

車 載 型 吹 雪 計 の 開 発

Development of a Vehicle-mounted Blowing Snow Monitor

石本敬志* 竹内政夫**

Keishi ISHIMOTO and Masao TAKEUCHI

Schmidt 型センサーを使い、吹雪時飛雪粒子の数と大きさを連続的に測定し、それらを積算して飛雪量を測定できる車載型吹雪計を開発した。これにより得られた飛雪量を捕雪袋型吹雪計と比較することで、センサーと解析装置を含む小型吹雪計の信頼度を確かめた。さらに、変動の激しい飛雪量をリアルタイム測定できる利点を生かし、路上の観測車により運転者の眼の高さの飛雪量を解析することで、従来は危険なため事実上不可能だった道路路上における防雪柵の設置効果が測定できるようになった。

《吹雪；吹雪計；飛雪量；防雪柵；防雪柵設置効果》

A vehicle-mounted blowing snow monitor measuring continuous mass flux was developed. The accuracy of the monitor, including the analyzer, was established with a sock-type snow trap. The monitor was used to show the snow break effect of a blower-type snow fence by comparing the mass flux behind the snow fence with a no fence zone at motorist eye level on a highway.

Keywords: a vehicle-mounted blowing snow monitor, the snow break effect of a blower-type snow fence.

ま え が き

北海道の冬期道路交通を安全に確保するためには、吹雪による交通障害緩和が重要課題の1つである。視程障害も吹き溜りも、風で運ばれる飛雪粒子によるものであり、飛雪量 (mass flux: $\text{Kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) の正確な把握は防雪対策の基本となる。

吹雪時の飛雪量 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) を測る手段は、大別して2種類ある。1つは、飛雪粒子を捕捉しその重さを測る方法であり、もう1つは、飛雪粒子の数と大きさに対応する光の減衰特性を使う方法である。前者は原理が明確で、今までに多くの観測例が報告されている^{1,2,3)}。しかし、重さを測る方法は秤量誤差があるので、ある程度雪を貯めなければよい精度が得られない。また、捕捉率の推定が必要なほか、蒸発による影響も避けられない。

一方、後者は小型軽量化でき、リアルタイム測定が可

能であるが、幾何光学的誤差や飛雪粒子の形状を仮定しなければならず、測定値の信頼度評価を慎重に行う必要がある。供用中の道路上で使える吹雪計が現状では存在しないため、後者に属する Schmidt⁴⁾ (1977) 型センサー (Snow Particle Counter, SPC) を使い、解析装置を含む車載型吹雪計を開発した。他の飛雪量計との比較測定を行い、測定値の信頼度を確認した上で、吹雪頻発地帯の国道上で、防雪柵の設置効果を測定した結果を報告する。

1. 測定方法

SPC の測定原理を図-1 に示す。光源は光量を十分得るため光の拡散を最小限に抑え、受光面に一様に光が当たるといふ吟味された白熱ランプである。受光部では、2つのスリットから入った光が2個のフォトトランジスターに到り、飛雪粒子が風上側のスリットをとると正のパ

*応用理化学研究室副室長 **同室長

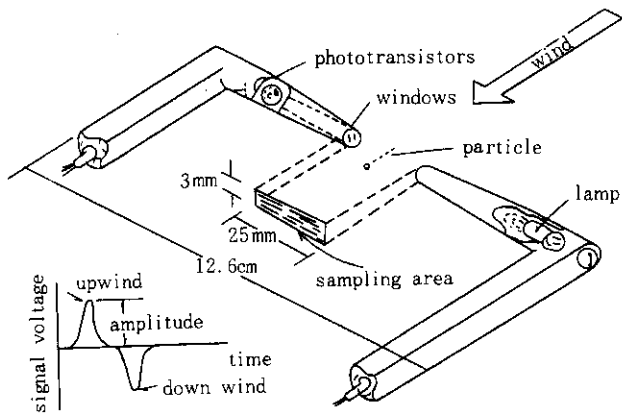


図-1 Snow Particle Counter センサーの測定原理 (文献4)より引用)

