吹雪時の降雪量について

高橋 延 男* 魚 津 博*

要 旨

降雪量観測に用いられている円筒型雪量計は、雪質と気象条件によって降った雪がそのまま入らない。今回、雪量計自身の影響による受雪口上の吹き上げ気流と雪片の落下速度を考慮して、捕集率の実験式を求め、一方、野外観測を行なってこの式を検討してみた。

1. ま え が き

積雪地における降雪量は各種の円筒型雪量計を用いて観測されているが、雪質と気象条件によって実際に降った雪が、そのまま円筒型雪量計に入らない場合がある。

この対策として、雪量計の側面に風除けをつけて雪量計自身の影響による吹き上げ気流（上昇成分）を少なくしたり（Warnick, C. C., 1953）、雪量計の受雪口内に電熱ヒータを組入れて冠雪を除去したりして精度を向上した試験結果が報告されている。

今回、我々は風の垂直成分だけ計られるプロペラ型の垂直成分用風速計を試作して、その特性と雪量計自身の影響による受雪口上の吹き上げ気流を風洞実験で確かめ、一方、新潟県関山パークホテル内の地形的影響を受けない平坦な雪原を選んで降雪量観測を行ない、過去、3か年の観測資料が得られたので、雪質の落下速度を考慮して捕集率の実験式を求めてみた。

2. 受雪口上の吹き上げ気流の測定

受雪口上の吹き上げを調べるために、風の垂直成分だけ測定できる Thornthwaite type の風速計を試作した。感部は防水塗料を塗った木製の3翼を垂直回転軸上部に取付けたもので、回転軸の下端には小孔付回転円板があって、これを境にして上下に光源ランプと半導体光電素子を対応させ、プロペラの一回転ごとに発生するパルス電流を増幅して判別回路により垂直成分の下向き（左回り）と上向き（右回り）を判別するようになっている。この3翼は水平成分の風では回らない。

図—1 は試作垂直成分用風速計の概略図と電気系統図を示す（高橋 1967）。

いま、感部に風の垂直成分が作用すると

$$w = \alpha N = V \sin \theta \quad (1)$$

の関係が成立つ（Thornthwaite, C. W., 1961）。

ここに、

w = 風速の垂直成分 m/sec

α = 風速計の機械的補正值

N = プロペラの回転数 r.p.m.

図—1 試作垂直成分用風速計の概略図と電気系統図

図—2 試作垂直成分用風速計の検定曲線

傾角 $40^\circ = 100\%$ 風速範囲 0.9~10 m/s
垂直風速範囲 0.23~6.4 m/s 始動風速約
0.3 m/s 時定数 $+20^\circ$ で 0.56 sec ($V =$
3.8 m/s)

* 気象研究所

表—1 試作垂直成分用風速計の 1 回転の風程 単位 cm

2.8.1967. M.R.I. 風洞

傾 角 θ°	風 速 m/sec							$\bar{x}$	$\alpha\bar{x}$
	0.9	1.3	2.0	3.62	4.45	6.98	10.0		
+ 0									
5	0	0	59.6	54.7	51.6	52.1	50.9	38.4	39.5
10	0	58.7	52.5	50.0	50.5	49.5	47.4	44.1	41.4
15	0	49.7	47.6	47.8	49.2	49.4	50.0	40.5	37.1
20	87.9	49.8	49.5	50.1	52.2	52.7	52.8	56.4	54.4
30	79.4	50.6	50.6	52.8	56.0	58.0	60.4	58.2	61.2
40	77.0	50.0	49.2	51.0	53.4	55.2	56.6	56.0	56.0
								48.9	48.3
— 0									
5	0	45.2	36.6	33.1	33.9	34.5	31.9	30.7	21.0
10	0	40.8	37.7	37.6	38.2	38.4	37.3	32.8	26.1
15	87.1	41.5	40.2	40.4	42.5	42.9	42.6	48.2	41.7
20	76.9	43.0	43.2	44.4	46.5	47.3	47.3	49.8	47.3
30	69.2	45.0	45.6	48.0	51.3	45.1	55.3	52.6	55.9
40	69.3	44.1	44.1	45.8	48.7	50.2	51.4	50.5	50.5
								44.0	40.4

 V = 風洞風速

m/sec

 θ = 傾角

rad.

