

## 「最大吹きだまり量」の算出について

雪氷チーム

### 1. はじめに

道路の吹雪対策の計画や吹雪対策施設の設計で用いられる値に「吹きだまり量」がある。漢字で吹溜量とも記される。吹きだまり量は対象とする地域の吹雪のポテンシャルを示す値として重要な指標であり、道路の吹雪対策において計画や設計で多用されている指標である。この吹きだまり量の算出について本稿で解説したい。

### 2. 吹きだまり量の定義とその利用

吹きだまり量は、吹雪時の風向に直角な単位幅あたりの吹きだまりの体積 ( $m^3/m$ ) で表される<sup>1)</sup>。質量の単位が用いられることもある ( $kg/m$ )。

風の障害物周辺では、風上から運ばれてきた飛雪粒子が、風速の低下や障害物後方の渦（乱流域）に取り込まれた後、その渦から放出されることにより堆積する。このように飛雪粒子が移動を停止して、降雪により形成された自然積雪以上に堆積した雪が「吹きだまり」であり、対象箇所に堆積した雪から自然積雪を差し引いた雪の量が、吹きだまり量である<sup>1)</sup>（図-1）。

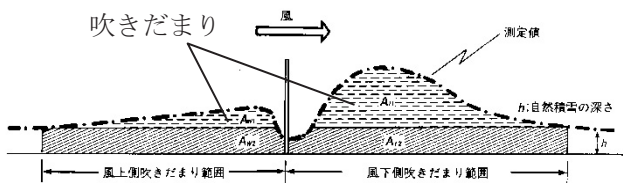


図-1 防雪柵前後の吹きだまり（模式図）<sup>1) 2)</sup>

冬期間吹きだまり量は刻々と変化する。道路吹雪対策の計画や設計で用いる吹きだまり量は、対象とする地域における吹雪の厳しさのポテンシャルを示す値として、冬期間のうち最大となる吹きだまり量の値を用いる。この値は「最大吹きだまり量」といわれる。

道路吹雪対策の計画や設計で「最大吹きだまり量」を用いる場面は数多くあり、「道路吹雪対策マニュアル」によると、以下の7項目が挙げられている<sup>1)</sup>。

- 1) 吹雪対策検討の必要性の判断  
(最大吹きだまり量 $20m^3/m$ 以上の区間を道路吹雪対策の検討対象とする。)
- 2) 吹雪危険度の評価  
(吹きだまり要因の評価項目として)
- 3) 防雪林の形式決定
- 4) 防雪林（標準林）の林帯幅の決定
- 5) 防雪柵の形式決定
- 6) 防雪柵の柵高決定（吹きだめ柵、吹き止め柵）
- 7) 防雪柵（吹きだめ柵）の設置位置決定

これらにおいて多くの場合最大吹きだまり量は30年確率最大値が、防雪林関係は平年値が、それぞれ用いられている<sup>1)</sup>。

### 3. 吹きだまり量の測定

最大吹きだまり量はシーズン中の吹きだまりが最大となる時期に、吹きだまり量を測定することによって得られる。その測定は、防雪柵が大きな吹きだまりを形成するため、防雪柵の前後で行われる。

防雪柵にはいくつかの種類があり、このうち吹きだめ柵が柵前後に最も大きな吹きだまりを形成するため、通常吹きだめ柵前後で測定される。吹きだめ柵がない場合は、柵高が高い吹き止め柵の前後で代用されることもある。

測定項目は、積雪深と積雪密度（質量に換算する必要があるとき）である。

積雪深は吹雪の主風向に沿って、防雪柵の前後で吹きだまりの形状が認められる範囲を、一定間隔で、あるいは変化点で計測する方法が一般的である。測深棒とよばれる目盛付きの鋼製あるいはアルミ製の棒を堆雪面に鉛直に差し込んで行う。専用のものも販売されている。

積雪密度は全層サンプラーと呼ばれる断面積 $20cm^2$ のアルミ製の筒状の器具で雪面から地面までの雪を採取し、採取した雪の質量を計測した上で、サンプラーの断面積と積雪深で除して、積雪の密度を求める。

確率値（たとえば30年確率最大値）を求めるためには、十分に長い年数に亘り計測を行った上で、統計処理を行う必要がある。

吹きだまり量は、微気象や微地形の影響を受けやすく、3. に示したように直接計測することがその地域の値を決定する際には望ましい。

算出したい地点（あるいは近傍）に吹きだめ柵などが無い場合、吹きだまりの観測可能期間が長期間とれない場合は、直接計測以外の方法で推定する必要がある。この場合よく用いられる方法は、

