

4.2 暴風雪による吹雪視程障害予測技術の開発に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）
 研究期間：平 23～平 27
 担当チーム：寒地道路研究グループ（雪氷）
 研究担当者：松澤勝、金子学、川中敏朗、
 武知洋太、原田裕介

【要旨】

近年、急激に発達した低気圧の影響により、今まで吹雪の発生頻度が低かった地域でも、吹雪による交通障害が発生するようになってきている。防雪柵や防雪林等の対策施設の整備には、多くの時間と費用が必要となるほか、激甚的な吹雪事象への対応には限界がある。そこで本研究では、気象データを用いて視程を予測する技術を開発し、インターネットを通じて道路利用者に情報提供することとした。

平成 24 年度は、気象履歴（降雪終了からの経過時間）と吹雪発生風速の関係を求め、視程演算フローの改良を行った。また、吹雪時のドライバーへの安全支援に向けて、吹雪時の視界予測情報の提供を開始した。

キーワード：吹雪、視程障害、予測、情報提供

1. 研究の背景

近年、急激に発達した低気圧の影響により、今まで吹雪の発生頻度が低かった地域でも、吹雪による交通障害が発生するようになってきている。防雪柵や防雪林等の対策施設の整備には、多くの時間と費用が必要となるほか、激甚的な吹雪事象への対応には限界がある。

そこで本研究では、気象データを用いて視程を予測する技術を開発し、インターネットを通じて道路利用者に情報提供するシステムを構築し、試験運用を行うことにより、吹雪時の道路利用者の判断を支援し、暴風雪による吹雪視程障害の被害軽減を図ることとした。

2. 研究概要と成果

2.1 気象等の履歴を考慮した吹雪発生条件の解明

吹雪時の視程を気象条件（風速や気温等）から推定する¹⁾場合、前提条件として吹雪発生の有無を正確に判別することが重要である。降雪時については、吹雪の発生と風速や気温との関係（吹雪発生条件）が竹内ら²⁾により整理されている。しかし、降雪が無い場合については、吹雪（以下、降雪がない場合の吹雪を地吹雪と呼ぶ）の発生条件は、地吹雪の発生源となる雪面の状態に影響を及ぼす様々な要因が複雑に関係することから、地吹雪の発生条件は研究者によってかなり異なる³⁾。

そこで本研究では、当研究所が石狩市郊外に所有する実験施設（石狩吹雪実験場）において冬期の気象観測と吹雪映像の記録を行い、地吹雪発生の有無と気象条件と

の関係について調査した。地吹雪については、地表面が雪が移動する「低い地吹雪」と、人の視線高さまで雪が舞い上がる「高い地吹雪」とに分けて調査した。

調査対象期間は、平成 19 年 1 月 17 日から 2 月 28 日、平成 19 年 12 月 26 日から平成 20 年 2 月 28 日、平成 20 年 12 月 26 日から平成 21 年 3 月 11 日までの 3 冬期である。地吹雪の発生状況については、高さ 1.7m の位置に設置した CCTV カメラにより距離 10m から 255m に配置した 9 枚の視程板を撮影し、記録した動画映像（20 分毎に 5 分間収録）から、吹雪の発生状況を表 1 に示す基準で読み取り、判別した。風速については、高さ 1.5m に設置した風向風速計の風速を、対数分布則を仮定して雪面からの高さ 10m の風速(V_{10})に換算して用いた。降雪に関しては、気象庁による 1km メッシュの解析雨量を用いて降雪の有無を判定した。

表 1 吹雪発生状況の画像による判別方法

低い地吹雪	断続的な高い地吹雪	連続的な高い地吹雪
		
雪面が白く露がかかった状態で、時々高く舞い上がるが、視程板(高さ概ね 1m 未満)より低い状態	視程板が 9 枚のうち 1 枚以上見えない、全て見える状態が繰り返される状態	継続して視程板が 9 枚のうち 1 枚以上見えない状態

