

# 暴風雪・大雪の評価技術および 冬期道路管理への活用案について

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 雪氷チーム ○原田 裕介  
同上 大宮 哲  
同上 武知 洋太

本論文では、筆者らが考案した一回の暴風雪や大雪の厳しさを示す2種類の指標のうち、道路路線・区間の障害を段階的に示す「障害度」の評価指標の設定、およびこれらの評価指標を用いて暴風雪や大雪の発生頻度や地域性を把握するハザードマップの作成について、それぞれ概要を示す。また、立場・役割の異なる道路管理者ごとに、道路計画時や事象発生時の判断支援材料となるよう、暴風雪や大雪の評価指標やハザードマップの活用案について示す。

キーワード：暴風雪・大雪、評価指標、除雪・防雪、災害情報

## 1. はじめに

近年、急速に発達した低気圧や収束帯によってもたらされる暴風雪や大雪に伴い、多数の車両の立往生や長時間に亘る通行止めなどの障害が度重なって発生している。しかし、現時点では暴風雪や大雪に伴う道路通行規制の数値基準は確立されていないため、気象状況・道路パトロール・管理用カメラ映像などに基づいて総合的に通行規制を判断している。今後、暴風雪や大雪による交通障害を軽減するためには、これらの発生頻度や地域性の特徴を整理のうえ、通行規制や情報提供のタイミングなどをサポートするための基準を示すことが重要である。また、「大雪時の道路交通確保対策中間とりまとめ<sup>1)</sup>」によれば、道路ネットワーク機能への影響の最小化を目標に、情報収集や提供の工夫、地域や道路ネットワーク(路線・区間)ごとにタイムラインの策定を行うべきと指摘している。

筆者らは、暴風雪や大雪の評価技術および冬期道路管理への活用について、**図-1**に示す流れで検討した。はじめに、一回の暴風雪や大雪の厳しさを示す指標として、「障害度(道路路線・区間の障害を段階的に示す線的な指標)」と「警戒レベル(道路ネットワークの障害や地域の災害の規模を示す面的な指標)」を提示した<sup>2,5)</sup>。つぎに、道路計画や維持管理の判断支援材料となるよう、暴風雪は新潟県以北、大雪は積雪地域<sup>6)</sup>を対象に、暴風雪や大雪の発生頻度や地域性を把握するためのグラフおよびハザードマップを作成した<sup>7)</sup>。加えて、暴風雪時の道路管理における判断支援方策を検討するために、国土交通省本省や北海道開発局を対象に、暴風雪時の道路管理における現状と課題を、道路管理者へのヒアリング調

### (1) 暴風雪・大雪の評価指標の設定

暴風雪・大雪事例を収集のうえ、吹雪の度合を示す吹雪量(暴風雪)や降雪量(大雪)と過去の通行止めとの関係を分析し、これらの厳しさを示すために考案した「障害度(線的:道路路線・区間の段階的な障害の度合)」と「警戒レベル(面的:道路ネットワークの障害や地域の災害の規模の度合)」を評価する指標を、統計的手法により設定。

### (2) 暴風雪・大雪の発生頻度と地域性の変化傾向

過去60年間の気象値(気象庁DSJRA-55:解像度5km)を用いて、一回の暴風雪・大雪の発生頻度((1)評価指標の「警戒レベル」を活用)を10冬期ごと、地域細分ごと(暴風雪:北海道・東北地方・新潟県の9細分、大雪:日本の積雪地域の11細分)にグラフにて整理。

### (3) 暴風雪・大雪のハザードマップの作成

暴風雪や大雪の事象の規模と、それに伴う交通障害や通行規制などの発生頻度をリスクとして位置づけ、暴風雪や大雪の評価指標などをもとに、冬期道路管理や施策立案に資するハザードマップを作成。

<ハザードマップの表示要素>

ア) 一回の暴風雪や大雪の規模(24時間最大値など)

イ) 一回の暴風雪や大雪の発生頻度((1)評価指標の「障害度」など)

ウ) 冬期間の吹雪や降雪の累計値

<ハザードマップの表示パターン>

① ア)~ウ)の統計値を直接表現したもの

② 複数要素を組合せたもの(例:一回の規模+累計値)

