

5.1 極端気象がもたらす雪氷災害の実態解明とリスク評価技術の開発

5.1.1 極端な暴風雪等の評価技術に関する研究

担当チーム：寒地道路研究グループ（雪氷チーム）
 研究担当者：西村敦史、萬 直樹、高橋丞二、松澤 勝、
 原田裕介、金子 学、伊東靖彦、遠藤康男、
 國分徹哉、武知洋太、大宮 哲

【要旨】

本研究の目的は、一回の極端な暴風雪や大雪の厳しさを評価する技術を構築し、これらを用いたハザードマップと、道路管理における判断支援方を提示することである。まず、吹雪観測結果に基づき、気象データから吹雪量を見積もるための関数を作成した。次に、暴風雪や大雪に伴う過去の国道（高速道路含む）の通行止め事例を解析し、その規模や影響量に応じた線的な「障害度」および面的な「警戒レベル」の評価指標を作成した。これらの指標に基づき、暴風雪や大雪の発生頻度や変化傾向を地域ごとに整理し、ハザードマップを作成した。また、現状の道路管理における課題を整理のうえ、評価指標やハザードマップの活用案について提示した。

キーワード：暴風雪、大雪、吹雪量、ハザードマップ、判断支援方策

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局所的な短時間多量降雪によって被害が激化するケースが散見される。例えば、平成 25 年 3 月に北海道東部で発生した暴風雪では 9 名もの尊い命が失われた。また、平成 27 年 1 月に北海道羅臼町で発生した暴風雪では、国道 335 号が通行止めとなり、羅臼町は 3 日間にわたり孤立した。また、平成 30 年 2 月に福井県嶺北地域での大雪により、国道 8 号では最大で約 1,500 台の車両が長期間に渡り滞留し、通行規制解除まで 3 日を要した。

国土交通省¹⁾では、「道路ネットワーク機能への影響の最小化」を目標とした集中的な大雪時の道路交通確保対策について議論されており、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を策定すべきと指摘している。また、内閣府²⁾では、大雪や暴風雪の開始から終了までを対象に、主に道路管理に係わる関係部局の対応事項についてフローとして整理している。

冬期道路の厳しさを示す既存の指標として、SHRP Winter Index³⁾がある。また、この他にも道路管理や対策検討の観点から、吹雪では年間吹きだまり量や視程障害発生頻度、降雪では年間累計または日降雪量、積雪では年最深積雪ならびに長期間積雪（根雪期間）の

最大値と再現期待値がある⁴⁾⁻⁷⁾。しかし、これらは一冬期を通した値または長期間で発生しうる値であり、一回の暴風雪や大雪の激しさを評価できる指標ではない。準リアルタイムでの冬期の厳しさを表現する最近の取組として、集中的な大雪に関して村田・河島⁸⁾や河島・伊豫部⁹⁾が示した数値基準に基づく危険度評価システム、白川ら¹⁰⁾が提案した風冷積算寒度と累計降雪量を用いた厳しさ指数などがある。しかしながら、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、各路線の道路管理者が、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。

道路管理に活用することを念頭に、一回の暴風雪や大雪の厳しさを指標に基づき適切に表現したうえで、これらの発生頻度や地域性をグラフやハザードマップなどで提示し、道路計画や維持管理の判断支援材料としてとりまとめれば、暴風雪・大雪災害時の被害軽減に資するものと考えられる。

本研究の達成目標①～⑤を、本報告書に該当する章番号とともに以下に記す。

- ① 吹雪量に与える気象要因の影響度の解明（3 章）
- ② 暴風雪や大雪の評価指標の提案（4、5、7 章）
- ③ 暴風雪および大雪の発生頻度と地域性に関する変化傾向の解明（6、8 章）

- ④ 暴風雪および大雪に関するハザードマップの開発 (9章)
- ⑤ 指標に基づく暴風雪時の道路管理における判断支援方策の提案 (10章)

はじめに各気象要素が吹雪量に与える影響の大小について検討した。その結果を踏まえ、複数の気象要素から吹雪量を見積もるための関数を作成した。次に、各種気象条件および推定吹雪量、過去の通行止め事例、災害発生事例との関係について解析し、暴風雪や大雪の評価指標として適切な物理量について検討した。さらに、上記成果を踏まえ、暴風雪や大雪の変化傾向やリスクを地域ごとに検討し、これらのハザードマップや暴風雪時の道路管理における判断支援方策について提案した。

なお、本文中に記す「飛雪流量」や「吹雪量」は、吹雪の激しさを示す指標として使用されることが多い物理量である。飛雪流量は風向に対して直交する単位面積を単位時間に通過する雪粒子の質量($\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$)のことを指し¹¹⁾、吹雪量は風向に対して直交する単位幅を単位時間に通過する雪粒子の質量($\text{g}/\text{m}/\text{s}$)のこと、すなわち、飛雪流量を高さ方向に積分した値を指す¹²⁾。

2. 各研究年度における実施内容 (概要)

2.1 令和2年度までの実施内容

本節では、過年度に実施した研究内容について、年度毎にその概要を述べる。

平成26年度は、北海道弟子屈町内に気象観測および吹雪観測を実施するためのサイト（以下、弟子屈吹雪観測サイト）を新たに構築し、気象および吹雪の観測を開始した。また、寒地土木研究所石狩吹雪実験場（以下、石狩吹雪実験場）内に二重柵基準降水量計（DFIR）を新設し、高精度な降雪強度観測を開始するとともに、吹雪観測を実施した。また、近年の北海道内における大雪・暴風雪の発生頻度や一般国道通行止めの実施履歴を収集・整理し、地域ごとの変化傾向について解析した。詳細については「平成26年度プロジェクト研究・重点研究報告書」¹³⁾を参照されたい。なお、弟子屈吹雪観測サイトおよびDFIRの概要については本報告書の3.1節にも記述してある。

平成27年度は、弟子屈吹雪観測サイトおよび石狩吹雪実験場における観測を継続するとともに、弟子屈吹雪観測サイトで得た観測データと各種パラメータ（雪面粗度長や摩擦速度など）の関係について解析した。また、平成26年度に引き続き、近年の北海道内における大雪・暴風雪の発生頻度や一般国道通行止めの

実施履歴を収集・整理し、地域ごとの変化傾向について解析した。詳細については「平成27年度プロジェクト研究・重点研究報告書」¹⁴⁾を参照されたい。

平成28年度は、弟子屈吹雪観測サイトおよび石狩吹雪実験場における観測を継続するとともに、両地点で過去2冬期（平成26～27年度）に得た観測データを用い、多変量解析等によって吹雪量推定式の作成を試みた。また、全道を対象に、最大で直近35冬期分の地上気象観測点データ（アメダス、道路気象テレメータ）を収集し、地点ごとに暴風雪事例および大雪事例の抽出を行った。詳細については「平成28年度研究開発プログラム研究報告書」¹⁵⁾を参照されたい。

平成29年度は、弟子屈吹雪観測サイトおよび石狩吹雪実験場における観測を継続するとともに、石狩吹雪実験場で得た3冬期分（平成26～28年度）の観測データに基づき、吹雪量推定式を作成した。この推定式を用い、近年発生した暴風雪10事例程度を対象に、地上気象観測データ（アメダス、道路気象テレメータ）から吹雪量を算出した。また、当該事例における国道通行止め実施履歴との関係について解析した。なお、吹雪量推定式の検討は平成28年度にも実施しているが、平成28年度に使用した降雪強度データには、その一部に観測精度の低いものが含まれていた。そのため、平成29年度の検討では、DFIRによって高精度な降雪観測を実施している石狩吹雪実験場のデータのみを用い、改めて吹雪量推定式の作成に臨んだ。詳細については「平成29年度研究開発プログラム研究報告書」¹⁶⁾を参照されたい。

平成30年度は、弟子屈吹雪観測サイトおよび石狩吹雪実験場における観測を継続するとともに、近年発生した極端な暴風雪事例を対象に、推定式を用いて算出した吹雪量と国道通行止め実施履歴との関係について事例解析を行った。なお、平成29年度にも類似の解析を実施しているが、そこで使用したデータはアメダスおよび道路気象テレメータで得られた点的なデータであった。平成30年度は気象庁毎時大気解析GPVおよび解析雨量を用いて時間吹雪量の1kmメッシュ値を算出し、面的な議論を行った。その結果、吹雪量と通行止め実施の関係は、暴風雪事例ごと、路線（区間）ごとに大きく異なることが示された。詳細については「平成30年度研究開発プログラム研究報告書」¹⁷⁾を参照されたい。

令和元年度は、平成30年度に実施した事例解析と同様の手法で、北海道東部で発生した直近8年間の暴風雪事例（全53事例）の時間吹雪量を面的に算出した

ほか、国道の通行止め履歴（全 54 路線）、気象注意報・警報の発表履歴、北海道開発局の災害時体制等の履歴情報を収集した。これらを取りまとめ、データセットとして整備した。詳細については「令和元年度研究開発プログラム研究報告書」¹⁸⁾を参照されたい。

令和 2 年度は、暴風雪時の判断支援方を定めるため、極端な暴風雪の厳しさを評価する指標と、5 段階の警戒レベルの分類、および道路管理における判断支援方の基本フレームについて予備検討を行った。詳細については「令和 2 年度研究開発プログラム研究報告書」¹⁹⁾を参照されたい。

2.2 令和 3 年度の実施内容

令和 3 年度は、令和元年度までに整備したデータセットを用いて網羅的な解析を行い、一回の暴風雪・大雪の厳しさを評価する指標を作成した。この指標に基づくデータ解析により、暴風雪や大雪の発生頻度を地域ごとに整理したほか、ハザードマップの作成を行った。加えて、道路管理における判断支援方について検討した。

3. 吹雪量に与える気象要因の影響度の解明

本章では、達成目標①「吹雪量に与える気象要因の影響度の解明」について述べる。

吹雪量を自動的かつ連続的に実測することは困難であるため、気象データを用いて経験式によって推定することが多い。吹雪量の推定に関しては、これまでも多くの経験式が提示されているが、その大半は風速のみの関数である^{20)~24)}など。しかし、吹雪の発生条件は風速のみならず、数多くの気象要素が関与するものである。ここでは、現地観測結果を基に、各気象要素が吹雪量に及ぼす影響を検討し、一回の暴風雪イベントによる吹雪量を見積もるための推定式を求めた。

3.1 現地観測

3.1.1 観測地点

暴風雪が発生しやすい気圧配置条件には地域特性がある。たとえば、石狩吹雪実験場 (N43° 12'、E141° 23') が位置する道央地域では、西高東低の気圧配置時に発生しやすい。一方、弟子屈吹雪観測サイト (N43° 30'、E144° 27') が位置する道東地域では低気圧が通過する時に発生するケースが多い。

本研究では、暴風雪発生時の気象条件が異なることが多い上記 2 地点において、各種気象観測および飛雪流量観測を実施した。石狩吹雪実験場および弟子屈吹雪観測サイトの位置図を図-1 と図-2 に記す。なお、両図とも国土地理院地図に加筆したものである。また、

図中には各観測点から最も近いアメダスの位置についても付記してある。



図-1 石狩吹雪実験場位置図



図-2 弟子屈吹雪観測サイト位置図

3.1.2 各種気象観測

石狩吹雪実験場、弟子屈吹雪観測サイト両観測点に共通する気象観測内容を表-1 に示す。ここで、表中における「視程」は一般的な気象値ではないが、吹雪が激しくなるほど視程は低下し、交通障害を引き起こす一因となることから、気象観測に加え、視程計測も実施した。また、動画映像の記録については、実際の吹雪発生有無を目視確認することを目的に設置した。図-3 に、弟子屈吹雪観測サイトにおける気象観測タワーの様子を示す。

表-1 気象観測項目（石狩・弟子屈に共通）

観測項目	観測間隔	設置台数
気温	10分	1
風向風速	1秒	弟子屈:4 (設置高度:1m~7m) 石狩:3 (設置高度:1.3m~6.2m)
視程	1秒	1
積雪深	10分	1
日射量	10分	1
動画映像	連続(6時~18時)	1



図-3 気象観測タワー（於：弟子屈吹雪観測サイト）

3.1.3 降雪強度の観測

「吹雪」は、雪粒が風によって空気中を舞う現象である。したがって、吹雪の激しさを指標化するうえで、降雪を正確に把握することが必須となる。しかし、物理量としての「降雪」を定量的に正しく計測することは容易でない。

例えば、降雪量は「一定時間内に新しく降り積もった雪の深さ」として定義づけられており²⁵⁾、現在気象庁では、積雪深計を用いて計測された時間積雪深差を時間降雪量として定めている。しかし、雪が降っている場合でも、積雪自身の重みによる圧密沈降効果によって積雪深が増加しなかった場合や、雪面上に降り積もった雪が風によって吹き払われた場合には積雪深が増加せず、時間降雪量がゼロと記録されてしまうことが多々ある。特に、本研究の観測サイト（石狩吹雪実験場および弟子屈吹雪観測サイト）は吹雪頻発エリアであり、風が強いケースが多い。

一方、降雪強度は単位時間に降った雪の重さに等しい水の深さのこと²⁶⁾であり、その計測には雨量計が用いられる。しかし、降雪粒子は雨滴よりも風による影響を受けやすく、風が強いほど雨量計に捕捉されにくくなる。よって、雨量計による観測は、実際の降雪強度を過小評価するケースが多い。また、風による影響に加え、降水が雨量計自身を濡らすために消費される「濡れ損失」や計測前に蒸発により失われる「蒸発損失」なども、実際の降雪強度を過小評価する要因として挙げられる²⁷⁾。

本研究では、二重の防風柵を用いた降水観測システム（Double Fence Intercomparison Reference、以下DFIR）を石狩吹雪実験場内に設置し、降雪強度観測を行った。この観測システムは世界気象機関(WMO)が推奨するものであり、DFIRによる実測値に対し降雪形態に応じた変換式²⁸⁾を適用することで、その値を「真の降雪強度」とみなしてよいとしている。図-4にDFIRの

外観写真を、図-5にDFIRの平面図を示す。DFIRはサイズの異なる2つの正八角形の風除け柵（外側柵・内側柵の対角長はそれぞれ12m、4m）からなり、中央部に雨量計が設置されている。外側柵・内側柵はともに長さ1.5mの板からなり、外側柵の上端は内側柵の上端よりも0.5m高い。なお、柵部分の空隙率は50%、内側柵の上部と雨量計の受水口が等しい高さになるように設置されてある。なお、本研究では真の降雪強度に変換した値を解析に使用している。

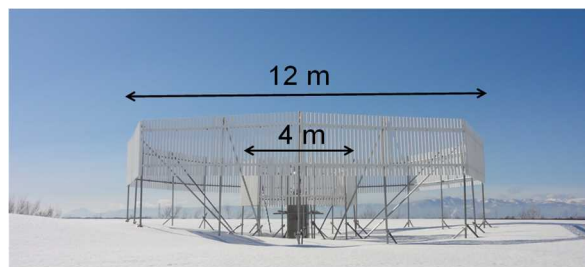


図-4 DFIRの外観写真（於：石狩吹雪実験場）

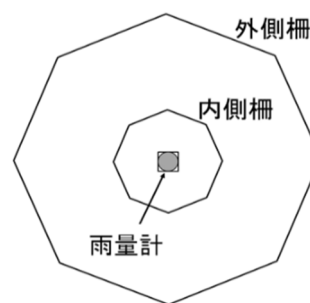
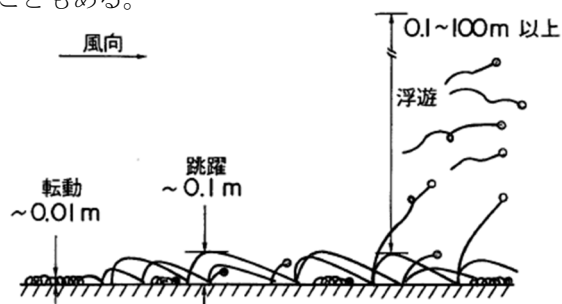


図-5 DFIRの平面図

3.1.4 飛雪流量の観測

図-6に、吹雪の運動形態を図示する。吹雪の運動形態は「転動」、「跳躍」、「浮遊」の3種類がある²⁹⁾。転動は雪粒子が雪面上を転がる運動である。「跳躍」は雪粒子が雪面上をバウンドしながら風によって運ばれる運動であり、その高さは、概ね0.1m程度とされている。また、「浮遊」は風によって雪粒子が空気中に舞い上げられる運動であり、その高さは100m以上に達することもある。

図-6 吹雪の運動形態（転動・跳躍・浮遊）²⁹⁾より抜粋

石狩吹雪実験場および弟子屈吹雪観測サイトにて実施した飛雪流量観測には、タンス型ネット式吹雪計（観測高度は雪面～雪面上 0.1m）、筒型ネット式吹雪計（観測高度は雪面上 0.1m～2.0m、設置高さは計5点）、Snow Particle Counter（以下 SPC、観測高度は1m～7m、設置高さは計4点）を使用した。すなわち、タンス型ネット式吹雪計による計測値は跳躍層の飛雪流量に相当し、筒型ネット式吹雪計および SPC による計測値は浮遊層の飛雪流量に相当する。図-7 にタンス型ネット式吹雪計を、図-8 に筒型ネット式吹雪計を示す。タンス型、筒型とも、一定時間内にネット内にサンプルリングされた吹雪粒子の質量から飛雪流量を求めるものである。

次に、SPC について述べる。SPC の外観を図-9 に示す。SPC は非接触により光学的に吹雪粒子を計測する機器であり、平行光を照射しているセンサー内に粒子が通過することで生ずる光の減衰量から、飛雪流量を算出するものである。SPC の計測原理の詳細については Schmidt³⁰⁾ を参照されたい。



図-7 タンス型ネット式吹雪計



図-8 筒型ネット式吹雪計



図-9 Snow Particle Counter (SPC) の外観

3.2 各気象要素が吹雪量に及ぼす影響に関する検討

3.2.1 実測飛雪流量に基づく吹雪量の算出

実測した飛雪流量から吹雪量を算出する。ここでは、ネット式吹雪量計（タンス型、筒型）による観測結果から算出した吹雪量と、SPC による観測結果から算出した吹雪量、その2パターンについて求めた。

はじめに、ネット式吹雪計および SPC の実測値の整合性について確認する。ここでは、石狩吹雪実験場で実施した3冬期分（平成26～28年度）の飛雪流量観測データ（データ数は69）を使用し、雪面上の高さ1mにおける飛雪流量を比較した。その結果を図-10 に記す。この結果より、SPC によって計測された飛雪流量は、ネット式吹雪量計によって計測された値を過大評価する傾向があることが分かった（約2.3倍）。以降、本報では、SPC の実測値を2.3で除したものを、SPC 観測によって求めた飛雪流量として扱うこととする。

上述したように、吹雪量は飛雪流量を高さ方向に積分することによって求められる。しかし、降雪がある時に飛雪流量を上空まで積分すると、吹雪量は膨大な値になる。そこで、本計算では、いずれも雪面から高度7mまでの範囲を吹雪量の積算範囲とした。これは、道路防雪柵や道路標識の高さの大半が7m以下である

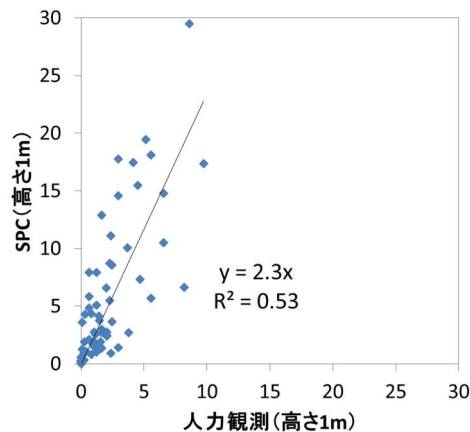


図-10 ネット式吹雪量計と SPC による飛雪流量の比較（高さ1m）

ことから、道路管理の実務においては高度 7m 程度までの吹雪量を加味すれば十分と考えられるためである。

ネット式吹雪計（タンズ型、筒型）によって観測された飛雪流量から吹雪量を算出する方法の概念図を図-11に示す。図中の網掛け部分 (Q_a 、 Q_b) の合計値 Q_c が吹雪量に相当する。ここで、ネット式吹雪計による飛雪流量計測は高度 2m までしか実施していないが、高度 7m における飛雪流量は DFIR による観測結果から推定した値を使用した。DFIR 観測から求められる降雪フラックス ($\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$) を降雪粒子の落下速度 (m/s) で除することで降雪粒子の空間密度 (g/m^3) が求められ、これに高度 7m における風速を掛けることによって、高度 7m における飛雪流量が得られる。ここで、降雪粒子の落下速度は Ishizaka et al.³¹⁾ を参考に、1.2m/s とした。

次に、SPC の観測結果から吹雪量を算出する方法の概念図を図-12に記す。図-11と同様、網掛け部分に相当する飛雪流量の合計値が吹雪量に相当する。SPC による観測時には、積雪深の変動によって雪面から SPC までの高度が変動する。本解析では、石狩吹雪実験場内で計測している積雪深データを用い、雪面からの SPC 高度を随時補正し、雪面からの高さを考慮して吹雪量を算出した。

3.2.2 各気象要素と吹雪量の比較

複数の気象要素から吹雪量を推定するための関数を作成するにあたり、まずは各気象要素が吹雪量に与える影響について検討する必要がある。本研究では、気温、風速、降雪強度など直接観測している気象要素のほか、各要素の累計値や降雪終了からの経過時間など、過去の気象履歴についても検討項目に入れた。

本項では、ネット式吹雪計（タンズ型、筒型）による観測結果から推定した吹雪量と、各気象要素を比較した結果について述べる。ここでは、3.2.1 項で使用したのと同じ、石狩吹雪実験場で実施した3冬期分の飛雪流量観測データを使用した。その結果、吹雪量に対して、降雪の有無に関わらず風速と気温が、降雪がある時には降雪強度あるいは降雪量が、降雪が無い時には降雪終了からの経過時間が大きく寄与することが分かった。結果の一例として、無降雪時の吹雪量と高度 10m における風速の関係を図-13に、吹雪量と降雪強度の関係を図-14に記す。

3.3 吹雪量推定式の検討

気象データに基づき、吹雪量推定式を作成する。本節では、ネット式吹雪計（タンズ型、筒型）による実測結果から算出した最大吹雪量を見積もるための関数

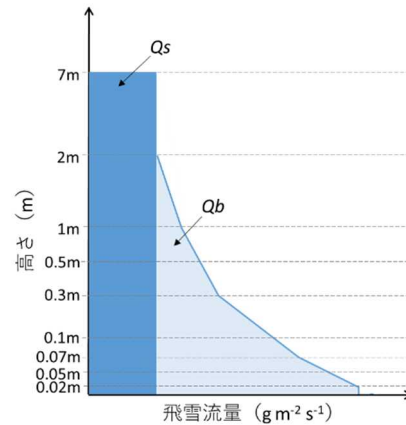


図-11 ネット式吹雪計による飛雪流量観測結果から吹雪量を算出する方法の模式図

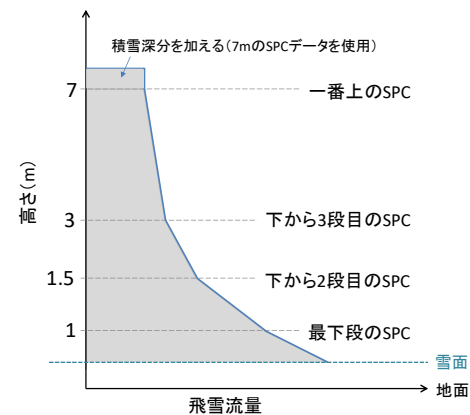


図-12 SPC による飛雪流量観測結果から吹雪量を算出する方法の模式図

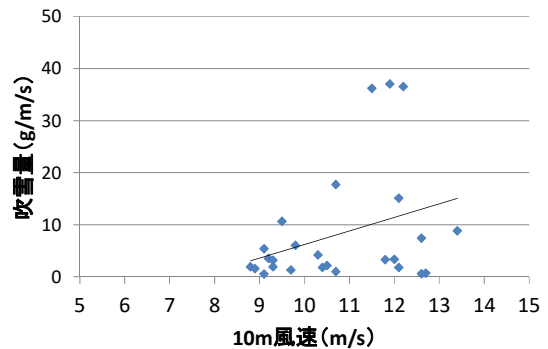


図-13 吹雪量と風速の関係 (降雪なし)

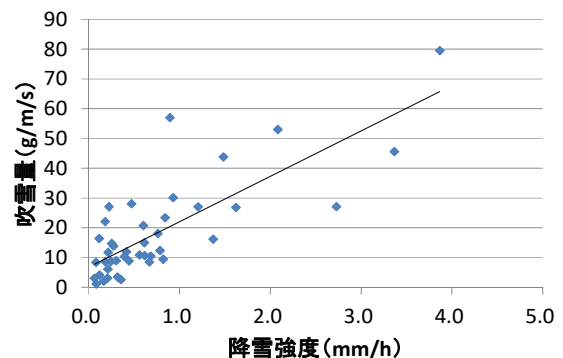


図-14 吹雪量と降雪強度の関係

を求めたプロセス、およびその結果について記す。

吹雪は、降雪粒子と地吹雪粒子（一度地面に積もった雪粒子が風によって舞い上がった粒子）から成る。そこで、吹雪量推定式には、降雪項と地吹雪項の両方を含む形の関数を考える。ここで、「降雪粒子に起因する吹雪量」は降雪量と風速に比例する。また、「地吹雪粒子に起因する吹雪量」は、既往の研究成果^{20)~24)}などから、風速のべき関数で表されることが分かっている。そこで、吹雪量推定式は以下の形のものを検討することとした。

$$Q = \underbrace{aPU}_{Q_s} + \underbrace{bU^c}_{Q_b} \quad (1)$$

ここで、 Q は吹雪量、 P は降雪に関する変数、 U は風速、 a 、 b 、 c は係数を示す。第一項が降雪項 Q_s 、第二項が地吹雪項 Q_b に相当する。

降雪項については、 U の鉛直分布と P が分かれば雪面から高さ H までの範囲における吹雪量 Q_s を求めることができ、次式によって与えられる。

$$Q_s = \frac{P}{w_f} \int_0^H U(h) dh \quad (2)$$

式(2)における P は降雪フラックス ($\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$)、 w_f は降雪粒子の落下速度 (m/s)、 $U(h)$ は高度 h における風速 (m/s)を指す。本研究では、3.2.1項と同様、 $w_f = 1.2$ を採用した。また、風速の鉛直分布が対数則であると仮定し、測定高さ H_0 の風速 U_0 と任意の高さ h から、次式によって $U(h)$ を求めた。

$$U(h) = U_0 \frac{\ln(h/z_0)}{\ln(H_0/z_0)} \quad (3)$$

ここで、 z_0 は雪面の粗度長を指す。本研究では、大浦ほか³²⁾に基づき、 $z_0 = 0.00015 \text{ m}$ を採用した。

式(2)および式(3)を吹雪量の積算高さ 7 m まで積分すると、式(4)が求められる。ここで、式中の U_1 は高度 7 m における風速のことを指す。

$$Q_s \approx 6.35 U_7 \frac{P}{w_f} \quad (4)$$

次に、降雪フラックス P ($\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$)を単位変換することによって降雪強度 P' (mm/h)に変換し、また、雪粒子の落下速度 $1.2 \text{ m}/\text{s}$ を用いると、式(4)は式(5)に変換される。

$$Q_s \approx 1.47 P' U_7 \quad (5)$$

実際の自然環境の中では、植生や地形の起伏などの影響によって地面粗度長が 0.00015 m よりも大きくなる場合が多々ある。地面粗度長が大きくなると雪面付近の風速が小さくなる。したがって、式(5)で求められる降雪に起因する吹雪量は、ほぼ最大値と仮定してもよいと考えられる。

次に、 Q_s の最大値と Q_b の最大値の和、すなわち吹雪量 Q の最大値を推定するための関数について検討する。ここでは、ネット式吹雪計（タンス型、筒型）による観測データを使用した結果について述べる。本報で最大吹雪量に着眼した根拠は、防災の観点から、吹雪の激しさを示す指標を作成するうえで安全側を考える必要があるためである。

最大吹雪量の推定式は、式(1)の Q_s に式(5)を用いることで、以下の式(6)となる。

$$Q = 1.47 P' U_7 + b U^c \quad (6)$$

次に、係数 b と c を求めるため、実測吹雪量 Q_b から降雪項 Q_s を差し引いた値、すなわち地吹雪粒子に起因する吹雪量 Q_b と風速の関係について検討する。ここでは、最大吹雪量を推定するための関数を作成するため、風速を $1 \text{ m}/\text{s}$ 毎に階級分割し、各階級の最大風速を抽出した。なお、同じ風速階級内に振り分けられたデータ数が少ない場合（本研究では 10 個以下の場合とした）には、その風速階級における値は解析に使用しないこととした。

地吹雪項 $Q_b (=Q - Q_s)$ と風速の関係を図-15に示す。図中に示す累乗近似曲線は、各風速階級における最大値に対してべき乗近似曲線を引いたものである（近似曲線の作成に用いた対象データを赤丸で囲ってある）。この結果、式(6)中の係数、 b と c が求められ、最大吹雪量の推定式は式(7)の通りとなった。ここで、式中の U_1 は高度 7 m における風速のことを指す。以降、吹雪量の推定には式(7)を使用する。

