

## 地吹雪・吹雪の予測技術とその活用

独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所 雪氷チーム 上席研究員 <sup>まつざわ</sup>松澤 <sup>まさる</sup>勝  
NPO法人 雪氷ネットワーク 理事 <sup>たけうち</sup>竹内 <sup>まさお</sup>政夫

### 1. はじめに

吹雪・地吹雪（以下、まとめて吹雪）は吹きだまりや視程障害の形で道路交通に影響し被害を与えている。その被害を最小限にするために、各種吹雪対策施設が整備されるとともに、吹雪情報による道路管理を行い利用者に情報を提供している。ここでは最近の吹雪予測や吹雪対策技術について述べる。また2008年には吹雪の被害を経験したことのない地域で吹雪による大きな交通災害が発生した（丹治・竹内、2009）。今後の吹雪予測の課題や方向性についても触れる。

### 2. 吹雪情報の収集・予測技術の変遷

吹雪は主に風速、降雪強度、温度の気象要素に密接に関わるので、気象官署等から提供される気象情報の活用度は高い。しかし吹雪は微気象スケールの現象であり、道路では地形や道路構造の影響を大きく受ける。一般気象情報に加えてドライバーの視程、吹きだまり等の情報は道路管理者が独自に収集し提供する例もある。

#### 1) 降雪の短時間予測のはじまり

道路管理者が除雪や雪対策を効率化するために気象情報を収集し、利用者に雪情報を提供するサービスを始めたのは1970年代の半ばであった。最初に始めたのが国道17号三国峠であった。背景には当時の防災科学技術センター（新庄）で積雪深計を開発していたことがあった。雪の積もり方が峠の上下で異なる三国峠の降雪量を測定し道路管理

に出来ないかというのがその発想であった。リアルタイムの雪情報の収集と伝達システムの共同研究が、当時の建設省、防災科学センター、北海道開発局土木試験所（現、寒地土木研究所）で国道17号を対象に行われた。リアルタイムの雪・気象データからの短時間予測である。その結果、除雪を効率化すること等で高く評価された。現在の道路テレメータにつながり、気象協会等から提供される降雪・吹雪予測は路線の区間ごとに予測サービスがされているところもある。

#### 2) 吹雪測定センサーの開発

積雪期の道路交通が発達し、吹雪時の視程障害による事故や交通障害が多くなるとともに、道路の吹雪対策の研究が始まった。吹雪時の交通安全確保には吹きだまり対策とともに、ドライバーの眼から見る視程情報や吹雪の検知の必要性が認識された。日本では1970年に入ってから土木試験所（現、寒地土木研究所）で視程の研究が始められた。前述の共同研究では吹雪情報の検知のために、吹雪の強さを表すものとして、視程計の開発を担当した。その中で透過率計を小型化した視程計が開発された（竹内他、1975）。物理量である雪粒子による光の減衰と人間の生理的現象である視程の基礎的研究を経て、1976年には国道230号中山峠の除雪ステーションで吹雪のモニターとして使用された（写真-1）。交通渋滞など交通の実態が視程の記録からも予測できることから、道路巡回の必要性や除雪車のオペレーションの判断に利用された。

Keyword : 「吹雪」「視程」「予測」

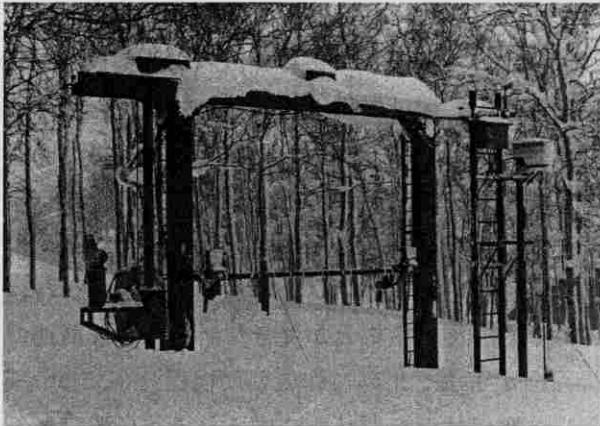


写真-1 国道230号中山峠における吹雪観測施設  
(視程、積雪深、風向風速を観測)

ほぼ同じ頃、米国ではロッキー山系森林研究所で開発されたSPC (スノー・パーティクル・カウンター) (Schmidt, 1979) は、連邦道路I-80号 (ワイオミング) で視程計として道路管理に使われた (Tabler, 1979)。日本の視程計はドライバー目線の高さに、SPCは雪面50cmの高さに設置した。ワイオミングの吹雪は低く路面を覆い尽くし、地形によって舞い上がるため、ドライバーの視程を直接測定するのではなく、風速から経験式で視程を求め補足する方法を採った。日本では以後も各種視程計が開発され、道路管理や小型の視程計は車載されるなど吹雪の調査研究に使われている。