降雪直後の雪粒子同士は結合が弱い、時間とともに雪粒子間の結合が発達し、地吹雪が発生し難くなる。そこで、最初に地吹雪発生の有無と、降雪終了からの経過時間との関係を調べた。地吹雪発生の有無と、降雪終了からの経過時間 T_{pass} （時間）と風速との関係について図-1に示す。図-1において、地吹雪が発生しなかった例を「○」、低い地吹雪が発生した例を「▲」、断続的な高い地吹雪の例を「■」、連続的な高い地吹雪の例を「◆」で示した。降雪終了からの経過時間が長くなるに従い、地吹雪の発生し始める風速が高くなる傾向が見られた。

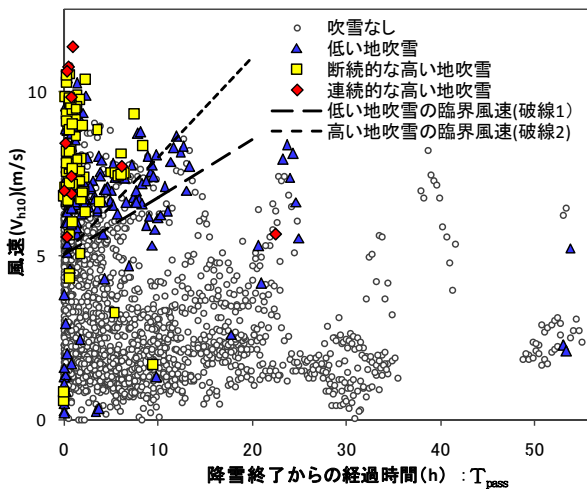


図-1 吹雪時の降雪終了からの経過時間と風速の関係

これまでの研究により、降雪時には概ね風速 5m/s 以上の条件で地吹雪が発生し始めることが知られている²⁾。そこで、 $T_{pass} = 0$ の時の吹雪の発生臨界風速を 5.0m/s と仮定し、図-1から低い地吹雪と高い地吹雪の発生臨界風速を読み取り、それぞれ破線1、破線2で示した。破線2で示される高い地吹雪の発生と吹雪終了からの経過時間については、式(1)で示される。

$$V_{10} = 0.3 T_{pass} + 5.0 \quad \dots (1)$$

降雪がない場合の地吹雪発生に影響を与える要因として、ここでは降雪終了後の経過時間を用いたが、平成24年度は最高気温や積算日射量、強風の継続時間等の影響についても検討を行った。降雪終了後の最高気温と地吹雪発生風速の関係を図-2に、降雪終了後の積算日射量と地吹雪発生風速を図-3に、降雪終了後の強風継続時間と地吹雪発生風速を図-4に示す。図-3、4には、地吹雪発生の有無についての判別分析により得られた判別関数を、実線で記した。

