

吹雪空間中の大気電場に関する考察

大宮哲¹、佐藤篤司²

¹北海道大学 低温科学研究所

²防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター

A consideration on the electric field formed by blowing snow particles

Satoshi Omiya¹ and Atsushi Sato²

¹Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University

²Snow and Ice Research Center, NIED

Fluctuations of the atmospheric electric field have been reported during blowing snow events. A primary factor of this phenomenon is the electrification of the blowing snow particles. The purpose of this study is to clarify the fluctuation characteristics of the electric field. We estimated the vertical electric field distribution, which was taken into account the dependency of the blowing snow particle charges on the particle diameter and the height dependency of the horizontal mass flux. In this estimation, for simplicity, some assumptions were considered as follows; (1) Particle diameter and the particle number density is horizontally constant and uniform. (2) All the blowing snow particles are electrified negatively, and the individual charge can be obtained by the experimental equation (Omiya *et al.*, 2011). (3) The snow surface is electrified in positive, and the magnitude is equal with the charge-to-mass ratio of the blowing snow particles. (4) A charge separation occurs only between the snow particle and the snow surface. As a result, we obtained negative electric fields (upward pointing) in all cases. It was increased with the density of the blowing snow particles and closer to the snow surface.

1. はじめに

吹雪の発生に伴う大気電場の変動が数多く報告されているが (Kikuchi, 1970など)、これは吹雪粒子が帯電している事が一因である。この帯電現象が及ぼす影響の1つとして、吹雪粒子の電荷と大気電場の積で生じる静電気力による吹雪粒子自身の運動軌道の変化が挙げられる。この軌道変化が、視程障害の発生や雪庇の形成などに関与している可能性について議論されている。そこで、静電気力によって粒子の運動軌道がどのように、どの程度変化するのかを知るためには、粒子が持つ電荷量と極性のほか、大気電場の強度とその向きを知る必要がある。

先行研究から、吹雪空間中には正および負に帯電した粒子が混在するが、平均すると負を示す事が明らかにされている (Schmidt *et al.*, 1999など)。一方、大気電場の向きに関しては先行研究間において一義的な結果が得られていない。この要因として、測器に粒子が衝突する事で発生するノイズの影響や、測器自体の存在が電場を乱している可能性などが考えられる。このように、吹雪時の雪面近傍において電場を実測するのは容易ではない。吹雪時の電場強度に関する数値計算は過去に数例あるが (Schmidt and Dent, 1993など)、それらは吹雪粒子の粒径分布および質量フラックスの高度変化に伴う空間電荷密度の高度変化を加味していなかった。そこで本研究では、吹雪粒子が持つ電荷に関する風洞実験 (Omiya *et al.*, 2011) にて導出された実験式ならびに風洞内で測定した各種データ (風速、質量フラックス、粒径の鉛直分布) から求めた空間電荷密度の高度依存性を考慮に入れ、電場強度の鉛直分布に関する考察を行った。なお、この実験式は (条件付きではあるが) 吹雪粒子の粒径 d と気温 T から個々の吹雪粒子が持つ電荷 q を推定する式である。その実験式を以下 (1), (2) に記す。

$$q(d, T) = a(T)d^{1.35} \quad (1)$$

$$a(T) = (0.13T^2 + 3.08T + 5.31) \times 10^{-2} \quad (2)$$

2. 実験条件

本実験は、防災科研・雪氷防災研究センターの低温風洞を使用した。測定領域の床に一様に雪を敷き詰めたのち、水噴霧によって硬雪面を作成した。これによって雪面の削剥を防いだ。風速測定には熱線風速計を用い、風洞の中心風速を5 m/sに設定して雪面上6点 (0.01~0.5cm) で行った。吹雪粒子の質量フラックスおよび粒径分布の測定にはSPC (Snow Particle Counter) を使用し、雪面上9点 (0.01~0.5cm) で行った。気温-10°Cのもと、2ケースの雪粒子供給量 (4.4g/m/sおよび8.7g/m/s) で行った。

3. 計算

本考察では以下の仮定を用いた。

- (1) 電荷分離は吹雪粒子と雪面の間でのみ生じる
- (2) 全ての吹雪粒子は負電荷を持ち、その電荷は式(1), (2)で与えられる
- (3) 雪面は正の電荷を持ち、その大きさは吹雪粒子が持つ負電荷の総和に等しい
- (4) 吹雪粒子の粒径および空間数密度は水平方向に一様で、電荷密度の異なる平面が成層している

