積雪密度計（丸型と角型）の良否について

Accuracy of Snow-density Gauges

坂 田 初 太 郎 *

H. SAKATA

1. はしがき

地上気象観測法によると積雪の比重をはかるには口径10cm、深さ約5cmの金属製の筒（円形でも角形でもよい）を用いると記されている。密度計としては丸型でも角型でも理論上は同一の雪質に対して同一密度が測定されるべき筈であるが実際に観測してみるとかなりの密度差を生ずる。昭和30年1月～3月迄両型の密度計で毎日一回（10時頃）比較観測を継続した。測器の良否については測器内に雪が自然状態のまま隙間なくつまるかどうかによつて決まる訳である。自然状態のままつまるかどうかの比較検定はその計量化が甚だ困難ではあるが、測定を慎重に行えば両型共略同程度の誤差範囲に入る様に考えられよう。

測定上大きな誤差を絶えず与えるのは測器のへりに出来る空隙である。これも又計量するのは極めて厄介であ

り、勢いその調査も定性的統計結果に終り勝ちとなる。雪ひらで雪を切り採る際にも技術が必要で測定値の個人誤差まで考えると単純な定性的検討には主観が入り易く、適正を欠く結論に導びく危険が生ずる。この様な次第で夫々の誤差について夫々計量化す事が大切なのであるが本文では定量的な結論を出す一補助として理論的統計処理が出来得るかどうかを概観し、統計理論を借用してみた。

2. 観測結果

積雪表面密度観測は毎日10時頃昭和30年1月4日～3月8日まで、高田測候所観測班で実施した。表面雪質別にこれを整理すると別表の通りになる。丸型、角型による密度差（丸一角）を $\delta\rho$ とすると $\delta\rho \neq 0$ 且その値もかなり大きい事がある。

角型による密度観測不能になつたのは1月16日で雪質

別表 表面雪密度並びに両型測器による密度差

軟いかわきあらゆき			軟いしめりあらゆき			軟いしめりざらめ			軟いぬれざらめ			硬いかわきざらめ		
丸型	角型	$\delta\rho$	丸型	角型	$\delta\rho$	丸型	角型	$\delta\rho$	丸型	角型	$\delta\rho$	丸型	角型	$\delta\rho$
0.21	0.19	0.02	0.17	0.13	0.04	0.26	0.24	0.02	0.42	0.38	0.04	0.22	0.25	-0.03
			0.32	0.27	0.05	0.38	0.35	0.03						
			0.15	0.12	0.03	0.29	0.27	0.02	0.45	0.37	0.08	0.38	0.39	-0.01
0.16	0.15	0.01	0.15	0.15	0.00	0.44	0.43	0.01						
			0.16	0.16	0.00	0.48	0.45	0.03						
0.14	0.15	-0.01	0.16	0.16	0.00	0.48	0.45	0.03	0.36	0.33	0.03	0.45	0.42	0.03
0.19	0.18	0.01	0.29	0.26	0.03	0.39	0.46	-0.07						
0.10	0.12	-0.02	0.41	0.35	0.06	0.39	0.37	0.02	0.38	0.42	-0.04			
0.12		× ×	0.10	0.11	-0.01	0.25	0.17	0.08						
0.19	0.10 (空隙大)		0.08	0.06	0.02	0.36	0.32	0.04						
									0.36	0.36	0.00			
0.20	0.23	-0.03	0.19	0.21	-0.02	0.41	0.40	0.01						
0.12	0.14	-0.02	0.20	0.19	0.01	0.43	0.40	0.03						
0.19	0.13 (空隙大)					0.48	0.48	0.00	0.26	0.36	-0.10			
0.17	0.15	0.02				0.49	0.45	0.04						
0.15	0.13	0.02				0.49	0.47	0.02	0.41	0.42	-0.01			
						0.41	0.37	0.04						
0.15	0.16	-0.01				0.37	0.38	-0.01	0.37	0.38	-0.01			
						0.50	0.54	-0.04						
0.29	0.27	0.02				0.44	0.48	-0.04						
平均			平均			平均			平均			平均		
0.17	0.16		0.22	0.18		0.42	0.39		0.38	0.38		0.35	0.35	

* 高田測候所長

は軟いかわきあらゆきであつて幾度測定を繰返しても雪がうまくつまらなかつた。この点、丸型では廻転し乍ら雪層中へ入れる事が出来るので空隙が出来ることがあつても2~3回繰返しているうちに大体うまく測定される事が多い。

