

新たな吹雪センサーとしての大気電場計の可能性

Possibility of field mill as a new blowing snow sensor

大宮 哲, 松澤 勝 ((国研) 土木研究所 寒地土木研究所), 鴨川 仁 (東京学芸大学)

Satoshi OMIYA, Masaru MATSUZAWA and Masashi KAMOGAWA

1. はじめに

吹雪災害による被害が後を絶たない。より効果的に災害対策を講じるためには、降雪の有無や吹雪の発生状況をリアルタイムに判断することが望ましい。しかし、その判断が容易でない。例えば、一般的な地上気象観測点で使用される雨量計や積雪深計は、その計測分解能の低さなどから、雪が降っているにも関わらず「降雪なし」と記録されることがある¹⁾。また、従来の冬期道路管理における吹雪発生状況の判断方法は、現地確認やCCTVカメラ画像を用いた目視によるものが大半である。目視判断は人的・時間的労力を要するだけでなく、個人の主観に左右される。加え、夜間のCCTVカメラ画像は目視判断自体が難しい。そこで、昼夜を問わず連続かつ客観的な方法で降雪の有無や吹雪の発生状況をリアルタイムに判断するための新技術の開発が期待される。本研究では、新たな吹雪センサーとしての大気電場計の可能性について探った。本誌では、大気電場観測および気象観測を実施した結果について述べる。

大気電場計（フィールドミルとも呼ばれる）について簡潔に説明すると、「大気中の電気状態を計測するための機器」であり、雷雲の接近監視などに使用される。大気電場とは、地表面と上空の間に存在する電位差の勾配のことである（単位は V/m ）²⁾。晴天無風時など、大気中の電気状態が安定している時の地表付近の大気電場は、平均すると $+100V/m$ を示す²⁾。一方、雷雲接近時のみならず、降雪時や吹雪時にも大気電場が乱れることが報告されている^{3),4)}など。しかし、その詳細についてはよく分かっていない。本研究はこの現象に着目したものである。

2. 観測概要

当研究所が所有する石狩吹雪実験場 ($N43^{\circ}12'$, $E141^{\circ}23'$) にて大気電場観測および気象観測を実施した。上記の観測に加え、CCTVカメラによる動画撮影を行い、吹雪の発生状況についても記録した（動画撮影は日中のみ、6時～18時）。使用した大気電場計（Boltek社製, EFM100）を図1に、大気電場計およびCCTVカメラの設置状況を図2に記す。この大気電場計は昼夜を問わず連続観測することが可能であるほか、時間分解能が高い（計測周波数は $2\sim 20Hz$ ）ため、突発的な大気電場の変化を捉えることが可能である。

大気電場計の測定原理を以下に説明する。図1に示すセンサーは誘導板と回転遮蔽板の2重構造となっており、両者は絶縁されている。なお、誘導板は抵抗を通じて

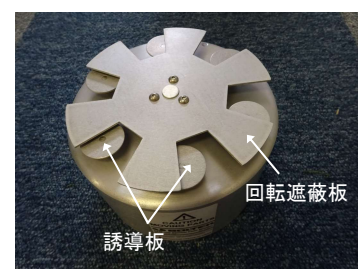


図1 大気電場計



図2 大気電場計とCCTVカメラの設置状況

地表面につながれている。遮蔽板が回転して誘導板と重ならない位置にくると、誘導板は大気電場に露出する。その結果、その大気電場に対応する電荷が地表から抵抗を通じて誘導板表面に集まる。一方、遮蔽板が誘導板と重なる位置にくると、誘導板は遮蔽板によって大気電場から遮蔽されるため、誘導板上の電荷は抵抗を通じて地表に戻る。この繰り返しによって交流電圧が抵抗に発生する。静電誘導により誘導板に集まった面電荷密度と大気電場には比例関係があることから⁵⁾、これより大気電場が求められる。

次に、降雪観測方法について述べる。本観測では、世界気象機関（WMO）が推奨する二重の防風柵（Double Fence Intercomparison Reference⁶⁾）と重量式雨量計（Geonor 社製, T-200B）を使用した（以下, DFIR 雨量計）。図 3 に DFIR 雨量計の外観を記す。この二重の防風柵によって、風による雨量計への降雪粒子の捕捉損失が軽減される。重量式雨量計は、計器内に捕捉された降雪粒子の重量を記録するものであるため、一般的な地上気象観測点で使用する転倒ますタイプの雨量計（計測分解能は 0.5～1mm）に比べて観測精度が高く、その分解能は 0.1mm 以下である。以降、本誌に記す「地上降雪量」は、DFIR 雨量計により計測された降雪を水量換算した値のことを指す（単位は mm）。また、降雪を伴う吹雪を単に「吹雪」、降雪を伴わない吹雪を「地吹雪」と呼ぶこととする。

