

暴風雪および大雪のハザードマップの開発

Development of Severe Snowstorm and Heavy Snowfall Hazard Maps

原田裕介¹, 大宮 哲¹, 武知洋太¹, 西村敦史¹

Yusuke. HARADA¹, Satoshi. OMIYA¹, Hiroataka. TAKECHI¹, Atsushi. NISHIMURA¹

¹ 国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所

¹Civil Engineering Research Institute for Cold Region, Public Works Research Institute

1. はじめに

近年、急速に発達した爆弾低気圧や日本海寒帯気団収束帯(JPCZ)などによってもたらされる暴風雪や大雪に伴い、多数の車両の立往生や長時間に亘る通行止めなどの障害が度重なって発生している。筆者らは、暴風雪・大雪災害の被害軽減に資するために、一回の暴風雪や大雪の厳しさを評価する指標として、「障害度（道路路線・区間の障害を段階的に示す線的な指標）」と「警戒レベル（道路ネットワークの障害や地域の災害の規模を示す面的な指標）」を提示した¹⁾³⁾。本論文では、道路計画や維持管理の判断支援材料となるよう、暴風雪は新潟県以北、大雪は積雪地域を対象に、上記評価指標などの発生頻度や地域性を把握する

ためのハザードマップを開発した過程とその特徴を示す。

2. 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」⁴⁾とされる。例えば、洪水や高潮において浸水が想定される区域や水深を表現したものと、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。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、国土交通省本省や北海道開発局を例と

表-1 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られる要件	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、発生頻度、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	✓ 発生しうる災害規模、頻度が管轄・隣接区域単位でわかる ✓ 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） など	✓ 発生している、発生が予想される災害規模が管轄・隣接区域でわかる ✓ 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、発生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）

原田裕介（国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所）

〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34 tel: 011-841-1746 fax: 011-841-9747 e-mail: harada-y@ceri.go.jp

した道路管理の体制、およびヒアリング結果⁹⁾を基に整理した(表-1)。ハザードマップに求められる要件は、「利用者」(国土交通省本省・北海道開発局本局、現業の道路管理者(開発建設部本部、道路事務所、維持業者)、道路利用者)や、「利用場面」(計画段階(事前対応)、事象発生時(その前後を含む))によって異なると考えられる。利用場面のうち「計画段階」では、道路計画や維持管理体制の検討時、ならびに道路利用者への平常時の注意喚起として、過去の気象データを用いた“静的”なハザードマップの利用が想定される。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など)に、気象の現況値や予測値を用いた“動的”または“リアルタイム”なハザードマップの利用が想定される。本開発では、道路管理者や道路利用者が「計画段階」で活用することを想定した、“静的”なハザードマップを対象とした。このハザードマップは、地方自治体での暴風雪や大雪のリスク把握など、表-1で設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。

つぎに、暴風雪・大雪のハザードマップのコンセプトについて考える。暴風雪・大雪における「ハザード」は、事象の「規模」のみでなく、それに伴う交通障害などの「発生頻度」もあげられる。その理由として、暴風雪や大雪は、主に交通障害などを誘発することにより災害へと発展することから、長期間で考えた場合、既往最大の「規模」を示すほかに、交通障害などが発生する「規模」における「発生頻度」も、ハザードマップの重要な表示要素と考えられるためである。

3. ハザードマップの表示要素および表示方法

2章を踏まえて、暴風雪・大雪のハザードマップの表示要素(規模・発生頻度)、および表示方法を検討した。

3.1 ハザードマップの表示要素

3.1.1 暴風雪および大雪の規模

暴風雪および大雪の規模を示す要素として、道路路線・区間の厳しさを評価する段階的な指標である「障害度」¹⁾を採用した(表-2)。また、既往最大の厳しさを把握するために、吹きだまり深さ²⁾および降雪量の24時間最大値を採用した。加えて、冬期間の吹雪および降雪の度合いを示

すために、一冬期間の累積吹雪量および降雪量を採用した。

3.1.2 暴風雪および大雪の発生頻度

暴風雪および大雪の発生頻度は、災害の規模により厳しさを評価する指標である「警戒レベル」(表-3)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^{2),3)}、以下の4段階を基準とした。

