

北海道内における国道通行止めと吹雪量の関係に関する一考察

大宮哲*1 金子学*1 武知洋太*1 高橋丞二*1 松澤勝*1

1. はじめに

北海道内における冬期の国道通行止めは、吹雪に起因するものが約4割を占める。昨今、移動や物流などの社会経済活動は自動車交通に強く依存していることから、吹雪による通行止めが地域社会に及ぼす影響は大きい。

通行止めの実施判断は、風速や気温等の地上気象観測データのほか、道路管理用CCTVカメラ画像や現地パトロールによる現地状況や交通状況など、様々な情報に基づく。本研究の最終目標は、冬期の通行止め実施判断を検討する際の要素の1つとなりうる指標を見だし、提案することである。

本報では、吹雪の激しさを表す指標として用いられることが多い「吹雪量」を降雪強度と風速から推定するための式を作成した。また、この式によって推定した吹雪量やその他の気象要素と国道通行止め実施履歴との関係について調査したので、その結果について報告する。

2. 吹雪量推定式の作成

吹雪量は、「風に直交する単位幅を単位時間に通過する雪粒子の総質量」と定義されている¹⁾。しかし、吹雪量を自動的かつ連続的に計測することは容易ではないため、一般的には気象条件から推定されることが多い。

これまで多くの研究者によって吹雪量を推定するための経験式が示されている。例えば、小林ら²⁾や松澤ら³⁾によって、無降雪時の吹雪量、すなわち地吹雪に起因する吹雪量を推定するための経験式が示された。また、降雪を伴う吹雪時の吹雪量推定式については松澤⁴⁾によって示されている。その手法は浮遊層における乱流拡散理論に基づいたものであるが、松澤⁴⁾が提案した式中には、雪面上0.1m高さにおける飛雪空間密度や、浮遊層における吹雪粒子の落下速度など、一般的な気象要素ではないものが含まれていた。そこで本研究では、一般的な気象要素である降雪強度と風速のみから降雪を伴う吹雪時の吹雪量を推定する式について検討した。

吹雪量 Q は、降雪粒子に起因する吹雪量 Q_s と地吹雪粒子に起因する吹雪量 Q_b の合計である。ここで、 Q_s については風速(m/s)の鉛直分布と飛雪空間濃度(g/m^3)が分かれば任意の高さまでの範囲における吹雪量を求めることができ、それは式(1)で与えられる。

$$Q_s = \frac{P}{W_f} \int_0^H U(h) dh \quad (1)$$

式(1)における P は降雪フラックス($g/m^2/s$)、 W_f は降雪粒子の落下速度(m/s)、 $U(h)$ は高度 h における風速(m/s)を指す。本報では、Ishizaka *et al.*⁵⁾に基づき、 $W_f = 1.2m/s$ とした。ここで、風速の鉛直分布が対数則であると仮定し、測定高さ H_0 の風速 U_0 と任意の高さ h から、次式によって $U(h)$ を求めた。

$$U(h) = U_0 \frac{\ln(h/z_0)}{\ln(H_0/z_0)} \quad (2)$$

z_0 は雪面の粗度長を指す。本報では、大浦ほか⁶⁾に基づき、 $z_0 = 0.00015$ mとした。式(1)と式(2)から高さ7 mまでの吹雪量を算出し、さらに P を降雪強度 P' (mm/h)に変換すると、式(3)が求められる。式中の U_7 は高度7mにおける風速のことを指す。ここで積分範囲を高度7mとしたのは、道路防雪柵や道路標識の高さの大半が7m以下であることから、道路管理の実務においては高度7m程度までの吹雪量を加味すれば十分と考えられるためである。

$$Q_s \approx 1.42 \cdot P' \cdot U_7 \quad (3)$$

実際の自然環境においては、植生や地形などの影響によって地面粗度長が0.00015 mより大きくなる場合が多々あるため、式(3)で与えられる Q_s は、ほぼ最大値と仮定してよいと考えられる。

