

極端な暴風雪の評価技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 26～平 29

担当チーム：寒地道路研究グループ（雪氷）

研究担当者：松澤勝、西村敦史、原田裕介、
武知洋太、大宮哲

【要旨】

近年、急速に発達した低気圧によってもたらされる暴風雪によって被害が激甚化するケースが散見される。しかしながら、吹雪の激しさを示す既存の指標は一冬期を通したものであり、一回の暴風雪の激しさを示す指標は存在しない。本研究の目的は、吹雪量に与える気象要因の影響度を解明し、一回の暴風雪の激しさを適切に評価する指標を作成すること、また、暴風雪の発生頻度や地域性について明らかにすることである。

平成 27 年度は、石狩および弟子屈において吹雪観測を実施したほか、既得の観測データを整理・解析した。また、近年の北海道における大雪・暴風雪の発生頻度や、国道通行止め実施頻度の地域傾向について解析した。

キーワード：暴風雪、飛雪流量、吹雪量、スノーパーティクルカウンター、通行止め

1. はじめに

近年、急速に発達した低気圧によってもたらされる暴風雪によって被害が激甚化するケースが散見される。平成 25 年 3 月には北海道東部において 9 名の命が失われるなど、その対策が大きな課題となっている。このような暴風雪災害に対し、より適切な対策を講じるためには、暴風雪の激しさを定量的に評価することが必要不可欠である。しかしながら、吹雪の激しさを示す既存の指標（年間累計吹雪量や視程障害発生頻度など）は一冬期を通したものであり、爆弾低気圧等によってもたらされる一回の暴風雪の激しさを適切に評価する指標は存在しない。

本研究の目的は、暴風雪時の吹雪量と気象要因の関係を解明すること、またその発生頻度や地域性の特徴を把握するとともに極端な一回の暴風雪の激しさを適切に評価する指標を作成することである。

平成 27 年度は、昨年度と同様、当研究所が所有する石狩吹雪実験場 (N43° 12' , E141° 23') および弟子屈吹雪観測サイト (N43° 30' , E144° 27') において各種気象観測ならびに吹雪観測を実施した。石狩吹雪実験場および弟子屈吹雪観測サイト（釧路圏摩周観光文化センター構内）の上空写真を図-1、2に記す。また、これら野外観測に加え、これまでに取得した観測データの解析を行ったほか、直近 31 冬期間の気象データを整理し、大雪および暴風雪の出現頻度やその時の低気圧タイプの特徴、地域性、国道通行止め実施傾向について解析した。



図-1 石狩吹雪実験場



図-2 弟子屈吹雪観測サイト
(釧路圏摩周観光文化センター構内)

2. 石狩および弟子屈における吹雪観測

暴風雪発生時の気象条件には地域特性がある。たとえば、石狩吹雪実験場が位置する道央地域では西高東低の気圧配置時に、弟子屈吹雪観測サイトが位置する道東地域では低気圧が通過する時に発生するケースが多い。そこで本研究では、暴風雪発生時の気象条件が異なること

が多い上記2地点において吹雪観測を実施した。両地点に共通する観測項目を表-1に、各種計測機器を取り付けた吹雪観測タワーの様子を図-3に示す。

表-1 観測項目

観測項目	観測間隔	台数
気温	10分	1
風向風速	1秒	4 (設置高度:0.5m, 1.0m, 3.0m, 7.0m)
飛雪流量	1秒	4 (設置高度:0.5m, 1.0m, 3.0m, 7.0m)
視程	1秒	1
積雪深	10分	1
日射量	10分	1
動画映像	連続(6時~18時)	1



図-3 吹雪観測タワー(弟子屈吹雪観測サイト)

表-1中の“飛雪流量”とは、吹雪の強さを示す物理的指標の1つである¹⁾。飛雪流量は、風向に対して直交する単位面積を単位時間に通過する雪粒子の質量(単位は、 $g/m^2/sec$)のことであり、一般的に雪面近傍ほど多く、高度が高いほど少ない。なお、飛雪流量を鉛直方向に積分したものが吹雪量である。飛雪流量計測には、高度別に設置した4台の飛雪粒子計測装置(Snow Particle Counter, 以下SPC)を用いた。SPCは非接触により光学的に吹雪粒子を計測する機器であり、平行光を照射しているセンサー内を粒子が通過することで生ずる光の減衰量から、飛雪流量を算出するものである。

