

自記雪量計について

矢 亀 紀 一*, 毛 利 文 郎*

1. 緒 言

水理, 水害関係業務に関連して, 最近雪の関係のルーチン測器が問題になっている. 自記雪量計としてはヘルマン型, および, その小野式改良型が積雪地方の測候所には設備されていたが, 風が強いときはペンの振動が大きいため近年あまりよく利用されていなかったようである. 数年前から当所において, 各測候所のヘルマン型および小野式改良型自記雪量計の主軸にダンパーを取付け, 風による振動を少なくしてから利用度が大層よくなったようである. このように, 近年全く顧りみられなかった雪量計について, 数年前から改良および試作を行ってきたのでその結果をまとめて報告する.

2. 自記雪量計の種類

(1) 融雪式

電球, 電熱器などで降雪を融し, サイフォン型自記雨量計に記録させるものである. これは受水器に改造をほどこせば容易に実施することができ, 気温が余り低下しないところでは結果もよいので測候所などで使用しているところが多い. 受水器の温度があがり過ぎると融けた水がすぐ蒸発してしまうので, バイメタルにより自動的に温度を一定に調節する必要がある. 定温受水器を新潟地方気象台で試験^{1), 2)}したとき, 受水器の温度を自動的に 12.7°C に一定に保った場合に, 雪の場合には結果がよいが, 霰の場合には遅れが出ている. 受水器を熱伝導率のよい銅板で, しかも 1mm ぐらいに厚くして熱容量を大きくすれば, 霰などの場合にも遅れが出なくなるものと考え.

転倒樹型雨量計についても上記と同様に電熱により一定温度に加熱すれば雪量計に使用することができる. このほうは隔測できる点で便利である. これらの方式は交流電源を使用する関係から, 停電のとき使用できないのが欠点である.

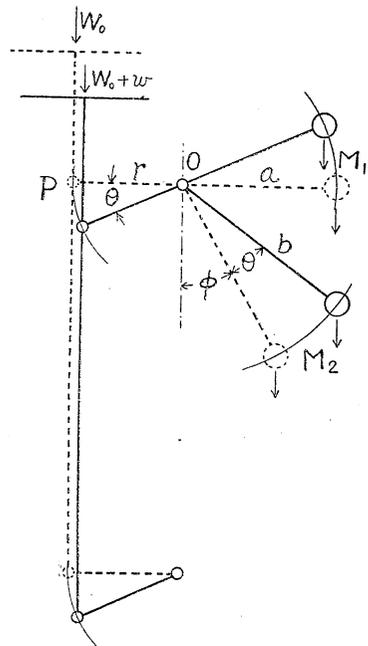
(2) 秤 式

降雪を貯雪器に受けて, その重量を記録するものであ

る. 総量型であるから, 貯雪器があふれる前に器をからにしてペンの示度を復元しなければならない. ヘルマン式の最大測定量は 60mm であるから雪をそのまま貯えるが, 500mm から $1,000\text{mm}$ 迄記録するものとなると, トータライザーと同じく降雪を塩化カルシウム水溶液に融かさなければならない. 雪量計の精度は最大秤量に関係があって, 一般の雪量計の構造では普通の秤と同程度の精度と考えられ, 記録の最小目盛は最大秤量の $1/300$ が限度と考えられる. したがって精度を高めるには最大測定量を小さくしなければならない.

a ヘルマン型

第1図に示すような傾斜秤で, 横杆が水平になってい



第1図 ヘルマン型雪量計の動作機構図

るときの荷重を W_0 , W_0 からの荷重の増高を w とすれば, 平衡状態においては図に示す関係から次式が成立つ:

$$wr = M_2 b \cos \phi \tan \theta.$$

* 気象測器製作所

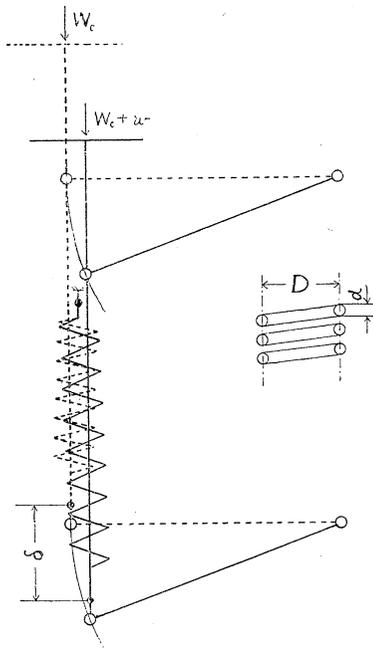
この型では w は $\tan \theta$ に比例するので、 θ でなくて $\tan \theta$ を記録する構造にしてある。このためこの型の秤はタンジェント型といわれる。この秤の感度は次式で表わされる：

