

大気電場による吹雪発生有無の判別技術  
に関する研究

共同研究報告書

令和 3年 3月

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所  
国立大学法人 東京学芸大学

Copyright © (2021) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、国立研究開発法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、国立研究開発法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

# 大気電場による吹雪発生有無の判別技術 に関する研究

## 共同研究報告書

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所  
寒地道路研究グループ 雪氷チーム

上席研究員 松澤 勝<sup>※1</sup>  
総括主任研究員 西村 敦史<sup>※2</sup>  
研究員 大宮 哲  
准教授 鴨川 仁<sup>※3</sup>

国立大学法人 東京学芸大学

- ※1: 現 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地道路研究グループ グループ長  
※2: 現 国土交通省 北海道開発局 事業振興部 技術管理課 技術管理企画官  
※3: 現 静岡県公立大学法人 静岡県立大学 特任准教授

### 要旨

吹雪発生状況の判断は目視によるものが大半であるが、目視は人的・時間的労力を必要とするだけでなく、個人の主観に左右される。加え、夜間のカメラ画像は目視判断自体が難しい。そこで、自動連続かつ客観的な方法で降雪および吹雪の発生有無を把握するための新技術の開発が期待される。本共同研究では、吹雪時の大気電場の変動特性を解明することによって、降雪や吹雪の発生有無を判別できるか否か、その可能性を明らかにすることを目的とし、野外観測を行った。

結果、降雪や吹雪、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示され、吹雪の発生有無を判定する際の新たな検知センサーとしての大気電場計の可能性を示すことができた。

キーワード：吹雪の発生条件、大気電場

## 目 次

1. はじめに	1
(1) 背景と目的	1
(2) 大気電場とは	1
2. 観測概要	2
(1) 観測機器の設置状況	2
(2) 大気電場計による計測	3
(3) 降雪および吹雪観測	5
3. 観測結果と考察	7
(1) 弱風時	7
(2) 強風時	9
4. まとめ	12
参考文献	13

## 1. はじめに

### (1) 背景と目的

吹雪危険度の評価に用いられる吹雪量を計算する時や吹雪時の視程を気象条件から推定する時には、その前段階として「吹雪の発生有無」を正確に判定する必要がある。国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所（以下、寒地土木研究所）では、各種気象条件と吹雪の発生有無の関係について検討しているが、吹雪の発生有無をビデオ画像から目視判断しているため、研究が非効率である。また、実際の冬期道路管理においても、吹雪発生状況の判断方法は、現地パトロールや CCTV カメラ画像の目視によるものが大半であるが、この方法は人的・時間的労力を必要とするだけでなく、個人の主観に左右される。加えて、夜間の CCTV カメラ画像は目視判断自体が難しい。そこで、降雪の有無や吹雪の発生状況を、昼夜を問わず連続的かつ自動的に、客観的な方法で判定するための新技術の開発が期待される。

本共同研究では、吹雪時の大気電場の変動特性を解明することによって、降雪や吹雪の発生有無を判別できるか否か、その可能性を明らかにすることを目的とする。

### (2) 大気電場とは

大気電場とは「上空と地表の間に存在する電位差の勾配」のこと（単位は V/m）であり<sup>1)</sup>、大気空間中の電気状態を表す指標の1つである。一般に、上空約 80km 以上に存在する電離圏は地表に対して高電位なため、大気空間中には常時鉛直方向に電位差、つまり鉛直電場が存在している。例えば、晴天無風時など、大気中の電氣的擾乱がない時の地表付近の大気電場は、平均すると下向きに 100V/m を示すことが知られている<sup>1)</sup>。なお、大気電気学では慣例として晴天無風時の大気電場の向き（下向き）を正電場として扱うことから、本報告書においても下向きの電場を正電場として扱うこととする。

「大気中の電気」と聞いて最もイメージしやすい自然現象は落雷であろう。落雷は雲と地表面間の大気電場が閾値（約 300 kV/m）を超え、空気の絶縁が破壊されることで発生する自然現象である。雷雲内には電荷が存在するため、雷雲の発生や接近に伴い、kV/m オーダーで地表付近の大気電場が変動しうる。一方、雷現象以外でも、降雨や降雪、砂嵐、吹雪時にも大気電場が乱れることが報告されている。これは、雨滴や飛雪粒子、飛砂粒子自体が帯電していることに起因するが<sup>2) - 13)</sup>、詳細については不明な点も多い。本共同研究は、この大気電場が変動する現象に着眼したものである。野外観測に基づき、降雪や吹雪の発生と大気電場変動の関係について把握することにより、大気電場計を用いて降雪や吹雪の発生を自動的に検知することができるか、その可能性について検討した。

## 2. 観測概要

### (1) 観測機器の設置状況

寒地土木研究所が所有する石狩吹雪実験場 (N43° 12' , E141° 23' ) にて、2 冬期 (2015、2016 年度) にわたり、大気電場観測および各種気象観測を実施した。降雪や吹雪の発生状況は、CCTV カメラ動画により記録した (撮影は日中のみ、6 時~18 時)。図-1 および図-2 に、大気電場計および CCTV カメラの設置状況を記す。なお、本研究に使用した大気電場計は市販品 (Boltek 社製, EFM100) であり、その一般的な使用用途は雷雲の発生および接近の監視である。