高度 z における風速と質量フラックスから、 z における吹雪密度（単位体積あたりに含まれる吹雪粒子の質量）が求められる。さらに、吹雪粒子の平均粒径と式(1), (2)とから、 z における空間電荷密度 Q_v が得られる。高度 z における正味の電場 E_{net} は、高度 z よりも上方の平面が形成する電場、下方の平面が形成する電場、雪面が形成する電場の和であるから、真空の誘電率を ϵ_0 とすると E_{net} は式(3)で表される。なお、下向きの電場が正電場である。

$$E_{net}(z, T) = \frac{1}{2\epsilon_0} \left(-\int_0^z Q_v(z, T) dz + \int_z^\infty Q_v(z, T) dz + \int_0^\infty Q_v(z, T) dz \right) \quad (3)$$

4. 結果

高度 z と電場 E_{net} の関係を雪供給量別に図1に記す。この結果から、雪面近傍ほど、また、吹雪量が多いほど負電場が増加する事が示された。これは、雪面近傍を運動する吹雪粒子ほど大きな静電気力を受ける事を示唆している。この場合、負電荷を持つ粒子の跳躍距離および跳躍高度は、帯電していない粒子に比べ、短くて低くなる。粒子と雪面の間に働くこの引力は、雪底や吹き溜まりの形成を促進する可能性がある。ここでは吹雪粒子が全て負電荷を持つと仮定したが、実際には正に帯電した粒子も存在する。その場合には吹雪粒子と雪面の間に斥力が働くため、跳躍距離および跳躍高度は長くて高くなる。従って、視程障害の発生を起しやすくなる可能性がある。

本計算結果から得られる静電気力は無視できるほど小さく、吹雪粒子にかかる加速度は $0.0004g$ (g : 重力加速度)であったが、それは風洞実験値を用いた事が一因である。風洞内で測定される吹雪粒子の電荷は野外観測値よりも小さい。また、電荷量と電場強度には正の相関があることが示唆されている（大宮・佐藤, 2012）。従って、電荷量の増加に伴って静電気力は相乗的に増加する。今後は吹雪粒子の電荷を高度別に実測し、電場の鉛直分布に関するより詳細な議論を行う予定である。

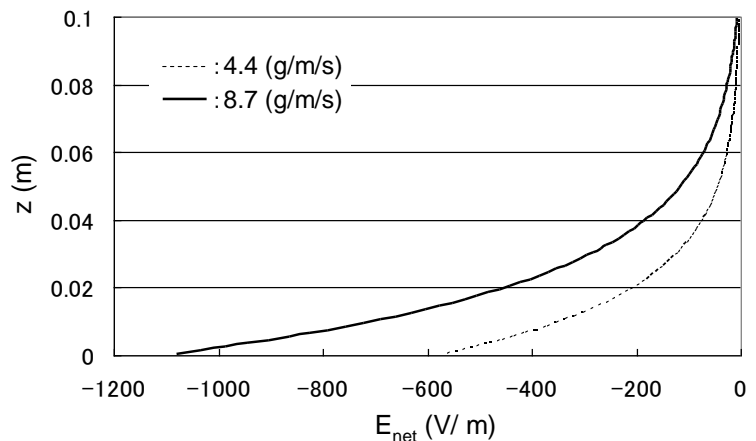


図1 高度と電場強度の関係

References

- 1) Kikuchi, K., Observations of the atmospheric electric field at Syowa Station, Antarctica. Journal of the Meteorological Society of Japan, 48(5), 452-460, 1970.
- 2) Schmidt, D.S., Schmidt, R.A. and Dent, J.D., Electrostatic force in blowing snow. Boundary Layer Meteorol., 93, 29-45, 1999.
- 3) Schmidt, D.S. and Dent, J.D., A theoretical prediction of the effects of electrostatic forces on saltating snow particles. Ann Glaciol 18:234-238, 1993.
- 4) Omiya, S., Sato, A., Kosugi, K. and Mochizuki, S., Estimation of the electrostatic charge of individual blowing snow particles by wind tunnel experiment. Ann. Glaciol., 52(58), 148-152, 2011.
- 5) 大宮・佐藤, 低温風洞内における吹雪時の大気電場測定, 雪氷研究大会講演予稿集, 84, 2011.