Snow Sampler の採雪口径と単位採雪量の関係について

井上力太* 宮崎敬次* 三本木 亮*

Measurement of Water Equivalent of Snow Cover by the Snow
Tubes of Various Diameters

R. INOUE K. MIYAZAKI and R. SANBONGI

Abstract

For the study of the relation between the weight of snow cover per unit area measured by a snow-tube and the inner diameter of the tube, the authors carried samplings by some snow-tubes of different diameters.

When the layer of granular snow existed in the snow cover, there were contraction on the length of the snow core sampled in the snow-tube and the decrease in the weight of the sampled snow per unit area compared with the depth and the weight per unit area of the snow cover; the smaller the inner diameter of the tube, the more the length contracted and the weight decreased.

These phenomena were not found in case the layer of granular snow did not exist, therefore the authors concluded that these phenomena were concerned with the flow out of the grain of snow from the sampling domain in the layer of the granular snow while sampling.

From samplings of the snow cover of about 40cm depth by two snow-tubes of different inner diameter (76.9mm and 23.7mm), it was found that the ratio of the length of snow cores correlated fairly well with the ratio of the weight of sampled snow per unit area.

The relations were given by the following empirical formula.

$$\frac{m - \Delta m_1}{(h - a_1)} = \frac{m - \Delta m_2}{(h - a_2)},$$

where

m ; weight of snow cover per unit area,

h ; depth of snow cover,

$\Delta m_1, \Delta m_2$; decrease of the weight of snow per unit area from m measured by the snow-tubes of inner diameters ϕ_1 and ϕ_2 .

a_1, a_2 ; contraction of the length of snow core from h in the snow tubes of inner diameters ϕ_1 and ϕ_2 .

1 ま え が き

Snow Sampler は中央気象台の検定規則では、採雪口径を 50.4mm (採雪口断面積 20cm²) に定めてあるが実際に現在迄国内各所で行われた Snow Survey では場所によって種々様々の口径のものを使用しており、その種類は最小 32mm から最大 80mm に至る10数種に上っている**。米国においては、Mt. Rose 型, Utah 型, Federal 型共その口径はいずれも 38.0mm 前後のものである。もちろん、携帯の便からいえば、Sampler は細

くて軽量の方が良いことは明らかであるが、口径が小さくなれば積雪が入りにくくなり、採雪精度が悪くなることが予想されるので、口径と単位採雪量*** との関係が明らかにならない限りは、果していかなる採雪口径のものを使用すれば良いかは正確には定めにくい。大沼¹⁾は新庄において Sampler の採雪口径と単位採雪量との関係を求める目的の実験を行い、その結果を説明する理論を発表しているが、著者らはこれと独立に同じ目的の実験を、昭和30年2月7日から3月17日までの間、札幌管区気象台の構内において行ったので報告する。

* 札幌管区気象台

** 「雪氷の研究 No. 2」日本における雪量調査事例によれば、口径は 32.0, 35.0, 35.8, 39.0, 39.6, 40.0, 42.3, 43.0, 50.4, 56.4, 80.0mm の11種のものが、現在迄に用いられて居り、中でも 43.0mm のものが最も多く使用されている。

*** 単位断面積当りの採雪量を単位採雪量と略称する。

2 積雪深約 5 cm の場合の採雪口径、刃角、肉厚と単位採雪量に関する実験

第1図に示すようなジュラルミン製の板を自然積雪中に水平に差し入れ、次にガラス製の雪切板を板の両側にある側板の上をすべらせて側板から上の雪を取り除く。こうして、厚さ約 5 cm のほぼ一様な雪層を作る。

次に口径の異なる 8 種類の採雪器（口径 17.2~121.4；刃角 18°；肉厚 0.7~1.8；長さ 52~137 mm）をこの雪層中に垂直に差し入れて採雪し、その雪を採雪器から取り出して上皿天秤で秤量し、単位採雪量を計算して相互に比較する。

第1図 雪層を作るためのジュラルミン板

測定は15回行ったが、雪層の一様性に疑問のある場合（2回）を除き、単位採雪量は測定誤差の範囲内で口径にかかわらず一定であった。測定した積雪の密度は0.08から0.4の範囲にわたっているのが、実験の非常に困難な特別な場合（ごらめ雪や非常に融けつゝある新雪など）を除いては、雪質のいかんによらず口径による単位採雪量の差はないと言ひ得る。

次に、口径が同じで刃部の刃角と肉厚が大きく異なる3種類の採雪器（口径28；刃角18°および45°；肉厚1.2および5.2；長さ53mm）を用いて、上と同様に12回測定したが、やはりそれらの間に単位採雪量の差は認められなかった。

