

降水量測定方式による降雪強度測定法の研究

著者	丸山 晴久, 北川 寿江, 草野 三郎, 横田 良夫
雑誌名	防災科学技術総合研究報告
号	21
ページ	43-50
発行年	1969-03-31
URL	http://id.nii.ac.jp/1625/00002592/

降水量測定方式による降雪強度測定法の研究

丸山晴久*・北川寿江・草野三郎・横田良夫
気象研究所

On a New-Type Snow Intensity Recorder

By

H. Maruyama*, T. Kitagawa, S. Kusano and Y. Yokota
Meteorological Research Institute, Tokyo

Abstract

A new-type snow intensity recorder is designed. The operating mechanism of the recorder is as follows: The collected snow entering through an orifice of the instrument is melted, and the melted snow falls as water drops of nearly constant volume from an end of a nozzle of the instrument. These drops short the electrodes successively, and as a result electric pulses take place. The pulses are amplified and the number of pulses is recorded at intervals of one or two minutes. In the case of an orifice with 200 mm of diameter the measurable range of snow intensity is from 0.15 to 15 mm/hr and in the case of an orifice with 141 mm of diameter from 0.3 to 30 mm/hr.

Errors of measurements of snow intensity and the collection efficiencies of the instruments are obtained statistically through field measurements, and the field tests show that the instrument is proper for measuring the snow intensity.

目 次

1. ま え が き.....	43	3. 観測の概略.....	46
2. 降雪強度測定器の概要.....	44	4. 観測の結果.....	47
2.1 測定器の原理.....	44	4.1 降雪強度計の測定誤差.....	47
2.2 受雪部の構造.....	44	4.2 捕捉率の測定.....	48
2.3 増幅器および記録器.....	46	5. 結果の検討と結論.....	49

1. ま え が き
近年，鉄道や道路など交通機関が発達し，山間

部においても高速道路が整備されつつある。これら交通機関にあたる降雪の影響は大きく，積雪

* 本論文執筆代表者 (The writer responsible for the present paper)

量ばかりでなく視程障害をおこし交通量を左右し事故をひきおこしたりする。比較的短い時間における降雪の強さの変化の実況を離れた場所(例えば駅や関門など)で連続記録しうるような測定器が必要である。

降雨強度の測器はいくつか開発されているが、降雪強度に関するもの、特に短時間の強度の変化を記録しうるものは見当たらない。著者の1人は、かつて降雨強度計を試作した(成瀬, 丸山, 1963)これは雨量計に入った雨水を一定の大きさの水滴として落下させ、これを電気的パルスにかえて増幅しリレーを働かせてカウンターで記録させるものである。この方式は雨量計と記録部を離すことが可能であり、弱い強度にも適している。降雪の強度は降雨のそれにくらべ約 $\frac{1}{10}$ ぐらいであるから短い時間の強度を測定するためには、非常に少ない水量が測定されなくてはならない。例えば1時間あたりの降雪強度が0.2 mm/hr のとき、1分間に雨量計に入る水の量は約0.1 cc となる。水滴にして強度を測定する方式は充分これに応ずることができるのでこの方式を応用して降雪強度の測定法を検討した。

2. 降雪強度測定器の概要

2.1 測定器の原理

受雪器のまわりをあたためて降雪をとかし、とけた雪水を口径の一定のノズルから一定量の水滴として落下させる。この水滴で極板を短らくさせる。極板間に生じた電気的パルスを増幅しリレーを働かせ、一定時間内のパルス数を記録させれば降雪強度として読取ることができる。

この過程にいくつかの問題点が存在している。雪をとかすために受雪口をあたためることが必要である。そのためまわりの気温より高くなるのでとけた雪からの蒸発がおこり降雪量が少な目に測定されることが考えられる。しかしこの量は受雪口に入った雪の量を正確に測定することが困難であるため、あとで述べる雪量計の捕捉の誤差に含めて一諸に測定した。第二の問題はノズルより落下する水滴の大きさが常に一定であるかどうかである。水滴がちぎれる時におこる偶然誤差が考えられるが、これは無視してよい程度であった。水滴の生ずる速さ、すなわち落下の時間間隔が短くなると水滴はやや大きくなる。1分間に20滴のときと100滴のときとくらべると水の量として後者は前者に比し約4%増加した。この外に水

