秤型積雪水量計による積雪水量の観測

井 上 力 太*

1. ま え が き

積雪水量の測定法としては Snow Sampler によって積雪の Sample を採取してその重量を測定する方法と、積雪層による γ 線の吸収を利用した Radioactive Snowgauge があり、特に前者は広く利用されている。

Snow Sampler は構造が簡単で携帯も容易であり、或る河川流域内の積雪水量の分布を調査するような場合は便利な器具である。けれども或固定点積雪水量の変化を細かく調べるような場合は、次に述べるような種々の欠点の問題になる、

(イ) 測定が間歇的にしか出来ず、且測定の数毎に場所

第 1 図 積雪水量計設置図

が変わること。

(ロ) Sampling の際、捕捉が完全に行かず誤差を生ずる恐れがあること。

(ハ) 自記或は遠隔測定は不可能であること。

Radioactive Snowgauge を用いれば一応上述のような欠点はないが、それに変わって次のような難点が新に生じて来るであろう。

(イ) 測定面積が小さい為局地的な影響を受けやすいこと。例えば融雪期に測定地点に水道が出来るような場合があります。

* 札幌管区気象台

(ロ) 積雪水量の大きな場合は誤差が大きくなること。
(ハ) 記録器械又は遠隔測定の必要な場合非常に高価なものとなること。

気象研究所の田村は以前より積雪の重量を地面上で秤量する方法によつて積雪水量の連続観測をすることを提案していた。今冬期幸いに北大低温研究所の協力を得てこの方法による一冬期間の連続観測を北大構内で行うことが出来たのでその結果を報告する。

第 2 図一(a) 力計と拡大伝達機構

第 2 図一(b) 記録部の構造

2. 測定装置の説明

第 1 図の如く地面に直径 4 m、深さ 30cm 程度の平な円い穴を掘り、穴の周辺に沿って 16 本の松丸太の坑を打ち込みその上にコンクリートブロックを動かないように載せる。又中心には大きなコンクリートブロックを埋めてその上にリング型の力計を置く。次に檜の角材を使ってこれ等のブロックの上に図の如く枠を組み全体が正八角形になるようにする。但しこの場合正八角形の一辺と

中心とて作る八つの三角形の各々は外周の辺を軸として動き得るように、外周から中心に渡した輻材は枠材の上に載せただけにして置く。更にこの輻材の上に板を張って積雪の重量を受ける感部（受圧板）とする。写真1はこの装置を地上で組み立てた所を示したものである。

力計は Ni-Cr-Mo 鋼製のもので、この撓みの量を第2図 (a), (b) に示すような歯車と、伝達機構によって約 62 倍拡大し、中心から 4 m はなれた自記器のペンの上下運動に変える。この自記器の自記時計は気象測器用の中型過捲のもので記録は鉛筆を用いて行う。

写真 1

第3図 力計に加えた荷重と撓み量及び記録紙の読みの関係

破線は力計のみの撓み量、実線は拡大機構を通じた記録紙上の読み取り値

受圧板の上にはビニールシートを掛け穴の周辺から 1 m 離れた場所に掘った溝中にたらし込み融雪水はそこで地中に浸とうするようにする。この場合融雪水の流れ出しをよくする為に受圧板の中心は周辺より 5 cm 程度高くしてある。更にその上に厚さ 5~6 cm 程度になるように土をかけ表面は一様に地ならしをする。

3. 測定装置の特性

若し受圧板上に積った雪の重量が周辺を支軸として中心にかゝつて居るならば力計には総体重量の 1/2 の荷重がかかる筈であるが、第1図に示すように中心から 24.9 cm はなれた場所で支持されているので、受圧板上の積雪総重量の 1/2.63 が力計に荷重としてかかることになる。受圧板の面積は、13.27m²であるから、積雪水量を Smm とすれば、13.27/2.63 Skg が力計にかゝる荷重となる。

力計の特性を第1表に示す。第2表は機械的拡大機構

第1表

力計に加えた荷重と力計の撓み量との関係

力計に加えた荷重 (kg)	力計の撓み量 (1/100) mm	
	往	復
0	0	0
500	22.2	22.2
1000	45.5	45.5
1500	68.3	68.4
2000	90.2	90.3
2500	112.6	112.7
3000	135.6	—