- 1) 「吹きだまり量分布図」の読み取り値
  - 2) 年間吹雪量を推定する手法
- の2通りである。

次章以下でこれらの方法を説明する。

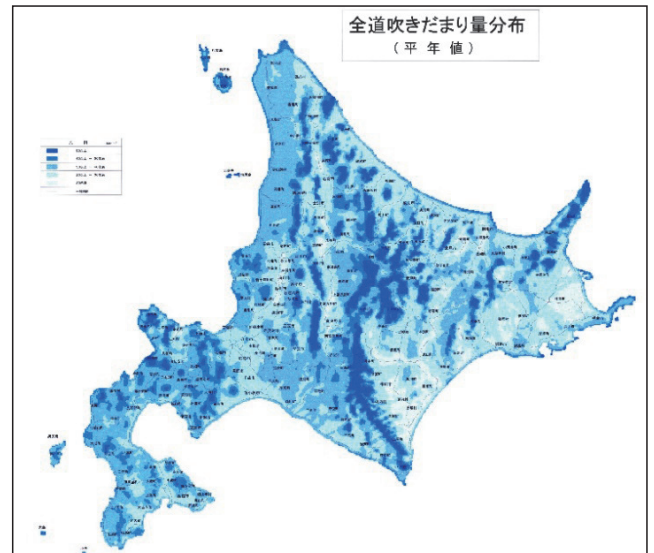


図-2 吹きだまり量分布図<sup>1)</sup>

#### 4. 吹きだまり量分布図

##### 4. 1 吹きだまり量分布図の概要

吹きだまり量分布図（以下、「分布図」とする。）は、北海道開発局開発土木研究所（現在の寒地土木研究所）が作成したもので<sup>3)</sup>、北海道全域を対象に1kmメッシュごとの推定最大吹きだまり量を10m<sup>3</sup>/m毎に色別表示させたものである。一目で対象地域の推定吹きだまり量がわかるようになっている（図-2）。

最新の2000年版マップは、平年値と30年確率最大値の2種類がある。これらは道路吹雪対策マニュアル（平成23年改訂版）<sup>1)</sup>の共通編に収録されており、Web上でダウンロードできる。

##### 4. 2 作成の経過と作成プロセス

1987年に全道で吹きだまり量を観測し、その結果を基に最初の北海道全域の分布図が作成された<sup>3)</sup>。ただしこれは単年度の調査（吹きだまり量）を示したものである。1996～1998年には、改めて吹きだまり量観測が行われ、この結果を含めて、1998年に確率値を求めた吹きだまり量マップが作成された。さらに2000年に地域別となるように吹きだまり量の推算式を改良して、新しい分布図を作成して、現在に至っている<sup>3)</sup>。ここではこの2000年版について記述する。

この分布図は、吹きだまり観測地点において、気象観測から算出した「気象因子」という指標と吹きだまり量との相関を求め、さらに気象因子と地形因子との関係を求めた上で、逆に地形因子から1kmメッシュの各「気象因子」を算出し、1kmメッシュごとの吹きだまり量を推定するプロセスを経て作成されている。

吹きだまり量は、北海道開発局が行った1987年度（32地点）と1996～1998年度（33地点）の調査、および文献に示された1980年～1995年の観測（6地点）から得られた防雪柵周辺の吹きだまり量が用いられた<sup>3)</sup>。「気象因子」と吹きだまり量との相関式は、気象特性が異なることから北海道を3地域に分けて算出されている。また、用いた地形因子は21因子である<sup>1)</sup>。

##### 4. 3 吹きだまり量分布図利用時の留意点

前述したように、分布図に示された吹きだまり量は直接実測によって得られたデータではなく、1km四方の地形データを基に推定した結果である。つまり、この推定吹きだまり量は1メッシュ（1km四方）の平均的な地形条件を満たす場所での吹きだまり量を推定している。実際は1kmより小さいスケールの起伏や構造物があり、吹きだまり量の算出条件とは一致しない場合がある。

