

付録1 北海道地方における暴風雪に対する取り組み*

暴風雪警報は、暴風警報が対象とする非常に強い風に伴う重大な災害に加えて、「雪を伴うことによる視程障害(見通しが利かなくなる事)などによる重大な災害」のおそれがあるときに発表する。暴風雪警報の基準は、全国の多くの地域では暴風警報の風速基準に「雪を伴う」ことを付帯条件としている。北海道地方では、これと異なり暴風雪警報は独自の風速基準に加えて、「雪による視程障害を伴う」場合に発表するという基準を定めている。北海道では雪質が軽いため、暴風警報基準に達していなくても、雪が舞い上がり激しい視程障害等を引き起こすことがある。そのため、暴風雪警報の風速基準値は暴風警報より低く設定するとともに、過度な警報・注意報の発表を抑えるために、現象実態に即した形で、「雪による視程障害」を明示した付帯条件としたものである。「雪による視程障害を伴うかどうか」の判断には、「レーダーエコー強度 1 mm/h 以上(点在したエコーを除く)」、「各種道路の通行止め情報」、「協定等により部外機関から得られている各種データ(ライブカメラ映像等)」、「レーダーエコーと衛星資料の雲頂高度により、雪雲の活発さや流入の推測」などを活用している。

大雪警報は、著しい降雪により、車の立ち往生や交通機関の運休等の交通障害、雪の重みによる建築物の倒壊や損壊といった重大な災害が発生するおそれがあるときに発表する。大雪警報は、6 時間降雪量、12 時間降雪量、及び 24 時間降雪量を数値基準としている。一方、北海道のような軽い雪質の地域においては、暴風雪警報が対象とする、猛ふぶきによる視程障害や、吹きだまりによる交通障害が発生するような気象状況では、強い風と強い雪が複合的に作用し、災害が発生する。このため、風の強さと雪の強さの別々の基準では社会的に大きな影響のある現象を見逃す可能性がある。そこで、札幌管区气象台では、暴風雪による災害に関して、先進的な調査研究を行っている寒地土木研究所と連携し、暴風雪警報基準の高度化に向けた基礎的な調査を実施している。付録 1.1 節では寒地土木研究所の調査研究に基づく暴風雪の仕組みと災害に関する基礎知識について示す。付録 1.2 節では札幌管区气象台が北海道や北海道開発局等の防災機関と連携して行った、先進的な取り組みを紹介する。

付録 1 . 1 暴風雪の仕組みと災害に関する知識

付録 1 . 1 . 1 暴風雪による災害と気象状況の関係

暴風雪による災害の特徴をまとめると次のようになる。

- ・ 吹きだまりでは、積雪が 20 cm 程度でも発進ができなくなるなど車の運転が大変危険になる。また、複数以上の車が立往生すると、道路の通行が阻害される。
- ・ 暴風や視界不良により歩行が困難になる。雪で数 m 先も見えなくなり、方向感覚を失って自分の位置がわからなくなる。さらに車からは視界不良により歩行者が見えにくくなるため、大変危険である。また、体温が奪われて低体温症になるおそれがある。
- ・ 暴風により、看板や屋根などが飛んでくることがある。
- ・ 電線着雪や強風、飛散物などにより電線が切れるなどして停電が発生し、照明や暖房が使えなくなることがある。天気が回復するまで復旧作業は行えず、停電が長期化することがある。
- ・ 住宅では暖房機等の屋外の給排気口がふさがれることにより、立ち往生した車ではマフラーがふさがれることにより一酸化炭素中毒を起こす危険性がある。
- ・ 住宅の玄関が雪でふさがれて開かなくなることがある。

*大山 哲男(札幌管区气象台気象防災部予報課)、竹田 康生(気象庁予報部予報課)

この中で、重大な災害としてふぶきによる視程障害と吹きだまりによる車の立ち往生等の道路災害がある。暴風雪による災害について、寒地土木研究所と札幌管区気象台が意見交換をしたときの災害と気象状況の関係をまとめると次のようになる。

視程障害

- ・ 風速、降雪量、気温が分かれば、ふぶきによりどの程度の視程障害が発生するかをある程度推測することができる（付録 1.1.2 節で詳細について記述）。
- ・ 視程障害を伴い地表から数 m の厚さを持つ、いわゆる「高い地ふぶき」は、降雪があつて 8~9m/s 以上の風が継続した場合に発生する。
- ・ ふぶきが十分に発達するまでの吹走距離は 200~300m 位必要である。風上が田畑など開けている箇所で強いふぶきになりやすい。