本研究では、DFIR 雨量計によって降雪が計測された場合に「降雪あり」と判断した。また、吹雪および地吹雪の発生有無の判断については CCTV カメラ動画の目視により行った。

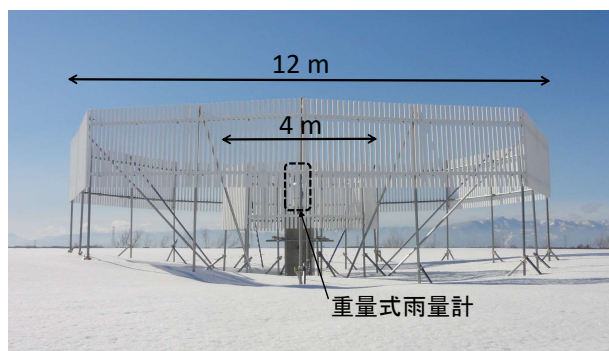


図 3 DFIR 雨量計の外観

3. 観測結果と考察

3.1 降雪時（吹雪発生なし）

降雪が計測された 2017 年 1 月 3 日および 1 月 15 日の結果を図 4(a), (b) に記す。グラフは上から順に、DFIR 雨量計による 10 分間地上降雪量、大気電場の瞬時値、10 分間平均風速（高度 10m）および 10 分間平均気温である。両日とも一日を通して平均風速は 5m/s 未満であり、CCTV カメラからも吹雪や地吹雪の発生は確認されなかった（一般的に、吹雪の発生臨界風速は 5m/s とされる⁷⁾）。図 4 に示す結果から、地上で降雪が計測

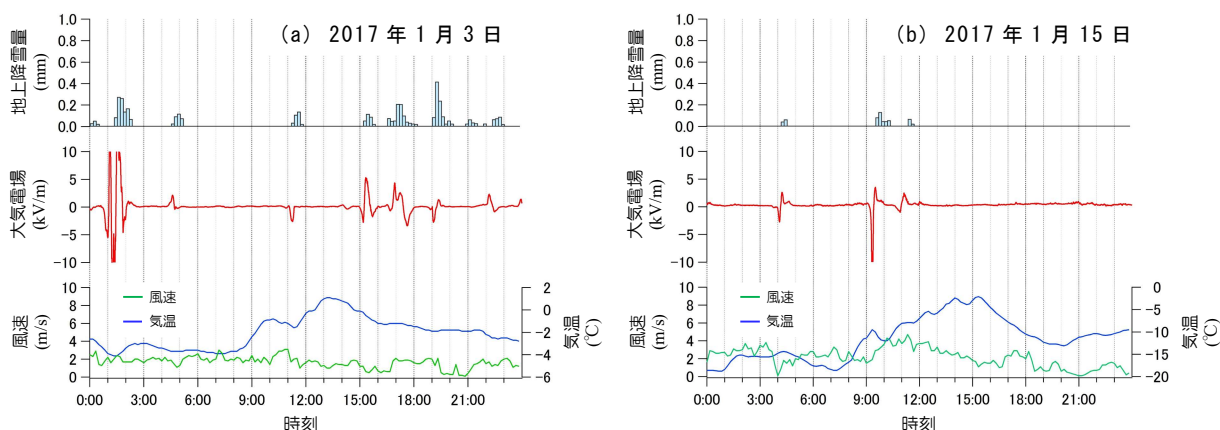


図 4 降雪があった日の観測結果

(a) : 2017 年 1 月 3 日のケース (b) : 2017 年 1 月 15 日のケース

されたのとほぼ同じタイミングで大気電場が変動していたことがわかる. その変動パターンは一義的でないが, これは織笠³⁾にもあるように, 降雪種の違い等が一因であろう. 一般的な地上気象観測点で使用する転倒ますタイプの雨量計では微量な降雪量が計測されないことが多々あるなか, 大気電場計は微量な降雪に伴う大気電場変動を正確に捉えることができていた. これは, 大気電場計が降雪検知センサーとして有用であることを示唆するものである.

