解説・総説

吹雪とその対策(4)──吹雪災害の要因と構造──

竹内政夫1)

要旨

吹雪は道路を中心に大きな被害をもたらしている。道路における吹雪災害は,人,車,道路が一体となって構成される道路交通の特殊性から,様々な要因が影響し合う複雑な構造を持っている。吹雪災害の防止・軽減対策を組織的,効果的に行うためには,これらの要因と構造を把握する必要がある。

吹雪災害は、視程障害と吹きだまりが誘因となって、被害対象である人、車、道路・交通に働き災害を発生させている。被害対象にはそれぞれ誘因に対する強弱の素質である素因がある。誘因や素因に働いて被害を大きくする要因もあって拡大要因と呼ばれる。誘因に働く拡大要因は、道路に達する吹雪量を大きくするものがそうで、例えば吹走距離の長い沿道環境がある。素因に働くものは、ドライバーや車の性能を低下させるもので、視覚情報を阻害する道路標識の着雪、車の制動停止距離を短くする雪氷路面などもそうである。これらの要因がどのように関係し合っているかを示すものが吹雪災害の構造である。各種要因を整理し構造を図に示した。

キーワード:吹雪,吹雪災害要因,災害構造

Key words: factors affecting blowing snow disasters, structure of blowing snow disasters on highways

1. まえがき

吹雪は鉄道や道路交通を中心とした交通機関に 大きな被害を与えてきた.鉄道は吹きだまりの被 害を受けるが,軌道上を走ることから視程障害は 道路ほど大きな問題ではない.道路の吹雪災害は, 吹きだまりから視程障害へと形を変えながらも, 大型多重衝突事故の発生など道路交通の発達に伴ってますます深刻になっている.吹雪災害は,吹雪に伴う自然現象である視程障害と吹きだまりが 誘因となって,被害対象である鉄道や道路に働く ことによって発生する災害である.一般に自然災 害防止のためには,先ず災害の誘因となる現象の 特徴を知る必要があり,このシリーズでも三回に わたって吹雪の現象を中心に述べてきた.

一般に災害には誘因だけでなく,後で述べるように素因,拡大要因などと呼ばれる災害の発生や

1) 財日本気象協会北海道支社 〒 064-8555 札幌市中央区北4条西23丁目

大小に影響し合う要因がある。被害対象と直接・間接に働くこれらの要因との間には、それぞれの 災害に特有の構造がある。災害の要因と構造を明 らかにすることにより、因果関係の複雑な災害を より単純化し理解を深め、戦略的にも戦術的にも 防災対策をよりシステム的なものにすることが可 能になる。ここでは吹雪によって発生する交通事 故や道路の通行不能等を吹雪災害と定義し吹雪対 策施設の選定、設計や配置に関わる戦略的な検討 を行う際に重要な吹雪災害の要因と構造について 述べる

2. 吹雪災害の変遷――吹きだまりから視程 障害へ――

災害は自然現象と人間の営みとの関わりから生まれるため、現象は変わらなくても災害は進化、変質や消滅したりする。吹雪災害の場合も急速に発展した道路交通システムに伴って変ってきた。

吹雪災害の現在の状況を理解するために, 先ずその変遷を辿ることにする.

日本での本格的な道路除雪は、第二次世界戦争 後間もなくの 1945~ 1946年の冬に、札幌市内と 小樽-札幌間、合計55 km の区間で始まり急速に ひろまった. 初めの頃はバス路線を中心とした幹 線道路の除雪に限られていた。 道路自体の整備状 況も、除雪機械やサービスレベル、車やタイヤの 性能も悪く大雪になると日常的に道路は通行不能 になっていた. 吹雪についていえば, 当時の車で は小さな吹きだまりでも走行障害になり、都市を 結ぶ郊外の道路は頻繁に通行止めを強いられた. それでも、冬に車が走れるようになったことは、 交通手段としては鉄道の他は馬橇だけであった積 雪寒冷地にとって画期的なこととされた. 除雪路 線は増え続けたが、1956年の「積雪寒冷特別地 域における道路交通の確保に関する特別措置法」 (雪寒法) の制定に後押しされてからは更に加速 度を増して伸長した、それでも 1960 年代の初め までは鉄道が大雪や吹雪で不通になるのは災害と 認識されても、道路が閉鎖されるのは日常的であ り災害という意識は極めて薄いものであった. ち なみに、初めて北海道で道路の雪害が災害として 「気象災害年表」(札幌管区気象台) に記載された のは、1963年1月になってからのことである. よく知られるように、 雪害を災害と見る考えが深 まったのは 1960 ~ 1961 年の年末年始にかけての 北陸豪雪(36豪雪)がきっかけであった.

