

# 吹雪輸送量の粒径別高度分布測定

杉浦幸之助・西村浩一・前野紀一（北大・低温研）

## 1. はじめに

吹雪粒子の運動形態は、雪面を転がりながら移動する転動、跳ねながら移動する跳躍、空中を漂いながら移動する浮遊、の3つに分けることができる。本研究では、雪輸送において最も基本的な運動形態である跳躍運動に着目し、跳躍粒子の吹雪輸送量 (Snow mass flux [ $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]) の高度分布測定を行った。吹雪輸送量を雪面からの高さ0から $\infty$ まで積分した値である全吹雪輸送量 (Snow transport rate [ $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$ ]) に関しては、これまで数多くの経験式が提唱されている (Budd *et al.*, 1966; Kobayashi, 1972; Takeuchi, 1980 など)。これらの式はいずれも風速のみの関数として表されているが、摩擦速度、粒径、温度なども重要なパラメータと予想される。本実験ではこのうち、摩擦速度と粒径に着目し、吹雪輸送量との関係を調べた。

## 2. 低温風洞実験

実験は、大型低温室に設置された風洞装置 (測定部長さ 8m, 断面積  $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$ ) を使い、室温は $-15^\circ\text{C}$ に設定した (図1)。野外より採取したしまり雪 (平均粒径  $0.36\text{mm}$ ) をふるいにとおし、風洞床厚さ  $2.5\text{cm}$  に均一に散布した。続いて、風上上方もしくは下方より同じしまり雪を、吹雪を発生させるトリガーとして少量供給し、吹雪が定常状態に達した後、測定を開始した。

風下には、渦相関法により摩擦速度を求めるため超音波風速計を、風下端には、箱型吹雪計 (全長  $1\text{m}$ , 深さ  $10\text{cm}$ , 幅  $20\text{cm}$ , 長さ  $5\text{cm}$  の箱 14個と長さ  $10\text{cm}$  の箱 3個の合計 17個から構成) を設置した。

吹雪輸送量の高度分布を求めるため、Snow Particle Counter (SPC) を風下に設置し、雪面からの高さを  $16\sim 61\text{mm}$  まで変化させた (図2)。SPCは、サンプリング範囲 ( $2\text{mm} \times 25\text{mm} \times 0.5\text{mm}$ ) を通過する粒子の粒径を 32ステップに分類し、各ステップごとの粒子数を出力する吹雪計である。

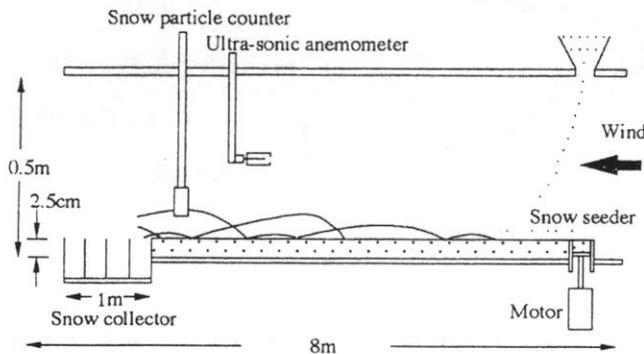


図1 風洞装置の概略図

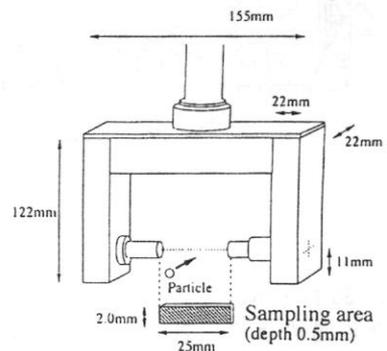


図2 SPCの概略図

### 3. 結果および考察

#### 3.1 頻度分布

SPCにより求められた粒径頻度分布を図3に示す。摩擦速度が0.15m/sの場合を除いて32ステップ目にピークが見られるが、これはSPCで計測される最大粒径(0.667mm)より大きい粒子が、このステップにすべて含まれることによると考えられる。よって、以降はこの32ステップ目を除いて解析を行った。いずれの場合も、雪面からの高さが増すにつれ、小粒子の頻度が増加した。また高い位置では、粒径間の頻度差が摩擦速度が増すにつれ小さくなり、なだらかな分布となった。