吹きだまり

- ・ 吹きだまりは気象要因だけではなく、地形の影響が大きく、その発生・規模を推定するのはかなり困難。
- ・ 雪が視界を、一時的に通過するだけであれば、視程障害は発生するが、吹きだまりはできない。
- ・ 吹きだまりは土砂を盛り上げて作られた盛土道路よりも地盤や斜面を削って作られた切土道路で発生しやすく、切土道路では視程障害を伴わない低い地ふぶきであっても吹きだまりが発生することがある。

このように、吹きだまりについては気象要因からだけでは予測が困難であるが、視程障害については気象状況から予測できる可能性がある。

付録 1.1.2 ふぶきによる視程の推定 ~暴風雪警報の高度化に向けた調査~

北海道における降雪時のふぶき発生臨界風速を調査した研究結果（竹内ら,1986）によると、「高い地ふぶき」が断続的に発生する臨界条件は、気温 T [] と高さ 7m での風速 V_7 [m/s] を用いて、次のように整理される。

$$V_7 \geq 8.5 \text{ [m/s]} \quad (\text{但し } T \leq -2 \text{ })$$
$$V_7 \geq 8.5 + (1 + 0.5T) \text{ [m/s]} \quad (\text{但し } 2 \geq T > -2 \text{ })$$

この研究結果を気象庁で利用する場合、風速としてアメダスの風を利用することになる。気象庁のアメダスでは、通常 10m の高さで風速を測定しており、観測している高さに違いがあるが、高さ 10m での風速 V_{10} [m/s] と高さ 7m での風速は、周囲が開けている状態で測定している場合、大きな差異がないと考え、次に示す吹雪時の視程推定手法の適用条件として、アメダスで観測された風速を (V_{AMeDAS} [m/s]) としたとき、 $V_7 = V_{AMeDAS}$ と見なすこととする。

寒地土木研究所の、「吹雪時の視程推定手法の改良に関する研究」（松澤, 2007）では、視程 (VIS [m]) は飛散している雪の量を示す飛雪空間密度 (N [g/m³]) と風速 (V [m/s]) を用いて、以下の式で表されると報告している。

$$VIS = 10^{\{-0.773 \log(NV) + 2.85\}}$$

気象庁のアメダス観測の実測値を用いて視程を計算する場合、8.5[m/s]を境に次の式を用いる。

$$V = V_{AMeDAS} \quad (V_{AMeDAS} \geq 8.5[\text{m/s}] \text{ のとき})$$

$$V = \sqrt{(V_{AMeDAS})^2 + w_f^2} \quad (V_{AMeDAS} < 8.5[\text{m/s}] \text{ のとき})$$

ここで、 w_f [m/s]は降雪粒子の落下速度である。風速が強い場合の雪粒子の移動速度は、風速と等しいと仮定しても大きな差異はないが、風速が弱くなると、風速に対する雪粒子の落下速度が無視できなくなるため、 w_f を用いて補正する必要がある。

一方、飛雪空間密度 (N [g/m³]) は降雪強度 (P [g/m²s])、降雪粒子の落下速度 (w_f [m/s])、浮遊粒子の落下速度 (w_b [m/s])、基準高度 (Z_t [m])、基準高度 Z_t での飛雪空間密度 (N_t [g/m³])、視程を求める高さ (z [m])、カルマン係数 (k)、摩擦速度 (U_* [m/s]) を用いて

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

と表される。この式において、降雪強度 (P [g/m²s]) は気象レーダーなどにより実測値が得られるが、残る未知数はどれもリアルタイムで直接計測を行って実測値を与えるのは容易ではなく、これらは既存の研究から次のとおり値を定める。

降雪粒子の落下速度 (w_f [m/s]) = 1.2

浮遊粒子の落下速度 (w_b [m/s]) = 0.35

基準高度 (Z_t [m]) = 0.15

基準高度 Z_t での飛雪空間密度 (N_t [g/m³]) = 30

カルマン係数 (k) = 0.4

摩擦速度 (U_* [m/s]) = 0.036 V

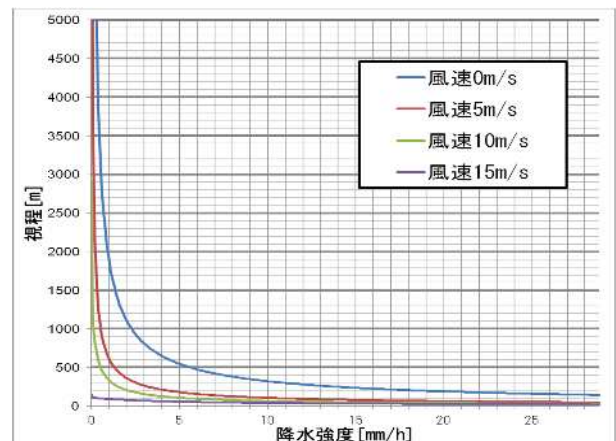
この式の第 1 項は「降雪により飛散している雪粒子の空間密度」、第 2 項は「地ふぶきにより飛散している雪粒子の空間密度」を表している。高い地ふぶきの発生条件を満たさない場合は第 1 項の「降雪により飛散している雪粒子の空間密度」のみを用いる。これは高い