③ 複数要素を組合せて危険度を階級化したもの

※使用データ:気象庁DSJRA-55出力値をAMeDAS観測値により補正した値。

### (4) 極端気象時の道路管理における判断支援方策の検討

暴風雪時の道路管理における現状と課題の整理  
評価指標やハザードマップの活用案 など

**図-1** 本検討の流れ((1)と(2)を包括した検討結果は、日本雪工学会論文集に投稿中)

査と資料に基づき整理した<sup>8)</sup>。

本論文では、暴風雪・大雪の評価技術のうち、「障害度」を評価する指標の設定(図-1(1))、ハザードマップの作成(図-1(3))、ならびに評価指標やハザードマップの冬期道路管理への活用案(図-1(4))の概要についてそれぞれ示す。

## 2. 評価指標の作成方針

一回の暴風雪や大雪の厳しさを評価する指標に求められる要件として、以下の3つが考えられる。

- ・任意の路線・区間や地域ごとに、各事象の規模を評価または表現できる
- ・各事象の発生前または発生中において、今後発生しうる障害や災害の規模を予想できる
- ・道路管理判断のための指標として、防雪計画や事象発生時のタイムラインなどに活用できる

また、暴風雪や大雪によって生じる道路交通障害は、気象現象の規模が大きくなるにつれて以下の①～④の順に線的な障害から面的な障害へ推移し、場合により災害に至るものと考えられる。

- ① 吹雪や降雪に伴い、除雪作業の必要が生じ、併せて旅行速度が低下する
- ② 吹雪や降雪が局所的にある強度以上となり、個々の路線・区間で交通障害に至る
- ③ ある強度以上の吹雪や降雪の範囲が広がり、複数の路線・区間で交通障害に至り、道路ネットワークの機能低下が生じる
- ④ ある強度以上の吹雪や降雪が広範囲で継続し、道路上の吹きだまり・積雪深さがより大きくなることで、交通障害の解消に多大な時間を要し、道路ネットワークの機能低下が長時間継続する

上記を踏まえ、本研究では、一回の暴風雪や大雪の厳しさを示す指標として、道路管理に資する観点から、図-1(1)に示す「障害度」(上記②の段階を考慮)と、「警戒レベル」(上記③と④の段階を考慮)を設定し、これらを実評価する指標を検討した。

## 3. 暴風雪における「障害度」の評価指標の設定

### (1) 設定方針

ここでは、吹雪の厳しさを示す物理量として時間吹雪量(kg/mh)を用いた。筆者らは1kmメッシュの気象値を用いた時間吹雪量の推定手法を整備のうえ、北海道東部で発生した暴風雪事例(8冬期53事例)を用いて、網羅的に解析するためのデータセットを作成した<sup>9)</sup>。上記と以降で述べる既往文献を用いて時間吹雪量と吹雪障害(視程障害と吹きだまり)との関係を整理のうえ、道路交通に影響を与える吹雪障害に相当する時間吹雪量を基準数値として設定した。これらの結果を用いて、暴風雪

時の評価指標「障害度」の評価指標を段階的に設定した。本解析では、視程低下の状態がある程度継続することが交通障害発生に寄与すると考え、3時間移動平均した吹雪量を利用した。

### (2) 吹雪障害の基準数値の設定

#### a) 視程障害

加治屋ら<sup>10)</sup>によれば、吹雪時の視程が50m未満になると、ブレーキ操作による減速が多くなることを示している。これが、道路での立ち往生や通行止めにつながる要因であると仮定し、ドライバーの目線高さ1.2mにおける吹雪視程 $Vis(m)$ と時間吹雪量 $Q_h(kg/mh)$ との関係<sup>11)</sup>を参考に、雪堤高さ $H(m)$ を0.0, 0.5, 1.0に設定のうえ、以下の式(1)より $Vis$ を推定した。

$$Vis = \begin{cases} 8438Q_h^{-0.891} & H = 0.0(z = 1.2) \\ 11200Q_h^{-0.981} & H = 0.5(z = 0.7) \\ 25284Q_h^{-1.226} & H = 1.0(z = 0.2) \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 $z$ は視程を推定する高さ(m)である(図-2)。式(1)に $Q_h = 300$ を代入すると、 $Vis$ は23~52mで概ね50m未満となる。このことから、道路交通に影響を与える視程障害は時間吹雪量 $Q_h \geq 300$ の場合に発生すると設定した。