ルス、風下側のスリットをとおると負のパルスが出力される。パルスの出力電圧から雪粒子の大きさ、正負パルスのピーク時間から移動速度が測定できる。

ここでは、飛雪粒子の数と大きさから飛雪量を計算するため、正のパルス数と出力レベルを扱うこととする。センサーの処理装置を含むノイズレベルは500mv程度であった。車載型センサーとして使うときは振動やノイズ源が多いため、0.1V以下はノイズとして切捨てる。測定対象とする粒径は50~750 μ mであり、これに対応するパルスレベルは0.1V~2.20Vである。この間を7段階に分け、各々の粒径の個数を単位時間に積算し、対応する飛雪量に換算した。入力信号はレベルと周期の異なる連続

した正弦波であり、計算機のみで処理するには、1 MHzのA/D変換が必要な上、システムを制御する高速CPUと膨大なメモリーが必要である。このような装置は車載型として不向きなため、入力した信号のレベルにより8個のパルスカウンターを動かす解析装置を考案した。こうすると分解能は落ちるものの経済的である上、CPUが粒子の計測以外の仕事をしている間もカウンターが動作するため時間の損失がなく、長期連続観測も可能である。

トリガーレベル V_i に対応する粒径を D_i とし、各々のカウンターに積算される個数を N_i とする。 i は1~7である。 i 番目の粒径に対応する粒子の体積は C_i となり、吹雪時の飛雪粒子を球とみなすと、 $C_i = 4/3\pi(D_i/2)^3$ となる。センサーの測定断面積は0.75cm²であり、飛雪粒子を氷球(密度0.91g/cm³)とみなすとS秒間の飛雪量M(kg/m²・s⁻¹)は、 $M = (\sum_{i=1}^7 N_i C_i) / S$ となる。

サンプル時間Sは目的に応じ、1秒から任意時間を指定でき、連続的に飛雪粒径分布を測定できる。

SPCによる測定値の信頼度を調べるため、SPCセンサーと同じ高さの雪面上1mで化繊の布製捕雪袋(105 μ mメッシュ)型吹雪計を設置した。これらの設置状況を写真-1に示す。また、車載型吹雪計として使うため、観測車にセンサーを取りつけた状況を写真-2に示す。路上観測の例として示す場所は、一般国道231号の石狩河口橋から石狩町八幡方向へ約700mの間である。この間は盛土区間で、盛土高が6mから3mまで連続して変化している。