滴の温度によってもその量は変化する。温度が10℃のときは30℃のときにくらべ約5%の増加が測定された。水滴がちぎれるのはその重量と切れ目に働く表面張力によってきまると思われる。表面張力は温度によって変化し、純水における10℃のときのその値は30℃の値に比し4.1%増加し、測定値と大体一致している。降雪強度計に用いる場合には水滴の温度はおよそ一定であるので温度の効果は考えなくてよいと思われる。

2.2 受雪部の構造

ノズルから落下する水滴の量はノズルの先端の外径によってきめられる。ノズルは図1に示したような形にし、ステンレス鋼を用いた。先端はその中心



図1 ステンレス製ノズル
 Stainless steel nozzle.

をえくり、先が乾いていても水が流れ出したときそのはしまで充分にぬらし小さい水滴が落下することのないようにした。先端の直径Dは必要な水滴の量になるように定める。本装置の場合は一滴の量が0.157 cc となるようにした。この値は2分間に一滴落下すれば、口径200 mmの受雪器

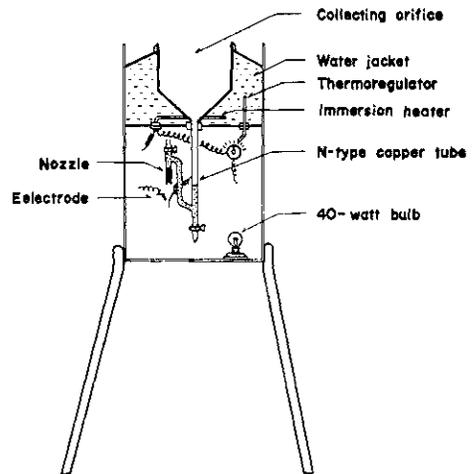


図2 受雪器の構造
 Structure of the snow collecting instrument.

を用いると 0.15mm/hr の強度に相当し、口径 141mm を用いると 0.3mm/hr となる。フルスケールはこの 100 倍であるからこの値は雪の観測には最も適したものといえる。

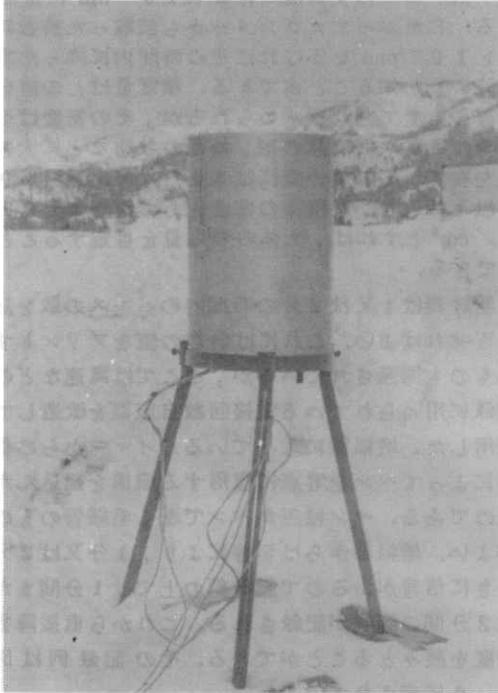


写真1 雪面に設置した降雪強度計の受雪部
Snow collecting instrument of snowfall intensity-meter being settled on the snow.

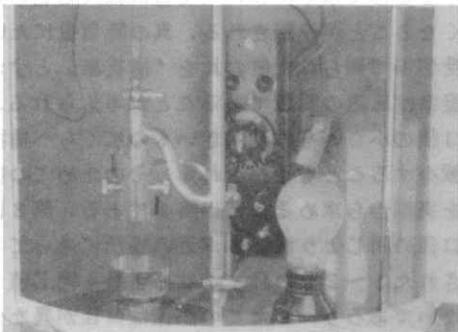


写真2 受雪部の内部
Inside view of the snow collecting instrument.