吹雪災害の主要因であった吹きだまり対策には 道路構造の改良,除雪機械の性能向上に加えて防 雪柵等の防雪施設が開発・改良,整備された。さ らに日中だけであった除雪が夜間も行われるなど 除雪のサービスレベルの向上によって,吹音だま りの被害は著しく減少した。その一方で路面状態 が車の走行に支障がなくても,時にはホワイト ウト(白い闇)になる視程障害を誘因とする運行 不能や事故によって,道路が渋停滞したり通行止 めにされることが増えてきた。北海道の江別市郊 外の国道12号では、1969年2月に吹雪で500台 余の車両に約1500人が閉じこめられ一夜を過ご した(図1)。完全復旧に一週間を要するという 前代未聞の事故であったが,発端は視程障害で 故を起こした一台の大型車が道路を塞いだもので



図1 北海道の江別市郊外の国道 12 号における 1969 年2 月の吹雪災害. 吹雪で 500 台余の車両に約 1500 人が閉じこめられ,完全復旧に一週間を要した.

ある.この事故は、吹雪と道路雪氷の研究を始めたばかりの筆者に、視程障害の研究を本格的に行う契機とさせたものである. 道路が改築・改良されて、きれいに除雪されるようになると、冬の道路は交通量の増大と高速走行を可能にした. その一方で交通事故は増加・大型化した. 1993年に北海道の道央自動車道路で発生した186台の車下北海道の道央自動車道路で発生した186台の車下北海道の道央自動車道路で発生した186台の車下北海道の意となっている.このように吹雪災害は、道路を塞いで車を通行不能にした吹きだまりから、ドライバーの行動のよりどころである視覚情報を奪う視程障害へと様相が大きく変化してきた.

3. 吹雪災害の要因

災害の定義は幾つかあるが、ここでは災害や要因については高橋(1977)を参考にした。高橋(1977)は「災害とは、ある平衡を保っている系が、強い外力によって破壊し、それが人間に害を及ぼす現象である」としている。災害の要因も誘因の他に、後で詳しく述べるように被害対象が素質として持っている災害に対する強度であるを要因がある。これらの要因が複雑に影響し合ってみが災害を起こしたり大きくしたりする、そのしくみが誘因を起こしたり大きくしたりする、そのしくみが誘因となって被害対象である人、車、道路で構成される道路交通に働き、交通の渋停滞、通行不能や交

通事故といった災害をもたらす. そして, 吹雪災害では誘因, 素因, 拡大要因が影響しあって被害を大きくしたり小さくしたりしている特有の構造がある. 先ず, これらの要因について述べる.

3.1 誘因――視程障害と吹きだまり――

災害を発生させる自然現象が誘因であり,吹雪の場合は視程障害と吹きだまりである。視程障害はドライバーに働いて運転に必要な視覚情報を奪い走行を不能にしたり交通事故等を誘発する.吹きだまりは車両に働き,走行性能を低下させて事故や渋停滞の原因ともなる.規模の大きなものは通行を不能にする.誘因である視程障害と吹きだまりについては,このシリーズ(竹内,1999;竹内,2000)で詳しく述べたので省略する.吹雪災害の誘因ではないが,雪煙ともよばれる,車が巻き上げる雪も視程障害の誘因になる.後で述べるように,雪煙は吹雪災害の拡大要因となっている.

3.2 被害対象とその素因

災害には被害を受ける対象がある. 吹雪災害の被害対象は道路交通システムを構成する, 人, 車, 道路 (交通を含む)であり, 災害としては交通事故 (人的損害, 車両の破損, 事故による道路施設の損壊) 道路の通行止め, 交通の渋滞・停滞などである. 全く同じ大きさ強さの吹雪でも, 被害対象であるドライバーの資質, 車の性能, 道路の線形や構造など, その素質によって事故や被害に薄いやすいか否かの違いが大きい. このように誘因に対して災害を受けやすいか否かの被害対象の強度素質のことを素因と定義する. 災害に弱い素因を負の素因, 強いものを正の素因とし被害対象別に示す.

