

道路吹雪災害の発生機構と減災に向けた リスクマネジメントの適用

金田安弘¹・萩原亨²・松岡直基³・永田泰浩¹

Generation Mechanism of Blowing-Snow Disasters Hitting Road Traffic and Application of the Disaster Risk Management to Disaster Mitigation

Yasuhiro KANEDA¹, Toru HAGIWARA², Naoki MATSUOKA³ and Yasuhiro NAGATA¹

Abstract

Blowing-snow disaster damage includes road infrastructures, vehicles and road users. The damage is caused by visibility hindrance or snow drifts or both of those phenomena that are complicatedly interacted. To manage the blowing-snow disaster risks, drivers' cancelling a drive trip or road administrators' closing roads prior to the expected disaster will be effective as the risk avoidance measures. To timely realize in-advance risk avoidance actions, activating risk communications among the stakeholders including meteorologists, road administrators, media and road users will be vital as they could share the information on the disaster risk from blowing snow. Continually improving the risk communications through the PDCA Cycle may strengthen countermeasures that are realized by the stakeholders against blowing-snow disasters, which will result in the enforcement of social controllability of blowing-snow disaster risks.

キーワード：道路吹雪災害，視程障害，吹きだまり，リスクマネジメント，リスクコミュニケーション

Key words: blowing snow disaster, visibility hindrance, snow drift, risk management, risk communication

1. はじめに

2021年1月9日から11日の北陸自動車道での1000台を超える車両の立ち往生に代表されるように、大雪による道路災害が大きな社会問題となっ

ているが、より寒冷な北海道では大雪に加えて、吹雪が道路災害を深刻化させている。2021年2月16日から17日にかけては、吹雪により国道38号狩勝峠で複数の車両による事故が発生し、一時約

¹ 一般社団法人北海道開発技術センター
Hokkaido Development Engineering Center
² 北海道大学大学院工学研究院土木工学部門
Faculty of Engineering, Hokkaido University

³ 株式会社 北海道気象技術センター
Hokkaido Weather Technology Center CO.,Ltd.

100台の車両が立ち往生したほか、国道39号石北峠でも約30台の車両が立ち往生した¹⁾。2018年3月1日から2日にかけては大雪と吹雪により、車両の立ち往生が北海道各地で発生し、国道26路線45区間、延長約944 kmが通行止めとなった²⁾。2013年3月2日には、北海道東部を中心として発生した吹雪により吹きだまりが発生し、道路網が各地で寸断され、9名が亡くなる(内5名は中標津町)など甚大な被害をもたらした、社会に大きな衝撃を与えた(以降、2013年3月吹雪災害、4.3で詳述)。こうした甚大な吹雪災害以外にも、吹雪の視界不良による単独車両の事故は頻繁に発生している。

吹雪による道路災害(以降、道路吹雪災害)の軽減に向けた取組みは、関係する各々の機関で進化してきている。気象機関による気象情報の高度化、メディアによる吹雪に関する早期の情報発信、道路管理者による除雪水準の向上・防雪柵などの吹雪対策施設整備・早期の通行止めの実施、地域行政による吹雪の危険情報の発信などである。しかし、各々の組織が連携した、道路吹雪災害の軽減に対応する対策にはまだ課題がある。このため、吹雪に関する気象情報が発信されているにもかかわらず、道路管理者による通行止めの実施が遅れる、あるいは地域行政による住民の行動抑制を促す発信が行われないなどにより、前述したような吹雪中の立ち往生による痛ましい人的被害が起きてしまっている。各々の組織が一体になって、減災に動くための意思疎通が不十分となっている。

本研究では、吹雪による外力が、道路利用者の被害にどうつながるのか、その過程を具体化し、道路吹雪災害の発生を軽減する仕組みを提案する。最初に、道路吹雪災害をもたらす吹雪の外力(誘因)の特徴を明らかにする。次に、道路吹雪災害に至る過程を整理し、吹雪の外力による誘因と素因としての交通量の関係から、道路吹雪災害を新たに4つのカテゴリーに分類する。過去に北海道で発生した道路吹雪災害事象を用い、道路吹雪災害をもたらす気象の影響を示すとともに、災害発生に作用する誘因と素因の関係を明らかにする。最後に、企業経営で活用されてきているリスクマ

ネジメントの考え方を道路吹雪災害に適用し、道路災害に関係する気象機関・メディア・道路管理者・地域行政間の情報共有や意思疎通の在り方を示し、社会全体の対応力を強化するための具体的な方策を提案する。

2. 道路吹雪災害をもたらす吹雪の気象特性

2.1 吹雪現象と道路吹雪災害の特徴

吹雪は雪粒子が風によって舞い上がり、空中を移動する現象である。一旦降り積もった雪が風のために空中に吹き上げられる現象は地吹雪と呼ばれる³⁾(以下、特に断らない限り、吹雪は地吹雪を含んだ現象とする)。吹雪により、視程(水平方向での見通せる距離³⁾)が悪くなって、交通などの機能が正常の状態より低下する視程障害⁴⁾の発生と、飛雪が移動を停止してできた雪の堆積である吹きだまり⁴⁾の形成の2つの災害誘因が同時に進行する。

吹雪は、風が強く気温が低いほど発生しやすいが、降雪終了後の経過時間や日射が雪面状態に影響を与え雪粒子の飛び出しに関与するなど、吹雪発生の気象条件は複雑である⁵⁾。また、吹雪の発生には、風上側の地形や風の障害物の有無なども関係するため⁶⁾、吹雪の発生条件、吹雪量(風で飛んできた雪の量で、単位時間に風向に直角な単位幅を通過する雪の総量⁴⁾)の推算には課題が多く、吹雪の予測を難しくしている。

不確定要素の多い地吹雪現象を含む道路吹雪災害は、同じ降水現象である大雨災害や大雪災害に比べて予見可能性が低下する。これは、地吹雪は降雪がなくとも条件さえそろえば発生し得ること、また地吹雪として雪面から空中に供給される雪の量には、同じ気象条件でも大きな幅があることなどによる。

2.2 視程障害

吹雪は降雪の他に積雪表面から舞い上げられる地吹雪も加わるため、吹雪による災害誘因の一つの視程障害は、気象や地形等の変化に敏感である。短い時間で、あるいは少しの場所の違いにより視

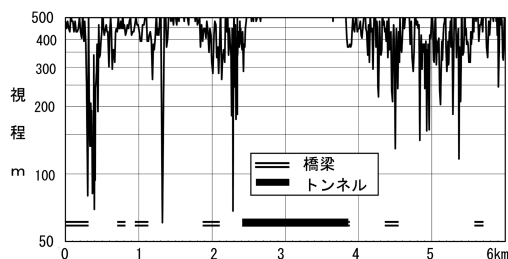


図1 北海道の上川町と上士幌町を結ぶ国道273号三国峠付近における、視程計を搭載した車両による吹雪時の道路上の視程の計測事例(計測日:1996年3月18日)