次に、 Q_s の最大値と Q_b の最大値の和、すなわち Q の最大値を推定するための関数について検討する。最大値に着眼する根拠は、防災の観点上、 Q の試算において安全側を考える必要があるためである。既往研究^{2),3)}などより、 Q_b は風速のべき関数で表されることが分かっていることから、 Q の最大値は、式(3)を用いて式(4)で与えられる。ここで、 b と c は係数である。

$$Q = 1.42 \cdot P' \cdot U_7 + b \cdot U^c \quad (4)$$

本検討では、3冬期(平成26~28年度)にわたって石狩吹雪実験場(N43° 12', E141° 23')で実施したネット式吹雪計(タンス型・筒型)による飛雪流量観測データおよびDFIR⁷⁾によって観測した降雪強度から算出した吹雪量 Q_0 を使用した。

b と c を求めるため、実測吹雪量 Q_0 から Q_s を差し引いた値、すなわち Q_b と高度7mにおける風速の関係につい

て検討する。Qbと風速の関係を図1に示す。ここでは、Qの最大値を推定するための関数を作成することを目的としていることから、風速を1m/s毎に階級分割し、各階級における最大のQbを抽出した。また、同じ風速階級内に振り分けられたデータ数が少ない場合（本研究では10個以下の場合とした）には、その風速階級における値は解析に使用しないこととした。図中に示してあるべき乗近似曲線は、各風速階級におけるQbの最大値に対して引いたものである（近似曲線の作成に用いた対象データを丸で囲ってある）。この結果、式(4)中の係数bとcが求められ、最大吹雪量の推定式は式(5)となった。

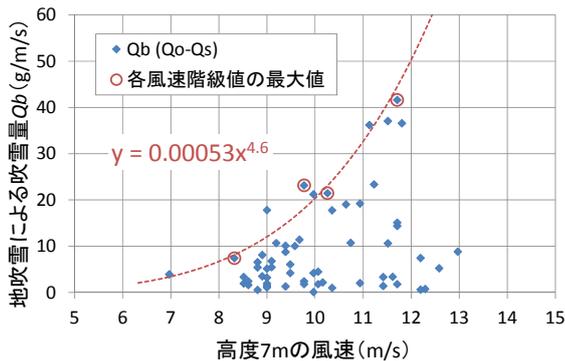


図1 地吹雪粒子による吹雪量 Qb と風速の関係

$$Q = 1.42 \cdot P^{\cdot} \cdot U_7 + 0.00053 \cdot U_7^{4.6} \quad (5)$$

3. 北海道内の国道通行止めと吹雪量の関係

3.1 暴風雪による通行止め事例の抽出

過去に発生した吹雪による交通障害発生時の気象条件について把握するため、通行止めの実施履歴および当時の気象観測データを収集し、通行止め実施と気象条件の関係について比較する。

北海道内の国道における過去35年間（1980～2015年度）の通行止めの履歴を収集し、この中から吹雪による通行止めの実施回数の多い11地点に対し、新しいものから順に10事例程度を調査対象とした。また、以下に示す3つの顕著な暴風雪災害事例についても、その期間中の通行止めを調査対象に加えた。これらの通行止め回数の分布を図2に示す。通行止めの発生頻度は北海道東部や北部で高い傾向にある。