図-1 大気電場計の設置状況



図-2 CCTV カメラの設置状況

## (2) 大気電場計による計測

大気電場計のセンサー部分を図-3 に、センサーの構造を示す概略図を図-4 に記す。本センサーは誘導板と回転遮蔽板の二重構造となっており、誘導板は抵抗を通じて地表面につながれている。

遮蔽板の回転によって誘導板が重ならない位置にくると、図-4(a)に示すように、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、図-4(b)に示すように、遮蔽板が誘導板と重なる位置にきた時には、誘導板は遮蔽板によって大気電場から遮蔽されるため、誘導板の表面に集まっていた電荷は抵抗を通じて地表に戻る。この繰り返しによって、抵抗には交流電圧が発生する。静電誘導によって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<sup>14)</sup>、これより大気電場が求められる。

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2Hz）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。

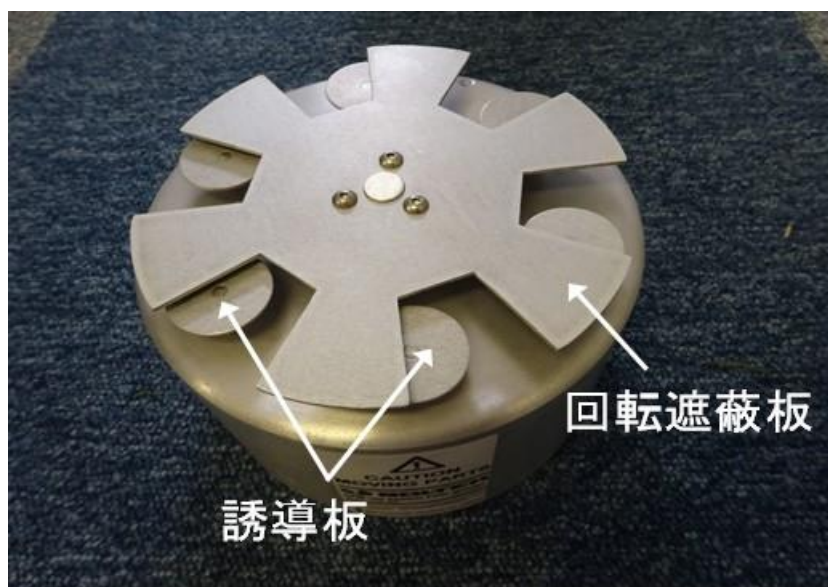
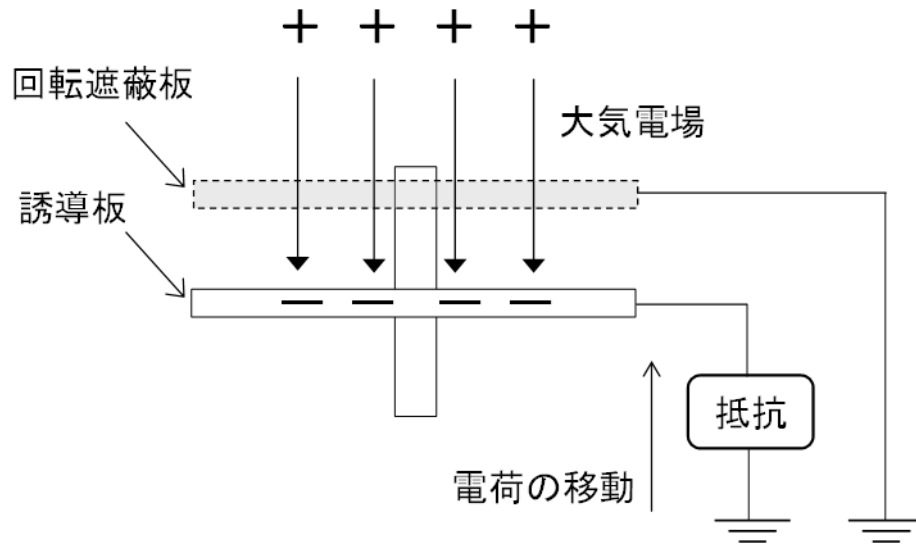


