

雨量計について*

矢崎 敬 三**

要旨

雨量計は他の測器の最近の進歩、開発に較べて、余り顕著な変化はない。雨量観測については測器自体より、むしろ観測の方法について、色々な問題があり、多くの研究、検討が行なわれている。ここでは、観測上の問題を検討しながら、雨量計の最近について述べることにする。

1. 雨量観測の現状

1.1 CIMO の調査について

WMO の CIMO (測器と観測法委員会) は1954年1月に、降水量の観測方法を決定するための作業委員会を発足させ、同委員会は、各国の降水量観測の実態を知るため、各種の調査を行ったが、加盟92か国のうち、42か国がアンケートに対して回答を寄せた。作業委員会の議長 Poncelet は1957年の CIMO 第Ⅱ回会議に調査の結果を報告した。

この報告から (CIMO II/DOC., 五十嵐1959), 降水量観測の世界の現状を覗うとこにする。

(1) 受水面積 (受水口径) 現在使用されている雨量計は種類が非常に多い。大きさの相異を受水面積について示すと第1表のようになる。気象庁で使用しており、また、検定の対象としている雨量計の口径は、20cm, 14.14cm, 11.28cm, 10cm の4種類である。

(2) 雨量計の地上からの高さ これも各国まちまちで、30~150cm までであった。第2表にこれを示す。気象庁では貯水型指示雨量計については20cm, 転倒ます型雨量計については50cm である。

(3) 風除けの使用について 正式に風除けを使っている国は殆んどない。実情は第3表の通りである。気象庁では山岳に設置する無線ロボット雨量計については、風除けを使用している。

(4) 雨量計の障害物からの距離 雨量計を周囲の障害物からどの位離したら良いか、に対する各国の基準は、障害物の高さの1~4倍の距離を許しており、第4表のようである。気象庁の地上気象観測法では、理想的

第1表 雨量計の受水面積

受水口径 (cm)	受水面積 (cm ²)	観測国数*	主な使用国
11.28	100	3	ベルギー
12.7 (5吋)	127	13	英国とその属領南ア、ソ連など
15.1	177	1	
15.95	200	8	ドイツ、スイス、スエーデン
16.9	225	1	
20.0	314	4	日本、英国
20.32(8吋)	325	6	英国、オーストラリア、米国
22.56	400	3	フランス、オランダ
25.22	500	12	オーストリア、ソ連
29.9	700	1	
35.71	1000	1	スウェーデン

* 複数種類使用している国については重複している。

には4倍以上としている。

1.2 雨量観測に関する WMO の基準

雨量観測に関する WMO の測器と観測法手引(1970)による基準はつぎのようである。

(1) 受水器の構造 WMO の手引では、雨量計の受水口面積は200~500cm² を適当としている。

日雨量観測のための雨量計の要件としては、

a. 受水器の縁は鋭角で、内面では直角、外面では小さな鋭角をなしていること。

b. 受水器の受水口面積は0.5%の誤差以内のもので、既知であり、面積は不変でなくてはならない。

c. 受水器は雨の飛び出し、飛び込みのない設計のものでなければならない。そのためには、内面の垂直な壁は充分な深さを持ち、内面の斜面は45°より小さい角度

* On the Rain Gauges.

** K. Yazaki 気象庁

—1973年9月17日受理—

第2表 雨量計の地上からの高さ

受水口の地上からの高さ	観測国数
30cm	8
40cm	1
45cm	1
50cm	2
75cm	2
1 m	13
1.50m	5
1.75m	1
2.50m	1

であること。

d. 受水器の集水孔は狭くして、放射を遮り、蒸発による水の損失を妨げなければならない。

などのことを挙げている。

週または月間雨量を観測するような場合には、貯水容量が大きく、構造も丈夫であることが必要である。長期間の全降水量を観測するのに用いられるトータライザーでは、捕捉した降水の蒸発による減量を防ぐために、少量の既知量の油や、他の蒸発抑制剤を貯水槽内に入れなければならない。