- (1) 1回未満/10年
- (2) 1回以上/10年
- (3) 5回以上/10年(1回/2年以上)
- (4) 10回以上/10年(1回/1年以上)

3.2 ハザードマップの表示方法

ハザードマップの表示方法について、3.1.1および3.1.2項に基づき、以下に示す3パターンを設定した。これらの表示方法で考えられる特徴を表-4に整理した。

- パターン①: 統計値(規模・発生頻度)を直接表示する
- パターン②: 複数の要素を組み合わせる
- パターン③: 複数の要素を組み合わせた危険性を階級化して表示する

4. 暴風雪および大雪のハザードマップの作成

4.1 使用データおよびその補正方法

暴風雪・大雪の“静的な”ハザードマップの作成に際し、

表-2 暴風雪および大雪の障害度¹⁾

障害度	暴風雪の数値基準	大雪の数値基準
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	吹きだまり深さ 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

表-3 暴風雪および大雪災害の警戒レベルと再現期間^{2),3)}

警戒レベル	暴風雪および大雪災害の規模	再現期間
1	除雪	—
2	平均旅行速度の低下	—
3	通行止めまたは立往生	1~2年
4	通行止め+除雪作業困難	2~10年
5	通行止め+集落孤立(自衛隊災害派遣など)	10年超

表-4 暴風雪と大雪のハザードマップの表示方法(3パターン)、考えられる特徴、ならびに表示要素

表示方法	特徴	表示要素
パターン①: 統計値	暴風雪・大雪による障害や道路管理、地域、路線に精通した道路管理者向けである。一方で、道路利用者が活用する場合に、危険性の表現として伝わりづらい可能性がある。	規模 発生頻度
パターン②: 複数要素の組合せ	冬期を通した吹雪や降雪の発生頻度は小さいが、一回の暴風雪・大雪の規模が大きい地域を把握できる。	規模
パターン③: 階級化した危険度	道路管理者および道路利用者が利用する場合、危険性の表現として伝わりやすいものと考えられる。一方で、ハザードマップの使用者(道路管理者、道路利用者)ごとに解釈が異なる可能性がある。	規模 発生頻度

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）⁶⁾の風速 (m/s)、気温 (°C)、降雪強度 (kg/m²/s) を用いた。また、気象庁 AMeDAS（1990～2019 年度冬期（12～3 月）；暴風雪 189 地点、大雪 267 地点）の風速 (m/s)、気温 (°C)、積雪深 (cm) を用いた。ここでは、道路管理・道路利用の両方に有用なハザードマップを作成するため、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（図－1）。各データ処理の詳細や処理方法の検討について、以下に詳述する。

4.1.1 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。

4.1.2 補正值の算出

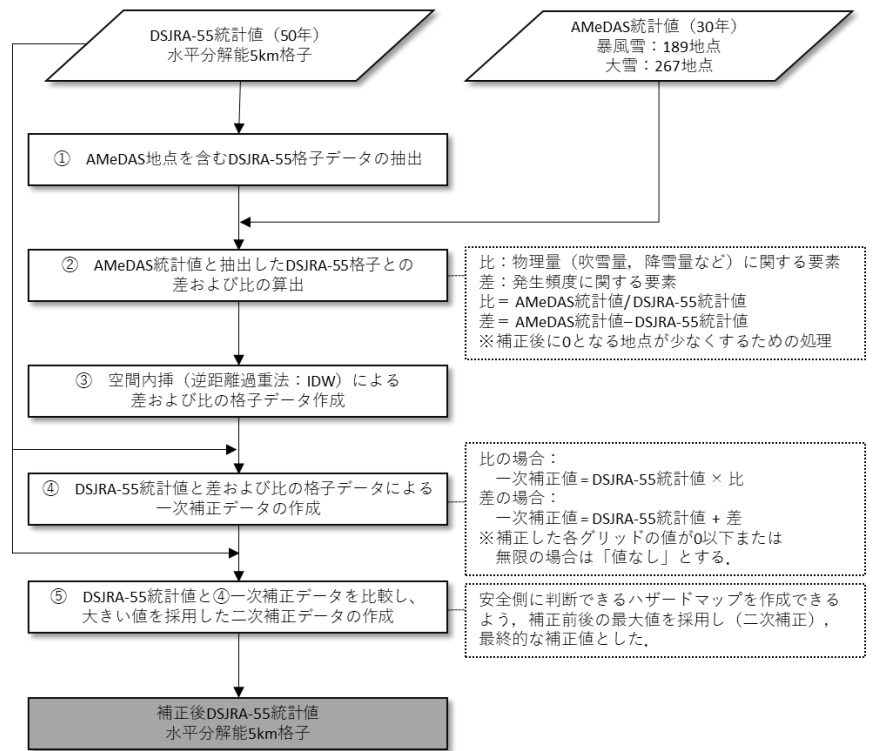
前項で抽出した DSJRA-55 統計値と、該当する AMeDAS 統計値を比較のうえ、補正後の値が 0 となる地点が少なくなるよう、吹雪量・降雪量などの物理量については比を、発生頻度については差を求め、補正に利用することとした。

