

## 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、國分徹哉、  
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により道路管理者や道路利用者の行動判断を支援することとした。

平成 25 年度は気象履歴と吹雪の発生条件に関するデータ取得と解析を行ったほか、情報提供技術に関して、近年急速に増加が進むスマートフォン向けの情報提供技術や、視界不良予測メール配信サービスを開始し利便性向上を図りアンケート調査により、その評価について調査した。

キーワード：吹雪、視程障害、予測、情報提供

### 1. 研究の背景

我が国の積雪寒冷地の道路は、冬期に吹雪視界不良による交通障害がしばしば発生するなど、厳しい走行環境にあるため、防雪施設（防雪柵、防雪林など）の整備によるハード的対策の整備が進められており、被害の軽減に効果を上げてきている。しかし、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、吹雪災害が発生するようになってきており、ハード的対策の整備には多くの費用と時間が必要となる他、極端な暴風雪への対応には限界がある。早急かつ効果的な吹雪災害の被害軽減には、従来のハード的対策に加えて、吹雪の現況及び予測情報を提供するソフト的対策を行うことが必要である。

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)が竹内らにより整理されている<sup>1)</sup>。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。

そこで本研究では、当研究所が石狩市に所有する実験施設（石狩吹雪実験場）及び北海道北部日本海側の初山別村を走る一般国道 232 号と、同じくオホーツク海側の猿払村を走る一般国道 238 号の路側において、平成 23 年 12 月より平成 26 年 4 月までの 3 冬期間に気温、風向風速、日射量、視程などの気象データと吹雪映像の連続して記録を行い、地吹雪の発生状況と気象条件に関するデータの蓄積を行った（図 - 1）。

過年度の研究で石狩吹雪実験場において取得したデータの解析により、地吹雪の発生風速が降雪終了後の経過時間や積算日射量の増加とともに高くなること等が判っている（図 - 2）。これは、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<sup>2)</sup>、地吹雪が発生し難くなるためと考えられる。

一般国道 232 号路側 (初山別村)



一般国道 238 号 (猿払村)



図 - 1 地吹雪発生状況の撮影と気象観測状況

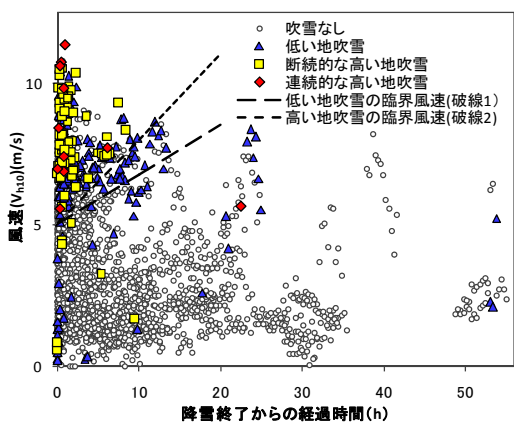


図 - 2 吹雪時の降雪終了後の経過時間と風速の関係

平成 25 年度は、引き続き初山別村や猿払村で取得した観測データを用い、地吹雪発生状況と気象条件との関係について、過年度と同様の方法により分析を行った。なお分析は、平成 23 年 12 月より平成 24 年 3 月までに取得したデータを対象として行った。

地吹雪については、動画映像データを基に「地吹雪なし」、地表面を雪が移動する「低い地吹雪」と、人の視線高さまで雪が舞い上がる断続的な高い地吹雪「連続的な高い地吹雪」に分類した。

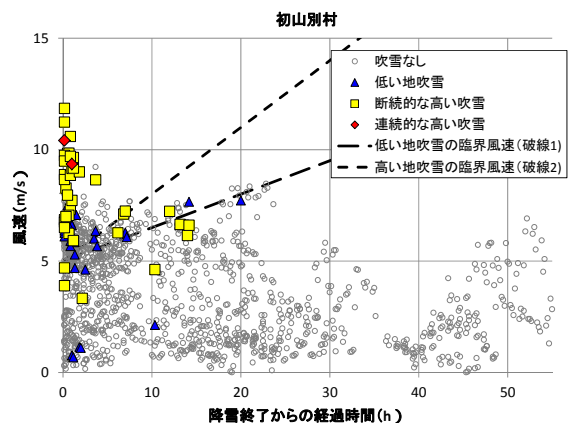
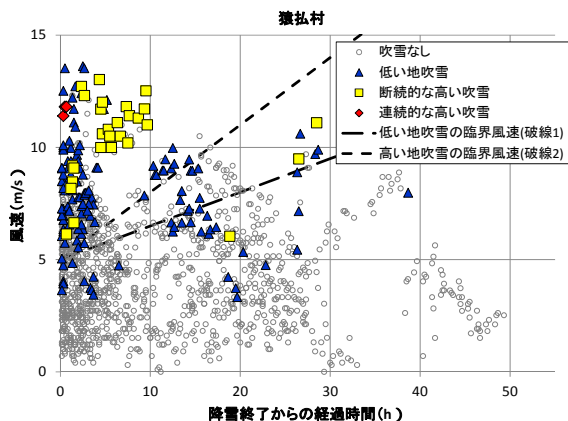