3.2 吹雪時および地吹雪時

吹雪および地吹雪が発生した2017年2月2日の観測結果を図5に示す. この日は1日を通して平均風速が5m/s以上であり, CCTVカメラ動画からも吹雪や地吹雪の断続的な発生が確認された. 図5より, この日は大気電場も断続的に正負に大きく変動していたことが分かる. 地上降雪量が多い時間帯ほど変動の振幅が増大する傾向があった. また, 図4に示した弱風時の降雪事例に比べ, 変動時の振動数が大きかった.

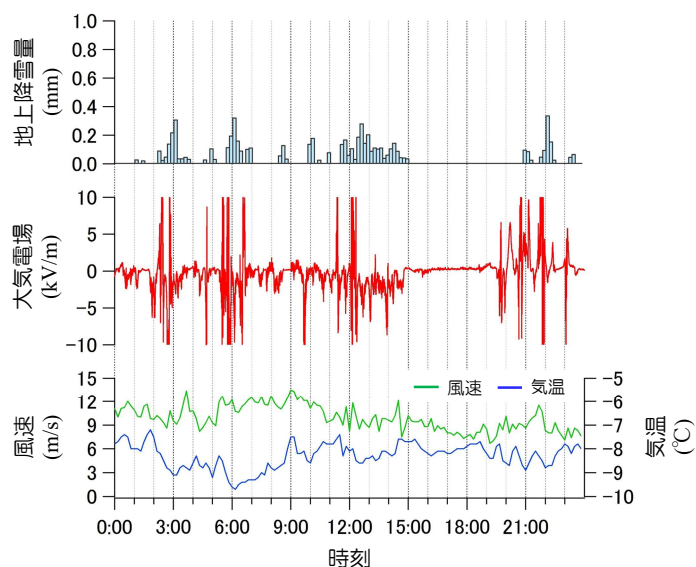


図5 2017年2月2日の観測結果

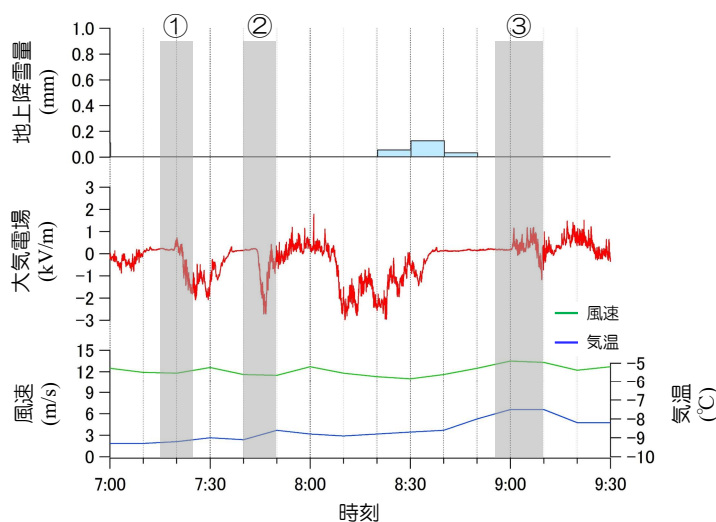


図6 断続的な地吹雪発生時の観測結果
(図5の7:00~9:30の拡大図)

図5における7:00~9:30の拡大図を図6に示す. ここでは, 大気電場グラフの縦軸スケールも拡大してあることに留意されたい. この時間帯は吹雪や地吹雪の発生・非発生の時間変化が特に顕著だった時間帯である. 図6中の網掛部分①~③に該当する時間帯のCCTVカメラ動画のキャプチャ画像を図7に記す.

図6および図7をもとに, 時間帯①~③における大気電場の変動状況と地吹雪発生有無について述べる. まず, 網掛部分①について, 7:15時点では大気電場に変動はなく, 画像においても地吹雪の発生は確認されない. その後, 大気電場が変動し始めた7:20前後から地吹雪発生に伴って徐々に視程が低下する様子が確認され, 7:25には大きく視程が低下した. 網掛部分②についても①と同様, 大気電場が変動していない7:40時点では画像からも地吹雪の発生は確認されない. その後, 大気電場が変動し始めた7:45前後から地吹雪発生に伴って徐々に視程が低下する様子が確認され, 7:50には大きく視程が低下した. 網掛部分③については①や②よりも天候急変が顕著であった. 8:55や9:00時点では太陽光による影が確認できるほど天候は良好である. 一方, 大気電場の変動が見