この風速計を風洞内に垂直において、垂直回転軸の傾角と風速を変えて各回転数を求め（高橋 1967）、傾角ごとに回転数を平均し、この値に機械的補正値を乗じて傾角と回転数の関係を図示すると図—2 のような曲線が得られる。このプロペラの回転数から 1 回転の風程を求めた結果を表—1 に示す。各々の 1 回転の風程は一定ではないが、傾角について平均すると下向方向は 48.3cm で標準偏差が 9.25cm である。また、上昇方向は 40.4cm で標準偏差が 12.7cm で、いずれもほとんどの資料が入ってしまう。実際の自然風は常に変動し、垂直成分の方

向も変化しているから、平均値をとっても差しつかえないと考えられる。

この風速計を用いて円筒型雪量計の側面にあたる風が、どれ位吹き上げられるかを確かめるために雪量計内に上げ下げのできる架台を置き、この架台に風速計を固定して風洞実験で受雪口上の吹き上げ気流を調べた。図—3 は風速別に受雪口上の吹き上げ気流の鉛直分布を図示したもので、風速が増大すると受雪口上の吹き上げ気流も増している。特に、受雪口上 3cm の高さに顕著な

図—3 受雪口上の吹き上げ気流（上昇成分）
2.8 1967. M.R.I. 1.5 mφ 風洞

図—4 降雪量観測に用いられた測器

左：円筒型雪量計と雪面に置かれた標準降雪量のカンパス。中央：試作垂直成分用風速計と 3 杯風速計。右：区内小型百葉箱（水銀温度計とシックス型最高最低温度計）

吹き上げ気流のピークが現われている。これから考えて受雪口上に落下する雪片は雪質によってはほとんど吹き上げられて雪量計内に落ちずに側面に降った僅かな雪片が雪量計内に入るようである。

3. 降雪量の観測方法

新潟県中頸城郡妙高村の関山駅より約 5 km 離れた海拔 740m の妙高高原パークホテルゴルフ場内の西から東へ 4.5° 傾斜をもつ地形的影響を受けない広い開けた雪原を実験地にえらんで1965年から1967年の、いずれも 1 月から 2 月にかけて降雪量観測を実施した。図—4 は北方向に観測器材をむけて配列した外観写真を示す。

降雪量：円筒型雪量計の受雪面が雪面から約 1.5m 位の高さになるように雪量計を設置し、降雪中の観測時間

を約 3～5 時間に区切って雪量計内に入った雪を既知量の微温湯を入れて溶かし雨量ますで測定した。

標準降雪量：60 cm×40 cm のカンバスにビニールを張り、これを雪面と同一平面になるように置いてその上に積った雪を 20cm 口径の円筒で採雪し、既知量の微温湯を入れて溶かし雨量ますで測定した。