以上、各気象要素が吹雪量に及ぼす影響について検討がなされ、一回の暴風雪イベントによる吹雪量を見

積もるための推定式が算出された。

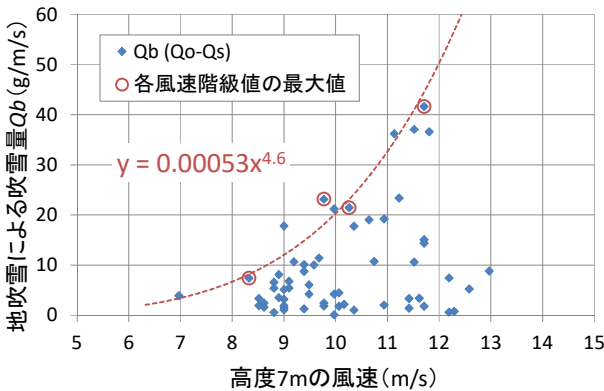


図-15 地吹雪粒子による吹雪量と風速の関係

$$Q = 1.47PU_7 + 0.00053U_7^{4.6} \quad (7)$$

4. 暴風雪や大雪の評価指標の作成方針

本章では、達成目標②「暴風雪や大雪の評価指標の提案」について、指標の作成方針について述べる。

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、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継続し、道路上の吹きだまり・積雪深さが、ロータリー除雪が必要なほど大きくなることで、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、表-2に示す(1)障害度(上記②の段階を考慮)と、(2)警戒レベル(上記③と④の段階を考慮)を設定し、これらを評価する指標を検討した。

5. 暴風雪や大雪の評価指標の提案(暴風雪について)

本章では、達成目標②「暴風雪や大雪の評価指標の提案」のうち、暴風雪の評価指標について検討した結果を述べる(大雪の評価指標については第7章)。

5.1 暴風雪事例の整理

国土交通省北海道開発局網走開発建設部および釧路開発建設部の管内(図-16)を対象に、直近8冬期(2011~2018年度の12~3月)における一般国道19路線の通行止め履歴、北海道開発局の警戒および非常体制履歴、気象庁の警報・注意報の発表履歴、暴風雪時の地上気圧配置の推移をもとに、一回の暴風雪53事例を抽出のうえ、これらのデータセットを作成した³³⁾。

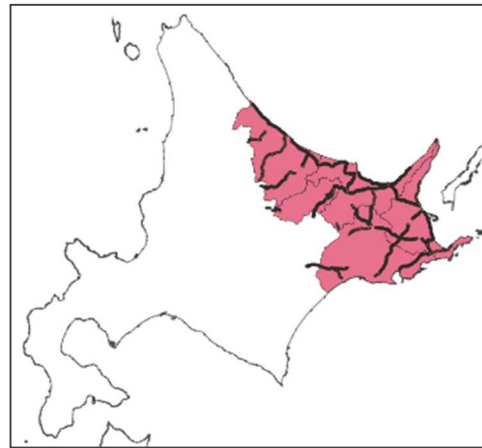


図-16 データセットの対象地域(赤)と通行止め国道路線(黒)

表-2 本研究で対象とする一回の暴風雪の厳しさを評価する指標

厳しさ指標	備考
(1) 障害度 (線的指標)	道路管理者が担当区間の通行規制などを判断するための、個々の路線・区間の障害を示す段階的な指標
(2) 警戒レベル (面的指標)	管轄する区域の責任者が、該当区域の警戒・非常体制の発令を判断するための、道路ネットワークの障害や地域の災害の規模を示す指標

なお、一般国道 19 路線について、通行止め実施のタイミング、およびその区間や延長は事例によって異なる。このため、通行止め実施区間が全事例で共通となるよう、54 区間に分割して解析した（以下、解析区間という）。また、管内の道路事務所で暴風雪時に発生した吹雪障害を確認するために、網走および釧路開発建設部が保有する道路管理記録を整理した。

各暴風雪事例の時間吹雪量 Q_h は、気温(°C)、風速(m/s)、降水量(=降雪強度)(mm/h)等の気象値を用いて、吹雪発生判定フロー³⁴⁾によって「吹雪発生」と判別された場合に、式(7)を用いて高さ7mまでを対象に推定した³⁵⁾。ここでは、気温と風速は気象庁毎時大気解析GPV(解像度5km)、降雪強度は気象庁レーダー・アメダス解析雨量(解像度1km)を、吹雪量推定の入力値としてそれぞれ用いた。また、気温と風速の5km解像度の格子を25個の1km格子(以下、1kmメッシュという)に分割し、それらはすべて同値であると仮定した。図-17に、1kmメッシュの時間吹雪量の出力結果に基づく分布図の例を示す。なお、「一回の暴風雪」は、解析区間内の任意の1kmメッシュ地点において時間吹雪量が記録されてから、6時間以上連続して時間吹雪量が記録されなくなるまでとした。

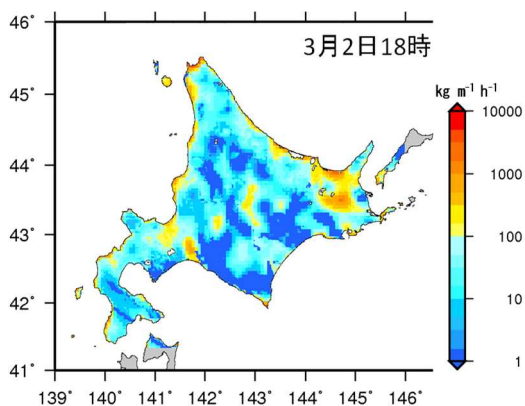


図-17 時間吹雪量分布図の例

5.2 時間吹雪量と吹雪障害の関係

吹雪の度合いが大きい、即ち吹雪量が大きい場合に、道路上では交通に影響する「視程障害」と「吹きだまり」の吹雪障害が発生する³⁶⁾。これまで、吹雪による視程障害時のドライバーの運転挙動³⁷⁾や、車両発進が困難とされる吹きだまり深さ³⁸⁾が報告されている。一方で、吹雪量は実際に道路上やその区間で生じる吹雪障害を直接表現する値ではない。そこで、交通に影響を与える吹雪の厳しさを評価するために、はじめに時間吹雪量を用いた吹雪視程および吹きだまり深さの推定手法を提示する。つぎに、この推定手法と既往文献

を用いて、道路吹雪障害の基準数値を設定した。ここでは、道路除雪1サイクルの想定時間が3時間である³⁹⁾ことに基づき、3時間のうちに堆積した吹きだまり深さについて議論する。また、視程について、一定程度連続した視程の低下が交通障害の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。

5.2.1 時間吹雪量を用いた吹雪視程の推定手法

本解析では、ドライバーの目線高さ1.2mにおける吹雪時の視程 Vis (m)と時間吹雪量 Q_h (kg/m³h)との関係⁴⁰⁾を参考とした。ここでは、雪堤高さ H (m)が視程に影響を与えることから⁴¹⁾、これらを0.0、0.5、1.0、すなわち図-18に示す視程を推定する高さ z (m)を1.2($H=0.0$)、0.7($H=0.5$)、0.2($H=1.0$)に設定のうえ、吹雪時の視程を推定した。ここでは、松澤⁴⁰⁾と同様の手法で、雪堤を考慮した場合($z=0.7$ m、 0.2 m)における吹雪時の視程 Vis (m)と時間吹雪量 Q_h (kg/m³h)との関係を導出した。はじめに、高さ10mの風速 U_{10} (m/s)を7.5、10.0、12.5、15.0、17.5、20.0の6通り、降雪強度 Ph (mm/h)を0.0、1.0、3.0、5.0の4通り、計24通りの組み合わせを設定のうえ、松澤⁴²⁾により0.2mおよび0.5~7.0m(0.1mごと)の飛雪流量 $q(z)$ (g/m²/s)を求め、式(8)により飛雪流量 $q(z)$ を鉛直方向に積分のうえ、雪面から7m高さまでの時間吹雪量 Q_h (kg/m/s)を求める。つぎに、武知ら⁴³⁾の実験式(式(9))により、 $z=0.7$ m、 0.2 mの飛雪流量 $q(z)$ を用いて視程 Vis (m)を求める。得られた時間吹雪量と視程を回帰分析のうえ、 $z=0.7$ m、 0.2 mにおける推定式を導出した(図-19、式(10))。なお、式(10)の $z=1.2$ mは松澤⁴⁰⁾の結果を引用した。

$$Q_h = [1.68 \cdot q(0.5) + \{q(0.6) + q(0.7) + q(0.8) + \dots + q(6.9) + q(7.0)\} \cdot 0.1] \cdot 3.6 \quad (8)$$

$$Vis(z) = 10^{-0.886 \log(q(z)) + 2.648} \quad (9)$$

$$Vis = \begin{cases} 8438Q_h^{-0.891} & : H = 0.0(z = 1.2) \\ 11200Q_h^{-0.981} & : H = 0.5(z = 0.7) \\ 25284Q_h^{-1.226} & : H = 1.0(z = 0.2) \end{cases} \quad (10)$$

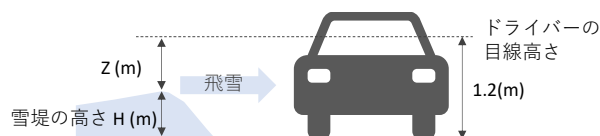


図-18 視程高さ z (m)と雪堤高さ H (m)との関係

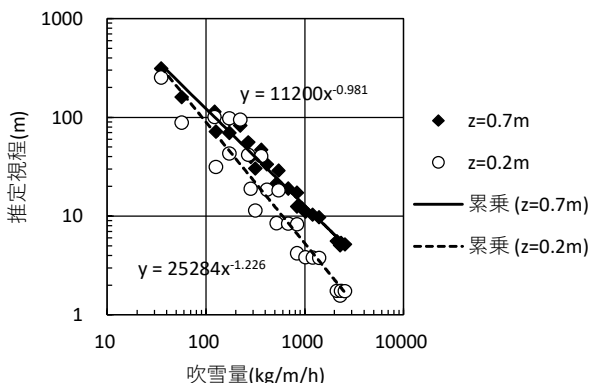


図-19 吹雪量と視程の関係
(視程高さ z=0.2m, 0.7m の場合)

5.2.2 時間吹雪量を用いた吹きだまり深さの推定手法

吹きだまりは切土道路において形成されやすいことから、交通のボトルネックになる場合が想定される。そこで、切土道路に形成される吹きだまり深さを推定する。武知ら⁴⁴⁾によれば、切土道路を対象に、高さ7mまでの吹雪量 Q に対して一定の割合が風上側法面に吹きだまり、さらにその一部が車道上に吹きだまることを示している。具体的には、吹雪前の風上側法面の堆雪割合 p と車道上の吹きだまり発生割合 r との関係を式(11)、車道の吹きだまり量 SD_r (m^3/m)と、 Q および r との関係を式(12)にそれぞれ示した。

$$r = 0.73 p + 0.12, \quad p = S/M \quad (11)$$

$$SD_r = 0.0018 \cdot Q \cdot r \quad (12)$$

ここで、 S は吹雪前の風上側法面の堆雪量(m^3/m)、 M は風上側法面の堆雪容量(m^3/m)である。

本項では、図-20 に示す吹雪前の道路形状の断面図を設定のうえ、冬期交通確保幅 w (m)での吹きだまり深さ d_r (m)を推定した。諸条件は、①第3種2級でb地域の道路⁶⁾、②高さ2.0mの切土道路(1:1.0)、③吹雪前までの除雪作業により風上側の切土法面が堆雪している状態、④吹雪により風上側の堆雪幅と車道(以降、冬期交通確保幅 w (m))に様に吹きだまりとして堆雪するとした。設定した条件では、図-20より S は $2.0 m^3/m$ 、 M は $10.5 m^3/m$ であることから、式(11)より p は0.19、 r は0.26となる。そのうえで、吹きだまり深さ d_r は、時間吹雪量 Q_h を用いて、式(13)によって求める。

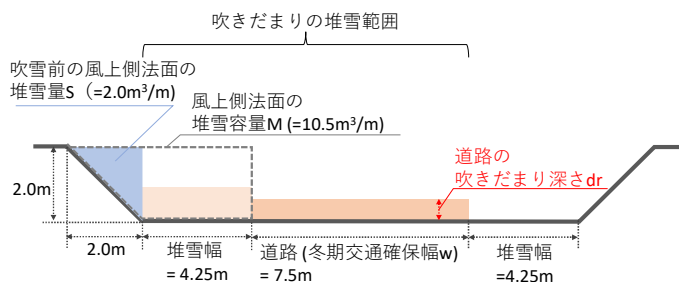


図-20 吹きだまりを推定するための道路断面

$$d_r = 0.0018 \cdot Q_h \cdot \frac{r}{w} \quad (13)$$

5.2.3 吹雪障害の基準数値の設定

式(10)と式(13)を用いて、時間吹雪量 Q_h と吹雪量から求めた視程や吹きだまり深さの推定値との関係を表-3に整理した。加治屋ら³⁷⁾によれば、視程障害時のドライバーの運転挙動を表-4のように示している。本論文では、「視程50m以上100m未満」および「視程50m未満」が道路での立ち往生や通行止めにつながる要因となるものとした。その結果、時間吹雪量100kg/m/hの場合に視程 Vis は概ね100m程度、300kg/m/hの場合に視程 Vis は概ね50m未満であった。また、吹きだまり

表-3 時間吹雪量と推定視程および推定吹きだまりの関係

時間吹雪量 (kg/m/h)	吹雪量から求めた推定値				
	視程(m)			吹きだまり(cm)	
	雪堤なし	雪堤50cm	雪堤100cm	1時間	3時間
50	258	241	209	0.3	0.9
100	139	122	89	0.6	1.9
200	75	62	38	1.2	3.7
300	52	42	23	1.9	5.6
500	33	25	12	3.1	9.4
1000	18	13	5	6.2	18.7
2000	10	6	2	12.5	37.4
3000	7	4	1	18.7	56.2

薄橙：視程50m以上100m未満、吹きだまり10cm以上20cm未満。

橙：視程50m未満、吹きだまり20cm以上。

表-4 視程障害時のドライバーの運転挙動

吹雪視程	運転挙動
200m 以上	・安定した走行状態が維持される
100m 以上 200m 未満	・速度調節によって視程障害に応じた運転 ・車両による速度差は小さい ・アクセルやブレーキ操作は安定
50m 以上 100m 未満	・一定速度を維持した走行が困難で、アクセル操作が頻繁になる ・車両による速度差が大きくなり、追従や車群走行が多くなる。
50m 未満	・ブレーキ操作による減速・停止が発生 ・左右への挙動が大きくなる

は、道路除雪の1サイクルを3時間として³⁹⁾、その間に軽自動車の発進が困難となる深さ 20cm となる場合を設定した³⁸⁾。上記の条件において、吹きだまり深さ 20cm/3h となる時間吹雪量 Q_h は、概ね 1000 kg/m/h と推定された。以上より、時間吹雪量 $Q_h \geq 100, 300, 1000$ kg/m/h を、吹雪障害の基準数値として設定した。

時間吹雪量から推定した吹雪視程および吹きだまり深さと、道路の通行止め履歴の関係を、**図-21** に例示する。ここでは、① 2013年3月2日18時と、② 2014年12月17日8時の視程および吹きだまり深さの推定値の分布を示してある。両事例において、道路通行止め区間と、視程と吹きだまり深さの基準数値が概ね整合していることが確認できる。つぎに、5.1節で収集した解析区間(全54区間)の道路管理記録のうち、道路上の視程や吹きだまりが確認できた記録と、該当する解析区間における最小視程および最大吹きだまり深さの推定値を比較した(表-5)。道路管理記録と視程・吹きだまり深さの推定値が「整合する」と判断する基準として、視程は表-4に示す階級と同じまたは1階級の違いである場合⁴⁵⁾、吹きだまりは記録された日時の推定値が20cm以上/3hとした。なお、視程不良時の記録で数値が不明の場合は、50m未満として扱った。その結果、視程障害については約半数の件数が整合した。また、不整合のうち15件は一般国道243号の美幌峠(N43°38'56'、E144°14'54')を含む解析区間の事例であり、視程の推定値が道路管理記録より大きい傾向であった。推定値は、主に気象庁毎時大気解析GPV(5km解像度)を用いており、峠部など地形の影響で局所的な気象が想定される場所では、推定精度が小さくなる可能性が示唆される。そこで、美幌峠を含む解析区間の15事例を除くと、過半数の事例が整合していた。また、道路管理記録で吹きだまりが記録された時刻において、該当解析区間の吹きだまり深さの推定値は概ね5~10cm/3hであった。推定値が管理記録より小さかった原因として、微細な周辺地形や環境などが反映していないことや、現地の実際の除雪サイクルが3h以上であった可能性が考慮される。

5.3 障害度の評価指標に関する検討

障害度は、通行規制などを判断するための、個々の路線・区間の障害を示す段階的な指標である(表-2)。ここでは、「吹雪による通行止め=交通障害」とみなし、吹雪障害の基準数値と吹雪による通行止めとの関係を整理することで、障害度を3つに区分し段階的に設定した。

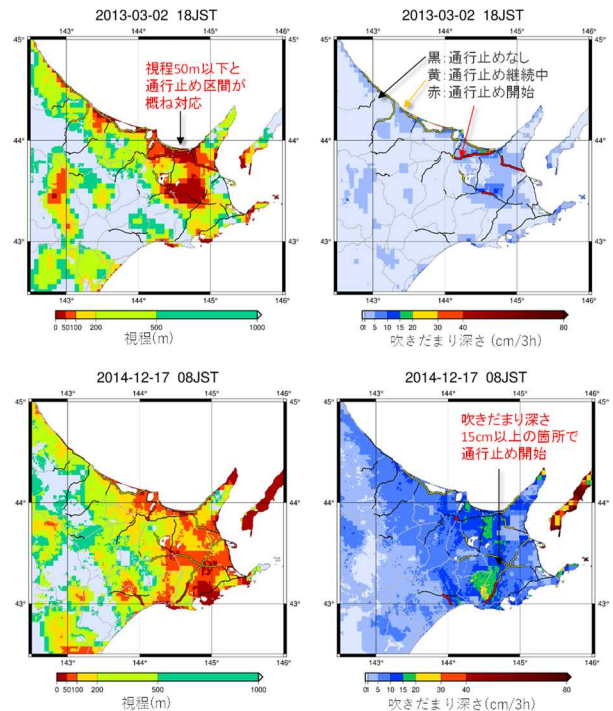


図-21 視程および吹きだまり深さの推定値の分布
上：2013年3月2日18時
下：2014年12月17日8時

表-5 道路管理記録と推定値との比較

※括弧は一般国道243号美幌峠を除いた件数

吹雪障害	視程障害	吹きだまり
整合	31 (30)	0
不整合	37 (22)	7
計	68 (52)	7

5.3.1 評価指標の候補の設定

吹雪視程について、表-5で示した美幌峠を除いた道路記録と推定した視程との整合件数30件のうち、解析区間の最小値50m未満が15件、60m未満が7件で半分以上を占めていた。このことと表-4から、本論文では視程50m未満(吹雪量300kg/m/h以上)を評価指標の候補とする。加えて、その状態が一時的ではなく、一定時間継続することで交通障害に至ると仮定する。また、吹きだまりについては、5.2.3項で設定した、吹きだまり深さ20cm以上/3h(吹雪量3000kg/m/3h以上)を、評価指標の候補として設定した。

5.3.2 検討事例の抽出

5.1節で示した暴風雪53事例のうち、通行止め実施が10事例以上の解析区間を抽出のうえ、網走および釧路開発建設部の管内の海岸部と山間部・内陸部、計4解析区間を選定した(図-22)。つぎに、暴風雪の影響が明瞭な事例を利用して検討するため、解析区間ご

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事例を検討対象として抽出した。

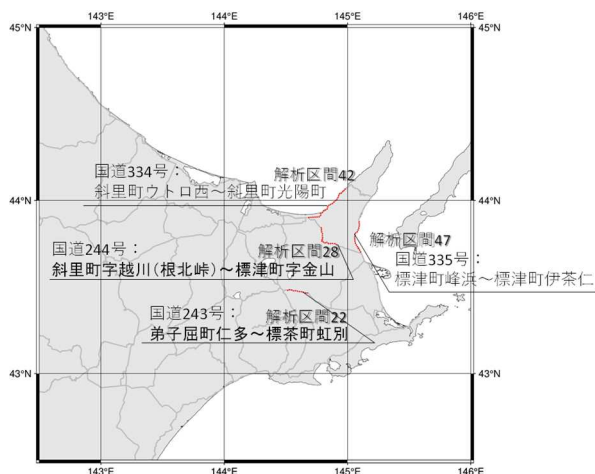


図-22 選定した4解析区間

5.3.3 障害度の評価指標の設定

5.3.2 項で抽出した検討対象事例を用いて、通行止めが実施された事例の発生割合と、解析区間内で吹雪視程の最低値が50m未満(吹雪量300kg/m/h以上)となる継続時間との関係を図-23に、解析区間内での最大吹雪量との関係を図-24に示す。その際、道路除雪1サイクル相当の3時間³⁹⁾を考慮した。図-23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り、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であった。上記より、視程50m未満の継続時間の差異が通行止めの発生と関係すると考えられる。また、図-24より、最大吹雪量が800kg/m/h以上となると全て通行止めとなっており、軽自動車物が物理的に走行できなくなると推測される吹雪量1000kg/m/h(除雪1サイクル相当の3時間で20cmの吹きだまり発生に相当)と概ね整合した。以上の解析に基づき、暴風雪の障害度は、視程低下により走行環境の悪化が推定される視程50m未満が3~6時間継続する場合を「障害度1」、通行止めが必要なほどの障害発生が推定される視程50m未満が6時間以上継続する場合を「障害度2」、軽自動車の発進が困難となる吹きだまり発生がする推定される吹きだまり20cm以上/3hとなる場合を「障害度3」と設定した(表-6)。

5.3.4 妥当性の確認

2013年3月2日6時~3月3日18時の暴風雪期間における、国道243号弟子屈町仁多~虹別(延長13.2km)の平均吹雪量と最大吹雪量の推移を図-25に示し、障害度の評価指標の妥当性を確認した。図-25には視程

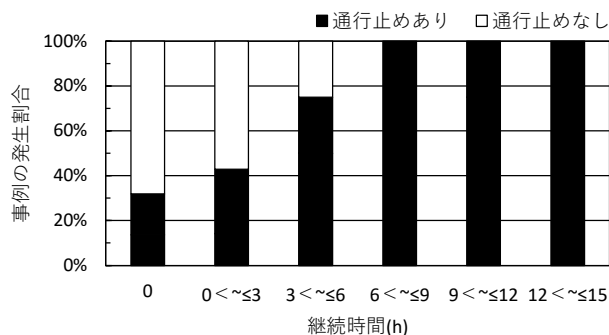


図-23 視程50m未満(吹雪量300kg/m/h以上)の継続時間と通行止めの発生割合との関係

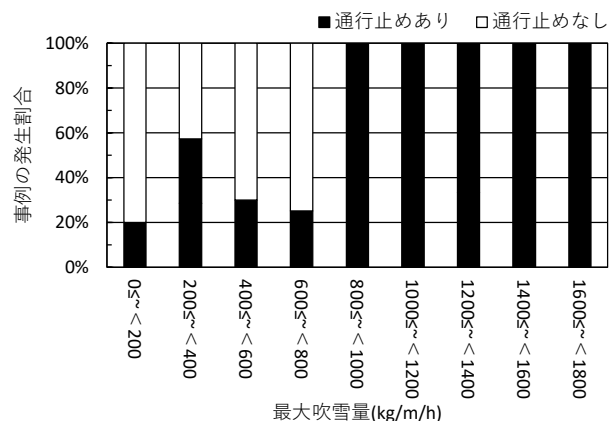


図-24 最大吹雪量と通行止めの発生割合との関係

表-6 暴風雪の障害度の評価指標

障害度	評価指標	推定される状況
障害度1	視程50m未満(吹雪量300kg/m/h以上)が3~6時間継続	視程低下により走行環境が悪化
障害度2	視程50m未満(吹雪量300kg/m/h以上)が6時間以上継続	通行止めが必要なほどの障害が発生
障害度3	吹きだまり20cm以上/3h(吹雪量3000kg/m/3h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

50mと吹きだまり深さ20cm/3hに相当する時間吹雪量を付記した。上記区間での平均吹雪量より、視程50m未満が6時間以上継続していた(障害度2に相当)。また、通行止め開始後、最大吹雪量が1000kg/m/h程度の際、立ち往生車両の救助要請の連絡があった。加えて、最大吹雪量が吹きだまり深さ20cm以上/3hを超過する期間が、通行規制中5時間推定された(障害度3に相当)。これにより、道路開通のための除雪や準備作業などにより、吹雪量が300kg/m/h以下となってから約9時間後に道路通行止めが解除されたものと示唆される。

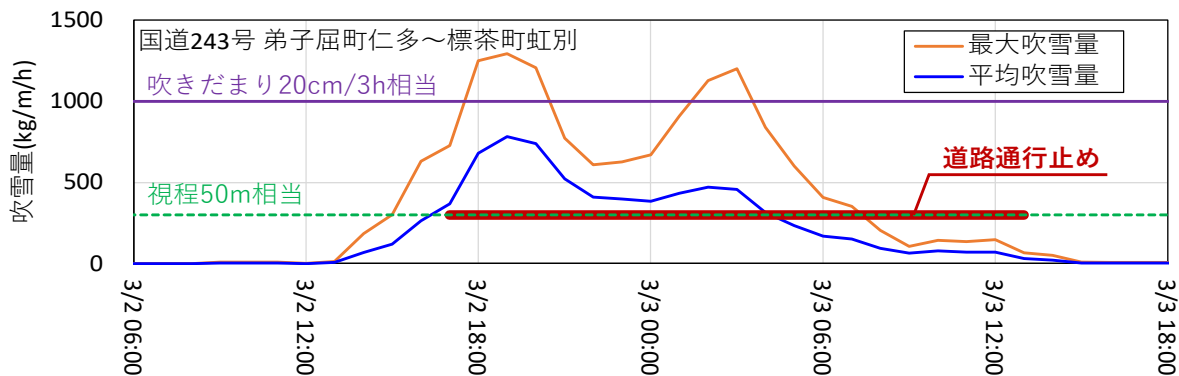


図-25 国道 243 号弟子屈町仁多～虹別における吹雪量の推移
(2013 年 3 月 2 日 6 時～3 月 3 日 18 時)

5.4 警戒レベルの評価指標に関する検討

警戒レベルは、警戒・非常体制の発令を判断するための、道路ネットワークの障害や地域の災害の規模を示す指標として定義した(表-2)。暴風雪災害の規模について、道路管理に活用することを念頭に置いた警戒レベルを作成のうえ、一回の暴風雪の厳しさを評価する指標を、新潟県以北の積雪寒冷地域を対象に設定した。

5.4.1 5段階の警戒レベルの設定

内閣府による避難情報に関するガイドライン⁴⁶⁾によれば、主に大雨に伴う災害時に住民がとるべき行動を5段階に分け、情報と行動の対応を明確化している。本研究では上記を参考として、暴風雪の災害規模、地域の道路交通網へ与える影響、ならびに吹雪障害状況をもとに、道路管理に資することを重点に置いた5段階の警戒レベル案を設定した(表-7)。ここでは、暴風雪の強度・広がり・継続時間を考慮し、警戒レベル3以上が道路交通に影響を与えるものとした。具体的には、一部通行止めで道路交通への影響が局所的であるため、対策本部の設定に至らない状況が警戒レベル3、通行止

めが多路線に渡るため、複数の道路管理者の連携が必要となり対策本部が設置される状況が警戒レベル4、通行止めが多路線に渡り、通行止めの解除まで時間を要することで、孤立集落における迅速な人命救助など自衛隊の災害派遣が必要な状況を警戒レベル5とした。つぎに、北海道開発局の災害資料、北海道新聞による関連記事、気象庁資料を用いて設定した警戒レベルに相当するかを判断したうえで、5.1節で整理したデータセットの53事例を5段階に分類した(表-7)。

5.4.2 評価指標の選定

警戒レベルの違いに対し、暴風雪の強度・広がり・継続時間が相互に影響を及ぼしていると考えられる。そこで、5.2.3 項で設定した吹雪障害の程度を示す3通りの基準数値を「強度」とし、以降、広がり・継続時間の候補を設定したのち、それらの最も適切な組み合わせについて検討することとした。

1) 広がり・継続時間の候補の設定

吹雪障害の基準数値以上となる面積の割合の積算値を「1)積算面積率(%)」、面積の割合の最大値を「2)最大面積率(%)」、時間数を「3)継続時間(h)」と設定

表-7 暴風雪災害における警戒レベルと規模(案)、文献による判断基準、事例数の分類

警戒レベル	暴風雪災害の規模	道路交通への影響	吹雪障害状況	(参考) 気象情報	文献による判断基準	事例数 N=53
レベル 5	通行止め+集落孤立(自衛隊の災害派遣)	広域の通行止め(立ち往生)の長期化	広範囲かつ長期的	過去に経験のない	・広範囲に立往生や集落孤立状態が2日以上継続 ・自衛隊の災害派遣	1
レベル 4	通行止め+除雪作業困難(他地方整備局や開発建設部に応援、災害対策本部の設定)	広域の通行止め(立ち往生)	広範囲	数年に1度	・同時に広範囲で一般国道通行止め発生 ・立往生発生、集落孤立 ・社会活動影響有	6
レベル 3	通行止めまたは立ち往生発生	一部通行止め(立ち往生)	局所的	警報	・一般国道通行止め発生 ・社会活動影響小	28
レベル 2	平均旅行速度の低下	-	-	注意報または警報	・一般国道通行止めなし ・吹雪の新聞記事あり	2
レベル 1	除雪	-	-	注意報	・一般国道通行止めなし ・吹雪の新聞記事なし	16

