

吹雪による視程障害の予測とその検証

– 2010/2011 冬期の新潟市による吹雪対策への活用事例 –

佐藤 威*・根本征樹*・上石 勲*・本吉弘岐*・中井専人*

Prediction of Poor Visibility due to Blowing Snow and its Verification – Application to Measures against Blowing Snow Disasters by Niigata City during 2010/2011 Winter –

Takeshi SATO, Masaki NEMOTO, Isao KAMIISI, Hiroki MOTOYOSHI, and Sento NAKAI

*Snow and Ice Research Center,

National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan

tsato@bosai.go.jp, mnemoto@bosai.go.jp, kamiisi@bosai.go.jp, himotoyoshi@bosai.go.jp, saint@bosai.go.jp

Abstract

The National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention has been developing a Snow Disaster Forecasting System (SDFS), which involves the forecast of poor visibility caused by blowing snow. From the forecasts of air temperature, wind speed and snowfall intensity by a regional meteorological model, visibility reduction is estimated taking the development of blowing snow into account. During 2010/2011 winter, a forecast of poor visibility for Niigata Prefecture was performed. Severe snowstorm occurred within Niigata City twice in January, 2011, and the predicted visibility change almost agreed with the observation during both snowstorms. Niigata City has applied the visibility prediction to the management of municipal roads: when the possibility of seriously poor visibility is predicted, the road administrator closes the road to traffic after examining in situ the road and weather conditions and if necessary. Some municipal roads were closed according to the above procedure during two snowstorms, which demonstrated that the prediction of poor visibility due to blowing snow is useful to prevent blowing snow disasters.

Key words : Poor visibility, Blowing snow, Snowstorm, Prediction, Measures against blowing snow disasters

1. はじめに

温暖化傾向が定着したと言われて久しいが、雪国では何年かに一度は大雪による被害が発生している。平成18年豪雪の冬は、12月の気温が戦後最低となり、かつ広い範囲で大雪となって全国的に大きな被害が発生した。2009/2010冬期には、ふだんはほとんど吹雪災害が発生しない新潟市において90台以上の車両が立ち往生する吹雪災害が発生したり、北海道えりも町では通常とは異なる風向の強風により吹雪災害が発生した。また、今冬(2010/2011冬期)は、山陰地方や福島県会津地方で集中豪雪に伴う大規模な交通障害が発生し、物流や人の移動などに大きな影響が生じた。

雪氷災害には、冬期間継続的に発生するものもあるが、上述のように寒波や大雪など特定の気象条件の時に発生

するものが多い。また、予期せぬ場所で発生することも多々ある。このような突発的/局所的に発生する雪氷災害による被害を防ぐためには、災害発生に関する情報を活用したソフト対策が有効であり、かつ効率的であると考えられる。

防災科学技術研究所はこのようなソフト対策に資するために、降雪、吹雪、雪崩、道路の雪氷状態の予測研究を行い、雪氷災害発生予測システムの開発・改良を進めている¹⁾⁻⁵⁾。本報では、吹雪とそれによる視程障害の予測手法の概要を述べた後、新潟市における予測情報の検証結果とその活用事例を示す。

2. 吹雪と視程の予測手法

吹雪による視程障害の予測モデルは、雪氷災害発生予

* 独立行政法人 防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター

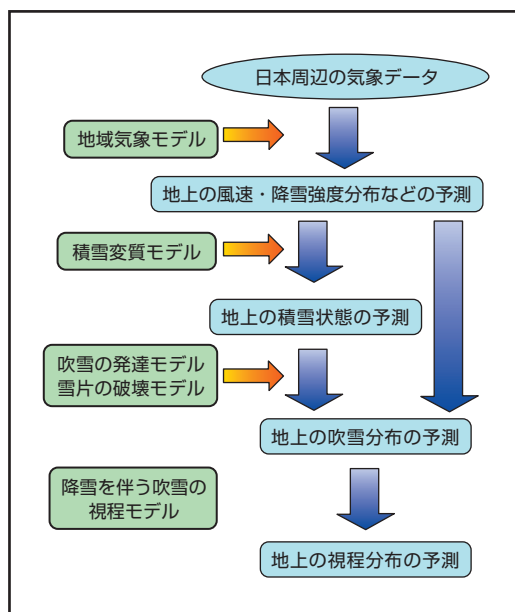


図1 吹雪による視程障害の予測フロー
 Fig. 1 Flow chart for predicting poor visibility due to blowing snow.

測システム¹⁾⁻⁵⁾の一部であり、気象予測・積雪変質予測・吹雪予測・視程予測のサブモデルからなる(図1)。吹雪による雪の移動量(飛雪流量)は雪面から離れるにつれ小さくなり、これに対応して視程は良くなる⁶⁾。このモデルでは、小型乗用車のドライバーから見た時の視程を想定し、高さ1.2 mにおける視程を求める。吹雪による視程障害の予測モデルの概要は佐藤ら⁷⁾に示されているが、各サブモデルの要点を以下に示す。

2.1 気象予測

地域気象モデルとして気象庁非静力学モデル(NHM)を用いて対象地域の気象予測を水平分解能1.2 kmまたは1.5 kmで計算する。初期値・境界値には気象庁メソスケールモデルによる格子点データを使用している。地域気象モデルでは海・陸の区別および地形を考慮するとともに、陸上の粗度は、田畑は雪に覆われていることを想定して1 mmに、森林・市街地は1 mに、海・河川・湖沼は0.2 mmとしてある。24時間の予測計算を1日に2回行っている(予測情報として有効なのは計算時間を差し引いた15時間分である)。

地域気象モデルの予測変数は、気温、風向、風速、雪の混合比などである。これらの変数の最低高度は10 m(気温は1.5 m)であるので、中立時の風速の対数分布を仮定して地表面における摩擦速度を求め、また、降雪強度は雪片の落下速度を仮定して雪の混合比から求め、それぞれ吹雪の予測に利用する。風速と降雪強度は計算格子内で一様とみなす。

2.2 積雪変質予測

降雪後の気象条件に依存する焼結、融解、再凍結、圧密の各現象によって積雪状態(積雪表層の雪粒子の大きさや結合力、密度など)は変化し、吹雪の発生や発達はその影響を受ける。雪氷災害発生予測システムは積雪変質モ

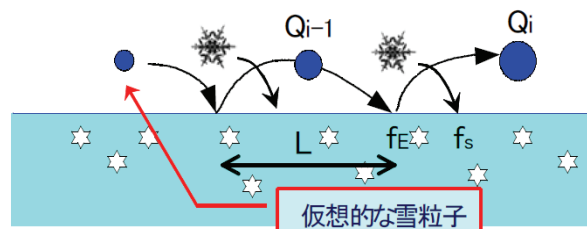


図2 吹雪の発達の概念図。記号の説明は本文を参照のこと。
 Fig. 2 Schematic of blowing snow development due to the erosion of snow surface by snow particles colliding with snow surface.