災害事例①

日時：2004/1/13 ～ 1/16

人的被害：死者1名、負傷者11名

国道通行止め：20路線37区間

概要：低気圧の影響により、北海道全域で大雪と暴風雪が発生。北見地方で豪雪となった。

災害事例②

日時：2013/3/1 ～ 3/3

人的被害：死者9名

国道通行止め：5路線5区間

概要：北海道全域において大雪と暴風雪が発生。

北海道東部を中心に死傷者を出す災害に。

災害事例③

日時：2014/2/15 ～ 2/19

人的被害：なし

国道通行止め：12路線15区間

概要：オホーツク海側や太平洋側東部で長時間暴風雪が継続。交通途絶による経済損失発生。

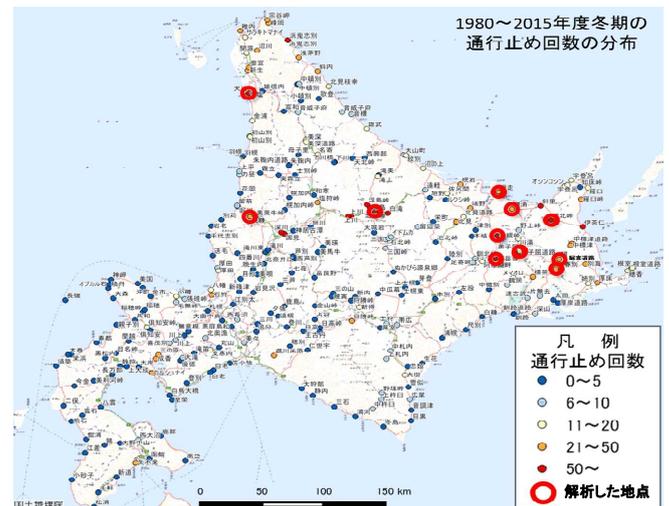


図2 通行止め発生事例の分布

3.2 吹雪量の算出

吹雪量を算出するにあたり、通行止め区間の中央に最も近い気象観測地点（気象庁アメダス、北海道開発局道路気象テレメータ）のものを採用した。

まず、大宮らが提示した吹雪発生条件フロー⁸⁾に基づき、降雪の有無や吹雪発生の有無を判別した。次に、第2章で提示した推定式（式5）を用いて吹雪量を算出した。本計算には雨量計による観測データを使用するが、雨量計は風の影響により降雪粒子を捕捉しにくくなるため、ここでは大宮・松澤⁹⁾の式により雨量計の観測値を補正し、降雪強度を求めた。

3.3 通行止めと気象条件の関係について

吹雪時の通行止めは、視界不良により車両の通行が危険と考えられる場合や、道路上の積雪や吹きだまりにより車両の通行が困難と考えられる場合に行われる。視界不良は現況の風速や吹雪量に依存し、一方、道路上の積雪や吹きだまりは、吹雪量や降雪量の累積により発生する。このため、通行止め開始時の現況気象値と、通行止め開始までの気象履歴の両方に着目し、解析を行うこととした。

3.4 通行止め開始時の現況気象値

通行止め開始時の現況気象値について、気象観測地点ごとの風速（高度10m）を図3に、また、気温を図4に示す。図中には、地点ごとに選んだ約10事例の最大、

平均、最小値を示す。これらより、通行止め開始時の風速は地点により大きく異なること、また通行止め開始時の気温は大半の事例において氷点下であることが示された。気温がプラスの場合には、吹雪や大雪が発生し難いことが、その理由として考えられる。

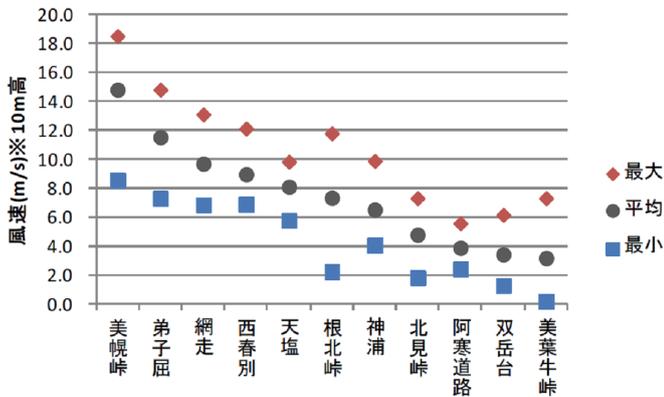


図3 通行止め開始時の風速（高さ10m）

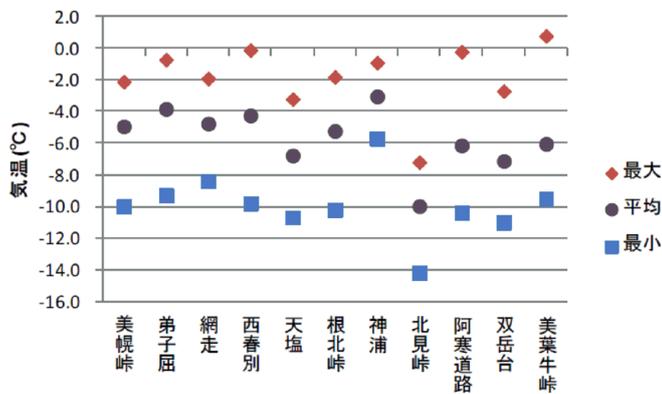


図4 通行止め開始時の気温

3.5 通行止め開始までの気象の履歴

通行止めは、一回の暴風雪における累計吹雪量値がある一定の閾値を超えた際に開始されると仮定し、気象観測地点毎に通行止め開始までの12時間の累積吹雪量を整理した（図5）。その結果、通行止め開始までの累積吹雪量の平均値は地点ごとに異なり、一定の閾値は見られなかった。