3 積雪深約 40 cm の場合の採雪口径と単位採雪量に関する実験

前節の実験によっては口径・刃角・肉厚のいかんによらず、単位採雪量には測定誤差以上の差は認められなかったのが、積雪深の深い場合の実験を第1表に示す3種の採雪器を用いて行うこととした。この採雪器は Snow Sampler と異なり、採雪部の刃先付近の口径のせばまりのない内径の一様なパイプで、内面は雪との摩擦をできるだけ同じにするために同じメッシュ（#240）の紙やすりをかけてある。

第1表 採雪器の諸元

採雪器番号	採雪口径 (cm)	採雪口面積 (cm ²)	高さ (cm)	肉厚 (cm)	刃角 (deg.)	備考
1	7.69	46.4	41.1	0.09	23	黄銅製
2	2.37	4.42	44.8	0.08	23	同上
3	1.75	2.41	45.3	0.08	20	同上

前節と同様な方法で厚さ約 40 cm のほぼ一様な雪層を作り、まず、No. 1 および No. 2 によって比較採雪を行った。採雪器中に入った Snow Core は、採雪器内壁との摩擦によって圧縮されるために、積雪深よりも長さが短くなる。この縮まった量も、同時に測定した。この測定結果を第2表に示す。また、第2表より採雪比（No. 1 の単位採雪量を 100 とした時の No. 2 の単位採雪量の比）と圧縮比（Snow Core の長さの百分比）との関係をグラフ上にプロットしたのが、第2図である。第2図から、この両者には比較的良好な相関関係があることがわかる。

第2図 採雪比—圧縮比の図

次に、No. 3 の採雪器を加えて3種の採雪器で行った測定の結果を第3表に示す。長い採雪器の場合は、口径が小さければ単位採雪量も少ない傾向をこの表から見ることができる。

4 Sampler の採雪精度に対する一試論

以上の実験から、著者らは、積雪深 5 cm 程度の場合にはごらめ雪などの場合を除き、単位採雪量は口径・刃角・肉厚等にかかわらず一定であることを知った。またさらに積雪深 40 cm 程度のときでも、たとえば第2表の測定番号 5, 6, 23, 24 は採雪比が約 100% となっている。これらの場合は、いずれも積雪層中にごらめ雪の存

第2表 単位採雪量の測定値その他(1)

測定 番号	積雪深	単位採雪量		圧縮量		採雪比	圧縮比	m		Δm		$\Delta m_2/\Delta m_1$
		No. 1	No. 2	No. 1	No. 2			No. 1	No. 2	No. 1	No. 2	
1	35	11.6	10.3	—	—	89	—	—	—	—	—	—
2	36	13.0	10.6	3	12	82	73	13.7	13.6	0.65	3.05	4.7
3	37	13.1	12.1	7	12	92	83	14.9	15.4	2.05	3.05	1.5
4	41	14.1	13.6	6	10	96	89	15.8	16.2	1.9	2.4	1.3
5	36	15.1	15.6	0	0	103	100	15.1	15.6	—	—	—
6	36	15.7	15.7	0	0	100	100	15.7	15.7	—	—	—
7	40	15.4	13.9	4	10	90	83	16.4	16.6	1.1	2.6	2.4
8	40	15.9	14.3	6	13	90	79	17.6	18.2	2.0	3.6	1.8
9	38	15.0	13.8	4	8	92	88	16.1	16.0	1.05	2.25	2.1
10	38	15.0	13.8	1	7	92	84	15.2	15.7	0.45	1.65	3.7
11	39.5	16.2	14.5	6	11	90	85	17.9	17.8	1.65	3.35	2.0
12	39.5	16.2	14.1	3.5	10	87	82	17.0	16.9	0.75	2.85	3.8
13	40	14.8	12.8	6.5	11.5	87	85	16.5	15.8	1.35	3.35	2.5
14	39	15.1	13.8	3.5	7	91	90	15.9	15.6	0.65	1.95	3.0
15	39	14.5	14.0	4.5	7.5	97	91	15.7	16.0	1.35	1.85	1.4
16	40	14.4	13.8	5.5	7	96	96	15.8	15.5	1.25	1.85	1.5
17	38	15.0	14.6	8	10	97	93	17.4	17.7	2.55	2.95	1.2
18	40	17.0	13.7	8	17	81	72	19.0	19.4	2.2	5.5	2.5
19	40	16.6	13.8	6	14	83	76	18.4	18.1	1.65	4.45	2.7
20	40	16.3	14.6	5	14	90	74	17.6	19.1	1.75	3.75	2.1
21	40	17.0	15.9	3	9	93	84	17.9	18.1	1.0	2.1	2.1
22	42	17.3	15.7	5	12	91	81	18.7	18.6	1.35	2.95	2.2
23	32	14.0	14.1	0	0	101	100	14.0	14.1	—	—	—
24	32	14.9	15.3	0	0	102	100	14.9	15.3	—	—	—