図-3 大気電場計のセンサー部

(a) 誘導板露出時



(b) 誘導板遮蔽時

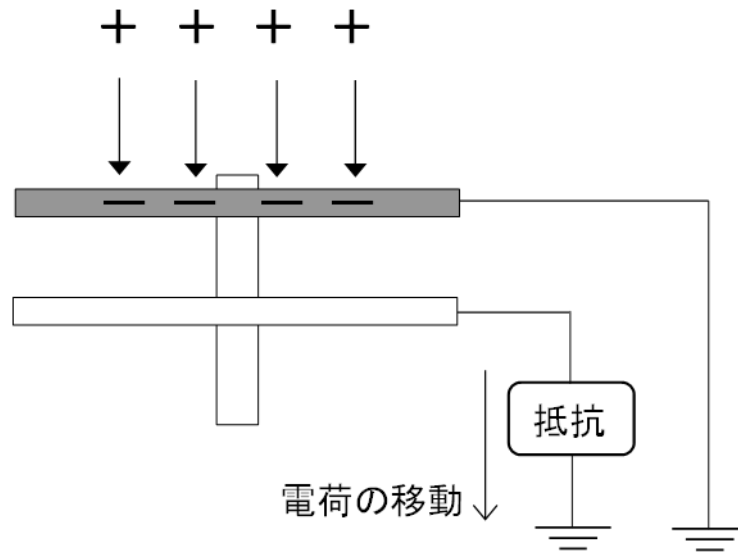


図-4 大気電場センサーの構造図



### (3) 降雪および吹雪観測

降雪観測には、世界気象機関(WMO)が推奨する二重の防風柵(Double Fence Intercomparison Reference)<sup>15)</sup>と重量式雨量計(Geonor社製、GNR-T200B)を使用した(以下、DFIR雨量計と呼ぶことにする)。DFIR雨量計の平面図を図-5に、外観写真を図-6に示す。DFIR雨量計はサイズの異なる2つの正八角形の風除け柵(外側柵・内側柵の対角長はそれぞれ12m、4m)からなり、中央部に重量式雨量計が設置されている。外側柵・内側柵はともに長さ1.5mの板からなり、外側柵の上端は内側柵の上端よりも0.5m高い。なお、柵部分の空隙率は50%、内側柵の上部と雨量計の受水口が等しい高さになるように設置されてある。

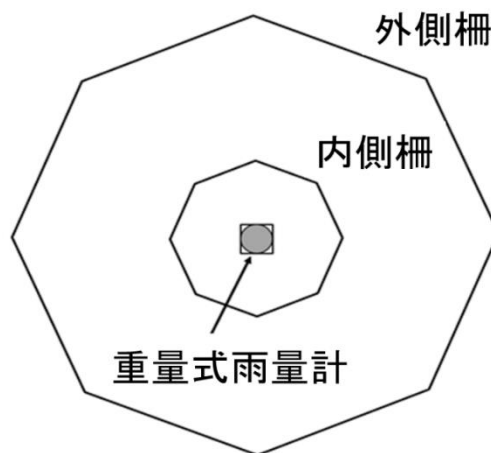


図-5 DFIR雨量計の平面図

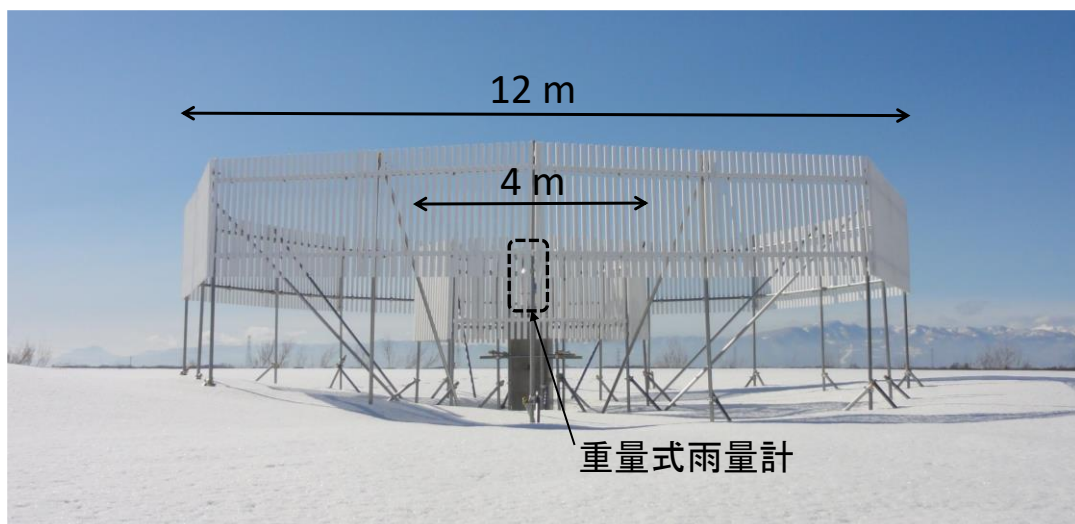


図-6 DFIR雨量計の外観

重量式雨量計の外観および機器内部の様子を図-7 および図-8 に示す。この重量式雨量計は、内部の受水バケツに降水を貯留するタイプであり、バケツ全体の重量増加量から降水量を算出するものである。一般的な地上気象観測点（アメダス、道路気象テレメータなど）で使用される転倒ますタイプの雨量計の計測分解能が0.5～1.0mmである一方、重量式雨量計は0.1mm以下の高分解能で精密に計測することができる。以降、本報告書に記す「地上降雪量」とは、DFIR雨量計により実測された降雪の水量換算値を10分間積算したものを指す（単位はmm）。