表-8 広がり・継続時間の候補の一覧

候補	概要	考慮される要素
1) 積算面積率(%)	吹雪障害の基準数値以上となる面積の割合の積算値	強度・広がり・時間
2) 最大面積率(%)	吹雪障害の基準数値以上となる面積の割合の最大値	強度・広がり
3) 継続時間(h)	吹雪障害の基準数値以上となる時間数	強度・時間

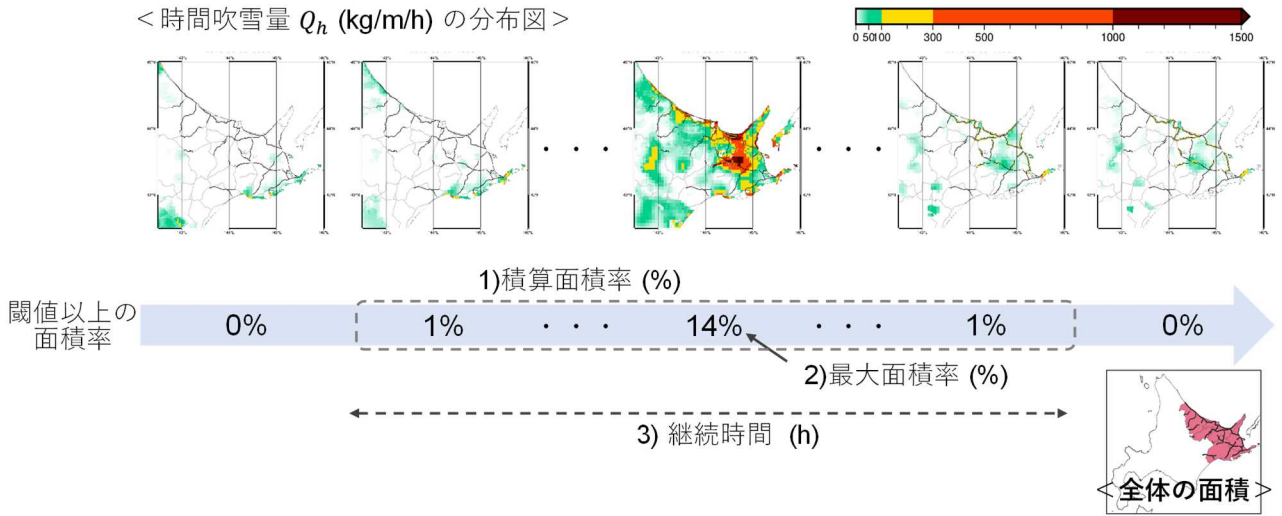


図-26 広がり・継続時間の候補の概念

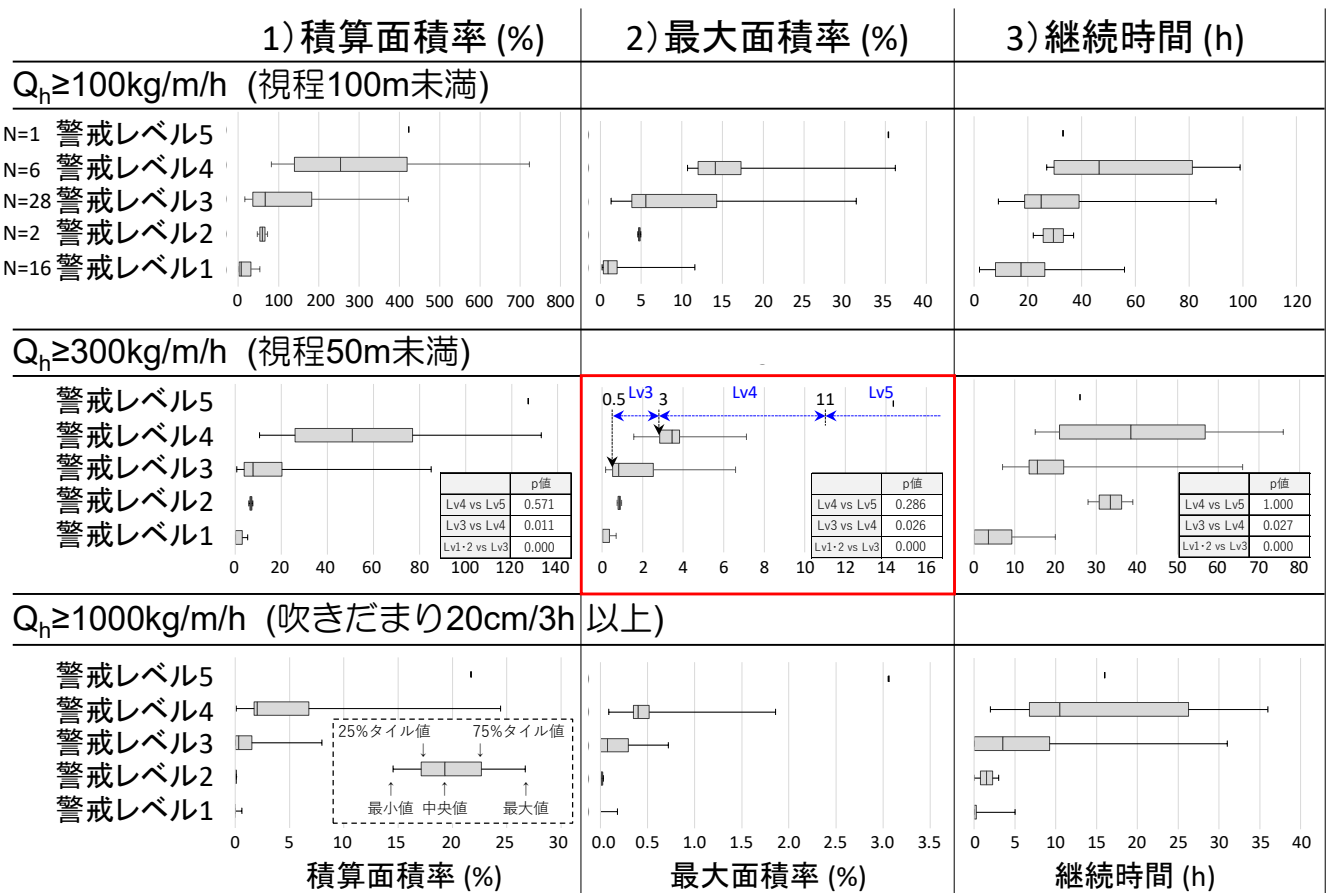


図-27 吹雪障害の基準数値ごとの、広がり・継続時間の候補と各警戒レベルとの関係 赤枠は本検討によって選定された評価指標の組み合わせ

した(表-8)。この概念を図-26に示す。図中の右下に示す全体の面積(図-16参照)に対して、点線で囲まれた「1%~14%~1%」の積算値が1)積算面積率(%)、その範囲が3)継続時間(h)、14%が2)最大面積率(%)にそれぞれ該当する。

2) 評価指標の選定

図-27は、表-8で設定した3通りの広がり・継続時間の候補と、5.4.1項で設定した吹雪障害の基準数値(3通り)を行列とし、これらを組み合わせた条件において、警戒レベル1-5に分類したデータセット53事例(表-7参照)の最大・最小値および四分位数を示したものである。ここでは、道路交通に影響を与える警戒レベル3-5について、広がり・継続時間の候補と吹雪障害の基準数値との関係について確認した。その結果、時間吹雪量 $Q_h \geq 100\text{kg/m/h}$ の場合は、レベル3の75%タイル値がレベル4の25%タイル値より大きい。また、時間吹雪量 $Q_h \geq 1000\text{kg/m/h}$ の場合は、全ての評価指標についてレベル3の25%タイル値が0となった。時間吹雪量 100kg/m/h は視程 100m 程度に相当し、一定速度を維持した走行は困難となるがブレーキ操作による減速・停止までには達しないことから、通行止めが発生するほどの強度の事例を対象とした警戒レベル3以上の判別に適さないと考えられる。また、吹雪量 1000kg/m/h は極端に吹雪の強度が大きい状態であり、警戒レベル3の通行止めの発生・非発生を判別には適さないと考えられる。以上より、「時間吹雪量 $Q_h \geq 300\text{kg/m/h}$ を、吹雪障害の基準数値(3通り)の中から採用した。つぎに、 $Q_h \geq 300\text{kg/m/h}$ を対象に、Wilcoxonの順位和検定(有意水準5%)を用いて各警戒レベル間の差を調べたところ、全ての広がり・継続時間の候補で警戒レベル1・2から4は有意($p < 0.05$)となった。また、レベル4と5の差は、2)最大面積率の方が1)積算面積率や3)継続時間よりも有意水準に近い結果となった。よって、「時間吹雪量 300kg/m/h 以上となる最大面積率」を評価指標として選定した。なお、2)最大面積率は強度と広がりを表現しているが、継続時間が考慮されていないため、3)継続時間との関係を確認した(図-28)。その結果、相関係数は 0.45 ($p < 0.001$)であった。

以上のことから、警戒レベルの判別が最もできており、3)継続時間との関係性がみられた2)最大面積率($Q_h \geq 300\text{kg/m/h}$)を、暴風雪の強度・広がり・継続時間を考慮した警戒レベルの評価指標とした。

5.4.3 評価指標と再現期間との関係

図-27の最大面積率($Q_h \geq 300\text{kg/m/h}$)を用いて、各

警戒レベルの境界を設定した。警戒レベル3の75%タイル値とレベル4の25%タイル値の差は 0.3 、警戒レベル1の75%タイル値とレベル3の25%タイル値の差は 0.1 と概ね類似している。表-7に示した警戒レベルは、人為的な要因や判断を含んだ暴風雪災害の規模設定に基づくため、警戒レベルごとに分類した評価指標が状況によって重複するものと考えられる。ここでは、前節のWilcoxonの順位和検定で各警戒レベル間の差を調べたところ、警戒レベル1・2から4は有意となっていることから、道路交通に影響を与える警戒レベル3と4は上位75%までを説明し、重複する場合は安全側を考慮しレベル4とした。また、警戒レベル4と5の差は有意でない($p > 0.05$)こと、レベル5の事例数が少ないことから、レベル4の評価指標最大値とレベル5の評価指標値の中間とした。以上から、対象地域である網走および釧路開発建設部管内(図-16)における暴風雪の評価指標(最大面積率($Q_h \geq 300\text{kg/m/h}$))は、警戒レベル3が $0.5 \sim 3\%$ 、レベル4が $3 \sim 11\%$ 、レベル5が 11% 以上と分類された(図-27の青)。つぎに、暴風雪事例の冬期最大値を8冬期分抽出のうえ、一般化極値分布(GEV)を用いて最大面積率と再現期間との関係を図-29に示した。藤部⁴⁷⁾によれば、極値分布関数についてGumbel分布が一般化極値分布(GEV)の一種であり、平方根指数型最大値分布(SQRT-ET)もGEVで近似できることを併せ考えると、実用上はGEVだけで事足りると述べている。図-29に図-27の青で得られた最大面積率の分類結果を代入すると、再現期間は警

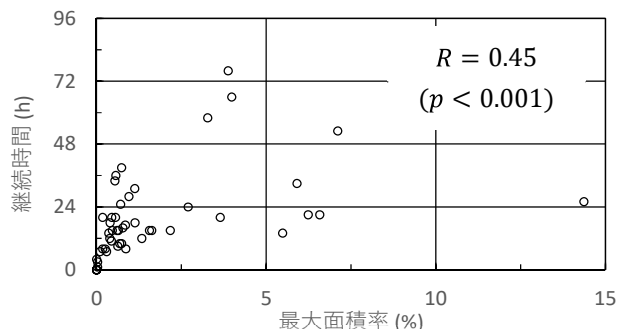


図-28 3)継続時間と2)最大面積率との関係

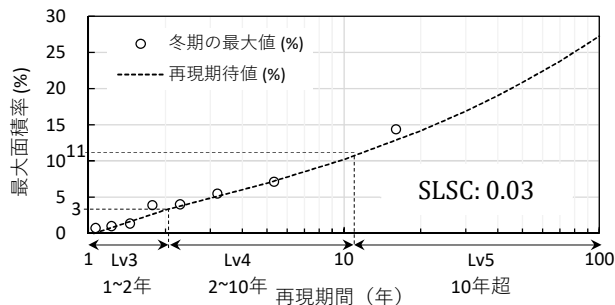


図-29 2)最大面積率と再現期間との関係

戒レベル3が1~2年、レベル4が2~10年、レベル5が10年超となった(表-9)。また、標準最少二乗規準(SLSC)は0.03で、極値統計の適合度を確認する条件として採用されている $SLSC \leq 0.04^{(48), (49)}$ を満たす結果となった。ただし、SLSCはデータ年数が多いほど減少するため⁴⁷⁾、ここでは参考値として扱う。

道路構造令によれば、幹線道路における堆雪幅の設定に際し、計画降・積雪深は10年再現確率値を標準とするとしている⁶⁾。また、警戒レベル5の事例は、広範囲な道路吹きだまりに伴い社会活動に多大な影響が発生する(表-7)ことから、再現期間が計画値より大きい10年超に分類されたのは妥当と考えられる。また、警戒レベル4の再現期間2~10年は、数年に1度程度の気象状況や道路堆雪幅の設定の考え方から、レベル3の再現期間1~2年は、道路通行止めが発生するものの暴風雪の収束とともに平常時に移行し社会活動の影響が少ないことから、それぞれ妥当と考えられる。

表-9 警戒レベル3-5の評価指標と再現期間

警戒レベル	評価指標 最大面積率 ($Q_h \geq 300\text{kg/m/h}$)	再現期間
レベル3	0.5~3%	1~2年
レベル4	3~11%	2~10年
レベル5	11%以上	10年超

6. 暴風雪および大雪の発生頻度と地域性に関する変化傾向の解明(暴風雪について)

本章では、達成目標③「暴風雪および大雪の発生頻度と地域性に関する変化傾向の解明」のうち、暴風雪について述べる(大雪の解析結果については第8章)。

6.1 地域・警戒レベルごとの評価指標の閾値の設定

5章で得られた北海道東部における警戒レベル3-5の評価指標(視程50m未満($Q_h \geq 300\text{kg/m/h}$)の最大面積率)と再現期間との関係、および気象格子値を用いて、**図-30**に示す新潟以北の9つの積雪寒冷地域⁵⁰⁾を対象に再現期待値を算出し、これらを警戒レベルの評価指標の閾値とした。暴風雪の災害の規模を示す警戒レベルは、暴風雪の規模および地域の耐力(除雪体制や防雪施設の高さなどの素因)によって変化すると考えられる。ここでは、暴風雪の再現期間と警戒レベル3-5との関係が、各地域で一定であるとして扱った。

極値統計に必要なデータを得るために、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、水平分解能5km格子)⁵¹⁾と、気象庁毎時大気解析GPVおよび気象庁レーダー・アメダス解析雨量(2011~2020年度:解像度5km、1km)による、計60冬期(12~3月)の評価指標の最大値を地域ごとに求めた。その結果、各地域の評価指標の冬期最大値は、DSJRA-55と、毎時大気解析GPVとレーダー・アメダス解析雨量を用いた場合で、平均値に差がみられた。毎時大気解析GPVとレーダー・アメダス解析雨量には、観測値による補正が施されているため、評価指標の最大値は長期解析値を領域ダウンスケーリングしたDSJRA-55を用いた場合よりも妥当性が高いと考えられる。そこで、DSJRA-55から求めた評価指標の最大値 S_D を補正するための係数 C を、式(14)より求めた。その際、DSJRA-55と、毎時大気解析GPVとレーダー・アメダス解析雨量による統計期間は重複していないため、評価指標の冬期最大値の経年変化に有意な傾向がなければ、それぞれの平均が概ね一致すると仮定した。ここでは、長期のDSJRA-55による統計期間(1960~2009年度;50冬期)が全ての地域で有意でない($p > 0.05$)ことを確認のうえ、**表-10**に評価指標の冬期最大値の平均と、式(14)に基づく補正係数 C を示した。

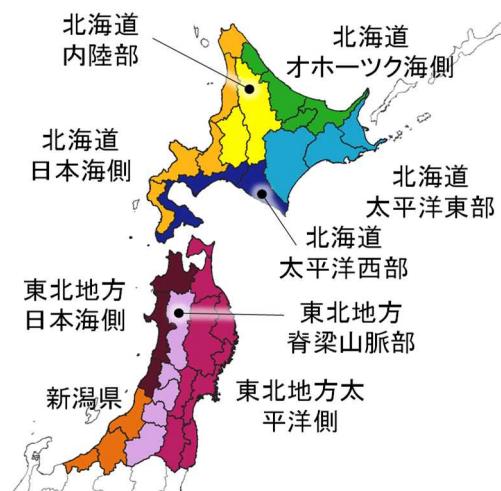


図-30 地域細分⁵⁰⁾

$$C = \frac{\text{毎時大気解析 GPV とレーダー・アメダス解析雨量求めた評価指標の冬期最大値の平均(10 冬期)}}{\text{DSJRA-55 から求めた評価指標の冬期最大値の平均(50 冬期)}} \quad (14)$$

各地域におけるDSJRA-55から求めた補正済の評価指標の最大値 S_D' (1960~2009年度)を、 S_D に C を乗じて算出した($N=50$)。それらと、毎時大気解析GPVとレーダー・アメダス解析雨量(2011~2020年度)から

求めた評価指標の最大値（ $N=10$ ）を合わせた計60冬期分のデータを用いて、GEVにより警戒レベル3-5の再現期間に相当する最大面積率の再現期待値とSLSCを表-10に示した。地域細分に着目すると、北海道や東北地方の日本海側、北海道太平洋側東部で再現期待値が他地域と比較して大きい傾向がみられる。これらは、高緯度ほど低温となる傾向により、乾き雪およびしもぎらめ雪地域⁵²⁾の割合が多くなるため吹雪が発生しやすいこと、日本海側では冬型の気圧配置時における暴風雪、北海道太平洋側東部では低気圧の通過に伴う暴風雪により広い範囲で吹雪が発生することから、再現期待値が大きくなった可能性が考えられる。

6.2 警戒レベルごとの暴風雪の発生傾向

各地域の補正係数 C を乗じたDSJRA-55（1960～2009年度）および気象庁毎時大気解析GPVと気象庁レーダー・アメダス解析雨量（2011～2020年度）を用いて、表-10で5.4節にて整理した警戒レベル3-5の再現期間

に相当する各地域の評価指標の再現期待値に基づき、警戒レベル3-5の発生頻度を10冬期ごとに図-31に示した。警戒レベル3では、1960～2000年代の北海道内陸部と、2010年代の東北地方太平洋側で、他地域と比較して発生頻度が大きかった。その理由として、評価指標の閾値が他地域より小さく、多くの事例が抽出されたことがあげられる。また、2000～2010年代にかけて北海道では減少、新潟県では増加していた。警戒レベル4では、北海道太平洋側、東北地方日本海側、新潟県で1980または1990～2010年代にかけて増加傾向であった。警戒レベル5は、明瞭な変化傾向は確認されないが、北海道日本海側・内陸部・オホーツク海側、東北地方日本海側・脊梁山脈部では2010年代に2回以上となった。極端な暴風雪と考えられる警戒レベル4と5は、多くの地域で1980または1990年代以降増加傾向と考えられることから、今後、これらに対する備えが必要と考えられる。

表-10 地域細分ごとの評価指標の冬期最大値の平均と補正係数 C （左）、警戒レベル3-5の評価指標の閾値となる再現期待値と標準最少二乗規準 SLSC（右）

①：DSJRA-55から算出 ②：毎時大気解析GPVとレーダー・アメダス解析雨量から算出

地 域	評価指標の冬期最大値の平均 (%)		補正係数 C	評価指標の再現期待値 (%)				SLSC
	①	②		警戒レベル	レベル3	レベル4	レベル5	
				再現期間	1年以上	2年以上	10年超	
北海道日本海側	8.7	4.2	0.48	1.7～	3.9～	7.2～	0.03	
北海道内陸部	11.6	2.5	0.21	0.5～	2.0～	5.0～	0.03	
北海道オホーツク海側	15.3	2.8	0.18	0.8～	2.2～	5.5～	0.03	
北海道太平洋側東部	28.2	4.2	0.15	1.0～	3.4～	8.6～	0.04	
北海道太平洋側西部	15.8	3.0	0.19	0.8～	2.6～	5.9～	0.03	
東北地方日本海側	9.3	3.7	0.39	1.2～	3.1～	6.9～	0.04	
東北地方脊梁山脈部	2.4	2.1	0.86	0.3～	1.4～	4.6～	0.06	
東北地方太平洋側	7.0	1.6	0.23	0.2～	1.1～	3.6～	0.06	
新潟県	5.3	2.2	0.42	0.8～	1.8～	4.1～	0.03	

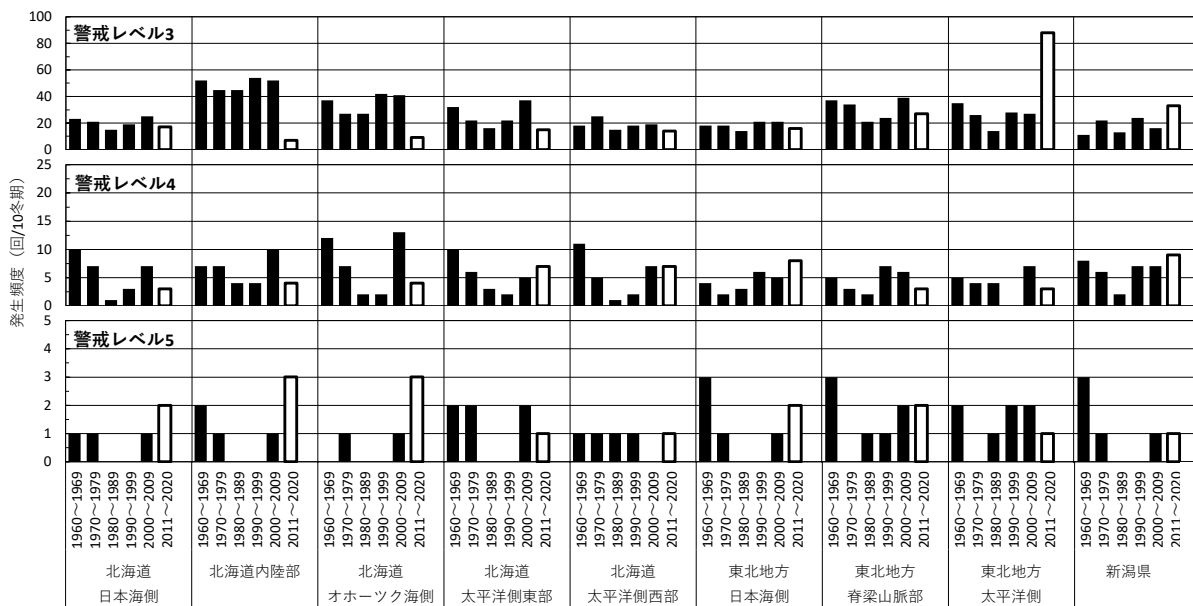


図-31 暴風雪各警戒レベル以上の発生頻度（地域別）
 黒：1960～2000年代（補正済 DSJRA-55）
 白：2010年代（毎時大気解析 GVP と気象庁レーダー・アメダス解析雨量）

7. 暴風雪や大雪の評価指標の提案(大雪について)

本章では、達成目標②「暴風雪や大雪の評価指標の提案」のうち、大雪の評価指標について検討した結果を述べる。5章では、暴風雪を対象に、表-2に示す「障害度」と「警戒レベル」を評価する指標を作成した。本章では、大雪の強度・広がり・継続時間に着目のうえ、一回の大雪の厳しさを評価する指標について、大雪に伴う道路交通障害が懸念される積雪地域⁵³⁾を対象に検討した(図-32)。ここでは、時間あたりに降った雪の深さを降雪強度 (cm/h) として、これを大雪の厳しさを示す物理量として用いた。ここでは、過去の大雪災害事例を収集し、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、大雪を対象とした障害度と警戒レベル(表-2)の評価指標を設定した。



図-32 11細分された積雪地域⁵³⁾

7.1 過去の大雪事例の収集

内閣府^{54), 55)}や気象庁⁵⁶⁾、ならびに文献^{57)~65)}により、1995年度以降の大雪災害36事例の開始と終了年月日、道路交通への影響、災害の対応、対象地域(図-32)、自衛隊の活動について収集・整理したほか、警戒レベル案(7.3節にて後述)を付記した。収集事例の一覧を表-11に示す。

7.2 障害度の評価指標に関する検討

障害度は、通行規制などを判断するための、個々の路線・区間の障害を示す段階的な指標である(表-2)。ここでは、大雪による車両滞留に関連する既往研究や災害事例を整理し、車両滞留が発生する降積雪状況を分析のうえ、障害度の評価指標を3段階に設定した(5章と同様)。

7.2.1 大雪による車両滞留に関連する既往研究

1) 気象現象と車両滞留との関係

河島ら⁶⁶⁾によれば、2017/18年冬期にしばしば日本海寒帯気団収束帯(JPCZ)が発達し、本州日本海側の海岸平野部を中心に各地で記録的な大雪となった結果、幹線国道の大規模な車両滞留が発生したことを示している。JPCZは、強い冬型の気圧配置や上空の寒気が流れ込む時に、この収束帯付近で対流雲が組織的に発達し、本州日本海側の地域では局地的に大雪となることがある⁶⁷⁾。表-11の一覧のうち、事例30~34は2017年度冬期に発生しており、JPCZに伴う大雪の影響を受けた可能性が考えられる。

5 極端気象がもたらす雪氷災害の被害軽減のための技術の開発

表-11 収集した大雪事例の一覧

事例 No.	開始	終了	年 (和暦)	道路交通への影響	災害の対応	対象地域	自衛隊の活動	警戒レベル
1	1996/01/08	1996/01/09	平成8年	多路線、広域での通行止め、立ち往生、都市機能の麻痺	対策本部(市町村)の設置 自衛隊の派遣要請(札幌市)	北海道日本海側	不明	4
2	2004/01/13	2004/01/16	平成16年	多路線、広域での通行止め 都市機能の麻痺、孤立	対策本部の設置 自衛隊の派遣要請	北海道オホーツク海側、 北海道太平洋側東部	安否確認・救出(北見市)	5
3	2004/01/22	2004/01/22	平成16年	幹線道路で最大30kmに及び、渋滞、高速道路通行止め	不明	北陸地方		4
4	2005/01/08	2005/01/14	平成17年	多路線、広域での通行止め 孤立	(冬期間を通して)対策本部の設置、 自衛隊の派遣要請	北陸地方	不明	4
5	2006/01/04	2006/01/05	平成18年	複数の国道で通行止め	詳細不明	東北地方日本海側、 東北地方脊梁山脈部		4
6	2006/01/07	2006/01/13	平成18年	多路線、広域での通行止め 孤立	(冬期間を通して)対策本部の設置、 自衛隊の派遣要請	北陸地方	不明	4
7	2006/03/30	2006/03/30	平成18年	登坂不能車両積出による国道全面通行止め(4時間25分)	詳細不明	不明		3
8	2007/01/06	2007/01/09	平成19年	多路線、広域での通行止め(北海道)	不明			4
9	2009/01/25	2009/01/25	平成21年	七尾市を中心とした複数の路線の通行止め、通行止めや除雪の遅れに伴う集落孤立(3地区以上)※倒木あり	詳細不明	北陸地方		3
10	2010/01/16	2010/01/18	平成22年	多路線、広域での通行止め、 都市機能の麻痺	なし	北海道日本海側		4
11	2010/12/24	2010/12/27	平成22年	国道49号通行止め(2区間、計350台以上閉じ込め)、磐越道通行止め	地盤出張所が、近隣事務所や協定業者への応援要請。また国交省および東日本高速道路株式会社の連携。	東北地方太平洋側		4
12	2010/12/31	2011/01/02	平成22年	山陰の国道9号などで1000台以上が立ち往生、米子道で長時間の通行止め。	西日本高速道路株式会社の事務所間で応援	近畿中国地方		4
13	2011/01/16	2011/01/16	平成23年	スタック車両が発生	詳細不明	近畿中国地方		3
14	2011/01/30	2011/01/31	平成23年	国道8号・北陸自動車道合わせて1180台の車両滞留。多数の滞留した車両が障害となって除雪作業が難航し、北陸自動車道や国道8号、国道365号/国道476号、越前・河野しおかぜラインなどの主要な幹線道路で通行止め。	福井河川国道事務所で非常体制をとり関係機関との情報共有を目的とした連絡室を開設、自衛隊への派遣要請	北陸地方		5
15	2011/12/15	2011/12/20	平成23年	通行止め、都市機能の麻痺	対策本部の設置(岩見沢)	北海道内陸部		3
16	2011/12/24	2011/12/26	平成23年	多路線、広域での通行止め	なし	北海道内陸部、 北海道日本海側		3
17	2012/01/07	2012/01/07	平成24年	秋田自動車道で通行止め	梯団除雪作業(秋田自動車道)	東北地方日本海側、 東北地方脊梁山脈部		3
18	2012/01/10	2012/01/16	平成24年	多路線、広域での通行止め、立ち往生	自衛隊の派遣要請(岩見沢)	北海道内陸部	除排雪支援。大雪の他、高速通行止めの影響で生じた渋滞に巻き込まれてダンプが不足したため。	3
19	2012/02/01	2012/02/02	平成24年	400台を超える車両が道路上で立ち往生し、国道279号通行止め、車両救出のための自衛隊派遣要請	詳細不明	東北地方太平洋側	滞留した車両の救出のため自衛隊派遣	4
20	2012/02/07	2012/02/12	平成24年	通行止め	自衛隊の派遣要請(岩見沢、冬期を通した大雪により)	北海道内陸部		3
21	2012/03/12	2012/03/12	平成24年	八戸道で通行止め	事業所間での応援	東北地方太平洋側		4
22	2014/02/14	2014/02/15	平成26年	多路線、広域での通行止め、立ち往生、孤立、道路での死亡事故など	対策本部の設置 自衛隊の派遣要請	東北地方脊梁山脈部(Lv4)、 東北地方太平洋側(Lv5)、 関東甲信地方(Lv5)	人命救助、物資輸送(東北地方太平洋側、関東甲信地方)	5
23	2014/02/14	2014/02/16	平成26年	福島・宮城県境付近にて複数箇所の交通障害による渋滞、東北自動車道通行止め	道路対策雪害支部の設置	東北地方太平洋側		4
24	2014/12/05	2014/12/06	平成26年	通行止め、立ち往生、孤立	対策本部の設置 自衛隊の派遣要請(徳島)	北陸地方	人命救助、物資輸送、道路の啓開(倒木の伐採)	5
25	2014/12/16	2014/12/21	平成26年	北陸自動車道で通行止め、100台が取り残される、国道・県道の通行止め、地域の孤立	滞留車両の救出、改正災害対策基本法に基づく区間指定	北陸地方		4
26	2015/01/30	2015/01/30	平成27年	国道6号でノーマルタイヤ装着車のスタックを皮切りに、複数の大型車がスタックし、集中除雪のため通行止め	詳細不明	東北地方太平洋側		4
27	2016/01/23	2016/01/25	平成28年	多路線、広域での通行止め、立ち往生、道路での死亡事故など	対策本部の設置 自衛隊の派遣(リエゾン)	北海道オホーツク海側、 北海道太平洋側東部、 北陸地方		4
28	2017/01/22	2017/01/24	平成29年	多路線、広域での通行止め、立ち往生、孤立	対策本部の設置 自衛隊の派遣要請	近畿中国地方	物資輸送(給水支援)、 人命救助	5
29	2017/02/09	2017/02/12	平成29年	多路線、広域での通行止め	対策本部の設置	北陸地方、近畿中国地方		4
30	2018/01/11	2018/01/14	平成30年	多路線、広域での通行止め	対策本部の設置 自衛隊の派遣	北陸地方	不明	4
31	2018/01/11	2018/01/13	平成30年	北陸道で通行止め(計460台が滞留)	詳細不明	北陸地方		4
32	2018/01/22	2018/01/28	平成30年	通行止め	対策本部の設置	北陸地方		4
33	2018/02/03	2018/02/08	平成30年	多路線、広域での通行止め、立ち往生	対策本部の設置 自衛隊の派遣	北陸地方	教護活動	5
34	2018/02/05	2018/02/07	平成30年	北陸道で通行止め(車両滞留70台)	NEXCO日本の他支社からの応援	北陸地方		4
35	2020/12/16	2020/12/17	令和2年	多路線、広域での通行止め、立ち往生、孤立	対策本部の設置 自衛隊の派遣	北陸地方	食料などの配布、ドライバーの安否確認、立ち往生車両のドライバーの輸送	5
36	2021/01/07	2021/01/11	令和3年	広域での車両滞留、広域での通行止め、公共交通の運休、孤立	対策本部の設置 自衛隊の派遣	東北地方脊梁山脈部、 北陸地方	除排雪、滞留車両周辺の除雪及び燃料・食料の配布	5