図 - 3 吹雪時の降雪終了後の経過時間と風速の関係

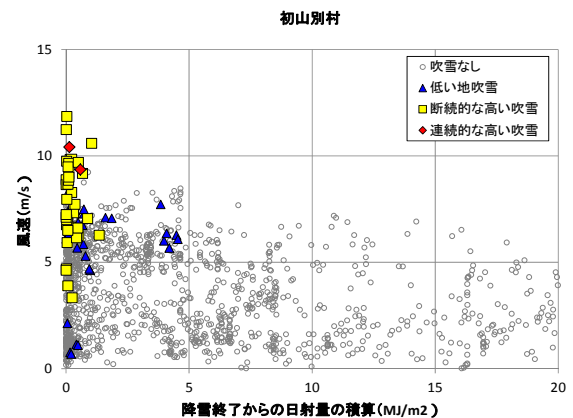
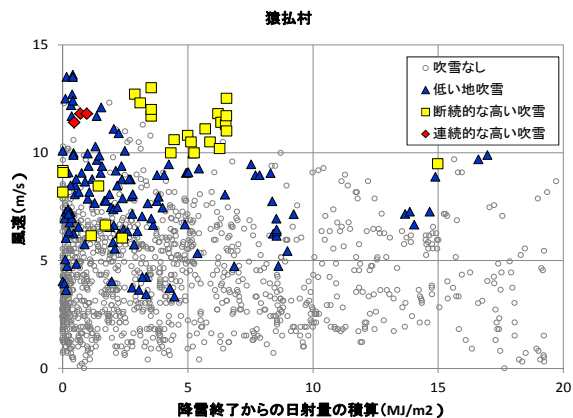


図 - 4 吹雪時の降雪終了後の積算日射量と風速の関係

本検討では、高さ2.0m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。また、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。図-3に、地吹雪発生時の風速と降雪終了後の経過時間との関係を、図-4に地吹雪発生時の風速と降雪終了後の積載日射量との関係をそれぞれ示す。

図-3、図-4より、石狩市の結果と同様に猿払村や初山別村での観測結果においても、降雪終了後の経過時間や積算日射量の増加とともに地吹雪の発生風速は大きくなる傾向がみられた。

さらに、過年度に石狩吹雪実験場の観測データから求めた降雪終了後の経過時間と地吹雪発生風速の関係(図-2の破線)を図-3に示す。図-2、図-3より、今年度北海道北部の国道で観測データから求めた吹雪発生風速は過年度の石狩吹雪実験場のデータからもとめたものと値がやや差が見られるものの概ね同様の傾向を示していた。

## 2.2 吹雪視程障害の予測技術の開発

### 2.2.1 吹雪視程障害の予測技術の改良

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<sup>3)</sup>。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、ドライバーの視点高さを想定し道路構造令の値 $z = 1.2m$ で計算する。

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

ここで

$P$  ( $g/(m^2s)$ ) : 降雪強度

$f$  ( $m/s$ ) : 降雪粒子の落下速度(=1.2m/s)

$b$  ( $m/s$ ) : 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 $z_t$ における飛雪空間密度  
(=30g/m<sup>3</sup>)

$U_*$  ( $m/s$ ) : 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 $Mf$ ( $g/(m^2s)$ )、

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)<sup>4)</sup>に代入し、視程値 $V_{is}$ ( $m$ )を求める。

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

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

当初この手法を用いた視程推定では、降雪がない場合の地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<sup>1)</sup>を用いていた。

このため、降雪がなく、雪面が硬化した強風の条件で、実際には吹雪が発生しない場合でも視程障害を予測してしまう例がある等の課題が残されていた。

また、視程推定に必要な降雪強度は、入手可能な気象データで降水強度として扱われるため、気温の高い初冬期や晩冬期には、降雨を降雪と判断し視界不良と誤って予測する恐れがあった。