第2表

力計に加えた荷重と記録紙の読みの関係

力計に加えた荷重 (kg)	記録紙の読み (mm)	
	往	復
0	0	0
500	12.0	14.0
1000	25.5	28.0
1500	40.0	42.5
2000	54.0	56.0
2500	68.0	70.0
3000	81.0	—

を含めて記録紙の読みと力計にかゝる荷重との関係を示したものである。又第3図は第1表及び第2表を図示したものである。これらからわかるようにこの力計はそれ自体としては殆んどヒステリシスのない優秀なものであるが、機構全体としては機械的な遊びが原因と思われる行きと帰りの差を示す。今力計にかかる荷重を W kg, 記録紙の読みを x mm として、

$$\text{往} \quad W = \frac{1000}{28} (x+2) \quad (1)$$

$$\text{復} \quad W = \frac{1000}{28} x \quad (2)$$

とおけば、 W が 0 kg 及び 3000 kg の場合を除いて、

98%の精度で第2表を表わすことが出来る。

雪の降る前にも力計には死荷重 W_0 (約 520kg) があっており、又 W の最大は 2500kg 程度であったから、この観測では (1) (2) 式を使用してよい。

降雪前に W_0 kg により変位 x_0 mm を生じているとすれば

$$W_0 = 1000/28 (x_0 + 2) \quad (3)$$

であり、従って (1), (2), (3) 式から

$$\text{往} \quad W - W_0 = \frac{1000}{28} (x - x_0) \quad (4)$$

$$\text{復} \quad W - W_0 = \frac{1000}{28} \{(x - x_0) - 2\} \quad (5)$$

となる。 $W - W_0$ は積雪のみが力計に及ぼす荷重であり $(x - x_0)$ は記録紙の零線からの読取値を mm 単位で表わした値であるから、 $W - W_0 = 13.27/2.63 S$ とおき、 $x - x_0$ はあらためて x と書けば

$$\text{往} \quad S = 7.07x \quad (6)$$

$$\text{復} \quad S = 7.07(x - 2) \quad (7)$$

とおくことによって、 x を読取つて S 即ち積雪水量を求めることが出来る。

4. 測定装置の特性 (雪の力学的性質を考慮に入れた場合)

3の考え方は積雪を流体と考えた場合に成立つ事柄である。仮りに積雪が弾性体であったとすれば力計には3に述べた総体荷重の $1/2.63$ 以下しかかゝらないので、この様な方法で積雪水量は計算出来ない。従って (6) (7) 式で積雪水量が求め得るか否かは積雪の力学的性質如何によるのである。

吉田等¹⁾によれば積雪は Rheology で用いられる Maxwell model と Voigt model を直列につないだ形によって、その力学的性質を類似させることが出来る。

第 4 図

積雪の Rheological model

第 5 図

等方弾性体円板の変形

これを第4図に示す。これからわかることは積雪は非常に短い時間—例えば力を加えた瞬間には弾性常数 E_1 を持つ弾性体としての性質を示し、非常に長い時間で観測すれば粘数常数 η_1 を持った流体としての性質を示すということである。それ故に3の考え方は荷重が変化してから (例えば雪が受圧板の上に積ってから、又は融雪が起ってから) 非常に長い時間を経過して落ちついた時の特性を示す特別の場合である。

そこで今降雪のあった瞬間或は融雪のあった瞬間のことを考えてみる。第5図の如く等方弾性体の円板が周辺を固定されて支持されており、且その中心では下方からスプリングで支持されている場合を考える。この円板を積雪と考えスプリングを力計と考えるわけである。