吹きだまり量分布図を用いる場合、その対象地域で吹きだめ柵が設置されていれば、現地状況との整合確認のため、最大吹きだまり量を実測することが望ましい。

#### 5. 年間吹雪量の推定

吹きだまり量の推計において、「吹きだまり量分布図」が用いることが難しい場合、年間吹雪量を最大吹きだまり量と見なして、吹雪量を推定する手法が用いられる。

## 5. 1 年間吹雪量と最大吹きだまり量

吹雪量は、単位時間に風向に直角な単位幅を通過する雪の総量（質量）で<sup>1)</sup>、一般に単位はg/m/sが用いられる。高さ方向は雪面から上空までを積算するが、雪面上高さ30cmまでに吹雪量の57%～96%が占めるなど雪面付近の吹雪量が多い<sup>4)</sup>。

これを一冬分について時間積分すると年間吹雪量になる。ある地点を通過する吹雪が全てその場所に堆積したとすると、吹雪量と吹きだまり量は等しくなる。実際は吹雪量全てが堆雪することはなく、また堆雪後の融雪もあるため、質量換算すると「年間吹雪量」>「最大吹きだまり量」である。この質量換算した年間吹雪量と最大吹きだまり量の比率を捕捉率という。捕捉率は0～1の間のある値をとることになるが、年間を通した吹雪量の計測が難しいため、捕捉率は明確になっていない。TablerとJairellが示したシミュレーションモデルでは捕捉率は風速に依存し、風速10m/sで0.97～1.0、風速15m/sで0.80～0.92が示され<sup>5)</sup>、大部分の飛雪は防雪柵で捕捉される。そこで実務的に捕捉率を1として、吹雪量から最大吹きだまり量を求めている。つまり、

- 1) 吹雪はすべて防雪柵により堆雪する。
  - 2) 堆雪は、融雪等により減少しない。
- ことを前提としている。

## 5. 2 吹雪量の算出方法

図-3に年間吹雪量、最大吹きだまり量の計算フローを示す。

年間吹雪量は、必要となる気象データを収集し（A）、風速の高さ補正を行った（B）上で、吹雪が発生する気象条件に適合する時間帯（以下、「吹雪発生時間」とする。）抽出し（C）、次に吹雪発生時間中の単位時間あたりの吹雪量を算出（D）して、これを1冬分足し合わせて積算（E）することにより年間吹雪量が求まる。単位時間は計算に用いる気象データの記録間隔に依存し、10分または1時間を用いる場合が多い。さらに年間吹雪量（E）を吹きだまりの密度で除することによって、最大吹きだまり量（体積）が算出される（F）。

## 5. 3 使用するデータ

気象データは、微地形の影響を受けるので調査対象箇所直接計測して取得できることが望ましいが、計測が困難な場合や近くで利用できる場合、近傍の気象庁アメダス、道路管理用のテレメータなどから収集す

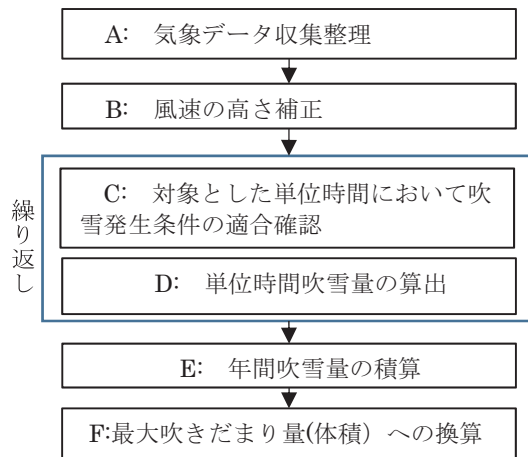


図-3 年間吹雪量および最大吹きだまり量の計算フロー

る。この際データ品質確認のため、近傍数カ所の観測所データを収集するとよい。ここで風速は後述する吹雪量の計算に影響が大きいため、特に慎重に計測値を確認する必要がある。道路テレメータの設置地点には、周囲と比べて風速が著しく大きい地点や著しく小さい地点も含まれているので、注意が必要である。

また風速は短時間での変化が大きいため、サンプリング間隔は短い方が望ましい。但し、5. 5で示す吹雪量の計算において使用する経験式では10分値が用いられており、一般的に10分値もしくは1時間値が用いられる。

風速は高さにより差異が大きく、地表付近では高さが高いほど風速は大きくなる。風速は観測地点によって、観測高さが異なるため高さ補正を行う必要がある。この補正には対数則（式（1））などが用いられる。

$$U(z) = \frac{U_*}{\kappa} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (1)$$

$z$ : 高度 (m)、 $U(z)$ : 任意高度の風速 (m/s)、 $U_*$ : 摩擦速度 (m/s)、 $\kappa$ : カルマン定数 (=0.4)、 $z_0$ : 粗度長 (m) である。一様な雪面の粗度長は $1.4 \times 10^{-4}$  (m) とされる<sup>6)</sup>