図-7 重量式雨量計の外観



図-8 重量式雨量計の内部

吹雪発生有無の判断は、CCTV カメラ動画および現地での目視によって判別した。ここで、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」として区別した。なお、地吹雪とは、一度地面に降り積もった雪が強風によって再度大気中に舞う現象のことを指す。目視判別するにあたり、吹雪と地吹雪を区別できないケースが多々ある。それは、大気中を舞っている飛雪粒子が、降雪粒子なのか地吹雪粒子なのか判断つかないことがあるためである。このような場合に限り、DFIR 雨量計のデータを判断に用いた。ここでは、降雪有無の閾値を地上降雪量 0.02mm とし、それに満たない場合は「降雪なし」として扱った。

### 3. 観測結果と考察

#### (1) 弱風時

弱風時の観測結果の一例を図-9(a)～(c)に示す。本報告書では、吹雪が発生する臨界風速値とされる  $5\text{m/s}$ <sup>16)</sup> に満たない風速を「弱風」とする。2017年1月3日の事例を図-9(a)、1月15日の事例を図-9(b)、1月20日の事例を図-9(c)にそれぞれ示す。グラフは、上から順に、DFIR 雨量計による地上降雪量、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。ここに示す事例は全て、一日を通して平均風速が  $5\text{m/s}$  未満であり、目視で吹雪や地吹雪の発生が確認されなかったケースである。

地上で降雪が観測されていない時間帯は大気電場に変動がなく、安定している。その一方、降雪が計測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ることが確認できる。一般的な地上気象観測点（アメダスや道路気象テレメータなど）で使用される雨量計の計測分解能は  $0.5\sim 1.0\text{mm}$  であるため、微量な降雪を検知できないことが多々あるが、本観測結果より、大気電場計を用いることで、微量な降雪量に対する大気電場変動を捉えることができた。これは、大気電場計が降雪検知センサーとして活用できることを示唆するものである。

一方、大気電場の変動特性（波形や振幅の大きさなど）については一義的でなかった。これは、先行研究でも述べられているように、大気電場が降雪種の違いに起因しているためと考えられる<sup>7)</sup>。また、大気電場の変動幅と地上降雪量の関係についても不明瞭である。これは、降雪時の気象条件の違い（気温、湿度など）が降雪粒子自体の帯電量に影響するためと推測される。大気電場が変動したタイミングについて着目すると、地上で降雪が観測されたタイミングに比べ、わずかに大気電場変動の方が早い傾向がある。この理由として、大気電場計は大気空間中の電気状態を監視しているものであるため、落下中の降雪粒子が DFIR 雨量計によって計測されるまでの時間差が現れたものと解釈できる。