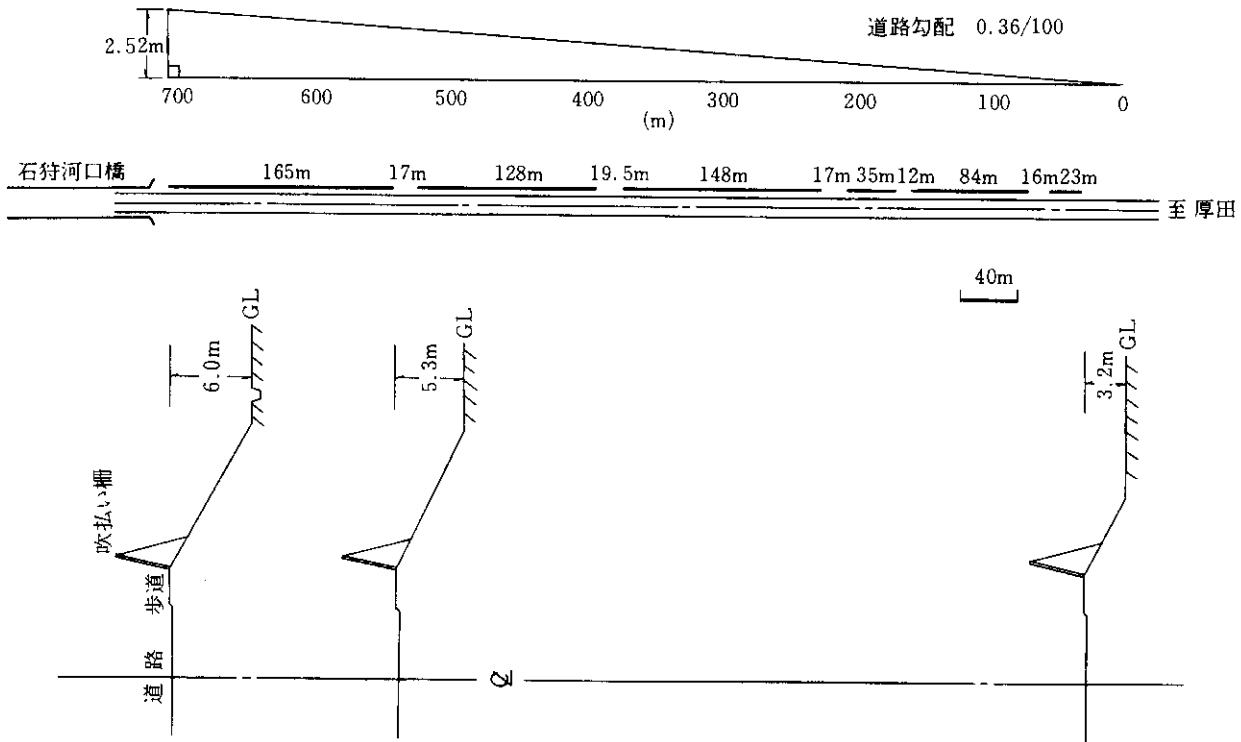


図-2 路上観測を行った吹払い柵設置区間の平面図と横断図



測定
2.
捕
結果
85%
雪袋
-4%
雪量
断線
雪袋

4MHz CPU 車載り8。こUが動作ある。々の7で),吹なる。氷球(kg. を指サー 5μm を写観測上観橋か土区る。

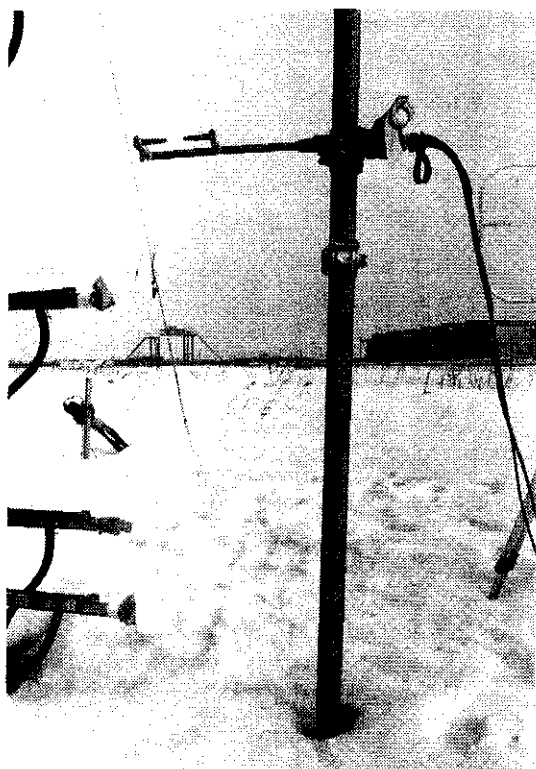


写真-1 雪面上に設置したSPCセンサーと捕雪袋型吹雪計

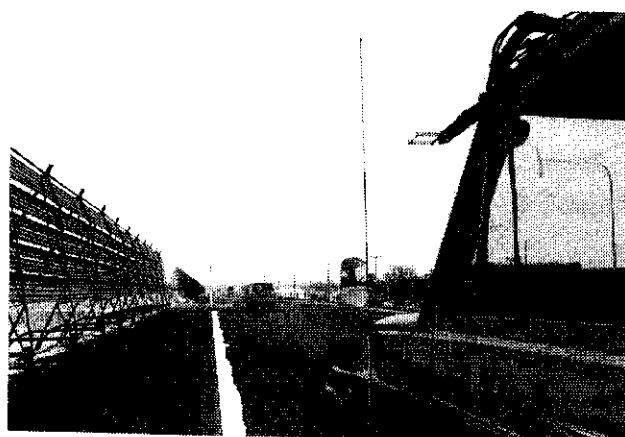


写真-2 観測車に取りつけたSPCセンサー

測定区間の平面図と横断の一部を図-2に示した。

2. 観測結果と考察

