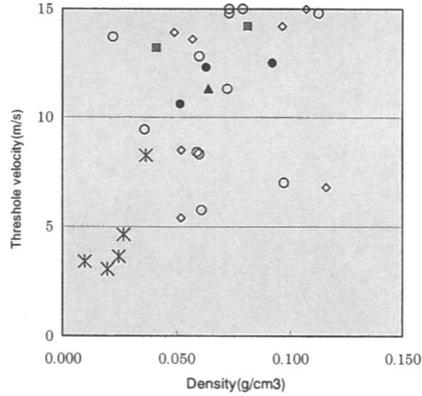


図8 飛び出し風速と新雪密度

3) 低温室に保存した雪は、屋外の自然積雪より、飛び出し風速と終端速度の増加は緩やかである。また、 $-5^{\circ}\text{C}$ の保存雪より $-20^{\circ}\text{C}$ の保存雪のほうがは緩やかに変化する。

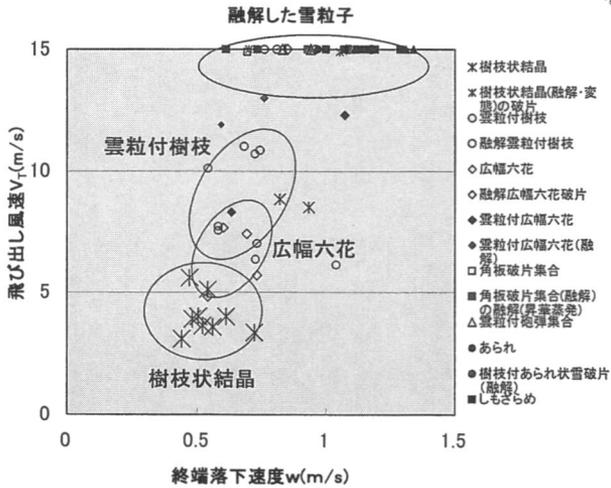
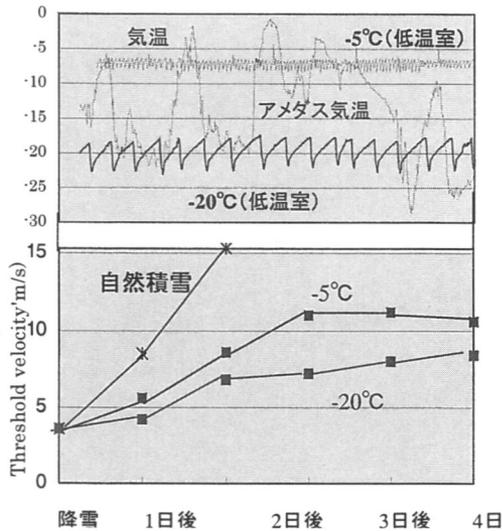


図7 自然積雪と低温室保存雪の飛び出し風速

2) 飛び出し風速と新雪密度は、比例関係となり、樹枝状などの新雪の場合は、密度が  $0.05\text{g/cm}$  以下で飛び出し風速は  $0.5\text{m/s}$  以下となった。



参考文献

- 1) 谷藤崇・高橋修平・佐藤研吾(2001): 雪粒の飛び出し風速と終端落下速度の関係、2001年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集、134.
- 2) 前野紀一・遠藤八十一・秋田谷英次・小林俊一・竹内政夫(2000): 雪崩と吹雪、古今書院、121—236.
- 3) 竹内政夫・石本敬志・野原他喜男・福沢義文(1986): 降雪時の高い地吹雪の発生風速、昭和61年度日本雪氷学会講演予稿集、252.
- 4) 日本建設機械化協会(1977): 新防雪工学ハンドブック、511 pp.