3.2.1 人の素因 —— 多様なドライバーの個性——

交通事故対策として道路は安全施設の整備,車ではシートベルト,車やタイヤの安全設計を中心に行われてきた。大きな効果も上げてきたが,交通事故にはもう一つの要素である人の素因,即ちヒューマンファクターの占める部分が大きい。ドライバーの視覚情報が運転操作を決める主な要因である道路交通では、ドライバー一人一人の素因に依存するところが大きい。ドライバーの素因としては、経験、情報・知識、運転技能、職業、性

別,年齢別,心理や生理状態,運転観を含めた個性等,様々のものがある.一個人で見ると経験を積んで技能が向上したり,道路構造,路面の状況や気象等の正しい情報を持つことによって,正の素因になるといえる.しかし,その他の素因については,単純に優劣をつけるべきではないようにも思われる.素因の善し悪しよりも,道路交通は互いの存在が影響し合うという意味では狭い道路空間を共有する車からなりたっている.そして,ホワイトアウト等の緊急事態に遭遇した場合に,様々な個性のドライバーがとっさの判断で,それぞれ各人各様な運転行動をするため,その行動の違いが多重衝突事故のように,事故を発生させ大きくもしている一面がある.

正の素因:道路の構造,沿道環境,路面や気象状 況等の情報や知識を持つこと,冬道での運転経 験.

高度道路交通システム(ITS)における,交通,路面や気象などの情報提供もドライバーの素因を高めることが目的といえる.視程障害対策についていえば,人の目を補完する高度な視線誘導や車両の誘導が考えられている(福沢ほが,1997)。また,ITSにおける,走行支援道路システム(AHS)は道路側から情報提供によって,先進安全自動車(ASV)は車の側からドライバーの能力を補完し素因を向上させるシステムということもできる.これらのシステムに視程障害時の交通の安全を確保できる機能の開発も期待している.

3.2.2 車の素因――多様な性能――

車やタイヤの性能が向上しており、一般的には 素因はプラスに向上してきたといえよう.例えば、 四輪駆動車は多少の積雪や吹きだまりは乗り越え るし、タイヤの雪氷路面での制動性能も改良され てきた. 視程障害については、一部の車がブレー キライトの位置を高くするなどの改良が思い浮か ぶ. しかし、車種による座席の高さの違いによっ て視程障害を受ける程度の違いは非常に大きい、 吹雪粒子の濃度は地表近くになると桁違いに大き くなるので、運転席が低いほど視程障害が大きく なる. 例えば、松沢・竹内(2000)の飛雪流量か ら視程を求めると、路側の雪堤が1m以上に高く 成長した道路ではドライバーの目線が1.2m程度の小型車では視程が100mの場合でも,2.4mの目線の大型車の視程は1000m以上になることもある.後で述べる雪煙の場合も,大型車は小型車と比べてはるかに良い視程が確保されている(外塚ら,2001).

冬道でのブレーキ性能の悪いタイヤを装着した 車や,吹雪時に視程障害を受けやすい運転席の低 い車は負の素因を持つといえる.

3.2.3 道路・交通の素因――吹雪に強い道路,弱い道路――

沿道環境も道路の素因といえるが、これら道路 管理者の手のおよぼしようのないものは環境を含 めて改めて述べることとし、道路の構造と施設の 素因について述べる、道路が吹雪に強いかどうか は素因によっても評価できるので、長所短所であ る素因を知ることは対策を計画するのに重要であ る。

負の素因:前方が見通しにくい曲線道路.視標になる目標物の少ない道路.滑りやすい雪氷路面.吹きだまりや雪堤が成長しやすいガードレールやロープの張られた飛雪が吹き上がる高盛土の道路.これらはいずれも素因としてはマイナスになり,吹雪地帯では対策が必要なことが多い.

正の素因:防雪柵や林などの防雪施設が整備されている道路.上下車線が中央帯で分離された道路,特に樹木の植裁された中央帯.地表からの飛雪が届かない高さにある橋梁や道路の高架部等は吹雪に強い素因といえる.交通状況では、交通量が多く高速走行をしているときは,瞬間的な視程障害が多重衝突事故のように事故を大型化する危険がある.

拡大要因は吹雪対策の対象となり防雪計画にも 重要なので、節を改めて述べることにする.

4. 拡大要因

佐藤ら(1964)は震災を激化する脆弱な地盤など,災害を拡大,激化する諸要因を拡大要因とした。また高橋(1977)は火災を例に、空気の乾燥は火災を起きやすい素因とし、強風は拡大要因で

ある飛火を起こし火災を大きくする等,環境変化についても言及した. 吹雪災害においては,気象条件が同じでも吹雪の特徴や道路交通の特性によって,吹雪災害が発生しやすい箇所とそうでないところがある. そして,吹雪災害が発生する箇所には沿道環境や道路構造等に共通する要因がある. 吹雪災害では,具体的な対策の計画や実施設計する場合は,これらの要因を調査し把握することが非常に重要である. 竹内ほか(1976)は,対策を計画する時に簡便なこともあって,高橋(1977)が環境要因と分類したものを含めて,高橋(1977)が環境要因と分類したものを含めて,誘因や素因に働いて吹雪災害を拡大,激化する要因を拡大要因とした. 以下では竹内の考えに沿って,その後の研究成果を含めて述べる.