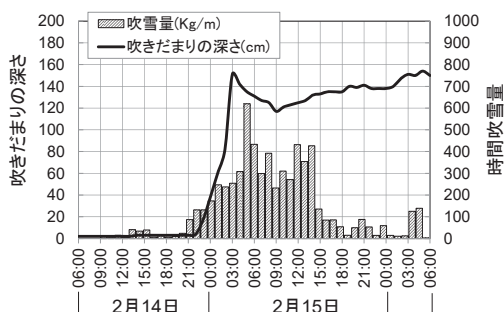
程は大きく変化する。沿道環境により局所的に吹雪が発生しやすい箇所があるため、視界良好の状態から一瞬で、視程障害に陥る場合がある。

図1は気象計器を搭載した車両による、北海道の上川町と上士幌町を結ぶ国道273号三国峠付近の山岳道路における、吹雪時の道路上の視程の計測事例である。計測日は冬型の気圧配置で、山麓のぬかびら源泉郷アメダスでは前日から降雪があり、気温もマイナスで推移していたことから、地吹雪の発生しやすい条件下にあった。沿道は沢や尾根が入り組んでいるため、路上の視程は数 km の間で500 m 以上から約50 m まで局所的に大きく変化している。こうした急激な視程の変動は、同じ視程障害をもたらす降雪や霧にはない吹雪現象の特徴の1つである。

2.3 吹きだまり

吹雪によるもう一つの災害誘因は、吹雪時に風で運ばれてきた雪が道路上にたまる現象、吹きだまりである。図2に、北海道中標津町の道道、上武計根別停車場線における、道路センター付近の吹きだまりの深さ(路側の固定式視線誘導柱に取り付けた光学式積雪深センサーにより計測)と、計測地点にもっとも近い上標津アメダスデータから推算した吹雪量の推移を示す。

計測時、対象箇所は通行止めであった。2015年2月14日日中の道路上の雪の深さは2~3 cm だったが、22時以降、本格的にふぶき始めてから5時間ほどで、道路センター付近の吹きだまりの深さは約150 cm に達した。2月13日午後から2



注) 吹雪量は近傍の上標津アメダスのデータを基に、松澤ら(2002)の手法により、地上高5 m までの飛雪流量を高さ方向に積算して算出

図2 北海道中標津町の道道、上武計根別停車場線における、吹雪による道路上の吹きだまりの計測事例(2015年2月14日~15日)。間山ら(2015)の図を改変

月14日夕方にかけて、計測地点近傍の中標津アメダス、根室中標津アメダスで断続的な降雪が記録されていた(なお、上標津アメダスでは積雪深観測は実施されていない)。上標津アメダスでは、2月14日21時以降、15日日中にかけて10 m/s を超える強風が継続した。地吹雪は降雪がなくても条件さえそろえば発生する。計測箇所の吹走距離(吹雪発生地点からの風が吹く距離で、距離とともに吹雪は発達し吹雪量が増加する⁴⁾)は300 m 以上で開けており、地吹雪が発達しやすい状況下にあった。調査箇所の地形形状(片切土)から、道路上の深さ約150 cm の吹きだまりは、地吹雪により形成されたものと考えられた。なお、2月15日3時以降、吹きだまりの深さは増えていないが、これは吹きだまりが平衡状態に達し、吹雪が続いても雪がたまらず一定の形状を保っていたことを示唆している。

ふぶくことで、短時間に降雪の数倍の量の雪によって形成されるのが吹きだまりである。吹雪、特に地吹雪の予測にはまだ技術的課題があるため、いつどこでどの程度の吹きだまりが形成されるかを定量的かつ正確に把握するには、現時点ではまだ課題がある。この吹雪の不確実性が、道路吹雪災害の背景にある。視程の激しい変化(図1)、短時間での吹きだまりによる積雪の深さの急激な増加(図2)、こうした現象の急変動が吹雪現象

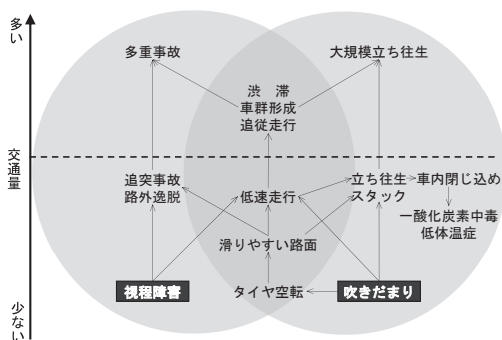


図3 視程障害と吹きだまりにより発生する道路吹雪災害

の最大の特徴である。

3. 道路吹雪災害の分類

3.1 視程障害と吹きだまりにより発生する道路吹雪災害

図3に示すように、道路吹雪災害は視程が悪くなること（視程障害）と、道路に雪がたまること（吹きだまり）の2つの事象が複合して起きる。図3の左側に示すように、視程が悪いことがきっかけとなる代表的な災害が追突事故である。交通量が多く車両が連なっていると、車群が形成され多重事故につながる^{9),10)} (4.1参照)。図3の右側に示すように、吹きだまりによりタイヤが空転すると、車が動けなくなる事象（スタック）が起きる¹¹⁾。交通量が多いと後続の車もスタックし、大規模な立ち往生に拡大する (4.2参照)。一方、交通量の少ない道路において単独でスタックし発見が遅れると、致命的な人的災害に至る場合もある (4.3参照)。視程障害と吹きだまりのそれぞれ単独の災害もあれば、両者が複合して災害になる場合もある。

3.2 道路吹雪災害の4つのカテゴリー

道路吹雪災害は、視程障害と吹きだまりの2つの誘因が複合して起きるが、発生する被害規模は交通量によって異なる。道路吹雪災害を、主要因が吹きだまりか視程障害か、また交通量が多いために複数の車両が連なり、前方の車両に追従して走行していたか、交通量が少なく単独の車両が他