$$\frac{d\theta}{dw} = \frac{r}{M_2 b \cos \phi} \cos^2 \theta.$$

すなわち、この秤の感度は θ の値によって変る点が欠点である。 $\theta=0$ で感度は最大で、 θ が大きくなるほど感度は悪くなる。また感度をあげるために r を大きくすることはこの雪量計の構造上無理であるから、ペンの動きを大きくするためリンク機構により倍率をかけている。支点 O および重点 P にはナイフエッジを使用して摩擦を軽減している。この秤機構では釣合の錘り M_1 と、復元用の錘 M_2 とが荷重と釣合っているの、支点のまわりの慣性率が大きく、振動を抑えるためには制振器を追加しなければならない。

b フェルグソン型

この型は第2図に示すようなばね秤式である。貯水器



第2図 フェルグソン型雪量計の動作機構図

が空のときの荷重を W_0 とし、降水量 w がはいったとき秤のさがる量、すなわちばねの伸びを δ とすると δ は次式で示される：

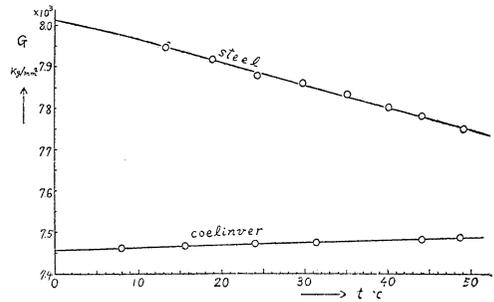
$$\delta = \frac{8nD^3}{Gd^4} w.$$

n はばねの有効巻数、 D はばねの捲線径、 d はばねの素線径、 G は剪断弾性係数である。秤の動き量は荷重に比例し、感度は次式で表わされる。

$$\frac{d\delta}{dw} = \frac{8nD^3}{Gd^4}.$$

ばねが直接荷重を受けるので支点にかかる力は小さい。したがって支点の摩擦は小さく、支点にピンを用いることができる。この秤機構では r を大きくとることができるので、秤の動きも大きくすることができて記録には有利である。

この秤の精度は全くばねの精度にかかっている。ばねの誤差には温度誤差、ヒステリシス誤差、クリープ誤差などがあるが、もっとも問題となるのは温度誤差である。コエリンバーは増分量博士が発明³⁾した Co, Fe, Cr の合金で弾性係数の温度係数が小さい合金である。鋼ばねとコエリンバーばねを水の中で温度をかえて伸びを測り、 G を計算した結果を第3図に示す。図より G の値は次のようになる。



第3図 コエリンバーと鋼ばねの弾性係数と温度との関係

$$G_{Fe} = 8012 (1 - 0.00054t) \quad \text{— 鋼ばね}$$

$$G_{Co} = 7455 (1 + 0.000086t) \quad \text{— コエリンバーばね}$$

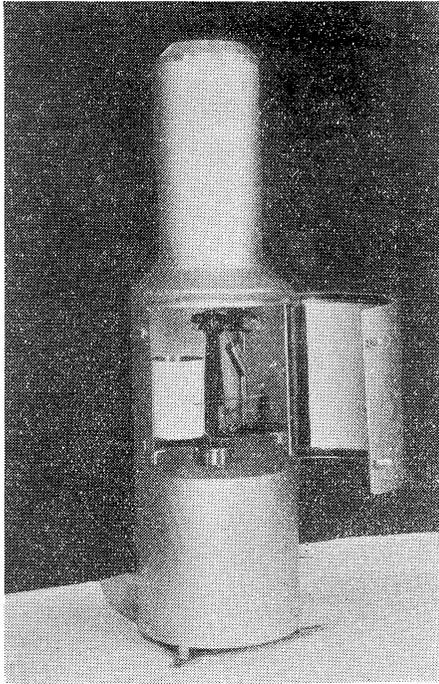
この結果から、コエリンバーばねは鋼ばねの約 1/6 の温度係数をもつことがわかった。