2) 車両スタックのメカニズム

国土交通省の冬期道路交通確保対策検討委員会の資料³⁹⁾によれば、立ち往生の過半数は大型車であること、縦断勾配が5%を超える区間で立ち往生の発生頻度が高いことが示されている。また、藤本ら⁶⁸⁾は、大雪時のスタック発生メカニズムについて、大雪時には車両の走行性が低下し、停車時間や発進回数が増える。停車時間や発進回数の増大は、圧雪路面の窪みの発生やすべり摩擦係数の低下を誘発する。これらがタイヤの空転を助長し、それが圧雪路面の窪みの拡大やすべり摩擦係数のさらなる低下を引き起こす負の循環を生じさせ、スタック車両の発生に至ることを示している。

3) 降雪と視程および旅行速度低下との関係

加治屋ら³⁷⁾は、視程障害時のドライバーの運転挙動について整理している(表-12)。また、斎藤⁶⁹⁾によると、降雪の強さ $S(\text{mg}/\text{cm}^2 \text{min})$ が大きくなるにつれ視程 $Vis(\text{km})$ が低下することを示し、その関係を式(15)に表した。

$$Vis = 1.15S^{-0.76} \quad (15)$$

また、村田・河島⁸⁾は、大雪による車両滞留の発生について、前24時間の累積降雪量に加えて、発生直前の強い降雪も影響している可能性を指摘している。以上により、降雪強度の増加に伴い旅行速度が低下することで、藤本ら⁶⁸⁾が示すスタックの発生に至る可能性が考えられる。

表-12 視程障害時のドライバーの運転挙動

吹雪視程	運転挙動
200m 以上	・ 安定した走行状態が維持される
100m 以上 200m 未満	・ 速度調節によって視程障害に応じた運転 ・ 車両による速度差は小さい ・ アクセルやブレーキ操作は安定
50m 以上 100m 未満	・ 一定速度を維持した走行が困難で、アクセル操作が頻繁になる ・ 車両による速度差が大きくなり、追従や車群走行が多くなる。
50m 未満	・ ブレーキ操作による減速・停止が発生 ・ 左右への挙動が大きくなる

7.2.2 障害度の評価指標の設定

大雪による交通障害に至る状況について、多量降雪に伴う道路路面での新積雪の急激な増加により、車両の走行が物理的に困難となり、車両のスタックや立ち往生をきっかけとして車両滞留が生じるものとする。このことは、中村⁷⁰⁾が示す、雪氷災害の特徴のうち動的性質(突如発生)であると考えられる。ここでは、動

的性質を考慮した障害度として、「一定時間に積算された時間降雪量」を段階的に設定した。道路路面上の新積雪には圧密が作用するが、ここでは指標としての明確さを優先し考慮しないこととした。

表-11 で示した大雪事例のうち、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(事例No. 28、33、35、36)について、立ち往生が発生した延べ8区間ごとに、降雪量と立ち往生発生の関係を整理した(表-13)。その結果、8件中5件が大型車(3件が車種不明)のスタックにより、それぞれ車両滞留が発生していた。つぎに、各区間における車両のスタック発生日時までの近傍の気象観測所の積算降雪量を、表-14 および図-33 に整理した。ここでは、降雪の開始が概ね前48時間までであること、村田・河島⁸⁾より降雪量 $40\text{cm}/24\text{h}$ に達した場合に車両滞留に至る可能性が高いとされること、一般国道の新雪除雪が1サイクル概ね3時間³⁹⁾であることを参考に、車両のスタックに至る前3、6、12、24、48時間の積算降雪量を示した。表-14 より、村田・河島⁸⁾が提示したように、スタック発生前に概ね 40cm 以上/ 24h の降雪量が発生していた。また、スタック発生時の降雪量は $40\sim 60\text{cm}/24\text{h}$ が多く、また $60\sim 80\text{cm}/24\text{h}$ の事例もみられた。加えて、前48時間および24時間との差が 0cm の事例(No. 28、33)は、前3時間の積算降雪量が $11\sim 19\text{cm}$ および6時間が $22\sim 30\text{cm}$ と大きく、差が $36\sim 54\text{cm}$ と大きい4事例のうち3事例は、積算降雪量が $6\sim 12\text{cm}$ と小さい傾

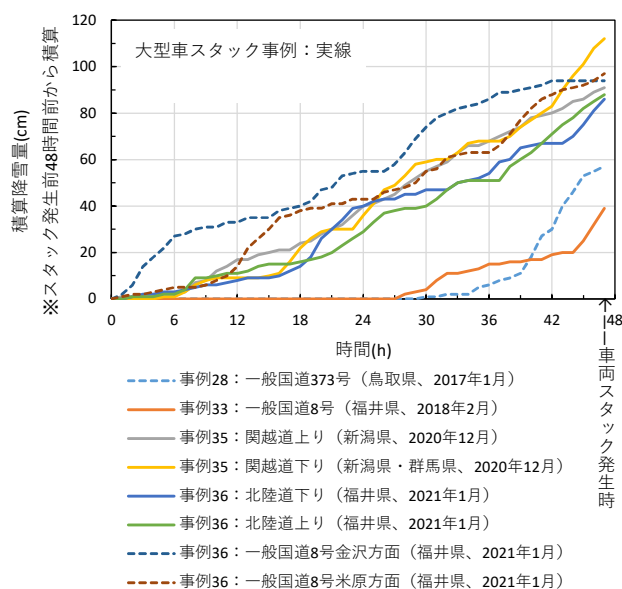


図-33 車両のスタック発生日時までの近傍の気象観測所の積算降雪量(cm)の推移

5 極端気象がもたらす雪氷災害の被害軽減のための技術の開発

表-13 大雪による車両滞留時の道路交通状況 ●：大型車が起因，○：車種不明

事例No	事例名	路線	区間	日時	道路交通の状況等	車両滞留発生
28	一般国道373号 (鳥取県, 2017年1月)	国道373号	鳥取県内(智頭町地内:駒形交差点~ 智頭東交差点,延長12km)	2017/01/23 17:55	滞留車両が多数発生	○
				2017/01/24 02:55	炎対法に基づく車両移動等の措置を行う区間に指定	
				2017/01/24 15:30	スタック車両が解消	
				2017/01/25 09:00	片側車線は通行可能(片側でセミトレーラーが立ち往生), 圧雪除去・ 拡幅除雪作業中	
33	一般国道8号 (福井県, 2018年2月)	R8	福井県等	2018/02/06 00:18	大型車3台立ち往生発生(あわら市瓜生~坂井市丸岡町)	●
				2018/02/06 06:06	大型車立ち往生発生(あわら市熊坂南交差点), 以降滞留が長時間化	
				2018/02/06 08:30	CCTVで滞留確認, 大型車チェーン装着作業(あわら市笹岡), 以降滞 留が常態化	
				2018/02/11 20:50	通行止めを全て解除	
35	関越道上り (新潟県, 2020年12月)	関越道 (上り)	塩沢石打IC~ 小出IC	2020/12/16 17:52	塩沢石打IC付近で大型車立ち往生が発生し滞留発生	●
				2020/12/17 09:45	滞留が六日町ICを超える	
				2020/12/17 10:20	湯沢IC~小出IC(上り線)通行止め開始	
				2020/12/18 12:00	滞留車両が残り約1000台	
				2020/12/18 22:15	塩沢石打IC~小出IC間(上り線)の滞留車両の退出完了	
				2020/12/19 17:30	湯沢IC~小出IC(上り線)通行止め解除	
36	北陸道下り (福井県・ 群馬県, 2020年12月)	関越道 (下り)	月夜野IC~ 湯沢IC	2020/12/16 22:03	湯沢IC~関越トンネルにおいて大型車の立ち往生が発生し滞留発生	●
				2020/12/17 00:28	関越トンネル(新潟方面)進入禁止措置実施	
				2020/12/17 05:40	湯沢IC~月夜野IC(新潟方面)通行止め開始	
				2020/12/17 13:26	下牧PAから水上IC間の滞留車退出完了	
				2020/12/17 14:10	谷川岳PAのUターン退出開始	
				2020/12/18 07:30	湯沢IC~水上IC間(下り線)の滞留車両の退出完了	
				2020/12/19 21:30	湯沢IC~月夜野IC(下り)通行止め解除	
				2021/01/09 12:15	丸岡IC一般道取付部で大型車スタックが発生し滞留発生	●
				2021/01/09 13:55	福井北IC 大型車の故障によるランプ閉鎖	
				2021/01/09 22:20	金津IC~福井IC 災害対策基本法適用開始	
36	北陸道上り (福井県, 2021年1月)	北陸道 (上り)	福井IC~金津IC	2021/01/09 23:25	渋滞延伸により福井IC~福井北IC(金沢方面) 通行止め開始	
				2021/01/10 01:05	武生IC~福井IC(金沢方面) 雪により通行止め延伸	
				2021/01/10 01:30	中日本高速が福井県へ自衛隊の派遣要請を依頼	
				2021/01/10 04:00	福井県が陸上自衛隊に派遣要請	
				2021/01/10 06:30	第1回災害対策会議(会社, 県, 自衛隊, 国交省)	
				2021/01/10 10:10	福井北IC~加賀IC(金沢方面) 雪通行止め開始	
				2021/01/10 20:00	福井北IC~丸岡IC(金沢方面) 区間の滞留車両排出完了	
				2021/01/11 07:00	鯖江IC~福井北IC(金沢方面) 区間車両排出完了	
				2021/01/12 06:00	通行止め解除	
				2021/01/09 11:30	大型貨物の事故により車線閉塞	●
				2021/01/09 11:40	福井IC~丸岡IC(米原方面) 事故通行止め開始	
				2021/01/09 12:12	丸岡IC部の本線物理的閉鎖	
2021/01/09 12:15	丸岡IC一般道取付部で大型車スタック発生					
2021/01/09 14:30	丸岡IC出口を起点とした本線渋滞発生					
2021/01/09 22:20	金津IC~福井IC 災害対策基本法適用開始					
2021/01/10 01:30	中日本高速が福井県へ自衛隊の派遣要請を依頼					
2021/01/10 04:00	福井県が陸上自衛隊に派遣要請					
2021/01/10 06:30	第1回災害対策会議(会社, 県, 自衛隊, 国交省)					
2021/01/10 10:00	丸岡IC~加賀IC(米原方面) 雪通行止め開始					
2021/01/10 20:00	丸岡IC~福井北IC(米原方面) 区間車両排出完了					
2021/01/11 22:57	金津IC~丸岡IC(米原方面) 区間車両排出完了					
2021/01/12 06:00	通行止め解除					
36	一般国道8号 金沢方面 (福井県, 2021年1月)	国道8号	福井県 (一般国道8号 金沢方面)	2021/1/7~	断続的な渋滞発生	○
				2021/01/10 05:00	北野交差点付近スタック発生, 渋滞が徐々に悪化	
				2021/01/10 20:00	県境~玄女南通行止め・集中除雪, 玄女南交差点付近で約12km渋滞	
				2021/01/11 15:00	玄女南交差点から約15.5km渋滞(今回最大)	
				2021/01/11 16:30	玄女南~高柳集中除雪	
36	一般国道8号 米原方面 (福井県, 2021年1月)	国道8号	福井県 (一般国道8号 米原方面)	2021/1/7~	断続的な渋滞発生	○
				2021/01/09 19:32	新保交差点スタック発生	
				2021/01/09 21:50	上安田交差点スタック発生, 渋滞が徐々に悪化	
				2021/01/10 10:00	加賀市熊坂~県境通行止め	
				2021/01/10 20:00	県境~玄女南通行止め・集中除雪	
				2021/01/11 16:20	加賀市熊坂~県境通行止め解除, 玄女南交差点から約4km渋滞(今回最 大)	
2021/01/11 20:50	通行止め解除					

表-14 車両のスタック発生日時までの近傍の気象観測所の積算降雪量 (cm)

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3時間	前6時間	前12時間	前24時間	前48時間
28	一般国道 373 号 (鳥取県)	智頭 (気象庁)	2017/01/23 18:00	11	30	52	57	57
33	一般国道 8 号 (福井県)	熊坂 (国土交通省)	2018/02/06 00:00	19	22	26	39	39
35	関越道上り (新潟県)	小出 (気象庁)	2020/12/16 18:00	6	12	25	55	91
	関越道下り (新潟・群馬県)	みなかみ (気象庁)	2020/12/16 22:00	16	32	44	82	112
36	北陸道下り (福井県)	福井 (気象庁)	2021/01/09 12:00	16	19	34	47	86
	北陸道上り (福井県)	加賀菅谷 (気象庁)	2021/01/09 12:00	10	21	37	62	88
	一般国道 8 号金沢方面 (福井県)	福井 (気象庁)	2021/01/10 05:00	0	2	10	40	94
	一般国道 8 号米原方面 (福井県)	福井 (気象庁)	2021/01/09 19:00	6	11	34	54	97

向にあった。前3時間の最大値 19cm を約 20cm とみなした場合、新積雪の密度を 100kg/m^3 、一様の降雪強度であると仮定し、式(15)より降雪時の視程を求めると 145m と算出される。これは、表-12 の 100m 以上 200m 未満に相当し、速度調節によって視程障害に応じた運転になるとされる。ただし、降雪時は吹雪時とは異なり路面上の積雪が増加すること、藤本ら⁶⁸⁾が指摘するように車両の走行性が低下し、停車時間や発進回数が増えることで路面状態は悪化することが考えられる。

以上により、障害度の評価指標は、安全側を考慮し立ち往生による車両滞留発生に至る積算降雪量 40cm 以上/24h を「障害度 1」、最大の 80cm/24h を想定し半日で車両滞留を発生する程度を勘案し、積算降雪量 40cm 以上/12h を「障害度 2」、除雪 1 サイクル相当の 3 時間で 20cm 以上となる積算降雪量として 20cm 以上/3h を「障害度 3」と設定した (表-15)。

7.3 警戒レベルの評価指標に関する検討

警戒レベルは、警戒・非常体制の発令を判断するための、道路ネットワークの障害や地域の災害の規模を示す指標として定義した (表-2)。内閣府による避難情報に関するガイドライン⁴⁶⁾によれば、主に大雨に伴う災害時に住民がとるべき行動を 5 段階に分け、情報と行動の対応を明確化している。本章では、第 5 章の考え方と同様、大雪災害の規模や想定される降雪の状況

をもとに、道路管理に資することを重点に置いた 5 段階の警戒レベル案を表-16 に設定した。ここでは、警戒レベル 3 以上で道路交通に影響が発生し、レベル 3 から 5 に上がるとともに降雪強度と広がりが大きくなるものとした。なお、表-11 中に付記した警戒レベル案は、表-16 に基づき定性的に分類したものである。

7.3.1 積雪深観測値を用いた評価指標の選定

1) 降雪強度の基準数値の検討

道路交通に影響を与える警戒レベル 3 以上の定性的な判定 (表-16) に対し、定量的な降雪強度の基準数値の設定について検討した。はじめに、①降雪量 (cm) と ②対象時間 (h) の適切な組み合わせについて検討した。

表-15 障害度の評価指標

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

表-16 大雪災害における警戒レベル (案)

警戒レベル	大雪災害の規模 (主に道路状況)	降雪の状況	文献等による事例の判断基準
レベル 5	<ul style="list-style-type: none"> ・広域で除雪作業困難な状況が続き、広域の通行止めや立ち往生が長期化 (対策本部を設置し、他地方整備局や他開発建設部と協力して対応) ・通行止め解除に長時間を要する ・集落孤立が発生・長期化し、自衛隊の災害派遣要請 	<ul style="list-style-type: none"> ・広範囲にわたり極めて多量の降雪 ・広範囲に大規模な堆雪ができる 	<ul style="list-style-type: none"> ・多くの集落孤立や自衛隊の災害派遣が発生
レベル 4	<ul style="list-style-type: none"> ・広域で除雪作業困難な状況となり、広域で通行止めや立ち往生が発生 ・循環除雪、状況によって集中除雪をするほか、対策本部を設置し、他地方整備局や他開発建設部と協力して対応 ・集落孤立が一時的に発生 	<ul style="list-style-type: none"> ・多量降雪が広範囲 	<ul style="list-style-type: none"> ・同時に広範囲で一般国道通行止めや車両滞留の発生 ・対策本部の設置
レベル 3	<ul style="list-style-type: none"> ・一部路線で通行止めや立ち往生が発生 ・循環除雪で対応 	<ul style="list-style-type: none"> ・局所的に多量降雪が発生 	<ul style="list-style-type: none"> ・一般国道通行止めや車両滞留の発生
レベル 2	<ul style="list-style-type: none"> ・一般除雪若しくは循環除雪 	—	—
レベル 1	<ul style="list-style-type: none"> ・一般除雪で対応可能な状態 	—	—

表-17 地域分類ごとの地点割合 r の冬期最大値の出現頻度 (1990~2020 年度冬期)

左 : 20cm 以上/12h 右 : 40cm 以上/24h

地点割合 r	冬期最大値の発生年数 (回)																					
	20cm/12h以上										40cm/24h以上											
	北海道 日本海側	北海道 内陸部	北海道 オホーツク海側	北海道 太平洋側東部	北海道 太平洋側西部	東北地方 日本海側	東北地方 脊梁山脈部	東北地方 太平洋側	北陸地方	関東甲信地方	近畿中国地方	北海道 日本海側	北海道 内陸部	北海道 オホーツク海側	北海道 太平洋側東部	北海道 太平洋側西部	東北地方 日本海側	東北地方 脊梁山脈部	東北地方 太平洋側	北陸地方	関東甲信地方	近畿中国地方
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0	
0 < r ≤ 0.1	1	0	0	0	4	0	0	0	0	0	23	10	1	1	23	11	0	21	0	0	2	
0.1 < r ≤ 0.2	15	3	1	0	10	8	0	7	0	0	1	5	14	5	10	4	15	9	7	4	2	9
0.2 < r ≤ 0.3	8	12	2	2	12	16	6	14	2	1	6	3	4	10	13	1	5	9	2	8	11	14
0.3 < r ≤ 0.4	7	9	7	2	4	2	4	10	6	5	10	0	2	7	1	0	0	7	1	12	14	4
0.4 < r ≤ 0.5	0	5	9	7	1	5	12	0	15	7	7	0	1	5	4	0	0	6	0	3	1	2
0.5 < r ≤ 0.6	0	2	1	9	0	0	5	0	2	9	4	0	0	0	1	0	0	0	0	3	2	0
0.6 < r ≤ 0.7	0	0	4	5	0	0	3	0	6	5	2	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
0.7 < r ≤ 0.8	0	0	6	4	0	0	1	0	0	3	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0.8 < r ≤ 0.9	0	0	1	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
0.9 < r ≤ 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
計	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31

ここでは、対象地域における気象庁 AMeDAS により得られた降雪強度 (cm/h) から、該当時間分を積算した値を使用した。つぎに、①と②の候補を選択した。①降雪量は、道路幅員に 20cm 以上堆雪した場合に軽自動車の発進が困難となる³⁸⁾ことから、20cm および 20cm 単位で増加させた 40cm、60cm、80cm の 4 通りを選択した。②対象時間は、積雪寒冷地域における気象庁の大雪警報の発表基準で多く用いられる 12 時間、車両滞留が発生する 10~30 時間前に降雪が開始している場合が多い⁸⁾ことから 24 時間の 2 通りを選択した。加えて、図-32 に示す地域ごとに、過去 31 冬期 (1990~2020 年度の 12~3 月) の気象庁 AMeDAS 積雪深観測値から求めた時間降雪量を用いて、各細分地域における積雪深観測地点数に対して降雪強度の基準数

値以上となる地点の割合 (以下地点割合 r という) を、上記①と②を組み合わせた 8 通りについて算出した。それらの値を用いて、各細分地域における地点割合 r の冬期最大値 (N=31) の出現頻度を 0.1 ごとに整理した。その結果、20cm 以上/12h、40cm 以上/24h の 2 通りの場合に、地点割合 r が $0 < r \leq 0.9$ となった (表-17)。また、20cm 以上/24h の地点割合 r は 0.5 以上、40、60、80cm 以上/12h および 60、80cm 以上/24h の地点割合 r は 0 付近に偏る傾向となった。ここでは、各地域の警戒レベルを設定するために、地点割合 r に偏りがないのが望ましい。この観点から、20cm 以上/12h、40cm 以上/24h の 2 通りを、降雪強度の基準数値とした。

2) 降雪強度の基準数値と地点割合との関係

地点割合 r は各細分地域における大雪の広がりを表現しているが、降雪強度の大小は考慮されていない。そこで、各細分地域における、降雪強度の基準数値以上(20cm以上/12h、40cm以上/24h)となる地点割合 r の冬期最大値(N=31)と、その時の平均降雪強度との関係を整理した(図-34)。その結果、これらは北海道および本州とも概ね比例関係にあることが確認され、各細分地域における地点割合 r は降雪強度の違いも評価できることが示された。これはすなわち、地点割合 r を用いて警戒レベル4(広範囲での多量降雪)とレベル5(広範囲での極端な多量降雪)を区別できることを示唆する。

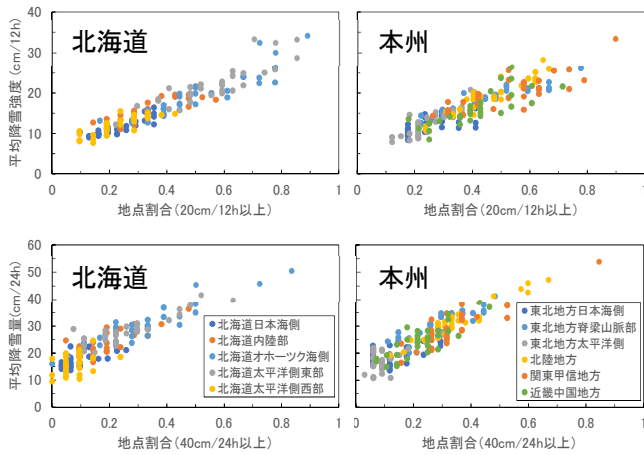


図-34 地点割合 r の冬期最大値と、その時の平均降雪強度との関係(11地域、N=31)：上、20cm以上/12h；下、40cm以上/24h

3) 評価指標の選定

表-16に示す大雪災害の警戒レベル案は、災害規模や降雪状況などに基づくものである。そこで、事例数の多い北陸地方を対象に、道路交通に影響を与える警戒レベル3(1事例)・レベル4(10事例)・レベル5(5事例)と、降雪強度の基準数値(20cm以上/12h、40cm以上/24h)となる気象庁 AMeDAS 積雪観測点の地点割合 r の最大値について整理した(図-35)。その結果、概ね警戒レベル5の方がレベル3およびレベル4と比較し大きかった。また、事例35は警戒レベル5の中で最も小さく、レベル4の全10事例のうち7事例よりも小さかった。この要因として、事例35は2020年12月に発生しており、降積雪に対する除雪作業等の準備が十分に整っていない初冬期であったことから、災害が大きくなったものと考えられる。つぎに、警戒レベル

4とレベル5について、降雪強度の基準数値以上となる地点割合 r の最大値を図-36に示す。これらの中央値の差は、40cm/24h以上の方が20cm/12h以上より大きかった。以上より、大雪の警戒レベルを設定するための指標は、「降雪強度40cm/24h以上となる地点割合 r の最大値」が妥当であると判断した。

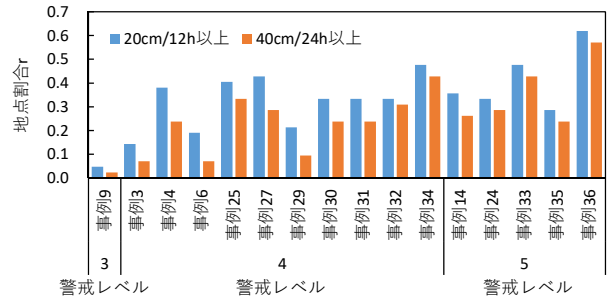


図-35 北陸地方における各事例の降雪強度の基準数値以上となる地点割合 r の最大値

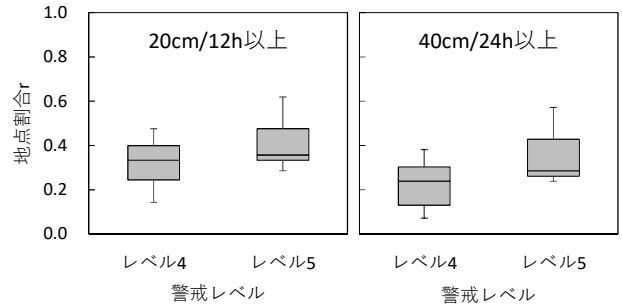


図-36 降雪強度の基準数値以上となる地点割合 r の最大値の分布(於：北陸地方)

7.4 地域細分・警戒レベルごとの評価指標の閾値の設定

警戒レベルと地点割合 r との関係は、地域によって異なると考えられる。そこで、前節の結果を用いて、図-32に示す11地域を対象に道路交通に影響を与える警戒レベルの評価指標の閾値について検討した。ここでは、道路交通に影響を与える警戒レベル3-5を対象とした。使用したデータは、1960~2009年度冬期(12~3月)は、気象庁が提供するJRA-55領域ダウンスケーリングDSJRA-55(水平分解能5km格子)⁵¹⁾の降雪強度(kg/m²/s)である。また、2011~2020年度冬期は、気象庁毎時大気解析GPVが気温2.5℃(相対湿度90%で雪の出現確率0.05、80%で雪の出現確率が0.5⁷¹⁾)より小さい場合を降雪と判定し、該当日時におけるレーダー・アメダス解析雨量値(mm)(以下、解析雨量という。解像度5km格子；解析雨量は該当する格子の平均値)を用いた。その際、本論文で定義した降雪強