(i) 軟いかわきあらゆき欄で $\delta\rho$ が 0.09, 0.06 の場合は角型測器に空隙がどうしても大きく出た場合で統計検討する際にはこの値を除外した。他の雪質欄でも解る様に雪質を一意に定めるには密度だけでは不十分であり、もつと雪層に対する詳細な観測をして、雪層の力学を考慮した要素を見出す必要があるように思われる。 $\delta\rho$ の正負符号の回数は正号 6 回、負号 5 回、平均密度は丸型で 0.17, 角型で 0.16 であつた。

(ii) しめりあらゆき、しめりざらめになると $\delta\rho > 0$ の場合が多くなる。角型の場合は空隙が生じ易いので稍深目に雪層中へ沈下させる事があり、このため雪層に圧力を与え、圧縮する恐れが多分にある。この様な時に $\delta\rho < 0$ が現われる様である。(観測操作中、時々個人差がかなり見受けられる) 観測結果によると雪層密度が大きくなるに従い $\delta\rho > 0$ の回数が多くなり、 $\delta\rho$ の変動範囲も大きくなる。

(iii) 雪質と密度は必ずしも一対一に対応しないが観測法に基いた雪質に区分して夫々の平均密度を求め図示したのが図-1 である。ざらめ化まではかわきの次はしめりの順序で急激に密度が増大するがざらめ化するとその後の密度増大は急激ではない。ざらめではかわき、ぬれ、しめりの順序に密度大となつていた。

3. 密度計良否の統計的検討

両測器には夫々測器自身の特性による誤差と観測に際する個人誤差がある。それで個人差を出来るだけなくする様に雪のとり方を一定にし、且2~3回の観測(勿論空隙生成が出来ただけなくなる様に慎重に)の平均値を以つて両測器による密度とすればその差 $\delta\rho$ を統計的に

検討する事でその良否を一応検定し得る筈であらう。

(i) 丸型と角型とでは雪質如何によつてその器差がどの様な分布をしているかを調べてみると $\delta\rho$ の巾を 0.01 として観測結果をそのまま図示してみると図-2 の様になり、正規分布をしていない。然し $\delta\rho$ の巾を 0.02 にとり、(0.00~0.02) 間に入るグループを零点(基点)としてその分布を書き直すと図-3 の様に正規分布型となつた。この様な変換で正規分布に近似する事を考えると、観測を慎重にし、観測技術を向上させると無限母集団 $\delta\rho$ の分布は正規の確率分布(円滑な分布曲線)に極めて近似すると考えても大過はないであろうと思われる。 $|\delta\rho| = 0.02$ の範囲で観測されているのは軟いかわき雪質だけである。この雪質に対し雪密度に応じて $\delta\rho$ がどの様な相関になつていのかを計算してみると、相関係数 $r = 0.824$ という正の高い相関を示した。この小標本から丸型による密度に基づいた $\delta\rho$ の母集団の回帰係数が 95% の信頼限界及び $\delta\rho$ 推定値の標準偏差を求めると第 4 図に示す限界直線が得られた。

計算: 未知である $\delta\rho$ の母平均 μ が α なる信頼限界に対して

$$Pr\left\{-t_{\alpha} < \frac{\bar{X} - \mu}{S\sqrt{n}} < +t_{\alpha}\right\} = \alpha \text{ から}$$

$$\mu = \bar{X} \pm t_{\alpha} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

S : 標準偏差, n : 観測回数, t_{α} はステューデントの t -分布で α が信頼限界,

標本の回帰係数を $\hat{b}$, 母集団の回帰係数を b とすれば $\frac{(\hat{b} - b)\sqrt{n-1} S_x}{S_E}$ は自由度 $(n-2)$ なるステュー

デントの t -分布をする。

S_E : $\delta\rho$ 推定値の標準誤差

従つて b に対する $100\alpha\%$ の信頼限界は $\hat{b} \pm \frac{S_x t_{\alpha}}{\sqrt{n-1} S_x}$

本例では $S_x = \pm 0.051$, $t_{\alpha} = 2.262$, $\alpha = 0.95$, $\hat{b} = 0.269$, $S_E = \pm 0.0101$

となり $b = 0.269 \pm 0.14$

本例では平均密度 0.17 以上になると $\delta\rho > 0$, 0.17 以下になると $\delta\rho < 0$ となる傾向が多い事になる。

$0.1 \leq \rho \leq 0.3$ では $\rho = 0.1$ で $\delta\rho = -0.005$, $\rho = 0.3$ で $\delta\rho = 0.008$ 以内の変動が標本回帰直線に追加される程度である。従つて $S_E = \pm 0.0101$ から 95% の信頼限界では最高 $|\delta\rho| = 0.018$ で観測され得ると云えよう。