補正すべき高さは、後述する吹雪発生条件（図-3のC）と単位時間吹雪量の算出式（同D）で用いる高さに合わせる事となる。

## 5. 4 吹雪発生条件

冬期間継続して、常時吹雪が吹き続けることはない。吹雪の発生は一定の風速、気温、降雪量、雪質、風上にある飛雪可能な雪粒子の有無などに依存すると考えられている。この吹雪の発生条件について一義に

定められたものではなく、いくつかの方法が用いられている。

1つは竹内が示した吹雪の発生条件図（図-4）を用いる方法である<sup>7)</sup>。原著では数式としては示されていないので、各々が図を読み取り、吹雪の発生条件式を作成している。なおこの図は降雪を伴う条件下での吹雪観測を基に作成された。このため降雪を伴わない場合への適用に不正確な面もあり、次の方法も用いられる。

もう1つの方法は、「雪氷調査法」<sup>2)</sup>に記された吹雪発生臨界風速の測定例の表を用いる方法である（表-1）。この2つの方法はいずれも風速と気温を発生条件の閾値としている。しかし吹雪発生には、先に述べた他の要素も影響する。

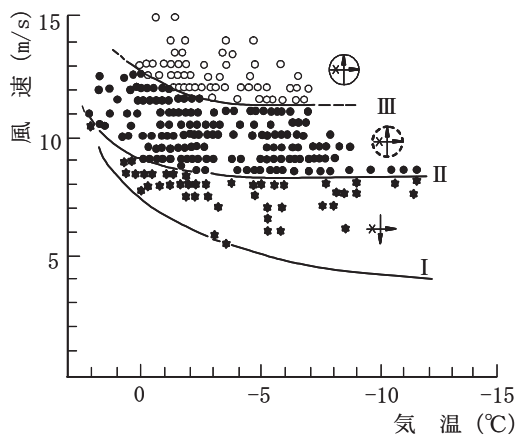


図-4 吹雪の発生条件<sup>7)</sup>

Iの曲線をこえると低い地吹雪が発生しII以上で断続的な高い地吹雪がIII以上では連続した高い地吹雪になる。降雪が無い時にはIの曲線は、より大きくなり雪質による違いが大きくなる。

表-1 気象要素から吹雪量を求めるための吹雪発生臨界風速の測定例<sup>2)</sup>

気温	降雪あり	降雪なし
0～-5℃	6m/s以上	11m/s以上
-5℃以下	5m/s以上	10m/s以上

### 5. 5 吹雪量の計算

吹雪発生条件に合致した単位時間に対して、吹雪量の計算を行う。吹雪発生条件に合致しない単位時間では吹雪量は0と見積もられる。

吹雪量は、風速との関数で定義されている。風速と吹雪量の関係式は多く存在し、風速のn乗の式（n=2～4）で与えられることが多い<sup>10)</sup>。式の違いの最も重要な要因はおそらく雪質と指摘されているが、他に地形、吹雪の発達度合い、気温、測定方法なども関係が

あるとみられている<sup>10)</sup>。また、吹雪量は、単位時間に風向に直角な単位幅を通過する雪の質量（5. 1）である。単位時間、単位断面あたりでの飛雪粒子の質量（=飛雪流量）は雪面付近が多く、上空に行くほど減少するため<sup>4)</sup>、吹雪量の関係式では対象とする高さの範囲が与えられている。この吹雪量の対象とした高さの上限が異なることも式の違いの要因の1つである。

実務的には、北海道・石狩市での計測事例を基にした松澤らの計算式（式（2））が、式も簡便なためよく用いられている<sup>11)</sup>。なお、この式で推定される吹雪量は高さ5mまでの値である。

$$q = 0.005U_{1.2}^4 \quad (2)$$

ただし、q：吹雪量（g/m/s）、 $U_{1.2}$ ：1.2m高の風速（m/s）

このようにして得られた単位時間あたり吹雪量（式（2）など）を、一冬分足し合わせることによって、年間吹雪量Qが計算される。

### 5. 6 吹きだまり量（体積）への換算

吹雪量は質量、吹きだまり量は体積で算出されるため、年間吹雪量を最大吹きだまり量に換算する場合、吹きだまりの積雪密度で除する必要がある。積雪密度は、通常350kg/m<sup>3</sup>が用いられる。