4.1 誘因に影響する拡大要因:沿道環境

吹きだまりや視程障害による吹雪災害は、道路 に吹き込む飛雪量が多いほど大きくなるので、吹 雪量を増大させるものは全て誘因に働く拡大要因 である. また、全体の吹雪量は同じでも目の高さ を飛ぶ飛雪量を増大させて視程障害を大きくする など、絶対的な視程の低下だけでなく、空間や時 間などの相対的な違いや変化も事故の誘因となっ ている. このことから、局地的に周辺との相対的 な視程の違いを大きくし、急に変化させる要因も また誘因に影響する拡大要因である. 誘因に働い て災害を大きくするものは沿道環境に見られるも のが多い。切土や盛土は、道路構造でもあるが沿 道環境によって拡大要因になったり逆に被害を緩 和することもあるので、沿道環境に含めた.強風 や降雪等の気象要素も吹雪量を増大させる環境要 因といえるが、これら誘因である吹雪に関係する 気象要素は,対策を考える上では現象解明に属す ることから拡大要因からは除いた. 以下に主な拡 大要因を述べる.

4.1.1 吹走距離の長い風上側のオープンスペース

風上に森林,河川,湖沼や海,密集した住宅地があると、地吹雪粒子がそれらの中に捕捉されるので、風下の吹雪量は小さくなる。しかし、風上側に広く開けた耕地や草地、結氷した河川、湖沼や海も流氷が接岸すると、吹雪災害の拡大要因となる。これは、このシリーズ(1)の「吹雪のしくみ」(竹内、1996)で紹介したように、吹雪の量的な発達・増加によるものである。風上側が吹

雪をさえぎる物のない環境では、吹雪が発生すると風下に向かって吹雪量を増しながら、飽和吹雪量になるまで発達し続けるからである。吹雪量は吹雪の発生点からの距離(吹走距離、fetch)の関数でもあることから、吹雪の危険個所を予測する場合には、道路などの防雪対象の風上の環境の把握が重要である。平成8年に改正された「道路防災総点検要領」で、風上側の地形や土地利用条件を点検項目に入れているのはこのためである。草地開発のために森林を伐採し、深刻な吹雪災害を発生させた道路の例もあるが、これは森林の防雪機能を失わせかつ吹走距離を大きくしたためである。

4.1.2 路側の雪堤

跳躍粒子は高さ方向に片対数分布, 浮遊粒子は 両対数分布する (Takeuchi, 1980). このため、地 表に近いほど飛雪濃度が高く、風速にもよるが地 表面から30cm程度の高さの間に地吹雪量の大半 が含まれる. 雪堤は除雪作業によって路側に積み 上げられた堆雪のことであるが、風上に雪堤があ ると飛雪を吹き上げることと、ドライバーの目線 が相対的に低くなるため, 吹雪時には濃度の高い 飛雪によって視程は低下する. 特に雪堤が車の運 転席と同等以上の高さになると、濃度の高い地表 近くの飛雪が視界を閉ざすので視程障害は顕著な ものになる. 視程障害だけでなく, 雪堤の風下に は吹きだまりができやすくなる. 雪堤の形は一様 でなく凹凸があり、特に風が収束する凹部の風下 では吹きだまりができやすく, 道路を横切るよう に幾つもの吹きだまりの筋が見られることがあ る. このような吹きだまりは車の走行安定性を損 ない、高速走行時にはハンドルを取られて事故を 誘発し,大きく成長すると車両の通行を不能にす る. 以上のように、路側の雪堤は視程障害や吹き だまりの拡大要因になるため、盛土を高くして雪 堤を低くする防雪盛土とよばれる方法や段切とよ ばれる雪堤を削る除雪作業が行われている.