デル(SNOWPACK)を用いてこのような積雪状態の変化を予測することが可能である⁸⁾が、現段階では計算時間を短縮するため格子点毎の積雪状態の予測は行わず、2.4で述べる視程の気温依存性を考慮することでその代用としている。これにより、ある程度積雪状態の変化を考慮することができる。

2.3 吹雪予測

風洞実験や野外観測に基づく吹雪跳躍層の構造や吹雪の発達に関するパラメタリゼーション⁹⁾⁻¹¹⁾、ならびに吹雪の発達に及ぼす降雪の影響のパラメタリゼーションを組み込んだ吹雪の発達モデル⁷⁾を用い、格子点(1.2 kmまたは1.5 km)毎にその内部における吹雪の風下への発達を計算する。図2に示すように、飛雪粒子の集合を仮想的な雪粒子と見なし、それが跳躍距離Lだけ移動し雪面に衝突するたびに削剥が生じ、一定の割合(f_E :射出率)で吹雪量 Q (kg/m/s)が増すと考えると、 $i-1$ 番目の衝突後の吹雪量と i 番目の衝突後の吹雪量の関係は

$$Q_i = f_E Q_{i-1} \quad (1)$$

と表せる。

我が国では、吹雪時には降雪を伴うことが多いが、降雪と吹雪の関係については不明な点が多かった。雪面に衝突した雪片は、それ自身が破壊して細かな飛雪粒子になるとともに、雪面が軟らかい場合には雪面を削剥する。これらはともに吹雪を強める作用があると考えられるが、気温を-10℃として低温風洞実験を行い、2つの作用について検討を行った。

雪片自身の破壊の実験では、風洞底面に雪を敷いて雪面を形成し、樹枝状結晶からなる人工雪の雪片を落下させて、雪面への衝突時の破壊状況と衝突後の堆積状況の観察を風速を変えて行った¹²⁾。雪面は、軟らかい場合(ほぐしたしまり雪で雪粒子同士が焼結していない場合)と硬い場合(ほぐしたしまり雪を凍結させたもの)の2種類とした。図3は雪片の破壊率 F 、堆積率 A と高さ1 mにおける風速(U_1)の関係である。破壊率は、0が全く破壊されない、1が完全に破壊されることを意味し、堆積率は、0が全く堆積せず風下に流される、1が衝突した場所に完全

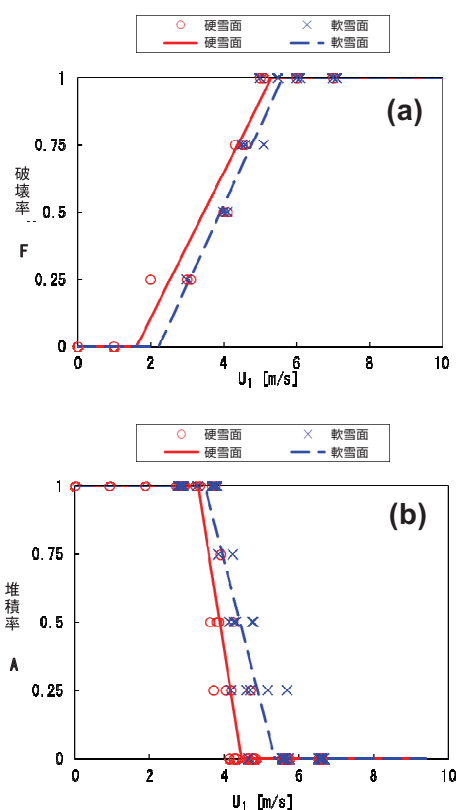


図3 雪片が雪面に衝突する時の(a)破壊率と(b)堆積率(Sato *et al.*¹²⁾の図10, 図11を改変)
 Fig. 3 Relationship between fracture rate and wind speed (a), and that between accumulation rate and wind speed (b) when snowflakes collide with snow surface. (a) and (b) are modified from Fig. 10 and Fig. 11 in Sato *et al.*¹²⁾, respectively.

に堆積することを意味する。いずれも0と1の間は案分してある。 U_1 は風洞内の風速から推定した。

図3より、破壊率、堆積率の雪面の硬さによる違いは小さいこと、 U_1 が約6 m/sを超えると衝突した雪片は完全に破壊され、風下に流されることが分かる。破壊された雪片は飛雪粒子になり、吹雪の発達に寄与することになる。すなわち、降雪がある場合は

$$Q_i = f_i Q_{i-1} + (1-A) S_F L / (60 \times 60) \quad (2)$$

を適用することで吹雪の発達に対する降雪の効果を考慮することができる。ここで、(2)式中のAは図3(b)に示した堆積率である。また、 S_F は降雪強度(水換算, mm/h)である。降雪がない場合には $S_F=0$ であるから、(2)式は(1)式に帰着する。(2)式による吹雪量がそこでの風速(摩擦速度)に対応する飽和吹雪量¹³⁾に達したら、それ以後の発達はないとして(2)式は適用しない。

ところで、人工雪の雪片を用いた雪面の削剥の実験から、削剥は U_1 が5 m/sを超えると発生することが分かった¹⁴⁾。この臨界風速は、雪片が完全に破壊する風速(図3(a))、ならびに全く堆積しなくなる風速(図3(b))に