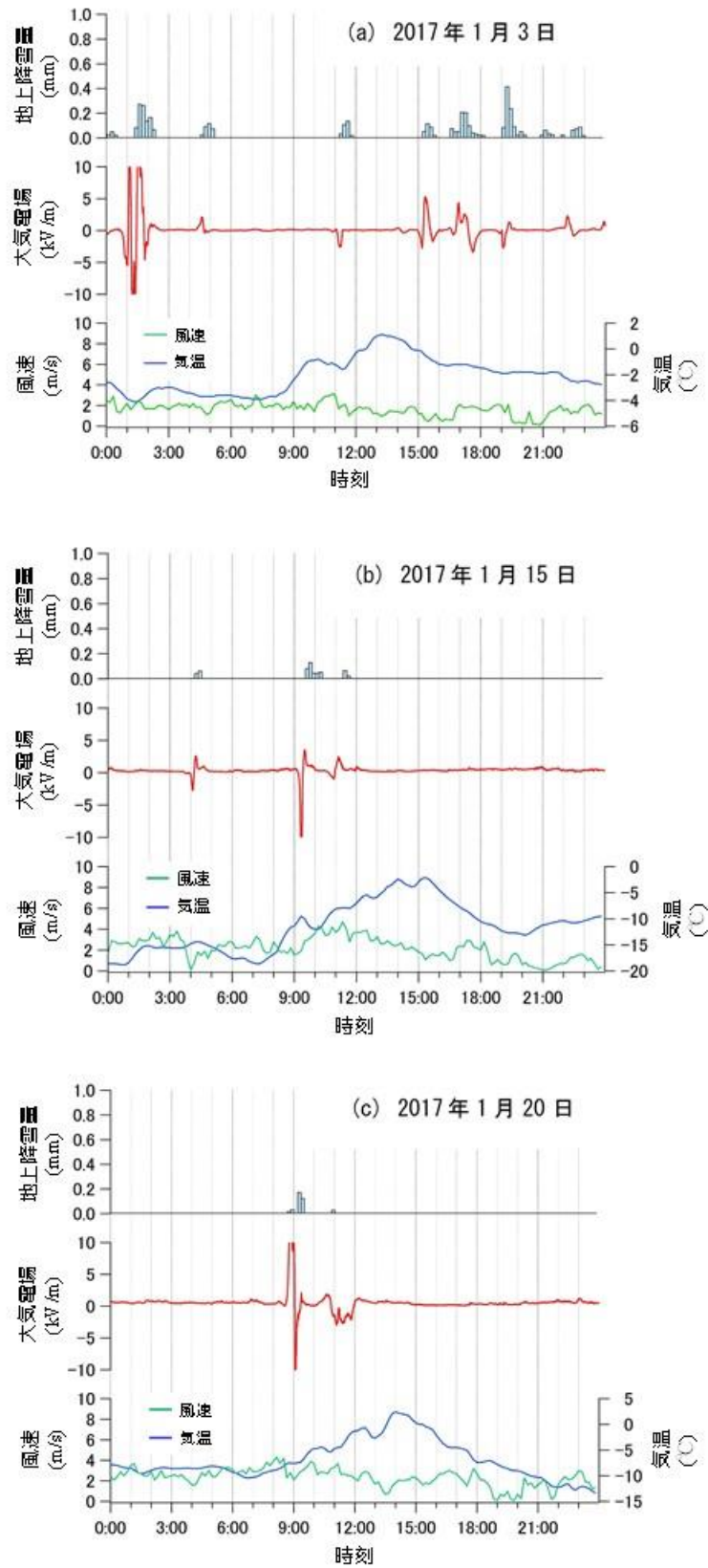


図-9 弱風時に降雪があった日の観測結果 (3 事例)

## (2) 強風時

強風時の観測結果の一例を、図-10(a)～(d)に示す。本報告書では、風速 5m/s 以上を「強風」とする。2017年2月2日の事例を図-10(a)、2月18日の事例を図-10(b)、2月21日の事例を図-10(c)、2月24日の事例を図-10(d)にそれぞれ示す。ここでは、CCTVカメラによって動画撮影を行った時間帯(6:00～18:00)の結果について示してある。図-10(a)～(d)に示す事例は、その大半の時間帯において平均風速が 8m/s 以上、また平均気温が氷点下であり、吹雪や地吹雪が発生しやすい気象条件であった。

図-10(a)～(d)において、地上で降雪が計測されている時間帯には、目視によって吹雪が発生していたことを確認した。また、図より、同時間帯には大気電場も変動していたことが確認できる。前節において、弱風時の降雪時に大気電場が変動することを記したが、「降雪の有無」の観点からいけば両者は整合的な結果が得られているといえる。しかし、その変動特性は異なっていた。強風時に吹雪が発生していた時の大気電場変動は、弱風下における降雪時の変動よりも短周期の振動が卓越する傾向があった。また、概して地上降雪量が多いほど変動時の振幅が大きいように見受けられる。本結果より、「弱風時における降雪」と「吹雪(強風時における降雪)」の大気電場変動特性の違いを見いだすことができた。