(2) 雨量ます 日降水量を観測するための雨量計に用いる雨量ますは低膨脹係数の透明ガラス製で、用いる雨量計の口径の1/3より小さい径のものでなければならない。目盛は0.2mm 毎が必要で、0.1mm に相当する目盛線があるところが望ましい。それほどの精度を要しない時には1.0mm までは0.2mm 毎、それ以上は1mm 毎の目盛としても良い。目盛の最大誤差は2mm 以上で±0.05mm 以内、2mm 以下では±0.02mm 以内でなければならない。この仕様を満足する場合には、材料はガラスでなくて、プラスチックでも良い。

(3) 設置場所 降水の捕捉は雨量計への風、周囲の地物の配置および高さに影響される。風の影響はa. 雨量計への風の影響と、b. 雨量計の近くの空気の流れへの設置場所の環境の影響とに分けられる。

a. 雨量計が地上に露出していると、雨量計によつて地上近くの空気の流れが乱されて、渦流が生じ、上昇流は捕捉を減少させ、下降流は捕捉を増加させるが、一般的に、この渦流は捕捉を減少させる。この渦流の強さと周期とは、風の力、雨量計の周囲の地形および雨量計の地上高さに関係する。

b. 空気の流れに及ぼす設置場所の環境の影響の方

第3表 風除け

つねに風除けを使っている	4か国
ある観測所では使っている	7
使っていない	31

第4表 雨量計の障害物からの距離

$d \gg h$	7か国
$d \gg 2h$	14
$d \gg 3h$	1
$d \gg 4h$	1
なるべく遠く	1
説明なし	6

d: 雨量計と障害物との距離

h: 障害物の高さ

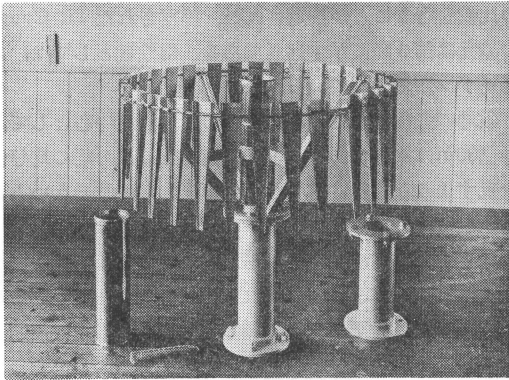
が、屢々、より重要な要素である場合も多い。また、風の強さによつて、ある風速では有害な環境条件が、別の風速では好ましい、ということもあるので、一概に、悪い周囲条件、良い周囲条件と言い難い。

当然のことであるが、雨量計の受水口は水平でなければならない。また、周囲の地物から、それらの高さの4倍以上離れていなければならない。緩傾斜地、あるいは一方向（とくに主風向と同じ方向）への急傾斜地は避けねばならない。

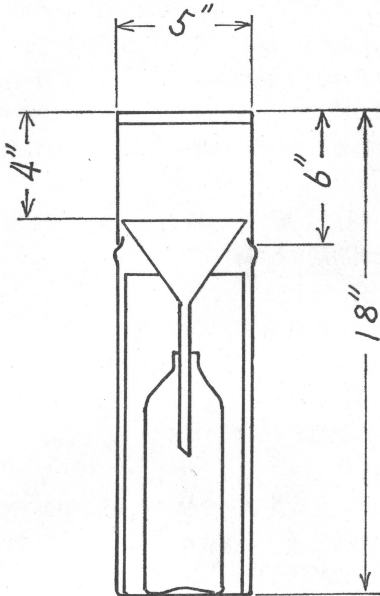
雨量計の周囲の地面は短い草、小石、砂利で蔽われていることが望ましく、コンクリートなどの固い平面は、余計なね返えりを生ずるので、好ましくない。一方、雨量計の受水口の高さは、地面からのね返えりを防ぐに足りる限り、できるだけ低い高さに定めるべきである。雪の少ない地方で、豪雨の場合にも水たまりのできないような周囲条件のところなら、30cmの高さが適当で、多くの国でこの高さで用いられている。建物の屋上に設置することは、これまで述べた色々な理由から、望ましくない。

自然環境によって風の影響を避けることができないような開闊地では、雨量計を直径3mの円形の芝生の壁の真中に設置することで、より正確な観測をすることができる。芝生の内壁は垂直で、その高さにはほぼ等しくなるように雨量計の受水口の高さを定める。芝地の外側は水平面と15°の傾斜をなすようにする。この観測法の欠点は、冬季、内壁と雨量計との間の空間が雪でつまることである。