今冬期の気象観測結果の一例(平成28年1月18日~1月24日)を図-4に示す。図中には4高度(0.5m, 1.0m, 3.0m, 7.0m)で計測した平均風速および平均気温を示す。

本観測では、SPCによる一冬を通じた自動飛雪流量測定のほか、吹雪イベント時には、人力による飛雪流量測定(箱形吹雪量計、ネット式吹雪量計を使用)を行った。箱形吹雪量計による測定では、雪面から高度0.1mの空間の飛雪流量を、ネット式吹雪量計による測定では高度0.1mから2.0mまでの空間の飛雪流量を測定した。図-5に人力観測の様子を、図-6に観測結果の一例(観測日:平成28年1月19日、観測回数:全8回分)を示す。

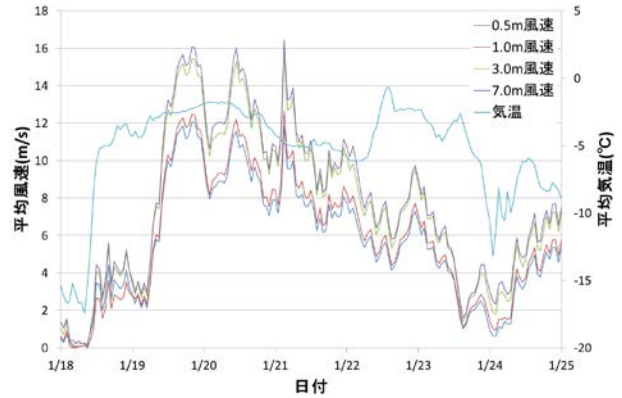


図-4 高度別の平均風速と平均気温(平成28年1月18日から24日の気象データ)

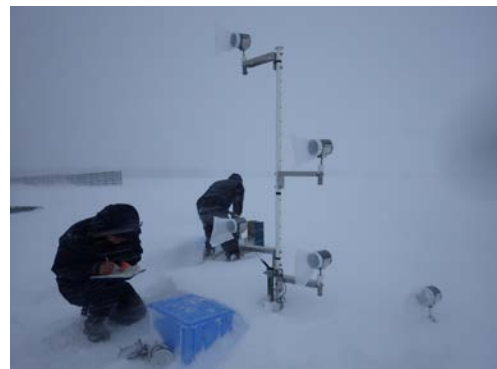


図-5 人力による飛雪流量観測

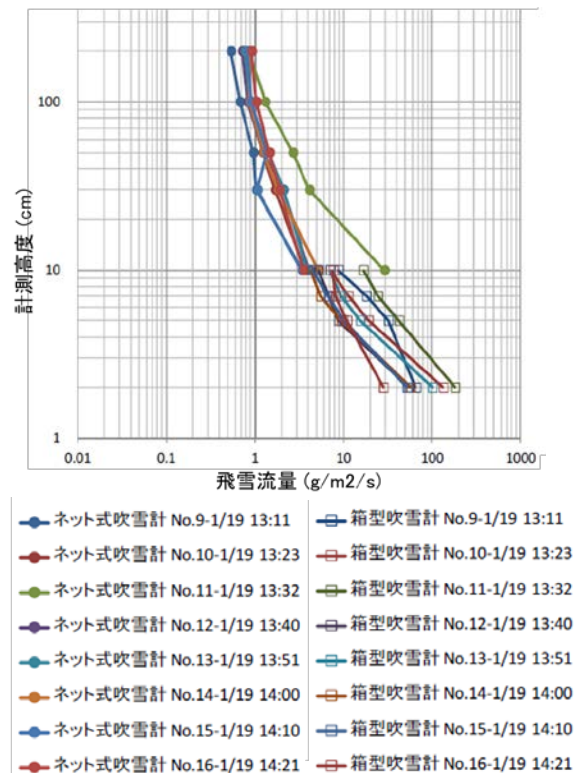


図-6 人力による飛雪流量観測の結果(平成28年1月19日の吹雪事例)