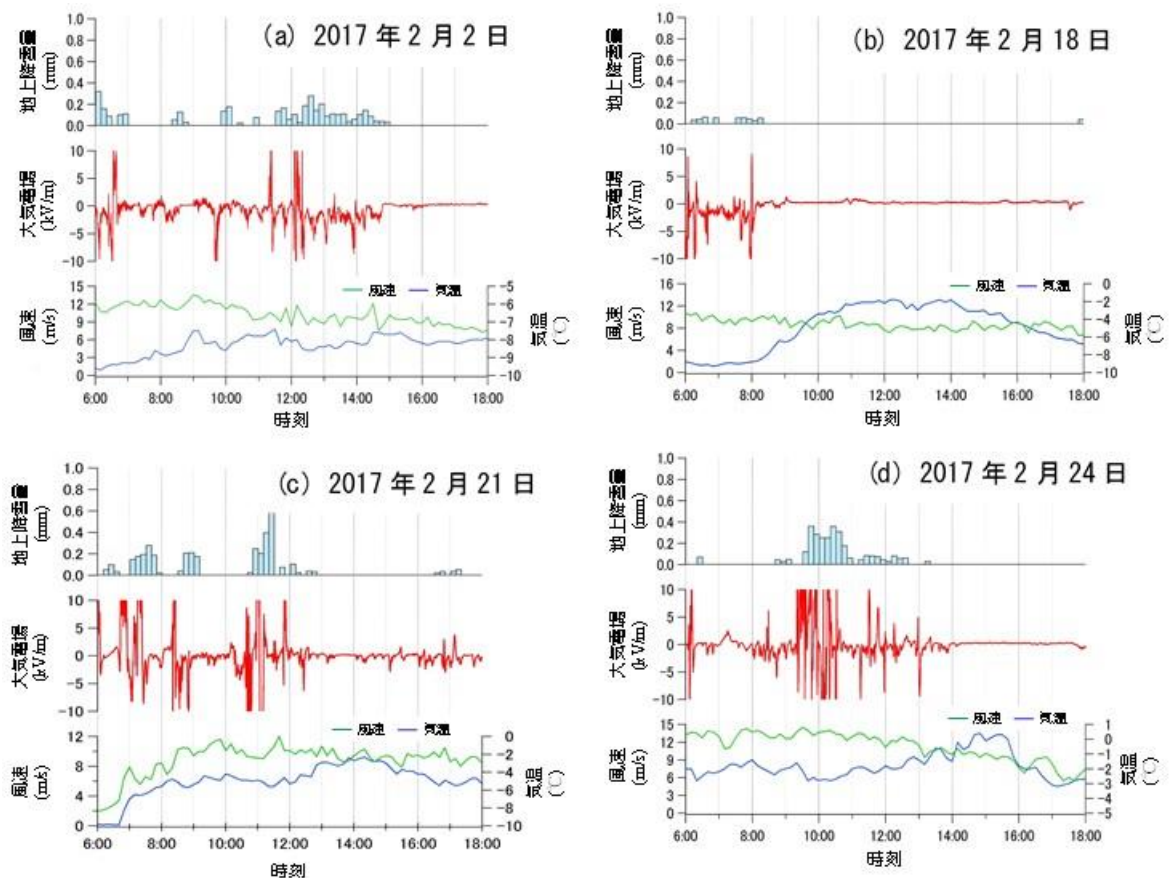


図-10 強風時の大気電場 (4事例)

図-10(a)～(d)より、降雪が観測されているときには大なり小なり必ず大気電場が変動していることが見てとれるが、降雪が無い時にも大気電場が変動していることがある（例えば、2月2日の7:00～8:20や、2月21日の9:10～10:40など）。そこで、次に、大気電場の変動と地吹雪発生有無の関係について述べる。ここでは、その一例として図-10(a)の7:00～9:30の結果について示す。該当部分の拡大図を図-11に示す。なお、図-11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。ここに示す大気電場も、降雪時と同様、波形や振幅の大きさなど、その変動特性に一定の傾向は確認されない。したがって、本報告書では変動特性の違いについては触れず、大気電場の変動有無と地吹雪の発生有無の関係についてのみ述べることにする。

図-11中に示す時間帯は平均風速が約12m/sと非常に強い風が吹いており、地吹雪の発生・非発生の時間変化が顕著であった。ここで、図-11中の灰色網掛部分①および②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-12、図-13に記す。次に、これらの図をもとに、時間帯①、②における大気電場の変動と地吹雪発生有無について述べる。

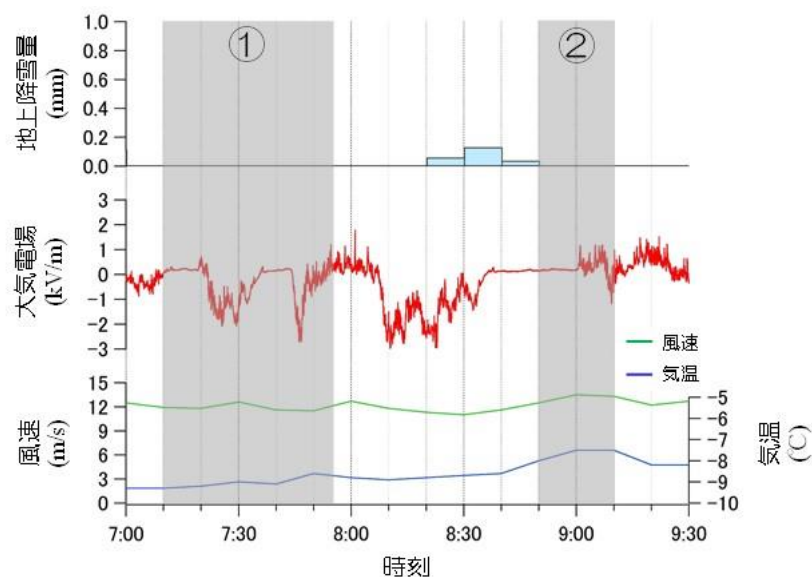


図-11 断続的な地吹雪発生時の観測結果  
(図-10(a)の7:00～9:30の拡大図)

まず、7:10頃～7:20頃には大気電場に変動はなく、安定している。同時刻の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過ぎ頃から地吹雪の発生に伴い、徐々に視程が低下する様子が確認された。この大気電場変動は7:30過ぎまで継続し、7:35頃には安定状態に戻っている。この様子は、画像からも地吹雪が終息したタイミングと一致していることが確認できる。その後も7:45頃まで大気電場は安定しているが、その間においては画像からも地吹雪が発生していないことが確認できる。7:45過ぎから再び大気電場が変動し始めるのとほぼ同時に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る。