(4) 風除け 雨量計の周囲の環境を修正する他の方



第1図 スノードン雨量計



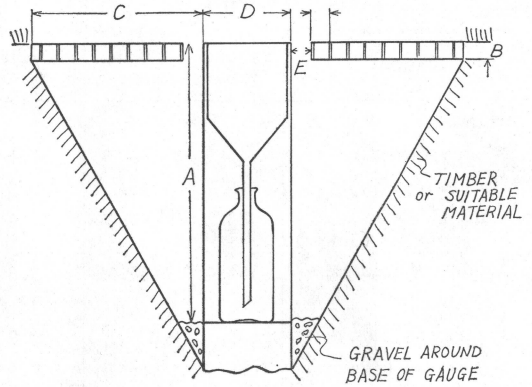
第2図 スノードン雨量計諸元

法は、雨量計の周囲に適当な風除けを着けることである。

理想的な風除けの条件は、

- a. 雨量計の受水口上の空気の平行な流れを形成すること。
- b. 受水口上で局所的な風の加速度を生じないこと。
- c. 受水器の側面に当る風速をできるだけ減らすこと。
- d. 受水口へのはね返りを生じないこと。などで、この条件を充す風除けを着けると、地面上の高さについて余り考慮を払う必要はなくなる。

1974年1月



- A = 18.1" (45.7 cm)
- B ≥ 1.98" (5 cm)
- C ≥ 23.6" (60 cm)
- D = 5.0" (12.7 cm)
- E ≥ 1.98" (5 cm)

第3図 Pit Gauge

2. 標準雨量計

第1節に述べたように、雨量計は各国各様であり、また、設置方法も異っているため、国境を接している国の間で、国境で等雨量線に不連続を生ずる、という現象などが生じる。これは CIMO 第I回会議で指摘され、雨量計の相違、設置方法の相違の影響を評価し、各国の雨量観測資料を相互に比較することができるように、WMO は暫定標準雨量計 (Interim Reference Precipitation Gauge—IRPG) と各国の雨量計との比較を計画した。CIMO 第I回会議で提案された暫定標準雨量計は、第1図のようなアルター型風除けを付けたスノードン (Snowdon) 雨量計である。この雨量計の諸元を第2図に示す。

各国の雨量計と、この IRPG との比較は27か国、48観測所で1963年から1965年にわたって行われ、1965年10月、CIMO 第IV回会議で降水観測のための作業委員会が各国雨量計と IRPG との比較の結果について取りまとめることが決った。1967年6月に作業委員会は報告書 (CIMO V/DOC.55) を提出したが、比較期間が5年より短かったため、IRPG を介して十分に各国の雨量計の相互比較を行うには至らなかった。しかし、この期間の比較観測の結果、雨量計の測定量が少な過ぎる原因となる主要要素は、風速、気温、湿度および日射であることが明らかになった。この誤差の問題については次節に述べることにする。

なお、これらの諸要素の影響のため、とくに風の影響

第5表 各国雨量計と Pit Gauge との比較

Stations	National mm	Pit Gauge mm	Nat/Pit %
Australia			
Albany (5mos.)	142.5	146.7	97.1
Ceduna (5mos.)	15.2	15.2	100.0
Cuffs Harbour (5mos.)	483.2	495.3	97.6
Mildura (5mos.)	56.4	52.3	107.8
Argentina			
Posadas (12mos.)	836.2	838.1	99.8
Resistencia (12mos.)	1098.1	965.7	113.7
Salta (8mos.)	587.2	587.6	99.9
Santa Rosa (12mos.)	573.4	577.6	99.3
Belgium			
Ebsh (4mos.)	368.9	387.5	95.2
Uccle (5mos.)	334.6	333.2	100.4
Finland			
Sodankyla (5mos.)	211.8	225.1	94.1
Tohmojärvi, Koeasema (4mos.)	209.6	217.3	96.5
Vaala, Delsonsuo (4mos.)	258.3	265.2	97.4
Vihti, Maasoja (7mos.)	211.6	221.3	95.6
Jyväskylä Airport (5mos.)	312.4	318.5	98.1
Guyana			
Ebini Research Station (5mos.)	882.9	937.4	94.2
Thailand			
Band-Na (13mos.)	734.0	750.6	97.8
United States			
Victoria, Texas (5mos.)	88.6	93.6	94.7
Waycross, Georgia (5mos.)	214.2	229.8	93.2
Sterling, Virginia (3mos.)	244.0	256.3	95.2
Swan Island, West Indies (6mos.)	846.5	887.9	95.3