4.1.3 切土

斜面を切り拓いてできる切土地形では、風上法 肩で風がはく離し跳躍粒子が浮遊粒子に変わり高 く舞いながら道路へ吹き込むので、吹きだまりが でき視程障害にもなる. 法肩には吹きだまりの一 種である雪庇ができるが、傾斜が緩いと雪庇は成 長して切土法面上にのびてくる. この雪庇が切土 法面上にとどまっている間は、防雪柵と同じよう に道路へ達する飛雪が捕捉されるためむしろ道路 は防雪される.しかし、吹きだまりが成長して道 路まで伸びてくると交通の障害になる. 道路まで 伸びた雪庇は高い雪堤ができたのと同じことにな り,吹きだまりだけでなく視程障害も大きくする. 雪庇が道路まで達するかどうかは、気象条件だけ でなく法面の長さと勾配にも関係する (Tabler, 1975. 石本ら, 1985). このことを利用して, 法 面を長く勾配を緩くして吹きだまりが道路に伸び ないようにした. 防雪切土とよばれる防雪工法も 行われている.このように、切土法面にたまり得 る吹きだまり量である防雪容量の大きい防雪切土 や風上側が樹林になっている切土のように、切土 は吹雪にはむしろ安全になる場合もある. 切土の 吹きだまり雪庇は深刻な交通の障害になることが 多く、20年程前までは、切土の防雪対策として 有効なのはスノーシェルターだけと考えられてい たこともあった. 防雪切土や除雪機械の性能と吹 きだまりの成長する時間を与えない除雪サービス レベルの向上により、切土でも吹きだまりによる 被害は無くなりつつある. 現在は切土が拡大要因 として大きく影響するのは、樹林のない耕地や草 地を沿道環境とする防雪容量の小さい切土や斜面 勾配の大きい法面であることが多い.

4.1.4 盛土構造

寒冷地の道路は、凍上害を防ぐ目的で路床に凍 上抑制層を入れるため、一般に盛土構造になって いる. 適当な高さの盛土は路面の雪を吹き払い雪 堤を低く抑える効果があり、この効果を積極的に 取り入れて盛土を高くする防雪盛土という吹雪対 策もある (防雪施設小委員会, 1990). 防雪盛土 は中央分離帯のない上下2車線道路では吹きだま りや視程障害にも有効である. 高速道路で多く見 られるような高い盛土法面は、風上法尻に飛雪を 多少捕捉はするが、風のせん断応力を受けやすい ために、法面から発生する地吹雪量を増加させる. また、転落防止のためにガードレールやロープが 張られるために、盛土の利点である雪を吹き払い 吹きだまりの成長を抑えて、雪堤を低くする効果 が期待できなくなっていることが多い. このため に,盛土が高くても風上側の吹走距離が長い高速

道路では、むしろ視程障害による災害の拡大要因になる例が見られる。これなどは、吹雪災害の形態が吹きだまりから視程障害へ変わってきたために、プラスと見られてきたものがマイナスの要因になったものといえる。

4.1.5 沿道環境・道路構造の不連続部——視程の 変動——

これまでに述べたのは、 道路に飛び込む飛雪の 絶対量あるいは、全体量は変わらないがドライバ ーの目の高さに濃度の高い飛雪が集中することに よって吹雪災害を大きくする要因であった. 目の 高さの飛雪の絶対量が多いだけでなく、飛雪量の 相対的な違いが短時間に発生し視程が急に変わる ことによっても,事故の発生危険度が大きくなる. 例えば, 吹走距離の変化部, 切土と盛土の境, 雪 堤の高さの違い, 防雪柵等防雪施設の末端, 橋梁 から盛土や切土への変換部など、沿道環境や構造 の不連続部での視程の急変も吹雪災害の拡大要因 になる. 高速道路で測定された、沿道環境による 視程の急変の例は、このシリーズ(2)の「吹雪 と視程 | (竹内、1999) の中の図7にも示した。 視程の変動は環境要因だけでなく気象要因にもよ る. 視程は目の前の降雪量と風速の積である雪の 移動量(flux)で表されるので、降雪強度の変化 や強風時に見られる風速の大きな振れは視程も変 動させる.しかし、環境変化によるものと比べる と桁違いに小さい.

4.1.6 車が巻き上げる雪――雪煙――

これまでに述べてきた誘因や拡大要因は道路環境や自然現象に関連するものであった。比較的新しい問題として、雪煙ともよばれる、車が巻き上げる雪による視程障害がある。これは、車のタイヤが削り跳ね上げる雪と、主に車の走行によって発生する伴流が路面の雪を巻き上げるもので、冬の道路の高速化によって顕著になった人為的のである。すれ違いや追い越しされた時に急激に視程が悪くなり、短時間であるがホワイトアウトになることは珍しくない。視程障害の誘因であるが、吹雪によるものではなく、吹雪災害の誘因である視程障害を大きくしていることから拡大要因とした。高速で大型車ほど、また低温で路面のさくなる(福沢ら、1991)。巻き上げ雪の高さは車種