この結果からばねの伸び δ は次式で表わされる：

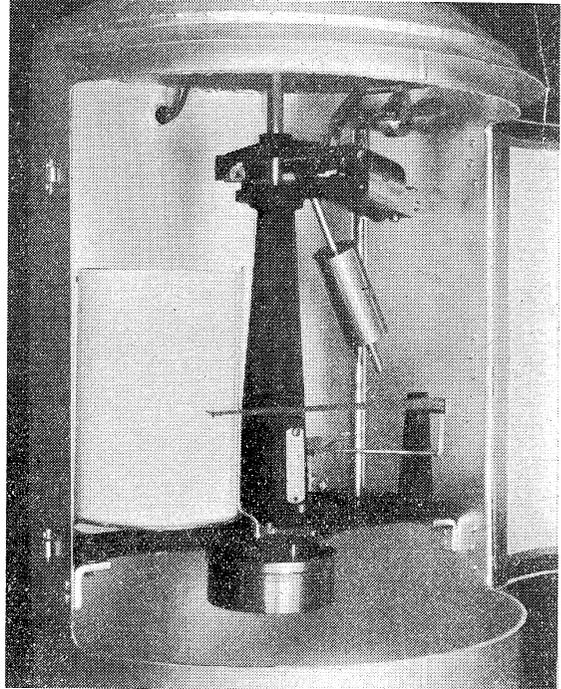
$$\delta_{Fe} \propto \frac{1}{1 - 0.00054t} \quad \text{鋼ばね}$$

$$\delta_{Co} \propto \frac{1}{1 + 0.000086t} \quad \text{コエリンバーばね}$$

すなわち鋼ばねを使うと最大の誤差は 20°C の変化で 1%，したがって 500mm の雪量るとき誤差は 5 mm となる。一方コエリンバーばねを使うと 500mm の雪量で、20°C の温度変化について 0.9mm の誤差であるからほとんど問題にならない。このばねの弾性の温度係数は合金



(a) 概 観



(b) 内部機構

第4図 改良ヘルマン型自記雪量計(52型)

の組成により加減することができ、ほとんど0のものができている。

コエリバーばねは後に記す隔測自記雪量計に使用した。鋼ばねに比べると非常に高価ではあるが、鋼ばねに温度補正を取付けるよりも構造が簡単で、ヒステリシス誤差などもほとんど問題にならない量で、計器用のばねとしては適当である。

3. 試作した自記雪量計

(1) 改良ヘルマン型自記雪量計52型

昭和27年に試作したもので第4図に示す。ヘルマン型に対して改良の要点は秤部の安定をよくし、摩擦を減少させたこと、秤に制振器を取付けたこと、受雪口金部に電熱を取付けたことなどである。本器は自記紙の全目盛が降水量30mmで、降水量10mmが自記紙上50mmに相当し、最小目盛は0.2mmである。降水量が30mmをこえると補助錘りが落下して最大60mm迄測定できるものである。口径はヘルマン型で225mmであったのに対し改良型では雨量計と同じく200mmとした。この雪量計は降雪量が30mmないし60mmに達すると受雪器の中の雪を捨てなければならぬので手数がかかるが、最小

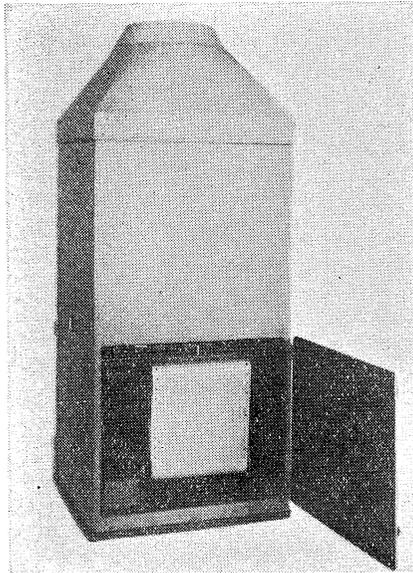
目盛が0.2mmであるから測候所用としては適当である。

この自記雪量計は昭和28年1月から秋田測候所において使用している。その試験観測報告⁴⁾によると、実測値および自記雨量計との比較の結果は良好とのことであった。ペンの振動は風速11m/sec位より起るが、案外実測と大差のない値が得られ、融雪装置をほどこした自記雨量計と比較すれば、改良ヘルマン型が調子が良好でこの方を全面的に使用したいとのことであった。

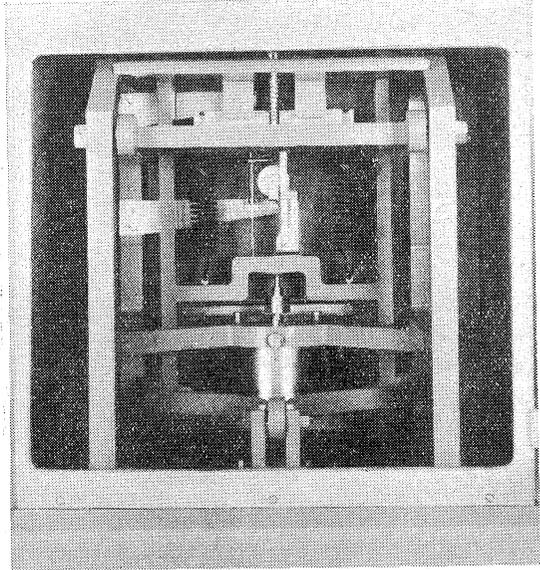
この自記雪量計に対する改良の意見としては、ダンパーの調節が不便であるから扉を大きくすること、外から内部を見ることができるよう扉に透明な窓をつけること、補助重錘の落下機構を改良すること、雪量計の外殻をもっと頑丈にして振動しないようにすることなどであった。