のため、IRPG も含め、各国の標準的な雨量計も、受水口が地上から、ある高さのものでは、水文・水学的には、不十分な測定値しか得られないことが、ソ連における比較観測で明かにされたので、CIMO 第V回会議では、地表面で測定のできる方法を用いて、新しい比較を試みるプログラムが提案された。この提案に基づいて、新しく Pit Gauge を暫定的な標準雨量計として、雨量計

の比較を行うことが決定された。提案された Pit Gauge の諸元は第3図に示す通りである。雨量計としては、スノードン雨量計が用いられた。

敷地の条件としては、雨量計の設置点を中心として、半径30mは平坦であること、設置点上の風の場の均等性を乱すような森林、建物などの障害物の影響のないところ、を挙げている。設置場所の条件としては、測器類は少くとも、周囲の障害物から、その高さの4倍以上、できれば、とくに主風向方向では、10倍位離れていること、高さ1m以下、粗い金網のフェンスで敷地の周囲を囲むこと、丈の低い草などで蔽われ、かつ、水溜りのできない場所であること、などが決められた。

この比較観測には35か国、85観測所が参加し、1972年8月には、8か国から最初の報告が行なわれた。これらの観測所における比較の結果は第5表に示す通りで、標準の Pit Gauge の捕捉に対して、各雨量計の捕捉率は0.932~1.137の範囲で、平均して0.983であり、1を越える3観測所の値は、観測の質が悪いと付記されている。

なお、CIMO 第VI回会議には、この比較観測を続行することが提案されている。

3. 雨量計の誤差

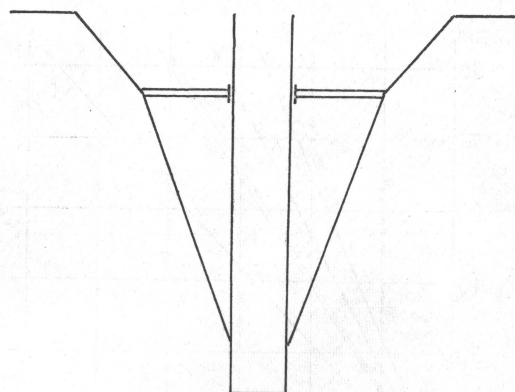
雨量計による降水観測において生ずる誤差の原因には、風、蒸発、はね返り、凝結、測器の傾斜および変形、また観測者によって生ずる誤差などがある。

これらの誤差のそれぞれについて追って見よう。

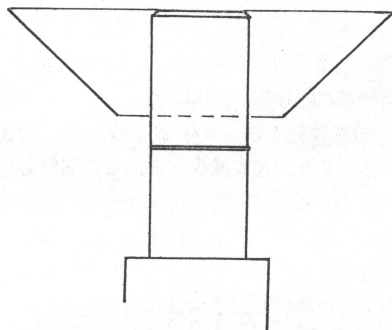
3.1 風

風は誤差の主要な原因であるが、約100年前までは見過されてきた。異った高さに雨量計を設置して行った Jevons の研究 (1861) によって、この影響が認められ、Jevons' effect と呼ばれるようになった。すなわち、風によって捕捉は悪くなり、受水口の高さに伴って、捕捉は減少する。これは、受水口上の空気の流れが、風によって、また、受水口が地面から高く露出することによって、水平でなくなり、渦流を生ずるからである。この影響を除去するために、Wild (1885) は雨量計の回りにフェンスを用い、Huddleston (1933) は壁を用い、Nipher (1878) や Alter (1937) は雨量計に風除けを付けた。また Mercanton (1938) は雨量計自体に、より良い空気力学的形状を与えようと試みた。

(1) 風除け この、風の影響を除くために、雨量計に風除け (助炭—Wind Shield) を付けることは、Nipher によって始められた。R. Börnstein (1885) が