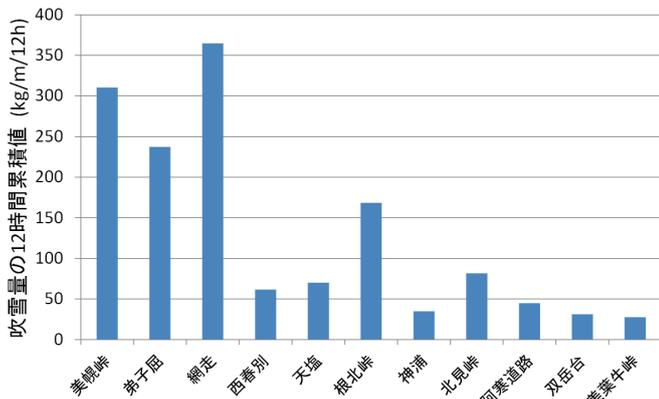


図5 通行止め開始までの累積吹雪量（平均値）

次に、気象観測地点ごとに通行止め開始までの時間と累積吹雪量の変化について整理した。その一例として、西春別テレメータおよび阿寒道路テレメータの結果を図6、図7に示す。これらのグラフでは、通行止め開始時を横軸の0時間とし、時間変化を過去に遡って累積した吹雪量を縦軸に表示した。例えば、図6の2004年1月14日の事例では、通行止め開始18時間前から通行止め実施までの累積吹雪量は約120kg/m、通行止め開始12時間前から通行止め実施までの累積吹雪量は約75kg/mとなることを示す。

通行止め開始までの累積吹雪量は、気象観測地点や通行止め事例毎に大きく異なり、特定の閾値は見つけれない。定量的に明らかではないが、地点毎の気象条件に加え、地形条件や除雪能力等、様々な条件の違いが影響していることが考えられる。その一方で、図6の西春別テレメータでは、通行止めが実施される4~6時間前以降、また、図7の阿寒道路テレメータでは通行止めが実施される10時間前以降の累積吹雪量が、通行止め実施に参与する傾向があることが伺える。なお、ここに示した地点以外に関しても同様の傾向があった。地点ごとに閾値は異なるものの、吹雪量が増加し始めてからの継続時間によって、通行止めの開始までの時間を推測する目安となる可能性があると考えられる。

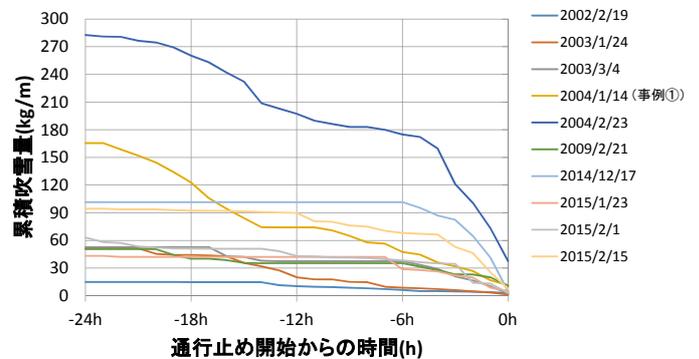


図6 通行止め開始までの累積吹雪量（西春別道路テレメータの例）

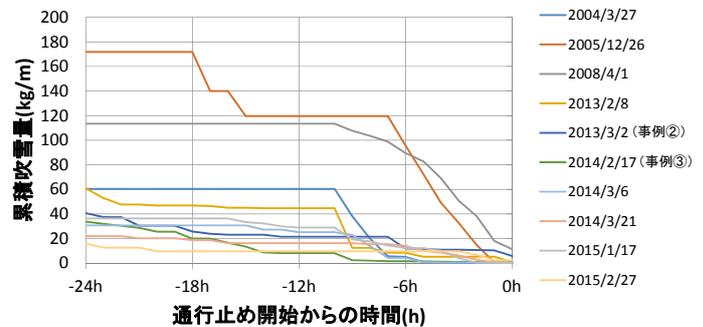


図7 通行止め開始までの累積吹雪量（阿寒道路テレメータの例）

3.6 通行止め実施有無と現況気象値の関係

これまで、暴風雪による通行止めが実施された場合について、通行止めに至る気象条件を検討してきた。次に、通行止めが実施された場合とされなかった場合の気象条件の違いに着目して比較を行う。ここでは、風速（平均・最大）、時間降雪量（平均・最大）、気温（平均・最低）と通行止め実施頻度について解析した。なお、通行止めが実施された場合については一吹雪事例中における気象値を用い、実施されなかった場合については日単位の値を用いた。例として、図8～10に阿寒道路テレメータの結果を示す。図8より、最大風速が約4m/sを超えると通行止めが実施されることが示された。また、図9より、最大降雪量が減少するにつれて通行止めが実施される割合が低下する傾向が示された。一方、図10に示す最低気温と通行止めとの関係については明確な傾向は見られなかった。