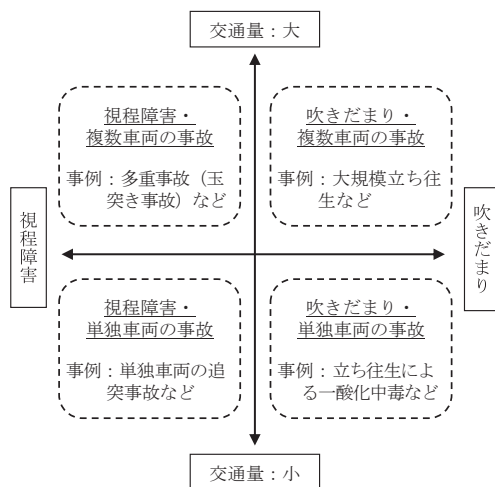


図4 道路吹雪災害の4つのカテゴリー

の車両の影響を受けずに走行していたかで、大きく4つのカテゴリーに新たに分類した (図4)。

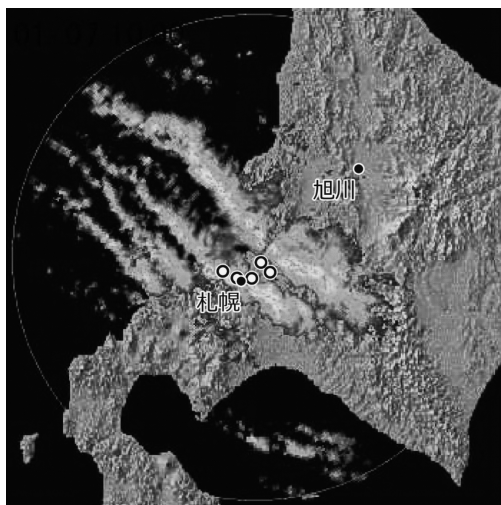
「視程障害・複数車両の事故」および「吹きだまり・複数車両の事故」の代表的な道路災害事例として、それぞれ玉突きによる多重事故、大規模立ち往生が挙げられる。単独の車両による事故でも「吹きだまり・単独車両の事故」では、2013年3月吹雪災害のように、立ち往生による一酸化中毒で死亡事故に至る場合もある。

4. 過去の道路吹雪災害における気象の影響

「視程障害・複数車両の事故」、「吹きだまり・複数車両の事故」、「吹きだまり・単独車両の事故」が発生した過去の道路吹雪災害事例を用いて、吹雪時の気象が道路吹雪災害に与えた影響を分析した。

4.1 視程障害による多重事故事例 (視程障害・複数車両の事故)

視程障害が誘因となった多重事故が、札幌圏で多発した事例を取り上げる。1988年1月7日は強い冬型の気圧配置で、日本海側を中心に猛吹雪となった⁹⁾。同日日中、札幌圏を中心に北海道で8件の多重事故が発生し、内6件は札幌市周辺に集中した。事故発生時前後のレーダー画像 (図5)



注) 白丸は6件の事故発生地点(内、1地点は同一箇所の上下車線で2件の事故発生)を示す

図5 札幌近郊での多重事故多発時のレーダー画像(1988年1月7日10時)

によれば、寒気の流入を示す北西から南東に延びる筋状雲が日本海から入り込んでいる様子がわかる。図5には、多重事故発生地点を白丸で示した。

筋状雲は時間と共に位置を変えたため、降雪が集中する箇所も時々刻々変化した。降雪域を降雪強度分布で表したのが図6である。図6の等値線は、札幌市周辺に配置された赤外線降雪検知器による、降雪パルスの強度に基づく降雪強度の相対値である。1月7日午前中は、降雪域が札幌を中心に散在シランダムに移動していたが、午後になると北西から南東方向に向かう帯状の降雪域が形成された。図6の図中に記した黒丸は、観測時刻に近い時間帯で発生した多重事故発生地点の位置である。5件の事故位置(内2件は同一箇所の上下車線で別々に発生)は降雪域と重なっている。図6は、降雪と吹雪による視程障害発生区域に車両が入り込んだ際に、多重事故が発生していたことを示している。視界が良いところを走行していたドライバーが、視程障害発生域の中に入り突然視界を失ったことにより、多重衝突が起きたもので、局所的に視程が急変する吹雪の気象特性を反映した事故と言える。こうした気象の影響に加えて、複数車両による車群の形成や、車群に大型車

が混入したことも多重事故の要因として挙げられている⁹⁾。

4.2 吹きだまりによる大規模立ち往生事例(吹きだまり・複数車両の事故)

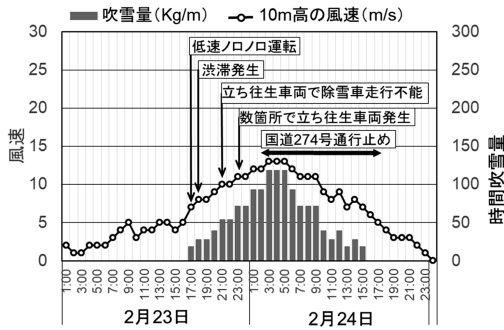
2008年2月23日から24日にかけて急速に発達した低気圧が北海道の南を通過し、北海道中央部を中心に激しい吹雪となった。札幌市近郊に位置する長沼町の国道274号では大規模な立ち往生が発生した。図7に、立ち往生区間近傍の長沼アメダスの風速および気象データから推算した吹雪量の推移を示す。2月23日17時に風速が7 m/s となり、吹雪量が増え始めた。同日21時には風速が10 m/s を越え、2月24日09時まで風速10 m/s 以上の北寄りの強風が続いた。吹雪量のピークは2月24日3時から5時にかけてである。その後、吹雪量は減少したが、2月24日15時まで続いた。

竹内ら(2011)の報告によると、2月23日17時頃から国道の走行車両は低速走行になり、18時頃から渋滞となった。現場では17時頃から除雪作業が開始されたが、吹きだまりにより動けない立ち往生車両が多発した。このため除雪作業が進まず、2月24日2時から17時まで通行止めとなり、約19 km の区間にわたって約140台の車両が立ち往生した¹⁵⁾。各々の複数車両の走行が影響し合い、道路吹雪災害が拡大した事例である。

4.3 吹きだまりによる立ち往生での人的災害事例(吹きだまり・単独車両の事故)

2013年3月吹雪災害では死者9名を出した。北海道東部の中標津町では、家族4人の乗った車両が視程障害の条件下で走行中に、吹きだまりにより動けなくなったことにより車両が雪に埋まり、車両内の家族全員が一酸化中毒で亡くなった。その他、運転中に雪で立ち往生し、車から離れ徒歩で自宅に向かった住民1名が亡くなった。

図8に、災害が発生した2013年3月2日の地上天気図と気象衛星画像を示す。日本海から低気圧が急速に発達しながら3月3日朝にかけて北海道を通過し、千島近海に進んだ。気象衛星画像を見



注) 吹雪量の推算は日本雪氷学会北海道支部編 (1991) の方法による

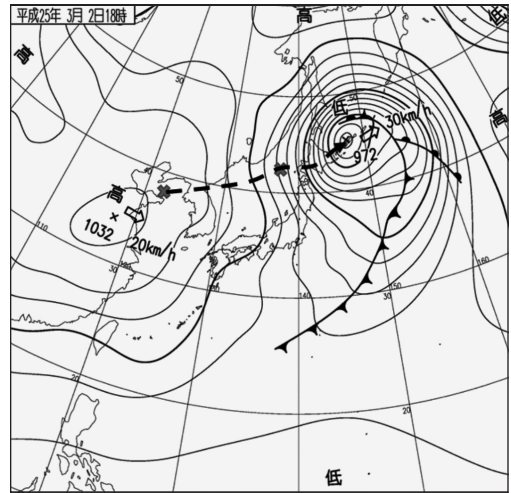
図7 2008年2月23日から24日にかけての札幌近郊長沼での道路吹雪災害発生時の風速および吹雪量の推移