註 雪温は全部 0°C, 測定番号 5, 6, 23, 24 のみは一樣なしまり雪の場合であり, 他は粒径 0.5~1.0mm のしまり雪と 1.0~3.0mm のざらめ雪およびそれ等の混った状態の雪が, それぞれ 5~20cm の層をなしており, さらに厚さ 1cm 内外の氷板が 1~5 層含まれていて, いずれも相当にぬれている場合である。

積雪深 (cm): 雪層の厚さ

圧縮量 (cm): 採雪器内における Snow Core の縮り

採雪比 (%): No. 1 の単位採雪量を 100 としたときの No. 2 の単位採雪量の比

圧縮比 (%): No. 1 の Snow Core の長さを 100 としたときの No. 2 の Snow Core の長さの比

第3表 単位採雪量の測定値その他(2)

測定 番号	積雪深	単位採雪量			採雪比		備 考
		No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	
1	40	17.0	13.7	12.6	81	74	雪温 0°C, 降雨後のぬれざらめ雪, 固い氷板あり
2	40	16.6	13.8	13.7	83	83	上とほぼ同じ, ぬれて半透明に見える
3	40	16.3	14.6	13.5	90	83	上とほぼ同じ, 以上 3 例共軟い氷板約 5 層あり
4	40	17.0	15.9	15.2	93	90	ぬれざらめとぬれしまりが半分ずつ, 軟い氷板 3 層
5	42	17.3	15.7	15.8	91	91	上とほぼ同じ, 採雪比較的容易
6	32	14.0	14.1	14.9	101	106	一樣なぬれしまり雪
7	32	14.9	15.3	14.7	102	99	上とほぼ同じ, 以上全部雪温は 0°C

註 採雪比 (%): No. 1 の単位採雪量を 100 とした時の No. 2, No. 3 の単位採雪量の比。

在しない場合で、たとえば測定番号5および6は一樣なしまり雪、23及び24はだいたい一樣なぬれしまり雪であって、Snow Core の長さにも縮りが見られない。その他の場合は、いずれもざらめ雪の層の見られる場合である。

菅谷²⁾ は径 43mm の Sampler による単位採雪量は採雪口断面積 100cm² (口径 11.3cm) の大型採雪器を用い積雪に孔を掘り、その断面について少しずつ全層を採取秤量するという精密法に比べて、±1%以内で一致すると述べているが、これは、上述のような場合にあたるのであろう。

また、Snow Core の縮りのない場合に採雪比が 100%であるということは、大沼の理論における「刃先付近の攪乱による積雪粒子のはみ出し」というようなことがないことも意味しているのである。これらのことから、著者らは採雪口径が小さければ単位採雪量も少ないのは、ざらめ雪の層を Sampler で圧することにより、雪粒子に流動が起ることに関係があると考ええる。Sampler がしまり雪や氷板の層を切った後にざらめ雪の層に達すると、Snow Core の Sampler 内壁に対する摩擦のため、ちょうど平板でざらめ雪の層を圧して行くのと似たような結果となり、ざらめ雪粒子の一部分は採雪できる領域外に押し出されてしまう。ざらめ雪は圧力を受けた場合に圧縮層と流動層を生ずることは、早くから知られた事実である³⁾。

今第2図を対数方眼紙にプロットしてみると、第3図を得る。採雪口径 ϕ_1, ϕ_2 の Sampler により積雪深 H 単位面積当りの積雪水量 m の地点を Sampling した場合の単位採雪量をそれぞれ $m - \Delta m_1; m - \Delta m_2$ とし、また、Snow Core の長さをそれぞれ $H - a_1; H - a_2$ とする。第4図から

$$\log \frac{m - \Delta m_2}{m - \Delta m_1} = k \log \frac{H - a_2}{H - a_1} \quad (1)$$

として k を求めると $k = 0.62$ となる。したがって

$$\frac{m - \Delta m_1}{(H - a_1)^{0.62}} = \frac{m - \Delta m_2}{(H - a_2)^{0.62}}$$

