最近の研究から

吹雪視程予測の取組み

大槻政哉¹⁾, 畠山拓治¹⁾, 滝谷克幸¹⁾

1. はじめに

国土の約60%を占める積雪寒冷地では、これまで豪雪や雪崩、吹雪、吹きだまり等の雪氷災害を克服することで、道路交通の安全性や快適性が向上してきた。特に北海道では、寒冷で多雪というその気象特性から、吹雪や吹きだまりによる雪氷災害が相対的に多く発生していたが、これまで主にハード的な対策(防雪柵や防雪林、道路構造)や除雪等の道路管理を充実させることによって、従来に比較して安全で快適な道路交通が確保されるようになってきた。

吹きだまりによる道路交通障害は激減したものの、一方で吹雪による視程障害はいまだ解決されていない現状にある。吹雪による視程障害は、通行止めによる社会的・経済的損失はもとより、交通事故を引き起こす重要な誘因である。最近道路管理の充実により交通の高速化が進み、多重衝突事故が増加するなど、その問題は深刻になっている。

これらの背景と同期して、道路における吹雪視程障害に関する研究が1980年代から1990年代にかけて行われるようになったが、これらはハード的な対策、特に防雪柵や視線誘導施設に十分な効果を持たせることを主眼として行われてきたものである。しかし、ハード対策で視程障害をゼロにすることは不可能という現実がある。

一方で、以前から提言されていたことではあるが、安全で快適な道路交通を確保するために道路気象情報を活用することは有効であり、IT時代においては益々その活用が重要と考えられる。ハード的な視程障害対策を補完するために、視程障害の情報、特に視程予測情報を活用するこ

とは、安全な道路交通を確保する上で重要であるといえる。

これまで(財)日本気象協会が吹雪指数等の情報を作成し提供している例はあるが、今回は定量的な視程予測手法とその可能性について検討を行ったので、その概要を報告する。

2. 視程予測の必要性和その効果

道路交通における吹雪災害を、災害論的にその構造を分析すると、交通事故や通行止めといった吹雪災害の誘因は「吹きだまり」「視程の低下」「視程の変動・局地性」とされる(竹内, 2002)。除雪能力の向上と交通量の増加によって、吹きだまりがそれほど問題とされなくなった現在において、視程障害(視程の低下)を十分防ぐことができれば、吹雪災害は激減するはずである。しかし、視程の低下の拡大要因とされる、風速や降雪などの気象条件を制御することは不可能であり、また前述したとおり、現状ではハード的な対策によっても道路上の視程障害を十分に軽減することはできない。

このような現実を踏まえたときに、「交通事故」と「通行止め」という吹雪災害に優先順位をつけ、「交通事故」防止を優先事項とすれば、図1に示すように視程障害が発生している道路には交通を

図1 視程障害による交通事故発生を軽減する方法。

1) (財)日本気象協会北海道支社

〒064-8555 札幌市中央区北4条西23丁目

誘導しないことが重要になると考えられる。道路管理サイドとしては、視程障害を緩和することが望ましいが、視程障害が実際に発生する場合には段階的な通行規制を適用し、交通事故発生リスクを回避することが必要になると考えられる。また道路利用者に対しては、様々な路線の視程障害の情報を与えることで、利用者自身に交通事故のリスク回避を促すことが有効である。

これらの方策が実現されるためには、道路管理及び道路利用者のサイドで、視程の実況がリアルタイムに把握可能であることは最低限必要であるが、より効果的にするためには、視程の予測情報を付加することが重要になる。視程予測情報は、道路管理サイドとしては通行止めの際して、道路パトロール等の判断材料になり得ると言われている。また通行止めを解除するに際して、吹雪が終息した後に直ぐ解除するためには、視程予測情報を活用する必要がある。道路利用者サイドでも、その場所に行くまでの走行時間を考えた場合、また「何時間後に出発すべきか」「どちらの経路を選択すべきか」などといった運転計画を立てる上で、視程予測情報は必要不可欠であるといえる。