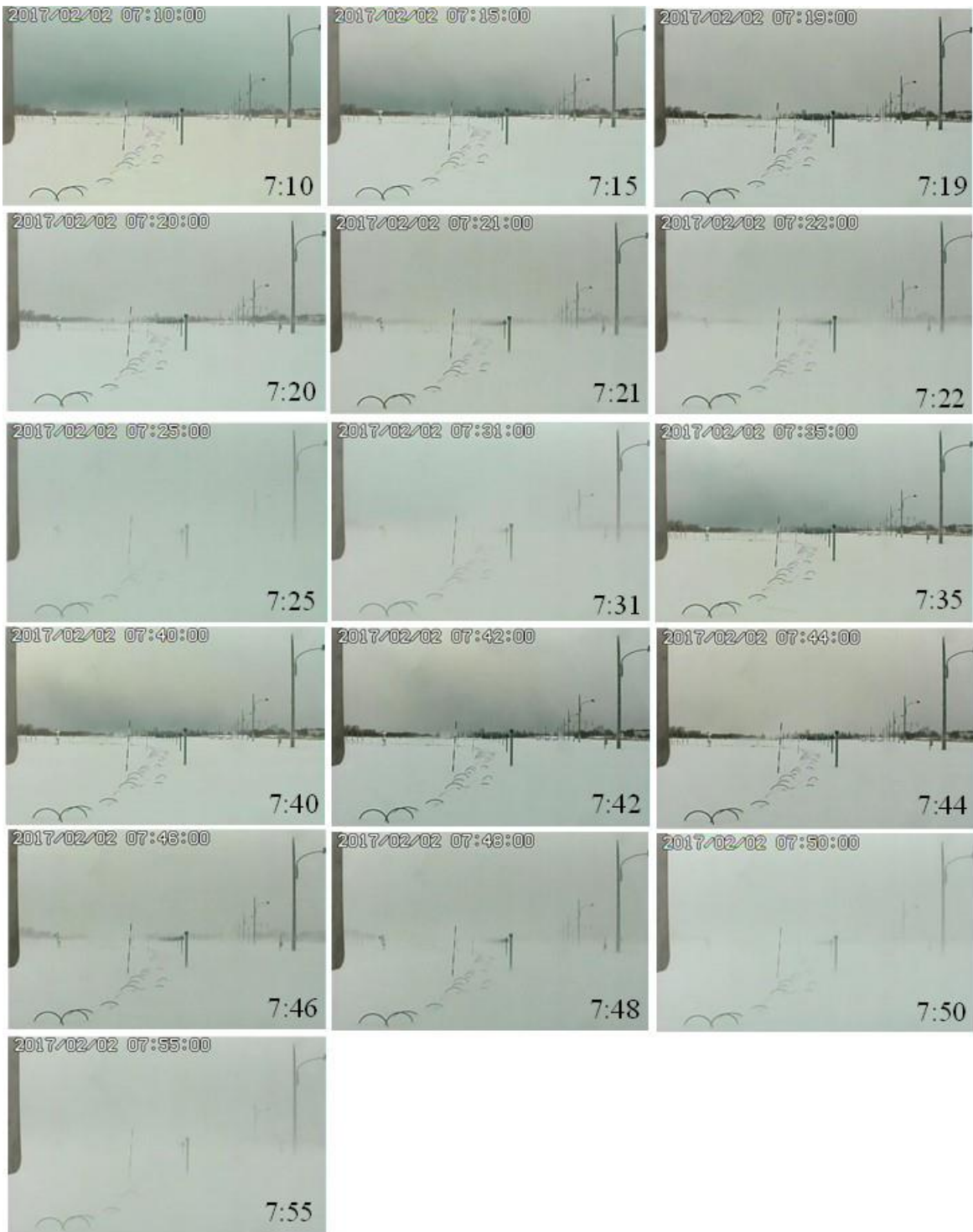


図-12 図-11 の網掛部分①における CCTV カメラ  
動画のキャプチャ画像

次に、灰色網掛部分②について述べる。時間帯②は時間帯①よりも天候急変が顕著であった。8:50 頃～9:00 頃に大気電場の変動はなく、画像からも太陽光による影が確認できるほど天候は良好である。その後、大気電場の変動が始まるタイミングとほぼ同時に地吹雪が発生し、視程が急激に悪化したことが見てとれる。上記より、大気電場の変動は地吹雪発生に因るものであることが確認された。