3. データ解析

本報では、昨冬期（平成 26 年度）に弟子屈吹雪観測サイトで取得したデータの解析結果の一例を記す。本解析では、以下の 4 つのパラメータに着眼し、その関係について調べた ①雪面粗度長 Z_0 ②摩擦速度 U_* 、③浮遊粒子の落下速度 W_b 、④基準高さ 0.15m における飛雪空間密度 N_t 。これらはいずれも吹雪現象を特徴付けるパラメータの一つであり、吹雪の激しさの指標である“吹雪量”を左右する要素である。これらのパラメータは、気温や風速等の一般的な気象値と同様、暴風雪時の吹雪量を評価するうえで重要な指標であることから、詳細な解析によってその関係を把握することが求められる。

パラメータ①～④の算出には、式 (1)～式 (3) を用いた。式 (1) は風速の対数則、式 (2) は飛雪流量と風速の関係式、式 (3) は浮遊層における飛雪空間密度と高度の関係式であり、乱流拡散理論に基づくものである²⁾。ここで、式 (1) 中の Z は高度、 $U(Z)$ は高度 Z における風速、 U_* は摩擦速度、 k はカルマン定数 (= 0.4)、 Z_0 は雪面の粗度長を示す。式 (2) 中の M_f は高度 Z における飛雪流量、 $N(Z)$ は高度 Z における飛雪空間密度を示す。式 (3) 中の N_t は基準高さ $Z_t (= 0.15\text{m})$ における飛雪空間密度、 W_b は浮遊粒子の落下速度を示す。

$$U(Z) = \frac{U_*}{k} \log\left(\frac{Z}{Z_0}\right) \dots (1)$$

$$M_f = N(Z) \cdot U(Z) \dots (2)$$

$$N(Z) = N_t \left(\frac{Z}{Z_t}\right)^{-\frac{W_b}{kU_*}} \dots (3)$$

はじめに、全 4 高度で計測した風速値から風速の鉛直分布を整理し、得られた鉛直分布と式 (1) とから、最小二乗法によって Z_0 と U_* を算出した。次に、式 (2) および式 (3) とから、最小二乗法によって N_t および W_b を算出した。

本解析にて得られた摩擦速度 U_* と雪面粗度長 Z_0 の関係を図-7 に示す。この結果から、吹雪発生時の Z_0 の多くは $10^{-3}\text{m} \sim 10^{-4}\text{m}$ 程度（平均値： $4 \times 10^{-4}\text{m}$ ）であり、一般的な雪面粗度長³⁾と概ね一致していることが確認された。また U_* についても、その値の大半が一般的に吹雪の臨界摩擦速度と言われる 0.2 m/s 以上^{4),5)} であることから、