日照があり、晴れが続いていた。10時20分に1.1 m/s だった平均風速が12時10分には10 m/s を越え、16時10分には16.8 m/s (最大瞬間風速28.7 m/s) と急に大きくなった。天気急変して猛吹雪となり、走行中のドライバーが災害に巻き込まれた。

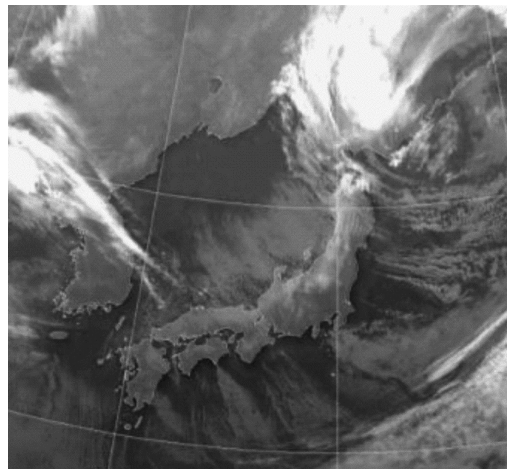
中標津町では過去にも同様な吹雪災害が発生している。1933年1月18日には猛吹雪の中で児童6名を含む7名の死亡事故が起きている。亡くなった児童の家族の言葉として、「十八日は、朝は晴れていたが、正午前から西風が吹き出し、小吹雪となった。風力はさらに勢いを増し、アレヨアレヨと思うまに大吹雪となってしまった」という記録が残っている¹⁶⁾。この惨事が起きた日の地上天気図¹⁶⁾は、2013年3月吹雪災害時の地上天気図(図8(a))に酷似している。低気圧の東進に伴い晴天から猛吹雪に急変するというきわめて似た天気変化により、中標津町では甚大な吹雪災害が繰り返された。

4.4 道路吹雪災害における気象の影響

2013年3月吹雪災害は、吹雪対策施設が各地に整備され、数値予報モデルの改善により、きめ細かなメッシュ単位の毎時気象予報が可能になった現在でも、吹きだまりが災害を引き起こす誘因として脅威であることを改めて示した。また、携帯電話などの連絡手段がある状況でも、吹きだまりで立ち往生してしまうと、救助が間に合わない致

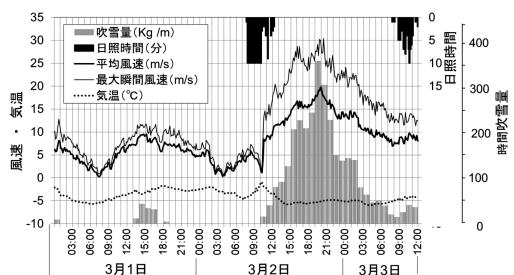


(a) 地上天気図



(b) 気象衛星画像

図8 2013年3月吹雪災害時の地上天気図と気象衛星画像(2013年3月2日18時)



注) 吹雪量の推算は日本雪氷学会北海道支部編 (1991) の方法による

図9 2013年3月吹雪災害時の気象の推移(湧別アメダス)

命的な状況に陥る可能性のあることを教訓として残した。

吹雪の特徴は突発的かつ急激な時間変動と局地性であり、これが道路吹雪災害の予測の困難さにつながり、災害の発生をもたらすことが気象の変化から示された。また、過去の道路吹雪災害において気象の変化は重要なキーとなっていたが、事故事例は、ドライバーの吹雪に対する危機意識、交通量、複数車両の中に混在する車種の違い、沿道環境など多数の素因が複雑に道路吹雪災害の発生に影響していることを示唆した。

5. 道路吹雪災害の発生機構

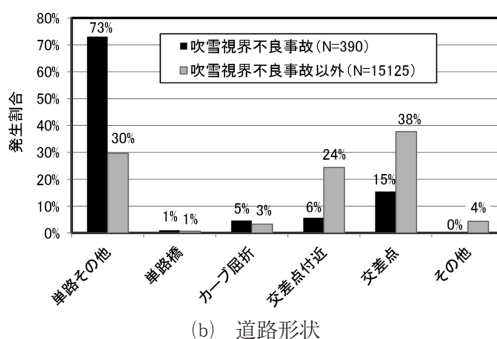
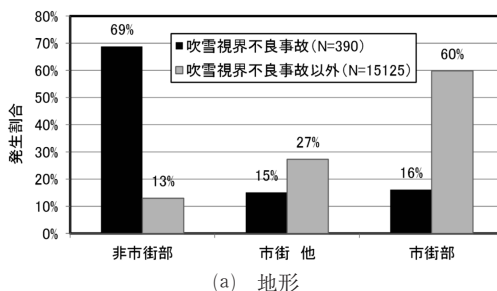
吹雪の2つの誘因（視程障害と吹きだまり）による道路吹雪災害を防止し軽減するためには、災害発生から被害拡大に至る仕組みを十分把握し、道路吹雪災害の特性に即した対策を講じる必要がある。竹内(2002)は、道路吹雪災害の被害対象をドライバー、車両、道路交通とした。吹雪の誘因（外力）を吹きだまり、視程の低下、視程の変動・局地性とし、被害対象の特性である素因、この両者に働き災害を大きくする拡大要因の3つから道路吹雪災害の構造を整理した。

吹雪の外力（誘因）である気象の影響については2章でその特徴を整理し、道路吹雪災害に気象が与えた影響については4章で事例を基に分析した。本章では被害対象の素因の内、道路と車両の特性について、それぞれ沿道環境と車種が道路吹雪災害に影響した事例を分析する。

5.1 道路の影響

図10に、吹雪による視界不良事故と同期間のそれ以外の事故について、地形および道路形状の種類別の発生割合を示す。分析には、2011年度から2013年度までの3冬期（12月～1月）に北海道で発生した交通事故データを用いた。この事故データには、視界不良事故という項目が事故原票にある。この視界不良事故とそれ以外の事故（一般的な状況における事故）に分類し、吹雪による視界不良事故の特徴を分析した。

図10(a)は、交通事故統計用語で地形と呼ばれる



注) 分析データ：北海道警察本部交通事故データ（3冬期、2011年度から2013年度、各年度11月1日～年3月31日）

図10 北海道における沿道状況が冬期の交通事故に与える影響

沿道環境の種類別の事故の発生割合を示している。これによると、吹雪による視界不良事故の約7割は「非市街部」で発生していた。図10(b)は、単路あるいは交差点などの道路形状と事故の発生割合を示している。これによると、吹雪による視界不良事故発生箇所の道路形状の約7割は「単路その他」であった。これらの結果から、地吹雪の発達しやすい郊外部の沿道環境が、視界不良事故の原因の一つとなっていることがわかる。