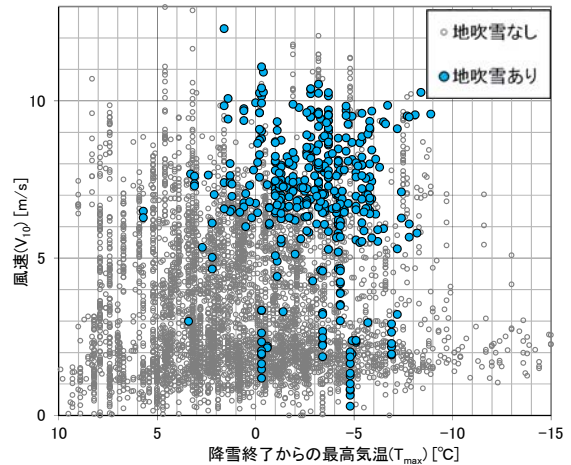


図-2 降雪終了後の最高気温と風速

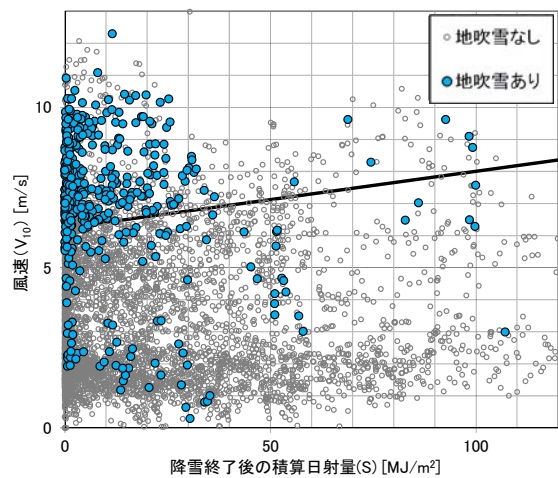


図-3 降雪終了後の積算日射量と風速

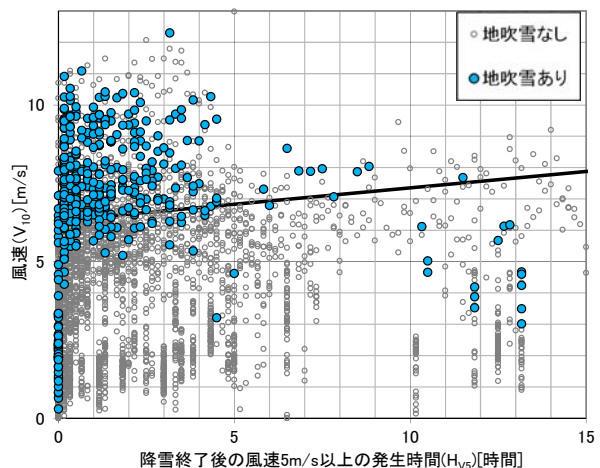


図-4 降雪終了後の強風時間と風速

2.2 吹雪視程障害の予測技術の開発

吹雪に伴う視程障害を予測し、道路利用者や道路管理者に情報提供することで、吹雪による交通障害や被害の軽減を図ることが可能と考えられる。視程障害の予測に

については新潟県や山形県での研究事例がある⁴⁾。しかし、北海道のように都市間距離が大きい地域では広範囲の視程の推定が必要となる。

当研究所では、これまでの研究により気象データ（降雪強度、風速、気温）から、吹雪時の視程を推定する手法を開発した¹⁾。この手法では、まず式(2)より降雪強度と風速から飛雪空間密度 N (g/m^3) を求める。式(2)の右辺の第1項は降雪による飛雪空間密度を、第2項は地吹雪による飛雪空間密度を表わす。本研究では、道路構造令のドライバの視点高さから $z = 1.2\text{m}$ で計算する。

$$N(z) = \frac{P}{w_f} + \left(N_t - \frac{P}{w_f} \right) \left(\frac{z}{z_t} \right)^{-\frac{w_b}{kU_*}} \dots (2)$$

ここで

- P ($\text{g}/(\text{m}^2\text{s})$) : 降雪強度
 w_f (m/s) : 降雪粒子の落下速度(=1.2m/s)
 w_b (m/s) : 浮遊粒子の落下速度(=0.35m/s)
 z (m) : 高さ
 z_t (m) : 基準高度(=0.15m)
 N_t (g) : 基準高度 z_t における飛雪濃度(=30g/m³)
 U_* (m/s) : 摩擦速度(=0.036× V_{10})
 ただし、 V_{10} は、高さ10mでの風速
 k : カルマン定数(=0.4)

次に、式(2)の飛雪空間密度 N (g/m^3) と、地上高1.2mの風速 $V_{1.2}$ (m/s) を(3)式に代入し、飛雪流量 Mf ($\text{g}/(\text{m}^2\text{s})$ 、1秒間に単位面積の断面を通過する雪粒子の質量) を求め、さらに、式(3)の飛雪流量 Mf を式(4)²⁾に代入し、視程値 V_{is} (m) を求める。

$$Mf = N \times V_{1.2} \dots (3)$$

$$V_{is} = 10^{-0.886 \times \log(Mf) + 2.648} \dots (4)$$

この手法を用いた視程推定では、降雪が無い場合の吹雪の発生条件が解明されていなかったため、便宜的に降雪を伴う吹雪の発生条件を用いていた。このため、降雪がなく、雪面が硬くなっていた場合などでは、風が強くても吹雪が発生しない場合がある等の課題が残されていた。また、利用する気象データでは、降雪強度に相当する部分が降水強度であるため、気温が高い降雨の際にも