#### b) 吹きだまり

金子ら<sup>12)</sup>は、吹きだまりの深さが20cmになると軽自動車の発進が困難になると報告している。国土交通省が想定する道路除雪1サイクルにかかる時間は3時間であることから<sup>13)</sup>、吹きだまりの深さが3時間以内に20cmに達する場合に車両発進が困難になると想定される。ここでは、切土道路を対象に吹雪量と吹きだまり量の関係を示した既往研究<sup>14)</sup>を参考に、図-3に示す吹雪前の切土道路形状に堆雪された断面図を設定のうえ、冬期交通確保幅 $w(m)$ にて吹きだまり深さ20cm/3hに相当する吹雪量を3000kg/m/3hと見積った。以上より、道路交通に影響を与える吹きだまりは、時間吹雪量 $Q_h \geq 1000$ の場合に発生すると設定した。

以上より、時間吹雪量 $Q_h \geq 300, 1000kg/m/h$ を、吹雪障害の基準数値として設定した。

### (3) 障害度の評価指標の設定

暴風雪53事例<sup>9)</sup>のうち、10事例以上において通行止めが実施された4区間(海岸部2区間、山間部1区間、内陸部1区間)を選定し、吹雪量に基づく解析を行った。つぎに、暴風雪の影響が明瞭な事例を用いた解析を行う

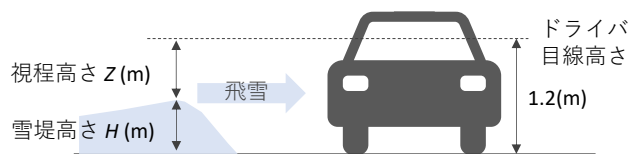


図-2 視程高さ $z(m)$ と雪堤高さ $H(m)$ との関係

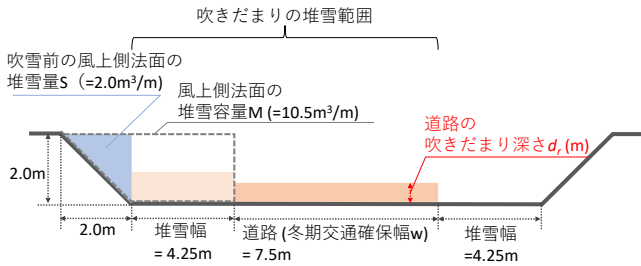


図-3 吹きだまりを推定するための道路断面

(地方部の一般国道における高さ20mの切土道路を想定)

ため、区間ごとに平均吹雪量の時間最大値を昇順とし、通行止めあり上位5事例と、通行止めなし上位5事例、計40事例を抽出した。解析区間内で吹雪視程の最低値が50m未満となった継続時間と通行止めが実施された事例の発生割合の関係を図-4に示す。また、解析区間内での最大吹雪量と通行止めが実施された事例の発生割合の関係を図-5に示す。図-4より、継続時間が長くなるにつれて通行止めの発生割合が大きくなることが確認され、継続時間が3時間を超えると75%、6時間を超えると全て通行止めとなっていた。これより、視程50m未満の継続時間の差異が通行止めの発生に関係していると考えられる。また、図-5より、最大吹雪量が800kg/m以上の際は全て通行止めとなっていた。吹きだまり深さ20cm/3hに相当する時間吹雪量 $Q_h$ は約1000kg/m以上であることから、この結果は概ね整合していると言える。以上より、暴風雪時の道路における「障害度」の評価指標を表-1のように提案する。

#### 4. 大雪における「障害度」の評価指標の設定

##### (1) 設定方針

ここでは、大雪の厳しさを示す物理量として時間降雪量(cm/h)を用いた。大雪時の交通障害は、主に多量降雪による新積雪の急激な増加に起因した車両の走行困難(スタックや立ち往生)と、それらをきっかけとして生じる車両滞留があげられる。ここでは、多量降雪を「一定時間に積算された降雪量」として、1995年度以降の大雪災害36事例を収集し<sup>3)</sup>、既往文献を用いて時間降雪量と大雪障害との関係を整理のうえ、障害度の評価指標を段階的に設定した。なお、道路上の新積雪には圧密が作用するが、ここでは評価指標としての明確さを優先し考慮しないものとした。

##### (2) 障害度の評価指標の設定

収集した大雪災害36事例のうち、車両滞留に至る道路交通の状況が詳細に記録されていた4事例延べ8区間を対象に、車両滞留発生日時の48時間前からの積算降雪量の推移を近傍の気象観測データより図-6に整理した。ここでは、降雪開始から概ね48時間以内に車両滞留が発生していること、村田・河島<sup>15)</sup>より降雪量が40cm/24h