### 3. 吹雪予測技術

この章では、著者らが開発し、その後、実際に吹雪情報提供に利用されている視程予測手法を示す。

#### 3-1 気象条件から吹雪視程を推定する手法

松沢・竹内 (2002) は、一般に配信されている降雪強度と風速から視程Visを推定する手法を開発した。この手法では、次の2つの式から視程を求める。

$$N = \frac{P}{w_f} + \left( N_t - \frac{P}{w_f} \right) \left( \frac{Z}{Z_t} \right)^{\frac{w_b}{kU_s}} \quad \dots\dots(1)$$

$$Vis = 10^{-0.773 \cdot \log(Mf) + 2.85} \quad \dots\dots(2)$$

ここで、P: 降雪強度 [g/(m<sup>2</sup>s)]、N<sub>t</sub>: 基準高さZ<sub>t</sub> [m] での飛雪空間密度 [g/m<sup>3</sup>]、w<sub>b</sub>: 雪面から巻き上げられた飛雪粒子の落下速度 [m/s]、w<sub>f</sub>: 降雪粒子の落下速度 [m/s]、U<sub>s</sub>: 摩擦速度 [m/s]、k: カルマン係数 (=0.4) である。

式(1)は、高さZ [m] における飛雪空間密度 (単位空間中に存在する飛雪粒子の総質量) N [g/m<sup>3</sup>] を与える式である。

式(1)に含まれる容易に計測できない変数については、既存の研究を参考に次のように与える。N<sub>t</sub>=30g/m<sup>3</sup>、Z<sub>t</sub>=0.15m、w<sub>b</sub>=0.35m/s、w<sub>f</sub>=1.2m/s、U<sub>s</sub>=0.036V<sub>10</sub> [m/s]、(V<sub>10</sub>は高さ10mでの風速)。なお、Pは、時間あたりの降水量Pr [mm/h] を用いると、P=0.028Prで表される。

また、式(2)は、竹内・福沢 (1976) が、視程 [m] と飛雪流量Mf [g/m<sup>2</sup>/s] との関係を整理したグラフから得られた視程と飛雪流量の関係式である (図-1)。ここで、飛雪流量Mfは、単位時間に単位断面積を通過する吹雪粒子の質量である。なお、浮遊している吹雪粒子は、風に乗って輸送されると仮定できる。従って、飛雪流量Mf、飛雪空間密度Nおよび風速Vとの間には、次の関係式が成り立つ。

$$Mf = N \cdot V \quad \dots\dots(3)$$

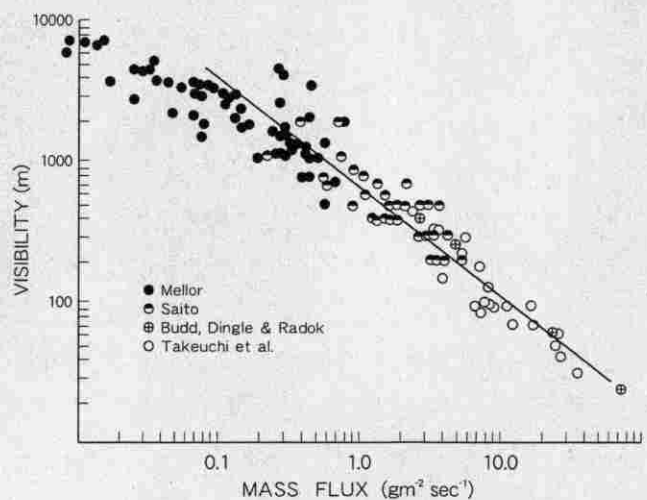


図-1 視程と飛雪流量との関係

ところで、風が強くても気温が高ければ吹雪は発生しないので、視程推定に当たっては、吹雪の発生条件を加味する必要がある。竹内ら(1986)は、降雪があるときの吹雪発生条件を示している。これに基づくと、高い地吹雪(目線の高さまで巻き上がる地吹雪)が断続的に発生する臨界条件は、気温 $T$  [°C] と高さ7mでの風速 $V_7$  [m/s] を用いて、次のように整理できる。なお、周囲が開けた場所では概ね $V_{10}=V_7$ と見なすことができる。

$$V_7 \geq 8.5 \text{ [m/s]} \quad (T \leq -2 \text{ }^\circ\text{C}) \quad \dots\dots (4a)$$

$$V_7 \geq 8.5 + (1 + 0.5T) \text{ [m/s]} \quad (2 \text{ }^\circ\text{C} \geq T > -2 \text{ }^\circ\text{C}) \dots\dots (4b)$$