Nipher 型風除け



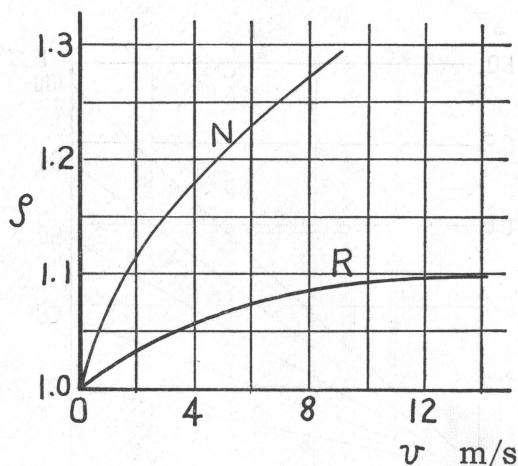
Billwiller 型風除け

第4図 ナイファー型, ビルウィラー型風除け

早くに Nipher 型の風除けのある雨量計と風除けのない雨量計との比較観測を行っており, R. Billwiller (1910) は Nipher 型の風除けを改良し, 1908~1909の間に同じような比較観測を実施した. Nipher 型と Billwiller 型の風除けは第4図のような形のものであった. Røstead (1925) は1920~1922年の間の比較観測の結果を風の強さによって分類し, 風除けのある雨量計と風除けのない雨量計との降水量の比 ρ と風速との関係を求めて, 第5図のような結果を得た. Kurmagallin (1931) および Mercanton (1938) はそれぞれ, 比較観測の結果, Nipher の風除けが, 雨の場合には問題なく成績が良いことを確めた.

しかし, 第1節に述べた風除けの条件に照らすと, Billwiller が改良した風除けも, 吹き上げが生じて好ましくないことが, Bastamow と Witkewitch (1926) の