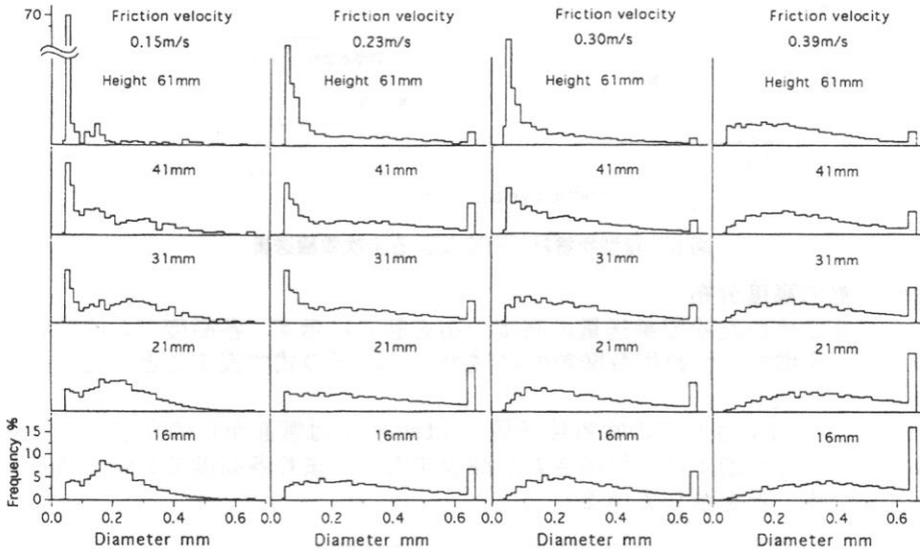


図3 粒径頻度分布

#### 3.2 全吹雪輸送量

箱型吹雪計の各箱に単位時間単位面積当たり落下した吹雪粒子質量  $F(x)$  の分布を図4に示す。この  $F(x)$  を風下端からの距離0から $\infty$ まで積分することにより、全吹雪輸送量を求めることができる(河村, 1951)。

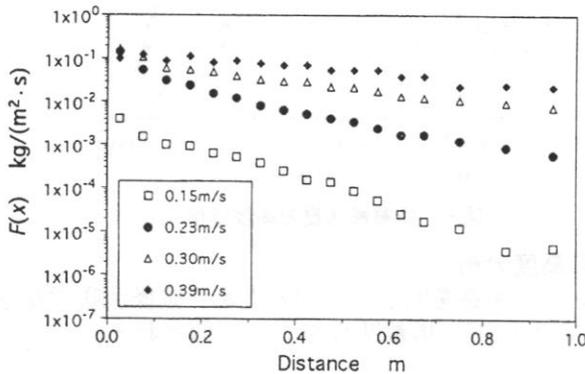


図4  $F(x)$  の分布図

この箱型吹雪計から求められる全吹雪輸送量と、SPC から求められるそれとを比較した図を図5に示す。雪面と箱型吹雪計の粗度が大きく異なることから、箱型吹雪計により求められる全吹雪輸送量に誤差が含まれることを考慮すると、SPCにより求められたデータは妥当な値であると結論できる。

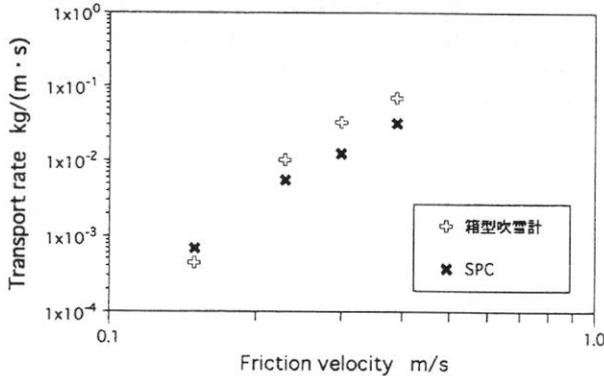


図5 箱型吹雪計・SPCによる全吹雪輸送量

### 3.3 吹雪輸送量の高度分布

SPCにより測定された吹雪輸送量の高度分布を図6に示す。各高度での吹雪輸送量は、雪面からの高さが増すにつれ指数関数的に減少し、以下の式で表すことができる。

$$q = q_0 \exp(-kz)$$

$q$  は吹雪輸送量、 $q_0$  は高さ0での吹雪輸送量、 $k$  は傾き、 $z$  は雪面からの高さである。本実験結果は、摩擦速度が増すにつれ傾き  $k$  が減少する、つまり各高度での吹雪質量輸送量の差が小さくなることを示している。