そこで本研究において、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(図-5の赤字部分)、以下の条件により吹雪視程障害の予測精度の向上を図った。

降雪がない時には、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<sup>1)</sup>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で地吹雪発生を判別を、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<sup>5)</sup>をそれぞれ行うこととした。

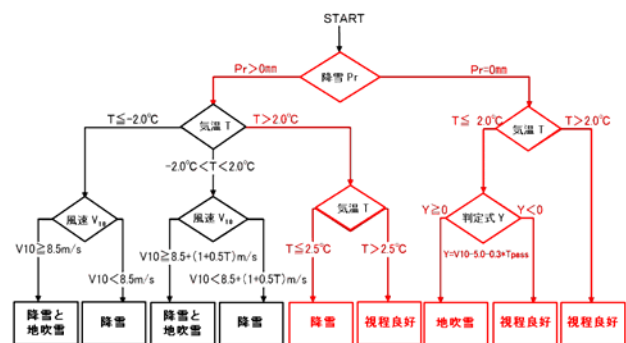


図-5 飛雪空間密度の計算フロー

### 2.2.2 吹雪視程障害の予測技術の精度検証

2.2.1項で改良した吹雪視程障害の予測技術について、改良による精度向上について適中率による検証を行った。

適中率検証は、改良した視程の予測技術を用い推定した視程と、現地で実際に観測した視程データとを比較により行った。適中率は、推定と実測の視程とを2.3節の

情報提供に用いた5ランクに区分し、表に示す定義により改良前と改良後の適中率を比較した。

なお、視程推定には2.1節で平成24年度に石狩吹雪実験場、猿払村、初山別村で観測した気温、風速などの気象データと解析雨量データを用いた。また、実際の視程

表 - 1 推定視程と実際計視程のマトリクス表

		実測視程				
		100m未満	100以上 200m未満	200m以上 500m未満	500m以上 1000m未満	1000m以上
推定 視程	100m未満	赤	赤	赤	赤	赤
	100以上 200m未満	黄	青	赤	赤	赤
	200m以上 500m未満	黄	黄	青	赤	赤
	500m以上 1000m未満	黄	黄	黄	青	赤
	1000m以上	黄	黄	黄	黄	青

赤 : 見逃し  
 黄 : 1ランク見逃し  
 青 : 適中  
 黄 : 1ランク空振り  
 赤 : 空振り

石狩市・初山別村・猿払村 (H24 冬期)

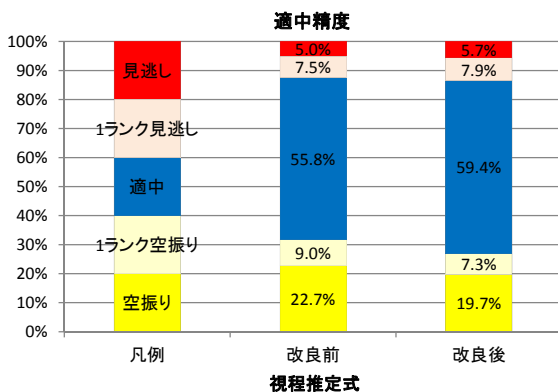


図 - 6 改良前・改良後の適中率

には同様に2.1節での観測データを用いた。

図 - 6より、改良前に比べ改良後には空振りが22.7%から19.7%に減少し、適中が55.8%から59.4%に増加するなど改良の効果が確認された。しかし、見逃しが5.0%から5.7%に増加しており、見逃しの改善方法についても検討が今後の課題と考えられる。

なお、吹雪時における走行速度の低下などの運転に対する影響は、視程200m未満で発生することが既往研究<sup>6)</sup>で指摘されている。このため、特に吹雪時の視界情報では視程200m未満の事象を見逃しなく情報提供することが重要と考えられる。

そこで、実際に視程200m未満の視程障害が発生した事例を対象に、的中率と見逃しの割合について整理した(図 - 7)。なお、図 - 7には実測の気象データから推定した視程に加え、2.3節で実施した試験提供時に気象データから求めた視程について、判別結果を示した。

図 - 7より、実測データにより視程を推定した場合には、視程200m未満の視程障害の的中率は82.03%、見逃し率は17.97%であることを確認した。しかし、情報提供時に推定した視程では、現況情報において視程200m未満の発生を49.84%見逃していた。