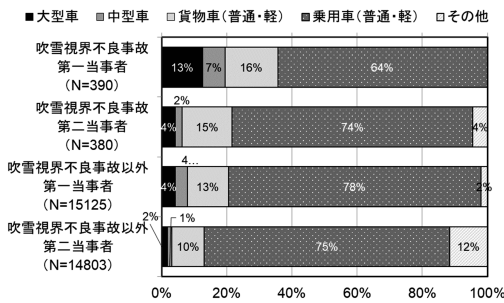
この結果は、他の大雨や大雪などの気象現象とは異なり、地吹雪を伴う吹雪現象では気象条件だけではなく、その場所の沿道環境が道路吹雪災害の発生に影響することを裏付けている。

5.2 車両の影響

車両の素因の中では、車種がもっとも重要となる。大型車と乗用車は、吹雪による視程障害時のドライバーの視界に大きな差がある。Kajiya et al. (2001) は、ドライバーの目線の高さの違いが、

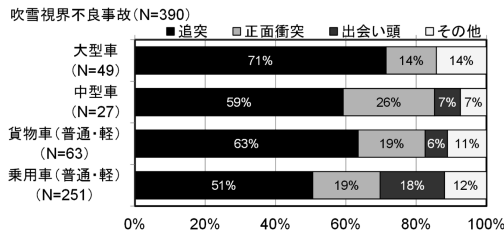
吹雪時の衝突事故の原因の1つであることを指摘している。また、福澤ら(1988)も、車両が連続する場合、短い車間距離での追従走行で大型車と小型車が混在する際に、多重事故につながることを示した。地面に近いほど、吹雪時の空気中の雪粒子濃度は大きい。目線の高さが地面に近い乗用車は、大型車に比べ視界が悪い。この差が、視程障害時の追突および多重事故の負の素因となる。

図11は、吹雪による視界不良事故と同期間のそれ以外の事故について、車種(車高)別の発生割合

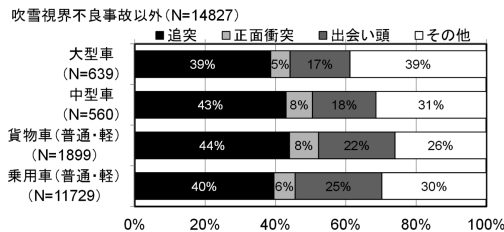


注) 分析データ：北海道警察本部交通事故データ(3冬期、2011年度から2013年度、各年度11月1日～年3月31日)

図11 北海道の冬期の交通事故における第一当事者と第二当事者の車種別の割合



(a) 吹雪による視界不良事故



(b) 吹雪による視界不良事故以外の事故

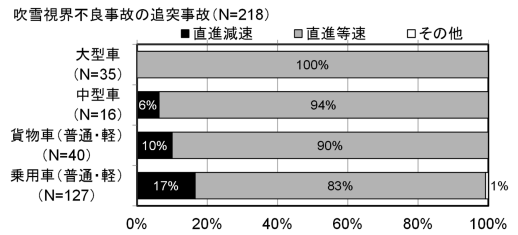
注) 分析データ：北海道警察本部交通事故データ(3冬期、2011年度から2013年度、各年度11月1日～年3月31日)

図12 北海道の冬期の交通事故における第一当事者の車種別の事故類型分類

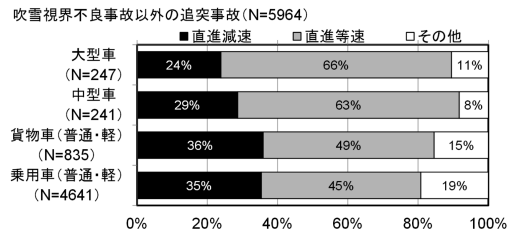
合を示している。第一当事者は事故に関与した全当事者の内、もっとも過失が重い当事者を意味する。図11によると、吹雪による視界不良事故では、大型車や中型車は乗用車より第二当事者ではなく第一当事者になる割合が高い。特に車高の高い大型車は、吹雪による視界不良事故以外で第一当事者になる割合が4%であるのに対し、吹雪による視界不良事故では13%と3倍以上になっている。

図12に吹雪による視界不良事故と同期間のそれ以外の事故について、第一当事者の事故類型を分析した結果を示す。全車種とも追突事故がもっとも多い。その割合は吹雪による視界不良事故以外では39~44%であるのに対し、吹雪視界不良事故では51~71%と追突事故の割合がより高い。また、吹雪による視界不良事故では、車高の高い大型車、中型車、貨物車が乗用車よりも追突事故の割合が高い。一方、吹雪による視界不良事故以外では、追突事故の車種による違いは小さい。

図13は吹雪による視界不良事故と同期間のそれ以外の事故について、第一当事者の追突直前の運転挙動を示している。吹雪による視界不良事故の場合、大型車は「直進等速」が100%、中型車は



(a) 吹雪による視界不良事故



(b) 吹雪による視界不良事故以外の事故

注) 分析データ：北海道警察本部交通事故データ(3冬期、2011年度から2013年度、各年度11月1日～年3月31日)

図13 北海道の冬期の交通事故における追突事故での第一当事者の追突直前の運転挙動

94%，乗用車は83%となった。車高が高くなるほど，追突時の「直進等速」の占める割合が高い。吹雪による視界不良事故以外では，「直進等速」の割合が45～66%であるのに対し，大きな違いがある。この結果は，吹雪時に普通車よりも遠くまで視界が確保できる大型車や中型車は，突発的な吹雪の発生により減速あるいは停止した乗用車に気づくのに遅れ，追突するケースが多いことを示唆している。

5.3 道路吹雪災害の仕組み

沿道環境は地吹雪の発生に関係し（図1），結果として道路吹雪災害発生に影響を与えている（図10）。車両の特性の内，車高は，吹雪による視界不良時にドライバーの見通せる視界の違いから，衝突事故を引き起こしていることが事故データから示された（図11～図13）。こうした車高の異なる車両の混在が多重事故の一因となっている（4.1）。

竹内（2002）は，道路吹雪災害発生に影響するマイナス面の拡大要因を詳細に検討し，主に道路吹雪災害の発生と激化に焦点を置いて論じている。しかし，被害軽減の視点からの系統的な整理は成されていない。また，事前のリスク回避策として有効と考えられる，通行止めを用いた冬期道路管理には言及していない。さらに，誘因と素因にマイナスの影響を与える全ての要因を拡大要因と位置付けているため，近年社会問題化している大規模立ち往生や多重事故の説明には即していない。そこで図14では，竹内（2002）の知見をベースとして，4章と5章（5.1，5.2）で示した事例も踏まえ，道路吹雪災害の発生と軽減の両方の視点から，災害発生の仕組みを新たに具体化した。

吹雪は，視程障害と吹きだまりの2つの誘因を持つ。素因は被害対象の脆さ（被害ポテンシャル）であり，外力（誘因）に対抗する防災力とみなすこともできる¹⁸⁾。なお，図14では前述のドライバーの代わりにそれらを広く含む道路利用者を用いた。