1974年1月



R: Rain

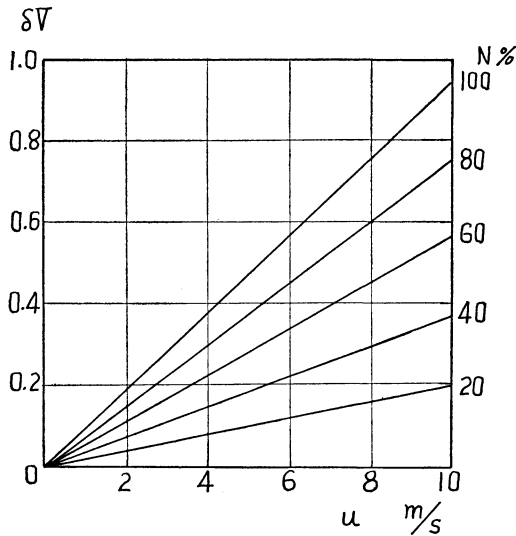
N: Drizzle

第5図 風除けの効果

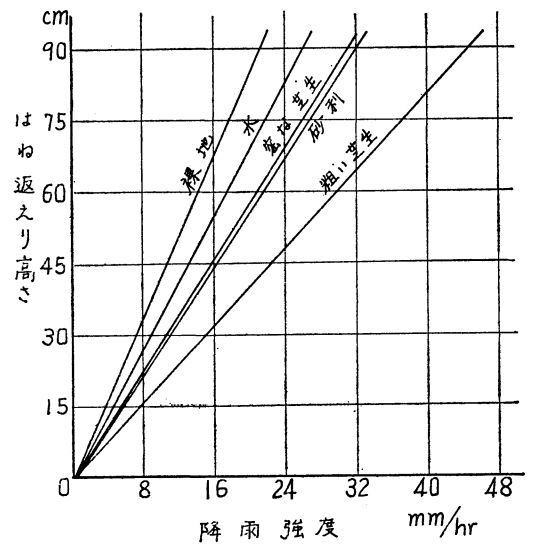


第6図 無線ロボット雨量計の風除け

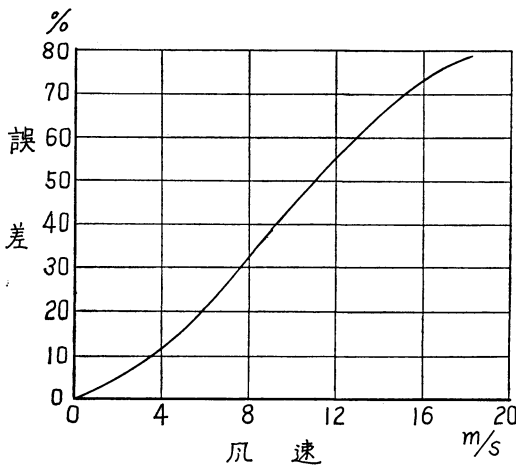
風洞実験によって明かにされた. Alter (1937) は Billwiller の風除けに類似し, 円錐の風除けを細く短冊型に細分し, 上部は環状の縁に通し, 下端は相互に鎖で連結し, 風によって自由に吹き流されるようにした風除けを考案した. 前節に述べた IRPG はこの Alter 型の風除けを採用している. また佐貫亦男 (1952) は水槽実験および風洞実験を重ねて, 気象庁の無線ロボット雨量計に使用する第6図のような風除けの形を決めた. 無線ロボット雨量計は山岳地に設置されるので, とくに受水



第7図 地面高さの雨量計と IRPG との捕捉の比較



第9図 はね返りの高さ



第8図 受水口が地上から高い場合の風速による誤差

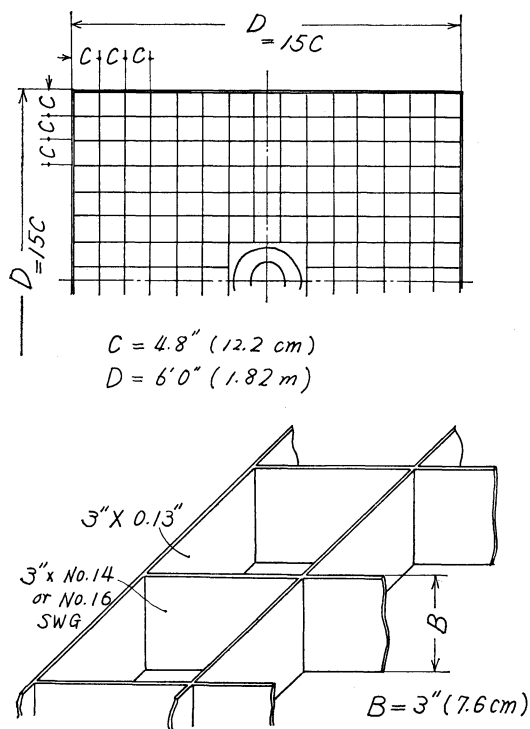
口上の空気の流線について配慮する必要があるからである。

このような風除けを用いても、受水口が地上から高いところにあると、なお地表面高さの雨量計に比較して少い雨量を示す。ソ連では IRPG と地面高さの雨量計との比較を2か所で5年間にわたって続けた。Struzer, Fedorova, Bogdanova (1968) によれば、観測の結果、IRPG は受水口高さが地上 1 m なので、空気力学的影響から、系統的に低過ぎる値を示すことが明かにされ

た。IRPG の受水口で 3 m/s の風速、並の強度の雨で、誤差は全雨量の約 15%、8 m/s 以上の風速、小雨で、誤差は 50~60% に達し、3 m/s 以下の風速、大きな雨滴では、誤差は 8~10% に減少する。この関係を第7図に示す。図において、 N は $\leq 0.03\text{mm/s}$ (108mm/h) の強度で降る雨の全量と、全降水量との比 (%) である。

風の影響を除去する最も満足すべき解決法は、浅い穴の中に雨量計を設置し、受水口の縁を地面と同じ高さにした Pit Gauge である。雨量計と穴の側壁との間の空き間は、はね返りのないような材料で蔽う。この雨量計は少なからず風の影響を除去し、その周囲の状態が穴の中の空気の運動を少なくする役割をする。Pit Gauge が普通の雨量計よりも捕捉が良いことは、Koschmider (1934) (第8図)、Struzer 等 (1965)、Aslyng (1965) などによって明かにされ、Struzer, Djakova 等 (1968) は年および月の観測値の調査から、雨および雪について、この系統誤差を補正することができるとしたが、Rodda 等 (1967) はこの補正值は月によって相当に異なり、日別には、また低気圧と低気圧との間を区切って調べると、月別以上に大きな差異があると指摘している。ソ連では、降雪の機会が多いので、年の補正值はところによっては50%以上にもなると推算されている。他方、英国の西部では、年間を通じて、ほとんど降雨なので、年降水量では20%を越える程度である。