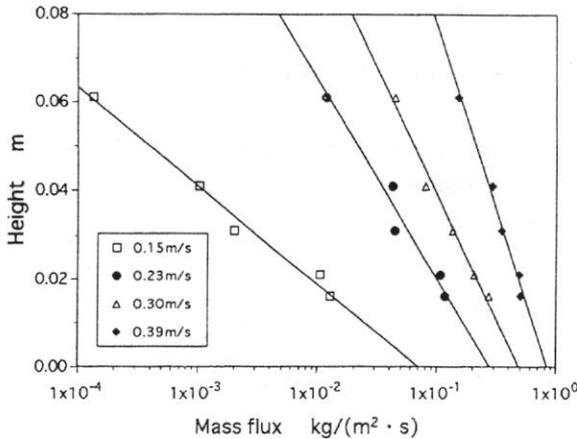


図6 吹雪輸送量の高度分布

### 3.4 粒径別吹雪輸送量の高度分布

次に摩擦速度と傾き  $k$  との関係を明らかにするため、粒径別吹雪輸送量  $q_d$  の高度分布を求めた (図7)。いずれも以下の指数関数でよく近似される。

$$q_d = q_{d0} \exp(-k_d z)$$

下付きの  $d$  は粒径ごとという意味である。

粒径が小さい場合は、各摩擦速度における吹雪輸送量の傾き  $k_d$  にはばらつきがあるのに対し、粒径が増すにつれ、この傾き  $k_d$  が一致してくる様子が見られる。傾き  $k_d$  と、粒径および摩擦速度との関係をまとめた図を図8に示す。摩擦速度の増加とともに傾き  $k_d$  は小さくなるが、その違いは粒径の増加とともに減少する。このことから、図6で摩擦速度が増すにつれ傾き  $k$  が減少した原因は、径が小さい粒子の寄与が大きいためであると推定される。

また、図8の本実験結果では、粒径がより小さいとき、傾き  $k_d$  がマイナスの値をとっている。これは高さが増すにつれ吹雪輸送量が増加していることを示すが、この現象に関しては今後の課題と考えている。

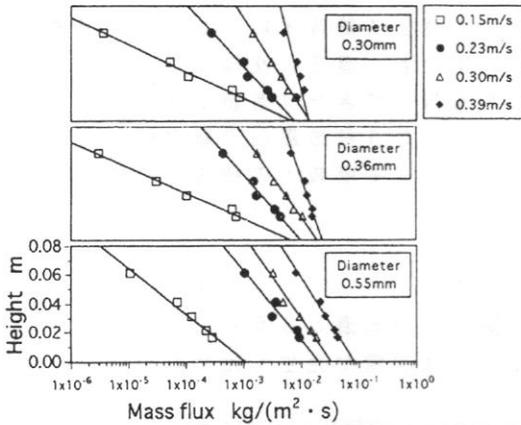


図7 粒径別吹雪輸送量の高度分布

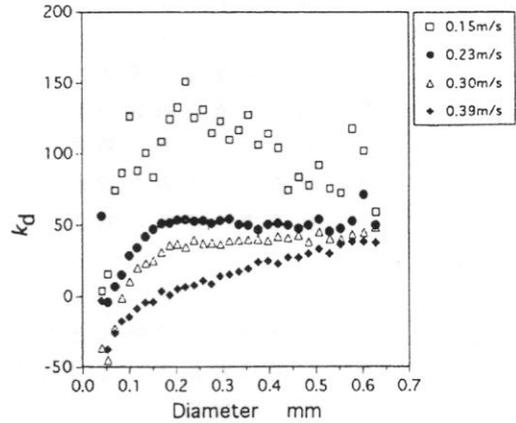


図8 傾き  $k_d$  と、粒径および摩擦速度との関係

#### 4. ま と め

摩擦速度を0.15~0.39m/sまで変化させ、吹雪輸送量の粒径別高度分布測定を行った。

雪面からの高さとともに小粒子の頻度が増し、また摩擦速度の増加とともに粒径間の頻度差が小さくなった。

吹雪輸送量は、高さとともに指数関数的に減少し、摩擦速度が増すにつれその傾きは小さくなった。粒径別の吹雪輸送量も高さとともに指数関数的に減少したが、粒径が小さいときは、逆に増加する現象も見られた。粒径別吹雪輸送量の傾きは、摩擦速度の増加とともに小さくなったが、粒径が増すにつれ傾きの相違は減少した。

#### 参 考 文 献

- Budd, W. F., Dingle, W. R. J. and Radok, U. (1966): The Byrd Snow Drift Project: Outline and Basic Results. Studies in Antarctic Meteorology, ed. by M. J. Rubin, American Geophysical Union, Antarctic Research Series 9, 71-134.
- 河村龍馬 (1951) : 飛砂の研究. 東京大学理工学研究所報告, 5, 95-112.
- 木村忠志 (1991) : 飛雪粒子の計測. 地学雑誌, 100 (2), 250-263.
- Kobayashi, D. (1972): Studies of Snow Transport in Low-Level Drifting Snow. Contributions from the Institute of Low Temperature Science, Hokkaido Univ., Series A, 24, 1-58.
- Takeuchi, M. (1980): Vertical Profile and Horizontal Increase of Drift-Snow Transport. Journal of Glaciology, 26, 481-492.