度 (cm/h) とするために、新雪密度 100kg/m³ として換算した値 (cm/h) を、評価指標の閾値の検討に用いた。

7.4.1 警戒レベルと評価指標の再現期間との関係

警戒レベルごとに振り分けた大雪事例は、図-32 に示す積雪地域全体で 36 事例 (表-11) と限られているため、各地域の警戒レベルと再現期間との関係を極値統計により整理することが困難である。5 章における暴風雪の検討では、北海道東部を対象に収集した直近 8 冬期の 53 事例に基づき、一回の暴風雪の厳しさを評価する指標を「時間吹雪量 300kg/m/h (視程 50m 未満) 以上となる最大面積率」と選定し、その再現期間は警戒レベル 3 が 1~2 年、レベル 4 が 2~10 年、レベル 5 が 10 年超となることが示された。大雪と暴風雪は、道路への堆雪により交通障害に至る現象や、除雪や交通規制などの対策が類似している。また、表-16 で示した警戒レベル設定の考え方は、暴風雪での検討と類似する。以上から、大雪の再現期間と災害の規模 (警戒レベル) の関係が概ね暴風雪の場合と同様であると仮定し、暴風雪の評価指標における警戒レベルと再現期間の関係性を、大雪の評価指標にも適用することとした。ここでは、上記で得た「地点割合 r の最大値」を、5 章で議論した「最大面積率」と同位に扱うことができる

とみなして、DSJRA-55 出力値や解析雨量を用いた大雪の評価指標を「降雪強度 40cm 以上/24h となる最大面積率」と設定した。最大面積率は、任意の範囲において基準数値以上となる面積の割合の最大値である。

7.4.2 評価指標の閾値の設定

図-32 に示す各地域を対象に、上記で設定した大雪の評価指標 (降雪強度 40cm 以上/24h となる最大面積率) について、1960~2009 年度冬期の DSJRA-55 出力値、2011~2020 年度冬期の解析雨量値より各冬期の極値 (N=60) を抽出のうえ、再現期間を算出した。藤部⁴⁷⁾によれば、極値分布関数について Gumbel 分布が一般化極値分布 (GEV) の一種であり、平方根指数型最大値分布 (SQRT-ET) も GEV で近似できることを併せ考えると、実用上は GEV だけで事足りると述べている。そこで、大雪の評価指標の再現期間の算出では GEV を用いた。これらの結果を図-37 に示す。また、標準最少二乗規準 (SLSC) は、11 地域のうち北海道オホーツク海側と東北地方太平洋側を除く 9 地域で、極値統計の適合度を確認する条件として採用されている $SLSC \leq 0.04$ ^{48), 49)} を満たす結果となった。つぎに、前項で示した警戒レベルの再現期間 (レベル 3 : 1~2 年、レベル 4 : 2~10 年、レベル 5 : 10 年超) を用いて、各地

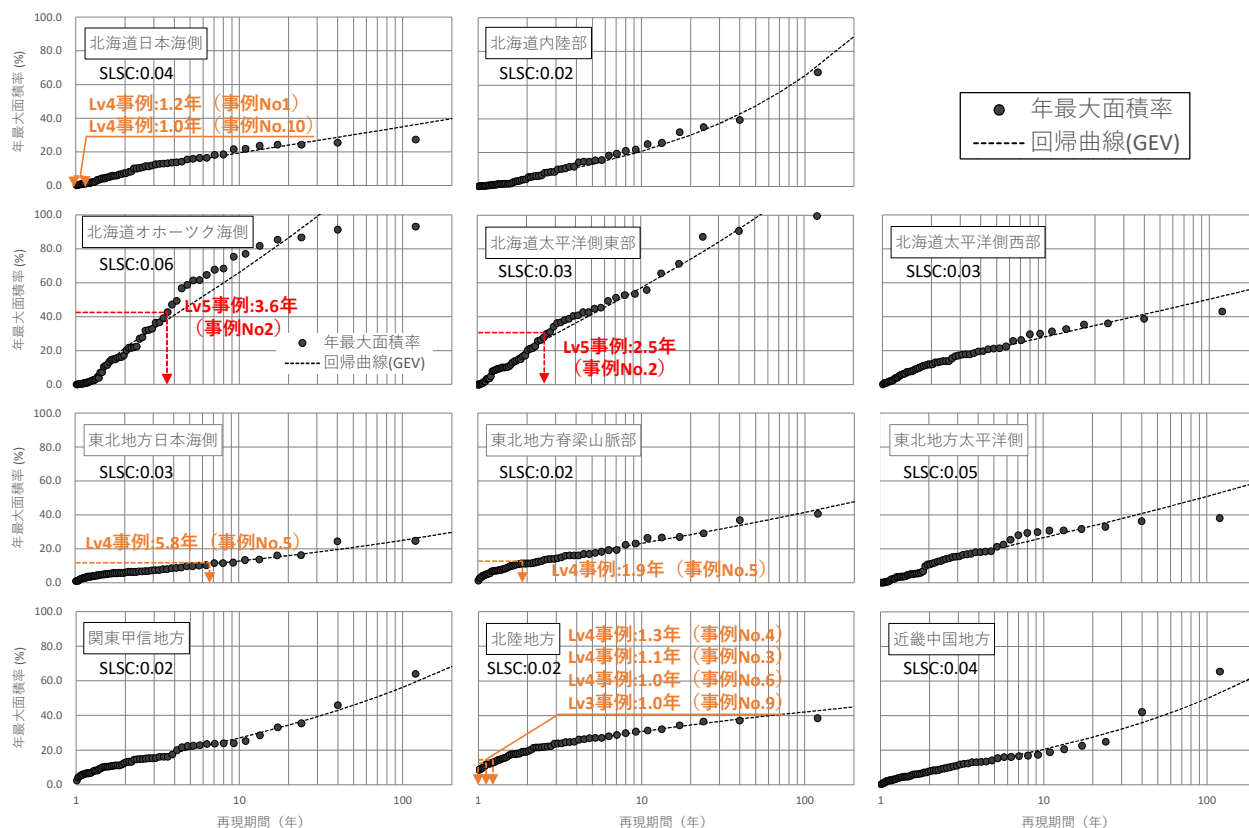


図-37 評価指標の極値統計結果と大雪事例の警戒レベルとの関係：赤，レベル 5；橙，レベル 3・4

域の警戒レベルを示す評価指標の閾値（再現期待値）を表-18 に設定した。地域細分に着目すると、北海道ではオホーツク海側や太平洋側東部で評価指標の閾値が大きい傾向である。北海道のオホーツク海側や太平洋側東部は、低気圧通過に伴い、まとまった降雪が広範囲に生じることから、評価指標の閾値が大きくなった可能性が考えられる。一方、日本海側は冬型の気圧配置により降雪が生じやすいものの、降雪量 40cm/24h 以上の大雪が広範囲で生じることが少ない可能性が考えられる。また、本州では、豪雪地帯を多く有する北陸地方で、他の本州の積雪地域と比較して各警戒レベルの評価指標の閾値が大きかった。以上より、警戒レベル 3-5 の評価指標の閾値は、各地域によって異なることが確認され、大雪時の特徴を反映しているものと考えられる。

7.4.3 評価指標の閾値と過去の大雪事例との関係

警戒レベル 3-5 における評価指標の閾値と過去の大雪事例との関係を確認するために、図-37 に赤（レベル 5）と橙（レベル 3・4）で記載した。使用した事例は DSJRA-55 出力値（50 冬期）の対象期間である 2010 年 3 月以前の事例 1~10 のうち、対象地域の設定または面積率の算定が困難であった事例 6、7、8、10 を除いた 6 事例（延べ 8 地域）である。警戒レベル 4 は、延べ 5 地域の再現期間が 1.0~5.8 年で、暴風雪の再現期間 2~10 年より短い値も含まれるが、大きく外れていないことが確認された。一方で、警戒レベル 5 の事例 2 は、暴風雪で設定した再現期間 10 年超を下回る 3 年程度であった。この事例は、2004 年 1 月に北見市を中心とした大雪災害（以下、北見豪雪という）で、対象地域は北海道オホーツク海側と太平洋側東部である（表-11）。ここでは、DSJRA-55 を用いた北海道オホーツク海側の大雪の評価指標の冬期極値（N=50）を対象に、災害発生の有無を文献で確認した⁷²⁾。その結果、北見豪雪（事例 2）より評価指標値が大きかった 16 冬期の極値は、全て暴風雪や大雪災害として記録されていた。以上より、災害を示すものとして、評価指標の閾値が概ね妥当であると考えられる。つぎに、上記に示した 16 冬期の極値のうち、2004 年度冬期以降に発生した 3 冬期の極値を含む一回の大雪事例と、北見豪雪（事例 2）を加えた 4 事例を対象に、北見 AMeDAS 観測値と北見 AMeDAS 地点に該当する DSJRA-55 格子の出力値における 24 時間降雪量の最大値を比較した（図-38）。その結果、3 冬期の極値の 24 時間降雪量は、北見 AMeDAS の最大時の観測値および DSJRA-55 を用いた北海道オホーツク海側の最大面積時の出力値とも概ね

同値で、観測値より DSJRA-55 格子の出力値の方が大きいことが確認された。一方、北見豪雪（事例 2）の 24 時間降雪量は、北見 AMeDAS の最大時の観測値 71cm に比べて、該当する起時の DSJRA-55 格子の出力値は 49cm と小さかった。一方、加えて、北見豪雪（事例 2）の DSJRA-55 を用いた最大面積率は 50% で、他 3 冬期の極値における 61~91% より小さかった。以上より、北見豪雪（事例 2）は、強い降雪が限られた範囲で発生した事例であったものと推察される。

表-18 各地域における警戒レベルごとの評価指標（面積率）の閾値 (%)

警戒レベル	レベル 3	レベル 4	レベル 5
再現期間	1 年以上	2 年以上	10 年超
北海道日本海側	0.8~	7.8~	20.0~
北海道内陸部	0.0~	5.2~	21.9~
北海道オホーツク海側	0.0~	21.9~	68.9~
北海道太平洋側東部	2.0~	20.6~	59.2~
北海道太平洋側西部	2.3~	12.0~	29.1~
東北地方日本海側	2.7~	6.1~	13.3~
東北地方脊梁山脈部	4.9~	11.4~	24.0~
東北地方太平洋側	0.6~	10.0~	27.5~
関東甲信地方	5.8~	12.4~	28.0~
北陸地方	11.3~	19.7~	31.4~
近畿中国地方	2.2~	7.6~	21.4~

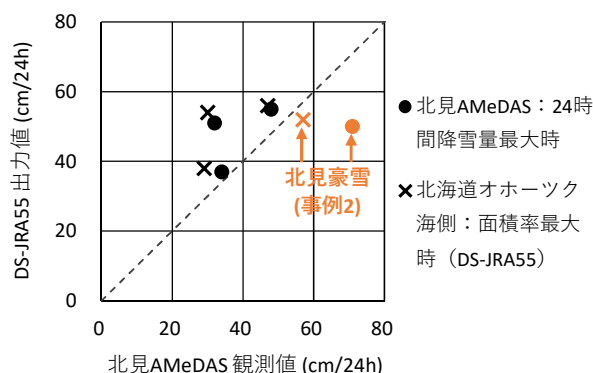


図-38 北見 AMeDAS 観測値と北見 AMeDAS を含む DSJRA-55 格子の出力値による 24 時間降雪量の関係：橙、北見豪雪（事例 2）

8. 暴風雪および大雪の発生頻度と地域性に関する変化傾向の解明（大雪について）

本章では、達成目標③「暴風雪および大雪の発生頻度と地域性に関する変化傾向の解明」のうち、大雪について述べる。6章では、暴風雪に伴う道路交通障害が懸念される北海道・東北地方・新潟県を9つに細分した地域（図-30）を対象に、過去の気象値を用いて、警戒レベルの変化傾向を提示した。本章では、大雪に伴う道路交通障害が懸念される積雪地帯（11に細分された地域）⁵³⁾を対象に検討した（図-32）。

各地域のDSJRA-55（1960～2009年度）、および気象庁毎時大気解析GPVと解析雨量（2011～2020年度）のデータを用いて、表-18にて整理した各地域における警戒レベルごとの評価指標（面積率）の閾値のうち、警戒レベル4（広範囲での多量降雪）とレベル5（広範囲での極端な多量降雪）の発生頻度を10冬期ごとに図-39に示した。警戒レベル4では、多くの地域で2000～2009年から2011～2020年度冬期にかけて減少しており、最大で11回減少していた。また、警戒レベル5は、概ね10冬期に0～2回であった。

警戒レベル4の減少傾向の一つの要因として、DSJRA-55と解析雨量とのデータの質の違いが考えられる。そこで、各地域における2011～2020年度冬期と2000～2009年度について、解析雨量とDSJRA-55による最大面積率、7.3.1項で設定した気象庁AMeDASの時間降雪量を用いた地点割合 r と表18から得られた発生頻度との差を比較した（表19）。その結果、警戒レベル4では、北海道日本海側・内陸部・オホーツク海側、東北地方脊梁山脈部、関東甲信地方、近畿中国地方では、両方の手法で減少傾向がみられた。一方で、北海道太平洋側東部と西部、東北地方太平洋側、北陸地方

表19 各地域における警戒レベル4および5の2011～2020年度冬期と2000～2009年度との発生頻度の差左；解析雨量とDSJRA-55による最大面積率、右；気象AMeDASによる発生割合を使用

警戒レベル	レベル4		レベル5	
	最大面積率	発生割合	最大面積率	発生割合
北海道日本海側	-1	-5	-1	-1
北海道内陸部	-1	-5	-2	1
北海道オホーツク海側	-5	-4	-2	1
北海道太平洋側東部	-4	2	-1	-1
北海道太平洋側西部	-2	2	1	0
東北地方日本海側	0	0	-1	-1
東北地方脊梁山脈部	-9	-2	0	2
東北地方太平洋側	-2	2	0	-1
関東甲信地方	-11	-5	0	-2
北陸地方	-10	3	0	-3
近畿中国地方	-4	-1	0	-2

では、最大面積率から得られた発生頻度の差は減少傾向にあるのに対し、地点割合から得られた発生頻度の差は増加傾向となった。また、警戒レベル5は、北海道では図39と同様、最大面積率、および地点割合から得られた発生頻度の差とも顕著な特徴は確認できなかった。一方で、本州では、発生割合による結果で、概ね1～2回減少していた。

以上から、警戒レベル4は、近年10冬期ごとの発生頻度が減少傾向にある地域が多い。また、警戒レベル5は各地方とも顕著な傾向は確認できないが、10年に概ね0～2回発生する可能性があることが伺えた。

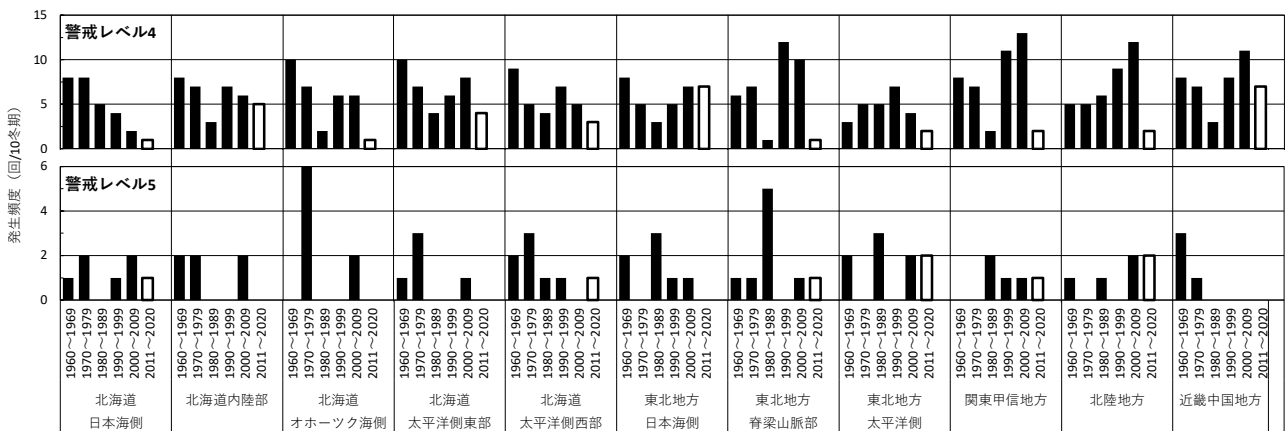


図-39 大雪警戒レベル4以上の発生頻度（地域別）黒：1960～2000年代（補正済DSJRA-55）、白：2010年代（毎時大気解析GPVと気象庁レーダー・アメダス解析雨量）

9. 暴風雪および大雪に関するハザードマップの開発

本章では、5章および7章で作成した暴風雪・大雪の評価指標などをもとに、暴風雪や大雪の規模や発生頻度などについてハザードマップを作成し、冬期道路管理におけるハザードマップの活用方策について検討した。

9.1 ハザードマップの要件の整理

「ハザードマップ」とは、一般的に「自然災害による被害の軽減や防災対策に使用する目的で、被災想定区域や避難場所・避難経路などの防災関係施設の位置などを表示した地図」⁷³⁾とされる。例えば、洪水や高潮における水深などの現象を物理値として表現したものと、土砂災害の“警戒区域”や道路防災情報の“道路冠水想定箇所”のようにあらかじめ条件を設定し表現したものがある。上記を踏まえて、一回の暴風雪および大雪のハザードマップに求められる要件と具体例について、後述する10章に示す道路管理の体制およびヒアリング結果を基に、表-20に整理した。ハザードマップに求められる要件は、利用者や利用場面によって異なると考えられる。本研究では、ハザードマップの利用者として、道路計画および暴風雪や大雪が発生した場合の体制検討を統括する国や本局、現場の道路管理者、ならびに一般の道路利用者を想定した。また、暴風雪や大雪を対象としたハザードマップは、地方自治体単位での暴風雪や大雪のリスク把握や、地方自治体内でリスクの高い場所を把握するなど、想定していない利用者にとっても有用であると考えられる。加えて、ハザードマップの利用場面としてあらかじめ暴風雪や大雪への対応を検討する「計画段階」と、暴風雪や大雪の発生およびその前後の「事象発生時」を想定した。「計画段階」では、道路計画や維持管理体制

の計画・準備時、ならびに利用者への平常時の注意喚起として利用される“静的”なハザードマップが想定される。また、「事象発生時」では、暴風雪や大雪が発生した時の管理（タイムラインやモニタリング）で用いられる、気象の現況値や予測値を表現する“動的”または“リアルタイム”なハザードマップが想定される。このうち、“動的”なハザードマップを作成するには、事象発生前後における気象の観測値や予測値が必要となる。本研究では、過去の気象データを用いた、“静的”なハザードマップを対象とした。

つぎに、ハザードマップのコンセプトについて考える。ここでは、暴風雪・大雪のハザードマップの作成にあたり、物理値で示される「ハザード(危険性)」は、「規模」と「頻度」を乗じて表現することとした。その理由として、暴風雪や大雪は、事象の規模が大きい場合には施設の破壊や人命を直接的に奪うことも想定されるが、基本的には交通障害等を誘発することにより災害へと発展するものであり、長期間で考えた場合「暴風雪や大雪の事象の規模と、それに伴う交通障害などの頻度」がリスクとして考えられるためである。

9.2 ハザードマップの表示要素と方法

前節の結果を踏まえて、暴風雪・大雪のハザードマップに表示する要素（規模・発生頻度・一冬期の度合）とその方法について、5章および7章で作成した暴風雪・大雪の評価指標などをもとに整理した。

9.2.1 一回の暴風雪や大雪の規模

暴風雪および大雪の評価指標のうち、表-21に示す障害度を採用した。また、既往最大の厳しさを把握するために、吹雪量および降雪量の24時間最大値を採用した。

表-20 道路管理・利用における暴風雪および大雪のハザードマップの要件と具体例

ハザードマップ利用者	利用場面	役割や目的	ハザードマップに求める要件	具体的な指標、マップの候補
国土交通省本省 北海道開発局本局	計画段階	道路計画 発生時の体制検討(統括) など	✓ 災害の規模、頻度、地域が開発建設部、振興局レベルの地域分けで判断できる	・警戒レベル(面積率)の基準値・マップ(静的)
	事象発生時	本部、関係機関との連絡体制確保 情報収集・共有 など	✓ 開発建設部、振興局レベルで発生している、発生が予想される災害の規模がわかる ✓ 各地域の障害状況がわかる	・警戒レベル(面積率)の現況値、予測値・マップ(動的) ・障害度、吹雪量、視程マップ(動的)
現業の道路管理者 ※ 開発建設部本部、 道路事務所、維持業者	計画段階	道路・防雪計画 発生時の体制検討(タイムライン、 維持管理体制など) など	✓ 発生しうる管轄・隣接区域単位の災害規模、頻度がわかる ✓ 地域内の視程、吹きだまり障害多発区間、箇所がわかる	・警戒レベル(面積率)の基準値・マップ(静的) ・障害度マップ(静的)
	事象発生時	体制の構築、対応の検討・判断 情報収集・共有 維持管理作業(除雪、巡回、通行止め 管理等) など	✓ 発生している、発生が予想される管轄・隣接区域の災害規模がわかる ✓ 路線、区間単位の視程、吹きだまり障害の現況、予測がわかる	・警戒レベル(面積率)の現況値、予測値・マップ(動的) ・障害度、吹雪量、視程マップ(動的)
道路利用者	計画段階	障害多発地域、区間の把握	✓ 災害の規模、頻度が大きい地域がわかる ✓ 地域内の視程、吹きだまり多発区間、箇所がわかる	・警戒レベル(面積率)の基準値・マップ(静的) ・障害度マップ(静的)
	事象発生時	危険地域、区間の把握 安全運転の強化、自粛など	✓ 発生している、発生が予想される管轄・隣接区域の災害規模がわかる ✓ 路線、区間単位の視程、吹きだまり障害の現況、予測がわかる	・警戒レベル(面積率)の現況値、予測値・マップ(動的) ・障害度、吹雪量、視程マップ(動的)

9.2.2 一回の暴風雪や大雪の発生頻度

警戒レベルのうち、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、以下の4段階を基準とした。

- ・1回未満/10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）

9.2.3 冬期間の吹雪、降雪の度合い

冬期間の吹雪や降雪の度合いを示す要素として、一冬期分累積した吹雪量および降雪量の平均値を採用した。また、一回の暴風雪や大雪の度合いを示す要素として、24時間最大値を採用した。

- ・冬期平均累積吹雪量（吹雪）
- ・冬期平均累積降雪量（降雪）

9.2.4 ハザードマップの表示方法

9.2.1~9.2.3に示す要素を用いたハザードマップの表示方法について、以下の3パターンが考えられる。

- パターン①：各々の数値を直接表示する
- パターン②：複数の要素を組み合わせて表示する
- パターン③：複数の要素を組み合わせて危険性を階級化して表示する

9.3 使用データおよびその補正方法

本研究で対象としている暴風雪・大雪の“静的な”ハザードマップは、面的かつ長期的な解析データである、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）⁵¹⁾を用いた。加えて、道路管理・利用に有用なハザードマップを作成するため、本節では気象モデルによる計算から解析された値である DSJRA-55 統計値を、気象庁 AMeDAS（1990~2019 年度冬期（12~3月））の観測値を用いて補正した。これらの補正の流れを、図-40 に示す。各データ処理の詳細や処理方法の検討について次に示す。

表-21 暴風雪および大雪の障害度の評価指標

障害度	暴風雪の評価指標	大雪の評価指標
障害度 1	視程 50m 未満（吹雪量 300kg/m/h 以上）が 3~6 時間継続	時間降雪量の積算値 40cm 以上/24h
障害度 2	視程 50m 未満（吹雪量 300kg/m/h 以上）が 6 時間以上継続	時間降雪量の積算値 40cm 以上/12h
障害度 3	吹きだまり 20cm 以上 /3h（吹雪量 3000kg/m/3h 以上）が発生	時間降雪量の積算値 20cm 以上/3h

9.3.1 データの抽出

AMeDAS と DSJRA-55 統計値を比較して補正に利用する値を求めるため、DSJRA-55 統計値の 5km 格子のうち、AMeDAS 地点を含む格子データを抽出した。

9.3.2 比および差の算出

前項で抽出した DSJRA-55 統計値と、該当する AMeDAS 統計値を比較し、補正に利用する値として、AMeDAS 地点ごとに両統計値の比や差を求めた。補正に利用する値の特徴と、本研究における適用を表-22 に示す。ここでは、補正後に 0 となる地点が少なくなるよう、物理量については比を、発生回数については差を求め、補正に利用することとした。

9.3.3 空間内挿

前項で算出した比や差は、AMeDAS 地点における値である。ここでは、面的な DSJRA-55 の格子データを補正するために、比や差の空間内挿を行い、比や差の面的な推定を行った。空間内挿は、観測値などの既知のデータを用いて、周辺のデータを推定する手法である。本

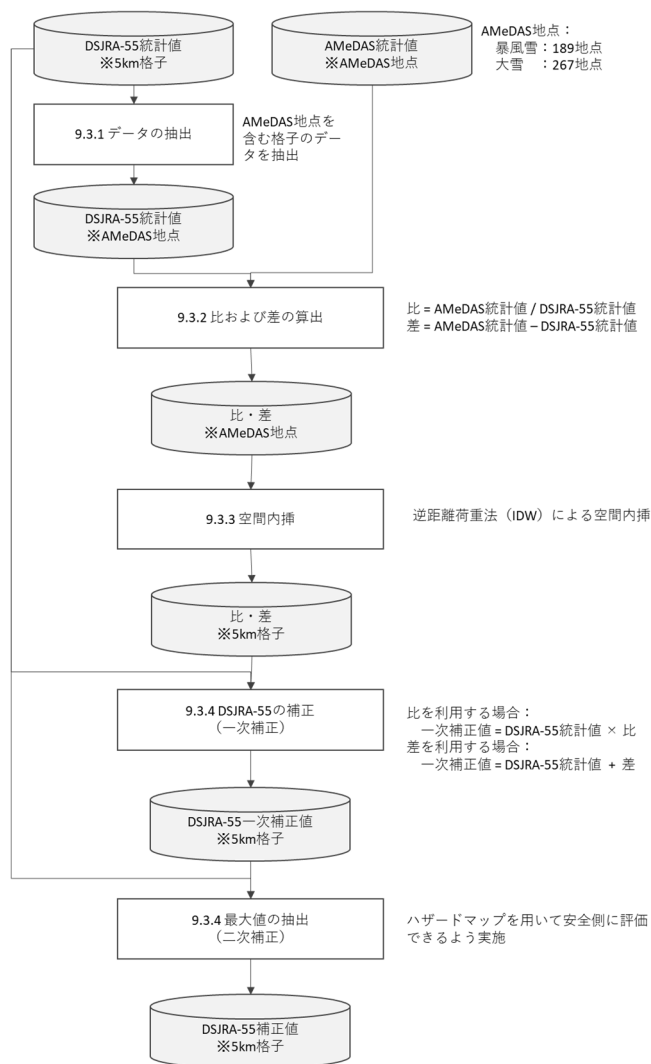


図-40 DSJRA-55 統計値の補正の流れ

研究では、距離の重みにより加重平均を取る逆距離荷重法を採用⁷⁴⁾した。その理由として、逆距離荷重法は、推定値が周辺の推定データの範囲内となり、出力値に極端な誤差を生じないものと判断されるためである。この手法は、対象地点のデータを推定するために、対象地点周辺との距離の逆数を重みとして使用し、その周辺地点のデータの平均をとるもので、式(16)で表される。

$$u(x) = \frac{\sum_{i=0}^n u(x_i) \frac{1}{d(x, x_i)^P}}{\sum_{i=0}^n \frac{1}{d(x, x_i)^P}} \quad (16)$$

ここで、 $u(x)$ は対象地点 x でのデータ、 $u(x_i)$ は周辺地点 x_i でのデータ($i = 0, 1 \dots n$)、 $d(x, x_i)$ は対象地点と周辺地点との距離、 P は重み係数である。本研究では、既知のデータとなるアメダスの地点数が3~5地点となるように、推定する格子から半径50kmの範囲の地点を対象とした。また、重み係数 P は一般的に扱われる2を採用した。

9.3.4 DSJRA-55の補正

DSJRA-55統計値の各グリッドに対応する比または差のグリッドを乗算または加算し、アメダスによる一次補正マップを作成した。ここで、補正した各グリッドの値が0以下または無限の場合は、「値なし」とした。補正した結果、補正前が0以上(DSJRA-55で吹雪や降雪の発生が解析されている)に対して、補正後が0以下となる領域が見られた。この場合、0(現象が発生しない)として取り扱くと、ハザードマップにより危険側の判断がなされることになる。そこで、安全側に判断できるハザードマップを作成できるよう、補正前後の最大値を採用し(二次補正)、最終的な補正値とした。

9.4 ハザードマップの作成

本節では、9.1節と9.2節で検討した事項と、9.3節で検討した手法で補正されたDSJRA-55統計値を用いて、暴風雪や大雪のハザードマップを作成した。吹雪によって生じる道路上の視程低下や吹きだまりは、気象のほか、雪原や樹林帯・家屋の様子などの周辺環境や、盛土・切土などの道路構造にも影響を受けることが知られている。ただし、本業務でハザードマップ作成に利用したDSJRA-55は水平分解能5km格子であることから、ハザードマップはより細かい空間スケールで変化すると考えられる土地利用や周辺環境、道路構造の空間分布は考慮していないことに留意されたい。

表-22 補正に利用する値の特徴と本研究での適用

補正に利用する値	特徴	適用
比 (=アメダス統計値 / DSJRA-55統計値)	比を乗じて算出する補正後の値はマイナス値を取らないが、使用するデータに0が含まれると補正係数が0となる。補正係数を空間内挿した場合に周辺の補正值が0になってしまう。	物理量 (吹雪量、降雪量など)
差 (=アメダス統計値 - DSJRA-55統計値)	使用するデータに0が含まれても、補正值を算出することができる。ただし、アメダスよりDSJRA-55統計値が大きい場合に、補正に利用する値がマイナスの値を取り、それを空間内挿した場合に周辺の補正に利用する値がマイナス値になってしまう場合がある。	発生回数