受雪部の概略図を図2に、雪面に設置した写

真及び内部の写真を写真1、写真2に示す。外形は円筒型になっていて受雪口のまわりに水の入るタンクを設けてある。このタンク内に 200W のヒーターを入れ、サーミスター温度調節器により水温を一定に保つようにしてある。この温度は勿論 0°C 以上でなくてはならないが、 0°C に近いと降雪がとけるのに時間がかかりおくれが生ずる。特にあられのような大粒の粒子のときはその影響が大きい。また水温が高すぎると蒸発する量が大きくなることが考えられる。実際の降雪についての観測の経験からタンクの水の温度は $+5\sim 10^\circ\text{C}$ 位が最も適当であることをみいだした。

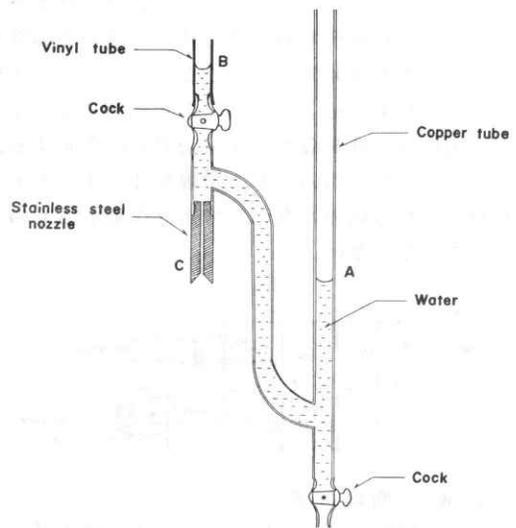


図3 N字管の構造
Structure of N-type copper tube.

受雪口より入りとけた雪水は、外径 10mm の銅製のN字型のパイプを通り先端のノズルより水滴となって落下する。N字管は図3に示すような構造になっていて、予め下のコックを止めた上のコックを開いてAの方より水を入れ、Bの口より水があふれ出たらBのコックを止めると水はCのノズルの先端より流れ出して水面はAの位置で止まりN字管の中は水で満たされる。このときBの位置に空気が入らないように注意する。このN字管をつけた理由は、受雪口に入った塵埃などが、ノズルの細管をつめることのないように管の下部に沈澱させるためのものである。N字管やその中

の水は温度変化や蒸発などにより、水が減少する。もしCの口の内径が太いと水が減少すればこの口よりN字管の中に空気が入ってしまう。空気は水より体積膨張率が大きいからこの傾向が助長され、温度変化で水滴が落下することになる。これを除くためにCのノズルの内径を細くしてある。これがあると中の水が失われることが少なく、失われても空気が中に入ることはない。N字管の中の水が凍結するのを除くため、写真2でみられるように40Wの電球を入れた。

2.3 増幅器および記録器

雪や雨水には常に或程度の塩類がとけ込んでいる。特に都市や降り始めの降水にはより多くとけていて電気伝導度は大きい。しかし山間部など空気のきれいな場所や長く降り続いた終り頃の降水の電気伝導度は非常に小さくなる。したがって極板の間(約1mm)に水滴によって閉じてつくられる抵抗は10kΩから1MΩぐらい変動する。そのためこれに用いられる増幅器は、少くとも2MΩに流れる電流にたいして充分作動するものでなくてはならない。

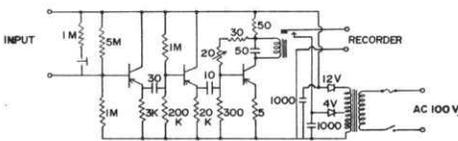


図4 増幅回路図
 Schematic diagram of amplification circuit.

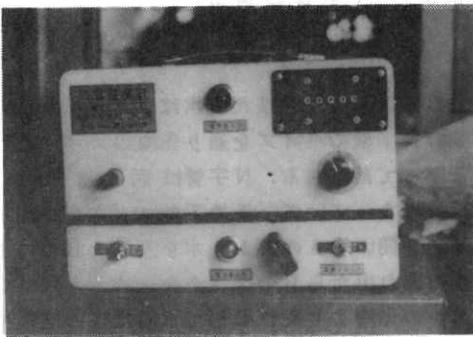


写真3 降雪強度計の増幅器
 Amplifier of snowfall intensity-meter.