風速：3 杯風速計（風杯直径 10cm）の感部が約 1.5 m 位の高さになるように風速計を固定し、自記電接数器の記録から平均風速を求めた。

気温：区内観測所用小型百葉箱（札幌型）内に水銀温度計とシックス型最高最低温度計を入れて毎朝 9 時に気温を観測した。

積雪密度：円筒型密度計（内径 66.5mm）を用いて積

表—2 円筒型雪量計の降雪量と気象観測
実験地：新潟県中頸城郡妙高村，関山パークホテル，ゴルフ場内（海拔 740m）

資料 番号	年月日	観測時間	風向	風速 m/s	捕集率 %	降 雪 量		新積雪 cm	気 温 °C	天 気	雪 質
						雪量計 mm	標準 mm				
	1965										
1	1. 20	0450—0900		2.5	68.4	4.5	6.58	6.0	0	吹雪-雪°	霰 状 雪
2	21	0440—0900		0.94	81.8	6.5	7.95	11.0	-0.2	雪°-雪°	〃
3	21	1015—1500		3.4	49.3	3.5	7.1	8.5	-1.3	雪°-吹雪	立 体 結 晶
4	21	1830—2130		1.24	83.8	1.3	1.55	3.7	-1.5	雪°-雪°	平 板 結 晶
	1966										
5	1. 20	1620—0940	S	1.9	79.1	10.4	13.1	20.0	-1.8	雪°	霰 状 雪
6	21	1150—1520	NE	2.0	57.3	2.72	4.75	8.0	-5.4	雪°-雪°	立 体 結 晶
7	21	1530—1925	N	2.37	73.2	8.58	11.6	18.0	-6.2	雪°-吹雪	霰 状 雪
8	21	2007—0755	N	1.8	64.7	5.87	9.0	11.0	-2.1	雪	立 体 結 晶
9	22	1515—1915	NE	1.43	79.4	3.31	4.2	6.5	-4.2	雪°	平 板 結 晶
10	22	1945—2315	SE	1.4	73.4	8.55	11.65	21.0	-3.7	雪°	立 体 結 晶
	1967										
11	1. 20	1630—2000	W	0.6	100	0.53	0.53	1.0	-4.5	雪°	霰 状 雪
12	22	1800—2200	N	5.8	23.0	1.15	4.94	4.8	-3.0	雪°-吹雪	立 体 結 晶
13	24	1510—1910	NE	5.27	14.0	2.33	17.75	9.7	-0.3	雪°-吹雪	平 板 結 晶
14	30	0640—1040	N	3.36	64.5	10.65	16.45	23.0	-3.0	雪-吹雪	霰 状 雪
15	30	1135—1535	N	4.7	47.0	6.56	14.0	14.5	-5.0	雪°-吹雪	立 体 結 晶
16	2. 1	1830—2300	SE	1.0	81.0	3.08	3.83	9.0	-2.0	雪	平 板 結 晶
17	4	1330—1630	N	3.64	37.1	0.78	2.1	2.7		雪-吹雪	〃
18	4	1630—1830	N	2.2	50.0	0.3	0.6	1.2	-2.0	雪	〃
19	9	0430—0715	N	3.2	62.0	7.0	11.45	13.0	-4.5	雪	立 体 結 晶
20	9	0800—1200	NW	3.18	72.0	1.3	1.8	4.0	-1.0	雪	霰 状 雪
21	10	0740—1110	NE	1.62	44.0	2.1	4.8	5.0	-0.5	雪-吹雪	平 板 結 晶
22	11	1500—1700	NE	3.94	87.0	1.3	1.5	3.0	-3.5	雪	霰 状 雪
23	12	2300—0800	NE	1.32	64.0	11.5	17.5	23.0	-7.5	雪	平 板 結 晶
24	13	1030—1420	NW	2.42	43.0	6.8	15.7	25.0	-5.0	雪-吹雪	霰 状 雪
25	13	1530—1730	NW	3.75	64.0	6.6	10.3	19.0	-6.5	雪	〃

雪断面に直角になるように密度計を差し込んで積雪を採集し、受皿天秤で測定した(高橋 1961)。

雪質: ビロード布を薄板に張り、戸外気温にさらしてにおいて、観測時にビロード板上に雪片を受け、ルーペを使って代表的な雪片をえらんで落下速度(孫野 1954)を求めた。