捕雪袋型吹雪計の空気力学的捕捉率を風洞で測定した結果を図-3に示した。5m/s以上の風速で捕捉率はおよそ85%である。雪面上1mに設置したSPCセンサーと、捕雪袋型吹雪計による飛雪量の比較測定を行った結果を図-4に、そのときの風速と気温を表-1に示した。両者の飛雪量が等しいときは図中の実線の関係になる。いずれも断続的な降雪を伴った吹雪状況下の観測結果である。捕雪袋型吹雪計による飛雪量がやや少ない結果になってい

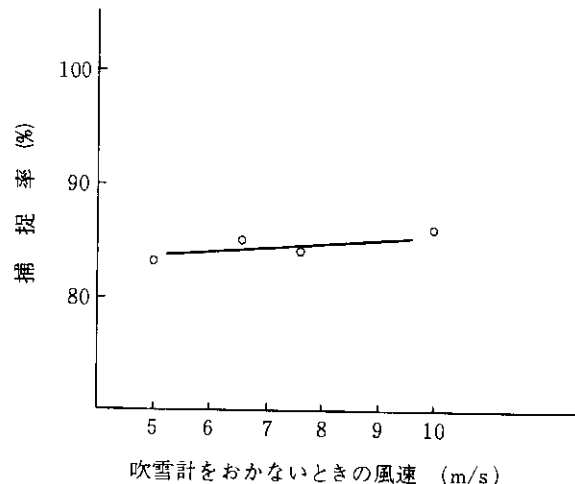


図-3 捕雪袋型吹雪計の空気力学的捕捉率

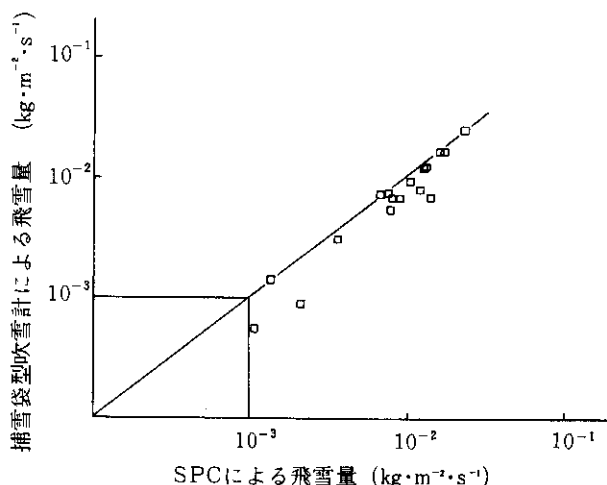


図-4 SPCと捕雪袋型吹雪計による飛雪量の比較

る。捕雪袋型吹雪計による飛雪量が少なくなった原因として、ネット内に飛雪粒子が入ると目詰まりなどで捕捉率が85%よりも小さくなる可能性があること、粒子数が圧倒的に多い小さい粒子ほど蒸発の影響を受けやすいことなどが考えられる。