近い。また、雪片による規格化削剥率(削剥率を降雪フラックス(降雪強度)で規格化したもの)は風速とともに大きくなるが、同様の条件下での飛雪(跳躍)粒子による規格化削剥率(削剥率を飛雪粒子の落下フラックスで規格化したもの)よりかなり小さいことがわかった。これは、吹雪の発達に対する降雪の影響は、雪片による削剥よりも雪片自身が破壊し飛雪粒子に転換することによるほうが遙かに大きいことを意味している。このため、吹雪の発達モデルでは、雪片による雪面の削剥は無視できるものとして考慮していない。

格子内の全吹雪量の最大値を用いて、その格子における吹雪の構造と視程を以下のように評価する。まず、跳躍層構造を河村¹⁵⁾の飛砂に対する理論式

$$q(z) = q_0 \exp(-z/(\pi h_0)) \quad (3)$$

で表す。この式の中の2つのパラメータ(雪面における飛雪流量 q_0 と飛雪粒子の跳躍高さ h_0)のうち、 h_0 は風速(摩擦速度)の関数として佐藤・小杉¹⁶⁾により実験的に求まっているので、(3)式を0～ ∞ まで積分して得られる

$$Q = \pi h_0 q_0 \quad (4)$$

と(2)式から q_0 が求まる。次に、跳躍層の上端高度を $5h_0$ と仮定し⁶⁾、(3)式よりその高さにおける飛雪流量を求め、その上の浮遊層に対しては乱流拡散理論¹⁷⁾によって飛雪流量の鉛直分布を求め、最終的に高さ1.2 mの飛雪流量を求める。

風の乱流変動によって飛雪流量ならびに視程も大きく変動する。自動車のドライバーにとって最も重要な瞬間的な視程悪化を評価するために、地域気象モデルによって予測される風速(平均風速と見なされる)に突風率(ガストファクター)として1.5を乗じて吹雪量ならびに飛雪流量を計算する。

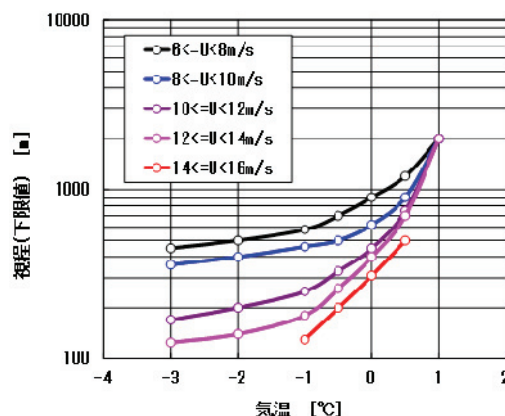


図4 降雪を伴わない地吹雪時の視程と気温の関係¹⁹⁾(パラメータは高さ4 mの風速)
 Fig. 4 Relationship between visibility during blowing snow and air temperature. The parameter is the wind speed at the height of 4 m and the relationship is for the case of blowing snow which is not accompanied by snowfall.

2.4 視程予測

降雪を伴う吹雪の場合の視程は飛雪粒子と雪片の両方により低下する。それぞれに対して質量フラックス（飛雪流量）と視程の関係式¹⁸⁾を用いて別々に視程を評価し、いずれか小さいものを採用する。

吹雪状態は、雪面を構成する雪粒子の大きさ、粒子同士の結合力や付着力、降雪（多くの場合雪片として降る）を伴う場合には、個々の雪結晶同士の絡み合いの程度や含水率等に依存すると考えられる。これらの要因は、雪面の温度や気温などに依存するものであるが、未解明のものが多い。そこで、視程の野外観測を行い、降雪を伴わない地吹雪時と、降雪を伴う吹雪時の視程について、風速・気温との関係を明らかにした¹⁹⁾。図4は降雪を伴わない地吹雪時の視程の下限値と気温の関係で、地吹雪は気温が+1℃以上ではほとんど発生しないこと、気温が-1℃から+1℃の間で視程の気温依存性が大きく、-2℃以下では気温依存性が小さいことが分かる。また、同じ風速・気温において降雪を伴う吹雪時のほうが降雪を伴わない地吹雪時よりも視程が悪いことも明らかになった。

既往の研究により風速・気温と吹雪の状態（高い地吹雪、低い地吹雪、間欠的な地吹雪）の関係は明らかになっている²⁰⁾。また、風が強くても気温が高い場合には吹雪は発

生しないことは経験的に明らかである。図4は、これらの知見と矛盾せず、かつ吹雪時の視程の気温依存性を定量的に示すものであり、視程の予測においては、積雪変質予測の代わるものとしてこの関係を用いた。

3. 気象と視程の予測結果の検証

3.1 予測データ

新潟県を対象として行った吹雪時の視程の予測結果の一例を図5(a)に示す。1時間毎の予測情報は1日2回（4時と16時）、15時間分を更新した。このスケジュールは除雪体制や道路パトロール体制の決定などの道路管理において予測情報を有効利用するために設定したものである。図5(b)は上記の予測情報について新潟市域を拡大し、区界とともに表示したもので、後述する新潟市における道路管理に利用された。

3.2 検証データ

視程の予測情報の検証や利用方法の検討を目的として、

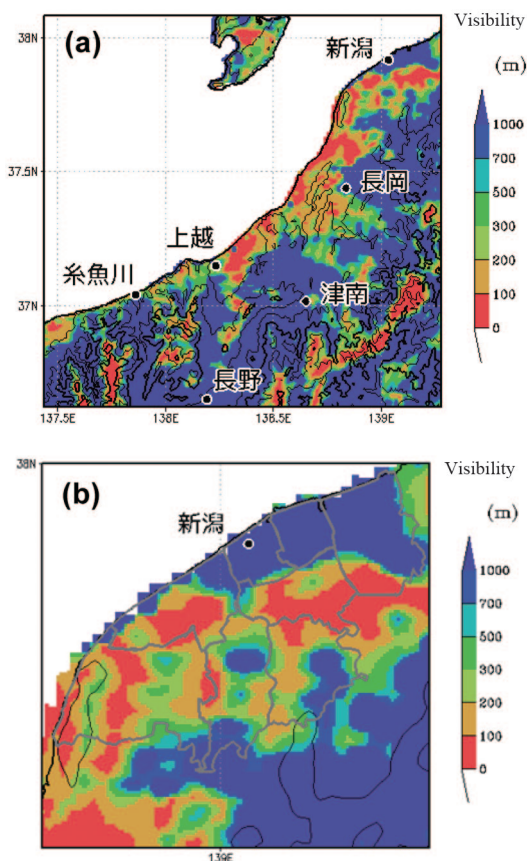


図5 新潟県を対象とした視程の予測例(a)とその新潟市域の拡大表示(b)。2011年1月16日11時
 Fig. 5 Example of predicted visibility distribution at 11 a.m., January 16, 2011 for Niigata Prefecture (a) and its enlargement for Niigata City (b).

