# 多高度 SPC 連続観測による吹雪浮遊層の粒径分布解析 A study on particle size distribution in suspension layer of snowdrift with multiple SPC observation

佐藤隆光(一般財団法人日本気象協会北海道支社) Takamitsu Sato (Japan Weather Association) 大宮哲,松沢勝(国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所) Satoshi Omiya, Masaru Matsuzawa (Civil Engineering Research Institute for Cold Region, Public Works Research Institute)

#### 1. はじめに

吹雪やそれに伴う視程障害を予測する上で,吹雪浮遊層の特性と風速等の気象要素 を関係づけることは重要である.本研究は,4 高度に設置した SPC を用いて飛雪フラ ックスを約 2 か月間連続観測した.この観測結果のうち粒径データを用いて,浮遊層 における粒径分布の特徴,粒径の高度分布,摩擦速度と粒径の関係,飛雪空間密度と 粒径の関係を解析した.

#### 2. 観測概要

2015年1月23日~3月31日に北海道弟子屈町において飛雪フラックスの連続観測 を実施した(佐藤ほか,2016). 粒径分布はSPC(Snow particle counter)(新潟電機株式 会社製SPC-S7)を用い,4高度(0.5,1,3,7m)で観測した.SPCは36~500µmの粒径 範囲を約14µm間隔のステップに分割して各ステップの雪粒子数を計測している.1秒 間隔で計測し10分間の粒子数として整理した.風向が北西,北北西,北の場合で,10 分間の総粒子数が100個以上のときのデータを解析対象にした.

#### 3. 観測結果

#### (1) 粒径分布の特徴

図 1 に各高度の粒径分布例を示す. 同図の縦軸は粒子数である. 高度が高くなるほど粒子数が減少し, どの高度も小粒径(100µm 付近)の粒子が多いことがわかる.

図 2 は縦軸を確率密度にした粒径分布図である. 同図ではガンマ分布で近似した曲線も示す. なお,本報ではモード粒径とはガンマ分布において確率密度が最大となる 粒径をいう.

高度 3m, 7m では粒径 100µm 以下の割合が大きく, 100µm 以上は急激に減少する. 高度 0.5m, 1m では粒径 200µm 以下の割合が大きい, 200µm 以上は緩やかに減少する. 高度が高くなるほど, 平均粒径・モード粒径が小さくなる.

## (2) 摩擦速度と平均粒径・モード粒径

図3に各高度における摩擦速度 U\*と平均粒径・モード粒径の関係を示す. ばらつき が大きいものの, 摩擦速度 U\*が大きくなるに従い平均粒径, モード粒径が大きくなる 傾向がある.しかし, この特徴は高度 3m, 7m では不明瞭である.

## (3) 平均粒径・モード粒径の高度分布

図4に平均粒径・モード粒径の高度分布を示す. 高度 3m, 7m では摩擦速度 U\*が変

化しても平均粒径・モード粒径の変化は小さい. 高度が低くなるに従い U\*の変化による平均粒径・モード粒径の変化が大きくなる.



図3 摩擦速度 U\*と平均粒径・モード粒径の関係, (A)平均粒径, (B)モード粒径

- 146 -

Copyright © 2017 公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

# 4. 考察

#### (1) 昇華の影響

図4によれば、高度が高くなる 5 ° に従い U\*の変化による平均粒 径・モード粒径の変化が小さくな っている.これは、大きな粒子(重 い粒子)は上層へ移動しにくいこ と、大きな粒子の上層移動過程で

粒子間衝突によって小さくなってしまうこと,大きな 粒子が上層へ移動する間に昇華によって小さくなっ てしまうことなどが考えられる.

昇華の影響を考察する. 図 5 は昇華による氷球直径 変化モデル(Thope, 1966)によって求めた氷球直径の 時間変化である. 同図によれば直径 200μm の氷球は 約 300 秒で直径 100μm に減少することが分る.

# (2) 平均粒径の高度分布モデル

Budd(1966)は平均粒径の高度分布モデルを提 案している(式 1).式(1)において, D<sub>m</sub>:平均粒径, U\*:摩擦速度, k:カルマン定数, Z:高さ, Z<sub>ref</sub>:基 準高さ(15cm), β<sub>2</sub>:パラメータ, D<sub>mref</sub>: Z<sub>ref</sub>にお ける平均粒径である.

$$D_m(Z) = \frac{D_{m_{ref}}}{1 + \frac{\beta_2}{kU_*}\log(\frac{Z}{Z_{ref}})}$$
(1)

各観測から平均粒径を求め,最小二乗法によ り式(1)の $\beta_2$ , $D_{mref}$ を求めた結果を図6に示す.

同図によれば, *D*<sub>mref</sub>は *U*\*に 比例し, β<sub>2</sub>は, *U*\*の 2 乗に比 例する.

### (3) 平均粒径と飛雪空間密度

図 7(A)に摩擦速度 U\*と高 さ 0.5m の飛雪空間密度 C<sub>05</sub> の関係を示す.U\*が 0.5~ 1.0ms<sup>-1</sup>においてばらつきが 大きい.粒径分布をみると, 図 7(B)のように C<sub>05</sub>が小さい とき,高度 0.5m の平均粒径 D<sub>mean</sub>が小さい.そこで D<sub>mean</sub> と C<sub>05</sub>の関係をみると図 8 と なり,両者に相関性があるこ とがわかる.





図5 昇華による粒径の時間変化







図 9 に示すように、*C*<sub>05</sub> を推定するにあたり、 説明変数が *U*\*のみの推定式(図 9(A))よりも、説明 変数が *U*\*と *D*<sub>mean</sub>の推定式(図 9B))のほうが、観 測値に対する推定値のばらつきが小さくなるこ とがわかる.なお、図 8、図 9(B)の回帰分析には ロバスト回帰(Yohai, 1987)を用いた.

## 5. まとめ

4高度で観測した SPC による粒径データを用い て,浮遊層における粒径分布の特徴,粒径の高度 分布,摩擦速度と粒径の関係,飛雪空間密度と粒 径の関係を解析した.結果を以下にまとめる.



図8平均粒径と飛雪空間密度の関係

- ・高度が高くなるに従い平均粒径が小さくなり、粒径 100µm 以下の割合が増加する.
- ・摩擦速度 U\*が大きくなるに従い平均粒径 Dmean が大きくなる. U\*の変化による Dmean の変化は高度が低いほど大きい.
- ・Dmean と飛雪空間密度に正の相関性があり、U\*と Dmean を説明変数にして飛雪空間 密度に関する回帰分析を行うと、観測値に対する推定値のばらつきが小さくなる.



(A) 説明変数 U\*, (B) 説明変数 U\*, Dmean

## 【参考文献】

- 1) 佐藤隆光ほか, 2016: 多高度 SPC 連続観測による吹雪浮遊層の解析, 北海道の雪氷, **35**, 25-28.
- 2) Budd, W.F., 1966: The drifting of nonuniform snow particles. Studies in Antarctic Meteorology, American Geophysical Union, Antarctic Res. Ser., 9, 59-70.
- 3) Thorpe, A.D. et al., 1966: The Evaporation of ice spheres and ice crystals. Brit. J. Appl. Phys., 17, 541-548.
- 4) Yohai, V.J., 1987: High breakdown-point and high efficiency robust estimates for regression. *The Annals of Statistics*, **15**, 642-656.