ここでは図4に示したようなトランジスタの

3段増幅を用いた。この増幅器を用いると5MΩまで安定な作動を行なう。写真3にあるようにカウンターをつけ或る時間内における総滴数を読取れるようにしてある。この値から降水量に換算しうる。例えば、一滴が0.157ccであるとき、200mm口径の受雪器では 2×10^{-2} mmに相当する。したがってカウンターから読取った滴数に 2×10^{-2} mmをかければその時間内に降った雪の降水量を知ることができる。積雪量はこの値を積雪の密度で割れば求められるが、その密度はその時の気温や雪結晶の形、地面の状態などに大きく左右されるので一概にはきまらない。気温が0℃以下のときは、積雪の密度としておよそ0.1g/cm³とすれば、大体の積雪量を推定することができる。

記録器は1又は2分の時間内のパルスの数を記録させればよい。これには計数の値をプリントするものも開発されているが、ここでは風速などの記録に用いられている電接回数自記器を改造して使用した。増幅器に入っているタイマーからの信号によってペンを零点に復帰する機構を組込んだものである。ペンは三角ペンでなく毛細管のものがよい。増幅器からは切替により、1分又は2分おきに信号が出るので記録紙の上では1分間または2分間の滴数が記録される。これから直接降雪強度を読みとることができる。その記録例は図5, 6に示されている。

3. 観測の概略

雪は雨に比して落下速度が約 $\frac{1}{10}$ 程度で大部分は50cm/sec ~ 1m/secの範囲にある。そのため風によって流され易く、風速が5m/sec又はそれ以上になると雪の流線はほとんど水平に近くなるので水平においた受雪口に入る雪の量は少なくなることが予想される。真の降雪量にたいする受雪器で測られた値の比を“捕捉率”とすれば、捕捉率は風速の関数であることが考えられる。また口径の小さいものは大きいものにくらべ捕捉率が減少することも予想される。そのためこの捕捉率を実測から求めることが第1である。第2に同じ口径の同じような測器が近い場所にあっても測定された1~2分の降水量は必ずしも同じ値を示さないであろう。またこの誤差は口径が異なればちがいが、強度、時間によっても異なるであろう。この誤差は一つの測定器のもっている偶然誤差と考えることができる。これを実測から求めるには同じような測器を2台必要とする。降雪強度計からえられた短い時間の強度の変化が意味あるもの

かどうかを評価する上に重要なことである。そのため、口径が200 mmのものと141 mmのものを各々2台ずつ試作した。

試作した降雪強度計が果して実用になりうるかどうかの検定と、上に述べた誤差をみいだすのを主な目的として、1966年、1967年の2年間、各々1～2月に新潟県の中里において降雪の観測を行なった。近くに障害物のない平坦な場所をえらび、口径200 mmと141 mmの受雪器各々2台を互に約4 mぐらい離して降雪時の主風向に直角に並べて設置した。その近くの雪面近くに口径1 mの大型受雪器をおいた。これの内側にビニールの布がはってあり、これに入った雪はそっくり取出されその重量から雪の量は求められる。真の降雪量は測定できないのでこの値を基準にして捕捉率を求めた。風向、風速はエーロペンで測定した。増幅器と記録器は約100 m離れた民家の室内においた。記録器は4台とも同じタイマーを用いて2分毎に同時にリセットするようにした。1968年の1～2月は口径200 mmの降雪強度計1台と大型受雪器を、長岡雪害実験研究所構内に設置して降雪の観測を行なった。同研究所では光線を降雪にあてその反射光および透過光の強さの測定から降雪強度を求める測定器を開発しているのでそれと比較測定も行なった。捕捉率を求めるために受雪部のノズルから落ちた水滴をビーカーに集め、メスシリンダーでその量を測定した。

4. 観測の結果

4.1 降雪強度計の測定誤差

記録の一例を図5、図6に示す。図5は口径が200 mm (a) と141 mm (b) のものについて同時測定したときの自記紙である。縦軸は強度をあらわし (a) については1目盛が、0.15 mm/hrに相当し、(b) については0.3 mm/hrである。したがってフルスケールは各々15 mm/hr、30 mm/hrである。これは2分のタイマーでリセットしたものであるが1分でリセットすれば、強度の目盛は2倍の値となる。図5の(a)、(b)を比較すると両者とも大変よく似た時間的変化をしている。図6は長岡における冬季季節風時の降雪の強度変化を示す。(a)はシベリヤ高気圧の吹出しによるあられを主体とするしゅう雪の記録であり、(b)は1968年2月1日、2日に北陸一帯に豪雪をもたらした時