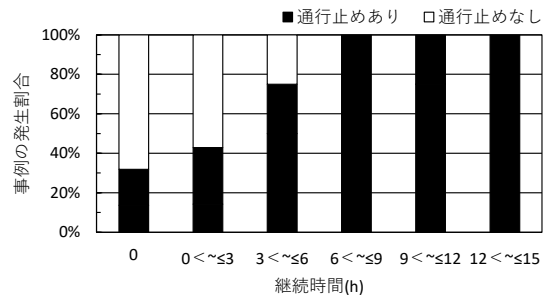


図-4 視程50m未満(吹雪量300kg/m以上)の継続時間と通行止めの発生割合との関係

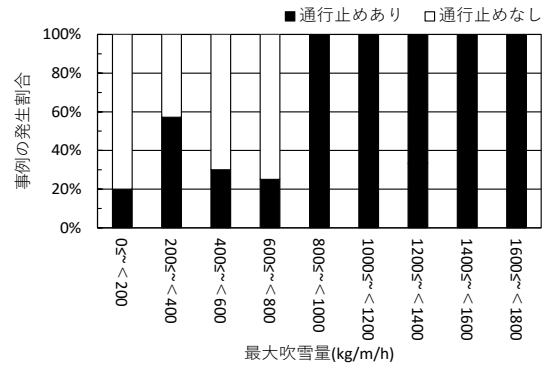


図-5 最大吹雪量と通行止めの発生割合との関係

表-1 暴風雪の障害度の評価指標と推定される状況

障害度	評価指標	推定される状況
障害度0	視程50m未満(吹雪量300kg/m以上)が0~3時間継続	視程低下により走行環境が悪化
障害度1	視程50m未満(吹雪量300kg/m以上)が3~6時間継続	
障害度2	視程50m未満(吹雪量300kg/m以上)が6時間以上継続	通行止めが必要などの障害が発生
障害度3	吹きだまり20cm以上/3h(吹雪量1000kg/m以上)が発生	軽自動車の発進が困難となる吹きだまりが発生

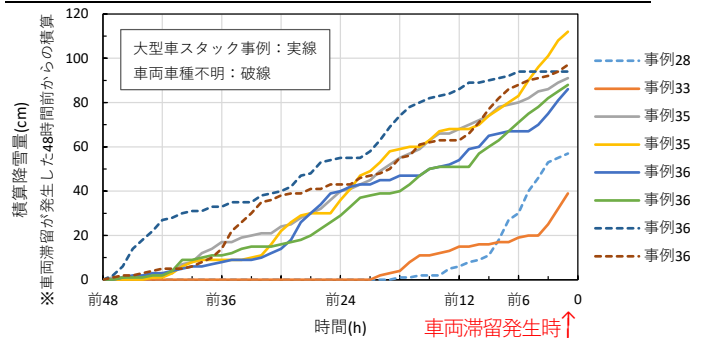


図-6 車両滞留発生までの近傍気象観測所の積算降雪量(cm)の推移

に達した場合に車両滞留に至る可能性が高いこと、一般国道の新雪除雪の1サイクルが概ね3時間<sup>16)</sup>であることを参考に、車両滞留に至る前48, 24, 12, 6, 3時間の積算降雪量を表-2に示した。表-2より、村田・河島<sup>15)</sup>が提示したように、車両滞留発生前に概ね40cm以上/24hの降雪量が発生していた。また、車両滞留発生時の降雪量は

表-2 車両滞留発生日時までの近傍気象観測所の積算降雪量(cm) 着色線・点線は図-6の凡例と同様

事例 No.	事例名	気象観測所 (所管組織)	車両滞留発生日時	積算降雪量 (cm)				
				前48時間	前24時間	前12時間	前6時間	前3時間
28	一般国道373号 (鳥取県)	智頭 (気象庁)	2017/01/23 18:00	57	57	52	30	11
33	一般国道8号 (福井県)	熊坂 (国土交通省)	2018/02/06 00:00	39	39	26	22	19
35	関越道上り (新潟県)	小出 (気象庁)	2020/12/16 18:00	91	55	25	12	6 ★
	関越道下り (新潟・群馬県)	みなかみ (気象庁)	2020/12/16 22:00	112	82	44	32	16
36	北陸道下り (福井県)	福井 (気象庁)	2021/01/09 12:00	86	47	34	19	16 ★
	北陸道上り (福井県)	加賀菅谷 (気象庁)	2021/01/09 12:00	88	62	37	21	10
	一般国道8号金沢方面 (福井県)	福井 (気象庁)	2021/01/10 05:00	94	40	10	2	0 ★
	一般国道8号米原方面 (福井県)	福井 (気象庁)	2021/01/09 19:00	97	54	34	11	6 ★