4.1.3 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。本開発では、距離の重みにより加重平均を取る逆距離荷重法⁷⁾を採用した。この方法を用いることで、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。ここでは、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。

4.1.4 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）として取り扱おうと、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



図－1 DSJRA-55 統計値の補正の流れ

できるように、補正前後の最大値を採用し（二次補正）、最終的な補正值とした（図－1）。

4.2 暴風雪および大雪のハザードマップ

2 章および 3 章で検討した事項と、4.1 節で検討した手法で補正された DSJRA-55 統計値を用いて、暴風雪および大雪のハザードマップを表－4 に示すパターン①～③ごとに作成し、これらの特徴を示した。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、本開発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。

4.2.1 パターン①：統計値、パターン②：複数要素組合せ

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－5 に、各要素の分布を示すハザードマップ（パターン①）を図－2（左上・中上・右上）にそれぞれ示した。また、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－2（右下）に示した。冬期累計吹雪量が多い地域と、暴風雪の障害度の発生頻度が高い地域は、北海道の渡島・留萌・宗谷地方の日本海側や、内陸および東部の山域の一部であった。また、パターン②より、冬期累計吹雪量が少ない地域では、岩手県の太平洋側で大きな値を示した。

つぎに、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-6に、各要素の分布を示すハザードマップを(パターン①)を図-3(左上下・中上下・右上)にそれぞれ示した。また、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-3(右下)に示した。冬期累計降雪

量が多い地域は、北海道では旭川と留萌・稚内地方、日高と十勝地方、釧路と網走地方の境界の山域、本州では脊梁山脈の日本海側である。また、大雪の障害度の発生頻度が高い地域は、北海道では冬期累計降雪量の多い地域と概ね類似している、その一方で、本州では主に福井県と岐阜県の山域から新潟県、ならびに山陰地方で多い傾向にあった。加えて、パターン②では、冬期累計降雪量が少ない東北地

表-5 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
障害度	数値基準			
障害度1	視程 50m 未満 (吹雪量 300kg/m/h 以上) が3~6時間継続	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頻度	・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2	視程 50m 未満 (吹雪量 300kg/m/h 以上) が6時間以上継続	回/10年	・視程障害により通行止めが必要なほどの障害が予想される吹雪事象の発生頻度	・通行止めが発生する可能性がある区間、箇所を表現 (通行止め管理などでの利用)
障害度3	吹きだまり深さ 20cm 以上/3h (吹雪量 3000kg/m/3h 以上) が発生	回/10年	・車両 (軽自動車) の発進が困難となる吹きだまり (深さ 20cm) の発生する程度の吹雪事象の発生頻度	・吹きだまりにより走行が困難となる可能性がある区間、箇所を表現 (除雪計画、通行止め管理など)
	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)
	冬期平均累積吹雪量	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)