られた 9:00 過ぎからは地吹雪発生によって急激に視程が悪化した。これらの結果より、大気電場の変動と地吹雪発生のタイミングはほぼ一致することが認められた。これは、大気電場計が地吹雪検知センサーとして有用であることを示唆するものである。ただし、3.1 節で述べた降雪時（図 4）と同様、大気電場の変動パターンについては一義的ではなく、また、変動の振幅は小さかった。

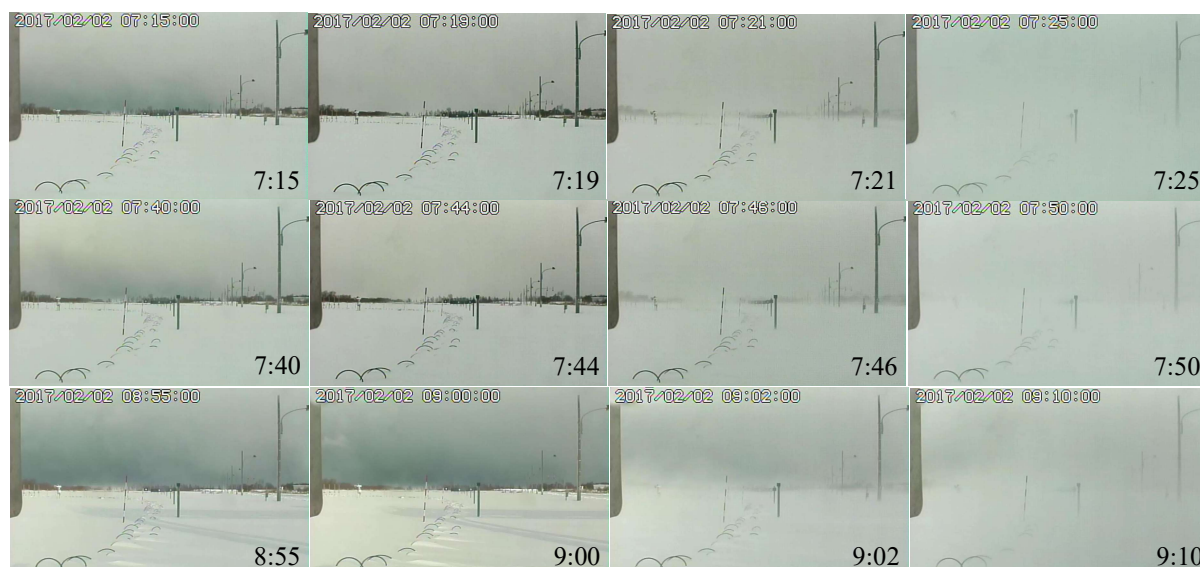


図 7 地吹雪の発生・非発生時の CCTV カメラ動画のキャプチャ画像
（上段：7:15～7:25、中段：7:40～7:50、下段：8:55～9:10）

4. まとめと今後の展望

新たな吹雪センサーとしての大気電場計の可能性を探ることを目的に、降雪の有無や吹雪の発生状況と大気電場の関係について調べた。その結果、降雪や地吹雪が発生するタイミングと大気電場が変動するタイミングがほぼ一致することが確認され、新たな発生検知センサーとしての大気電場計の有用性を示すことができた。今後は、大気電場の変動パターンについて解明するほか、降雪および吹雪発生の自動判別化に向けた閾値の検討、降雪量や吹雪量、視程との関係解明など、定量的解析を進める予定である。

【参考文献】

- 1) 大宮・松澤, 2016: 強風時における雨量計の降雪粒子捕捉率に関する検討, 寒地土木技術研究, **769**, 2-8.
- 2) 日本大気電気学会, 2003, 大気電気学概論, 2.
- 3) 織笠, 1961: 降雪に伴う地上付近の空中電位の擾乱, 雪氷, **23**(3), 1-10.
- 4) Kikuchi, 1970: Observations of the atmospheric electric field at Syowa Station, Antarctica, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **48**(5), 452-460.
- 5) Ogawa, 1967: Analyses of measurement techniques of electric fields and currents in the atmosphere, *Contributions of the Geophysical Institute, Kyoto University*, **19**, 307-315.
- 6) Goodison et al., 1998, *WMO Solid Precipitation Measurement Inter Comparison Final Report*.
- 7) 竹内ほか, 1986: 降雪時の高い地吹雪の発生限界風速, 昭和 61 年度日本雪氷学会予稿集, 252.

本研究の一部は（一財）防災研究協会の研究助成を受けたものです。ここに記し、深謝します。