また、飛雪粒子を氷球と仮定したことで、SPCの測定量を多く見積りすぎている可能性もある。しかし、現状では、飛雪粒子の絶対量を連続的に計測する手段はない。これまで述べてきたように、SPCによる飛雪量計測が、少なくとも捕雪袋型吹雪計と同程度の精度を持つことがわかった。

処理装置を含む吹雪観測システムの精度を確かめた上で、SPCを使って、供用中の道路における防雪柵設置効果を調べた。写真-2に示したように、センサーを観測車の屋根に取り付け、ほぼ一様な吹雪が継続しているときの防雪柵設置区間と、取り付け道路など柵の切れ目での飛雪量の違いを調べた。観測車は20km/h以下の速度で走

表-1 SPCと捕雪袋型吹雪計による飛雪量を比較したときの測定結果と気象条件

観測日時	観測番号	化繊吹雪計 ($\text{kg m}^{-2}\text{sec}^{-1}$)	小型吹雪計 (SPC) ($\text{kgm}^{-2}\text{sec}^{-1}$)	平均風速 (m sec^{-1})	気温($^{\circ}\text{C}$)
1987 2/12 22:42~22:52	9	1.26×10^{-3}	1.33×10^{-3}	8.0	-7.2
	10	2.73×10^{-3}	3.54×10^{-3}	8.8	-7.6
	11	8.00×10^{-4}	2.06×10^{-3}	8.1	-7.2
	12	5.00×10^{-4}	1.05×10^{-3}	8.4	-7.7
2/14 22:03~22:10	13	6.10×10^{-3}	1.39×10^{-2}	10.0	-9.2
	14	7.10×10^{-3}	1.18×10^{-2}	9.2	-9.5
	15	6.50×10^{-3}	6.55×10^{-3}	11.0	-9.2
	16	4.80×10^{-3}	7.68×10^{-3}	10.8	-9.4
	17	6.00×10^{-3}	7.82×10^{-3}	11.1	-9.8
2/26 2:40~2:45	1	1.46×10^{-2}	1.70×10^{-2}	11.8	-2.0
	2	1.46×10^{-2}	1.60×10^{-2}	13.8	
	3	6.60×10^{-3}	7.40×10^{-3}	12.9	-2.1
	4	8.30×10^{-3}	1.03×10^{-2}	12.8	
	5	1.07×10^{-2}	1.25×10^{-2}	12.7	
	6	2.21×10^{-2}	2.30×10^{-2}	14.2	
	7	1.10×10^{-2}	1.33×10^{-2}	13.9	
	8	6.09×10^{-3}	8.85×10^{-3}	13.7	-3.4

占めの割上で粒径測定現レベルに搭はか雪量防雪こ費か

り、2秒ごとに飛雪量を記録した。一般国道231号石狩における観測例を図-5に、またそのときの吹払い柵と道路

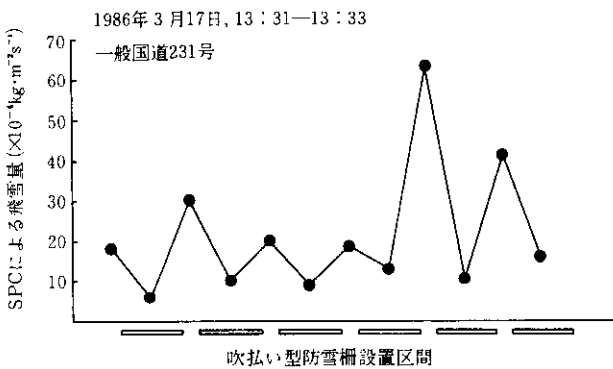


図-5 吹払い型防雪柵の有無による飛雪量の違い (一般国道231号石狩河口橋の八幡)