40~60cm/24hが多く、なかには60~80cm/24hの事例もあった。加えて、前48時間と前24時間の差が0cmの事例(No.28, 33)は、前6時間の積算降雪量が22~30cm、前3時間が11~19cmと大きい。この場合は、路面上の新積雪の急激な増加に伴い、車両の走行性や視認性が低下し、停車時間や発進回数が増えることで路面状態が悪化すると考えられる<sup>10)</sup>。一方、前48時間と前24時間の差が36~54cmと大きい車両滞留4事例(表-2中の★)のうち3事例は、前6時間、3時間の積算降雪量が6~12cmと小さかった。以上の結果に基づき、大雪時の道路における「障害度」の評価指標を表-3のように提案する。

表-3 大雪の障害度の評価指標と推定される状況

障害度	評価指標	推定される状況
障害度1	時間降雪量の積算値 40cm以上/24h	車両滞留、通行止めが発生する程度
障害度2	時間降雪量の積算値 40cm以上/12h	半日で車両滞留、通行止めが発生する程度
障害度3	時間降雪量の積算値 20cm以上/3h	除雪1サイクル程度の時間で、路面状況の悪化、視程低下

年、1回以上/10年、5回以上/10年(1回/2年以上)、10回以上/10年(1回/1年以上)以下の4段階を基準とした。

(2) 使用データおよびその補正方法

使用データは、気象庁が提供するJRA-55領域ダウンスケーリングDSJRA-55(1960~2009年度冬期(12~3月)、水平分解能5km格子)<sup>17)</sup>の風速(m/s)、気温(°C)、降雪強度(kg/m<sup>2</sup>/s)を用いた。また、気象庁AMeDAS(1990~2019年度冬期(12~3月);暴風雪189地点、大雪267地点)の風速(m/s)、気温(°C)、積雪深(cm)を用いた。ここでは、DSJRA-55統計値を、気象庁AMeDAS(1990~2019年度冬期(12~3月))の観測値を用いて、図-7に示すフローの①~⑤にしたがい補正した。

5. 暴風雪および大雪のハザードマップの作成

(1) ハザードマップ作成における条件整理

筆者ら<sup>9)</sup>が示した道路管理の体制およびヒアリング結果を基に、暴風雪および大雪のハザードマップの①利用者(国土交通省本省・北海道開発局本局・地方整備局本局の道路管理者、現業の道路管理者(開発建設部本部、道路事務所、除雪業者)、道路利用者)、②利用場面(計画段階、事象発生時)、③目的(防雪計画、事象発生時の体制検討、維持管理作業、障害多発地域・区間の把握など)ごとに、求められる要件(災害の規模、発生頻度、地域が判断できる、雪害障害多発区間や箇所がわかるなど)を整理した。そのうち、道路管理者や道路利用者が「計画段階」での活用を想定した静的なハザードマップを、過去の気象データを用いて作成した<sup>7)</sup>。

暴風雪・大雪における「ハザード」は、事象の「規模」のみでなく、それに伴う交通障害などの「発生頻度」もあげられる。ここで、一回の暴風雪や大雪の「規模」は、暴風雪および大雪の道路路線・区間の厳しさを評価する段階的な指標である「障害度」(表-1、表-3)、吹雪量・降雪量の24時間の既往最大値および冬期の累計値を採用した。また「発生頻度」は、筆者らが提示した暴風雪や大雪の厳しさを示す「警戒レベル」(図-1(1))<sup>23)</sup>のうち、道路交通に影響を与える警戒レベル3の再現期間が1~2年、レベル4が2~10年、レベル5が10年超となることを参考に、1回未満/10