### 5. 7 年間吹雪量を利用した吹きだまり量推定上の課題

これまでに示した各計算過程のうち、捕捉率は実測の吹雪量を基とした事例が見当たらず、正確な捕捉率は明らかとはなっていない。また、5. 5に示した推計した吹雪量を基に計算した事例では、原田ら<sup>12)</sup>は、シーズン後半になるにつれて捕捉率が小さくなることが示されている。また金子ら<sup>13)</sup>の事例では、使用した吹雪量の計算式は異なるものの、逆に1月の測定よりも2月の測定の方が捕捉率は高くなるなど事例による開きがあり、今後詳細な研究が必要とされる部分である。

さらに5. 5の吹雪量の計算において、本文では1つの式のみを提示したが、これまでに数多くの式が提示されている。これらは主に風速の累乗式を用いたもので、用いる式によって計算される年間吹雪量に大きな差がある。また、雪質の違いや変化も考慮はなされていない。本文で示したものは北海道における観測データを基礎としたものであり、北海道と気象や雪質が異なる地域では、吹雪量の算出に当たって留意が必要である。

また積雪密度は、通常 $350\text{kg}/\text{m}^3$ が用いられている。湿雪が降る地域や降雨がある地域、あるいは標高が高い地域ではこの密度が妥当かどうか検討する必要がある。

## 6. まとめと今後に向けて

本稿は、吹きだまり量の測定方法と推定方法について概説した。基礎となっているデータはこれまでの寒地土木研究所（前身組織を含む）などが行ってきた北海道における観測である。一方、吹雪量、吹きだまり量、吹雪の発生条件は雪質、気温に依存する。特に比較的温暖な地域では、異なるものと考えられる。

吹きだまり量の算出過程で北海道と異なる気象条件下で留意すべき点を指摘したが、一方、国内における吹雪の観測は北海道におけるものが大半であり、本州の比較的温暖な地域で適用できる別の算出式を提示できるまでには至っていない。

寒地土木研究所では現在の中長期計画期間において、「広域的な吹雪視程障害予測技術の開発に関する研究」の一環として、新たに本州での吹雪観測を開始したところである。吹雪発生条件などについて、知見がまとまれば随時報告していきたい。

（文責：伊東 靖彦）

## 参考文献

- 1) (独) 土木研究所寒地土木研究所（編著）：道路吹雪対策マニュアル（平成23年改訂版），2011.
- 2) 日本雪氷学会北海道支部（編）：雪氷調査法，北海道大学図書刊行会，1991.
- 3) 福澤義文・加治屋安彦・小林利章・苫米地司：北海道全域の吹きだまり量分布の推定，雪氷，52（3），pp.291-300，2000.
- 4) 竹内政夫・石本敬志・野原他喜男：吹雪量と飛雪量垂直分布，雪氷，37，3，pp.114-121，日本雪氷学会，1975.
- 5) Tabler, R. D. and R. L. Jairell. 1980. Studying snowdrifting problems with small-scale models outdoors. In: Western Snow Conference (Laramie, Wyo.; April 15-17, 1980) Proceedings 48: 1-13.
- 6) 近藤純正：水環境の気象学－地表面の水収支・熱収支－. 朝倉書店，101，1998.
- 7) 竹内政夫，1990：吹雪と道路交通－道路を吹雪から守るためにどんな研究をしてきたか－. 第3回（平成元年度）開発土木研究所講演会特集号，pp.42-64
- 8) 寒地土木研究所：報道発表資料，2017. [http://www.ceri.go.jp/contents/date/file/291120\\_2.pdf](http://www.ceri.go.jp/contents/date/file/291120_2.pdf)
- 9) 武知洋太・松澤勝・國分徹哉・大宮哲・原田裕介：“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，（一社）北海道開発技術センター，2016.
- 10) 前野紀一・福田正己（編）：基礎雪氷学講座Ⅲ雪崩と吹雪，古今書院，2000.
- 11) 松澤勝・金子学・伊東靖彦・上田真代・武知洋太：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，Vol.26，pp.45-48，2010.
- 12) 原田裕介・大宮哲・松澤勝：主風向に対する防雪柵の設置角度と吹きだまり量との関係について，北海道の雪氷，33，pp.31-34，（公社）日本雪氷学会北海道支部，2014.
- 13) 金子学・松澤勝・渡辺崇史：防雪柵前後の吹きだまり量等に関する現地観測，平成22年度北海道開発技術研究発表会発表論文，2011. <http://thesis.ceri.go.jp/db/giken/h22giken/JiyuRonbun/YI8.pdf>