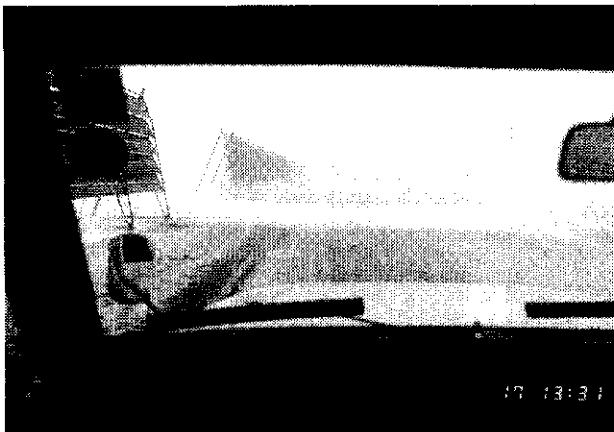


写真-3 車載型吹雪計による路上観測を行ったときの路面状況

上の吹雪状況を写真-3に示す。写真で見ると、吹払い柵の切れ目で路上へ運ばれる雪の量が多く、吹き溜りも多いことがわかる。柵の切れ目では飛雪量が柵の設置区間に比べておよそ3倍となっている。これは、視程に換算すると⁵⁾120mと260mであり、吹払い柵による視程障害緩和効果も推定できる。図-3に示した観測地点の平面図や横断図と図-5を対応させると、図-5の左から右へ向かって盛土高が6mから3mまで次第に変化している。この観測結果から、盛土の高い所では吹払い柵による吹払い効果が大きくなるため、低い所よりも飛雪量が少なくなっていることがわかる。

現地調査は、このほか一般国道337号新川、同5号八雲でも実施した。いずれの観測も、1地点1~2時間程度で測定を終了している。

あとがき

今回は応用面の紹介にとどめたが、長時間の連続観測が可能のため、測定対象空間をとる全粒子を対象に、各粒径が全飛雪量の中で占める割合や風速の強さによる粒径分布の違いなどが明らかになりつつある。

この観測システムは、 $50\mu\text{m}$ 以下の粒子を測定から除いている。われわれの観測では、 $50\sim 100\mu\text{m}$ の粒子が全粒子数の70~90%を占めている。改良を重ねノイズレベルを下げ、より小さな粒子をも測定できるようにすることが課題である。

ただし、 $50\sim 100\mu\text{m}$ の間に入る小さな粒子が全質量に

占める割合は10~20%であり、50 μ m以下の粒子では、この割合はさらに小さな値となるため、飛雪量を測定する上ではそれほど大きな誤差となるとは考えられない。大粒径ほど質量に効くものの、個数が減るため雪面近傍の測定をしない限り、粒径の上限は750 μ mで十分である。

現状でも車載型システムとして利用できるが、ノイズレベルを下げるなどの改良を重ね、道路パトロールカーに搭載し、簡便に利用できる可搬型吹雪計として普及をはかりたいと考えている。これにより、変動の激しい吹雪量を、供用中の道路上でもリアルタイムで測定でき、防雪施設の設置効果や必要度を定量的に明らかにできる。

この研究に要した費用の一部は、科学技術庁振興調整費から支出された。

参考文献

- 1) W. F. Budd, W. R. J. Dingle, and U. Radok (1966); The Byrd Snow Drift Project: Outline and basic results, antarctic research series VOL9 American Geophysical Union.
- 2) M. Takeuchi (1980); Vertical profile and horizontal increase of drift snow transport, Journal of Glaciology VOL26 No. 94.
- 3) 小林俊一(1986); 吹雪計の捕捉率について寒地技術シンポジウム '86 公演論文集.
- 4) R. A. Schmidt (1977); A system that measures blowing snow, USDA Forest Service Research Paper RM-194.
- 5) Keishi Ishimoto and Masao Takeuchi (1984); Mass flux and visibility observed by snow particle counter, Memoirs of National Institute of Polar Res. Special Issue No. 34.

*

*

*

2
6
2
7
2
5
2
4
8
0
1
4
い
も
区
換
障
面
か
こ
払
な
八
程
観
に
よ
除
全
粒
ベ
ル
こ
と
量
に