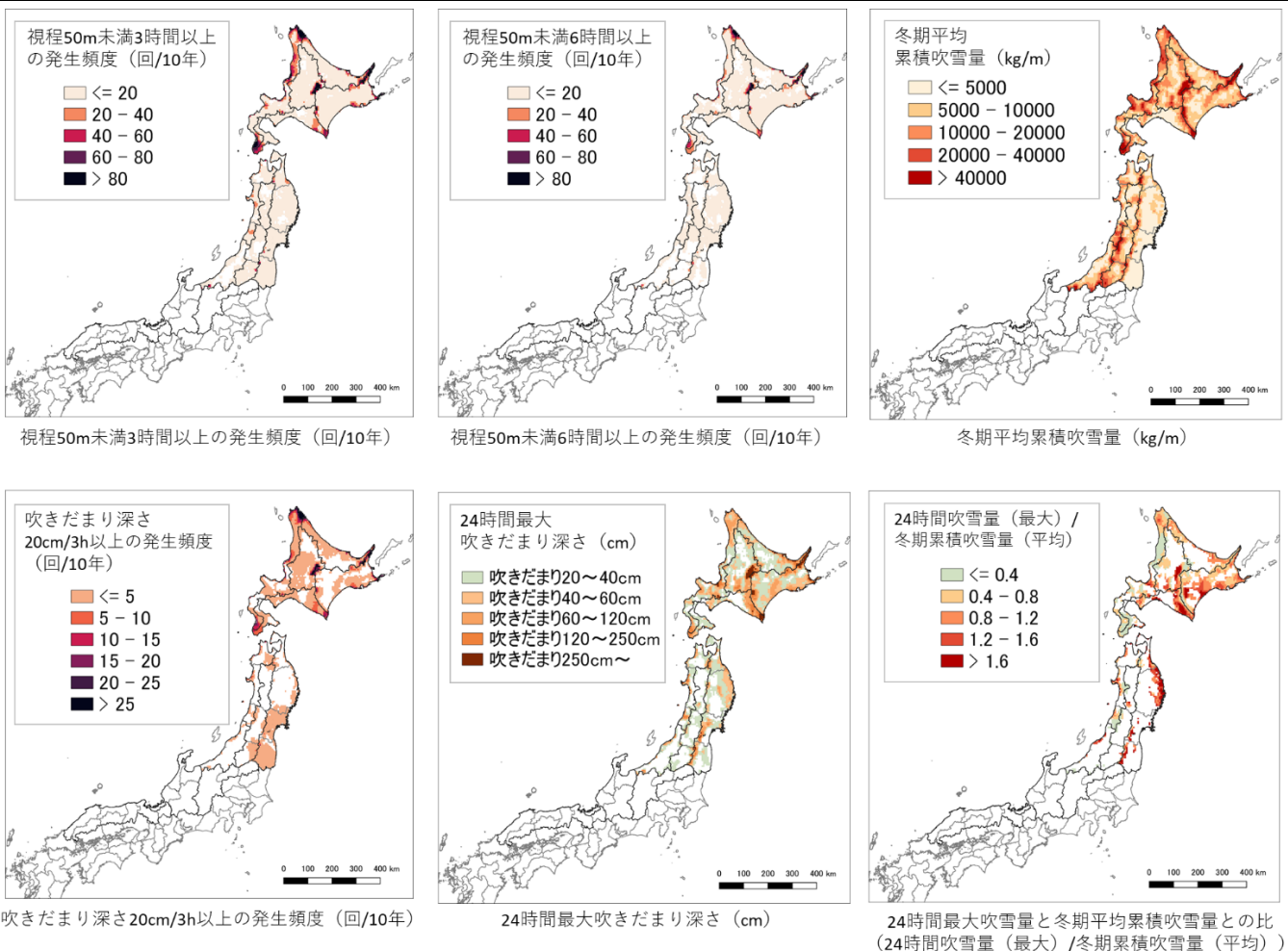


図-2 暴風雪のハザードマップ 左上下・中上下・右上; パターン① 統計値, 右下; パターン② 要素の組み合わせ

表-6 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
障害度 障害度 1 時間降雪量の積算値 40cm 以上/24h	回/10年	・車両滞留, 通行止めが発生する程度の降雪量の発生頻度	・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)
障害度 2 時間降雪量の積算値 40cm 以上/12h	回/10年	・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頻度	・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)
障害度 3 時間降雪量の積算値 20cm 以上/3h	回/10年	・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頻度	・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)
24 時間最大降雪量	cm	・1 日程度での最大の降雪量	・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)
冬期平均累積降雪量	cm	・冬期全体での降雪量の総量 ・値が大きい場合は, 多雪地域	・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)