最近ではIT技術の進歩が目覚しく、インターネット、携帯端末、カーナビゲーションなど、道路管理者や道路利用者に対して情報を提供する手段は、その特徴に応じて選択の余地はいくらでもあり、あとは視程予測の手法を確立することが必要になる。

3. 視程予測手法

竹内・福澤(1976)は、視程 V_{is} は、雪粒子のフラックスである飛雪流量 M と関係があることを示している((1)式, N は飛雪空間濃度, V は風速)。

$$\begin{aligned} V_{is} &= f(M) \\ M &= N \cdot V \end{aligned} \quad (1)$$

また松沢・竹内(2002)は、飛雪の空間濃度 N の鉛直プロファイルは、いくつかの仮定の下で降水強度 P から推計が可能で、式(1)に当てはめることで気象データを用いて視程を推定することが可能であると結論付けた。これは降水強度(降水量)、風速、気温の気象予測から視程予測が可

能になることを示している。なお気温は、雨雪判別や地吹雪発生臨界風速の決定に用いられる。

3.1 気象予測

我が国で天気予報が始まってから既に100年以上が経過しているが、予報精度は格段に向上してきている。大気現象を支配する物理法則に則った予測モデルの開発・改良が進み、またその処理を行うコンピュータの性能が向上してきたことによる。気象庁から提供される気象予報の形式には、カテゴリー予報、確率予報などがあるが、今回の目的である視程予測に用いる場合、数値予報が必要になる。また用いられる予報の空間分解能も都道府県レベルではなく、水平スケールが数km単位の細かな予報が必要になる。

これらのことから、今回視程予測を行うにあたり気象庁から提供されているGPV(Grid Point Value)を用いることとした。GPVの格子の概念を図2に示すが、GPVは世界各国の観測データから客観解析により格子状の初期値が作成され、さらに様々な物理モデルを用い将来の状態を格子状に予測することで得られるものである。従来は気象庁内部での予報を支援する資料として用いられてきたが、気象業務が自由化され、またGPVの精度向上に伴い外部へ公開されるようになった(現在は(財)気象業務支援センターを通して公開されている)。

GPVにはGSM(全球モデル)とRSM(領域モ

図2 気象庁数値予報(GPV)の格子概念図。

デル)の2つのモデルがあるが、今回は主に短期予測のために用いられるRSMを用いることとした。RSMの格子間隔は直交座標系で約20kmと、視程という局地性のある現象を扱うためには粗すぎるため、距離重みと地上観測値との相関から内挿することで1km間隔の予測データを作成した。表1に今回視程予測に用いたデータについて示す。気温は地表面の気温を、風向風速については、安全側に考え950hPaの風向風速を10m高の風向風速として用いた。なお表中にGPVの更新間隔が1日2回とあるが、これが精度良い視程予測を目指す上でのネックとなると考えられる。

3.2 視程予測手法

吹雪現象の特徴として、吹雪量は跳躍層で約7割を占めるともいわれているように、雪面からの高さによってその量は大きく異なる。また吹雪を引き起こす気流(乱流)は地形に大きく依存しており、地形によって吹きだまりや吹き払い、あるいは吹雪の強弱が生じる。GPVから得られる気象予測値は、山脈や盆地といったスケールの大きな地形の効果は考慮されているものの、吹雪に影響を与える道路構造や植生等は考慮されておらず、吹雪や視程の局地性を再現するのは困難であるといえる。そこで地形効果を視程予測に反映させるため、GPVから作成された気象予測値をもとに、吹雪シミュレーションモデルを用いて視程を予測することを考えた。なおここで用いた吹雪シミュレーションモデルは(財)日本気象協会が開発したもので、その内容については畠山・佐藤(2001)を参照されたい。本モデルの計算部分は気流計算モデルと吹雪計算モデルに分けられる。座標には一般曲線座標系を用い、乱流モデルに $k-\epsilon$ モデルを採用したレイノルズ方程式によって気