スプリングを取って円板だけで考えれば、この円板の中心は P_1 なる圧力によって近似的に、

$$\delta_1 = 3 P_1 (1 - \sigma^2) R^4 / 16 E h^3 \quad (8)$$

だけ撓む。この場合 R は円板の半径、

E はヤング率

h は円板の厚さ

σ はポアソン比である。

逆に中心部が δ_1 だけ撓んだ円板は P_1 なる圧力を支えていると考えて良い。

次にスプリングだけで圧力を支えた場合は、同じく δ_1 だけ撓んだスプリングは

$$\delta_1 = \pi R^2 P_2 \epsilon / 3 \quad (9)$$

で表わされる P_2 なる圧力を支えている。この場合 ϵ は、単位荷重に対するスプリングの撓み量である。

従って第5図の如き場合、図のa点が δ_1 だけ撓んだ場合、円板に働く圧力 P は

$$P = P_1 + P_2 \dots \quad (10)$$

で表わされる。

充分長い時間が経過した後はは積雪の場合は内力がなくなつて P は秤だけで支持されるから、この時の撓みを δ_2 とすると、

$$\delta = \pi R^2 P \epsilon / 3 \quad (11)$$

最初にスプリングにかゝった荷重と充分長い時間後にかゝる荷重との比 P_2/P は (8) (9) (10) 式を用いて計算が出来て次の如くなる。

$$P_2/P = 1/1 + \frac{16\pi E h^3 \epsilon}{9(1-\sigma^2)R^2} \dots \dots \dots (12)$$

σ^2 を1に対して省略し、且積雪のヤング率は小島の測定²⁾があるので積雪深が定まればこの器械の P_2/P が定つて来る。今積雪深を1mとして (12) 式に次の数値を入れて計算してみる

$$E \dots \dots \dots 10^7 \sim 10^8 \text{ dyne/cm}^2 = 10 \sim 10^2 \text{ kg/cm}^2$$

$$h \dots \dots 10^2 \text{cm}$$

$$\varepsilon \dots \dots 45.5 \times 10^{-6} \text{cm/kg (第1表より)}$$

$$R \dots \dots 2 \times 10^2 \text{cm}^2$$

この場合 P_2/P は $E=10^2 \text{kg/cm}^2$ の場合 94%

$$E=10^2 \text{kg/cm}^2 \quad \# \quad 61\% \text{ となる。}$$

これだけの荷重が圧力が変った瞬間に秤にかゝり、残りの部分は積雪の流れによって過渡的にかゝって行くことになる。この過渡特性は積雪の η_1 にあたる値が E_1 に比べて大きな範囲に分布していること、取扱が面倒な為、ではふれない事にする。

(12) 式からわかる通り積雪の E が一定なら $h^2\varepsilon/R^2$ という値を一定にする事により、等価的な性能の測定装置を作り得る筈である。例えば積雪深が同じ場合、受圧板の半径 R が半分の大きさのものをえれば力計の単位撓み量 ε は $1/4$ のもの、即ち4倍の強さの秤を用いなければならない。尚この場合 P に対する δ_2 は (11) 式でから $1/16$ になるから拡大率をもとの16倍しなければ同じ記録をとることは出来ない。又積雪深器械の性能に及ばず影響が大きく深雪地では非常に大きな装置にするか又は強い秤と大きな拡大機構を使う必要があるわけである*。

5. 観測結果

(イ) 観測方法

この装置は北大低温科学研究所の御好意により同研究所の南側空地に設置された。器械の設置及び最初の調整は気象研究所測器研究部の津田によって行われた。この

第6図 Sampling 値と Sampling した際の記録紙の読取値の関係 (行き帰りの差を 2 mm とした場合) × は行き ○ は帰りの値

空地では低温研究所応用物理学部門の積雪の研究が行われているので、この観測についてもデータの提供等種々

の便宜を受けた。

設置が終って記録を取り出したのは昭和32年12月15日からである。その後 12月18日に 8mm 程度の降雪があったが19日には融けてしまって、根雪期間に入ってたのは12月20日からであった。

