

高さ 1 m の飛雪流量と全吹雪輸送量との関係 (2) Relationship between Mass Flux at 1 m Height and Total Snow Transport, Part 2

○松澤 勝^{*1}

Masaru Matsuzawa

1. はじめに

吹雪量(全吹雪輸送量)は飛雪流量を高さ方向に積分した値であり、両者の関係を明らかにすることで飛雪流量から吹雪量の推定が可能になると考えられる。前報¹⁾では、SPCで計測した高さ1mの飛雪流量 q_1 と、ネット式吹雪計で計測した高さ0.01~2.0mの飛雪流量から求めた吹雪量 Q との関係を調べ、

$$Q=2.4 q_1 \quad \dots(1)$$

の関係式を得た。本研究では、高さ1mの飛雪流量から吹雪量を推定するモデルについて検討する。

2. 吹雪量の推定モデル

松澤²⁾は飛雪空間密度の垂直分布式と風速の鉛直分布式より、浮遊層での飛雪流量 $q(z)$ の垂直分布式を導いた。

$$q(z) = \frac{Pu_*}{kw} (\ln z - \ln z_0) + \frac{a}{z_1^b} \cdot z^b \ln z - \left(\frac{a}{z_1^b} \ln z_0 \right) \cdot z^b \quad \dots(2)$$

ただし
$$a = \left(N_t - \frac{P}{w} \right) \frac{u_*}{k} \quad b = -\frac{w}{ku_*}$$

ここで、 P :降水強度、 u_* :摩擦速度、 k :カルマン係数(=0.4)、 w :雪粒子の落下速度、 z_0 :表面粗度、 N_t :基準高さ z_1 での飛雪空間密度である。式(2)の第1項は降雪項、第2項と第3項は乱流拡散による地吹雪の項なので、第1項の w を降雪粒子の落下速度 w_r 、 b に含まれる w を地吹雪由来の雪粒子の落下速度 w_b とする。そして、式(2)を高さ z で積分すると浮遊層の吹雪量 Q_{sus} を与える一般解が得られる。

$$Q_{sus}(z) = \frac{Pu_*z}{kw_f} \left(\ln \frac{z}{z_0} - 1 \right) + \frac{a}{b+1} \frac{z^{b+1}}{z_1^b} \left(\ln \frac{z}{z_0} - \frac{1}{b+1} \right) + c \quad \dots(3)$$

ここで c は積分定数である。浮遊層の底面を0.15mとし、道路の吹雪対策が対象と考えて上端を5mとして定積分を行うことで、浮遊層の吹雪量を求めることができる。

一方、跳躍層の吹雪量 Q_{sal} は、風速の3乗に比例するので、小林他³⁾より高さ1mの風速を V_1 として

$$Q_{sal} = 0.03 \cdot V_1^3 \quad \dots(4)$$

を採用する。その結果、式(3)と式(4)より跳躍層と浮遊層を含めた全層の吹雪量 Q は、次式で表される。

$$Q = Q_{sal} + Q_{sus} \quad \dots(5)$$

3. 吹雪量と高さ1mの飛雪流量の関係

式(2)より高さ1mの飛雪流量を、また式(5)より吹雪量をそれぞれ計算し、高さ1mの飛雪流量と吹雪量の関係を調べる。計算に当たって、いくつかの値を仮定する必要がある。摩擦速度 u_* は、高さ10mの風速 V_{10} を用いて $u_* = 0.036 \cdot V_{10}$ (m/s)で与える。表面粗度は $z_0 = 1.5 \cdot 10^{-4}$ (m)とした。基準高さ0.15mの飛雪空間密度 N_t は松沢⁴⁾より、

$$N_t = 0.021 \cdot e^{0.401V_{10}} \quad \dots(6)$$

を用いる。また、地吹雪由来の雪粒子の落下速度 w_b は、松沢⁵⁾より

$$w_b = \frac{0.5}{1 + \frac{29.6}{V_{10}^{1.13}}} \quad \dots(7)$$

を用いる。以上の条件で降水強度0, 1, 2 mm/hの3ケースについて、摩擦速度が0.2~0.8 m/s (高さ1mの風速4~18 m/sに相当)で吹雪量と飛雪流量の計算を行った。

図1は、高さ1mの飛雪流量 q_1 と吹雪量 Q の関係である。 q_1 が10 g/(m²s)以上では Q の差異は小さい。

図2は、高さ1mの飛雪流量に対する吹雪量の比 Q/q_1 と摩擦速度との関係である。降水強度が1~2 mm/hの場合、 Q/q_1 は3から10の間にある。

佐藤他⁶⁾は、樹枝状結晶の破壊されたような雪粒子に対しては、SPCで計測する飛雪流量とネット式吹雪計で計測する飛雪流量との比は約2.6になると述べている。式(1)の係数の2.6倍は6.2であること、前報¹⁾の飛雪流量観測時の風速は4~15 m/sであり、ほぼ降雪を伴う吹雪だったことから、モデルで得られた結果は観測結果を裏付けるものと考えられる。今後、降雪の無い吹雪時についても、検討を行いたいと考えている。

参考文献

- 1) 松澤勝・金子学 (2010) : 高さ1mの飛雪流量と全吹雪輸送量との関係, 雪氷研究大会講演要旨集, 219.
- 2) 松澤勝 (2011) : 降雪を考慮した全層吹雪量の推定手法に関する研究, 北海道の雪氷, No. 30.
- 3) 小林大二他 (1969) : みぞによる地吹雪量の測定, 低温科学・物理編, 27, 99-106.
- 4) 松沢勝 (2007) : 吹雪時の視程推定手法の改良に関する研究, 雪氷, 69, 79-92.
- 5) 松沢勝 (2007) : 浮遊粒子の落下速度を考慮した吹雪時の視程推定手法の改良, 寒地技術論文報告集, Vol.23, 400-405.
- 6) 佐藤威他 (2005) : スノー・パーティクル・カウンター (SPC) による飛雪流量測定に及ぼす飛雪粒子の形状の影響, 雪氷, 67, 493-503.

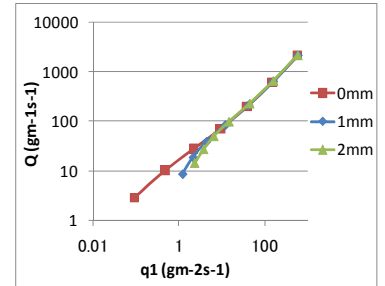


図1 高さ1mの飛雪流量 q_1 と吹雪量 Q との関係

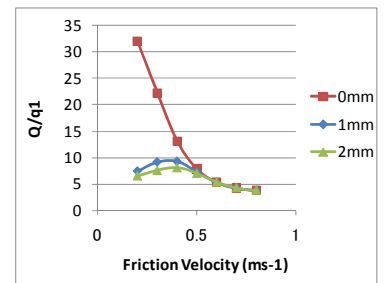


図2 高さ1mの飛雪流量 q_1 に対する吹雪量 Q の比と摩擦速度との関係

*1 (独)土木研究所寒地土木研究所