流場が得られる。次にUematsu *et al.* (1991)の地吹雪モデルを基本とした跳躍を考慮した移流拡散方程式によって飛雪空間濃度が得られる(このとき降水強度は毎時降水量で置き換える)。さらに得られた気流場と飛雪空間濃度から式(1)によって視程が得られる。

しかし、この視程予測を実運用するにあたり、①予測の対象となる道路構造や植生、防雪対策工などのすべてを地形モデルに反映できるのか、②運用に支障をきたさず膨大な計算処理を行えるのか、といった問題が生じる。①に関して、本吹雪シミュレーションモデルは防雪林や防雪柵を精度良く取り込むことができるが、場所場所で異なるそれらの条件を逐一地形に取り入れることは現実的に不可能である。そこで盛土・切土や防雪柵の有無を予め想定し供用道路で頻出する13の基本的な地形パターンを作成し、予測対象区間をいずれかのパターンに分類した(図3)。②に関してはコンピュータに対する計算負荷を極力低減させるため、計算結果をデータベース(DB)化することとした。13パターンの地形に対して、10m高の風速10m/s(16方位)を初期風速とし気流計算を行い、あらかじめ気流分布をDB化しておく。そして日々GPVから得られた風向風速の予測値と気流DBから比例計算を行い気流の分布を得ることができる(予測値が5m/sであれば全体を1/2とする)。また吹雪計算についても、DBに気流分布と降水量の組み合わせに類似事例があれば、計算をせずに飛雪空間濃度を与えることとした。これらの気象予測値をもとに視程予測を行う流れを図4に示した。

表1 視程予測に用いた気象予測値の概要。

GPV	モデル	RSM領域モデル
	格子間隔	約20km
	予測間隔	1日2回(9時, 21時)
視程予測の 初期値	格子間隔	1km
	高さ	気 温: 地表面
		風向風速: 950hPa
		降 水 量: —

図3 地形モデルの例(13パターンのうちのひとつ)。

図4 視程予測までの流れ.

表2 予測精度検証のための分割表.

		現象		計
		発生	発生せず	
予測	発生	$N(1,1)$	$N(0,1)$	$N(*,1)$
	発生せず	$N(1,0)$	$N(0,0)$	$N(*,0)$
計		$N(1,*)$	$N(0,*)$	N

図5 視程予測の精度検証結果 (Vis = 300 m 以下の視程障害発生時).

3.3 視程予測結果

この視程予測手法を検証する目的で, ある地形に対して視程予測を試験的に行った. 予測は1日2回のGPV配信のタイミングで24時間先まで行った. ここでは視程が300 m以下となった場合を視程障害と定義し, そのときの24時間先までの最低視程と毎時視程のそれぞれについて, 予測精度の検証結果を示した(検証には後方散乱型視程

計の値を用いた). なお, 予測精度評価は表2に示す分割表によるのが一般的とされている. この表から得られる, 適中率『 $[N(1,1) + N(0,0)] / N$ 』, 見逃し率『 $N(1,0) / N(*,1)$ 』, 空振り率『 $N(0,1) / N(*,0)$ 』, およびスレット・スコア『 $N(1,1) / [N(1,1) + N(1,0) + N(0,1)]$ 』という指標を用いて検証した. 図5と表3にその結果を示すが, 24時間先までの最低視程では, 空振りが

表 3 視程予測値と実測値との比較 (Vis = 300 m 以下の視程障害発生回数).