によらずその車高程度であるが、 $1000 \, \mathrm{m}$ の視程が一気に数十 $\, \mathrm{m}$ になる。道路構造によって継続時間は $\, 10 \sim 60 \, \mathrm{w}$ と大きな違いが見られるが、大型車や交通量の影響も大きい(石本ら、1992)。吹雪や降雪が加わると瞬時にホワイトアウトになり事故の危険度は高くなる。近年増加している多重衝突事故の誘因としても注目されている。

4.2. 素因に影響する拡大要因

道路交通を構成する人、車両、道路および交通の3つの素質を災害に弱くするように働き、災害を大きくする要因を素因に影響する拡大要因とする. それらの対応は交通の安全を守ることになる. 素因に影響する主な拡大要因を述べる.

4.2.1 滑りやすい路面雪氷

視程障害時には事故回避のために、 ドライバー は急ブレーキで対応することが多い. しかし、滑 りやすい雪氷路面での急ブレーキはスリップ事故 の危険がある. このように路面雪氷自体が道路の 安全機能を低下させるが、人と車に影響する拡大 要因にもなっている.また、路面雪氷は、停止線、 レーンマーク等, 視線誘導にもなり交通の安全に 必要な路面表示を見えなくし、 雪を背景とした吹 き舞う雪の中では視程を潜在化(竹内, 1980)し、 ホワイトアウトの状態になりやすくする. 長時間 のホワイトアウトは車の走行を不能にし、瞬間的 な場合でも高速走行時には事故の発生危険度を非 常に高くする. このように, 吹雪時の雪氷路面は 車の走行に必要な情報である目標をドライバーか ら奪うことになり、人の素因に影響する拡大要因 になっている. 滑りやすい路面雪氷は車の制動停 止距離を長くし、車の素因に影響する拡大要因に もなる. 制動停止距離がその時の視程よりも短い と、ドライバーには見えていないところまでスリ ップするので非常に危険である. このように路面 雪氷は人、車と道路の素因に影響する吹雪災害の 拡大要因でもある. 雪氷路面の出現には降雪や気 温などの気象要因が関係し、滑りやすい路面には 交通量の影響も加わる(松沢ら, 1996).

4.2.2 着雪――標識などへの――

道路標識,スノーポールやデリニエーターは視程障害時に道路の線形や車の走行位置を決めるための目標物になる.これらに着雪すると,ドライバーへの交通の安全に必要な情報や視線誘導等の

機能を失う.路面が雪の時の着雪は一段と視界全体をホワイトアウトにしやすくする.このように道路の安全施設の機能を低下させ、視程を潜在化する着雪はドライバーの素因に影響する拡大要因になる.また車の窓、前照灯、バックミラー等の着雪は車の性能を低下させ着雪にまみれた対向車は視認を困難にさせる.このように、着雪も道路、人、車に働く拡大要因である.気温、降雪、風向風速が主な着雪に関係する気象要素である(竹内、1978)が、風速が強いほど着雪しやすく、吹雪時の着雪は視程障害を伴うことが多いのでやっかいである.

4.2.3 多様なドライバーと車の混在

道路交通には、運転能力(心理・生理・視力を 含む)、経験、年齢、性別等によって運転の判断 基準や操作の異なる個性のドライバーが、それぞ れ性能の異なる車を道路という同一空間を高速で 走るという特徴がある、経験や性別によって、例 えば、急にホワイトアウトになった時のように、 瞬間的な判断を要するときの反応時間には有意な 違いがあり、運転行動特にブレーキ操作の仕方も 異なる (金子ら、1998). ドライバーによる運転 行動の多様さに加えて、車種やタイヤによる性能 の違いも大きい. 既に述べたように、特に運転席 の高さが異なる大型車と小型車では、巻き上げ雪 でもそうであるが、特に吹雪時の視程には桁違い に大きな差がみられる. また、結氷路面では大型 車の制動停止距離は小型車の2倍以上と車種によ り大きな違いがある(福沢ら,1990). ドライバ ーはホワイトアウトのような危険な事象が発生し た際は、先ずそれを認知し、回避のための判断と 行動をする. しかし、多様なドライバーと性能の 異なる車が混じった交通では、認知のために得ら れる情報が車種によって異なり、さらに個人によ って反応時間や判断基準も異なるので, 回避行動 に大きな差が現れる. 道路という限定された空間 で、高速走行している多数の車が、それぞれに異 なる緊急回避行動に入ることの危険は大きい. こ のため, 高速走行時に突発的な視程障害に遭遇す ると, 個々のドライバーに過失や不適当な運転が 無くても、運転行動や制動停止距離の違いによっ て互いに事故に巻き込まれ、多重衝突事故になる 危険がある. このように多様なドライバーや車が 混在することが、人と車の素因に影響し事故を大きくしていることから、拡大要因といえる.特に多重衝突事故では、交通量が多く車群を形成することや大型車の混入率が高い場合に発生率が高いことも(福沢ら、1998;加治屋ら、1998)、このことを示している.