観測は秤型積雪水量計の記録を取る外、円筒型雪量計による降雪量の観測もあわせて行った。又積雪深については低温研究所で測定されたデータを利用して貰った。

写真 2

積雪水量値のチェックの為に Snow Sampling を随時行った。使用した Sampler は受雪口径 93.95 mm (断面積 69.48cm²) 長さ約 50cm のチユラルミン製円筒で、Sampling に際して長さが不足する場合は積雪中にチユラルミン製の板を水平にさし込み一応その板面までを Sampling した後、それ以下下をするというように何層かに分けて行った。こうして採取した Sample はポリエチレン製の袋に入れて秤量した。積雪水量計の表面は3月11日に犬の足跡を見ただけで外は乱された事はなかった。写真2は Sampling 中の情景で人物後方に自記部、雪量計が見える。積雪水量計は雪量計の後方にある。

(ロ) 記録紙の読取値と Sampling 値

Sampling の値とその時の記録紙の読取値との関係を第6図に示す。ただし 3 に述べたように記録には 2 mm の行き帰りの差があるので融雪期の読取値からは 2 mm を差引いてある。この場合は (6) 式では S と x との関係を表すことが出来ず

$$S = 7.3(x-1) \quad (13)$$

によって良くその関係が表わされるようである。従って倍率が幾分大きく、且原点が 1 m (水量にして 7.3mm) 移動したように見える。原点は12月19日を基準にしてあ

* もっともこの議論は周辺をかみしめた円板に対して成立することであって実際の場合は条件が異つており、従って、結論は単なる定性約推定に過ぎない。

るので其の後の土の含水率の変化によって変ることは充分考えられることである。前述の如く12月18日にあった8mmの降雪が19日にとけているのでこの事からも説明出来る。倍率の方は Sampling の場所と積雪水量計設置の場所のちがいによる系統的誤差、又は積雪水量計の有効受圧面積の変化等が考えられる*。今一つの考え方は器械の行き帰りの“ガタ”が2mm以上あったのではないかという事である。この器械は62倍程度の拡大をしているのでほんのわずかの“ガタ”の増しでも自記紙上に表われて来ることが考えられる。第7図は行き帰りの差を3mmとしてplotしたものでこの場合は(6)式によってSとxの関係を良く表わすことが出来る。但しこの場合は前述のような原点の変化を良く説明することは出来ない。Sampling値と積雪水量計の読取値から

記録紙の読取値 (mm)

第7図 Sampling値とSamplingした際の記録紙の読取値の関係(行き帰りの差を3mmとした場合)

計算した値とは第6図の場合は90%, 第7図の場合は92%以上で一致する。この場合何れを取るべきかについては今のところ結論を得ないがさしあたり実験式として(13)式を用いることとする。

(ハ) 気象台と大学における積雪深観測値の比較

第8図は大学と気象台における毎日の積雪深観測値を比較のため図示したものである。この場合気象台と大学との距離は約2km離れており、又気象台は毎日10時の定時観測値であるのに大学の方は定時観測ではない。けれども第8図を見ればその変化の模様は非常によく一致しており積雪進行期には大学の方が平均5~6cm大きく、融雪期には逆に気象台の方が5~6cm大きい事がわかる。これは恐らく気象台の露場が建物に囲まれて風が非常に弱いのに対し、大学の方は東西に吹き通し

である事によるので、融雪に及ぼす風の影響ではないかと考える。積雪の進行期には大学の雪尺設置点は積雪水量計設置点よりも積雪深が5~6cm大きかったので降雪量に関する気象台の観測値はそのまま大学に適用しても良いであらう。

(二) 積雪水量計の記録値と降雪量積算値

第9図は積雪水量計の記録をコンパレーターで読取った値から(13)式を引いて計算した積雪水量値と気象台及び大学における降雪量観測値の積算値を図示したもの

第8図 積雪深変化図

である。大学の方の降雪量観測は毎日行っていないので点の間は離れている。又この観測は12月26日から始めたもので零点はずれている。

この図をみて直ちに気がつくことは1月下旬から降雪量積算値と積雪水量値とが次第に離れて行っていること

第9図 積雪水量値と降雪量積算値(註: 点線は2月26日より100mmだけ差引いた値で表わしてある)

* §3 (6), (7) 式の 7.07 という係数は受圧板の支軸が第1図の杵材の外辺にあったものとして計算した値であった。若し支軸が杵材の中心にあったとすれば係数は 7.3 となる。