4. 観測資料の整理

1) 降雪量観測

過去、3 か年の観測資料を表-2 に示す。捕集率が 50 % 以下のものは資料の約 30 % で、観測時間中一時的に 3 ~ 7 m/s の風が吹いて吹雪になっている場合が多い。資料番号 3 は雲粒付立体樹枝型で、1 月 21 日 3 時の地上天気図によると北海道の南東にある低気圧から南西に延びる寒冷前線が東に移動し、一方、大陸の高気圧が西日本に張り出して弱い西高東低型の気圧配置になっている。11 時頃から風が強まり 14 時 30 分頃まで風速 2~7 m/sec の激しい吹雪となった。資料番号 21 は雲粒付平板樹枝型で、2 月 10 日 3 時の地上天気図によると大陸の高気圧が北日本に張り出し、本州の南岸には前線が横たわり季節風は弱い、9 時 30 分頃から次第に風が強まり、観測の後半に 2~4 m/sec の風が吹いて吹雪となった。この資料は平均風速の小さい割合に捕集率は低下している。

捕集率が 80 % 以上のものは、資料の約 20 % で平均風速 1 m/s 付近は雪質に関係なく静かに音もなく、しんと雪が降っている場合が多い。資料番号 11 は捕集率が 100 % になっている。1 月 20 日 15 時の地上天気図によると、黄海と日本南海上に高気圧があり、一方、日本海の低気圧から関東南岸に延びる温暖前線があって弱い低気圧に覆われた。気温も低く西方向にある妙高山から吹き下し風が吹いていた。資料番号 14 は平均風速が 3.36 m/s でありながら捕集率は低下していない。1 月 30 日 3 時の地上天気図によると、本州南岸の低気圧は南方海上に去り、大陸の高気圧が西日本に張り出して気温も低く観測時間中連続して 2~4 m/s 前後の風が吹き霰状雪であった。立体樹枝型の資料番号 3 と比較すると、霰状雪は密度が大きいために捕集率がよいことがわかる。

2) 積雪密度観測

デュラルミン製円筒型密度計は内径 66.5 mm、長さ 115.5 mm、内容積 402 cc のものを使用した。1965 年 2 月 22 日積雪を掘り起しながら鉛直断面に密度計を水平に差しこんで積雪を採取し、受皿天秤で測定した結果を表-3 に示す。新雪の密度としては資料番号 3 の雲粒付立体樹枝型で 0.07 g/cm³ の結果が得られた。

この実験地の全降水量を調べるために、1964 年 12 月 4 日の根雪から 1965 年 2 月 22 日までの全降雪量は、20 cm

表-3 積雪密度観測

1. 22. 1965

雪 質	積雪深 cm	密 度 gr/cm ³	降 雪 月 日
あ ら ゆ き	95~110	0.12	1965. 1. 20—21
し ま り ゆ き	87	0.27	1. 12—15
	82	0.22	1. 2— 3
	69	0.22	
	63	0.25	1964. 12. 28—29
	49	0.29	
ざ ら め ゆ き	41	0.31	12. 17—19
	21	0.44	12. 4— 5
平 均 密 度	10	0.44	
		0.284	

表-4 気 温 観 測 1. 21—2. 15. 1967

月 日	風 向	9 時 気 温 °C	最 高 °C	最 低 °C	9 時 天 気
1967					
1. 21	S	5.0	5.5	-6.1	○
22	SE	10.0	12.2	-3.3	○
23	NE	-5.0	20.0	-8.2	*
24	S	2.5	12.0	-6.3	○
25	N	-1.5	21.0	-4.2	○
26	S	6.8	13.0	-6.2	○
27	SE	8.5	19.5	-5.8	○
28	NE	1.5	23.7	-3.5	*°
29	NW	5.0	9.3	-1.5	●
30	NE	-3.0	5.0	-4.2	*
31	N	-4.5	-3.0	-7.2	○
2. 1	S	-3.0	4.0	-9.3	○
2	SE	2.0	13.0	-6.0	*
3	S	2.0	8.0	-6.5	○
4	S	7.0	11.3	-6.5	○
5	SSW	3.5	12.0	-6.5	○
6	NNE	0.8	20.5	-4.0	*
7	SSW	4.5	14.0	-4.0	○
8	NE	2.0	26.5	-1.5	◎
9	NW	-1.5	9.5	-4.0	*
10	N	-1.5	4.0	-2.5	*
11	W	-4.0	1.0	-7.5	①
12	NW	-2.5	0.5	-11.0	①
13	N	-7.5	-3.0	-9.0	*
14		-3.5	-3.0	-10.0	①
15	S	2.5	9.0	-9.0	①