4.2.4 視線誘導および交通気象情報

ドライバーは、縁石線、レーンマーク等を定規 代わりにしながら車を走らせる (Gordon, 1966). これらが雪に埋没する雪道では、スノーポール等 の視線誘導は道路の線形や幅員を知るのに重要で ある. 特に視程が悪い時には、安全走行に欠かせ ない. 視線誘導の整備が不十分な道路は吹雪災害 を拡大する. また, 道路交通が発達してきた現在 では、道路や気象の情報は交通の安全やスムーズ な流れを確保するのに欠かせないものになってい る、特に、時間的にまた沿道環境で激しく変化す る吹雪や地吹雪の中で、停止車両の検知とその情 報の後続車への提供は重要になってきている(福 沢ら, 1997). また気象情報による吹雪の状況や その予測によって、ルート変更により災害に巻き 込まれることを回避することもできる. このよう な情報が少ないことも,災害の拡大要因になる. このような道路・気象情報も、今後の ITS の進展 に期待するところである.

5. 吹雪災害の構造(アーキテクチャー)

吹雪災害の構造を簡単にいうと,被害対象に誘 因が働いて災害が発生する仕組みということにな る. 実際には、これまで述べてきたように、互い に影響し合う幾つかの要因がある。要因に誘因, 素因、拡大要因があるのは多くの災害に共通して いるが、要因の影響の仕方には個々の災害特有の 構造がある.これまで述べてきた要因をもとに、 吹雪災害の構造を表したのが図2である. 個々の 誘因・被害対象 (素因) の複数にまたがって影響 する拡大要因は網掛けで示した. 吹雪災害の構造 を基にドライバー, 車両, 道路・交通それぞれの 側から、その対策を考えてみる、道路側からは、 先ず誘因対策である防雪が基本になるが、沿道環 境の拡大要因の状況を把握することによって、そ の必要箇所を予測できる. また素因に影響する拡 大要因からは視線誘導施設, 路面雪氷や着雪対策

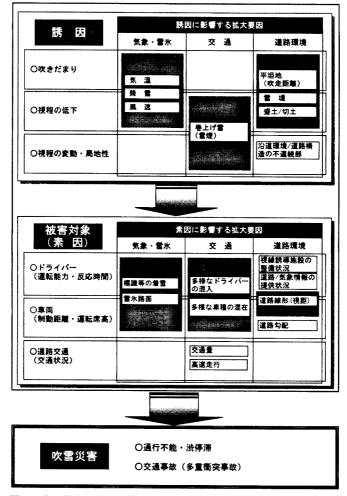


図2 吹雪災害の要因と構造 (アーキテクチャー). 吹雪災害は吹雪と道路交通の特徴から,幾つもの要因が互いに 影響し合う構造になっている.

などが重要であることがわかる.これらは従来からのハードの対策であるが、その具体的方法については、今後のこのシリーズの中で述べる予定である.また、必要な情報はドライバーの素因向上になることから、今後のIT技術を駆使し吹雪災害の特徴を捉えた寒冷地AHS(走行支援システム)による情報提供が期待される.そして、ドライバーに最も過酷な状態を強いる吹雪による視程障害をASV(先進安全自動車)が克服できるならば、その技術は究極の全天候安全自動車となるであろう.道路情報システムや道路気象が寒冷地で始まり発達したように、ITSも吹雪を含めた寒冷地の問題を解決することを優先課題にして欲しい

ものである.

あとがき

自然災害防止には、先ず災害をもたらす現象をよく知らなければならない。さらにその現象のどのような要因が、どのように働いて災害を発生させるかということを把握することによって、組織的な対策が可能になる。この考えから吹雪災害の要因と構造をまとめた。次回からは具体的な対策について紹介するつもりである。

文 献

防雪施設小委員会, 1990: 道路防雪便覧, 日本道路協会, 383 pp.