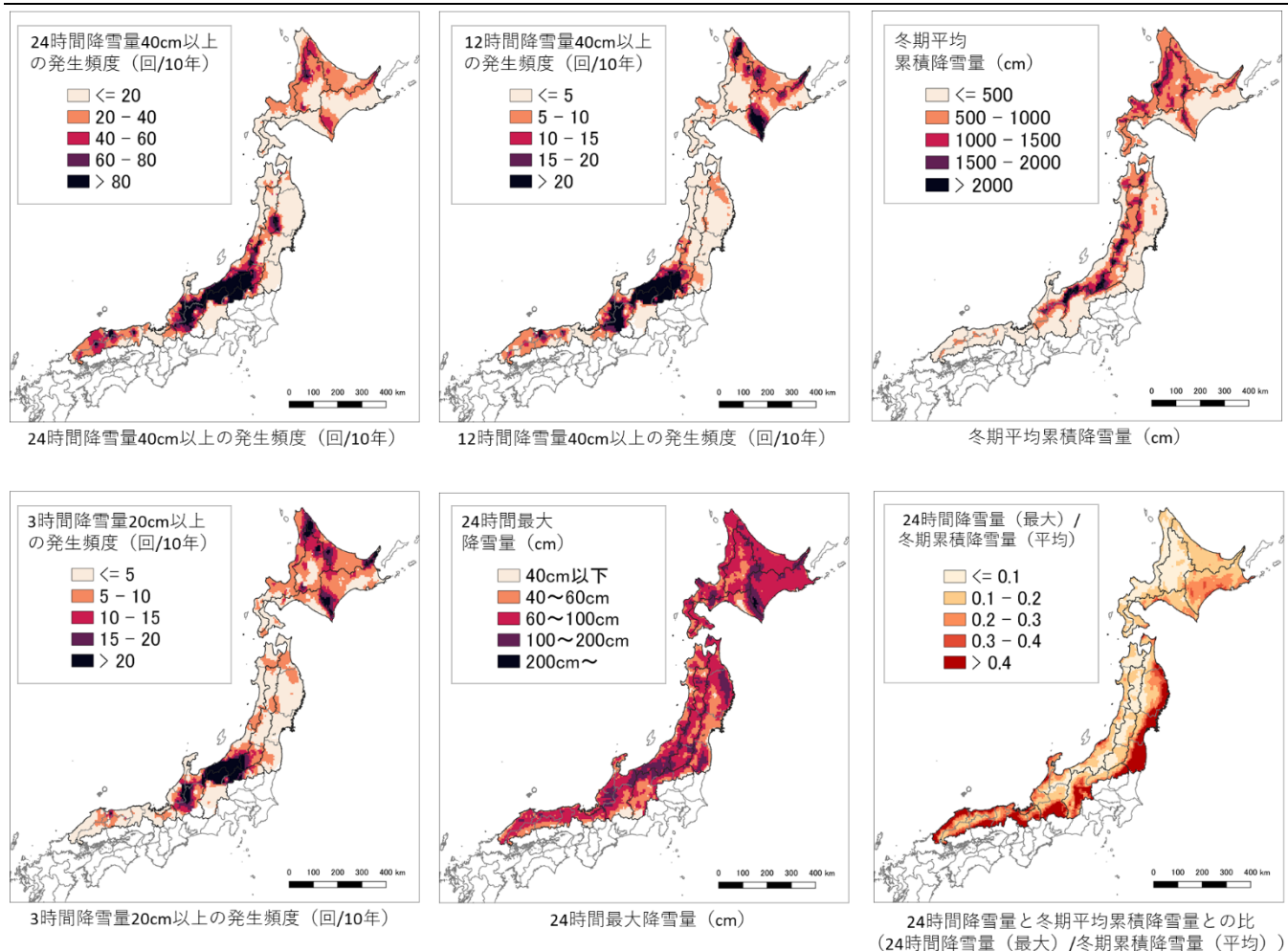


図-3 大雪のハザードマップ 左下下・中上下・右上; パターン① 統計値, 右下; パターン② 要素の組み合わせ

方の太平洋側や, 長野県中南部から広島県の積雪地域, 中国地方の日本海側沿岸で大きな値を示した。

4.2.2 パターン③: 危険度の階級化

暴風雪では, 表-1 で示した暴風雪の障害度 1~3 と, 3.1.2 項で示した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, それらの大小を表-7 に階級化した。また, 大雪では, 表-1 で示した大雪の障害度 1 と, 既往