地ふぶきが発生していなくても、強い降雪により視程障害が発生するため、地ふぶきにより飛散している雪粒子の空間密度を無視するためである。

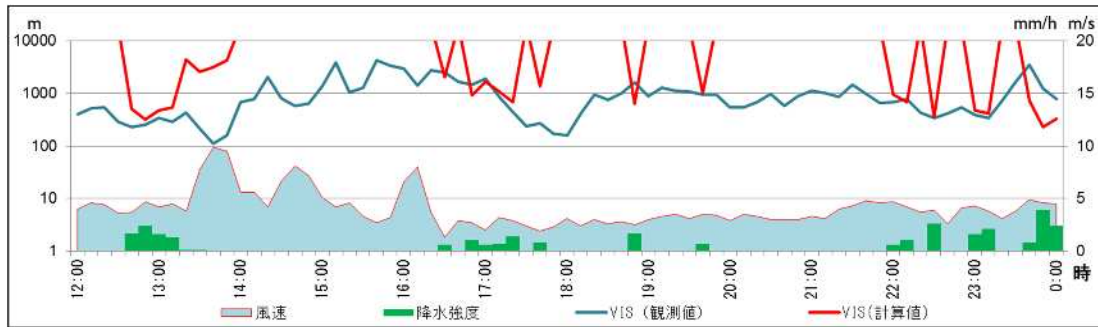
この関係式に基づき、降水強度と風速から推定視程を図示したのが付録第 1.1 図である。

寒地土木研究所では、これらの成果を試験的に公開している (参考文献の寒地土木研究所)。

札幌管区気象台予報課では、寒地土木研究所の計算式を用いて推定した視程データと留萌特別地域気象観測所の視程計データを比較した。その結果、該地点の「直上の降水強度が得られる」「風速が概ね 10m/s 以上」のいずれかを満たす場合、観測値と近い値が算出されることがわかった (付録第 1.2 図)。この結果を受けて、MSM の気温・風速・降水強度から視程分布予測ツールを開発し、庁内用として予報作業の参考としている。



付録第 1.1 図 降水強度と風速から求めた視程推定図



付録第 1.2 図 留萌における計算値視程データと視程計データの比較結果

2010 年 12 月 26 日事例 レーダーで直上の降水強度が捉えられた時間帯は計算値と観測値は近い値を示している

付録 1.2 暴風雪に関する北海道地方での取り組み

平成 25 年 3 月 2 日から 3 日にかけて、発達した低気圧の影響で北海道のオホーツク海側と太平洋側東部を中心とした広い範囲で猛ふぶきとなり、北海道内で 9 人が犠牲となった。この甚大な災害を踏まえて、「通行規制の情報提供の方法、及び道路管理の充実強化」など今後の予防対策を検討するために、北海道は「平成 25 年度道路管理に関する検討委員会」（以下「検討委員会」とする）を平成 25 年 5 月 15 日に設置した。

また、この災害後、防災機関や報道機関等から札幌管区气象台に対して防災気象情報の改善についての要望が寄せられ、広い範囲で記録的な暴風雪になる際には、受け手に災害への危機感が伝わるような防災気象情報が求められた。札幌管区气象台は、検討委員会に気象行政の立場から参画するとともに、この被害の甚大さを重く受け止め、暴風雪による被害の防止・軽減に向けた取り組みを行っている。

札幌管区气象台は検討委員会に対して、平成 25 年 3 月の暴風雪のような現象が予想される場合に、危機感を伝えるためのキーワードの検討を依頼した。その結果、安全行動をとる上で理解しやすいということから「これからの外出は危険を伴います」「緊急の場合以外は外出を控えてください」など、「外出」をキーワードとした意見が最も多く挙げられた。

第 1.1 表 北海道における顕著な暴風雪災害事例(2000 年～2013 年)