道路利用者の素因には冬道での運転技能や経験のほか，危機意識，行動変容などがある。道路の素因には，道路構造や防雪柵などの吹雪対策施設，

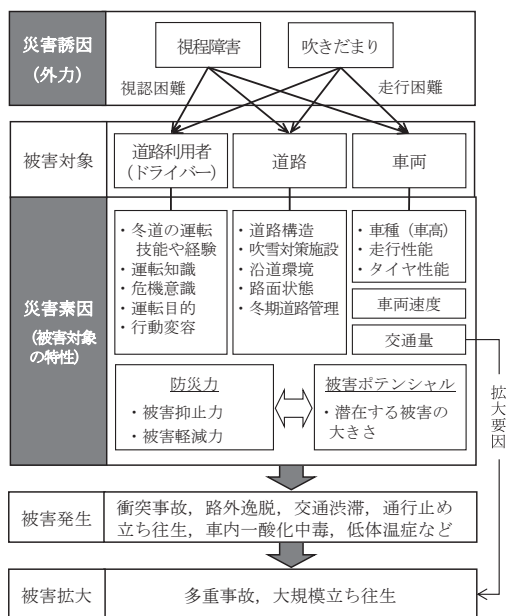


図14 道路吹雪災害発生の仕組み

沿道環境，冬期道路管理などがある。先に図1で示したように，吹雪時の視程は沿道環境に大きく依存するため，沿道環境が道路吹雪災害に与える影響は大きい。車両の素因には，車種（車高）や走行性能のほか，車両速度，交通量も含むものとする。

外力（誘因）が素因の防災力を上回ると，衝突事故，立ち往生，通行止め等の道路災害が発生する。交通量は，大規模立ち往生や多重事故のような重大事象に係り（図3，図4参照），拡大要因として作用する。

6. 道路吹雪災害のリスクマネジメント

道路吹雪災害においては，古くからハード，ソフト面から様々な取組みが行われてきたが，依然として冬期の脅威として残っている。本章では，新たな手法としてリスクマネジメントの考え方²⁰⁾を道路吹雪災害に適用し，道路吹雪災害の仕組み（図14）を踏まえつつ，吹雪による道路被害を最小限に抑える方策について検討する。

6.1 道路吹雪災害の特徴とリスク評価

一般的にリスクマネジメントでは、リスク評価の結果を基にリスク対応方針（リスク低減やリスク回避など）を選択する²⁰⁾。関ほか（2015）は、水害時の住民避難のための意思決定において、リスク評価に用いる気象や河川水位、氾濫等のリスク情報が重要な役割を果たすとしている。内閣府（2015）によると、避難勧告等に関して、例えば水害では河川水位、土砂災害では土砂災害警戒情報、高潮災害では高潮氾濫危険情報、津波災害では津波予想高さが判断基準として使われている。このように、多くの自然災害では外力（誘因）の大きさがレベル化されており、リスク情報としてリスク対策に活用されている。

これらの自然災害に対して、道路吹雪災害では災害の大きさの目安であるレベル化は実用化には至っていない。吹雪の外力（誘因）の大きさを評価する基準の一つは吹雪量である。しかし、吹雪量を計測する測定器は主に研究機関での利用に留まっている。視程障害を評価する視程計は道路管理等で使われているが、風向風速計等に比べると設置箇所は限られている。また、吹きだまりの形成に大きく影響する地吹雪は、気象庁の観測システムでの検知は困難である。風や気温のデータを用いた吹雪量や視程の予測も行われてはいるが、

吹きだまり量は気象のほか、沿道地形によっても大きく変わるなど、予測にはまだ技術的課題がある。こうした吹雪現象の特異さが、現象のレベル化が行われていない要因となっている。

大雨災害は河川氾濫や斜面崩壊を引き起こすため、避難所への避難をよぎなくされる場合が多い。これに対して吹雪災害の場合、一吹雪の雪で家屋の損壊までに至ることはなく、停電等を別にする、避難の必要はない。外出を止め、家屋に留まっているのが最大の安全対策となる。時空間的に発生予測が難しい吹雪現象では、リスク低減策だけでは限界があるため、吹雪に遭遇しないこと、すなわちリスク回避が不可欠となる。

6.2 道路吹雪災害リスクへの具体的対策

表1に、道路吹雪災害の誘因（視程障害と吹きだまり）と素因（被害対象）別に、「リスク低減」と「リスク回避」の具体的な対策を示す。道路吹雪災害では、誘因（外力）である吹きだまりや視程障害の影響を小さくする「リスク低減」対策として、道路構造による対策（防雪盛土、防雪切土など）のほか、古くから、防雪柵、防雪林、視線誘導施設などの吹雪対策施設によるハード対策が行われてきた。また、素因の内、道路に関しては、吹雪時の道路上の吹きだまりを排除雪することに

表1 道路吹雪災害リスクに対する具体的な対策

災害要因	対象	吹雪災害リスク低減策	吹雪災害リスク回避策
誘因 (外力)	吹きだまり 視程障害	道路のハード吹雪対策	
		・道路構造による対策 ・吹雪対策施設	・スノーシェルター
素因 (被害対象)	道路	冬期道路維持管理	
		・除排雪 ・道路パトロール等	・通行止め
	車両	冬道運転に適した車種	
		・高い車高 ・高い制動性能 ・運転アシスト機能 等	
道路利用者 (ドライバー)	安全意識・運転技術		運転行動変容
	・冬道運転技能 ・冬道運転経験 ・冬道運転危機意識 ・非常用備品準備等	〈情報入手〉 ・吹雪予測情報 ・通行規制情報等 ↓ 〈運転回避〉 ・運転中止 ・経路変更	

よる走行環境の確保や、吹雪発生状況を把握し通行止めの判断材料とするための道路パトロール強化が挙げられる。車両では、視程障害の影響を受け難く、かつ吹きだまりでも一定程度までは走行可能な高い車高の車種の利用などが挙げられる(5.2参照)。道路利用者(ドライバー)に関しては、冬道の運転技能や経験のほか危機意識の保有がある。道路利用者自身が吹雪災害リスクを理解し、立ち往生した際の防寒用品やスコップなど非常用備品を携行することなどが対策として挙げられる。

一方、4章、5章の過去の事故事例からもわかるように、視程障害と吹きだまりがいつどこで発生するかを正確に検知し、予測することは難しい。また、猛吹雪で吹雪の規模が大きくなると、前述のリスク低減対策では不十分となる。このため、暴風雪警報など厳しい気象状況が予測される際の道路吹雪災害リスク対策は、「リスク回避」に頼らざるを得ない。具体的には、道路管理者による早期の通行止め、道路利用者が入手した情報を基に自ら運転を中止、あるいは経路変更するなどの行動変容である。さらに、現状では難しいが、地域行政による吹雪時の行動を抑制するアナウンスなどが挙げられる。