及び大学と気象台の降雪量積算値は大きな差があることである。今先ず後者の降雪量積算値の差について考える。

前述の如く積雪深から見ても、大学と気象台で降雪量に大きな差があるとは考えられない。従ってこの二者の差は恐らく風による捕捉率の低下が原因であらうと思われる。(ハ)に述べた如く気象台の露場は建物に囲まれて非常に風速が弱く従って雪降計の降雪捕捉は良い。このことは数年前にも地面量との比較から確かめられている。これに比べ大学の方は相当風が良く吹き通すような条件の地点で観測した。第10図は大学で降雪量観測を行った期日(これは大抵10時に測定に行ったので例えば2月5日10時から2月8日の10時迄という期間)の双方

第10図 風速と捕捉比の関係

P_i : 気象台における4時間降雪量

V_i : 同じく4時間の平均風速

の降雪量測定値の比(%)を横軸にとり、縦軸にその期間の4時間前の気象台における降雪量観測値 P_4 とその4時間の平均風速 V_4 から $\Sigma P_i V_i / \Sigma P_i$ なる値をとって plot したものである。これによれば大体において風速の増大と共に捕捉比が減少する傾向が見られ前述の推定の一つの証拠となる。

次に降雪量積算値と積雪水量値が次第に離れて行った事について考えて見る。Sampling 値も同様に降雪量積算値から離れて行ったのであるからこれは当然融雪があったと見るのが当然であらう。けれども積雪水量計は3に述べた如く水量値で14~15mmの遊びがあるので積雪進行期に融雪が起っても記録には表われて来ない恐れがある。例えば第9図の2月25日から27日にかけては記録紙の読取値には殆んど変化がなかったのであるが25日と26日の Sampling 値には大きな変化があり且この時

には相当な高温が来たので明らかに融雪があったものと見て26日の記録は融雪期の式(7)で計算した値を用いている。第9図は良く注意して見ると、降雪量積算値と積雪水量値とが降雪のある毎に離れる傾向があることに気がつく。この事をもっとはっきりさせる為に、第11図には或る日の10時の積雪水量読取値を r mm, その翌日の10時の読取値を S mm, その間の降雪量を t mm, とした場合に

$$u = (r - S) + t$$

なる値を縦軸にとって測定期間について表わした。尚日付は翌日の方にとってある。この値は自記紙の読み取り値と降雪量から出した見掛けの融雪量にあたるわけである。又降雪量自身も同じ図に表わした。この図に見られる通り1月下旬以降3月上旬迄はこの二者には大きな相関がある。棒グラフで表わしたのは零度以上の積算気温を0時~24時の間で求めて、も翌日の日付の所に表はしたものである。この値は3月中旬以降の融雪期を除いては比較の見掛けの融雪量と関係がないようである。0時~24時の間でとった理由は後述のおくれを考慮したためである。

尚降雪があった後は必ず u の値が負になることも一つの特徴である。これは降雪が止んだ後も記録が増しつづけるからであって、この装置に数日間にわたる遅れがあり、その特性が表われた為であらう。従ってこの見掛けの融雪の中には真の融雪による原因と装置の遅れとが重なりあってこのような記録をしたものと云える。この事から云えば(口)で論じた「ガタ」が2mm以上あったように見える事は、この遅れの影響と云えるので、「ガタ」が3mmあったとして(6)式で水量値を計算するよりは(13)式の方が正しいと云えよう。

第12図はこの記録からとった或る日の10時から翌日の10時迄の融雪量と、その日の0時~24時の0度以上の積算気温との関係である。記録紙から見ると気温が0℃以上になってから4時間乃至8時間程度遅れて融雪が始まり終りも同様に遅れている。これが前述の装置の遅れと如何に関連しているかは不明であるがとも角或る0℃以上の積算量と一つの融雪量を対応させることが出来る。夜間にも0℃以上の気温が続いたような場合は2日間の融雪量を一語にしてプロットした。この結果は石井の Sampling から出した結果³⁾と良く一致している。