この方法を用いて視程を試算したときの、視程推定値と実測値の相関係数は、概ね0.8程度であった。

### 3-2 視程の予測方法

松沢・竹内の視程推定手法の特長は、容易に入手できる降雪、風速、気温のデータから視程を推定できることである。現在、気象業務支援センターから提供されている「メソ数値予報モデル(MSM)」では、主要な気象要素の15時間先までの毎時の予測値を5kmメッシュで提供している。降水量に限っては「解析雨量・降水短時間予報」において1kmメッシュで6時間先までの毎時の予測値を提供している。従って、これらのデータに前述の視程推定手法を適用することで、視程の予測が可能になる。

なお、道路の視程については、防雪施設の有無や周囲の地形、道路構造によって大きく変わる。この視程推定手法では、微細な条件は考慮されおらず、周囲が十分に開けた場所で、十分に吹雪が発達したときのポテンシャル的な視程が得られる。しかし、情報提供への利用を考えた場合、安全側に推定されることは、ある程度許容できるものと考えられる。

### 3-3 視程推定手法の活用事例

松沢・竹内(2002)の視程推定手法は、容易に入手できる気象データを用いて、視程値が得られ

るため、視程予測以外にも活用されている。

2008年2月23日、発達した低気圧によって、北海道の道央地域は暴風雪に襲われた。長沼町付近では、激しい地吹雪で200台余りの車両が吹きだまりの中で立ち往生した。滝谷他(2008)はこの時の道央圏の降雪分布と視程分布を調べた。その結果、地吹雪が主体の吹雪のため、降雪分布だけでは吹雪を捉えることができなかったが、前述の視程推定手法を用いて作成した視程分布では、厳しい吹雪の状況を明らかにすることが可能であった(図-2)。

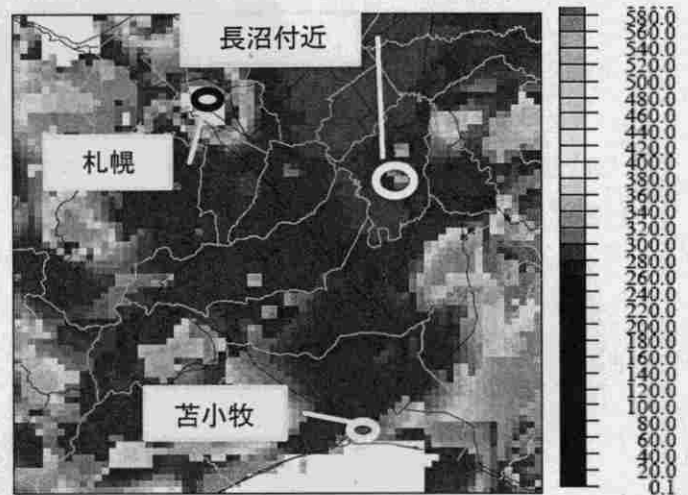


図-2 視程メッシュ 2008年2月23日18時  
滝谷他(2008)に加筆

## 4. 吹雪予測の事例紹介

### 4-1 札幌圏広域情報提供

寒地土木研究所では、先に述べた視程推定手法を用いて、2003年度の冬期から、札幌圏において1kmメッシュで現況と6時間先までの降雪強度と視程をインターネット上で提供した。図-3は、その一例である。

なお、本誌で別途報告するように、2008年度冬期はウェブサイト「北の道ナビ」の中で、現況の視界状況のみの提供を行った。





図-3 降雪・視界の現況と予測の提供  
(左：降雪状況、右：視界状況)

#### 4-2 国道7号地吹雪発生予測

能代河川国道事務所では、秋田県北部の国道7号を対象に、地吹雪の予測を行っている。この手法では図-4に示す基準で、吹雪の強さを4ランクに分けている。2005年度冬期は、一般向けに、毎日7時と16時の1日2回、24時間先までの予測を、パソコンおよび携帯電話で提供した。予測の精度は7～8割で、ユーザーからも高い評価を得た(千葉、2006)。

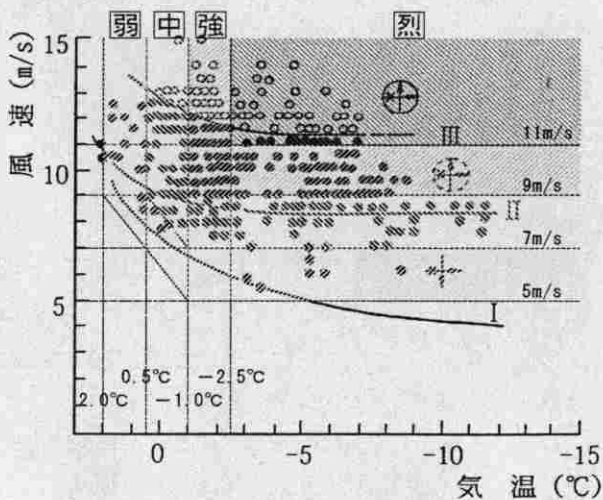


図-4 地吹雪の判定基準(千葉、2006)