道路吹雪災害において、ハード対策や冬期道路管理などのリスク低減対策はコストが高く、事象の発生頻度を考慮すると、これだけにたよるのは現実的ではない。早期の通行止め・道路利用者自身の行動変容・地域行政による行動抑制などのリスク回避対策の積極的な活用が、道路吹雪災害には必要不可欠と考える。

6.3 道路吹雪災害のリスク回避の成功事例

2013年3月吹雪災害以降、北海道では地域が一体となり、道路吹雪災害軽減に向けた取組み(表2)が進んだ。2014年2月16日から19日にかけて、2013年3月吹雪災害とほぼ同じ北海道東部を中心とした地域が猛吹雪となった。2013年3月と2014年2月の吹雪は、気象の特徴に違いはあるものの、共に発達した低気圧による吹雪で、吹雪量の比較から災害をもたらすポテンシャルは同程度であった²³⁾。2013年3月吹雪災害では人的被害や多数の

表2 北海道における2013年3月吹雪災害以降の道路吹雪災害軽減に向けた取組みの例

取組み対象	取組み項目
通行規制	・吹雪に対して事前に通行規制をする特殊通行規制区間の設定(※)
関係機関間の情報伝達	・通行規制情報伝達の迅速化(※)
ドライバーへの情報提供の充実	・カーナビでの暴風雪関連情報提供路線の拡充 ・コンビニでの通行規制情報等の提供 ・メディア(TV・ラジオ・コミュニティFM等)での情報提供および注意喚起 ・気象情報の表現改善(状況が具体的にイメージでき、安全確保の行動につながる表現)

※道道(北海道庁)での取組み

立ち往生車両など大きな被害があったが、2014年2月の吹雪ではそうした被害はほとんどなかった。この背景には、気象機関や行政からの早期の注意喚起情報の提供と道路利用者の危機意識の向上に加え、従来よりも早い段階での通行止めにより、リスクを回避できたことが要因として報告されている²⁴⁾。

6.4 道路吹雪災害でのリスクコミュニケーションの必要性

道路吹雪災害での主なステークホルダーは気象機関、道路管理者、地域行政、メディア、道路利用者である。萩原ら(2014)は、2014年2月の吹雪後に、吹雪の中心地域であった中標津町において、国道と道道の道路管理者、中標津町の防災関係者、中標津町住民を対象に、道路吹雪災害リスクに関するヒアリングを行った。中標津町の住民に対しては、道路吹雪災害に関する詳細なアンケート調査も実施した。これらの調査から、道路管理者は安全性の確保から地域の理解を図りつつ早期の通行止めを実施し、住民は早期の通行止めには不満を持ちつつも、止むを得ないと受け入れている実態が明らかとなった。萩原ら(2014)は、2014年2月の吹雪による被害が少なかった理由として、各々のステークホルダー間のリスクコミュニケーション(意思疎通)が図られたことが、道路吹雪災害リスク軽減に有効となったことを指摘した。これは、道路吹雪災害に対する各々のステークホルダー間の意思疎通と相互理解、すなわ

ちリスクコミュニケーションがうまく機能した事例と言える。

道路吹雪災害リスク回避対策としての通行止めや運転中止は(表1)、道路利用者の不利益につながる。運転中止によるマイナス部分と、視程障害あるいは吹きだまりに遭遇するのを避けるプラス部分のどちらかを道路利用者(地域住民)は選択しなければならない。道路利用者(地域住民)はメディア等から流れてくる情報を漫然と受けるのではなく、積極的に入手した情報を適切な行動につなげる情報リテラシーの向上が求められる。地域行政は、暴風雪が予想されている際には、利便性よりも安全性が重要な事態になっていることを、地域住民に丁寧に説明する必要がある。それにより、早期の通行止めあるいは移動抑制の呼びかけに道路利用者(地域住民)が納得し受け入れることで、地域としてのリスク回避が実現できる。一方、吹雪に関する情報を提供する気象機関、メディアは、単に情報を流すだけでなく、その情報が道路利用者にとってどう使われたか、行動にどう繋がったかまでフォローし、伝える内容を逐次改善する努力が求められる。

2013年3月の吹雪災害の翌年の2014年2月の吹雪において、リスク回避がうまく機能して小さい被害に留まった背景には、前年の甚大な被害の記憶が作用していたことが、萩原ら(2014)からわかっている。吹雪の発生状況は冬によって異なり、顕著な吹雪のない年もある。過去の道路吹雪災害の記憶に頼ることなく、各々のステークホルダー間のリスクコミュニケーションを維持していくことが重要である。そのために、冬になる前に道路吹雪災害リスクに対応する行動を各々のステークホルダーで逐次検証し、リスクコミュニケーションの維持につながるPDCAサイクルを地域行政が主体となり展開していく必要がある。

7. まとめ

本研究では、吹雪の外力である誘因の特徴は時間変動の激しさと局地性で、これが予測の困難さにつながり、道路吹雪災害発生の大きな要因になっていることを最初に明らかにした。次に、吹

雪の誘因と被害対象である道路・車両・道路利用者の各素因との関係を分析し、素因によって脆弱性が異なることを示した。全体のまとめとして、これらの結果をリスクマネジメントの観点から考察し、道路吹雪災害リスクに対応するためには、通行止めや運転中止などの「リスク回避」が鍵となることを示した。吹雪時の「リスク回避」としての行動抑制を社会で実現するには、気象機関、道路管理者、地域行政、メディア、道路利用者等、関係主体間のリスクコミュニケーション(意思疎通)の継続的な充実(改善)が重要となることを指摘した。

吹雪対策が確実に進んでいる一方、道路吹雪災害が減らないのは、道路吹雪災害リスクを各主体が正しく理解できていないためとも言える。これが吹雪に対する社会の脆弱性につながっている。特に、道路利用者の脆弱性は人的災害につながる。道路利用者には、暴風雪が予想された際に自ら命を守るために、道路吹雪災害の事前、直前、最中の各フェイズで、具体的に何をすべきかの情報リテラシーの向上が求められる。メディアには単に吹雪に関する気象情報を伝えるだけでなく、道路吹雪災害となる可能性が高い地域はどこなのか、その被害規模はどの程度なのかの情報を発信することが求められる。加えて、道路吹雪災害が起きた後は、短時間で災害を収束させるための情報を社会に伝える役割を期待したい。道路管理者は将来的な人員減に備え、地域の吹雪事情に通じたベテラン実務者の経験と暗黙知を、形式知化するシステムが必要となる。雪氷、気象および工学の専門家においては、地域行政と道路管理者などが活用できる吹雪の誘因に関する有用な情報を平常時から提供し、科学的知識を浸透させる活動が求められる。最後に地域行政には、地域防災に関する行政間の意思疎通を行い、道路利用者への情報伝達を強化しつつ、道路吹雪災害時の行動抑制などを実現するリスクコミュニケーションを強化する役割を期待したい。リスクコミュニケーションにより、各主体の道路吹雪災害リスクへの対応レベルが高まり、吹雪という複雑な気象現象による外力に対して社会全体の対応力が向上することが、