9.4.1 暴風雪のハザードマップ

1) 要素の数値の直接表示 (パターン①)

暴風雪に関する要素と、ハザードマップで表現される内容や用途・活用方法を表-23に、各要素の分布を示すハザードマップ(パターン①)を図-41および図-42(左)にそれぞれ示した。この表示方法では、統計を行った要素をそのまま図化するため、暴風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と考えられる。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考えられる。

2) 要素の組み合わせ (パターン②)

冬期を通した吹雪の度合いに対する、一回の暴風雪の厳しさを把握するために、冬期平均累積吹雪量に対する、24時間最大吹雪量との比(パターン②)を図-42(右)に示した。ここでは、暴風雪による交通障害の発生が想定される、後述する危険度1(視程50m未満が6時間以上継続(1回以上/10年))以上の箇所について表示した。

表-23 暴風雪に関する要素と、ハザードマップで表現される内容や想定される用途・活用方法

要素	単位	表現される内容、事象	想定される用途、活用方法								
<table border="1"> <tr> <th>障害度</th> <th>評価指標</th> </tr> <tr> <td>障害度 1</td> <td>視程 50m 未満 (吹雪量 300kg/m/h 以上) が 3~6 時間継続</td> </tr> <tr> <td>障害度 2</td> <td>視程 50m 未満 (吹雪量 300kg/m/h 以上) が 6 時間以上継続</td> </tr> <tr> <td>障害度 3</td> <td>吹きだまり 20cm 以上 /3h (吹雪量 3000kg/m/3h 以上) が発生</td> </tr> </table>	障害度	評価指標	障害度 1	視程 50m 未満 (吹雪量 300kg/m/h 以上) が 3~6 時間継続	障害度 2	視程 50m 未満 (吹雪量 300kg/m/h 以上) が 6 時間以上継続	障害度 3	吹きだまり 20cm 以上 /3h (吹雪量 3000kg/m/3h 以上) が発生	回/10年	・視程障害により走行環境が悪化している状態の発生回数	・走行困難となる可能性がある区間、箇所を表現 (主に利用者への注意喚起)
障害度	評価指標										
障害度 1	視程 50m 未満 (吹雪量 300kg/m/h 以上) が 3~6 時間継続										
障害度 2	視程 50m 未満 (吹雪量 300kg/m/h 以上) が 6 時間以上継続										
障害度 3	吹きだまり 20cm 以上 /3h (吹雪量 3000kg/m/3h 以上) が発生										
24 時間最大吹きだまり深さ	cm	・1 日程度での最大の吹きだまり深さ	・過去に発生した吹きだまりの最大深さなど (除雪体制検討での利用)								
冬期平均累計吹雪量	kg/m	・冬期全体での吹雪量の総量 ・値が大きい場合には、冬期間を通じて平均的に吹雪が発生することが多い (常襲地域)	・吹雪に対する耐力を示す指標として想定 (値が大きい箇所は、吹雪の常襲地域であり、吹雪に対する耐力が高いと予想)								

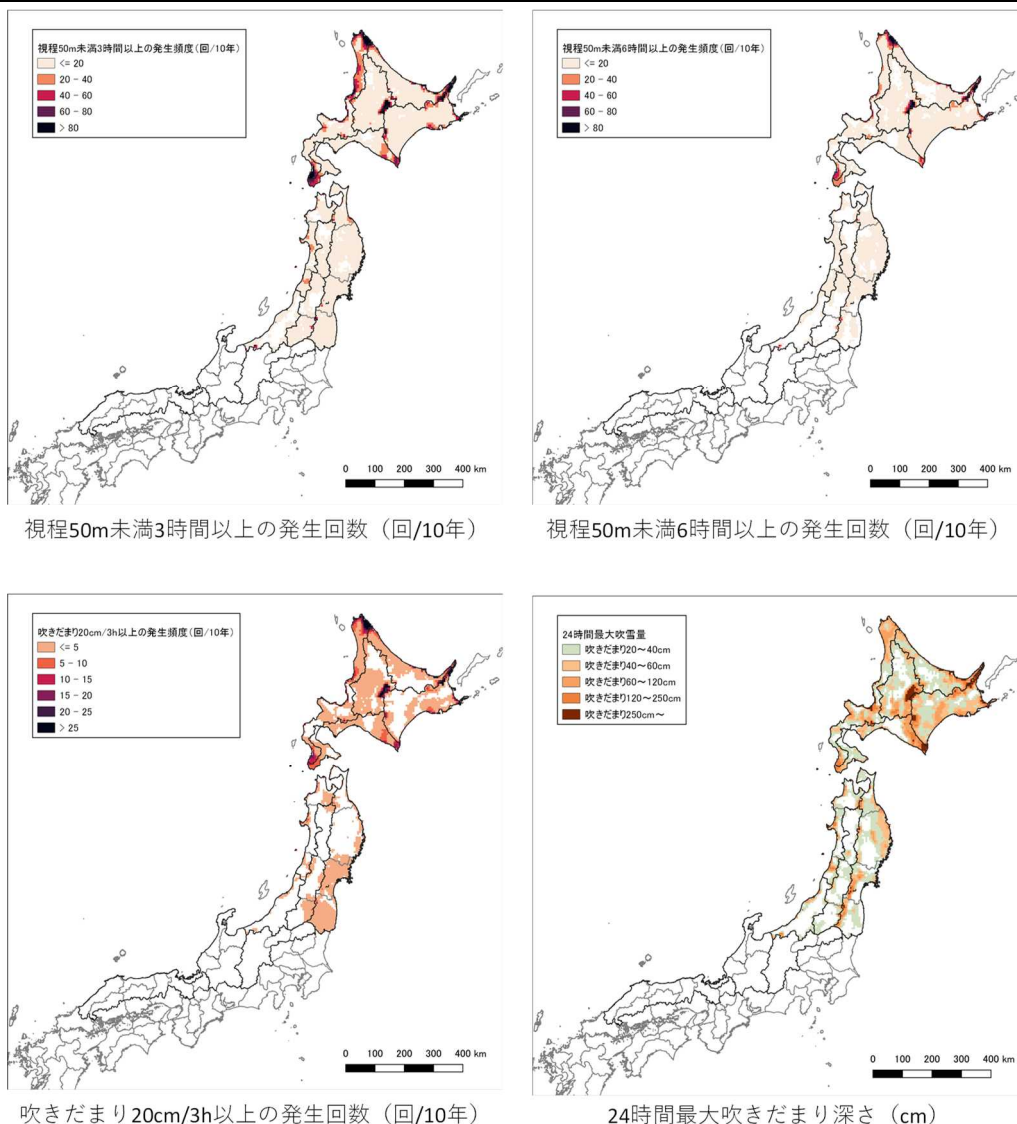


図-41 暴風雪のハザードマップ (要素の数値の直接表現 (パターン①))

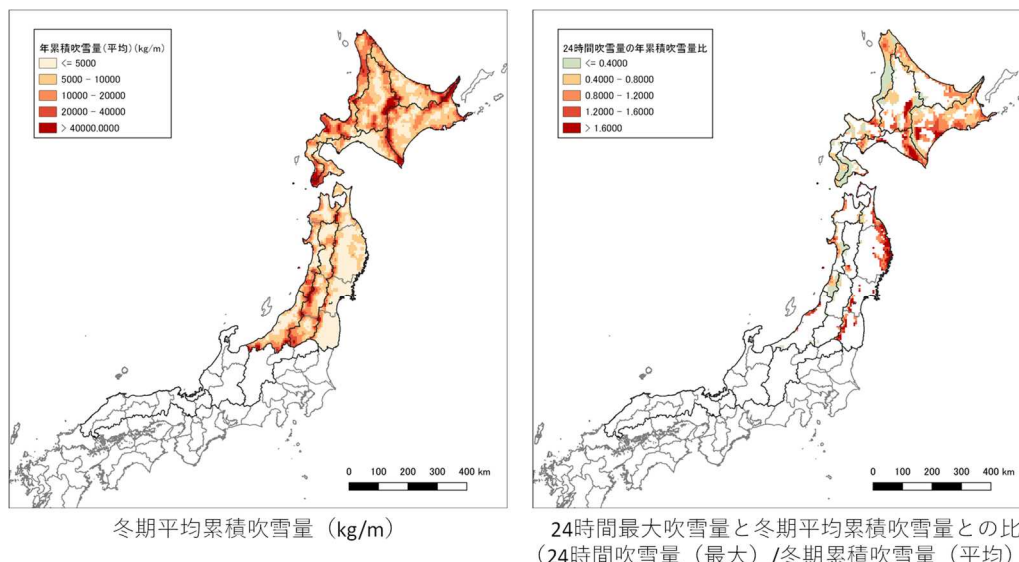


図-42 暴風雪のハザードマップ（要素の数値の直接表現（パターン①）、要素の組み合わせ（パターン②））

表-24 暴風雪に関する階級化した危険度例

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 継続 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 継続 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 継続 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 継続 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 継続 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）

3) 危険度の階級化（パターン③）

ここでは、9.2.1 項の表-21 で示した暴風雪の障害度 1～3、9.2.2 項で示した暴風雪の発生頻度を組み合わせ、これらを交通障害発生危険度とした。それらの大小を表-24 に階級化し、ハザードマップ（パターン③）を作成した（図-43）。道路管理での利用や、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、マップの利用者（道路管理者、利用者）ごとに解釈が異なる可能性が考えられる。

9.4.2 大雪のハザードマップ

1) 要素の数値の直接表示（パターン①）

大雪に関する要素と、ハザードマップで表現される内容や用途・活用方法を表-25 に、各要素の分布を示すハザードマップを図-44 および図-45（左）にそれぞれ示した。この表示方法では、統計を行った要素をそのまま図化するため、大雪による障害や道路

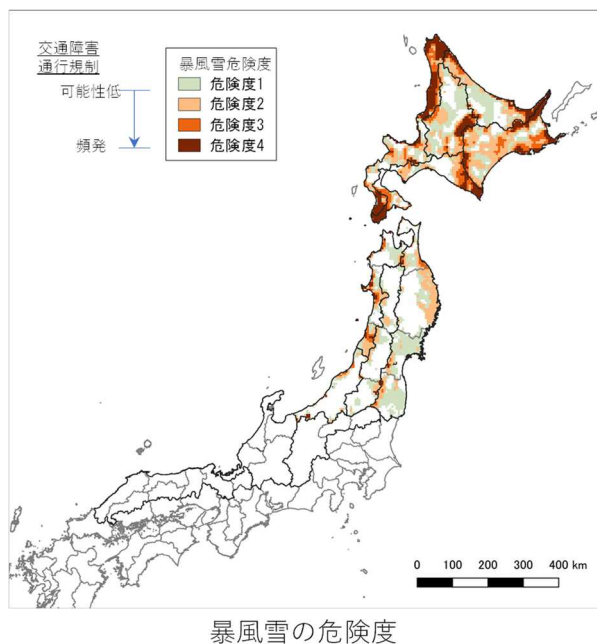


図-43 暴風雪のハザードマップ（危険度の階級化）

表-25 大雪に関する要素と、ハザードマップで表現される内容や想定される用途・活用方法

要素	単位	表現される内容、事象	想定される用途、活用方法								
<table border="1"> <tr> <th>障害度</th> <th>評価指標</th> </tr> <tr> <td>障害度 1</td> <td>時間降雪量の積算値 40cm 以上/24h</td> </tr> <tr> <td>障害度 2</td> <td>時間降雪量の積算値 40cm 以上/12h</td> </tr> <tr> <td>障害度 3</td> <td>時間降雪量の積算値 20cm 以上/3h</td> </tr> </table>	障害度	評価指標	障害度 1	時間降雪量の積算値 40cm 以上/24h	障害度 2	時間降雪量の積算値 40cm 以上/12h	障害度 3	時間降雪量の積算値 20cm 以上/3h	回/10年	<ul style="list-style-type: none"> 車両滞留、通行止めが発生する程度の降雪量の発生回数 半日で車両滞留、通行止めが発生する程度の降雪量の発生回数 標準的な除雪 1 サイクル程度の時間で、車両(軽自動車)の発進が困難となる降雪の発生回数 	<ul style="list-style-type: none"> 車両滞留、通行止めが生じる可能性が高い区間、箇所を表現(除雪計画、通行止め管理など) 短時間で車両滞留、通行止めが生じる可能性が高い区間、箇所を表現(除雪計画、通行止め管理などでの利用を想定) 除雪 1 サイクルの時間内に、走行困難となる可能性がある区間、箇所を表現(主に利用者への注意喚起を想定)
障害度	評価指標										
障害度 1	時間降雪量の積算値 40cm 以上/24h										
障害度 2	時間降雪量の積算値 40cm 以上/12h										
障害度 3	時間降雪量の積算値 20cm 以上/3h										
24 時間最大降雪量	cm	<ul style="list-style-type: none"> 1 日程度での最大の降雪量 	<ul style="list-style-type: none"> 過去に発生した降雪量の最大など(除雪体制検討での利用) 								
冬期平均累計降雪量	cm	<ul style="list-style-type: none"> 冬期全体での降雪量の総量 値が大きい場合は、多雪地域 	<ul style="list-style-type: none"> 大雪に対し耐力を示す指標としての利用を想定(値が大きい箇所は、多雪地域であり、降雪の耐力が高いと予想) 								

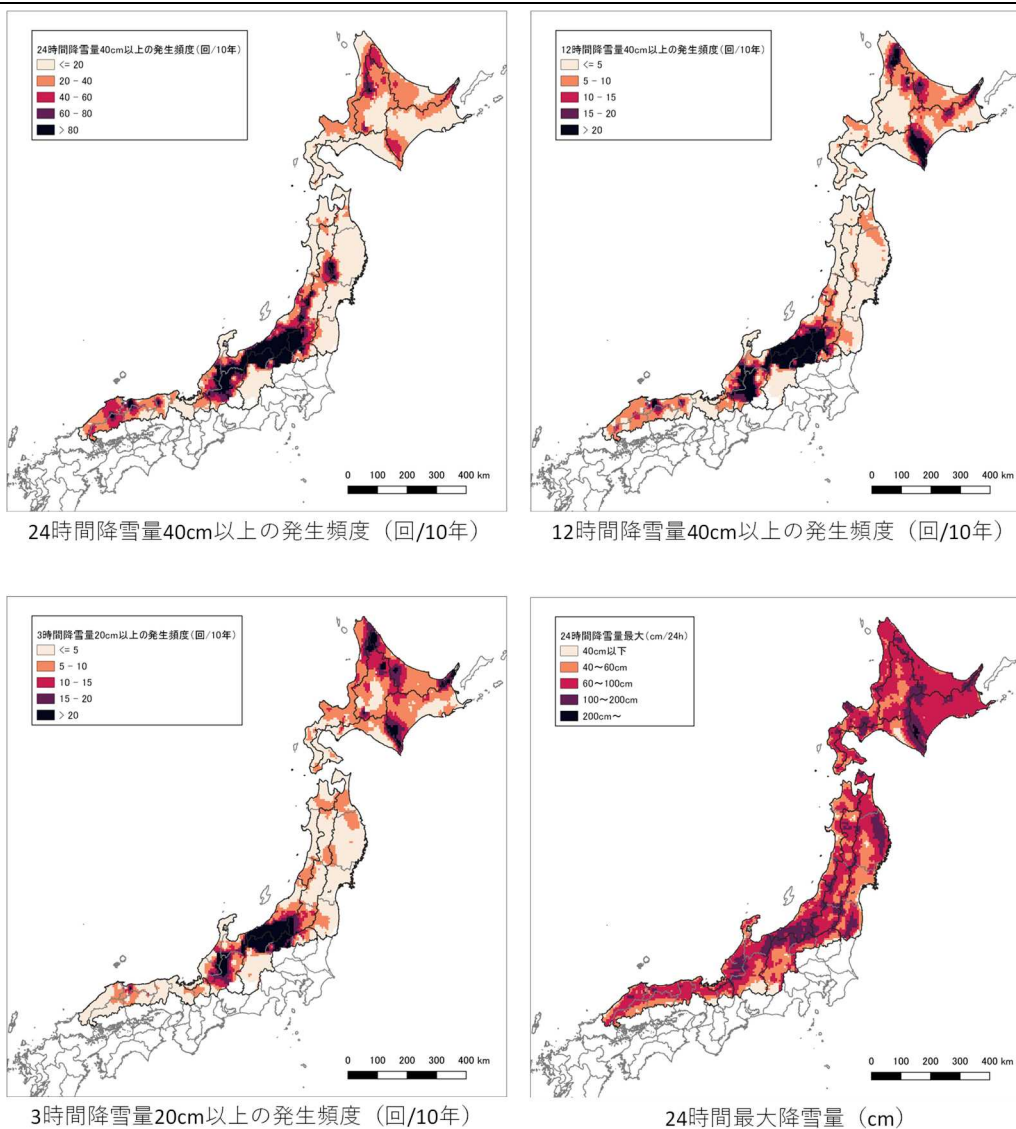


図-44 大雪のハザードマップ(要素の数値の直接表現)

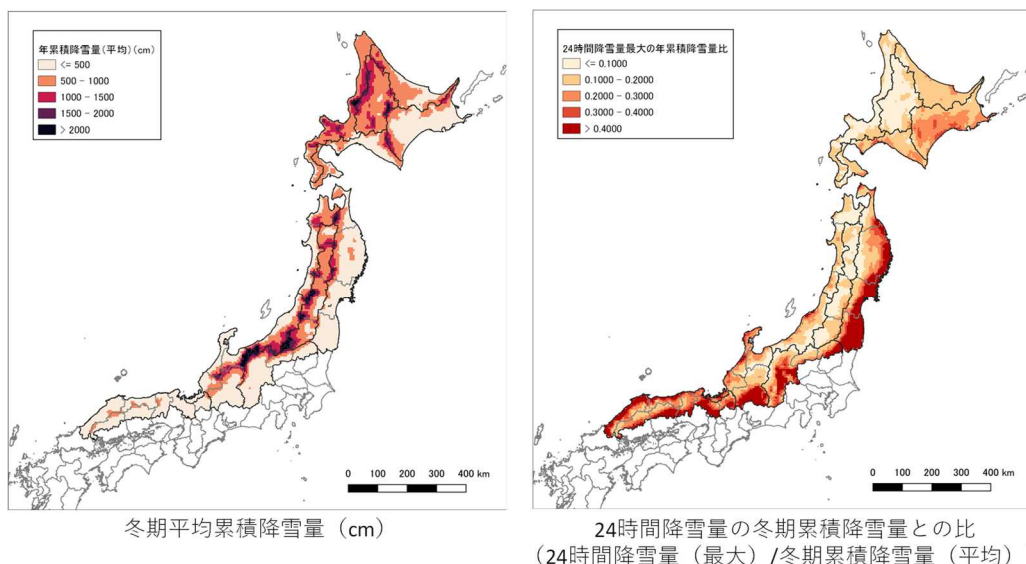


図-45 大雪のハザードマップ（要素の数値の直接表現、要素の組み合わせ）

表-26 大雪に関する階級化した危険度例

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/10 年未満)
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/10 年以上)

管理、地域、路線に精通した道路管理者向けであると考えられる。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考えられる。

2) 要素の組み合わせ（パターン②）

冬期を通した降雪の度合いに対する、一回の大雪の厳しさを把握するために、冬期平均累積降雪量に対する、24 時間最大降雪量との比（パターン②）を図-45（右）に示した。

3) 危険性の階級化（パターン③）

ここでは、表-21 で示した大雪の障害度 1 と 9.2.2 項で示した大雪の発生頻度を組み合わせ、これらを交通障害発生の危険度とした。また、既往文献^{(63), (75)}などを参考に、豪雪年の多量降雪の頻度を 4 回以上/1 年と仮定し、40 回以上/10 年を発生頻度の基準に加えた。それらの大小を表-26 に階級化したハザードマップ（パターン③）を作成した（図-46）。道路管理での利用や、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。

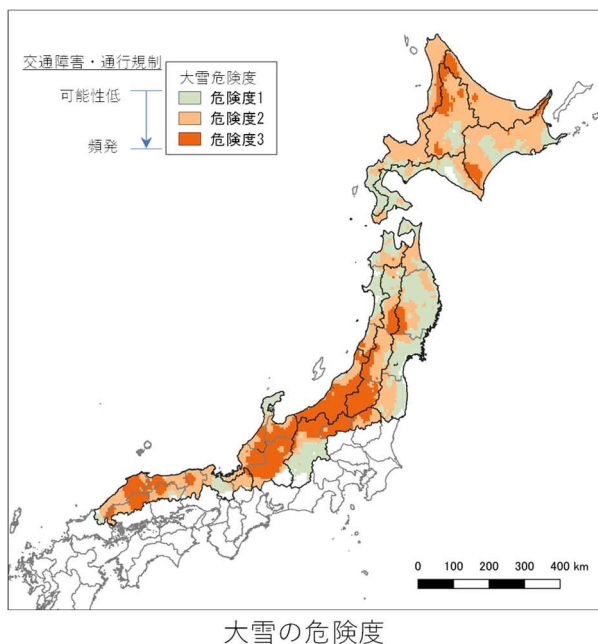


図-46 大雪のハザードマップ（危険度の階級化）

一方、マップの利用者（道路管理者、利用者）ごとに解釈が異なる可能性が考えられる。

10. 暴風雪時の道路管理における判断支援方策の提案

前章までにおいて、一回の暴風雪および大雪の厳しさに関する指標を作成し、その頻度や地域性をグラフやハザードマップなどで提示した。本章では、達成目標⑤「指標に基づく暴風雪時の道路管理における判断支援方策の提案」について述べる。

10.1 暴風雪時の道路管理体制および課題整理

はじめに、判断支援方策を検討するために、暴風雪時における道路管理体制と課題を整理した結果について示す。なお、ここで言う「暴風雪時」とは、暴風雪発生の概ね数日前から暴風雪終了後道路維持管理に関連する活動が完了するまでの期間を指す。

10.1.1 暴風雪時の道路管理体制

暴風雪対応における道路管理の段階、部署の区分、ならびに各局面での対策を想定の上、各局面で必要かつ有効と考えられる指標や資料や情報の素案を、国土交通省本省や北海道開発局を例として表-27に整理した。以下に、表-27の各整理項目について詳述する。

10.1.1 道路管理体制の段階、部署について

暴風雪時における道路管理の段階と部署は、概ね以下のような区分、種類に整理される。

1) 道路管理体制の段階

イ) 道路計画、年単位の管理計画

新規道路や道路網に関わる防災事業の計画、また年単位における維持管理計画の策定(暴風雪が発生した際の対応、対策などの検討)。

表-27 暴風雪時における段階、部署、対策と指標・情報・資料の整理（案）

段階	部署	検討・実施対象となる対策		活用される指標、情報、資料 (想定)
		ハード対策	ソフト対策	
道路計画 管理計画	国土交通省 本省 北海道開発 局本局	・道路ネット ワークの機能 強化 ・防雪対策施設 などの整備	・タイムラインの策定 ・除雪計画の策定、除雪体制 の確保 ・関係機関連携体制の構築 ・利用者、地域住民への啓 蒙、理解の促進など	【指標】 ・道路ネットワークの災害規模を表現した指標 【情報・資料】 ・上記指標のハザードマップ ・上記指標の経年変化傾向
	開発建設部 本部	・道路ネット ワークの機能 強化 ・防雪対策施設 などの整備	・タイムラインの策定 ・除雪計画の策定、除雪体制 の確保 ・関係機関連携体制の構築 ・利用者、地域住民への啓 蒙、理解の促進など	【指標】 ・道路ネットワークの災害規模を表現した指標 ・管内の路線・区間の障害の度合を表現した指標 【情報・資料】 ・上記指標のハザードマップ ・上記指標の経年変化傾向
	道路事務所	・防雪対策施設 などの整備	・タイムラインの策定	【指標】 ・管轄する路線・区間の障害の度合を表現した指標 【情報・資料】 ・上記指標のハザードマップ ・上記指標の経年変化傾向
暴風雪時	国土交通省 本省 北海道開発 局本局	なし	・対策本部設置、関係機関と の連携 ・除雪体制の強化、支援 ・情報提供	【指標】 ・道路ネットワークの災害規模を表現した指標 【情報・資料】 ・上記指標の予測値 ・開発建設部本部などからの報告、情報
	開発建設部 本部	なし	・対策本部設置、関係機関と の連携 ・除雪体制の強化、支援 ・情報提供	【指標】 ・道路ネットワークの災害規模を表現した指標 ・管内の路線・区間の障害の度合を表現した指標 【情報・資料】 ・上記指標の予測値 ・管内の道路事務所などからの報告、情報
	道路事務所	なし	・道路パトロール、除雪体制 の強化 ・通行止め管理	【指標】 ・管轄する路線・区間の障害の度合を表現した指標 【情報・資料】 ・上記指標の予測値、マップ ・道路パトロール、除雪作業などからの報告

ロ) 暴風雪時の維持管理

暴風雪に伴う障害状況に対応した維持管理、対応の実施。

2) 部署**イ) 国土交通省本省、北海道開発局本局**

広域かつ長期的な道路計画の策定や、暴風雪により広域(複数の開発建設部や関係機関)に甚大な被害が発生、または発生が予測される状況において、これらの調整を担当する部署。

ロ) 開発建設部本部

該当する開発建設部管内において、各道路事務所と連携のうえ道路防災事業や維持管理の計画を策定する。また、暴風雪時に多路線または複数の道路事務所で被害が出ている状況において、これらの調整を担当する部署。

ハ) 道路事務所

管轄する路線・区間において、開発建設部本部が策定する防災事業や維持管理の計画を支援する。また、暴風雪時における道路パトロールや除雪作業、通行止めの実施や解除などの維持管理を担当する部署。

10.1.2 検討・実施対象となる対策について

10.1.1 で整理した道路管理体制の段階や部署ごとに、検討・実施対象と想定される対策を以下に大別する。

1) ハード対策

- ・道路ネットワークの機能強化
- ・防雪対策施設などの整備

2) ソフト対策**イ) 道路計画、管理計画**

- ・タイムラインの策定(各部署に応じた)
- ・除雪計画の策定、除雪体制の確保
- ・関係機関連携体制の構築
- ・利用者、地域住民への啓蒙、理解の促進など

ロ) 暴風雪時

- ・対策本部設置、関係機関との連携
- ・除雪体制の強化、支援
- ・情報提供
- ・道路パトロール、除雪体制の強化
- ・通行止め管理

10.1.3 道路管理体制において活用される指標・情報・資料

10.1.2 で示した各段階や部署ごとの対策において、判断支援材料として活用される指標・情報・資料を、以下のように想定する。

1) 指標

- ・暴風雪の災害規模を表現する指標(警戒レベル、障害度)および指標の再現期待値、経年変動

- ・道路状況を示す指標(吹雪視程、吹きだまり、吹雪量など)、および指標に基づく通行止め基準

2) 情報

- ・ハザードマップ(再現期待値など)
- ・実況値、予測値(およびその閲覧システム)
- ・気象予報
- ・道路パトロールからの現場の状況報告 など

10.2 道路管理の現状に関する整理

より有効な判断支援方を検討するため、暴風雪による通行止め対応の活動記録の整理や、道路管理者を対象としたヒアリング調査を行い、暴風雪時の道路管理の課題や道路管理者が必要としている指標や方策などについて取りまとめた。

10.2.1 暴風雪事例時の状況整理

はじめに、過去の暴風雪による通行止め対応の活動記録に基づき、暴風雪事例および道路管理区間ごとに活動記録の時系列データを作成した。つぎに、活動記録の時系列データを用いて、現状の道路管理の基本的な流れと、判断が困難な事象を整理した。上記に基づき、暴風雪時の道路管理における課題を抽出・整理した。

1) 整理方法および整理事例

各暴風雪事例について、道路管理区間ごとに活動記録の時系列データとして整理した。ここでの対象は、道路管理の推移や対応が分かるよう、10以上の活動記録がある117事例とした。

2) 道路管理の基本的な流れについて

活動記録の時系列データを用いて、道路管理区間における暴風雪時の基本的な維持管理の流れを表-28に整理した。ここでは、各段階に「平常」、「注意」、「通行止め」、「解除準備」、「平常(通行止め解除)」と名称を付して整理した。また、各段階で想定される道路管理者や利用者の行動を表-28に付記した。

3) 道路管理における課題について

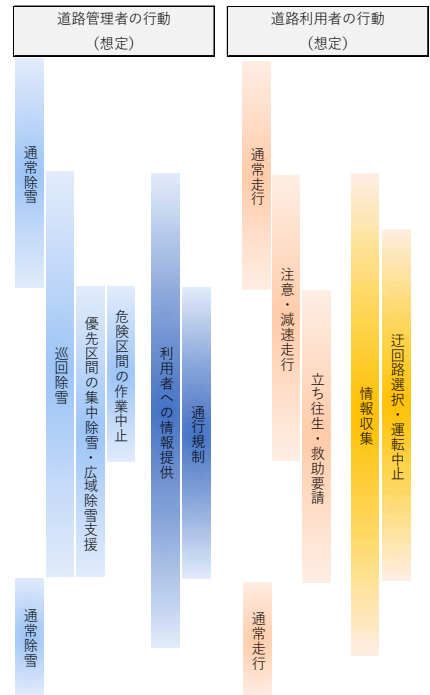
表-28の流れにおいて、段階を移行する場合には、道路管理者が判断を行う必要がある。ここでは、段階を移行する判断が困難な場合を想定し、イ)に整理した。これらを、道路管理上の課題を示唆する状況とする。つぎに、活動記録の時系列データ117事例のうちイ)に類似する計22事例を抽出のうえ(表-29)、道路管理における課題をロ)に整理した。