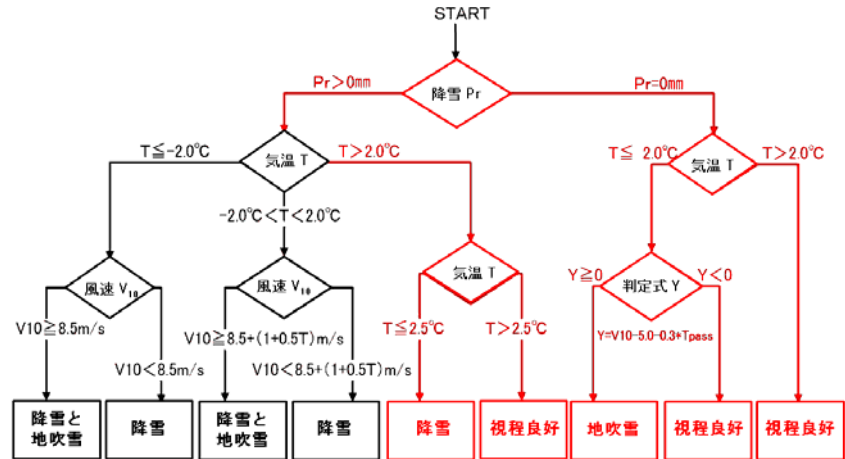


図-5 飛雪空間密度の計算フロー

も吹雪による視界不良と誤判定する恐れもあった。このため、従来の飛雪空間密度の計算フロー（図-5の黒字部分）に、前項で検討した吹雪終了からの経過時間と、雨雪判別の条件を追加した（図-5の赤字部分）。非降雪時には、式(1)の風速を超えた場合を地吹雪発生とした。既往の研究²⁾により、地吹雪の発生する気温が2.0℃以下とされていることから、気温2.0℃で地吹雪発生の判別を、また、降雨を吹雪と誤判定しないよう、気温2.5℃で雨雪判別⁵⁾をそれぞれ行うこととした。

2.3 吹雪視程障害予測に関する情報提供技術の開発

吹雪時の視程障害に関しては、平成20年度よりインターネットで「吹雪の視界情報」の試験公開を行っている。従来は、北海道を気象庁注警報発表の一次細分区域ごとにブロック分けした46エリアについて、視程の推定結果の現況値を表示していた（図-8、上）。24年度から予測情報を提供するにあたり、エリア区分の見直しと視界予測情報の提供について利用者のニーズをアンケート調査し、これに基づく改良を実施した。

アンケート調査の、エリア区分に関する設問（図-6）では、大多数の回答者（94%）が、市町村単位や1km四方メッシュのより細かな区分を望んでいることが判った。このため、エリアを市町村単位に区分し直し、札幌市については区単位に、広い自治体や飛び地となった自治体については合併前の旧自治体区分に改め、203エリアに細分化した。また、視界予測情報に関する設問（図-7）では、1～6時間先までの予測情報を望む回答が94%（重複回答を除く）にのぼり、予測情報のニーズが高いことが判った。このため、視界予測情報の提供は、1～6時間先までは1時間毎の予測値を、それ以降については9、12、24時間先の予測値を表示することとした。これらの

4.2 暴風雪による吹雪視程障害予測技術の開発に関する研究

改良を行い、平成25年2月1日に新しい表示内容に改めた(図-8、下)。なお、視界不良の程度については、吹雪時のドライバーの運転挙動⁶⁾に関する研究成果に基づき、視程を5つのランクに色分け表示している。