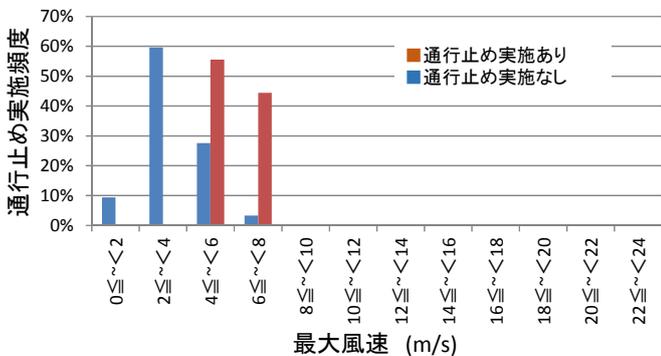


図8 最大風速と通行止め実施頻度の関係

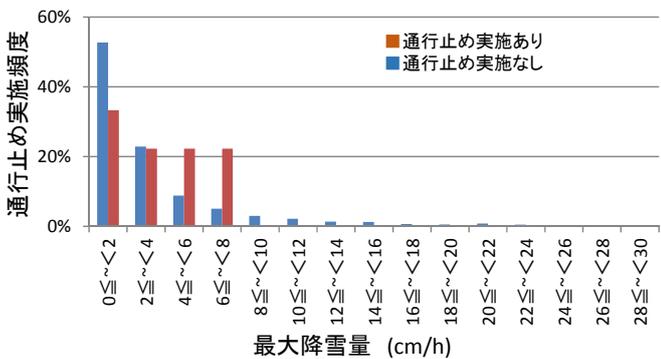


図9 最大降雪量と通行止め実施頻度の関係

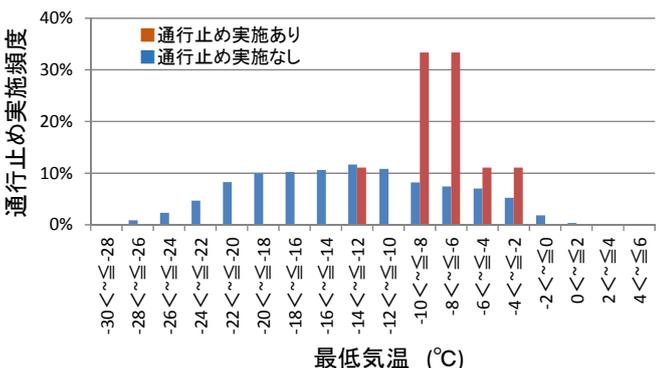


図10 最低気温と通行止め実施頻度の関係

4. まとめ

本研究では、降雪強度と風速から吹雪量を推定するための式を作成し、この式によって推定した吹雪量と北海道内の国道の通行止め実施履歴との関係について調査した。その結果、通行止め実施に至る吹雪量の閾値は見つからなかったものの、吹雪量が増加し始めてからの継続時間により、通行止め開始までの時間を推測する目安となる可能性があることがわかった。また、気象条件毎の通行止め発生頻度分布図を作成した結果、最大風速や最大降雪量が通行止め実施に関与することが示された。

通行止め実施の閾値は地点ごとに異なると考えられるが、風速や降雪量と通行止め実施の閾値が求められれば、気象の予測値を通行規制等の交通管理の判断支援に活用することが可能と考えられる。今後もさらに検討を進めることとしたい。

参考文献

- 1) 日本雪氷学会(2014)：新版雪氷辞典，P190.
- 2) 小林大二ら(1969)：みぞによる地吹雪量の測定，低温科学・物理編，27，pp.99-106.
- 3) 松澤勝ら(2010)：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，26，pp.45-48.
- 4) 松澤勝(2016)：降雪を伴う吹雪時の吹雪量の推定手法に関する研究，雪氷，78巻5号，pp.255-268.
- 5) Ishizaka *et al.* (2013)：A New Method for Identifying the Main Type of Solid Hydrometeors Contributing to Snowfall from Measured Size-Fall Speed Relationship，Journal of the Meteorological Society of Japan, Vol. 91, No. 6, 747-762.
- 6) 大浦ら(1967)：地ふぶき時における風速の垂直分布特性，低温科学物理篇，25，pp.73-88.
- 7) Goodison, Louie and Yang(1998)：WMO Solid Precipitation Measurement Intercomparison Final Report, WMO, pp.299.
- 8) 大宮哲ら(2015)：複数の気象要素に基づく地吹雪発生条件，寒地土木技術研究，第750号，pp.14-22.
- 9) 大宮哲・松澤勝(2017)：強風時における雨量計の降雪粒子捕捉率に関する検討，寒地土木技術研究，第769号，pp.2-8.