年月日	一次細分区域名	市町村名	災害概要	死者	アメダスによる最大風速
平成16年(2004) 1月13～16日	北見地方	北見市	北見市ではアメダス観測以来最高である171cmの記録的な大雪や暴風雪に見舞われた。暴風雪や多積雪のため、生活道路の除雪が困難を極め、数日に渡り家の外に出られない状態が続くなど非常に混乱した。人工透析患者や独居老人については自衛隊による救出活動や市職員による安否確認が行われた。国道や道道の通行止め規制が実施され、北見市内及び近隣市町村への物資の輸送が止まり、コンビニの食品の棚が空になるなど非常事態が続いた。	1名 (高齢者の除雪作業による)	北見 北西11m/s
平成20年(2008) 2月23～24日	胆振地方 空知地方	豊浦町 長沼町 千歳市	地ふぶきで通行止めとなった道路で多数の車が立ち往生し、胆振管内豊浦町では約3メートルの吹きだまりに埋まった乗用車の中で1名が死亡した。	1名	えりも岬 北27m/s 鶴川 北北西16m/s 岩見沢 北北東17m/s
平成24年(2012) 2月15～16日	宗谷地方	稚内市	猛ふぶきにより約150台が立ち往生した。	---	宗谷岬 北西25.3m/s
平成24年(2012) 4月4～5日	宗谷地方	稚内市	猛ふぶきにより、道道抜海線254号で車両23台が立ち往生した。	---	宗谷岬 北西28.7m/s
平成25年(2013) 3月2～3日	網走地方 根室地方等	湧別町 中標津町	オホーツク海側や太平洋側東部を中心に300台以上の車両が立ち往生し、北見市、網走市、中標津町などの9市町村で一時671名が公共施設に避難した。 北見市、網走市、大空町、別海町では、車両立ち往生からの救出作業のため、自衛隊に災害派遣を要請した。	9名	斜里 北西22.6m/s 根室 北西23.8m/s

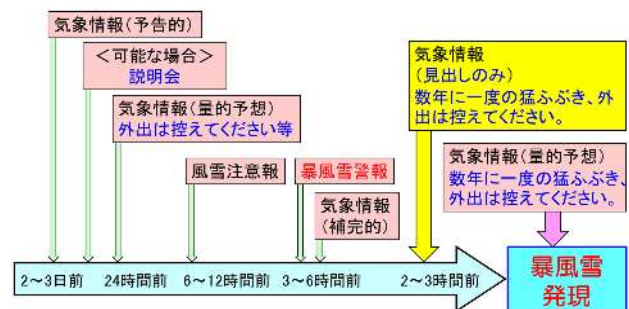
また、暴風雪による被害の防止・軽減に向けた取り組みの一環として、付録 1.1.2 節で記述したような、暴風雪警報基準の高度化に向けた調査の結果等も踏まえ、平成 25 年 3 月の事例と同様な規模の暴風雪害について、付録第 1.1 表のとおり抽出した。これらの暴風雪害について「内陸でも広い範囲に 20m/s 近い風が吹いていること」「これら災害は数年に一度の割合で発生していること」などの特徴を整理した。

これらを基に、札幌管区气象台では、関係機関との調整のもと、気象情報で「数年に一度の猛ふぶきとなるおそれがあります。外出は控えてください。」のキーワードを用いることとした。「数年に一度の猛ふぶき」を要因とする気象情報の改善についての、発表の目安等の概要を付録第 1.2 表に示す。また、警戒を呼びかけるタイミングについても検討し、「数年に一度の猛ふぶき」の発現する 24 時間前に気象情報で「外出は控えてください」と呼びかけ、「数年に一度の猛ふぶき」の発現する 2~3 時間前には「数年に一度の猛ふぶきとなるおそれがあります。外出は控えてください。」というキーワードを用いて本文を省略した見出しのみの短文の気象情報を発表し、厳重な警戒を呼びかけるという段階的な情報発表を行うこととした（付録第 1.3 図）。これらの気象情報に関しては、関係機関に周知し、平成 25 年 12 月 25 日から運用を開始している。平成 26 年 12 月 17 日には、網走・北見・紋別地方気象情報及び北海道地方気象情報で、初めてこのキーワードを用いた情報を発表した。

第 1.2 表 「数年に一度の猛ふぶき」を要因とする気象情報の改善(概要)