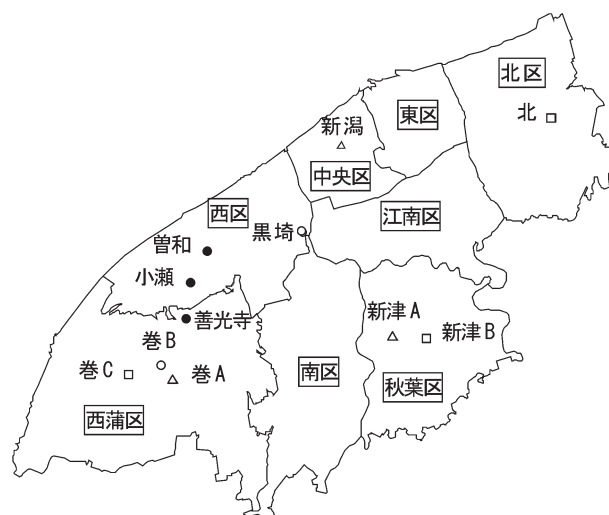


図6 新潟市内の気象と積雪の観測点の位置（詳細は表1を参照）

Fig. 6 Locations of the meteorological and snow observatories in Niigata City (See Table 1).

表1 新潟市内の気象と積雪の観測点
 Table 1 List of the meteorological and snow observatories in Niigata City.

名称	図6の記号	種別
新潟	△	気象官署(新潟地方気象台)
新津A	△	アメダス観測点
巻A	△	アメダス観測点
北	□	新潟県観測所(新潟市北消防署)
新津B	□	新潟県観測所(新潟市秋葉消防署)
巻C	□	新潟県観測所(新潟市西蒲消防署)
黒埼	○	新潟国道事務所気象観測局(黒埼出張所構内)
巻B	○	新潟国道事務所気象観測局(巻除雪基地)
曾和	●	新潟国道事務所 CCTV
小瀬	●	新潟国道事務所 CCTV
善光寺	●	新潟国道事務所 CCTV

新潟市，国土交通省北陸地方整備局新潟国道事務所，新潟県と共同研究を実施した．新潟市内には，気象庁の観測点のほか，新潟国道事務所と新潟県の観測点があるが，それらを図6と表1に示した．

新潟国道事務所 CCTV (3か所) の道路モニター画像 (図7) を録画し，それを再生しながら視程状態を判定し，5分毎にそのインターバルにおける最も悪い視程状態を記録した．視程のランクは0～3の4段階とし，順に「よい」，「やや悪い」，「悪い」，「非常に悪い」とした．視程のランク付けは，画像内の地物 (電中，樹木など) や遠くの灯りなどの見え具合から判定したもので，主観的であることは避けられない．



図7 新潟国道事務所のCCTV道路モニター画像の例．(a) 2011年1月16日10時50分，小瀬，(b) 同日10時44分，善光寺

Fig. 7 Examples of the CCTV image for monitoring road conditions; (a) Koze at 10:50 a.m., January 16, 2011 and (b) Zenkouji at 10:44 a.m. on the same day.

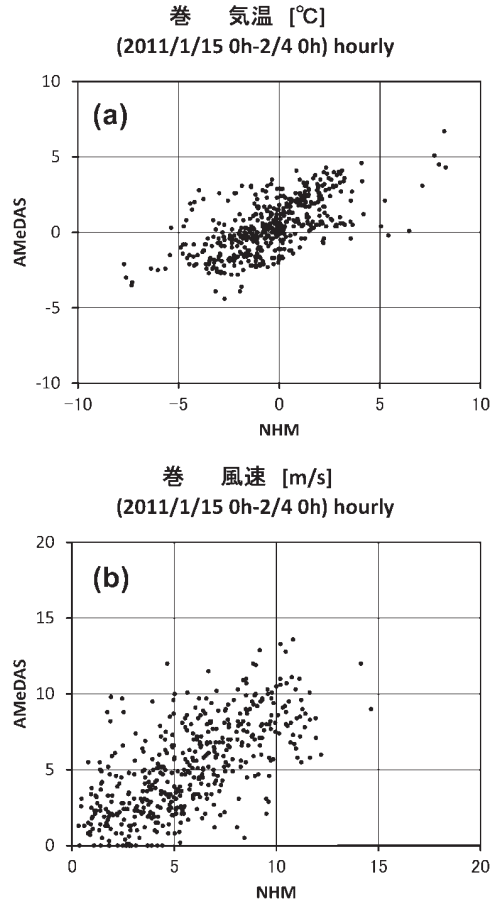


図9 巻における気温(a)と風速(b)の比較．横軸は地域気象モデル(NHM)による予測値，縦軸は巻Aにおける観測値．ただし，巻Bに積雪がある期間

Fig. 9 Comparisons of air temperature (a) and wind speed (b) during a period with snow cover at Maki. The abscissa denotes the prediction by NHM and the ordinate denotes the measurements.