融雪期における一つの心配は受圧板上の積雪が他の地点と比した場合著しく異ったものになるのではないかと云うことであつた。詳細な測定は行はなかつたけれども、少なくとも目視観察した限りでは積雪深が他の地点と著しく異って来るような事もなく、根雪終了時も雪線は

第 11 図 見掛けの融雪量、降雪量及び 0°C 以上積算気温変化図

実線は10時～10時の見掛けの融雪量、破線は同時間の降雪量、棒グラフは0時～24時の零度以上積算気温を、習日の日付に表わしたもの

第 12 図 融雪に及ぼす気温の影響

外の地域と同様に後退して影響は認められなかった。

6. 結論と今後の問題

- (イ) 地面上で積雪の重量を秤量する方法により積雪水量の連続観測を行った。その結果測定値と Sampling 値とは 10% の誤差範囲内で一致した。
- (ロ) この装置には 14mm 程度の積雪水量値に相等する行き帰りのガタがあったので融雪状況等に対する詳細な観測が不可能であった。又観測結果からは一日以上に及ぶ遅れがあるように見えるが、この様な遅れは今迄のこれに類した研究⁴⁾では観察されていないので今後更に検討する必要がある。
- (ハ) 積雪の弾性的性質を考慮してこの装置の特性に対し簡単な考察を加えた。これによれば積雪深の深い所程、又秤の受圧面積を小さくする程測定感部に用いる力計は強いものを用いる必要がある。
- (ニ) 前項に述べた事柄と、読取上もっと大きな拡大率が望ましい点から考えて、今後は今回用いたような

機械的拡大方法によらず別の方法を考慮する必要がある。又直径 4 m の受圧板を用いたがこれが今後 1 m 程度に出来れば実用上極めて有効な器械となるであらう。

7. あとがき

この研究は気象研究所において装置の製作、及び設置を担当し、札幌管区気象台が観測を担当した。又北大低温研究所では、設置場所の提供、及び種々の助言並びに協力を受けた。特に吉田順五教授、大浦浩文教授を始めとする同研究所応用物理学部門の方々には種々有益な助言、指導をいただいた。又装置は気象研究所測器研究部田村第一研究室長によって考案設計されたものであり同

研究所津田技官が設置調整にあたった。札幌管区気象台山岡台長からは本観測の実施にあたり種々の授助をいただいた。以上の方々に対し厚く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 吉田順五1953: 雪の粘弾性及び雪の破壊抵抗, 低温科学, **10**, p. 1
- 2) 小島賢治1954: 積雪の粘弾性, 低温科学, **12**, p. 1
- 3) 石井幸男1955: 融雪の機構, 雪氷の研究 No. **2**, p. 53
- 4) 大浦浩文1957: 雪洞の天井を支える梁にかかる力, 低温科学, **16**, p. 55

Measurment of Water Equivalent of Snow Cover by Snow Balance

RIKITA INOUE

(Sapporo District Meteorological Observatory)

The water equivalent of snow cover during the winter season of 1957-1958 at the experimental field of the institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, Sapporo, was observed by "Snow Balance", a newly designed snow gage.

This new type snow gage was designed by Mr. S. Tamura, Weather Instrument Laboratory, Meteorological Research Institute.

It is consisted mainly of 8 triangular plate, adjunct each other to form a regular octagon and set flush on the ground, and a ring balance which supports the center of the octagon.

Each triangular plate can move at the center around the circumference of the octagon and thus the ring balance can measure the weight of the snow deposit on the plates.

The strain of the ring is magnified mechanically by 62 times and recorded on the drum which set 4 meters away from the center of the plates.

From the result of the analysis of the record and check with the snow sampling, this snow balance was considered fully practicable in the field use.

Simple theoretical consideration of this snow gage, and the interesting results related to this observation was explained.

原 稿 募 集

研究論文に限らず調査報告、実験の概要や地方だより等雪氷に関する身近な問題等も出来るだけ

投稿されることを希望しています。研究以外の掲載したものには原稿料を差し上げます。

雪や氷に関係のある珍しい写真がありましたらどしどし編集委員会へお送り下さい。なるべく

表紙写真に掲載します。掲載されたものには薄謝を呈します。