(2) 長期自記雪量計 52型

昭和28年に試作したもので、長期自記雪量計としては山地への携行を考慮して、小型軽量にするため口金の口径は14.14cmとした。これは初めて試作したばね秤式で、第5図に器械を示し、構造を第6図に示す。(1)は貯水器で20lの容積をもち、1,000mm迄の降水量をい

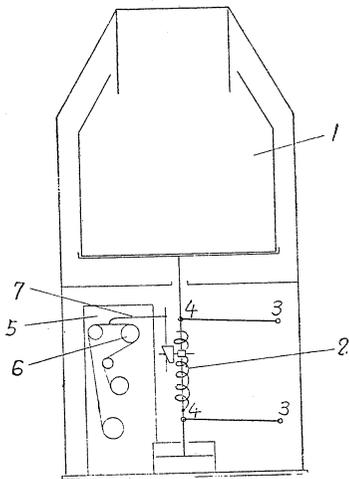


(a) 概 観



(b) 内部機構

第5図 長期自記雪量計（52型）

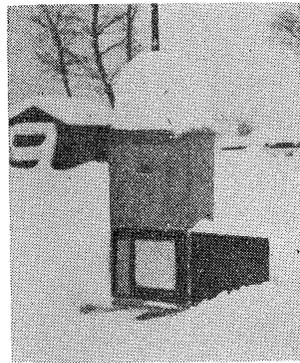


第6図 長期自記雪量計（52型）の構造

れることができる。(2)は蔓巻ばねで鋼ばねを用いた。(3),(4)は支点,(5)は時計,(6)はロール自記紙の紙送りで、ロール自記紙の記録幅は120mmである。主軸がさがるとともにラックにより回転させられるピニオンの軸に固定した円筒カムの回転により、ペンは自記紙上を1往復する。ペンの片道は降水量500mmに相当し、自記紙の最小目盛は降水量10mmに相当する。時計は51型長期自記雨量計と同じ3カ月巻を使用した。制振用の

ダンパーは初め取付けたが、実際にはこれが無くてもペンはたいして振動しないので後に取外した。

この器械は昭和28年2月より昭和29年4月20日迄中宮祠測候所において実用試験が行われた。口金部の傾斜がゆるやかなため、昭和28年3月16日の降雪では第7図に



第7図 雪量計についた雪冠

示すように大きな雪冠ができて、口は小さな孔を残してほとんどふさがっていた。それでも雪が落ちるときうまくわかれたのか記録の読取は実測とよく合っていた。この冬の記録は実測と非常によく合っていたが、翌年の冬の雪では、なぜか、記録の総量は実測の3割

位であった。

口金部の傾斜がゆるやかなため雪冠が付き易いと考え、昭和29年に口金傾斜を第10図に示すものと同じく14°に改造した。昭和29年12月から新潟県において試験したが、これはなぜか全く記録がとれなかった。昭和31年1月より日光湯元において試験を行ったが、良好な結果を得ている。ただ2日間の記録は中宮祠の実測に比べ小

さい値が出ているが、吹雪で実際に雪がはいらなかったためか、あるいは雪冠で口が詰まったものと考えられる。

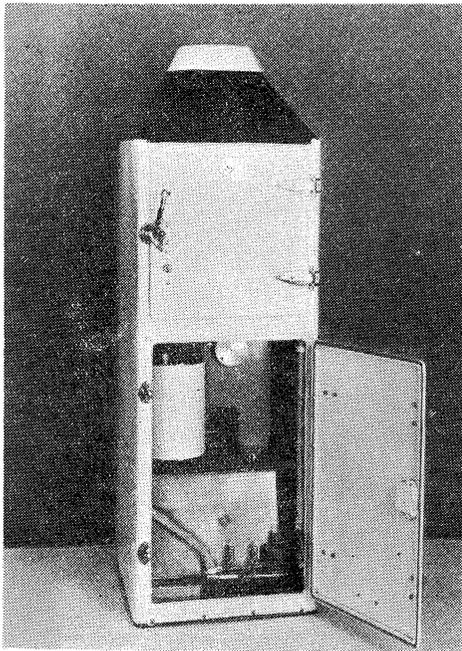
(3) 長期自記雪量計 (加熱式) 53型

口金部の雪冠ができるのを防ぐため、アルコールランプにより加熱された温水を口金部に循環させるもので、秤の構造は前述した(2)とほとんど同じである。時計は4カ月捲の円筒時計を使用し、総量 1,200mm の降水量を記録する。第8図の写真に器械を示し、構造を第9図に示す。