図8は新潟市内にある積雪の観測点における今冬の積雪深の変化である．積雪は1月中旬～2月下旬に存在していたが，場所により積雪期間は多少異なる．新潟市西部の西区と西蒲区では積雪期間は短く，東部の北区や内陸部の秋葉区では長かった．

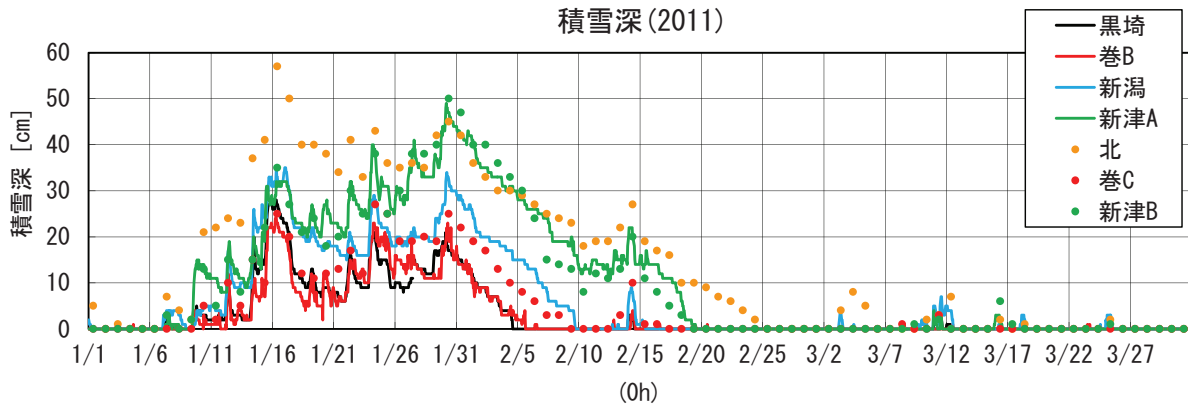


図8 新潟市における積雪深の変化
Fig. 8 Seasonal variation of snow depth in Niigata City.

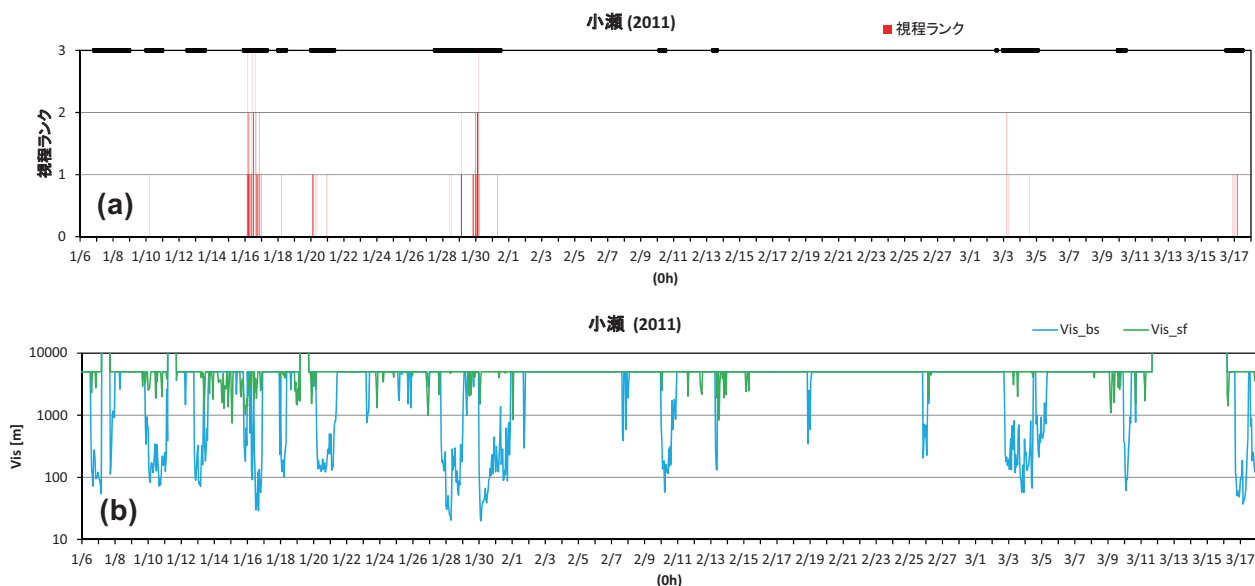


図10 小瀬における視程ランク(a)と視程の予測値(b). Vis_{sf} は降雪によるもの、 Vis_{bs} は飛雪粒子によるもの。(a)の上部枠線の太い実線はCCTV 道路モニター画像を読み取った期間

Fig. 10 Time series of observed visibility rank (a) and that of predicted visibility at Koze: ' Vis_{sf} ' corresponds to the visibility reduction due to falling snow and ' Vis_{bs} ' corresponds to that due to blowing snow particles. The thick line on the upper frame in (a) denotes the interval of CCTV image analysis.

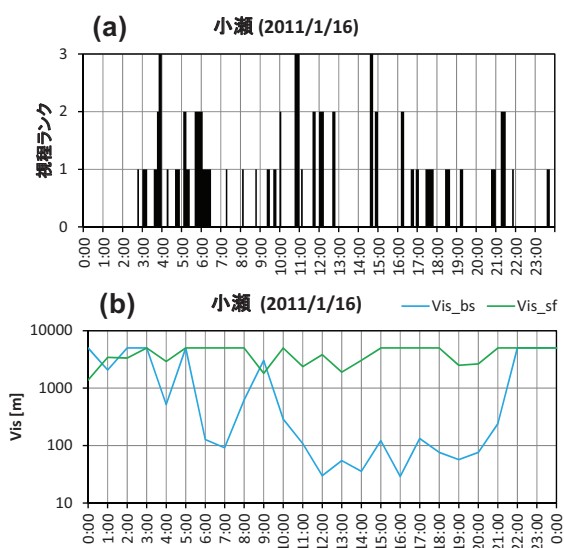


図11 図10と同じ。ただし、2011年1月16日の詳細な変化
Fig. 11 Same as in Fig.10 except for the detailed variation on January 16, 2011.

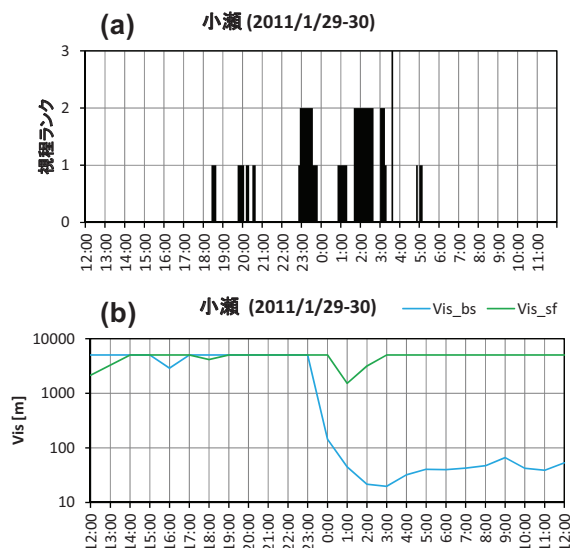


図12 図10と同じ。ただし、2011年1月29日～30日の詳細な変化
Fig. 12 Same as in Fig.10 except for the detailed variation from January 29 to 30, 2011.