(2) はね返り 雨量計は周囲からはね返りを受けることがあるし、他方、受水口からの跳び出しも起



第10図 Pit Gauge 用はね返り除け

る。跳び出しは受水器の断面を特別な形状にし、深くすることで小さくすることができるが、はね返りによる跳び込みは解決が困難である。Bilham (1932) は、はね返りを検出する特殊な Splash meter を作った。Ashmore (1934) は種々の異った表面からはね返りを調べ、さきに Gold (1931) が数学的に取扱った結果と良く合った実験結果を得た。第9図はこの結果を示す。

このはね返りの誤差は、前述の Pit Gauge のような場合にはとくに留意しなければならない。Pit Gauge については Break (1945) は金属格子を、Winter と Stanhill (1959) はドアマットを、Anderson (1964) は金網を、Water Research Association (1964) は通風式の Blind Slats を用いたはね返り除けを試みた。Rodda (1967) は Blesdale の雨量計に Pit Gauge 用の はね返り除けの格子を用いることによって、格子からも、地面からも、はね返りのないことを確めた。Struzer や Djakova ら(1968)は1m径のはね返り除けの中心に雨量計を置き、芝で囲うことで、ほとんどはね返りの誤差を除けると述べている。前節に述べた標準

Pit Gauge には第10図のようなはね返り除けが設けられた。

以上のように、はね返り除けを付けた Pit Gauge は風の影響を最も良く除去することができるのは明かであるが、一般の雨量観測所としては、実行が困難である。

また、風除けについても、第1節第3表に掲げるように、正式に使っている国はほとんどない実情である。

(3) 蒸発 受水器に付着した雨滴、あるいは雨量計内に集められた雨水は蒸発の影響を受け、誤差の原因となる。Austin (1949) や Necheyev (1965) などはこの誤差について調べ、傾斜の急なプラスチックの受水器、既知量の油を浮かした細首の貯水瓶を用いることを提案している。

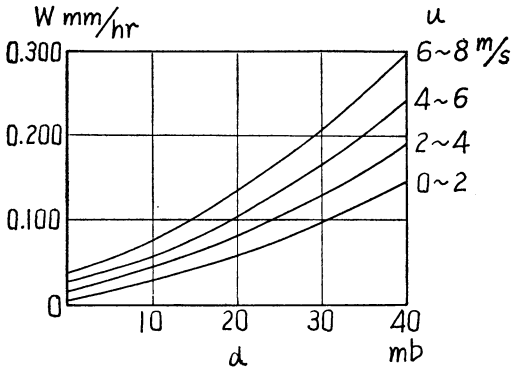
WMO の Guide では、

- 受水器の受水面を滑かにすること、
- 受水面を清潔にし、磨いて置くこと、
- 雨が止んだら直ぐに降水量を測定すること、
- 貯水器に狭い口のガラス容器を用いること (気温が氷点下になるところでは、ガラス容器は用いてはならない)。
- 受水器のロートの先を貯水器の底に届くようにすること、
- 貯水器を地中に埋めること。

などによって、蒸発による誤差を減らすことができるとしている。

Golubev (1960) や Necheyev など(1968) によって、ソ連で最近行われた調査によると、Tretyakov 雨量計から夏の日中の12時間に蒸発する量は0.2mm から2~3mm に及ぶとしている。蒸発による雨量の損失に最も重要な気象要素は、風、気温、水蒸気張力および放射で、多くの研究によって、蒸発量とこれらの要素との関係の実験式も得られている。ソ連では、気候的に異った地域における観測所において、特に実験的に蒸発による損失を決める方法が試みられた。水蒸気張力、風速と蒸発損失との関係について得られた結果を第11図に示す。

転倒ます型雨量計では、受水器から転倒ますへ直接、雨水が落ち、雨水に含まれる汚れや降雨強度の変化が、転倒ますに悪い影響を与えないよう、沪水器を備えているが、この沪水器からの蒸発と、転倒ます内に残った雨水の蒸発との両方が考えられる。転倒ますからの蒸発は一雨と一雨との間に最大0.5mm である。沪水器からの蒸発をできるだけ少くするには、沪水器に滞留する雨水