単位: 回

24時間先の 最低視程		実測		合計
		Vis ≤ 300m	Vis > 300m	
予測	Vis ≤ 300m	6	3	9
	Vis > 300m	2	35	37
合計		8	38	46

単位: 時間

24時間先までの 毎時視程		実測		合計
		Vis ≤ 300m	Vis > 300m	
予測	Vis ≤ 300m	3	31	34
	Vis > 300m	3	509	512
合計		6	540	546

※上段: 24時間先までの最低値の予測値と実測値の比較

下段: 時間別の予測値と実測値の比較

30 % 程度みられるものの見逃しが少ない。発生頻度の低い事象の精度検証に用いられるスレット・スコアも 50 % を超えており、日単位のポテンシャル予測への利用可能性はあると判断する。しかし毎時視程を比較すると、データ数が増えたことによりの中率は増加しているが、空振り率が約 90 %、スレット・スコアは約 10 % と時間単位での予測精度は確保されていないことがわかる。

3.4 課題

ここでは簡単な精度検証結果を一部紹介したが、現状ではこの手法による視程予測は運用に耐え得る精度が確保されているとは言い難い。真値とした視程計の実測値の検証も必要であるが、それ以外に考えられる主要な原因を以下にまとめる。

- 1) GPV の誤差 (特に降水量)
- 2) 吹雪シミュレーションモデル (地形モデルを含む) の誤差

この視程予測手法は、大きく GPV からの気象予測値導入部と、吹雪シミュレーションモデルによる視程計算部に分かれている。精度が低いことに対して、上記理由 1) と 2) のどちらの寄与率が大きいかを検証するためには、実際の降水量や風の値を用いて吹雪シミュレーションモデル視程予測を行うことが必要であり、これは今後実施する予定である。一般に GPV の中では降水量は精

度が最も懸念されており、比較的精度の良いレーダーアメダスを初期値とする降水短時間予測 (～6 時間先) や超短時間降水予測 (10 分おき) を活用することで、精度向上が可能であると考えられる。また風向風速についても、(財) 日本気象協会の ANEMOS など、GPV を初期値とする局地モデルを利用することで視程予測の精度向上に寄与するものと考えられる。

一方、吹雪シミュレーションモデルに関しては、個別の道路などに対する計算の実績は多数有しており、気流の計算はもとより飛雪空間濃度や吹きだまり形状の再現性は極めて高い。計算負荷の都合で、道路の地形を事前に 13 パターンに分類したわけだが、その分類方法が大雑把過ぎた感も否めない。地形のモデルへの取り込み方の検討も、今後の課題となる。

4. おわりに

ここでは安全な道路交通に資する吹雪視程予測手法についてその試みを紹介した。ここで紹介した予測結果では、冒頭に述べた視程予測による効果を十分に発現させるだけの精度を持っているとは言いがたいものであった。しかし、積雪寒冷地における道路交通の安全をいままで以上に確保するためには、視程予測は必要である。今後の課題としてあげた視程予測の精度向上に寄与すると考え

られる事項について, 鋭意取り組んでいきたい.

文 献

竹内政夫, 2002: 吹雪とその対策 (4) —吹雪災害の要因と構造—, 雪氷, **64**, 97-105.

竹内政夫・福澤義文, 1976: 吹雪時における光の減衰の視程, 雪氷, **38**, 165-170.

松沢勝・竹内政夫, 2002: 気象条件から視程を推定する手法の研究, 雪氷, **64**, 77-85.

畠山拓治・佐藤隆光, 2001: $k-\varepsilon$ 乱流モデルを用いた一般極座標系における吹雪・吹きだまり数値シミュレーション, 2001年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, p. 136.

Uematsu T., Nakata T., Takeuchi K., Arisawa Y., and Kaneda Y., 1991: Three-dimensional numerical simulation of snowdrift, Cold Regions Science and Technology, **20**, 65-73.

Forecast of the reduced visibility in blowing snow

Masaya OTSUKI¹⁾, Takuji HATAKEYAMA¹⁾ and Katsuyuki TAKITANI¹⁾

1) Japan Weather Association Hokkaido Regional Office North4 West23 Chuo-ku Sapporo 064-8555

(2003年2月18日受付, 2003年4月7日改稿受付, 2003年4月10日受理)