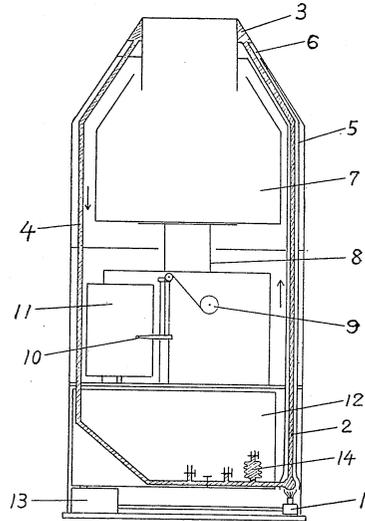
温水循環は重力式温水暖房と同じで、アルコールランプ(1)によりあたためられた温水は、温水管(2)を通過して温水環(3)に至り、口金をあたためて冷えた水は他の管(4)を通過して元に戻り再び暖められるようになっている。燃料アルコールは燃料タンク(12)からフロートバルブをへて燃料溜(13)に落ち、これから補給される。

受水部の口径は52型(2)と同じく 14.14cm である。アルコールランプの熱気は温水管を包む煙管(5)を通過して煙環(6)に至り外気に逃げるようになっている。これは口金部を暖めるのに熱効率を良くするためである。受雪バケツ(7)は上に取出さないで横から扉を開いて出すようにした。

秤機構は(2)とほとんど同じであるが、記録機構は気象庁の測器専門委員会の意見により長期捲円筒時計(11)



第8図 加熱式長期自記雪量計 (53型)



第9図 加熱式長期自記雪量計 (53型) の構造

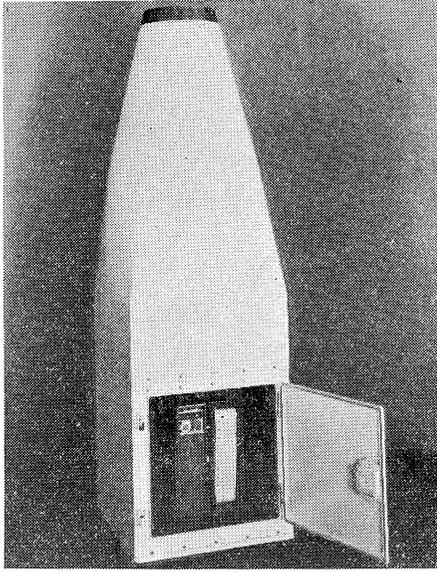
に記録するようにした。この自記円筒時計は4番真から8型腕時計の香箱真を駆動し、円筒時計の全舞で4カ月持続するようにしたものである。1日は自記紙上で3mmに相当する。周速の小さい円筒時計はこのように小型市販時計を組み込む方法で非常によい結果を得た。

記録にはインクのかわりに柔かな鉛筆として「コンテ」を用いた。秤さかかるとともにペン吊糸捲(9)が回転し、糸に吊られたコンテ(10)は鉛直の案内棒にそって上昇する。自記紙はダインス自記風圧計の用紙を使用し全目盛で降水量 1,200mm、最小目盛は 20mm となっている。

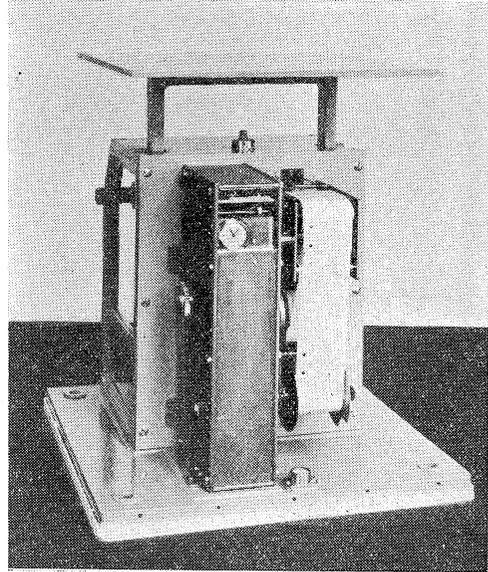
アルコールランプには初め石綿の芯を用いたが、芯に不純物が附着してアルコールの吸上が悪くなった。不透鋼線の螺線を芯に用いたのが吸上もよく、芯の先端が赤熱されているので風がはいっても焰も消え難く結果が良好であった。循環水は凍結のおそれがあるので塩化カルシウムの水溶液を用いることとした。循環水の膨張収縮の保安装置としてペローズ(14)が取付けてある。