これについても妥当であると言える。

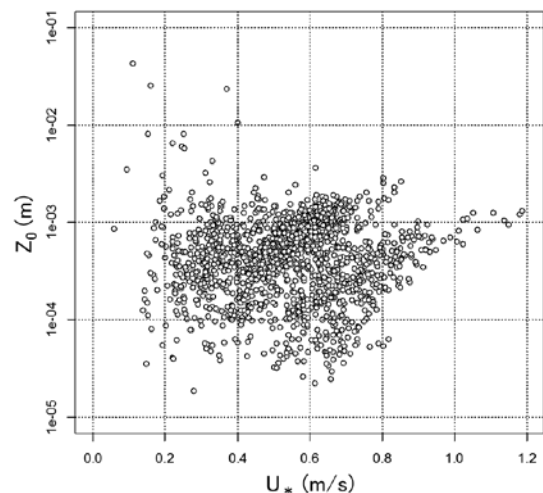


図-7 摩擦速度 U_* と雪面粗度長 Z_0 の関係

摩擦速度 U_* と浮遊粒子の落下速度 W_b の関係を図-8 に記す。この結果から、 U_* と W_b は比例関係にあることが示された。

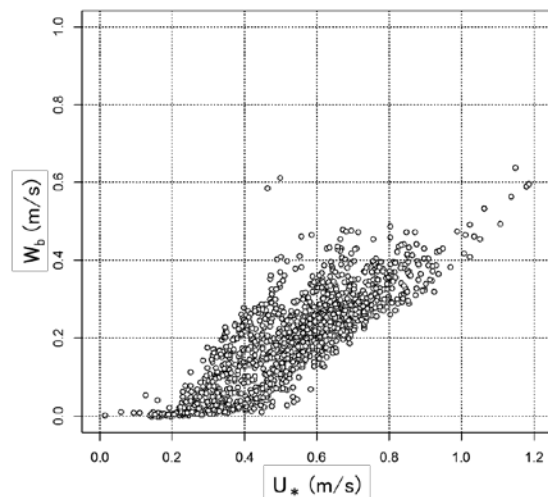


図-8 摩擦速度 U_* と浮遊粒子の落下速度 W_b の関係

摩擦速度 U_* と飛雪空間密度 N_t の関係を図-9 に記す。図中の赤丸は降雪があったときの結果を、白丸は降雪がなかったときの結果を示す。また、青で囲った部分は、降雪終了後から長時間にわたって強風が吹き続けたケースの解析結果を示す。これより、摩擦速度 U_* が大きいほど、また降雪がある時ほど基準高さ (= 0.15m) における飛雪空間密度 N_t は大きいことが示された。また、降雪終了後から強風が継続した場合には、 N_t が減少傾向を示すことが示された。降雪終了時点からの時間経過とともに徐々に地吹雪発生頻度が低下することが先行研究⁶⁾によって報告されているが、本解析結果はその内容とも合

致するものである。この要因として、無降雪で強風が継続することにより、積雪表層の飛雪しやすい小さな雪粒子が無くなったこと、また、雪粒子同士の焼結が進行したことで、雪粒子同士の結合力が大きくなったことが考えられる。

従来の飛雪流量計算^{7), 8), 9)}などでは、浮遊粒子の落下速度 W_f や飛雪空間密度 N_f は一定値として扱われることが多く、これが計算誤差をもたらす一因となっている。今後、さらに多くの観測データを用いて解析をすすめることにより、 W_f や N_f などの吹雪パラメータの関数化を検討する。また、人力観測データや降雪観測データを加味した解析を加えることによって、飛雪流量ならびに吹雪量計算の高精度化に臨む。

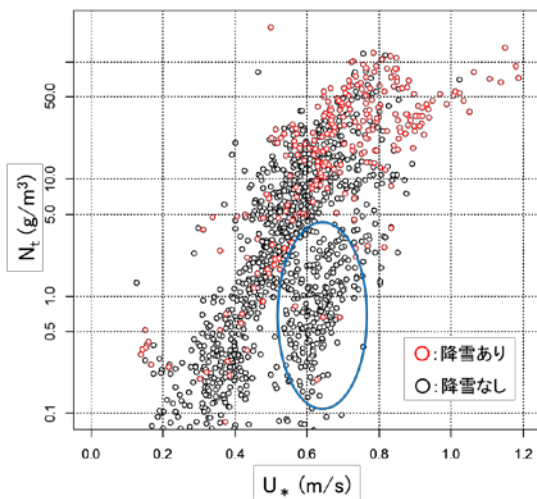


図-9 摩擦速度 U_* と飛雪空間密度 N_f の関係

4. 近年の北海道における大雪・暴風雪の発生頻度および地域性、通行止め実施履歴との関係

大雪や暴風雪の発生頻度およびその地域的な特性を明らかにすることを目的とし、過去31冬期(1984年度から2014年度)の気象データを整理した。ここでは、気象データから大雪・暴風雪事例を抽出したほか、発生時の低気圧タイプおよび地域性、国道通行止めの実施履歴との関係について解析した。

本研究では、北海道内にある全アメダス221箇所のうち、77地点で観測されたデータ(積雪深、平均気温、平均風速)を用いた。北海道内の大雪注意報の発令基準¹⁰⁾などにに基づき、大雪・暴風雪事例に加え、急速に発達した低気圧事例を抽出し、年度ごとに整理した。その結果、この方法によって抽出された大雪・暴風雪事例は、31年間で計87事例であった。図-10に、年度ごと大雪および暴風雪の出現回数ならびに低気圧の最低中心気圧の

推移を示す。なお、図中に緑で示した出現回数のうち、急速に発達したケースについては赤で示してある。本結果から、直近31年間に於いて、大雪および暴風雪の出現回数ならびに最低気圧について、顕著な変化傾向は確認されなかった。