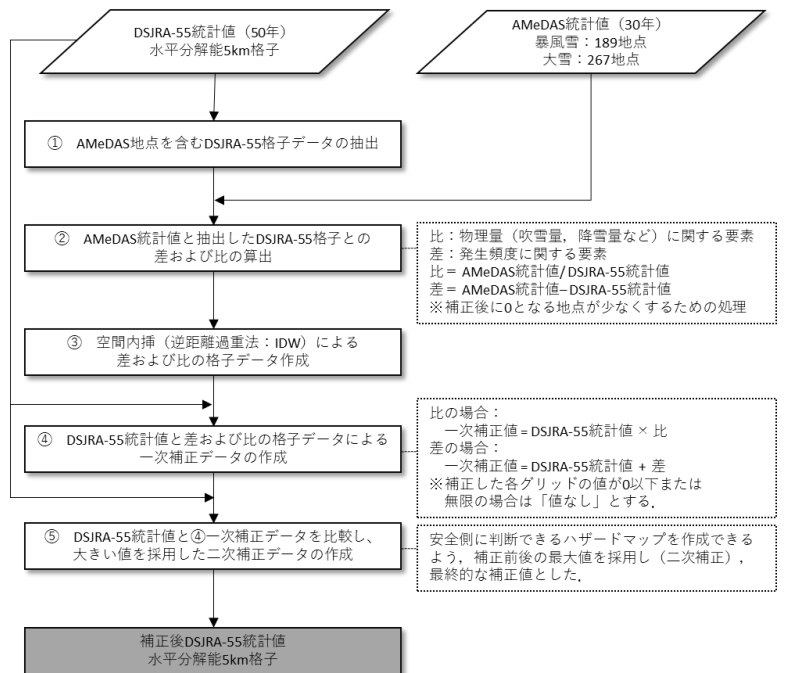


図-7 DSJRA-55統計値の補正方法のフロー

### (3) 暴風雪および大雪のハザードマップ

暴風雪および大雪のハザードマップの表現方法について、①統計値（冬期累計吹雪量・降雪量の平均値など）、②複数要素の組合せ（24時間吹雪量・降雪量の既往最大値と冬期累計吹雪量・降雪量の平均値との比など）、③複数要素を組合せた危険度の階級化、以上3パターンを設定した（表-4）。ここでは、パターン③について作成過程を述べる。暴風雪では、暴風雪の障害度1～3（表-1）と、その発生頻度を組合せ、これらを交通障害発生

の危険度とし、それらの大きさを表-5に階級化した。つぎに、大雪では、大雪の障害度1（表-3）とその発生頻度を組合せ、これらを交通障害発生

表-4 暴風雪と大雪のハザードマップの表現方法（3パターン）とそれぞれの特徴

表示方法	特徴
①統計値	暴風雪・大雪による障害や道路管理、地域、路線に精通した道路管理者向けである。一方で、道路利用者が活用する場合に、危険性の表現として伝わりづらい可能性がある。
②複数要素の組合せ	冬期を通した吹雪や降雪の発生頻度は小さいが、発生する暴風雪・大雪の規模は大きい地域を把握できる。
③階級化した危険度	道路管理者および道路利用者が利用する場合、危険性の表現として伝わりやすいものと考えられる。一方で、ハザードマップの使用者（道路管理者、道路利用者）ごとに解釈が異なる可能性がある。

表-5 暴風雪に関する階級化した危険度例

危険度	説明	整理要素を基にした判定条件 ※どちらかを満たした場合	
		条件1	条件2
危険度0	交通障害発生の可能性が低い	視程 50m 未満 連続 3～6 時間の履歴なし (1回/10年未満)	-
危険度1	交通障害発生 (視程障害) の可能性がある	視程 50m 未満 連続 3～6 時間の履歴あり (1回/10年以上)	-
危険度2	重度の交通障害 (視程障害, 吹きだまり), 通行止め発生可能性がある	視程 50m 未満 連続 6 時間以上の履歴あり (1回/10年以上)	吹きだまり 20cm/3h 以上の履歴あり (1回/10年以上)
危険度3	重度の交通障害, 通行止めが発生しやすい	視程 50m 未満 連続 6 時間以上が 2 年に 1 回 (5回/10年以上) 程度	吹きだまり 20cm/3h 以上が 2 年に 1 回 (5回/10年以上)
危険度4	重度の交通障害, 通行止めが頻発する	視程 50m 未満 連続 6 時間以上が 1 年に 1 回 (10回/10年以上) 程度	吹きだまり 20cm/3h 以上が 1 年に 1 回 (10回/10年以上)