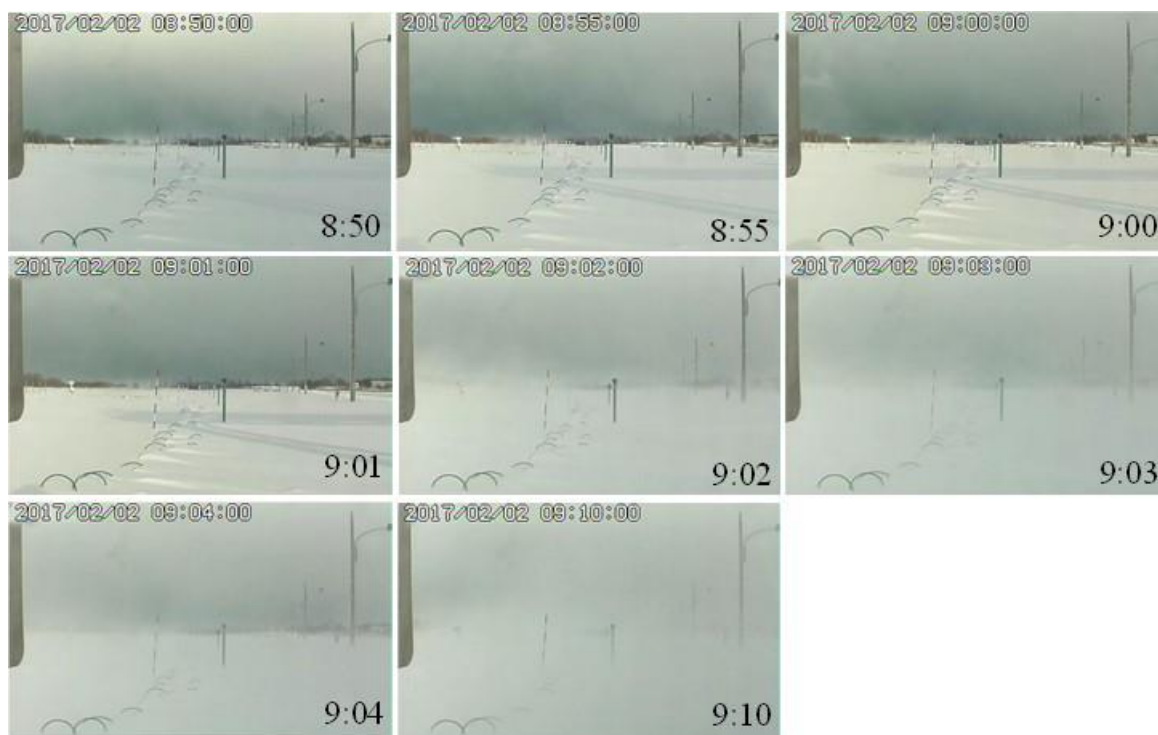


図-13 図-11 の網掛部分②における CCTV カメラ  
動画のキャプチャ画像

なお、図-10 (b)～(d)に示されている大気電場変動についても、地吹雪発生有無のタイミングにほぼ一致することが確認された。以上より、大気電場計が地吹雪検知センサーとして活用できる可能性があることが示された。

#### 4. まとめ

本共同研究では、吹雪時の大気電場の変動特性を解明することによって、降雪や吹雪の発生有無を判別できるか否か、その可能性を明らかにすることを目的に野外観測を行った。その結果、降雪や吹雪、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示され、新たな発生検知センサーとしての大気電場計の可能性を示すことができた。



## 参考文献

- 1) 日本大気電気学会, 大気電気学概論, p. 2, 2003.
- 2) Schmidt, D.S and Schmidt, R.A : Electrostatic force on saltating sand. *Journal of Geophysical Research*. Vol.103, No.D8, 8997-9001, 1998.
- 3) Kikuchi, K. : Observations of the atmospheric electric field at Syowa Station, Antarctica. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 48(5), 452-460, 1970.
- 4) Latham, J. and Montagne, J. : The possible importance of electrical forces in the development of snow cornices. *J. Glaciol.*, 9(57), 375-384, 1970.
- 5) Schmidt, D.S. and Dent, J.D. : Measurements of the electric field gradient in a blizzard. *Proceedings of International Snow Science Workshop*, October 30-November 3, 1994, Snowbird, UT, USA, 197-202, 1994.
- 6) Magono, C. and Orikasa, K. : On the Disturbance of Surface Electric Field Caused by Snowfall. *J. Meteor. Soc. Japan*, 44 (1966), 260-279, 1966.
- 7) 織笠桂太郎 : 降雪に伴う地上付近の空中電位の擾乱 (降雪の電荷、結晶形、降雪強度), *雪氷*, Vol.23, No.3, pp.81-90, 1961.
- 8) 源泰拓 : 昭和基地における大気電場観測, *地磁気観測所テクニカルレポート*, 第5巻, 第1号, 11-17, 2008.
- 9) Gordon, M. and Taylor, P. A. : The Electric Field During Blowing Snow Events. *Boundary-Layer Meteorology*, Vol.130, 97-115, 2009.
- 10) Maeno, N., Naruse, R., Nishimura, K., Takei, I., Ebinuma, T., Kobayashi, S., Nishimura, H., Kaneda, Y. and Ishida, T. : Wind-tunnel experiments on blowing snow. *Ann. Glaciol.*, 6, 63-67, 1985.
- 11) 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.
- 12) 大宮哲, 佐藤篤司 : 吹雪粒子が持つ電荷に関する野外観測, *寒地技術論文・報告集*, 27, 13-17, 2011.
- 13) 大宮哲, 佐藤篤司 : 吹雪粒子の帯電と跳躍回数に関する風洞実験, *雪氷*, 73巻, 4号, 205-212, 2011.
- 14) Ogawa, T. : Analysis of measurement techniques of electric field and currents in the atmosphere, *Contributions of the Geophysical Institute, Kyoto University*, 13, pp.111-137, 1973.
- 15) Goodison, B. E, Louie, P.Y.T and Yang, D. : WMO Solid Precipitation Measurement Intercomparison Final Report, WMO/TD-No.872, Instruments and Observing Methods Report No.67, p.14, 1998.
- 16) 竹内政夫, 石本敬志, 野原他喜男, 福沢義文 : 降雪時の高い地吹雪の発生限界風速, *昭和61年度日本雪氷学会秋期大会講演予稿集*, p.252, 1986.

---

共同研究報告書  
COOPERATIVE RESEARCH REPORT of P.W.R.I.  
No.527 March 2021

編集・発行 ©国立研究開発法人土木研究所

---

本資料の転載・複写の問い合わせは

国立研究開発法人土木研究所  
寒地土木研究所 寒地技術推進室

〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号 電話 011-590-4046