燃料アルコールの消費量は気温 20°C のとき、口金を 40°C に保つためには1時間にアルコール 9gを要した。したがって 20°C という高温のときでさえも、20lの燃料タンクでは70日分に過ぎない結果となった。

本器の実用試験は昭和29年2月より札幌管区気象台の露場において行われた。結局、主として燃焼系統の工合がよくないため試験は中止された。燃料の消費量も予想以上に大きい点も実用測器とするには問題である。その



(a) 概観



(b) 内部

第10図 長期自記雨・雪量計 56型

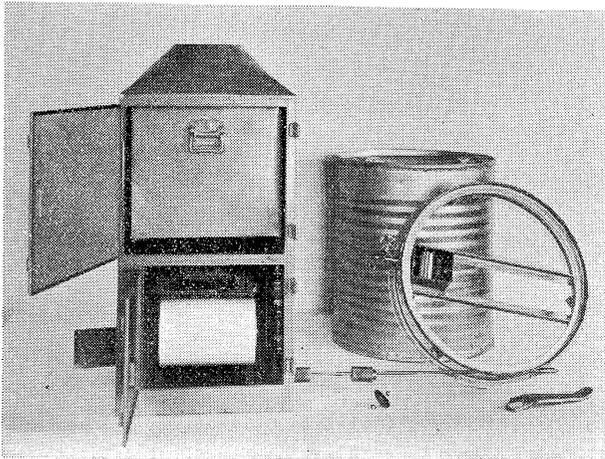
ほかアルコールが燃焼するとき水蒸気ができるためと、外気との温度差によりケースの内壁に水蒸気が凝結して内部が水浸しになるなど問題が多かった。

(4) 長期自記雨雪量計 56型

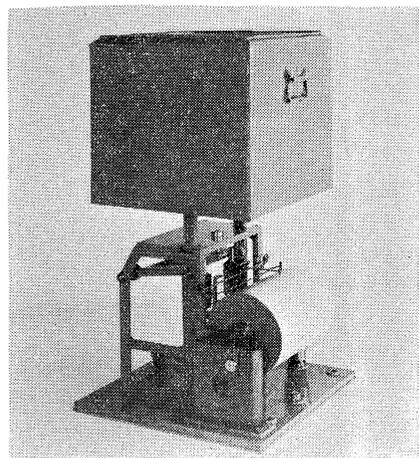
これは改造した52型とほとんど同じであるが、記録装置は52型長期自記雨量計と同じものを用いている。時計は3カ月捲で、インキ自記の点も長期自記雨量計と同じである。ペンは円筒型カムの回転により自記紙上を往復する。ペンの動きは片道が降水量 50mmで、総量 1,000

mm迄を10往復に記録する。この器械を第10図の写真に示す。

この型の機能は52型で大体試験済のものである。まだ降雪地で試験は行っていないが、昭和32年5月～8月の降雨については3カ月間完全に記録した。軽油を浮べて蒸発を防いでおいたのであるが、記録値と雨量計との比較も良好であった。雪冠のできるのを防ぐために、ケースの傾斜は急にしたが、湿雪の場合には雪冠のできるのには避けられない。



(a) 雪量計と灯油タンク



(b) 内部

第11図 加熱式長期自記雪量計 (56型)

(5) 長期自記雪量計 (加熱式) 56型

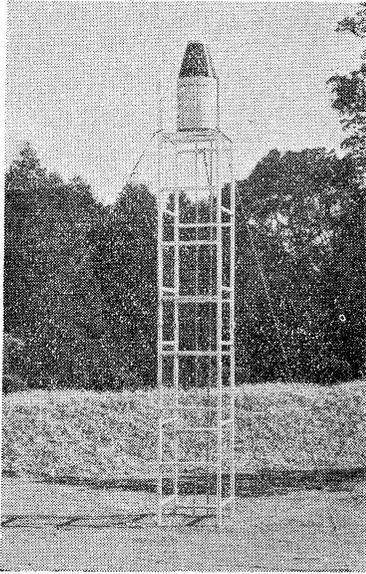
本器は灯油を燃料とし、燃料タンクは計量部と別におき、給油パイプで接続するようにしたもので、第11図に示す。53型では燃料をアルコールとしたので燃料費が相当に高くつくので、硝子繊維の芯をつけて石油コンロと同じ燃焼方式で灯油を使用することとした。燃料タンクの大きさは50lで、外気温にもよるが3カ月もつ予定である。口金の加熱は53型と同じく温水循環式であるが燃焼ガスは隙間から外気に逃げるようにして、別に煙管は設けなかった。