道路吹雪災害に強い社会の実現につながると考える。

謝辞

本論文を執筆するにあたり、株式会社シー・イー・サービスの正岡様、星野様には道路上の吹きだまりの計測データをご提供いただいた。札幌総合情報センター株式会社様には、多重事故発生時の各種気象データをご提供いただいた。また、北海道警察様には冬期事故のデータをご提供いただいた。これらデータをいただいた関係の方々には深く感謝とお礼を申し上げます。最後に、道路吹雪災害について、貴重な情報やご意見をいただくとともに、本研究にご協力いただいた関係の方々には深く感謝申し上げます。

参考文献

- 旭川地方気象台：令和3年2月16日から17日にかけての暴風雪と高波及び大雪に関する気象速報，https://www.jma-net.go.jp/asahikawa/shosai/sokuhou/sokuhou_file/sokuhou210224.pdf，2022年6月30日。
- 北海道開発局：令和元年度 頻発する暴風雪を踏まえた今冬の取組について，<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiGvvUyrLzAhUGQfUHHX22AdUQFnoECACQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.hkd.mlit.go.jp%2Fky%2Fstatement%2Fsplaat000001r11f-att%2Fsplaat000001r158.pdf&usg=AOvVaw2roIe2A0HZnpgseAxqieY>，2022年6月30日。
- 気象庁：気象庁が天気予報等で用いる予報用語，https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/mokuji.html，2022年6月20日。
- 日本雪氷学会編：新版雪氷辞典，古今書院，307p.，2014。
- 武知洋太・川中敏郎・松澤勝・金子学：地吹雪発生時の気象条件に関する調査，寒地土木研究所月報，No.719，pp.42-49，2013。
- 武知洋太・松澤勝・伊東靖彦・國分徹哉：吹雪視程障害発生に及ぼす沿道環境や道路構造の影響，北海道の雪氷，No.35，pp.19-22，2016。
- 間山大輔・正岡久明・星野洋・萩原亨・金田安弘・越後謙二・永田泰浩：吹きだまり推計技術の高度化に向けた基礎調査，第31回寒地技術論文・報告集，Vo.31，pp.169-173，2015。
- 松澤勝・加治屋安彦・竹内政夫：風速と降雪強度から吹雪時の視程を推定する手法について，北海道開発土木研究所月報，No.593，pp.20-27，2002。
- 福澤義文・加治屋安彦・金子学・丹治和博・金田安弘：吹雪時における多重衝突事故の発生要因とその対策について（第2報），平成10年1月7日における札幌圏の事故事例解析から，寒地技術シンポジウム論文集，Vol.14，pp.49-56，1988。
- 加治屋安彦・福澤義文・金子学・竹内政夫・丹治和博・金田安弘：吹雪時における多重衝突事故の発生要因とその対策について（第3報），安全走行支援システムの開発に向けて，寒地技術シンポジウム論文集，Vol.14，pp.57-62，1988。
- 藤本明宏・河島克久・渡部俊・村田晴彦：大雪時のスタック車両発生メカニズムの解明，雪氷，Vol.83，pp.507-522，2021。
- 金田安弘・川上俊一・山本晃・加治屋安彦・福澤義文・金子学・金村直俊：吹雪時における多重衝突事故の発生要因とその対策について（第1報），平成10年1月7日における札幌圏の暴風雪の気象特性，寒地技術シンポジウム論文集，Vol.14，pp.41-48，1988。
- 日本雪氷学会北海道支部編：雪氷調査法，北海道大学図書出版会，pp.17-19，1991。
- 竹内政夫：道路における吹雪災害の発生要因と構造・誘因と被害対象の素因，北海道の雪氷，No.30，pp.87-90，2011。
- 北海道道路管理技術センター：災害時における防災拠点としての役割，一般国道274号暴風雪災害，北の交差点，Vol.24，pp.9-10，2009。
- 宮澤清治：近・現代 日本気象災害史，イカロス出版株式会社，pp.308-312，1999。
- 竹内政夫：吹雪とその対策（4），吹雪災害の要因と構造，雪氷，Vol.64，pp.97-105，2002。
- 内閣府：防災に関する標準テキスト，218p.，https://www.bousai.go.jp/taisaku/jinzai/pdf/hyojyun_text_zentai.pdf，2007，2022年6月30日。
- Kajiya et al.: Factors Inducing Multi-vehicular Collisions During Visibility Reduced by Snowstorm. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No.1745, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.61-66, 2001.

- 20) 日本規格協会：リスクマネジメントシステム構築のための指針, 108p., 2003.
- 21) 関克己・岡安徹也・湧川勝己：水害時の住民避難のための意思決定とリスク評価・専門家の活用に関する研究, 河川技術論文集, Vol.21, pp.476-472, 2015.
- 22) 内閣府：避難勧告等の判断・伝達マニュアル作成ガイドライン, 96p., https://www.bousai.go.jp/oukyu/hinankankoku/guideline/pdf/140922_honbun.pdf, 2015, 2022年6月30日.
- 23) 松岡直基・萩原亨・金田安弘・川村文芳・中林宏典・永田泰浩：北海道における2013年と2014年の吹雪災害の比較, 北海道の雪氷, No.33, pp.27-30, 2014.
- 24) 古谷利章・福田悟史・上野正和：中標津道路事務所管内における平成25年3月2日の暴風雪対応について, ふゆトピア研究発表会論文集, pp.1-6, 2014.
- 25) 萩原亨・高橋清・金田安弘・松岡直基・管藤学・川崎雅和：吹雪による道路災害におけるリスクコミュニケーションの役割, 寒地技術論文・報告集, Vol.30, pp.128-133, 2014.
- (投稿受理：2022年4月1日
訂正稿受理：2022年7月1日)

要 旨

道路吹雪災害の3つの被害対象である道路, 車両, 道路利用者の各素因に, 誘因である視程障害および吹きだまりの外力が作用して災害が発生する。誘因と素因がそれぞれ相互に関係するため, 道路吹雪災害の構造は複雑である。本研究では, 道路吹雪災害を最小限に抑える方策についてリスクマネジメントの観点から考察した。道路吹雪災害のリスク対応では, 通行止めや運転中止などのリスク回避が重要となる。リスク回避を社会に定着させるためには, リスクコミュニケーションを通じて, 気象機関・道路管理者・メディア・道路利用者等のステークホルダー間で情報を共有し, 意思疎通と共通理解を図る必要がある。また, PDCA サイクルを通してリスクコミュニケーションを継続的に発展させることで, 道路吹雪災害リスクへの各ステークホルダーの対応レベルが高くなり, 社会全体としての吹雪災害対応力も向上すると考えられ, そのような仕組みを今後強化していくべきことを提案した。