地吹雪による視程障害は、雪面からの高さ大きく依存し、局所的に発生することがある。情報提供時に推定に用いている予報データでは風速が5km格子点であり局所的な強風までは全て捉えきれないことや、現地の積雪深による雪面高の変化を考慮していないことが原因として考えられる。このため今後は、これら課題への対応方法についても検討を進めていく予定である。

吹雪(視程200m未満)時の判別結果

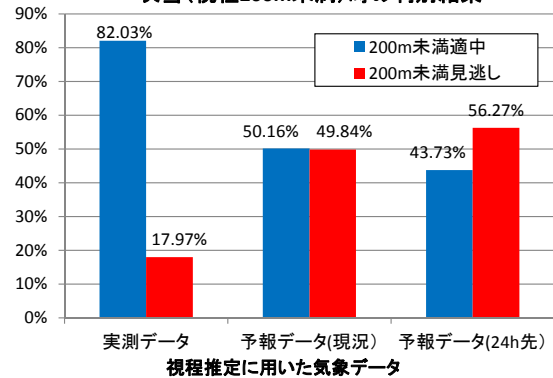


図 - 7 視程200m未満の適中精度

### 2.3 吹雪視程障害予測に関する情報提供技術の開発

暴風雪時のドライバーの行動判断を支援するため、インターネットサイト「吹雪の視界情報」において、北海道内の視界情報(現況)の提供実験を平成20年度から行っている。平成24年度には、視界の予測情報の提供を開始し、道路利用者が有益な情報を入手できる「吹雪の視界情報ポータルサイト」としてリニューアルした。

この「吹雪の視界情報ポータルサイト」は、(1)吹雪の視界情報、(2)吹雪の投稿情報、(3)冬期道路の距離と時間検索、(4)気象警報・注意報、(5)道路通行止め情報等を集約したもので、平成25年2月1日から運用を行っている(図-8)。



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

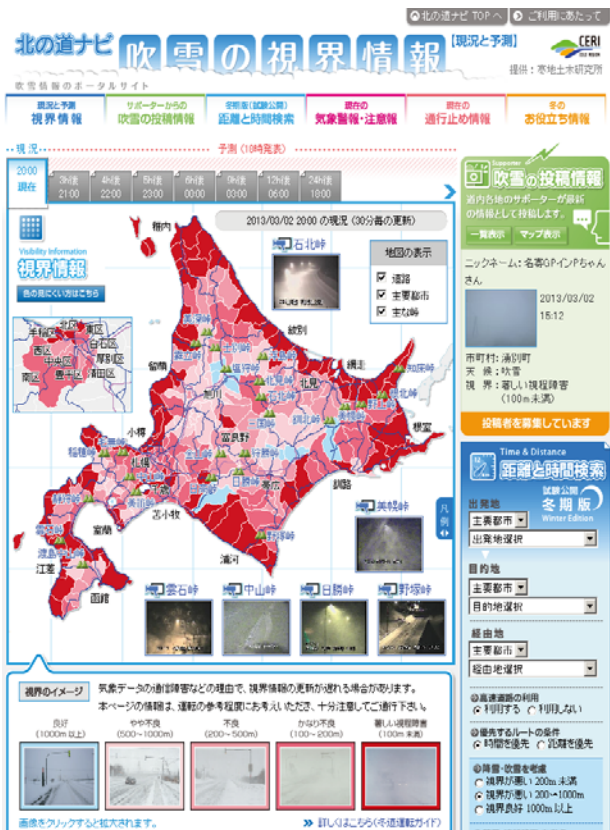


図-8 吹雪の視界情報ポータルサイト

URL : <http://northern-road.jp/navi/touge/fubuki.htm>

北海道の市町村単位を基本とし、札幌市については区単位に、広域または合併により飛び地となった自治体については、概ね合併前の旧自治体区分の203に細分化したエリアごとに提供している。提供情報は現況と予測であり、予測は1~6時間先までは1時間ごと、それ以降は9、12、24時間先の情報となっている(図-9)。