イ) 段階移行の判断が困難な場合(想定)

- ・通行止めや通行止め解除の判断など、段階の移行に向けて、情報収集(道路パトロールや維持業者への照会、CCTV確認による道路状況の把握、気象予測やテレメータなどの気象情報の収集)を実施したもの

表-28 道路管理区間における暴風雪時の基本的な維持管理の流れと、各段階で想定される道路管理者・利用者の行動

段階	気象	対応	作業項目 (道路事務所)	次の段階に移行する 判断のトリガー
平常	吹雪なし	通常除雪や定期的な道路パトロールにより、交通の安全を確保する	・気象情報収集 ・定期的な点検 ・通常除雪	・気象情報
注意 (通行止め準備)	吹雪なし または 吹雪開始	暴風雪が予見され、積極的に情報を収集のうえ、通行止めを検討する	・通行止めに向けた体制強化 ・除雪体制の強化 ・情報収集の強化 (臨時の道路パトロールなど) ・関係機関との情報共有、調整	・点検やCCTV映像などで把握した道路状況の悪化(視程障害、吹きだまり) ・隣接する道路管理区間との調整
通行止め	暴風雪	暴風雪により交通の安全が確保できないため通行止めを行う	・通行止めの開始 ・関係機関、利用者への周知 ・除雪作業の中止または継続	・道路パトロール、除雪作業などによる道路状況の報告 ・気象情報
解除準備 (通行止め継続)	暴風雪の減衰 (天候回復)	通行止め解除に向けた除雪と、道路の現地点検を行い、安全を確認する	・通行止め解除に向けた除雪作業 ・情報収集の強化 (臨時の道路パトロールなど) ・関係機関との情報共有、調整	・現地点検などによる道路状況の把握 ・通行止め解除に向けた除雪作業の進捗 ・隣接する道路管理区間との調整
平常 (通行止め解除)	吹雪継続 または 吹雪なし	通常除雪や定期的な道路パトロールにより、交通の安全を確保する	・通行止め解除 ・関係機関、利用者への周知 ・通常除雪	-



の、判断が困難な場合

- ・道路管理の基本的な流れ(表-28)にない、イレギュラーな対応

ロ) 道路管理における課題

a) 注意段階への移行における課題

暴風雪による通行止め対応の活動記録は、平常段階の記載がなかったことから、注意段階への移行における課題は不明である。なお、これらの活動記録は、現地維持業者からの吹雪による視程障害など、道路状況悪化の報告があった時点から開始されている場合が大部分であった。上記の報告から、今後の吹雪や暴風雪に関する情報などを道路事務所と維持業者で共有することが、迅速な道路管理に有用であると予想される。

b) 通行止め開始の判断における課題

活動記録の時系列データより、維持業者や事務所職員が現地確認を行い、道路状況の悪化(視程障害など)を確認して通行止めを判断していた。判断が困難だったと考えられる事例はなかったが、現地を直接確認する管理手法と併せて、管轄する路線上で大規模な車両滞留を回避するための事前通行規制の整備が課題と考えられる¹⁾。

c) 通行止め解除の判断における課題

活動記録の時系列データより、通行止め解除に向けた除雪が終了し、事務所職員などの現地点検により異常がないことを確認してから、通行止めを解除する事例が多かった。一方で、降雪・強風や吹雪による視程障害

表-29 暴風雪時における道路管理の課題と想定される項目と事例数

項目	事例数	備考
注意段階への移行	0	平常時の記録がないため不明
判断が困難と想定される場合	0	
通行止め開始判断	10	点検結果、雪底除去が必要と判断された事例除く
通行止め解除判断	6	
スタック・事故の発生	4	
通行止め最中	4	
臨時的な対応(除雪)	2	通行止め中に除雪の応援を調整(1件)、除雪の増強やオペレーターの休息の確保を指示(1件)
計	22	

に伴い、通行止め解除の見込みが立たない、またはその判断を延期した事例が見られた。判断を延期した事例は、気象情報による今後の道路状況の推定が困難だったと推測される。このことから、気象情報と吹雪に伴う道路状況の悪化や交通障害との関係が不明である点、任意の区間における吹雪に関連する情報を抽出・利用する手段などに課題がある可能性が考えられる。

d) 車両スタック・事故の発生からみた道路管理の課題

活動記録の時系列データより、車両のスタックや事故の発生をきっかけに、通行止めを実施した事例がみられた。これらの事故などは、発生時の気象や道路状態、またはそれ以外の要因(例えばチェーンの未装着、ドライバーの技量など)によって発生したものと考えられる。

以上から、車両のスタックや事故に至る道路状況の把握が課題であると考えられる。

e) 除雪作業からみた道路管理の課題

活動記録の時系列データより、通行止め中に除雪の応援について調整している事例や、通行止め解除に向けて除雪を早めるようロータリー車の投入を指示する、または適切なオペレーターの休憩を要請する事例がみられた。判断が困難だったと考えられる明示的な記録はなかったものの、暴風雪の規模や時間に応じて除雪に必要な能力（除雪機械の台数）やオペレーターのシフトを検討することが、効率的な除雪による早期解除に向けて有用であると考えられる。

10.2.2 暴風雪時の道路管理に関するヒアリング調査

暴風雪時の道路管理における現状や動向、課題、道路管理者の判断支援方策に対する要望や、本報告書 5 章で述べた一回の暴風雪の評価指標、それらの活用方法の妥当性を把握することを目的として、北海道開発局の道路管理者を対象にヒアリング調査を行った。本節では、暴風雪時の道路管理と、一回の暴風雪の評価指標について、要約した結果を以下に示す。

1) 暴風雪時の道路管理について

イ) 管理体制と管理の基準

北海道開発局では、「大雪時の道路交通確保対策中間とりまとめ¹⁾」を受けて、暴風雪対策のタイムラインの策定が各開発建設部で進められている。基本的には、主要な峠で予防的通行規制区間が設定され、それらがタイムラインの対象となっている。タイムラインは、暴風雪の発生が見込まれる 3 日程度前から行動を開始する形となっている。また、単独の開発建設部で維持管理の対応が困難な場合は、開発建設部間で除雪などの応援が行われ、その調整は北海道開発局本局が行う。

ロ) 吹雪状況のモニタリング

吹雪状況のモニタリングは、道路パトロールによる現地状況の把握、気象情報や CCTV カメラなどの利用が主である。吹雪に着目した道路パトロールは、維持管理の経験を基に、吹雪障害が発生しやすい場所を中心に行われている。

ハ) 道路管理で利用される気象情報、データ

暴風雪時の道路管理で利用されている情報は、気象庁などが提供する気象の現況と予測、道路パトロール、CCTV、テレメータなどで収集される現地道路状況などが挙げられた。また、道路利用者に注意喚起を促す数値的な情報や、吹雪が収束するまでの時間などの予測情報、ならびに直接的な通行止めの基準への要望があった。

二) 通行止めなどの判断、実施方法

気象庁が提供する気象情報、および気象警報などの発表に基づき、3 日程度先に向けてシナリオを想定のうえ道路維持管理を実施する。また、スタックの発生、除雪能力を超えた降雪、視程障害の発生などが、主たる災害の発生時点の時刻である「ゼロ・アワー（0 時間）⁷⁶⁾」としてタイムラインに組み込まれている。

ホ) 課題、今後の要望

道路維持管理の従事者の経験や、道路パトロール結果への依存度が高いことが、現状の課題として挙げられている。また、上述のタイムラインにおけるゼロ・アワーの適切な設定基準が明瞭でないことから、事前の判断に有効な情報提供や判断根拠となる指標の確立に対する期待がある。また、担当者の雪害に関する知識レベルに差があることや、発注者と受注者の間のイメージの共有が難しいことが課題となっており、過去の暴風雪事例の規模と紐づけされたわかりやすい情報が求められている。

ヘ) その他

地域により、暴風雪への耐力が異なる。また、道路管理上ハード対策が検討・実施されるのは、吹雪の発生頻度が高い地域が中心であり、発生頻度が低い地域は、ソフト対策が主となる。

2) 一回の暴風雪の評価指標について

イ) 道路管理における指標の妥当性

道路管理において、視程障害やスタック車両の発生を行動のトリガーとしていることから、評価指標の検討に吹雪時の視程および吹雪量を用いることが妥当であると判断された。また、面的な情報に関して、個々の管理路線を想定した細かいメッシュ（解像度）での情報提供への要望があった。加えて、道路管理者向けと一般向けのように、情報の利用者を想定した使い分けの提言があった。

ロ) 道路管理での指標の活用

道路管理に際し、予測に対する強い要望があり、評価指標である「警戒レベル」（5 章で記述）や、吹雪に関する細かいメッシュ（解像度）での予測値への期待がある。また、通行止めの判断の他、応援体制や人員配置の検討に、この評価指標が活用できるのではないかという見解が示された。加えて、暴風雪の予測に対する評価指標の適用や、その情報を提供するシステムへの要望があった。

10.2.3 暴風雪時の道路管理における課題

10.1.2 で整理した内容をもとに、暴風雪時の道路管理とその課題を、表-27 に示す各部署および道路利用者、道路管理計画および暴風雪時の段階に分類のうえ以下

に取りまとめた。

1) 国土交通省本省、北海道開発局本局

イ) 道路管理計画

国土交通省本省および北海道開発局本局は、暴風雪時に備えた道路計画、および除雪計画を立案する。道路計画や除雪計画の立案には、暴風雪に伴う地域性を把握することが重要と考えられる。ただし、吹雪の厳しさを定量的に把握できる現状の資料は、年間累計吹雪量や視程障害発生頻度など、一冬期を代表する値に限られる。加えて、急速に発達した低気圧に伴い暴風雪となる北海道東部は、北海道日本海側と比較して年間累計値は小さいことなどから、一冬期の吹雪に関する累計値と、一回の暴風雪の頻度や規模は必ずしも相関しないものと考えられる。以上より、道路計画や道路管理の体制・対応の検討にあたり、一回の暴風雪の厳しさを示す資料の整備が必要と考えられる。

ロ) 暴風雪時

暴風雪時において、国土交通省本省および北海道開発局本局は、各開発建設部本部や関係機関との連絡体制確保や情報収集を実施し、必要に応じて適切な対策などを指示する。各地域における気象の規模を示す既往の情報として、気象庁の気象警報・注意報や予想降雪量⁷⁷⁾などの情報がある。ただし、利用する気象情報と、吹雪に伴う道路状況の悪化や交通障害との関係が明確でないことが課題と考えられる。

2) 開発建設部本部、道路事務所

イ) 道路管理計画

開発建設部本部は、管内の道路防災事業の計画や、維持管理の計画を策定し、併せて利用者への啓蒙を実施する。また、道路事務所がこれらを支援する。ヒアリングの結果、各開発建設部において暴風雪対策のタイムラインが策定され、併せて早めの通行止め実施を目指す方針となっている。

暴風雪対応のタイムラインにおいて、主たる災害の発生時刻である「ゼロ・アワー (0 時間)」は、除雪困難や、交通障害の発生が想定されている。「タイムライン (防災行動計画) 策定・活用指針 (初版)⁷⁶⁾」によれば、ゼロ・アワーより前にリードタイムを確保し、早めの防災行動を開始することで、防災行動を有効に機能させる必要があると示されている。したがって、タイムラインの運用に際し、ゼロ・アワーを適切に設定することが望ましい。ただし、現時点ではゼロ・アワーの適切な設定基準が明瞭でないことが、課題であると考えられる。

ロ) 暴風雪時

暴風雪時において、開発建設部本部および道路事務所

は、体制の構築、対応の検討・判断、情報収集・共有や利用者への周知、維持管理作業を行う。活動記録やヒアリング結果の整理により、以下の課題が示された。

- ・暴風雪の規模を予測することが困難である。
- ・通行止め開始・解除のタイミングを判断しにくい。
- ・CCTV カメラによる映像から視程障害の程度を判読しにくい場合があり、通行止め開始・解除の最終判断のために現地確認を実施している。
- ・通行止め開始時に、現地を直接確認する必要がある点が、迅速な判断や管理コスト削減における課題となっている。
- ・通行止め解除の見込みを立てられない事例があり、気象情報と道路状況の関係が不明である点、任意の路線・区間の情報を容易に利用する手段が無い点、ならびに今後の吹雪状況を推定するための情報の予測精度に課題がある。
- ・道路管理担当者同士や維持管理業者との間で、知識や経験が異なることが課題であり、暴風雪や大雪のイメージを共有できることが重要である。
- ・除雪機械オペレーターの高齢化や、世代交代に伴う技術の継承に関する課題がある。

3) 道路利用者

暴風雪時において、道路利用者は情報収集により危険な地域や時間帯を把握のうえ、より安全に走行可能なルートや出発時間の検討、ならびに運転の自粛を行うことが考えられる⁷⁸⁾。本稿で例示した北海道開発局管内において、吹雪視程は「北の道ナビ【吹雪の視界情報 北海道版】⁷⁹⁾」にて、概ね旧市町村単位で 24 時間先の予測値が公開されている。また、「気象庁 | 今後の雪 (降雪短時間予報)⁷⁷⁾」では、2021 年 11 月より 6 時間先までの降雪量予測値が 5km 解像度で公開している。今後、これらの情報を活用しながら、一回の暴風雪の厳しさを示す指標を提示することが有用と考えられる。

10.3 暴風雪の道路管理時における判断支援方策案の検討

10.3.1 道路交通確保に向けた取り組みの概要と判断支援方策案について

近年、異例ともいえる降雪により、大規模な車両滞留が発生し、大規模な車両滞留の発生や長期化を回避することが結果的に「道路ネットワーク機能への影響の最小化」することになることから、「人命を最優先に、幹線道路上の大規模な車両滞留を徹底的に回避する」ことを基本的な考え方とすることが「大雪時の道路交通確保対策中間とりまとめ」¹⁾ (以下、「中間とりまとめ」という。) に追記された。本項では、大雪時の道路

交通確保に向けた取り組みの強化に関する内容のうち「道路管理者等の取り組み」の各項目を要約し、それらに対する暴風雪や大雪に対処するための道路管理上の判断支援方策案について、前節までに整理された課題や5～9章の整理結果に基づいて考察した。以降、ソフト的、ハード的対応について、表-30～表-33にそれぞれ記述する。

表-30 道路交通確保に向けた取り組みの概要と判断支援方策案（ソフト的対応 その1）

①タイムライン（段階的な行動計画）の作成	
「中間とりまとめ」の要約	判断支援方策案
<p>通常レベルから、短期間の集中的な大雪に対する危機管理レベルの対応へとモードを切り替えるタイミングがあり、道路管理者の迅速かつ的確な判断が求められる。地域特性、予想される降雪量やその精度を考慮し、広範囲かつ同時に躊躇なく通行止めを行う。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・危機管理レベルへの切り替えの判断材料のひとつとして、「警戒レベル」を利用する。 ・交通規制の判断材料として、「障害度」を利用する。 <p><考察> 左記より、道路管理者は広範囲かつ同時に通行止めを行うことが想定されている。一方で10.2節より、道路管理の担当者間での知識レベルの違いが課題として挙げられており、定量的な基準を設けることが迅速な判断に有用であると予想される。5章および7章で作成した、一回の暴風雪や大雪の評価指標は定量的な指標である。「障害度」の評価指標は、交通障害を示唆する気象条件と考えられる。これらは気象予測値から算出することが可能な定量的指標・基準であり、道路管理者が迷うことなく、迅速な判断に資することができると考えられる。また、「警戒レベル」の評価指標は、地域ごとの災害規模を推定することができる指標であり、予測値に基づく体制判断に利用できると考えられる。</p>
②除雪体制の強化	
「中間とりまとめ」の要約	判断支援方策案
<p>道路管理者は、地域状況に応じた除雪体制の強化を行い、大規模な車両滞留を回避するよう努めるべきである。短期間の集中的な大雪が見込まれる場合には、道路管理者（国、高速道路会社、都道府県、市町村）の相互支援により除雪車等を広域的に配置して備えるなど、連携する必要がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・除雪体制検討の参考として、ハザードマップを活用する。 ・道路管理者が、管理者間の連携の必要性や連携を行う地域を判断するために、「警戒レベル」の評価指標の予測値を利用する <p><考察> 9章で整理されたハザードマップのうち、冬期累計吹雪量や降雪量が大きい地域は吹雪や降雪の常襲地域を示すと想定される。また、一回の暴風雪や大雪の障害度の発生頻度や危険度の大きい地域は、これらに対して留意すべき地域を示すと想定される。地域で求める除雪レベルについて、道路管理者が、ハザードマップを参考に、その実情に合わせて設定するなどの方法が考えられる。</p> <p>道路管理者同士の相互支援については、地域での連携の開始や終了するタイミングを判断するために、障害の程度を時系列で推測することができる、「警戒レベル」の評価指標の予測値を利用するのが適していると考えられる。</p>

表-31 道路交通確保に向けた取り組みの概要と判断支援方策案（ソフト的対応 その2）

③除雪作業を担う地域建設業の確保	
「中間とりまとめ」の要約	判断支援方策案
<p>道路除雪を担う地域の建設業者等は、道路交通の確保に大きな役割を果たす。一方で除雪機械の老朽化、オペレーターの高齢化等、その作業環境は厳しい状況にある。引き続き必要な除雪体制を確保するためには、少雪時も含めて適正な利潤が確保できるよう、国が中心となって契約方法等の改善を進めるべきである。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・時系列で予測された「障害度」や「警戒レベル」の評価指標を参考に、除雪車オペレーター等の適切な休憩を含めた除雪計画を立案する <p><考察></p> <p>10.1 節の道路管理の現状に関する整理では、暴風雪が弱まる見通しが立たない状況では、除雪車オペレーターの休憩等の労働環境やシフト構築についての課題があることが示唆された。</p> <p>5章および7章で作成した「障害度」や「警戒レベル」の評価指標は、暴風雪や大雪の状況を時系列として把握することも可能であるため、これらを活用することで、除雪実施の計画の立案に資することができると思われる。</p>
④地域や民間団体による除雪作業への協力体制の構築	
「中間とりまとめ」の要約	判断支援方策案
<p>迅速に除雪を実施する体制を確保するため、国や地方公共団体は地域や民間団体の積極的な協力を求めるべきであり、地域団体等が積極的に除雪作業に参加できる仕組みを検討すべきである。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・除雪体制検討や地域の防災計画策定の参考として、ハザードマップを活用する。 <p><考察></p> <p>9章で整理したハザードマップにより、冬期累計の吹雪量や降雪量が少なくても、規模の大きい一回の暴風雪や大雪の発生の可能性が示される地域では、その対応のため相応の除雪体制・能力が必要と考えられる。道路管理者は地域特性を周知し、地域・民間団体による除雪作業の協力が重要であることを啓発することが考えられる。</p>
⑤チェーン等の装着の徹底	
「中間とりまとめ」の要約	判断支援方策案
<p>道路管理者および都道府県公安委員会は、大雪時には降雪状況や地域特性に応じて、ドライバーに対し冬用タイヤやチェーンの装着を徹底すべきである。冬タイヤやチェーンの装着徹底の実効性を高めるため、適切な装着がなく大規模な車両滞留の原因となった大型車等に対しては、ペナルティ等の対応を検討すべきである。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・冬タイヤやチェーンの装着の可能性がある地域を事前に啓発するために、ハザードマップを活用する。 <p><考察></p> <p>9章で整理されたハザードマップのうち、冬期累計吹雪量や降雪量が多い地域は吹雪や降雪の常襲地域を示すと想定される。また、一回の暴風雪や大雪の障害度の発生頻度や危険度の大きい地域は、これらに対して留意すべき地域を示すと想定される。道路利用者に対し、事前の啓発をするため、これらのハザードマップを提示することが考えられる。</p>
⑥短期間の集中的な大雪時の行動変容	
「中間とりまとめ」の要約	判断支援方策案
<p>短期間の集中的な大雪が予想される場合に、道路利用者に対して不要・不急の外出を控えることや、広域的な迂回等と呼び掛けているが、実際に道路利用を控える行動を起こすには十分でない。道路管理者は情報の提供方法を工夫すべきで、通行止め予測の発表のほか、気象予測や路面の状況等、内容を具体化して呼びかけるべきである。加えて、国や地方公共団体は、荷主等を含む企業、公共機関や学校など社会全体のコンセンサスが得られるような対象を広げる取り組みを進めるべきである。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・道路利用者の行動変容を促すことを目的に、事象発生時に評価指標や視程・吹きだまり量の情報を公開する。 <p><考察></p> <p>現状の気象情報は降雪量などの値であるため、道路交通への影響を、情報の受け手が直接イメージすることが困難である。一方、5章で作成した評価指標は、自動車の走行や運転挙動との関係が整理されており、情報利用者に道路交通状況をイメージさせやすいと予想され、道路管理者からの行動変容の呼びかけに適している可能性がある。</p>

表-32 道路交通確保に向けた取り組みの概要と判断支援方策案（ソフト的対応 その3）

⑦短期間の集中的な大雪時の計画的・予防的な通行規制・集中除雪の実施	「中間とりまとめ」の要約	判断支援方策案
	<ul style="list-style-type: none"> 道路管理者は、車両滞留が予見される場合、滞留が発生する前に「情報連絡本部」を設置し、国土交通省が主体となって、関係機関と調整のうえ、高速道路と並行する国道等の同時通行止めを行い、集中的な除雪作業を実施すべきである。道路管理者は躊躇ない通行止めの実効性を高めるため、通行止め判断や準備を開始する複数のメルクマールやトリガーをタイムラインに位置付けるべきである。 道路管理者は、過去に車両立ち往生が発生した地点や、その可能性が高い地点などをリスク箇所として把握し、計画的・予防的な通行規制区間を想定する。さらに、気象庁は道路管理者の判断を支援するため、数時間先までに集中的な大雪が予想される場所や時間帯についてのきめ細かな面的な予測情報の提供や、降雪予報の精度向上やデータ共有の高度化に向けた技術開発を進めるべきである。加えて、道路管理者は、優先除雪ルートを設定したうえ、降雪や降雪状況を勘案した集中除雪による早期解放に最大限務めるべきである。 空振りをおそれず、道路管理者は広域迂回等の呼びかけを繰り返しお願いすべきである。このため、降雪予測等から通行規制を想定して、できるだけ早く通行規制予告を繰り返し発表すべきである。また、通行規制が解除されるまで待機を希望する車両の発生を想定し、道路管理者は駐車などが可能な施設の確保等を実施すべきである。 	<ul style="list-style-type: none"> タイムラインにおける判断条件のひとつとして、「警戒レベル」や「障害度」の評価指標を利用する リスク箇所の把握に、ハザードマップを活用する <p><考察></p> <p>「情報連絡本部」の設置や、同時通行止めの実施を判断するためにも、複数のトリガーや指標を用いてタイムラインの運用を行うものと考えられる。5章および7章で検討した評価指標は、道路状況や自動車の走行に関連した指標であるため、タイムラインの各段階を移行するための判断に利用することができると予想される。また、リスク箇所の把握には、9章で作成したハザードマップが有用であると考えられる。</p>
⑧立ち往生車両が発生した場合の迅速な対応	「中間とりまとめ」の要約	判断支援方策案
	<ul style="list-style-type: none"> 車両立ち往生が発生した場合に、長時間の大規模な車両滞留を回避するため、道路管理者は、立ち往生発生箇所の手前側で、本線の通行止めや、交差点等入口部の閉鎖を速やかに行うべきである。また、リスク箇所を把握して予め通行止め区間を想定し、迂回経路や待機スペースを確保するよう、道路管理者は関係者と情報共有や調整を行うべきである。 道路管理者は滞留が発生した場合への対策として、資機材の準備や、沿道の物流施設や商業施設を利用できるようその管理者との協定締結、滞留車両への支援体制の構築などを行うべきである。 道路管理者は滞留が発生した場合に正確な状況把握を行うための体制の構築や、関係者への積極的な情報共有、除雪の進捗や通行止め解除の見通しなどの情報を利用者に提供すべきである。 政府は、滞留が発生した際のガソリン車への燃料供給実績に関するデータを収集すること等により、EVが滞留した場合の対応について、速やかに検討を行うべきである。 	<ul style="list-style-type: none"> リスク箇所の把握に、ハザードマップを活用する 情報の把握や提供時に、警戒レベルや障害度も利用する <p><考察></p> <p>立ち往生発生後の大規模な車両滞留を防ぐためには、車両立ち往生の発生を早期に検知し、対処することが重要であると考えられる。立ち往生発生の可能性が高い場所は気象情報（降雪量や吹雪量）から推定することができるものの、その他に道路縦断勾配や車両の装備等（スタッドレスタイヤ、チェーン等）にも影響を受ける。したがって、現時点では立ち往生を推測するよりも検知するための方策の方が重要であると考えられる。例えば、CCTVの充実、立ち往生時にドライバーに通報を促すような啓発、あるいは路線・区間の交通量を線的に評価することにより立ち往生発生を検知する技術などが考えられる。</p> <p>一方、滞留発生区間への資機材の準備等を行うためのリスク箇所の把握は、9章で作成したハザードマップにより対象区間を想定することができる可能性がある。さらに、評価指標の予測値を用いることで、通行止め解除の見通しを立てることができる可能性がある。</p>

表-33 道路交通確保に向けた取り組みの概要と判断支援方策案（ハード的対応）

①基幹的な道路ネットワークの強化	判断支援方策案
<p data-bbox="264 288 564 318">「中間とりまとめ」の要約</p> <p data-bbox="164 412 655 535">地域の実情に応じて、高速道路の暫定2車線区間や主要国道の4車線化等や、バイパス等迂回路の整備等により、基幹的な道路ネットワークの強化を図る必要がある。</p>	<p data-bbox="687 347 1430 409">・優先的な強化区間の検討材料として、ハザードマップを利用する</p> <p data-bbox="687 412 1430 568"><考察> 優先的に整備を行う道路ネットワークを検討に、道路ネットワークの観点や地域の実情による路線の重要性のほか、9章で整備された一回の暴風雪や大雪の頻度等のハザードマップを利用することが想定される。</p>
②スポット対策、車両待機スペースの確保	判断支援方策案
<p data-bbox="264 725 564 754">「中間とりまとめ」の要約</p> <p data-bbox="164 801 655 958">渋滞の起点となりやすい交差点などのリスク箇所について、カメラの増設や、定置式溶液散布装置、防雪柵の設置など、地域の状況に応じたスポット対策を集中的に行うべきである。</p>	<p data-bbox="687 786 1430 815">・リスク箇所の把握に、ハザードマップを活用する。</p> <p data-bbox="687 817 1430 972"><考察> 9章で整理した危険度に関するハザードマップは、交通障害が発生しやすい箇所を判読することができると考えられ、スポット対策を行うべき箇所を判断する際に利用することができると考えられる。</p>

10.3.2 道路管理を想定した評価指標やハザードマップの活用案

立場・役割の異なる道路管理・利用者ごとに、計画時と事象発生時における活用案について整理した。

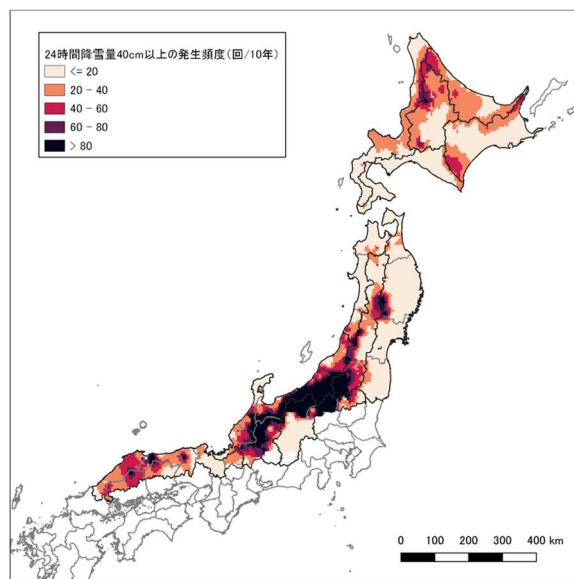
1) 国土交通省本省、北海道開発局本局

イ) 計画時

国土交通省本省、北海道開発局本局は、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、暴風雪や大雪の発生頻度に関するハザードマップを利用することを提案する。例えば、**図-47**は大雪の発生頻度に関するハザードマップである。本州のうち、新潟県以南の日本海側で頻度が大きい傾向であり、大雪による災害を予防する観点から、道路ネットワークを優先的に検討することが考えられる。

ロ) 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、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、**図-48**に警戒レベルの分布を示すように、警戒レベル5の地域に重点的に除雪車を配備するよう、関係者間の調整を行うことが想定される。



24時間降雪量40cm以上の発生頻度

図-47 大雪の発生回数に関するハザードマップ案

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、維持業者

イ) 計画時

現業の道路管理者は、計画段階において、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）、利用者への啓蒙を実施すると想定される。例えば、**図-49**に示すように、路線の中

で吹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。

ロ) 事象発生時

道路管理者は、事象発生時において、情報収集を行いタイムラインに沿って体制の構築や対応の検討・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。ここでは、障害度に相当する気象条件を基準とした、道路管理の案を表-34に示す。表-34は、主に道路事務所・維持業者が通行止めを実施する際の段階と、段階の以降を判断するための障害度の評価指標を利用した判断基準案である。ここでは、「視程 50m 未満 (吹雪量 300kg/m/h 以上) が