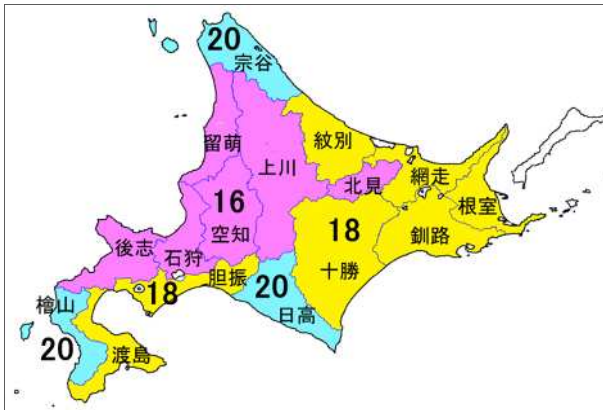
(1) 発表の目安	府県区内の広い範囲で以下の目安に相当する猛ふぶきが予想される場合、府県と相談の上、中枢が判断する。 平成 25 年 3 月 2 日暴風雪のように、より一層の厳重な警戒が必要な暴風雪が予想される場合 岬を含む陸上で風速 25メートル以上、内陸で 20メートル以上の暴風雪が予想される場合 各官署で数年に 1 回程度の現象を想定(北海道全体では、1年に 1 回程度)
(2) キーワードを用いた気象情報発表	速報的な性質を持たせ、対象とした現象が始まる 2・3 時間前にスポット的に発表する。
(3) 気象情報の種類	中枢と事前の調整を行い府県気象情報として発表する。府県気象情報の発表後に速やかに地方気象情報を発表する。中枢は、事前にその旨を本庁に連絡する。標題は、発表中の気象情報名とし、発表番号・イベント ID 番号も継続する。
(4) 気象情報の形式	地方・府県気象情報とも、見出しに「数年に一度の猛ふぶきとなるおそれがあります。外出は控えてください。」を用いた短文形式を基本とする。 なお、「最大級の警戒」、「これまでに経験のない…」は、特別警報相当(発表時)の現象に用いる。

「数年に一度の猛ふぶき」となる気象状況の目安は、第 1 章第 1.3.2 表に示したように、風速の条件として「岬を含む陸上で風速 25m/s 以上、内陸で 20m/s 以上の暴風雪が予想される場合」としており、暴風雪警報基準（付録第 1.4 図）よりも高い数値を設定している。一般にアメダス地点における強風の頻度は海岸付近で高く、内陸では低い。北海道内アメダスにおける冬季（12～3 月）の日最大風速 16m/s 以上の月平均日数は、日本海側の海岸と太平洋側の岬で 5～10 日程度と多い一

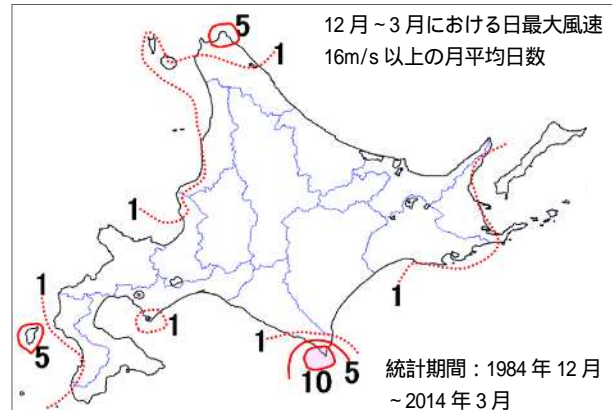


第 1.3 図 「数年に一度の猛ふぶき」のキーワードを用いた防災気象情報の時系列模式図

方、内陸では1日未満と少ない(第1.5図)。このことからキーワードを用いる風速の条件についてもアマダス地点の予測のみで判断すると見逃しのおそれがあるため、低気圧の発達程度、気圧の傾き、下層(925hPa・850hPa)の強風域(50~70kt)の分布等を総合的に判断している。



第1.4図 暴風雪警報 陸上の風速基準(m/s)



第1.5図 日最大風速の16m/s以上の月平均日数

参考文献

北海道, 北海道開発局, (独) 土木研究所 寒地土木研究所, 札幌管区气象台, 2014: 暴風雪への備えリーフレット.

(<http://www.jma-net.go.jp/sapporo/bousaikyouiku/schoolbousai/boufusetu/ippan.pdf>)

国土交通省, 2014: 異例の降雪を想定したタイムライン(防災行動計画).

(<http://www.mlit.go.jp/common/001064323.pdf>)

寒地土木研究所: 北の道ナビ 吹雪の視界情報. (<http://northern-road.jp/navi/touge/fubuki.htm>)

竹内政夫, 石本敬志, 野原他喜男, 福沢義文, 1986: 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.

松澤勝, 2006: 吹雪時の視程推定手法とその活用に関する研究, 寒地土木研究所報告第126号.

松澤勝, 2007: 吹雪時の視程推定手法の改良に関する研究, 日本雪氷学会誌 雪氷 69巻1号.

宗信宏, 越田弘一, 久保田隆信, 2013: 吹雪時の指定推定手法の検証, 平成25年度札幌管区気象研究会誌.