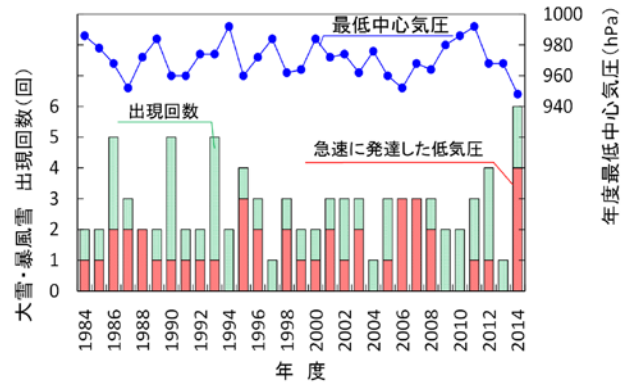


図-10 北海道における過去31冬期間の大雪・暴風雪の出現回数および低気圧の最低中心気圧の推移

次に、抽出された全87事例を、低気圧のタイプ別(前線の位置や移動経路など)に全17パターンに分類した。このパターン分類は大川¹¹⁾に基づいており、その詳細は表-2に記すとおりである。

分類の結果、表中に記すL6、L9、L11、L12の4パターンの発生回数が多いことが分かった。なお、それぞれの発生回数は、L6が9事例、L9が12事例、L11が12事例、L12が21事例であった。これら4パターンについて、10冬期ごと(1985~2014年度冬期)の発生回数を整理した結果を表-3に示す。うち、低気圧が急速に発達した事例数をカッコ内に記してある。この結果、近年、L12が顕著に増加していることが示された。L12の2005~2014年度の発生回数は11事例、うち9事例が急速に発達した低気圧であり、1995~2004年度に比べるといずれも倍以上であった。その一方、L6、L9、L11は明瞭な増減傾向は確認されなかった。L12で急速に発達する低気圧の発生回数の増加は、近年の北海道における大雪・暴風雪事例の特徴の一つと言える。

表－2 地上天気図の分類説明

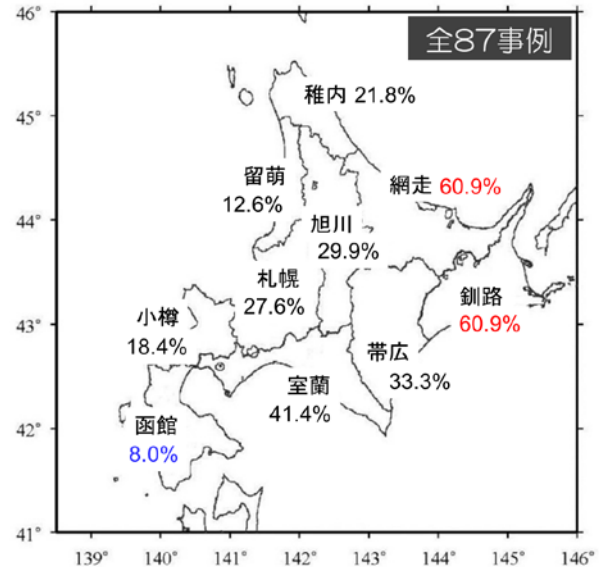
分類項目	記号	概要
低気圧	L1	低気圧が日本海西部から北東進して、東北地方の中部・北部を通る。
	L2	低気圧が日本海西部から北東進して、津軽海峡を通る。
	L3	低気圧が日本海中部から北東進して、北海道北部または宗谷海峡を通る。
	L4	低気圧が日本海西部から北東または北北東に進んで、宗谷海峡を通る。
	L5	低気圧が日本海西部から北北東進して、北海道の西海上を経て間宮海峡に達する。
	L6	低気圧が日本海中部から東進して、津軽海峡を通る。
	L7	低気圧が日本海中部から東進して、北海道中部を横断する。
	L8	低気圧が沿海州から東進して、宗谷海峡を通る。
	L9	低気圧が三陸沖を北東進する。
	L10	低気圧が沿海州北部から南東進して、北海道中央部を通る。
二つ玉低気圧	L11	低気圧が二つあり、それぞれ北海道を挟むように北東に並進する。
	L12	本州を挟んで二つの低気圧があり、日本海の低気圧が太平洋の低気圧に併合される。
前線	F1	南北に伸びる前線が北海道を通る。
	F2	南北に伸びる前線上の閉塞点が北海道中央部付近を通る。
	F3	前線が北から南下する。
	F4	前線が北海道に停滞する。
気圧の谷	TR	南北に伸びる気圧の谷が北海道を通る。