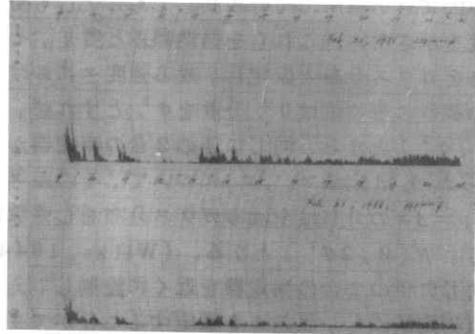


図5 降雪強度計記録の一例

a) 上図 口径200 mmのもの
b) 下図 口径141 mmのもの
Example of record by snowfall intensity-meter.

a) upper: 200-mm orifice,
b) lower: 141-mm orifice.

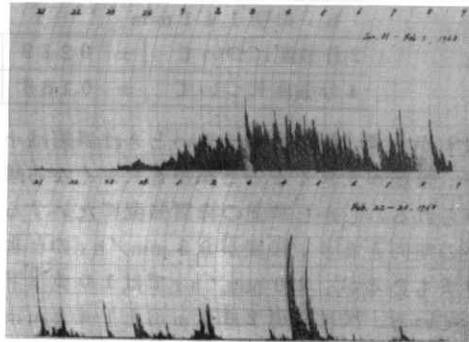


図6 長岡における記録

a) 下図 高気圧の吹出しに伴うしゅう雪
b) 上図 豪雪タイプの強度変化
Record of snowfall intensity-meter in Nagaoka.
a) lower: snow shower by temporal intensification of northwesterly monsoon.
b) upper: fluctuation of intensity in heavy snowfall.

の記録である。両者の強度変化に大きなちがいがあり興味深い。

このような記録が多くえられたので、それらを用いて同じ口径のものや異なったものについて相互の相関や誤差を統計的に求めた。

一様に降っているように見える雪も小さい面積に入る量は一樣でないと思われる。またリセットに $\frac{1}{4}$ ～ $\frac{1}{2}$ 秒を要するのでその時間内に水滴が落下したときはカウントされないこともある。これら

の原因で近い場所で同時観測しても必ずしも同じ強度を示さない。これらを偶然誤差と考え、その分布をガウス分布と仮定し、或る強度 x におけるその誤差の平均値は 0、分散を σ^2 とすれば、 $N(0, \sigma^2)$ となる。同じ口径の 2 台の測定器からえられた測定値 x_1, x_2 について、その差 $x_1 - x_2 = \Delta x$ の分布はやはりガウス分布をし分散は 2 倍、 $N(0, 2\sigma^2)$ となる。(Wilks, 1944)
 同じ口径の 2 台の測定器を近くに設置し、えられた測定値から、誤差 σ を推定することができる。しかし強度が変ればこの値も変ることも考えられるので強度を数階級に分けて求めた。同じ口径の

2 台からえられた時間 i における測定値 x_{1i}, x_{2i} の差 Δx_i について

$$\bar{\Delta x} = \frac{\sum \Delta x_i}{N} \quad (1)$$

$$\hat{\sigma}^2 \equiv u^2 = \frac{\sum (\Delta x_i - \bar{\Delta x})^2}{N-1} \quad (2)$$

式(1)、(2)により平均値 $\bar{\Delta x}$ 、不偏分散 u^2 を計算した。口径 200 mm と 141 mm について各強度階級について求めた誤差の推定値 u (mm/hr) を表 1 に示す。

表 1 降雪強度計の誤差

a. 口径 200 mm					
降雪強度	0.15~0.6	~ 1.2	~ 1.8	1.8 <	total
2分間強度について	± 0.146	0.214	0.210	0.281	0.244
4分間強度について	± 0.134	0.163	0.164	0.215	0.158
b. 口径 141 mm					
2分強度について	± 0.239	0.360	0.474	0.369	0.330
4分強度について	± 0.188	0.271	0.369	0.255	0.263

表 1 から降雪強度が小さいときは誤差は小さいが、強度が大きくなると誤差も大きくなる傾向がみられる。しかし誤差の降雪強度にたいする比は逆の傾向となり、強度が 0.5 mm/hr のときは 30% もあるが、2.0 mm/hr では 10% 以下となっている。次に口径 200 mm と 141 mm と比較すると大きい方が誤差は小さくなっているが受雪口の面積が 2 分の 1 となっても誤差は 2 倍より小さい。