表-6 大雪に関する階級化した危険度例

危険度	説明	整理要素を基にした判定条件
危険度0	交通障害発生の可能性が低い	24時間降雪量の既往最大値が 40cm 未満
危険度1	交通障害発生可能性がある	24時間降雪量の既往最大値が 40cm 以上
危険度2	交通障害, 通行止めが発生しやすい	24時間降雪量 40cm 以上の発生回数が 1 年に 1 回以上 (10回以上/10年)
危険度3	交通障害, 通行止めが頻発する	24時間降雪量 40cm 以上の発生回数が 1 年に 4 回以上 (40回以上/10年)

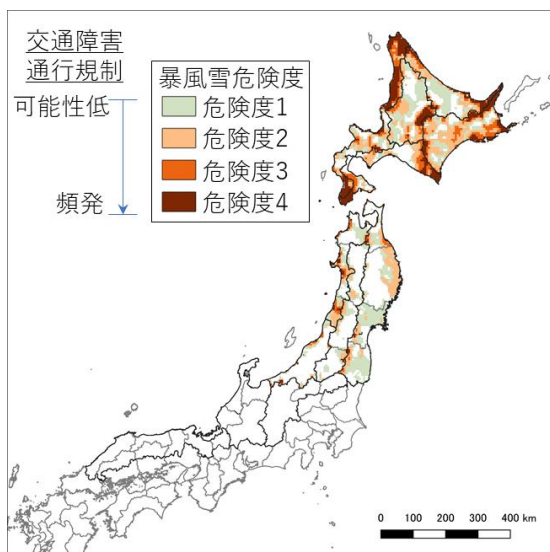


図-8 暴風雪のハザードマップ案 (パターン③: 危険度を階級化)

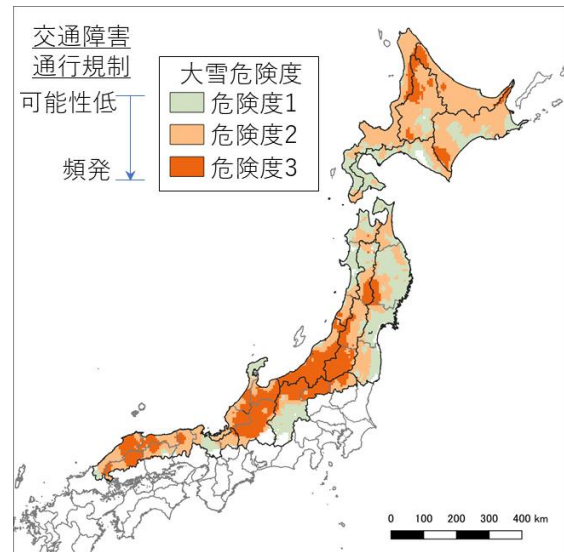


図-9 大雪のハザードマップ案 (パターン③: 危険度を階級化)

## 6. 評価指標やハザードマップの活用案

国土交通省本省および北海道開発局を対象として、立場・役割の異なる道路管理者ごとに、計画時と事象発生時における評価指標やハザードマップの活用案について整理した。

### (1) 国土交通省本省、北海道開発局本局の道路管理者

#### a) 計画時

国土交通省本省、北海道開発局本局の道路管理者は、暫定2車線の高速道路や国道の4車線化など、道路ネットワークの強化を優先する路線を事前に把握することが想定される。ここでは、**図-8**や**図-9**に示す暴風雪や大雪のハザードマップ案を利用することを提案する。例えば暴風雪の危険度（**図-8**）は、北海道の渡島・留萌・宗谷地方の日本海側、内陸部、東部の海岸沿いで高い傾向にあり、暴風雪による災害を軽減するための対策を優先的に検討すべきと考えられる。

#### b) 事象発生時

暴風雪や大雪が広範囲に渡って予見された場合に、現業の道路管理者（開発建設部本部、道路事務所）や関係機関との連絡体制確保や情報収集を実施すると想定され、各地域における災害の規模を予め把握することで適切な対策を取ることができると考えられる。例えば、地域別の「警戒レベル（面的な災害規模の度合）」の分布と推移に基づき、除雪体制の確保や支援など、関係者間の調整を行うことが想定される。

### (2) 開発建設部本部や道路事務所などの現業の道路管理者、除雪業者

#### a) 計画時

現業の道路管理者は、道路の防雪計画や、事象発生時における体制検討（タイムライン、維持管理体制など）、道路利用者の啓蒙を実施すると想定される。例えば、路線の中で暴風雪や大雪の発生頻度が高く、比較的危険性が高いと想定される区間を抽出し、路線の重要性や代替路を加味しつつ、防雪計画を策定することが想定される。