口径の円筒を使って雪面から地表面までの全積雪を採雪して、これに既知量の微温湯を入れて溶かし、雨量升で測定し全降水量 315.2 mm の結果が得られた。

3) 気温観測

積雪上に小型百葉箱を設置して1967年1月20日から2月15日まで気温観測を行なった。これらの気温を表一4に示す。

5. 捕集率の実験式

円筒型雪量計に雪片が入らない要因としては、雪量計自身の形状による受雪口上の吹き上げ、雪質、自然風の風速変動、気温、設置条件などが考えられる。特に、雪量計の受雪口上の吹き上げ気流は、風洞実験および降雪量観測の結果から降雪量の捕集率に、かなり影響するようである。

そこで、雪片の落下速度と受雪口上の吹き上げ気流の影響を考慮して、つぎのような捕集率の実験式を求め、関山における観測値を用いてこの式を検討してみた。

$$C = \left(1 - \frac{\bar{w}}{F}\right) \times 100 = \left(1 - a \cdot \frac{V}{F}\right) \times 100$$

ここに、

C = 円筒型雪量計 (口径 20 cm) の捕集率	%
$\bar{w}$ = 受雪口上の平均吹き上げ気流	m/s
F = 雪片の落下速度 (採野 1954)	m/s
V = 風速	m/s
a = 実験定数	0.1

実験定数 a は風速に対する受雪口上の平均吹き上げ気流の変化を示す図—5 から求めた。

図—6a, 6b, 6c は観測値を雪質別に捕集率対風速の関係を示す。これに捕集率の実験式から得た計算値を実線で示すと、図—6aの霰状雪は観測値とよく一致している。資料番号22は実線とかけはなれているが、密度の大きさのちがいと考えられる。

図—6bの平板結晶の観測値は、樹枝状結晶の落下速度 0.35 m/s と雲粒付結晶の落下速度 0.94 m/s の間にちらばっている。

図—6cの立体結晶は、風速 2 m/s 付近までは計算値と

図—5 受雪口上の平均吹き上げ気流 (上昇成分)

図—6a あられ状雪

図—6b 平板結晶

図—6c 立体結晶

図—6d ○ あられ状雪 + 平板結晶 * 立体結晶 ● 井上 (1955)

図—6 円筒型雪量計 (口径 20cm) の捕集率と風速との関係

一致しているが、風速が 3 m/s 以上になると一時的に吹雪現象が起きて捕集率がよくなっている。

図—6dは雪質に関係なく捕集率対風速の関係を図示したもので、立体結晶の落下速度 0.6 m/s (孫野実測値) 付近にちらばっている。

実際の降雪中の雪質は、代表的な雪片の外に 4～5 種類位同時に降り、場合によっては、雪片と雪片が数個かさなり合って落下することもある。更に、自然風の変動が大幅に捕集率を散在させるようである。

6. ま と め

従来、捕集率の実験式、 $C=1/1+mv$ (吉田, 1956), $C=1/1+0.24v$ (井上, 1959) は降雪量観測で得られた実測値から求めたものが多い。

本研究の実験式の特徴は、風洞実験によって雪量計自身の影響による吹き上げ気流から実験定数 (a) を求め、雪質の落下速度 (F) を考慮して捕集率 $C=(1-a \cdot V/F) \times 100$ を得た。この実験式を用いて降雪量の観測値と比較してみると、つぎのような結果が得られた。