3.3 気温と風速の検証

図9に気温と風速についての比較結果(巻において積雪がある期間のみ)を示した。巻A(AMeDAS)における観測値は時別値を使用している。また、地域気象モデル(NHM)による予測値は巻Aを含む格子点における値である。風速の予測値はばらつきがあるものの観測値と概ね良い対応を示している。これは、巻Aにおける冬期卓越風向である西北西方向が開けているためと考えられる。気温については、平均的には予測値は観測値よりも1℃程度低めになっている。気温の予測値がずれる原因は様々考えられるが、その改善は今後の課題となっている。

3.4 視程の検証

図10に1月上旬～3月中旬までの小瀬における視程のランク(観測値)と予測値を示した。2.4で述べたように視程の予測は、降雪による視程悪化(Vis_{sf})と飛雪粒子による視程悪化(Vis_{bs})を別々に予測しているため、図10(b)では区別して示した。

1月16日と1月29日～30日には視程悪化が長時間継続したが、これらのイベントは図10(b)の飛雪粒子による視程悪化(Vis_{bs})でも予測されている。しかし、実際には視程が悪化しない時に悪化すると予測した場合や、視程

悪化の継続時間が短い時に長時間にわたり視程が悪化すると予測した場合もある。これらの予測が外れた場合のうち、積雪がない期間(1月上旬および2月中旬以降)については、予測モデルは積雪があると仮定したことが原因と考えられる。また、積雪がある期間においても予測が外れた場合があるのは、吹雪発生前の積雪状態(雪質や含水状態)が考慮されていないことが一因と考えられる。

図11と図12は、それぞれ小瀬における1月16日と1月29日～30日の詳細な時系列である。前者については、飛雪粒子による視程悪化の予測値(V_{is_bs})と視程ランク(観測値)の変化傾向はよく対応している。後者については、29日夜半の視程悪化は予測されていない。また、実際には5時頃に視程悪化が終息しているにもかかわらず予測値は日中まで視程悪化の状態のままである。この原因として、風速の予測値が29日午前においてあまり低下していないことが考えられる。

以上のように、今冬の新潟市における2回の大きな吹雪イベントの予測はある程度妥当であったことが確認されたが、予測が外れる場合もあり、予測手法を改良する必要があることも明らかになった。

4. 予測情報の活用事例

新潟市との共同研究では、毎日4時と16時に提供される予測情報を実際の道路管理に利用する方法について検討し、以下のように予測情報の提供から道路管理業務への一連の流れを試行した。

新潟市には8つの区があるが、それぞれの区について、区内の格子(1.2 km × 1.2 km)のうち視程が100 m以下となる格子点数と、その区内の全格子点数の比(面積比に相当)が20%以上の場合に吹雪災害の危険性があり(「警戒」)、20%未満の場合に危険性がない(「安全」)と判断した。道路管理業務の具体的な手順は以下の通りとした。

予測情報が更新される度に、各区の警戒レベルを伝える携帯メール(図13)が道路管理者に送信される。道路管理者は、担当する区が「警戒」となった場合、吹雪が強まる予測時刻の6時間前に登庁し、インターネット経由で予測情報の拡大表示画面(図5(b))で予測の詳細(時間、地域等)を確認するとともに、委託業者に待機指示を出す。委託業者は吹雪が強まる予測時刻の3時間前に、事前に設定された吹雪発生の危険性が高い道路のパトロールに出動し、現場の積雪状態が吹雪が発生しやすい(乾いた新雪)時にはそこで待機する。その後、現地で吹雪発生を確認し、交通の安全に支障があると判断された場合、道路管理者の指示のもと、バリケード等による通行止めの措置をとることとする。

1月16日4時に発表した予測情報(図14、図15)では、当日の日中に吹雪が強まり視程が悪化すると予測されたため、事前に道路パトロールを実施し、江南区の市道5路線(総延長9.9 km)において、7時間20分の間通行止めの措置がとられた。次いで16日16時に発表された予測情報でも一部の区において同日夜に視程悪化が予測され、道路パトロールが実施されたが、通行止めには至らなかった。

1月29日16時に発表した予測情報(図16)では、翌日未明から視程悪化が予測され、江南区の市道6路線と西蒲区の市道3路線(総延長13.2 km)において、11時間の間通行止めの措置がとられた。

図14に示した1月16日の通行止めの期間は「警戒」と判定された時間帯を含み、視程の予測情報は概ね的確であったことが分かる。一方、図16の1月29日～30日の例では、30日の日中においても視程悪化が予測されていたが、実際には現場の判断に基づき通行止めが解除されたことから、吹雪は予測よりも早く終息したものと考えられる。

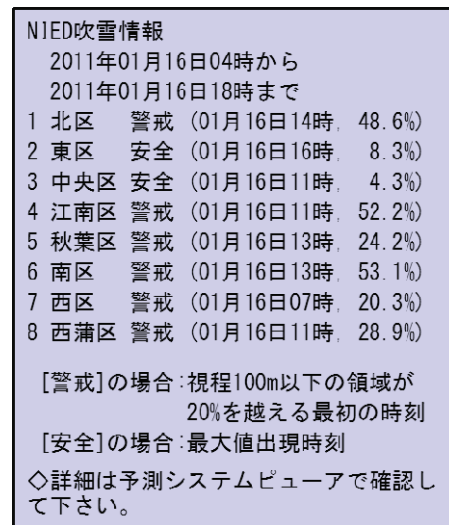


図13 区毎の吹雪災害の警戒レベルを伝える携帯メールの表示例

Fig. 13 Example of an e-mail on cell phone showing the warning level of poor visibility for eight wards in Niigata City.