6 時間継続 (表-6 に示す「障害度 2」)」した場合に通行止めを実施し、「視程 50m 未満 (吹雪量 300kg/m/h 以上) の継続が 5 時間以下」となる場合に通行止め解除を目指して行動することを想定した。また、吹雪が厳しく作業困難となる場合を想定し、除雪中止となる段階を設定した。除雪中止となるほどの気象条件は不明であるが、吹雪の強度が大きい状態として「吹きだまり 20cm/3h 以上 (吹雪量 1000kg/m/h 以上) (表-6 に示す「障害度 3」)」を挙げた。以上は案であり、気象の地域特性や暴風雪に対処する能力によって基準や時間は変化すると思われる。このため、案を運用する場合は、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と考えられる。

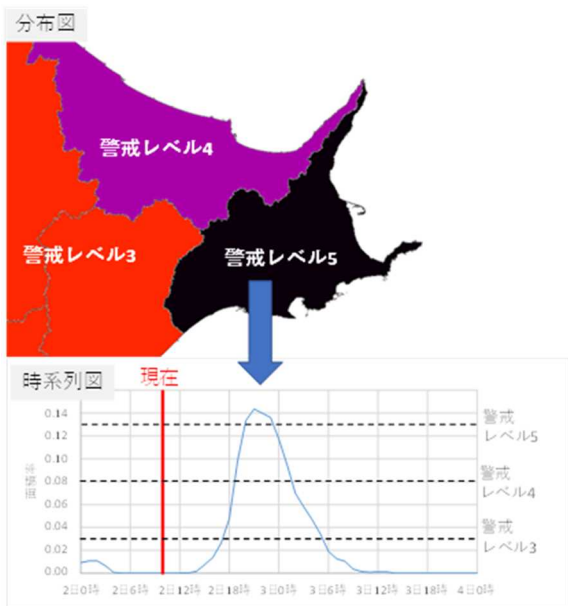


図-48 警戒レベルを示す評価指標の分布と推移

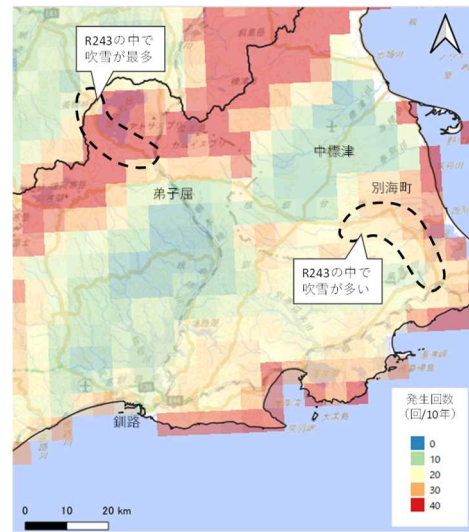
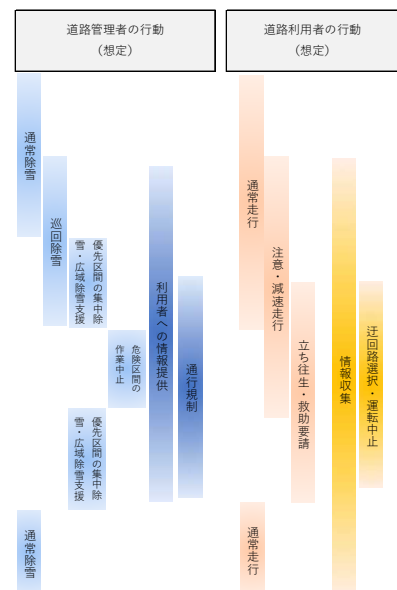


図-49 障害度 (暴風雪の発生頻度) 分布例

表-34 障害度を利用した通行止め管理案

段階	気象	対応	作業項目 (事務所、維持業者)	段階移行の判断材料 ※既往	段階移行の判断基準 (案) ※障害度を利用
平常	吹雪なし	通常除雪や定期的な点検により、交通の安全を確保する	・気象情報収集 ・定期的な点検 ・通常除雪		
注意 (通行止め準備)	吹雪なし、吹雪発生	吹雪が予見され、積極的に情報を収集し、通行止めを検討する	・通行止めに向けた体制強化 ・除雪の強化 ・情報収集の強化 (臨時の点検等) ・関係機関との情報共有、調整	・気象情報 (想定)	24時間以内に「視程50m未満 (吹雪量300kg/m/h以上) の6時間以上継続」が吹雪量から予測される
通行止め	巡回除雪	吹雪発生	・通行止めの開始 ・関係機関、利用者への周知 ・除雪の継続 (巡回除雪)	・点検やCCTV等で把握した道路状況の悪化 (視程障害、吹きだまり)	「視程50m未満 (吹雪量300kg/m/h以上) の6時間以上継続」が吹雪量から予測される
	除雪中止	吹雪ピーク	・現場作業を中止し、待機		「吹きだまり20cm/3h (吹雪量1000kg/m/h以上)」が予測される
解除準備 (通行止め継続)	吹雪減衰 (天候回復)	通行止め解除のため、除雪を行い、道路の点検を行い安全を確認する	・除雪の継続 ・情報収集の強化 (臨時の点検等) ・関係機関との情報共有、調整 ・通行止め解除のタイミングをうかがう	・点検等による道路状況 ・気象情報	「視程50m未満 (吹雪量300kg/m/h以上) の継続時間が6時間未満」が吹雪量から予測される
平常 (通行止め解除)	吹雪なし	通常除雪や定期的な点検により、交通の安全を確保する	・通行止め解除 ・関係機関、利用者への周知 ・通常除雪	・点検等による道路状況 ・除雪の進捗 ・隣接区間管理者との調整	「視程50m未満 (吹雪量300kg/m/h以上) の継続時間が6時間未満」が吹雪量から予測される



11. まとめと今後の展望

達成目標ごとのまとめおよび今後の展望を以下に記す。

11.1 吹雪量に与える気象要因の影響度の解明（達成目標①）

吹雪量を自動的かつ連続的に実測することは困難であるため、一般的には気象データから推定される。これまで、既往研究において様々な吹雪量推定式が提示されているが、その大半は風速のみの関数であった。吹雪の発生条件は、風速のみならず、数多くの気象要素が関与するものである。本研究では、各気象要素が吹雪量に及ぼす影響について検討し、複数の気象要素を用いた吹雪量推定式の作成に臨んだ。ここでは、気温、風速、降雪強度など直接観測している気象要素のほか、各要素の累計値や降雪終了からの経過時間など、過去の気象履歴についても検討項目に入れた。

暴風雪が発生しやすい気圧配置条件は、地域によって異なる。本研究では、西高東低の気圧配置時に発生しやすい石狩吹雪実験場 (N43° 12', E141° 23') と、低気圧が通過する時に発生しやすい弟子屈吹雪観測サイト (N43° 30', E144° 27') の2地点において現地観測（気象観測・吹雪観測）を行った。

解析結果に基づき、吹雪量推定式は、降雪項と地吹雪項の両方を含む関数形とし、降雪強度と風速から吹雪量を推定する式を提案した。

11.2 暴風雪や大雪の評価指標の提案（達成目標②）

11.2.1 暴風雪の評価指標

一回の暴風雪の厳しさを評価するため、吹雪障害の基準数値を設定した。つぎに、通行規制などを判断するための、個々の路線・区間の障害を示す「障害度」、また警戒・非常体制の発令を判断するための、道路ネットワークの障害や地域の災害の規模を示す「警戒レベル」の評価指標を、北海道・東北地方・新潟県を対象に設定した。

(1) 吹雪の厳しさを示す物理量として、時間吹雪量 Q_h を用い、道路吹雪障害との関係を推定した。気温、風速、降水量（降雪強度）等の気象値を用い、吹雪発生判定フロー³⁴⁾によって「吹雪発生」と判別された場合に、吹雪量推定式を用いて高さ7mまでの Q_h を推定した。その結果、視程障害については $Q_h \geq 100$ kg/m/h（視程100m未満）および $Q_h \geq 300$ kg/m/h（視程50m未満）を、吹きだまりについては $Q_h \geq 1000$ kg/m/h（吹きだまり深さ20cm/3h以上）を、吹雪障害の基準数値としてそれぞれ設定した。

(2) 「障害度」の評価指標は、国道の新雪除雪が1サイ

クル概ね3時間であることを考慮のうえ、吹雪障害の基準数値と吹雪による過去の国道通行止めとの関係を解析し、視程50m未満が3~6時間継続、視程50m未満が6時間以上継続、3時間の吹きだまりが20cm以上の3段階に設定した。

(3) 「警戒レベル」について、はじめに暴風雪の災害規模、地域の道路交通網へ与える影響、ならびに吹雪障害状況をもとに、道路管理に資することを重点に置いた5段階の警戒レベルを設定した。つぎに、北海道東部の過去の暴風雪事例のデータセットを用いて、暴風雪の強度・広がり・継続時間を考慮のうえ、各警戒レベルに分類した暴風雪事例の判別性などから、「時間吹雪量300 kg/m/h以上となる最大面積率」を評価指標として選定した。道路交通に影響を与える警戒レベル3-5について極値統計を実施し、再現期間は警戒レベル3が1~2年、レベル4が2~10年、レベル5が10年超となった。

11.2.2 大雪の評価指標

一回の大雪の厳しさを評価するため、まず、既往文献を用いて積雪寒冷地域の大雪災害事例を収集した。つぎに、通行規制などを判断するための、個々の路線・区間の障害を示す「障害度」、また警戒・非常体制の発令を判断するための、道路ネットワークの障害や地域の災害の規模を示す「警戒レベル」の評価指標を、積雪寒冷地域を対象に設定した。

(1) 「障害度」の評価指標は、立ち往生事例をもとに、一定時間に積算された時間降雪量を段階的に設定した。立ち往生による車両滞留発生に至る積算降雪量40cm以上/24hを「障害度1」、半日で車両滞留が発生する程度の一定時間の積算降雪量を勘案し、積算降雪量40cm以上/12hを「障害度2」、国道の除雪1サイクル相当の3時間で20cm以上となる積算降雪量として20cm以上/3hを「障害度3」と設定した。

(2) 「警戒レベル」について、はじめに大雪の災害規模、地域の道路交通網へ与える影響、ならびに障害状況をもとに、道路管理に資することを重点に置いた5段階の警戒レベルを設定した。また、積雪寒冷地域の積雪深観測値を用いた解析により、大雪の評価指標を「降雪強度40cm/24h以上となる地点割合 r の最大値」と設定した。つぎに、上記の検討結果をもとに、気象格子値を用いた解析により、地域ごとに大雪の評価指標の閾値を示した。その際、大雪の評価指標を「降雪強度40cm/24h以上となる最大面積率」とし、道路交通に影響を与える警戒レベル3-5

について、暴風雪での検討結果(11.2.1)に倣い、警戒レベル3の再現期間を1~2年、レベル4を2~10年、レベル5を10年超と設定した。過去の大雪事例と比較したところ、災害を示すものとして、評価指標および再現期間は概ね妥当と確認された。

11.3 暴風雪および大雪の発生頻度と地域性に関する変化傾向の解明(達成目標③)

11.3.1 暴風雪

暴風雪の評価指標(11.2.1)および過去60冬期の気象格子値を用いて、新潟以北の9つの積雪寒冷地域を対象に、「警戒レベル」の変化傾向を調べた。その結果、各地域の警戒レベル3-5の再現期待値を評価指標の閾値として設定し、過去の気象格子値を用いて1960~2010年代の10冬期ごとの変化傾向を整理した。その結果、極端な暴風雪と考えられる警戒レベル4・5は、1980または1990年代以降多くの地域で増加傾向がみられた。

11.3.2 大雪

大雪の評価指標(11.2.2)および過去の気象値を用いて、積雪地域を11に細分のうえ、「警戒レベル」の変化傾向を調べた。各地域の警戒レベル3-5の再現期待値を評価指標の閾値として設定し、過去の気象値を用いて1960~2010年代の10冬期ごとの変化傾向を整理した。その結果、警戒レベル4は近年減少傾向にある地域が多い、また警戒レベル5は各地方とも10年に概ね0~2回発生する可能性があることが伺えた。

11.4 暴風雪および大雪に関するハザードマップの開発(達成目標④)

暴風雪や大雪の事象の規模と、それに伴う交通障害などの頻度をリスクとして位置づけ、11.2.1および11.2.2の評価指標などをもとに、道路管理に資するハザードマップを作成した。作成に際し、既往のハザードマップの概要、現状の道路の管理体制・管理者ヒアリングによる要件、ハザードマップのコンセプトについてそれぞれ整理し、一回の暴風雪や大雪の規模や発生頻度、冬期間の吹雪や降雪の度合いについて、3パターンのハザードマップについて検討した。以下に、それぞれの概要と特徴について述べる。

- (1) パターン1: 統計値を直接表現したハザードマップ。正確な表現が可能であるが、危険性が伝わりにくいいため、一般向けではない。暴風雪や大雪、それに付随した障害に精通した道路管理者向け。
- (2) パターン2: 複数の要素を組み合わせたハザードマップ。冬期の累計値に対する一回の事象の比(吹雪量・降雪量)。地域特性を表現できるメリットがあるが、新たな指標であるため、分かりにくい可能性

がある。

- (3) パターン3: 複数の要素を組み合わせる危険性を階級化したハザードマップ。要素を組み合わせ、交通傷害の発生危険性を階級わけしたもの。利用者が危険性をイメージしやすいが、厳密さに欠けるため、個々の解釈が異なる可能性がある。

ハザードマップの使用データは、面的かつ長期的な解析データ DSJRA-55 統計値を補正したもので、本研究ではその補正方法を提示した。冬期道路管理におけるハザードマップの活用方策として、暴風雪や大雪の地域ごとの特性に応じ、道路計画や維持管理体制の検討に資することができると考えられる。

11.5 指標に基づく暴風雪時の道路管理における判断支援方策の提案(達成目標⑤)

本章では、現状の道路管理の課題について整理したうえ、評価指標やハザードマップを用いた、暴風雪時の道路管理における判断支援方策案を検討した。

11.5.1 現状の道路管理とその課題

- ・道路管理者は、統括的な立場にある国、本局と、狭義の道路管理者である本部、事務所、維持業者に分けられる。
- ・気象予測値を用いた道路管理が実施されているが、予測値と道路状況や運転者挙動・車両走行との関係が不明であり、通行止め解除の見通しが立たない、判断が人によって異なるなどの可能性がある。
- ・立ち往生等発生等を基準としたタイムラインの整備が進んでいる。
- ・気象予測値等を確認するシステムが複数あって煩雑であり、管理者が効果的に活用しづらい
- ・現地確認した後に通行止め開始・解除を実施するため、迅速に判断する点において課題がある。
- ・除雪を担う地域の建設業等の確保に課題がある

11.5.2 判断支援方策

- ・計画段階では、ハザードマップを利用し、一回の暴風雪や大雪の頻度・規模に着目した危険箇所を把握することで、有効な対策・対応の検討に資することができる可能性がある
- ・暴風雪・大雪時の道路管理に、道路状況や運転者挙動・車両走行などとの関係が分かりやすい評価指標を用いることで、道路管理者が障害を想定でき、迅速かつ属人的でない判断が可能となる可能性がある。

11.6 今後の展望

本研究では、現地観測データ、過去の災害事例や気象解析値に基づき、一回の極端な暴風雪や大雪の厳し

さを評価する技術を構築し、これらを用いたハザードマップと、道路管理における判断支援方を提示した。道路管理者へのヒアリングの結果、極端気象時の的確な道路維持管理のため、本研究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、より適確な道路管理に貢献したいと考えている。

謝辞

本研究では、国土交通省北海道開発局に、暴風雪時の道路管理に関するヒアリング調査などにご対応いただいた。また、気象庁が提供する JRA-55 領域ダウンスケーリング(DSJRA-55)を利用した。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。ここに記して御礼申し上げる。

参考文献

- 国土交通省 (2021) : 大雪時の道路交通確保対策中間とりまとめ (令和 3 年 3 月改定), p.33, <https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/toukidourokanni/> (2022 年 3 月 27 日閲覧).
- 内閣府 (2021) : 市町村のための降雪対応の手引き<本編> (令和 3 年 11 月改訂), pp.10-11.
- Boselly, S. E. , III et al. (1993): Road weather information systems, U.S. Strategic Highway Research Program Report SHRP-H-350, 1, 219p.
- 社団法人 日本建設機械化協会, 社団法人 雪センター (2004) : 2005 除雪・防雪ハンドブック (防雪編), p.112, 247.
- 独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所 (2011) : 道路吹雪対策マニュアル (平成 23 年改訂版), pp.1-2-1 - 1-2-11.
- 公益社団法人 日本道路協会 (2021) : 道路構造令の解説と運用 (改訂版), pp.117-118, 244, 272-279.
- 社団法人 日本道路協会 (1990) : 道路防雪便覧, pp.106-107.
- 村田晴彦, 河島克久 (2021) : 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, p.64.
- 河島克久, 伊豫部勉 (2021) : 大雪による車両滞留の危険度評価システムの開発と試験的運用, 雪氷研究大会 (2021・千葉-オンライン) 講演要旨集, p.62.
- 白川龍生, 井手上優, 亀田貴雄 (2018) : 風冷積算寒度および累計降雪量による冬季道路管理のための新しい冬の厳しさ指数の提案, 雪氷研究大会 (2018・札幌) 講演要旨集, p.95.
- 日本雪氷学会 : 新版雪氷辞典, 古今書院, p.166, 2014.
- 日本雪氷学会 : 新版雪氷辞典, 古今書院, p.190, 2014.
- 国立研究開発法人土木研究所 : 平成 26 年度プロジェクト研究・重点研究報告書、極端な暴風雪の評価技術に関する研究、2015.
<https://www.pwri.go.jp/jpn/results/report/report-project/2014/pdf/ju-46.pdf> (2022 年 5 月 30 日閲覧)
- 国立研究開発法人土木研究所 : 平成 27 年度プロジェクト研究・重点研究報告書、極端な暴風雪の評価技術に関する研究、2016.
<https://www.pwri.go.jp/jpn/results/report/report-project/2015/pdf/ju-69.pdf> (2022 年 5 月 30 日閲覧)
- 国立研究開発法人土木研究所 : 平成 28 年度 研究開発プログラム報告書、極端気象がもたらす雪氷災害の被害軽減のための技術の開発、2017.
<https://www.pwri.go.jp/jpn/results/report/report-program/2016/pdf/pro-5.pdf> (2022 年 5 月 30 日閲覧)
- 国立研究開発法人土木研究所 : 平成 29 年度研究開発プログラム報告書、極端気象がもたらす雪氷災害の被害軽減のための技術の開発、2018.
<https://www.pwri.go.jp/jpn/results/report/report-program/2017/pdf/pro-5.pdf> (2022 年 5 月 30 日閲覧)
- 国立研究開発法人土木研究所 : 平成 30 年度研究開発プログラム報告書、極端気象がもたらす雪氷災害の被害軽減のための技術の開発、2019.
<https://www.pwri.go.jp/jpn/results/report/report-program/2018/pdf/pro-5.pdf> (2022 年 5 月 30 日閲覧)
- 国立研究開発法人土木研究所 : 令和元年度研究開発プログラム報告書、極端気象がもたらす雪氷災害の被害軽減のための技術の開発、2020.
<https://www.pwri.go.jp/jpn/results/report/report-program/2019/pdf/pro-5.pdf> (2022 年 5 月 30 日閲覧)
- 国立研究開発法人土木研究所 : 令和 2 年度研究開発プログラム報告書、極端気象がもたらす雪氷災害の被害軽減のための技術の開発、2021.
<https://www.pwri.go.jp/jpn/results/report/report-program/2020/pdf/pro-5.pdf> (2022 年 5 月 30 日閲覧)
- Budd, W. F et al. : The Drifting of Non-uniform Snow Particles. Studies in Antarctic Meteorology、American Geophysical Union、Antarctic Research Series、9、pp.59-70、1966.
- 小林大二ほか : みぞによる地吹雪量の測定. 低温科学・物理編、27、pp.99-106、1969.
- Kobayashi, D : Studies of Snow Transport in Low-

5 極端気象がもたらす雪氷災害の被害軽減のための技術の開発

- Level Drifting Snow. Contributions from the Institute of Low Temperature Science, A24, pp.1-58, 1972.
- 23) Takeuchi.M : Vertical profile and horizontal increase of drift-snow transport, J.Glaciology, 26, pp.481-492, 1980.
- 24) 松澤勝ほか: 風速と吹雪量の経験式の適用に関する一考察, 寒地技術論文報告集, 26, pp.45-48, 2010.
- 25) 日本雪氷学会: 新版雪氷辞典, 古今書院, p.52, 2014.
- 26) 日本雪氷学会: 新版雪氷辞典, 古今書院, p.50, 2014.
- 27) Sevruck: Summary report. Correction of Precipitation Measurements, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, pp.13-23, 1985.
- 28) Goodison, B.E et al.: WMO Solid Precipitation Measurement Intercomparison Final Report, WMO, p.14, 1998.
- 29) 竹内政夫: 吹雪と吹きだまりの発生機構, 鉄道土木, 26, 12, pp.41-44, 1984.
- 30) Schmidt.R A : A system that measures blowing snow, USDA, Forest Service Research Paper, RM-194, 1977.
- 31) Ishizaka.M et al.: A New Method for Identifying the Main Type of Solid Hydrometeors Contributing to Snowfall from Measured Size-Fall Speed Relationship, Journal of the Meteorological Society of Japan, Vol.91, No.6, pp.747-762, 2013.
- 32) 大浦浩文ほか: 地ふぶき時における風速の垂直分布特性, 低温科学・物理篇, 25, pp.73-88, 1967.
- 33) 原田裕介, 大宮哲, 武知洋太, 高橋丞二 (2020) : 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, pp. 21-26.
- 34) 武知洋太, 松澤勝, 國分徹哉, 大宮哲, 原田裕介 (2016) : “吹雪の視界情報”における吹雪視程推定手法について. 寒地技術論文報告集, 32, pp.157-162.
- 35) Harada, Y., S. Omiya, H. Takechi, A. Nishimura (2022): Investigation of Evaluation Indexes for Severe Snowstorm Events, XVIth World Winter Service and Road Resilience Congress Calgary 2022.
- 36) 独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所 (2011) : 道路吹雪対策マニュアル (平成23年改訂版), pp.1-2-1 - 1-2-11.
- 37) 加治屋安彦, 松沢勝, 鈴木武彦, 丹治和博, 金田安弘 (2004) : 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, pp.325-331.
- 38) 金子学, 松澤勝, 渡邊崇史 (2013) : 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.
- 39) 国土交通省, 2018: 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/toukidourokanri/giji04.html> (2022年4月1日閲覧).
- 40) 松澤勝 (2020) : 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, pp.39-42.
- 41) 松沢勝, 加治屋安彦, 伊東靖彦 (2004) : 道路上のドライバーの目線の高さの視程に与える雪堤の影響, 寒地技術論文・報告集, 20, pp.310-317.
- 42) 松澤勝 (2016) : 降雪を伴う吹雪時の吹雪量推定手法に関する研究, 雪氷, 78, pp.255-268.
- 43) 武知洋太, 松澤勝, 中村浩 (2009) : 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, 28, pp.17-20.
- 44) 武知洋太, 大宮哲, 高橋丞二, 金子学, 松澤勝 (2020) : 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—石狩吹雪実験場における観測事例より—, 寒地土木研究所月報, 801, pp.53-59.
- 45) 武知洋太, 大久保幸治, 大宮哲, 原田裕介, 西村敦史 (2022) : 気象条件を用いた吹雪時の視程推定手法の北海道外への適用に向けた改良効果, 寒地土木研究所月報, 830, pp.2-13.
- 46) 内閣府 (2021) : 避難情報に関するガイドライン, 132pp.
- 47) 藤部文昭 (2011) : 極値分布関数の適合度評価に関する検討, 天気, 58, pp.765-775.
- 48) 中小河川計画検討会 (1999) : 中小河川計画の手引き(案), (財) 国土開発技術研究センター, pp.47-54.
- 49) 気象庁 (2007) : 異常気象リスクマップ, www.data.kishou.go.jp/climate/riskmap/cal_qt.html; 2022年4月15日閲覧.
- 50) 原田裕介, 松下拓樹, 松澤勝 (2016) : 積雪寒冷地における短期集中降雪と寒さに関する指標の将来傾向, 日本雪工学会論文集, 32, pp.31-42.
- 51) Kayaba, N., T. Yamada, S. Hayashi, K. Onogi, S. Kobayashi, K. Yoshimoto, K. Kamiguchi, and K. Yamashita (2016): Dynamical Regional Downscaling Using the JRA-55 Reanalysis (DSJRA-55). SOLA, 12, pp.1-5.
- 52) 石坂雅昭 (2008) : 「しもざらめ雪地域」の気候条件の再検討による日本の積雪地域の質的特徴を表す新しい気

5 極端気象がもたらす雪氷災害の被害軽減のための技術の開発

- 候図, 雪氷, 70(1), pp. 3-13.
- 53) 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> ; 2022年4月19日閲覧.
- 54) 内閣府 (2021) : 防災情報のページ(防災白書),
<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/> ; 2022年4月19日閲覧.
- 55) 内閣府 (2021) : 防災情報のページ(災害情報),
<http://www.bousai.go.jp/updates/> ; 2022年4月19日閲覧.
- 56) 気象庁 (2021) : 災害をもたらした気象事例,
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/index.html> ; 2022年4月19日閲覧.
- 57) 金村直俊, 菊池勝弘 (1996) : 1995/1996年の札幌付近の大雪, 雪氷, 58(2), pp. 157-160.
- 58) 細川和彦 (2004) : 2004豪雪における雪害について. 日本雪工学会誌, 20(3), pp. 28-29.
- 59) 前田博司 (2007) : 平成18年豪雪における北陸地方の被害, 雪氷, 69(1), pp. 3-8.
- 60) 国土交通省 (2008 - 2019) : 第20回~第31回 ゆきみらい・ふゆトピア研究発表会論文集.
- 61) 尾関俊浩, 丹治和博, 谷口恭, 金田安弘, 日本雪氷学会北海道支部雪氷災害調査チーム (2010) : 2010年1月17日に北海道石狩中部で局地的に発生した大雪(その1) - 概要および雪氷災害調査 -, 北海道の雪氷, 29, pp. 81-84.
- 62) 金村直俊, 山崎学, 丹治和博, 金田安弘, 日本雪氷学会北海道支部雪氷災害調査チーム (2010) : 2010年1月17日に北海道石狩中部で局地的に発生した大雪(その2) - 豪雪時の降雪の特徴 -, 北海道の雪氷, 29, pp. 85-88.
- 63) 原田裕介, 松澤勝, 松下拓樹 (2013) : 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.
- 64) 鈴木猛康 (2015) : 山梨の豪雪災害 - その教訓は活かされるか -, 京都大学防災研究所年報, 58(A), pp. 16-23.
- 65) 森崎裕磨, 長木雄大, 藤生慎, 高山純一 (2019) : 2018年2月の北陸地方における大雪の被害と影響に関する一考察 - 金沢市・福井市を対象として -, 自然災害科学, 38(3), pp. 347-363.
- 66) 河島克久, 松元高峰, 本田明治, 上石勲, 小杉健二, 山口悟, 平島寛行, 山下克也, 安達聖, 伊豫部勉, 高橋徹, 本谷研, 藤本明宏, 宮島昌克, 池本敏和 (2018) : 北陸地方を中心とした広域雪氷災害に関する調査研究, 自然災害科学総合シンポジウム講演論文集, 55, pp. 43-55.
- 67) 気象庁 : 気圧配置 気団・前線・気圧配置・天気図・気圧系の発達, 移動に関する用語,
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/haichi3.html (2022年4月19日閲覧)
- 68) 藤本明宏, 河島克久, 渡部俊, 村田晴彦 (2021) : 大雪時のスタック車両発生メカニズムの解明, 雪氷, 83, pp. 507-522.
- 69) 斎藤博英 (1971) : 降雪の強さと視程, 国立防災科学技術センター研究報告, 第5号
- 70) 中村勉 (1986) : 雪氷災害とその特徴, 雪氷防災, 白亜書房, pp. 1-13.
- 71) 気象庁予報部 (2009) : 平成21年度数値予報研修テキスト, 数値予報解説資料(42), pp. 28.
- 72) (社)日本雪氷学会北海道支部 (2009) : 雪氷研究の系譜, 260pp.
- 73) 国土交通省国土地理院, ハザードマップ,
<https://www.gsi.go.jp/hokkaido/bousai-hazard-hazard> (2022年5月23日閲覧)
- 74) Bailey, T.C. and Gatrell, A.C. (1995) Interactive Spatial Data Analysis. Vol. 413, Longman Scientific & Technical, Essex.
- 75) 気象庁、平成18年豪雪,
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2005/200512/gousetsu18.html>; 2022年5月23日閲覧
- 76) 国土交通省 : タイムライン(防災行動計画)策定・活用指針(初版)、34pp、2016.
- 77) 気象庁 | 今後の雪(降雪短時間予報) :
<https://www.jma.go.jp/bosai/snow/> (2022年1月17日閲覧)
- 78) 原田裕介、國分徹哉、武知洋太、松澤勝 : 吹雪時の冬期道路環境が利用者の走行ルート選定に与える影響について、日本雪工学会論文集、31(3)、pp. 59-67、2015.
- 79) 北の道ナビ【吹雪の視界情報 北海道版】 :
<http://northern-road.jp/navi/touge/fubuki.htm> (2022年1月17日閲覧)