最大値および 3.1.2 項で示した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。また, 既往文献^{8),9)}などを参考に, 豪雪年の多量降雪の発生頻度を 4 回以上/1 年と仮定し, 40 回以上/10 年を条件に加えた。それらの大小を表-8 に階級化した。表-7 と表-8, および DSJRA-55 補正值 (図-1) を用いて, 暴風雪および大雪のハザードマップを作成した (図-4, 図-5)。暴風雪の危険

表-7 暴風雪に関する階級化した危険度例

危険度	説明	表示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)

表-8 大雪に関する階級化した危険度例

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

度は、北海道の渡島・留萌・宗谷地方の日本海側、内陸部や知床半島の山城、東部の海岸沿いで高い傾向となった。また、大雪の危険度は、北海道では旭川と留萌・稚内地方、日高と十勝地方との山城、本州では主に福井県と岐阜県の山城から新潟県、ならびに山陰地方で高い傾向にあった。

謝辞: 本研究では、気象庁が提供する JRA-55 領域ダウン

スケーリング(DSJRA-55)を利用した。またこのデータセットは、文部科学省の補助事業により開発・運用されているデータ統合解析システム(DIAS)の下で、収集・提供されたものである。記して、御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 原田裕介ほか, 2022: 一回の極端な暴風雪・大雪の厳しさを評価する指標の検討. 雪氷研究大会(2022・札幌)講演要旨集, 211-212.
- 2) 原田裕介ほか, 2021: 一回の極端な暴風雪の厳しさを評価する指標の検討. 寒地技術論文報告集, 37, 69-74.
- 3) 原田裕介ほか, 2021: 一回の極端な大雪の厳しさを評価する指標の検討. 寒地技術論文報告集, 37, 75-80.
- 4) 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 10 月 19 日閲覧.
- 5) 原田裕介ほか, 2022: 暴風雪時の道路管理における判断支援方策の検討(その1). 寒地土木研究所月報, 830, 67-73.
- 6) Kayaba, N., et al., 2016: Dynamical Regional Downscaling Using the JRA-55 Reanalysis (DSJRA-55). SOLA, 12, 1-5.
- 7) Bailey, T.C. and Gatrell, A.C., 1995: Interactive Spatial Data Analysis. Vol. 413, Longman Scientific & Technical, Essex.
- 8) 原田裕介ほか, 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 回北海道開発技術研究発表会.
- 9) 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 10 月 19 日閲覧.

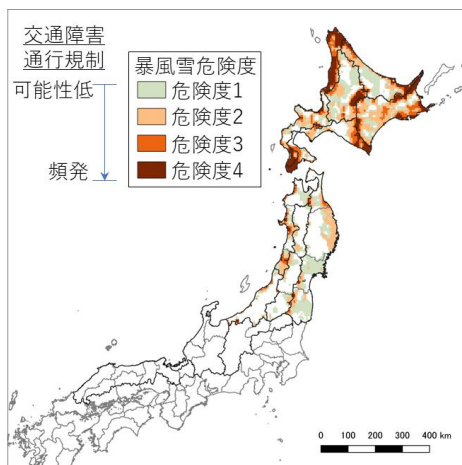


図-4 暴風雪のハザードマップ;パターン③ 階級化

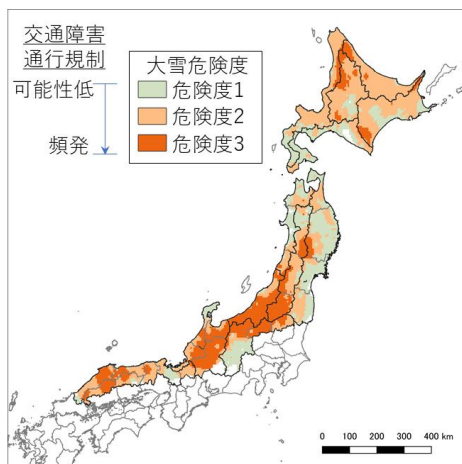


図-5 大雪のハザードマップ;パターン③ 階級化