記録装置は53型と同じく4カ月用円筒時計を使用した

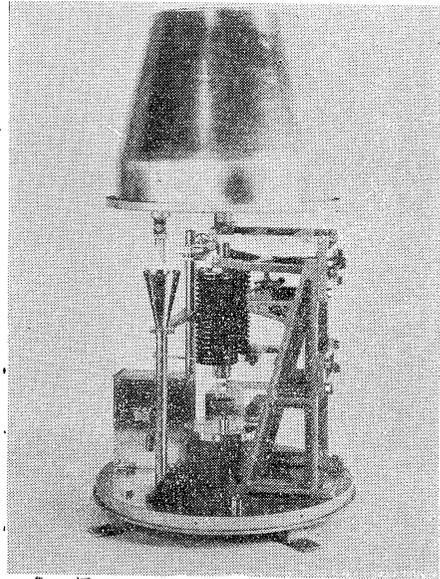
が、円筒は横型として別の時計で回転するようにした。記録には“コンテ”を用い、案内棒にそって水平に動くようにし、ラックにより回転させられるピニオンと同軸の円筒に巻きつけられた糸によって動かされる。

加熱式では小さな焰を長期間同じ状態で維持することが問題で、電熱のように完全に行うことは困難である。燃焼装置については実験中で、53型のアルコール式よりは火は消えにくいようであるが、まだ完全に3カ月間燃焼を継続させる迄に至っていない。口金の温度は比較的少ない燃料で53型より高く保つことができた。

(6) 隔測自記雪量計 55型



(a) 外 観



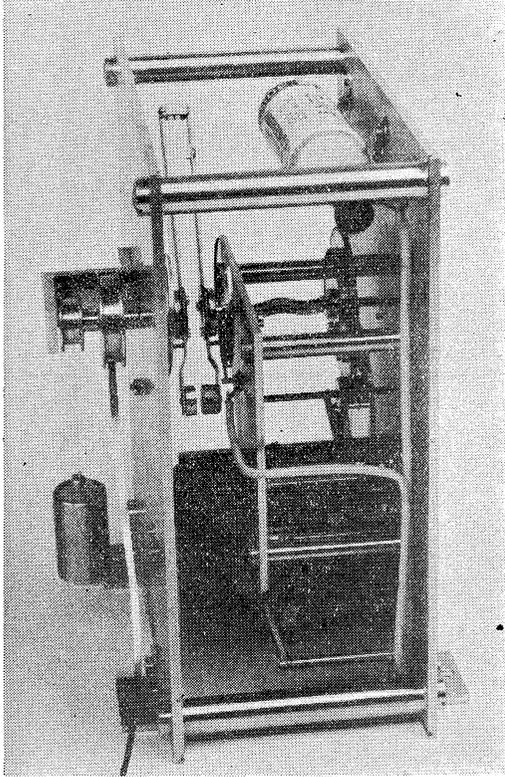
(b) 内 部

第12図 隔測自記雪量計 (55型)

本器は測候所および観測所用として気象庁観測部の規格により製作したものである⁵⁾。最大測定量は500mmで、2mm毎にパルス方式で屋内の自記電接計数器に遠隔自記するものである。口金部には電熱を取付けA.C.100Vで加熱できるようになっている。計量部は必要な高さの架台の上に取付け、屋内の記録器とはケーブル線で配線する。

本器の計量部を第12図に示す。(a)は4m架台上に取付けた状態、(b)は内部の秤機構を示す。秤機構は長期捲雪量計と同じばね秤式であるが、ばねの伸びに応じてパルスを出すパルス発生部を備えている。パルス発生部は第13図に示すような接点追尾方式のものである。この

作動を第14図の結線図について説明すると、(1)は雪量計の示針に相当するもので、秤からリボンにより運動を伝えられる。(1)が接点(2)に接触すると電磁石(3)は励磁されて接極子(7)が引付けられ、棘車の歯止をはずすので棘車は一歯回転する。この一歯の回転により接点(2)は降水量2mmに相当する角度だけ(1)から逃げるようになっている。接点を逃がし、棘車を回転する動力は蔓巻ばね(6)の力によるもので、このばねは受雪器を排水して秤を復元するとき自動的に巻上げられるようになっている。接極子(7)が引付けられると接点(4)が閉じるので自記器に1回を記録する。測定の始めにリボンがゆるんでいて(1)と(2)が接触しているとき