#### 5. あとがき

これまででは、西高東低の気圧配置で吹雪が発生することが多かったことから日本海側が吹雪地帯とされてきた。最近では気象変化のためか、むしろ急速に発達する温帯低気圧のもたらず規模の大きな吹雪災害が多くなっている。そして吹雪対策の対象でなかった地域でも、2008年2月の北海道長沼のように、吹雪災害が発生するようになった。この傾向が続くならば、吹雪の少ない吹雪対策の手薄な地域や経験の少ない住民・ドライバーが何時巻き込まれるかわからないことになる。それらの地域は頻度が少なくハードによる対策には時間がかかるので、吹雪(視程)の予測と情報の提供は道路の吹雪災害を防ぐためにもますます重要になろう。ここで紹介した吹雪予測は気象要素から道路交通に最も影響を及ぼす視程のポテンシャル予測である。視程は気象要素に加えて吹雪災害の拡大要因としての地形、沿道環境、道路構造等の負の影響が非常に大きい。将来の吹雪予測は地形や道路構造等を含む沿道の視程の予測が望まれる。また、道路交通は人、道路、車によって成り立っている。視程は人の視覚情報に働き車の速度や走行位置の決定に影響している。視程がゼロであれば車を動かすことはできず、視程の低下とともに車速も交通容量も低下し渋滞を引き起こす。視程の急変と滑りやすい路面雪氷は多重衝突事故をもたらす。視程の予測情報を道路管理にどのように生かすかが今後の課題として極めて重要になろう。

#### 【参考文献】

- 丹治和博・竹内政夫：2008年2月長沼吹雪災害から学ぶ、北海道の雪氷、28、5-8(2009)
- 竹内政夫・鎌田新悦：吹雪時における視程の実態と特徴、土木技術資料14-11、9-13、(1973)
- Schmidt,R.A., Measuring visibility in blowing snow, Snow removal and ice control research, Special report 185(1979)
- Tabler,R.D., Visibility in blowing snow and

applications in traffic operations, Snow removal and ice control research, Special report 185 (1979)

松沢勝・竹内政夫：気象条件から視程を推定する手法の研究、雪氷、64、77-85 (2002)

竹内政夫・福沢義文：吹雪時における光の減衰と視程、雪氷、38、165-170 (1976)

竹内政夫・石本敬志・野原他喜男・福沢義文：降雪時の高い地吹雪の発生臨界風速、昭和61年

度日本雪氷学会全国大会予稿集 (1986)

滝谷克幸・谷口恭・岡村智明・松岡直基：2008年冬期北海道を通過した爆弾低気圧と交通障害及び視程の推定、北海道の雪氷、27、95-98 (2008)

千葉周市：国道7号における地吹雪予測情報提供システムについて～冬期道路サービスの向上を目指して～、平成18年度国土交通省国土技術研究会 (2006)

掲 載 資 料

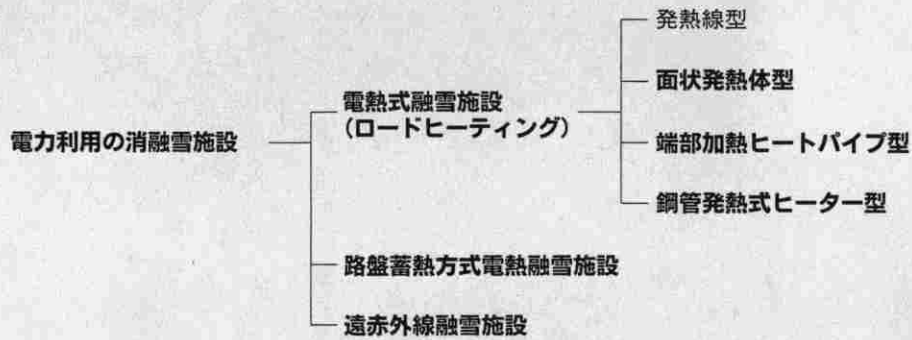


図 4 - 78 電力利用の消融雪施設の種類

●電熱式融雪施設の事例 ②面状発熱体型



写真 4 - 125 面状発熱体の布設状況 (奈良県都祁村：国道25号針ICランプ橋)

「防雪対策施設事例集」より抜粋 消・融雪施設・第4章4-85、86頁掲載