#### b) 事象発生時

現業の道路管理者は、情報収集を行ったうえで、タイムラインに沿って体制の構築や対応を検討・判断し、除雪等の維持管理作業に加え、道路利用者への情報提供を実施すると想定される。例えば、暴風雪や大雪時には「障害度」に相当する気象条件を基準とした道路管理が案としてあげられる。段階移行の判断基準は、気象の地域特性や暴風雪や大雪に対処する能力によって変化すると考えられる。そのため、本案を採用する場合は、運用しながら問題・課題を整理し、適宜改善することが望ましい。

### (3) 今後に向けて

道路管理者へのヒアリングの結果<sup>8)</sup>、極端気象時の的確な道路維持管理のため、本検討で得られた評価指標の予測値への期待が見られた。今後、評価指標の予測値を提示する仕組みについて検討し、冬期の道路維持管理に貢献したいと考えている。

**謝辞：**本研究では、気象庁が提供する JRA-55 領域ダウンスケージング(DSJRA-55)を利用した。またこのデータセットは、文部科学省の補助事業により開発・運用されているデータ統合解析システム(DIAS)の下で、収集・提供されたものである。記して、御礼申し上げる。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省: 大雪時の道路交通確保対策中間とりまとめ, 21pp, 2021.
- 2) 原田裕介ほか: 一回の極端な暴風雪の厳しさを評価する指標の検討. 寒地技術論文報告集, 37, 69-74, 2021.
- 3) 原田裕介ほか: 一回の極端な大雪の厳しさを評価する指標の検討. 寒地技術論文報告集, 37, 75-80, 2021.
- 4) 原田裕介ほか: 一回の極端な大雪の厳しさを評価する指標の検討. 雪氷研究大会(2022・札幌)講演要旨集, 211, 2022.
- 5) 原田裕介ほか: 一回の極端な暴風雪の厳しさを評価する指標の検討. 雪氷研究大会(2022・札幌)講演要旨集, 212, 2022.
- 6) 国土交通省, 2018: 積雪寒冷特別地域における道路交通の確保について. <https://www.mlit.go.jp/common/001265671.pdf>.
- 7) 原田裕介ほか: 暴風雪および大雪のハザードマップの開発. 寒地技術論文報告集, 38, 97-102, 2022.
- 8) 原田裕介ほか: 暴風雪時の道路管理における判断支援方策の検討(その1). 寒地土木研究所月報, 830, 67-73, 2022.
- 9) 原田裕介ほか: 暴風雪事例を網羅的に解析するためのデータセットの作成. 寒地土木研究所月報, 811, 21-26, 2020.
- 10) 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, 20, 325-331, 2004.
- 11) 松澤 勝: 飛雪流量の推定モデルを用いた吹雪量と視程との関係. 北海道の雪氷, 39, 39-42, 2020.
- 12) 金子 学ほか: 切土・盛土道路における吹きだまり発達と車両の発進が困難となる吹きだまり深さに関する検討. 第25回ゆきみらい研究発表会論文集, 2013.
- 13) 国土交通省: 第4回冬期道路交通確保対策検討委員会(2018年11月1日開催)配付資料, 資料4: 今冬の大雪対応予定. <http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/toukidourokanni/giji04.html>, 2018
- 14) 武知洋太ほか: 切土道路に発生した吹きだまりの発達過程と吹雪量との関係. 寒地土木研究所月報, 801, 53-59, 2020.
- 15) 村田晴彦・河島克久: 雪による車両滞留発生前の気象変化の特徴. 雪氷北信越, 41, 64, 2021.
- 16) 藤本明宏ほか: 大雪時のスタック車両発生メカニズムの解明. 雪氷, 83, 507-522, 2021.
- 17) Kayaba, N., et al.: Dynamical Regional Downscaling Using the JRA-55 Reanalysis (DSJRA-55). SOLA, 12, 1-5, 2016.
- 18) 原田裕介ほか: 石狩・空知地方における平成24年豪雪時の雪害と気象. 第56回(平成24年度)北海道開発技術研究発表会, 2013.
- 19) 気象庁, 平成18年豪雪: <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2005/200512/gousetsu18.html>.