表－3 低気圧パターン（L6、L9、L11、L12）の10冬期ごとの発生回数（1985～2014年度冬期）

	期間	1985	1995	2005
		～1994	～2004	～2014
低気圧パターン	L6	3(1)	6(3)	0(0)
	L9	5(1)	4(1)	3(2)
	L11	3(3)	4(3)	5(2)
	L12	5(2)	5(4)	11(9)

※ カッコ内は低気圧が急激に発達した事例数

次に、大雪・暴風雪全87事例について、国交省北海道開発局の全10開発建設部管内における通行止めの実施有無について整理した。全87事例中における通行止め実施割合を、管内別に図－11に示す。その結果、北海道東部の釧路管内および網走管内において通行止めが実施されることが多く、その割合は60%を超えていた。一方、最も少なかったのは函館管内で、10%に満たなかった。



図－11 全ての大雪・暴風雪事例（87事例）に対する国道通行止め実施有無の割合

5. まとめ

平成27年度は、昨年度に引き続き、石狩吹雪実験場および弟子屈吹雪観測サイトにおいて各種気象観測および吹雪観測を行ったほか、既得の観測データを各種パラメータに着眼して解析した。また、過去31冬期分のアメダスデータを用い、近年の北海道内における大雪・暴風雪事例の発生頻度とその特徴、国道通行止め実施の傾向について解析した。次年度以降も継続的に吹雪観測を実施する予定である。また、得られたデータの解析をさらにすすめることで、暴風雪時の吹雪量と気象要因の関係、および暴風雪の発生頻度や地域性的特徴を解明するとともに、極端な一回の暴風雪の激しさを適切に評価する指標の作成に臨みたい。

参考文献

- 1) 日本雪氷学会：新版 雪氷辞典，古今書院，p166，2014
- 2) 塩谷：吹雪密度の垂直分布に対する一考察，雪氷，15巻，pp. 6-9，1953
- 3) 近藤：大気境界層の科学，東京堂出版，p219，1982
- 4) Kikuchi：Studies on aerodynamic surface roughness associated with drifting snow. Memoirs of the Faculty of Science, Kochi University, pp. 13-37, 1981
- 5) 西尾・石田：地吹雪における乱れのエネルギー消散率，低温科学，A31，pp. 69-85，1973
- 6) 武知ほか：地吹雪発生時の気象条件に関する一考察，雪氷研究大会（2010・仙台）講演要旨集，p216，2010
- 7) 松沢・竹内：気象条件から視程を推定する手法の研究，雪

- 氷, 64 巻1号, pp.77-85, 2002
- 8) Matsuzawa *et al.* :The development and validation of a method to estimate visibility during snowfall and blowing snow. Cold Region Science and Technology, Vol. 41, pp.91-109, 2005
 - 9) 松澤 : 吹雪時の視程推定手法に関する研究, 雪氷, 69 巻1号, pp. 79-92, 2007
 - 10) 気象庁ホームページ,
http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/kansoku_guide/b1.html
 - 11) 大川 : 北海道の動気候, 北海道大学図書刊行会, pp. 147-190, 1992

A STUDY ON TECHNOLOGY FOR THE ASSESSMENT OF THE INTENSITY OF EXTREMELY SEVERE SNOWSTORMS

Budget : Grants for operating expenses
General account

Research Period : FY 2014-2017

Research Team : Cold-Region Road Engineering
Research Group (Snow and Ice
Research Team)

Author : MATSUZAWA Masaru
NISHIMURA Atsushi
HARADA Yusuke
TAKECHI Hirotaka
OMIYA Satoshi

Abstract: Recent years have occasionally seen serious disasters caused by snowstorms resulting from rapidly developed atmospheric depressions. The current index of blowing snow intensity is designed to be applied to the whole winter season, and no index exists that shows the intensity of individual snowstorms. This study aims to determine quantitatively how each meteorological factor influences snow drift transport rate during extremely severe snowstorms, toward establishing a technology that will appropriately determine the intensity of individual snowstorms. In FY 2015, the following were done. 1) Blowing-snow observations were conducted in Ishikari and Teshikaga. 2) Observation data that we have obtained were organized and analyzed. 3) The frequency of recent heavy snowfall and snowstorms in Hokkaido was analyzed. 4) The frequency of national highway closures in some regions was analyzed.

Key words : Snow storm, Mass flux of snow particles, Snowdrift amount rate, Snow Particle Counter, Road closure