- 福沢義文, 竹内政夫, 石本敬志, 磯部圭吾, 1990: 吹 雪時の結氷路面における安全速度, 雪氷, **52**, 171-178.
- 福沢義文, 竹内政夫, 石本敬志, 奥谷智博, 1991:自動車の走行による雪煙の発生と気象条件, 日本雪氷 学会予稿集, p58.
- 福沢義文,加治屋安彦,石本敬志,1997:インテリジェント・デリニェータ・システムの開発,開発土木研究所月報,**524**,19-25.
- 福澤義文,加治屋安彦,金子 学,丹治和博,金田安 弘,1998: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)一平成10年1月7日 における札幌圏の事故事例解析から一,第14回寒地 技術シンポジウム論文・報告集,57-62.
- Gordon, D. A., 1966: Experimental isolation of driver's visual input, Highway Research Record, 122, 19-34.
- 石本敬志, 竹内政夫, 福沢義文, 野原他喜男, 1985: 切土区間の防雪容量, 寒地技術シンポジウム'85 講演論文集, 533-538.
- 石本敬志,福澤義文,奥谷智博,竹内政夫,1992:車 の雪煙による視程障害と道路構造,開発土木研究所 月報,475,17-25.
- 加治屋安彦,福澤義文,金子 学,竹内政夫,丹治和博,金田安弘,1998: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)一安全走行支援システムの開発に向けて一,第14回寒地技術シンポジウム論文・報告集,41-48.
- 金子 学,加治屋安彦,福澤義文,丹治和博,金田安 弘,1998:冬期道路とヒューマン・ファクターード ライバー・ニーズ調査と実車走行実験からの知見ー, 第14回寒地技術シンポジウム論文・報告集,49-56.
- 松澤 勝,石本敬志,前野紀一,1996:圧雪路面にお

- ける氷膜の形成過程,雪氷,58,19-27.
- 松澤勝, 竹内政夫, 2000: 視程障害に及ぼす雪堤の影響に関する研究, 平成11年度日本雪氷学会全国大会 予稿集, p169.
- 佐藤武夫, 奥田 穣, 高橋 裕, 1964: 災害論, 勁草 書房.
- Tabler, R.D., 1975: Predicting profiles of snowdrifts in topographic catchment, West. Snow Conf. Proc., 43, 87-97.
- 高橋浩一郎, 1977: 災害論, 東京堂出版, 261 pp.
- 竹内政夫,石本敬志,野原他喜男,福沢義文,1976: 吹雪災害の拡大要因,19回北海道開発局技研論文集, 264-271.
- 竹内政夫, 1978: 道路標識への着雪とその防止, 雪氷, **40**, 15-25.
- 竹内政夫, 1980: 吹雪時の視程に関する研究, 土木試 験所報告, 74, 41-48.
- Takeuchi, 1980: Vertical profile and horizontal increase of driftsnow transport, J. Glaciology, **26**, 481-492.
- 竹内政夫, 松沢 勝, 1991: 吹雪粒子の運動と垂直分布, 雪氷, **53**, 309-315.
- 竹内政夫, 1996: 吹雪とその対策 (1) 一吹雪のしくみ 一, 雪氷, **58**, 161-168.
- 竹内政夫, 1999: 吹雪とその対策(2) ―吹雪と視程―, 雪氷, **61**, 303-310.
- 竹内政夫, 2000: 吹雪とその対策(3) ―吹きだまりの 発生機構と形―, 雪氷, **62**, 41-48.
- 外塚 信,佐藤幸久,佐藤 貢,荒川逸人,飯沼弘一, 石丸民之永,佐藤威,計良清隆,2001:飛雪粒子計 を利用した車載型視程計測手法の開発,平成13年度 日本雪氷学会全国大会予稿集,p26.

For the control of blowing snow (4) — Factors affecting highway disasters caused by blowing snow —

Masao Takeuchi

Japan Weather Association Hokkaido Office N4 W23 Chuo-ku, Sapporo 064-8555

Abstract: Disasters caused by blowing snow cause damage to highway traffic, including motorists, vehicles, road and its facilities.

There are many factors related to disasters because of the unique characteristics of highway traffic and the structure of the blowing snow, which is complicated. To prevent disasters, it is important to comprehend these factors.

Highways suffer damage in such ways as traffic closures and accidents, the causes including reduced visibility and snowdrift. Many factors affect the extent of damage suffered. For example, a long fetch increases snow transportation, increasing the causative factor of reduced visibility. Snow accretion on signs obstructs traffic safety information for motorists.

A block diagram composed of these factors shows the structure of a blowing snow disaster.

(2001年9月30日受付, 2001年10月26日改稿受付, 2001年12月4日受理, 討論期限2002年7月15日)