第 3 に強度測定の時時間の 2 分と 4 分とを比較すると時間が長い方が誤差は少くなる。

口径 200 mm の強度計 2 台で測定した値について相関係数を求めると 0.895 となる。口径 141 mm のもの同志について求めた相関係数は前者よりやや劣るが 0.809 がえられた。

4.2 捕捉率の測定

さきに述べたように雪は落下速度が小さいため風の影響を受け易く、受雪計のまわりの乱流も影響して受雪口に入る雪の量は一般には真の降雪量より減少すると考えられる。しかし真の降雪量を実測することは大変困難である。今回は直径 1 m の円型の大型受雪器に入った雪の量を基準として捕捉率を求めた。大型受雪器の内側に予めビニール布をはっておき、ある時間内に降った雪をその

ビニール布で包んで秤で重量を測定し、この量を口径 200 mm の面積当りの量に換算した。

一降雪又は 1~2 時間おきに測定した降雪強度計に入った量の同じ時間における大型受雪器の量にたいする割合を捕捉率として求めた。図 7 は

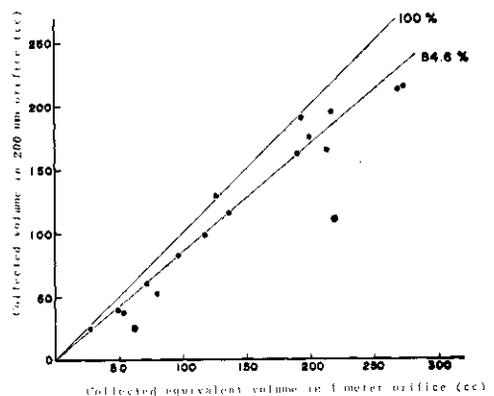


図 7 口径 1 m と 200 mm の受雪器に入った雪の量の比較

Comparison of collected volume, in 1-meter orifice and 200-mm orifice.

大型受雪器から換算した値と200 mmの受雪口に入った量の比較である。もし両者に降った量と同じなら45°（捕捉率100%）の線にのることになる。図7はいずれもその線より下まわっており、捕捉率であらわせば平均84.6%のまわりに散らばっている。ここで2重丸した2個は大分離れているがあとでのべるように平均風速が5 m以上となり、地ふぶきが生じたときの値である。m/sec以上となり、地ふぶきが生じたときの値である。

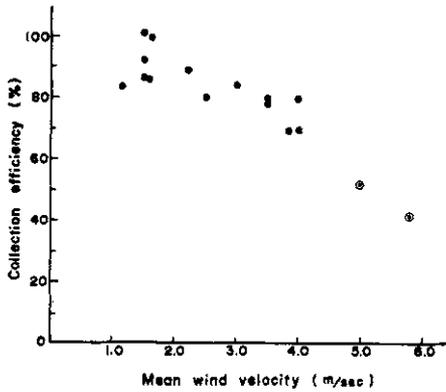


図8 平均風速と捕捉率との関係
Relation between mean wind velocity and collection efficiency.

同じ資料を用いて各資料採集時間における平均風速との関係を求めたのが図8である。この図で風速が増加すると捕捉率は低下する傾向がはっきりみられる。5 m/sec以上にある二つは前のべた地ふぶきが生じた時の資料であり雪面に近い大型受雪器に雪がより多く入ったため捕捉率が異常に低下したと思われる。

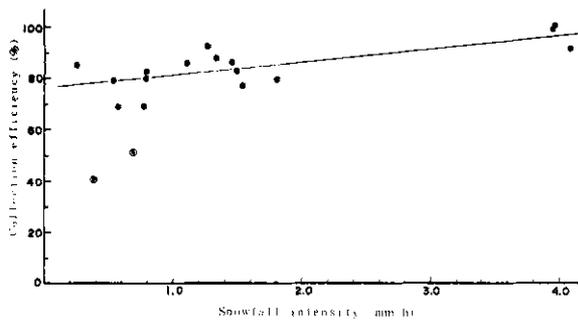


図9 捕捉率と降雪強度との関係
Relation between snowfall intensity and collection efficiency.