となる。

もし、Snow Core の縮りが無い場合にも、同様な関係が成立するものと仮定すれば、前述のように $a = 0$ の場合は、 $\Delta m = 0$ であるから

$$\frac{m - \Delta m}{(H - a)^{0.62}} = \frac{m}{H^{0.62}} \quad (3)$$

という一般式が成立する。

この関係の成立する場合には積雪深 H および Snow Core の長さ $H - a$ を測定しておくことにより、測定値から、

$$m = (m - \Delta m) \left(\frac{H}{H - a} \right)^{0.62} \quad (4)$$

という計算を行うことによって、真値を求めることができる。

第3図 採雪比—圧縮比の図
(対数目盛にしたもの)

(3)式の仮定は、また、次のような意味を持つものである。今第4図のように Sampling 途中の状態を考え、その時までの Snow Core の縮りを x 、Sampler の採雪可能領域からの流れ出しの量を y とする。この時の状態から、さらに Sampling の進行によって Snow Core にわずかの縮り Δx が起った場合は、雪粒子の流動による採雪可能領域からの流れ出し Δy を生じ、かつ、 Δy は次式で表わされる。すなわち、 Δy は Snow Core の頭部から地面までの平均密度 $\frac{m-y}{H-x}$ および Δx の積に比例し、その積の k 倍 (62%) であるということである。

$$\Delta y = k \frac{m-y}{H-x} \cdot \Delta x \quad (5)$$

Δy および Δx を微小量と考えて、(5)式を積分することにより(3)式が得られることから、この両式が同じ意味を持つことがわかる。このようなことが複雑な自然積雪状態のあらゆる場合に成立するとは考えにくい、このような大ざっぱな仮定からでも、われわれの行った実験の結果が説明できるのは興味深いことである。

第2表に(4)式から計算した、 $m, \Delta m$ および Δm の比 ($\Delta m_2 / \Delta m_1$) の値を示す。この場合の採雪口径中の比は、3.24であり ϕ^2 の比は 10.5であるから、これから見れば Δm は大沼の理論における $1/\phi^2$ よりはむしろ $1/\phi$ に比例しているものと思われる。

以上の議論は、まったく推論の域を脱しないものであ

り、このことがどの程度正しいかは、今後さらに実験を重ねなければならない。

第4図 Sampling 模型図

5 む す び

(a) 積雪深 5 cm 程度の雪層における実験では、ざらめ雪等の場合は測定不能であったが、測定した限りにおいては、採雪口径・刃角・肉厚等を変えても、単位採雪量に差は誤められなかった。

(b) 積雪深 40 cm 程度の場合も、しまり雪の場合には、採雪口径によらず単位採雪量は一定であった。またこの場合には、Snow Core に縮りを生じない。

(c) 積雪深 40 cm 程度の場合で、積雪層中にざらめ雪の層がある場合には、Snow Core に縮りを生じ、かつ単位採雪量は口径の小さいほど少くなる。口径 76.9 mm と 23.7 mm の 2 本の採雪器による測定では、Snow Core の長さの比と単位採雪量の比とは、比較的良好な相関関係があった。

(d) 以上のことから、著者らは採雪口径が小さくなると単位採雪量が減少するのは、ざらめ雪の層における雪粒子が圧力を受けると流動を起して、採雪可能領域外に出ることに関係があると考えている。また、Snow Core の縮りの量を測定することにより、積雪量の測定値を補正できるのではないかと考える。

最後にこの報告において、大沼匡之氏の論文に対し、反論的な言辞を用いた部分のあることを同氏に深くおわびする。この実験は、同氏の示唆によったものであり、最初にこの重要な問題に手をつけられた同氏に、深く敬意を表わす。

文 献

- 1) 大沼匡之: Snow Sampler による積雪量測定について、雪氷の研究 No. 2 p. 185, 1955
- 2) 菅谷水資源研究所: 八甲田十和田湖周辺地域の水資源
- 3) 黒田正夫: 積雪の力学的性質、雪氷十年, p. 72, 1948.

古本高価買入 (御報参上)

弊社は常に堅実、清新な営業方針を持続し特にバックナンバー部門ではお客様の御希望を完全にお満足されるよう心掛け、确实なる信用と定評を有す。

御整理なさるお蔵書は理科系、文科系を問わず是非弊社にお譲り下さい。必ず現金で高価に戴きます。御一報次第参上適正評価致します。

バックナンバー
図 書

売買・輸出入・
出版

株式会社 佐々木書店

社長 佐々木 栄一

東京都文京区森川町二 (東大前)

電話・小石川 (92) 5 5 5 3・3 4 0 2

振替口座・東京 1 5 6 8 0 番