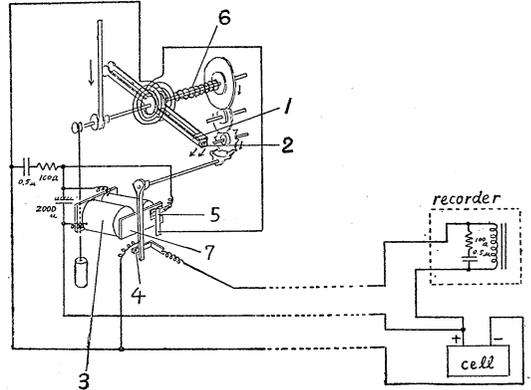


第13図 隔測自記雪量計 (55型) のパルス発生部

は、電磁石 (3) が励磁されて接極子 (7) が引付けられると同時に回路は接点 (5) で開かれるので、(7) は開放され、次にはまた引付けられるので、(1), (2) の接点が開くまで (7) は振動を繰返し棘車を回転させる。この場合に (7) の振動は (3) のインダクタンスと、(3) に並列にはいつているコンデンサーとによってきまる周期で確実にわれ、振動回数も正確に自記器に記録される。

雪量計の口径は20cmで、口金部には雪冠ができるのを防ぐため 300Wの電源が入れられている。これは屋内より電圧を加減して温度の調整ができるようになっている。なお口金部の温度が過度に上昇しないようにバイメタル式の保安開閉器が取付けてある。このほかに受雪器内の塩化カルシウム水溶液の対流を生ぜしめるために、受雪器の下に60Wの電熱を備えている。

ばね秤のばねには前記コエリンバーばねをこの器械で初めて用いた。温度誤差はこれによってたいして問題とならぬ程度になっているが、このばねは製造に注意すればさらに温度誤差を小さくすることも可能なはずであ



第14図 隔測自記雪量計のパルス発生機構

る。ばね秤には空気制振器を取付け、風による振動をちいさくしてある。

受雪器は 500mm の測定容量をもっているのので、雪の少ない地方ではほとんど一冬の雪を記録せしめることができる。雪の多い地方では一冬に 1~2 回受雪器から排水する必要があるが、この操作を便利にするため排水コックが取付けてある。なお雨の期間には口金部に漏斗を挿入して雨量計としても用いることができるようにしてある。

4. 結 論

以上各種自記雪量計について試作試験した結果は次のとおりである。

(1) 自記雪量計には融雪式と秤式とがあるが、融雪式は気温が比較的高い地方で用いるにはよいが、気温の低い地方でに保温に困難をとまう。

(2) 秤式では 1 回の最大測定量が 200mm 以下程度では傾斜秤型が有利であるが、500mm 以上になると、精度を出すには変位量の大きなばね秤型の方が有利となる。

(3) ばね秤型で鋼製ばねを用いると温度誤差がかなり出るが、コエリンバーばねを使用すれば温度誤差をほとんどなくすることができる。

(4) 自記雪量計の口径は雪冠ができる関係から大きい方がよいが、長期自記雪量計でも 20cm は必要であろう。

(5) 長期自記雪量計で雪冠ができるのを完全に防ぐために、液体燃料の燃焼により口金を加熱するものを試験中であるが、予想以上に燃料の消費が大きいことと、小さな焰を長期間持続することが困難なためまだ実用の段階に至っていない。

(6) 秤型雪量計は雨量計として用いてもよい結果を得ている。したがって雨量計として用いることができる。なお降雪の何%が雪量計にはいるかという雪量計の採雪率については、雪量計の形状にも関係があり、口金部分に傾斜をもつ円錐形より円筒型の方が採雪率がよいといわれて⁶⁾いる。また風除けの効果など採雪率を良くするための研究は雪量計としては大きな問題である。また総量型雪量計では軽油を浮べて一応蒸発を防いでいる考えであるが、実際に蒸発量がどれ位になっているかわからない。これらについてはさらに研究が必要である。

最後に前記各雪量計の実用試験を担当した札幌管区気象台、秋田、新潟、宇都宮の各地方気象台および中宮祠測候所の職員各位、試作にあたって有益な御意見をいただいた気象庁測器課、試作を担当した気象測器製作所の職員各位に厚く御礼申上げる。

参考文献

- 1) 矢亀紀一，毛利文郎，1952：自記雪量計について，測候時報，**19**，12.
- 2) 佐久間一蔵，1951：恒温式自記雨量計の実用試験結果，東京管区気象研究会誌，**10**.
- 3) 増本量，黄藤英夫，1952：Co-Fe-Cr 系合金系の剛性率およびその温度係数について，日本金属会誌，**16**，3.
- 4) 秋田測候所，1953：改良型ヘルマン雪量計試験観測報告，測器技術資料，838号.
- 5) 気象測器工場，1956：55型隔測自記雪量計取扱説明書.
- 6) 吉田作松，斎藤邦雄，1956：積算雪量計の溶液凍結と降雪捕捉に関する試験について，研究時報，**7**，10：測候時報，**23**，6.