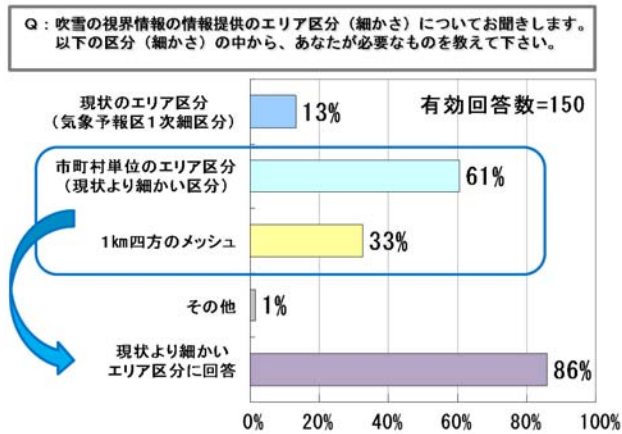


図-6 エリア区分に関する設問と回答

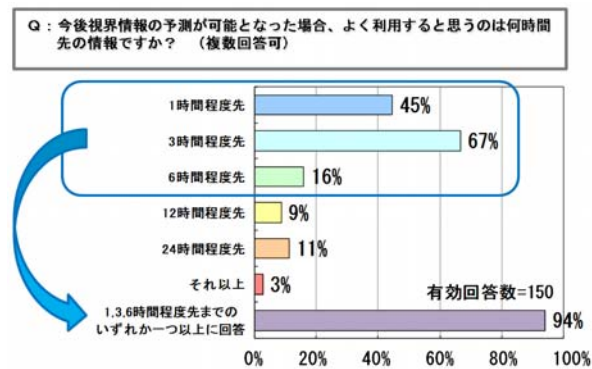
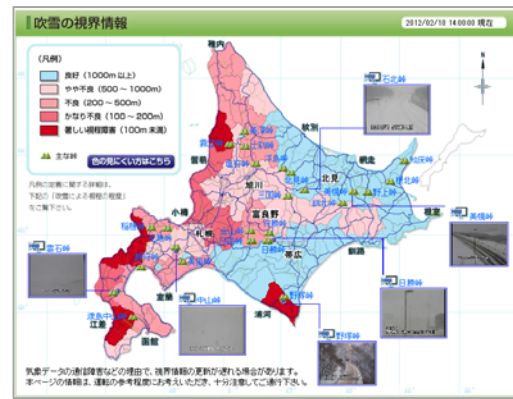


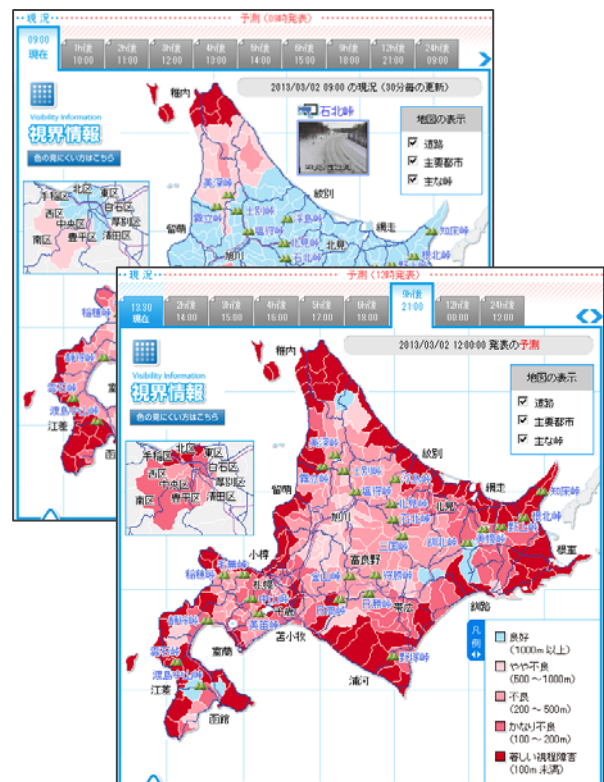
図-7 予測情報に関する設問と回答

インターネットサイト「吹雪の視界情報」の日平均アクセス数は平成22年度には426件、平成23年度は616件、平成24年度は1119件と、次第に利用者数が増加しつつある。平成22～24年度冬の月別日平均アクセス数の推移を図-9に示す。特に視界予測情報の提供を開始した平成25年2月以降は、アクセス数が大幅に増加した。図-10に、平成25年2月以降の一日ごとのアクセス数を示す。平成25年3月2～3日は、北海道内全域で大荒れとなり、大きな吹雪災害となったが、この時には約5000件のアクセス数となった。また、翌週末も日本海側を中心に暴風雪となり、過去最多のアクセス数(5868件/日)を記録した。

今後も、道路利用者の安全を支援できるよう、精度向上に向けた改良検討を進めていく予定である。また、利用者ニーズアンケート調査を実施中であり、利用者の要望を取り入れた改良の検討を行うこととしたい。吹雪災害の被害



(改良前)



(改良後)