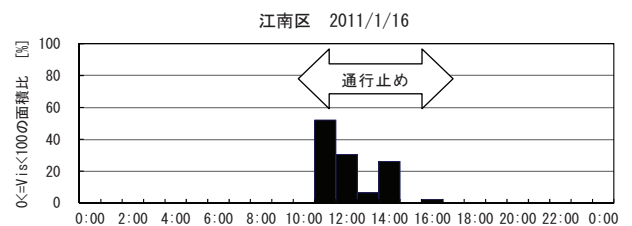


図14 2011年1月16日の視程予測情報(江南区における視程が100 m未満の面積比)。矢印は一部の市道が通行止めとなった期間

Fig. 14 Time series of the ratio of the area with the predicted visibility less than 100 m to the total area in Kounan ward on January 16, 2011. Arrow denotes the period when dangerous roads were closed.

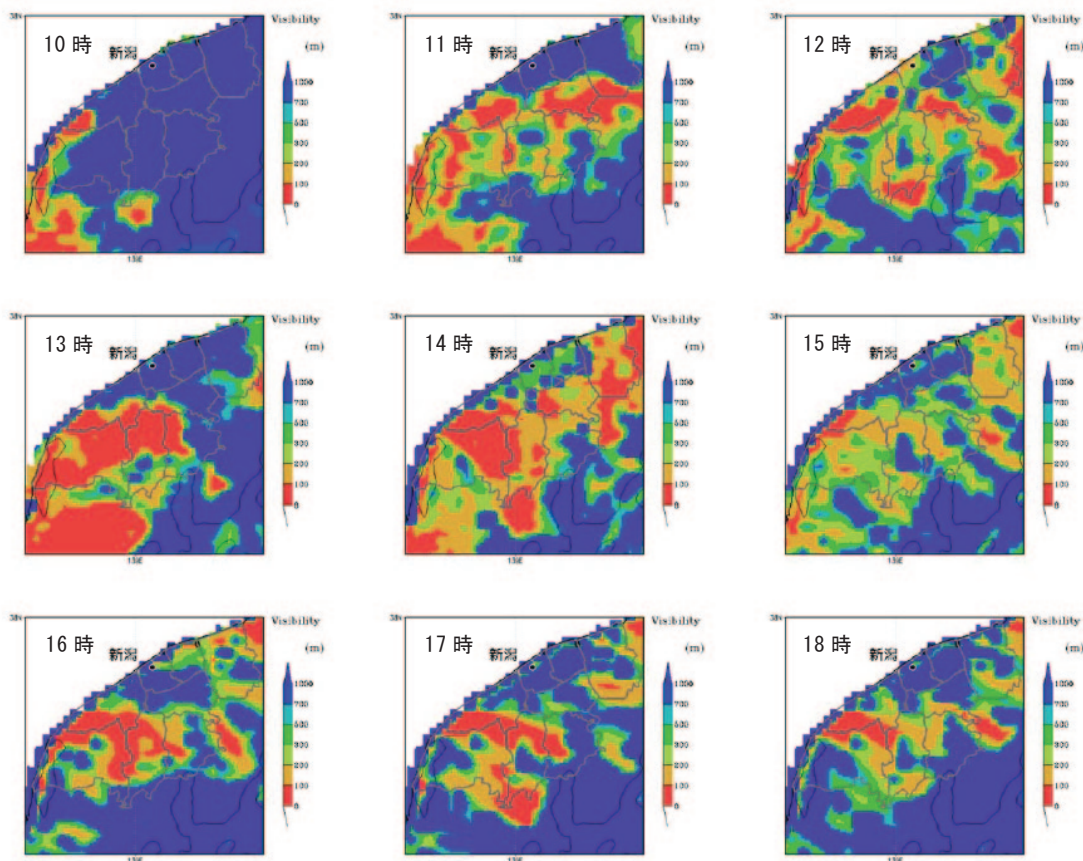


図15 2011年1月16日4:00に発表された当日の視程予測情報(新潟市域を拡大表示)
 Fig. 15 Predicted visibility distributions on January 16, 2011 for Niigata Prefecture (Niigata City area is enlarged), which were updated on 4 a.m.

5. まとめと今後の課題

今冬(2010/2011 冬期), 新潟市では強い吹雪が2回(1月16日と1月29日~30日)発生し, 広範囲で視程が悪化したが, 吹雪による視程障害の予測はこれらと整合するものであった。ただし, 一冬を通してみると, 積雪がない時にも視程の悪化が予測されるなどの問題が明らかになった。これは, 吹雪予測において積雪があることを仮定しているため, 積雪深などの情報を予測計算に取り込むことにより改善が期待できる。現在のところ吹雪の発生と発達に大きく影響する積雪状態については直接考慮せず, 視程の気温依存性で代用するに留まっているが, 視程の予測精度を上げるためには吹雪の発生前の積雪状態を考慮することが必要である。また, 吹雪による視程障害の予測は, 地域気象モデルによる風速や気温の予測値を入力としている。このため, 気象要素の予測誤差は直接視程の予測精度を低下させることになる。本報で示した気象要素の時間変化のずれやランダムな誤差などを低減する方法についても今後検討する予定である。

冬期間の道路交通の安全確保にあたっては, 道路管理者の果たす役割が大きい。新潟市を例に挙げれば, 危険な状況下では道路パトロールを実施し, 現場の状況を確認した後に行き止めの措置がとられていた。このような

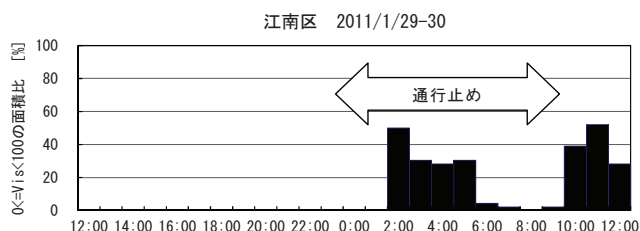


図16 図14と同じ。ただし, 2011年1月29日~30日
 Fig. 16 Same as in Fig.14 except for the detailed variation from January 29 to 30, 2011.