図9は降雪強度の値にたいする捕捉率の関係を示す。強度が増加すると捕捉率が増加しているように見られるが、強度の大きい時の方が風速が弱い傾向があるので見かけ上そのような関係が生じたものであろう。

5. 結果の検討と結論

降水量測定に用いられている雨量計と同じ口径200 mmと141 mmをもつ降雪強度計を試作し、その実用試験を行ない良好な結果をえた。降雪をとくすための水のタンクの温度は+7°C前後に保っておけば、相当強い降雪でもまた大粒のあられたいしても雨と同程度のおくれで記録できることがわかった。しゅう雪性のあられば降り始めから、降り終りまでの全降水量は多いとはいえないが短い時間の強度変化をとると時々、非常に強いものがあらわれる。2分間の降雪強度で10 mm/hr程度は普通で稀には20 mm/hrに達することもあった。雪片の場合は一般に弱く、1~2 mm/hr程度であるが、6 mm/hr以上は稀であった。したがって今回用いたノズルの太さは適当であったといえることができる。口径141 mmの受雪口をもつものについてはその太さを細くして水滴の質量を半分にした方がよいと思われる。しかし降雨やみぞれのときも測定するような時はフルスケールが30 mm/hrかまたはそれ以上が必要となる。この装置は雨も雪も共に測定することができ大変便利な点もあるが雪の強度のみ必要とする場合は、雨雪判別器を併用しなくてはならない。雪片とあられる降雪は記録からおおよそ判定することができる。降水量はカウンターから読取ることができるが、積雪量は温度の記録があればおおよそ推定することができる。

降雪強度の測定誤差は強度が弱いと30%、2 mm/hr以上では10%程度であったが、これは、一つ当りの誤差であり強度変化を論ずる場合には少くとも6~10分以上の時間について行なり。このときは強度の値は数個以上の比較となる。N個の資料を用いるとその誤差は $1/\sqrt{N}$ となる。例えば9個の資料では $1/3$ となる。したがって多くの資料を用いればこの誤差は大変小さくなる。200 mmと141 mmのものと比較すれば、200 mmの方が誤差は小さいが、141 mmのもでも充分使用しうることがわかった。

直径1 mの大型受雪器との比較から求めた捕捉率は風速4 m/sec以下のときは平均85%程度

であり、3 m/sec 以下の風のときは80~100%の範囲にあった。これは北陸地方に降った雪について行なったものであるから少し大きく出ているかも知れない。この地方の雪はほとんど雪粒が付着凍結しており、落下速度がより大きいと思われるからである。降雪強度の変化を調べるのにほとんどさしつかえないと思われるが、降雪量を知る目的には充分考慮しなくてはならない。とくに気温が低いと風により地ふぶきがおこりやすく積雪面から雪が舞い上り降雪量に影響をあたえる。雪量計を高くする以外に防ぐ方法はないであろう。上に述べた捕捉率は口径200 mmのものについてであるが、141 mmについては200 mmとの比較においてほとんど100%とみなすことができた。すなわち約1時間おきの測定値、14個の平均が、99.9%であった。2分間のような短い時間の降水量の測定誤差は大きい、長い時間の平均では両者は同じとみなすことができることを示している。

以上のことから結論されることは、

1. 開発された降雪強度計は充分実用になること

がわかった。2分間単位の時間的変化の誤差も明らかにされた。

2. 降雪量測定に関する一般の問題であるが、降雪の捕捉率は風速に大きく影響され風が3 m/secより弱いときでも20~10%の捕捉は必要であることがわかった。しかし口径200 mmのものと141 mmのものについての捕捉率はほとんど同じと考えてよいと思われる。

3. この強度計は雪ばかりでなく雨について使用しうる。したがってこれの使用に際しては、雨雪判別器、風向風速計、気温などの測器の併用が望まれる。

最後に、この研究を行なうのに討論していただいた応用気象研究部桜庭信一部長、および雪害実験研究所斎藤博英所長および同研究所第1研究室の方々に厚く御礼申しあげる。

参 考 文 献

- 成瀬・丸山(1963): 自記雨量強度計による降雨の観測・天気, 10, 238-241.
Wilks, S.S.(1944): *Mathematical Statistics*, Princeton Univ. Press.