図-8 吹雪視界情報の表示

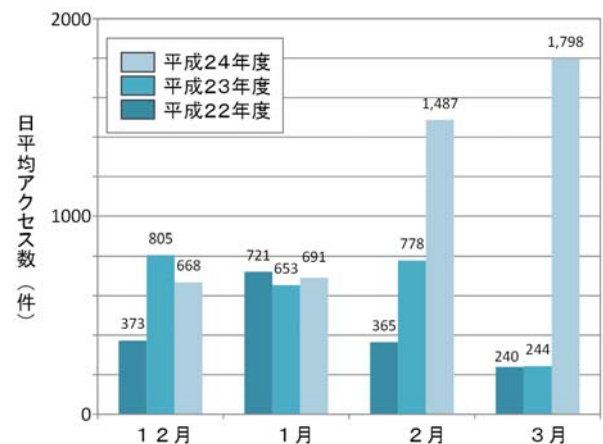
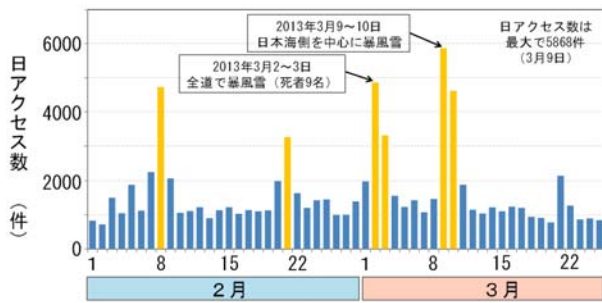


図-9 吹雪の視界情報の月別日平均アクセス数



図ー10 視界予測情報提供後のアクセス数

軽減に向けては、情報提供がドライバーの行動に変化を及ぼすことが重要である。ドライバーの安全な行動を促す情報の内容や表現方法についても、今後検討を行う予定である。

3. まとめ

本研究では、暴風雪による吹雪視程障害予測技術の開発に関し、気象等の履歴を考慮した吹雪の発生条件について検討し、降雪終了からの経過時間と吹雪発生風速の関係を求め、吹雪時の視程演算フローの改良を行った。また、吹雪時のドライバーへの安全支援に向けて、吹雪時の視界予測情報の提供を開始した。今後も、推定精度の向上を図り、利用者の安全な行動を促すような情報となるよう、検討を進めていきたい。

参考文献

- 1) 松澤勝ほか：気象条件から視程を推定する手法の研究, 雪氷, 64 巻第 1 号, p77-85, 2002 年 1 月
- 2) 竹内政夫ほか：降雪時の高い地吹雪の発生臨界風速, 昭和 61 年度日本雪氷学会全国大会予稿集, 日本雪氷学会, p256, 1986 年
- 3) 前野紀一：吹雪の発生機構と雪の流動化, 科学, 岩波書店, p34-41, 1982 年
- 4) 佐藤威ほか：吹雪による視程障害の予測とその検証, 平成 23 年度北陸地方整備局管内事業研究会, 2011 年 7 月
- 5) 長谷美達雄：冬期降水における降雪の発生割合と地上気温の関係(1), 雪氷, 53 巻第 1 号, p33-43, 1991 年 3 月
- 6) 加治屋安彦ほか：降雪・吹雪による視程障害条件下のドライバーの運転挙動に関する一考察, 寒地技術論文・報告集 vol. 20, (社) 北海道開発技術センター, p325-331, 2004 年 10 月

RESEARCH ON THE TECHNOLOGY FOR POOR VISIBILITY ESTIMATE IN SEVERE SNOWSTORMS

Budget : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Cold-Region Road Engineering

Research Group

(Snow and Ice Research Team)

Author : MATSUZAWA Masaru

KANEKO Manabu

KAWANAKA Toshiro

TAKECHI Hirotaka

HARADA Yusuke

Abstract :

There are increasing events in recent years where winter cyclones generate snowstorms and cause traffic problems in the areas where snowstorms had hardly occurred. The installation of snow fences and snowbreak woods is time- and money-intensive, and these measures may have limited effectiveness in the case of disastrous snowstorms. In light of this, our study intends to develop a method for forecasting visibility distances and to provide information gathered by the method online to road users.

In FY 2012, we calculated the correlations between the time elapsed since the end of each snowfall (from past climatic records) and the wind velocity at the occurrence of the next snowstorm, and we improved the flow of visibility calculation. Towards enhancing driving safety, we started to provide information on visibility forecasts during snowstorms.

Key words : snowstorm, snowstorm-induced poor visibility, forecasting, information provision