対策を的確にかつ効率的に進めるためには, 予測情報などのソフト対策を組み合わせることが有効である。今冬の新潟市の事例を通して, 防災科学技術研究所が開発してきた吹雪による視程悪化の予測手法に基づいて得られる視程の予測情報が, このような道路管理の効率化に貢献したことが実証された。今後さらに予測手法の改良を進め, 雪国の安全安心の向上に一層寄与することを目指していきたい。

謝辞

吹雪による視程障害の予測に関する共同研究では、新潟市、国土交通省北陸地方整備局新潟国道事務所、新潟県よりデータ提供ならびに道路管理施設の利用などの様々な協力を頂いた。担当の関係各位に感謝致します。

参考文献

- 1) 佐藤篤司・石坂雅昭・清水増治郎・小林俊市・納口恭明・西村浩一・中井専人・山口 悟・岩本勉之・佐藤 威・阿部 修・小杉健二・望月重人(2003)：雪氷災害発生予測システム。寒地技術論文・報告集, **19**, 786-789.
- 2) Sato, A., Ishizaka, M., Shimizu, M., Kobayashi, T., Nishimura, K., Nakai, S., Sato, T., Abe, O., Kosugi, K., Yamaguchi, S., Iwamoto K., and Lehning, M. (2004) : Construction of snow disaster forecasting system in Japan. *Snow Engineering IV*, 235-238.
- 3) 佐藤篤司・石坂雅昭・西村浩一・小林俊市・納口恭明・中井専人・山口 悟・岩本勉之・平島寛行・佐藤威・阿部 修・小杉健二・根本征樹・望月重人・三隅良平・ミハエル レーニング(2006)：雪氷災害発生予測システムの構築, 第18回ゆきみらい研究発表会論文集(CD-ROM).
- 4) 佐藤 威・佐藤篤司・中井専人・小杉健二・上石 勲・山口 悟・小林俊市・石坂雅昭・阿部 修・根本征樹・岩本勉之・平島寛行・望月重人・三隅良平・納口恭明・西村浩一・ミハエル レーニング(2007)：平成18年豪雪における東北地方の雪氷災害とその軽減のための予測情報. 第19回ゆきみらい研究発表会論文集(CD-ROM).
- 5) Nakai, S., Sato, T., Sato, A., Hirashima, H., Nemoto, M., Motoyoshi, H., Iwamoto, K., Misumi, R., Kamiishi, I., Kobayashi, T., Kosugi, K., Yamaguchi, S., Abe O., and Ishizaka, M. (2011) : A Snow Disaster Forecasting System (SDFS) constructed from field observations and laboratory experiments. *Cold Regions Science and Technology*, doi: 10.1016/j.coldregions.2011.09.002.
- 6) Sato, T., Kosugi K., and Sato, A. (2002) : Estimation of blowing snow and related visibility distributions above snow covers with different hardness. *Proceedings of the 11th International Road Weather Conference 2002 Sapporo Japan*.
- 7) 佐藤 威・岩本勉之・中井専人・小杉健二・根本征樹・佐藤篤司(2004)：吹雪とそれによる視程悪化の広域的予測について. *寒地技術論文・報告集*, **20**, 332-337.
- 8) Yamaguchi, S., Sato A., and Lehning, M. (2004) : Application of the numerical snowpack model (SNOWPACK) to the wet snow region in Japan. *Annals of Glaciology*, **38**, 266-272.
- 9) 佐藤 威・小杉健二(2001)：風洞実験による吹雪構造と積雪硬度の関係 その2. *寒地技術論文・報告集*, **17**, 137-141.
- 10) Sato, T., Kosugi K., and Sato, A. (2001) : Saltation-layer structure of drifting snow observed in wind tunnel. *Annals of Glaciology*, **32**, 203-208.
- 11) 佐藤 威・東浦将夫(2003)：吹雪跳躍層の鉛直構造と気象・積雪条件の関係. *雪氷*, **65**, 197-206.
- 12) Sato, T., Kosugi, K., Mochizuki, S., and Nemoto, M. (2007) : Wind speed dependences of fracture and accumulation of snowflakes. *Cold Regions Science and Technology*, **51**, 229-239.
- 13) Sato, T., Kosugi, K., and Sato, A. (2004) : Development of saltation layer of drifting snow. *Annals of Glaciology*, **38**, 35-38.
- 14) 佐藤 威・根本征樹・小杉健二・望月重人(2010)：吹雪の発達に及ぼす降雪の影響について－雪片による積雪面の剝削の風洞実験－, *雪氷研究大会(2010・仙台)講演要旨集*, 65.
- 15) 河村龍馬(1948)：風による砂の運動. *科学*, **18-11**, 24-30.
- 16) 佐藤 威・小杉健二(2000)：風洞実験による吹雪構造と積雪硬度の関係. *寒地技術論文・報告集*, **16**, 421-424.
- 17) 塩谷正雄(1953)：吹雪密度の垂直分布に対する一考察. *雪氷*, **15**, 6-9.
- 18) 竹内政夫(2000)：第5章 吹雪の付随現象, 『雪崩と吹雪』, 古今書院, 175-205.
- 19) 佐藤 威・根本征樹・望月重人(2009)：吹雪時の視程の気温依存性について. *寒地技術論文・報告集*, **25**, 37-40.
- 20) 竹内政夫(1986)：道路管理のための気象観測とその利用. *雪と道路*, **7**, 41-48.

(2011年10月17日原稿受付,
2011年12月5日改稿受付,
2011年12月5日原稿受理)

要 旨

防災科学技術研究所が開発している雪氷災害発生予測システムによる視程障害の予測は、地域気象モデルによる気温、風速、降雪強度の予測値から、吹雪の発達を考慮してそれに伴う視程の低下を予測するものである。このシステムを用いて2010/2011冬期に、新潟県を対象とした視程障害の予測を一冬を通じて行った。新潟市内では1月中に2度強い吹雪が発生し、予測情報と実際の吹雪状況の推移が概ね一致することを確認した。新潟市は、1日に2回更新される予測情報を市道の吹雪対策に活用した。吹雪災害の危険性があると予測された時は、道路パトロールを実施して現地の状態を確認した上で、必要に応じて通行止めの措置をとることとしたが、強い吹雪が発生した2度とも、新潟市内の一部の市道を通行止めとして、吹雪災害の発生を未然に防止することができた。

キーワード：視程障害，吹雪，予測，吹雪対策