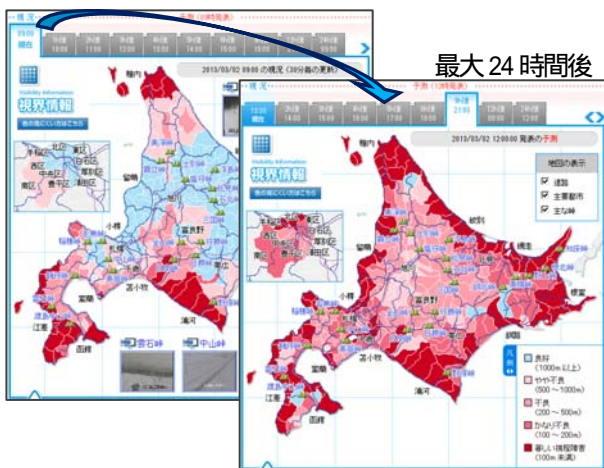


図-9 吹雪の視界情報のエリアと予測時間

吹雪の視界状況は、吹雪時のドライバーの運転挙動に関する研究成果<sup>6)</sup>をもとに、「著しい視程障害(100m未満)」「かなり不良(100~200m)」「不良(100~500m)」「やや不

良(500~1000m)」「良好(1000m以上)」の5ランクに区分し、エリアごとに色分け表示している(図-8、図-9)。

さらに平成25年度は年々増加傾向にある移動中の利用者の利便性を向上させるため、スマートフォン版サイトを構築し、さらに新たにメールによる配信サービスを開始した(図-10)。



図-10 スマートフォン版サイトの構築とメール配信サービスの開始

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年度は426件、23年度は616件、24年度は1,119件と年々増加傾向にあり、特に予測情報の提供を開始した平成25年2月以降の増加が顕著であり、平成25年度は平均で2,400件近いアクセスを記録している。平成25年度シーズンの1日ごとのアクセス数を図-11に示す。北海道東部を中心に吹雪による通行止めが発生した2月17日には、過去最多の11,000件近いアクセス数となっている。天候悪化時のアクセス数の増加から、利用者が「吹雪の視界情報ポータルサイト」を行動判断に活用していることが伺われる。

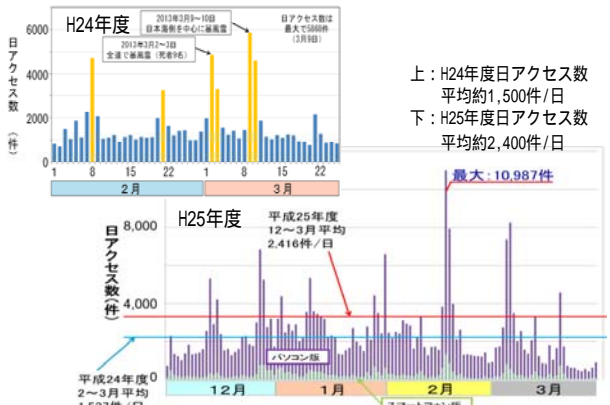


図-11 「吹雪の視界情報」アクセス数の推移

今後、今シーズンの情報提供終了時にアンケート調査を実施する予定であり、その結果等を踏まえ、視程推定精度の向上や安全な行動を促す手法に関する検討を行い、

さらなる改良に取り組む予定である。

### 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。これらの改良について精度検証を行った結果、空振りが減少し、的中率が増加するなどの改良の効果が確認出来たが、見逃しの増加がみられたため、今後の改良に努めたい。

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、移動中の利便性を向上させるためにスマートフォン版サイトを構築し、さらに新たなメールによる配信サービスを開始した結果、アクセス数の増加が顕著にみられ、利用者が情報提供により行動判断に活用していることが伺えた。今後は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) 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
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 武知洋太ほか：吹雪時に人間が感じる視程と視程計や吹雪計による計測値との関係，北海道の雪氷，No.28，日本雪氷学会北海道支部，2009
- 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
- 7) 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

## 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

KOKUBU Tetsuya

TAKECHI Hirotaka

HARADA Yusuke

**Abstract** : Winter cyclones, which develop quickly, have brought snowstorms and the resulting traffic hindrances more frequently than ever to areas where snowstorms had only rarely occurred. The installation of snow fences and snowbreak woods is time- and cost-intensive, and the effects of these facilities against disastrous snowstorms may be limited. In light of this, our study intends to develop a visibility forecast method by using meteorological data and to provide road users with information gathered by that method online, with which we aim to help road administrators and users take necessary actions.

In fiscal 2013, we acquired and analyzed the data on the relationship between climatic conditions and the occurrence of snowstorms. Additionally, we enabled the information gathered to be accessed online via smartphone to meet the increasing demand of users, and we improved online users' convenience by providing information by e-mail on road visibility forecasts to whomever wants to receive the information. We conducted a questionnaire survey of service users to look into their evaluation on the usability of those online services.

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