この事から 0.018 以上の $\delta\rho$ が出る場合は更に慎重に測定を繰返す必要があり、慎重に測定すれば軟いかわき雪質では密度計として丸型でも角型でもよいと云えようし、測定値は小数位 3 桁まで算出すべきであらう。

(ii) (i) は軟いかわき雪質についてのみ検討したが図

-4 の傾向分布に従ひ、各雪層を含めた場合の $\delta\rho$ について考えよう。図-4 より丸型で測つても、角型で測つても真の値との差が純粋に確率的な変動をすると仮定する。そうすると $\delta\rho$ も又純粋に確率的分動をする事になる。そこで雪密度の測定を慎重に実施し同雪質について3回観測平均値をもつてその密度と決定した際、丸型と角型とではどの程度の差まで許されるであろうか。言ひ換えると平均値の理論的標本分布の平均 $\mu_{\bar{x}}$ 並びに標準偏差を $\sigma_{\bar{x}}$ とすると3個の平均値 $\delta\rho$ は $\mu_{\bar{x}} \pm 3\sigma_{\bar{x}}$ の間に99.87%入る事になるがその限界 $3\sigma_{\bar{x}}$ は幾らであろうか。その推定値は大凡

$$\beta = 3\sigma_{\bar{x}} = \pm 3 \times 0.341 \times \bar{R}$$

本試験期間では $R=0.0273$ で $\beta = \pm 0.0279$ となる。即ち $\delta\rho=0.03$ となると不適当な観測値という事になる。観測技術が進めば R も小さくなるので、更に $\delta\rho$ の許される範囲は小さくなる。従つて問題は測器の型によつてどの程度の誤差が生じ易いになつてくる。軟いかわきあらゆきでは $S_E = \pm 0.0101$ であつたから軟いかわきあらゆきは丸型、角型いづれも測器として利用出来

る事が再確認された。所が前節の(2)で述べた様に、しめりあらゆき、しめりざらめになると $\delta\rho > 0$ の回数が多くなるばかりでなく β の範囲を飛び出す観測が多くなつてくる。即ちしめりあらゆきでは10回観測中5回までが角型で β 以上に小さく出すぎ、丸型にはなかつた。しめりざらめでは角型が β を超えて小さくなるのが7回で丸型では3回という事になつてゐる。目視観測上角型測器に雪がうまくつまずかず空隙を作る事が多い。この事と上記の理論を使用した結果、角型密度計は軟いかわきあらゆき以外の雪質に対しては現業用密度計として不適性が多いと云えよう。技術が向上すれば更にしめりあらゆきの測定にも角型が利用出来るかも知れないが同じ雪質でもよくつまるときとつまらぬ時が起る。ここに雪質の不思議? があると同時に観測の慎重、注意さ如何によつて測定精度を大きく支配するから余程用心をして観測せねばならない。

測器の型による空隙生成回数率、雪質等に関しては更に観測を重ねて報告したい。

積雪沈降力の増加に関するレオロジー的な考察

A Rheological Consideration about the Increase of the Settling Force of Snow

大 浦 浩 文 *

H. ÔURA

1. まえおき

積雪沈降力は、吉田・平田による報告以来多くの人達が測定或は観察を続けている。こゝではその沈降力増加に関する極端な2つの型について注意をむける。その2つの型の1つは、積雪量が徐々に増加し、したがつて沈降力も積雪量の増加分に比例して増加する場合で、他の1つは、降雪が一時に大量にあつても、沈降力はそれほど増加しないが、その後、降雪は無くても沈降力はずつと増加して、前の場合(同量の雪が徐々に降つた場合)と同じ程度にまで増大する場合とである。

この事を加重圈説によつて説明するとすれば徐々に雪が降つた場合には加重圈の広さ(布団の巾)は降雪によつて変らないが、急激に大量の雪が降つた場合には、降りたてには加重圈の広さが狭いが、其後日が経過すると広がつて、徐々に降つた場合と等しくなると言うこと

になる。

こゝでは加重圈の増減には深く立入らないで、たゞこの2つの型は積雪が粘弾性的な性質を持つておれば当然起ることであると言うことを準定量的に説明しようと思う。

尚そのほかに、上の説明のために用いた手続と同様な手続によつて説明できる2, 3の場合について述べる。

2. 沈降力増加の観測

1954年12月末から1955年3月末にかけて札幌の北海道大学構内に於て、地上高30cm, 60cmの水平桁にかゝる積雪沈降力を測定した。この沈降力と、12月21日(根雪の初日)から、その沈降力を測定した時までの降水量の積算値との関係を示したのが図-1である。

積算降水量に対する沈降力増加の割合 ($\text{kg/m} \cdot \text{mm}$) は次表によつて示される。