1) 代表的な雪質から落下速度を求めたが、観測時間中雪質が一様でないため落下速度の見積り誤差が現われる。

2) 観測時間中の平均風速を求めたが、自然風の変動特に、吹雪時は雪量計自身の影響による垂直気流が一様でない。

3) 標準降雪量としたカンバスによる測定方法および雪量計の設置条件

などが捕集率の実験式と合わなくした要因のように考えられる。

しかし、この実験式を用いると実際に降った降雪量がある程度推計することができるであろう。なお、この観測資料は地形の影響をあまり受けない低温、多雪の関山地区をえらんで実施したので、地形地物の影響のある場所では幾分捕集率も変るものと考えられる。

今回、満足な結果が得られなかったが、できれば長期間降雪地に滞在して多くの資料を採集し、更に、雪量計の形状についても検討する必要がある。

7. 謝 辞

この研究にあたり終始御指導して頂いた元福井地方気象台、故水野長輝台長、現東京管区気象台、山岸孝次郎業務課長、長岡気象通報所、中村孝所長、並びに高田測候所職員。高田営林署五万戸苗畑、渾川源徳技官。敷地の御便宜を計って載いた関山パークホテル事務所長、畑山善次郎氏、並びに職員。観測を手伝って頂いた五最茶屋、川上寅雄氏に謹んで感謝の意を表する。

最後に御閲読、御教示を頂いた気象研究所、根本茂室長、並びに退職された宗像キヨ子嬢に資料整理して頂き厚く謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 井上力太・三本木亮, 1955: 雪量計の捕捉率について。気象庁研究時報, 7 卷11号。
- 2) 井上力太・安齊正直, 1959: 雪量計の試作。雪氷, 21, 6。
- 3) 孫野長治, 1954: 雪の結晶の落下速度。雪氷, 15, 5, p. 1-4。
- 4) 水野長輝・高橋延男・魚津博, 1961: 円筒型雨雪量計の捕捉率について。水気象全国研究検討会資料。
- 5) 佐貫亦男, 1953: 地上気象器械。共立全書, p. 130-138。
- 6) 高橋延男・加藤 博, 1961: 雪の抗張力計。雪氷, 23, 3。
- 7) 高橋延男・魚津 博・宗像キヨ子, 1967: 試作光電式小型風速計について。気象庁測器技術資料, 第4220号
- 8) Thornthwaite, C. W., W. J. Superior, J. R. Mather and F. K. Hare, 1961: Measurement of vertical winds in typical terrain. C. W. Thornthwaite associates laboratory of climatology, p. 15-27。
- 9) Warnick, C. C., 1953: Experiments with winds shields for precipitation gages. Trans. Amer. Geophys. Union, Vol. 34, No. 3, p. 379-388。
- 10) 吉田作松・斎藤邦雄, 1956: 積算雪量計に関する二・三の試験について。雪氷, 17, 2, p. 8-13。

—Abstract—

On the Precipitation Amount at the Period of a Snow-storm

Nobuo TAKAHASHI and Hiroshi UOTSU

(Meteorological Research Institute, Tokyo)

In a snow-lay region, it is impossible in particular, at the period of a snow-storm to measure the precipitation amount exactly. This is due to the influence of the shape of orifice type snow gages itself, that is, the upward component of air stream above the orifice.

Then, in order to measure the vertical component of the wind velocity, the 3-bladed vertical anemometer (Thorntwaite type) is used. This anemometer is calibrated with the wind tunnel and field observation are made in a snow-lay region near the Sekiyama Park Hotel, Niigata Prefecture.

The catching rate C of the snow gage (dia. 20 cm) is determined by the empirical formula

$$C = \left(1 - a \cdot \frac{V}{F}\right) \times 100$$

where,

V is the wind velocity in m/sec,

a is a constant=0.1 to be determined from the wind tunnel test,

F is the falling velocity of the snow-flakes in m/sec.