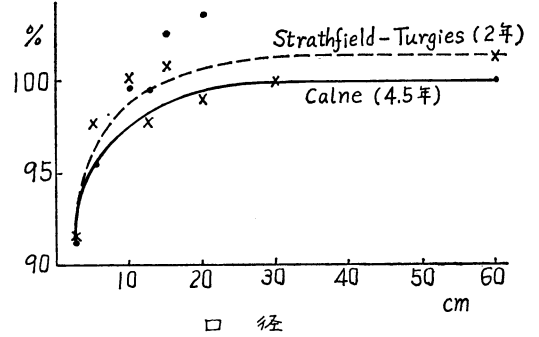
Tretyakova Rain gauge
による

第11図 雨量計からの蒸発と風速との関係

の量を少なくするよう、沪水器を小さくすることが考えられる。

(4) 測器を潤すための誤差 雨が降り始める時に、雨が受水器を潤すために生ずる誤差は、各々の種類の雨量計ごとに異なるほか、Nechayev (1965)によれば、この誤差は降雨量によっても異なる。しかし、この誤差は非常に小さく、各種の雨量計ごとに一定としても差支えない程度である。ソ連では、水理気象業務では、全雨量0.1mm未満に対して補正值は0.1mm、全雨量0.1mm以上に対して補正值は0.2mmを、IRPGに対しては降雨量に拘らず0.1mmを用いている。この誤差は大凡そ一雨ごとに生ずる。

(5) 寸法による誤差受水器の口径の大きさによる受



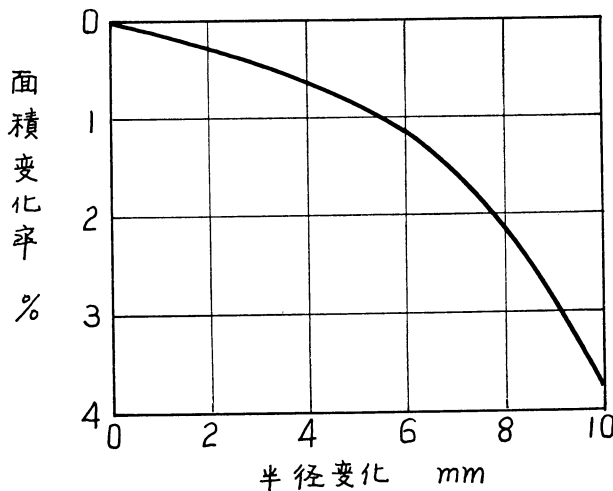
第12図 受水器の大きさと捕捉の関係

水量の相違は色々論じられているが、第12図に口径の大きさと受水量の相違との関係の1例を示す。口径が小さ過ぎると受水量は減少する傾向を示す。

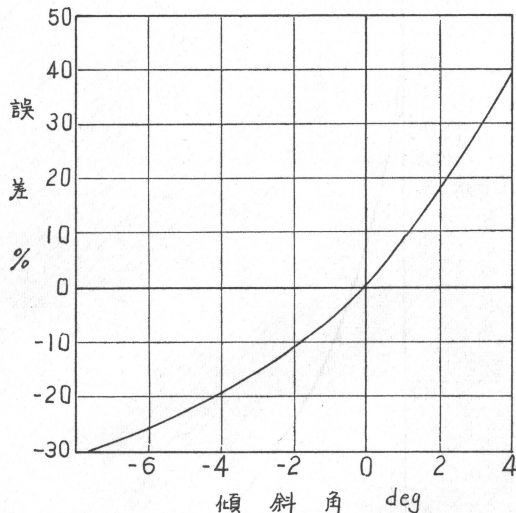
受水器の口が歪を生ずると、受水面積は変化する。このための誤差はKassnerが古くに求めているが、これを口径20cmの受水器にあてはめて見ると、第13図のようになり、半径で5mmの歪を生じた場合でも、受水面積の変化は1%未満である。

(6) 取付によって生ずる誤差 雨量計の受水面は水平でなければならないが、取付けの誤りで、受水器が水平から傾くと、誤差を生ずる。傾きによって生ずる受水面積の変化は約8°の傾きで約1%である。この程度の傾きは水準器で容易に検知できるから、取付けの時に注意すれば、この誤差は容易に除去できる。

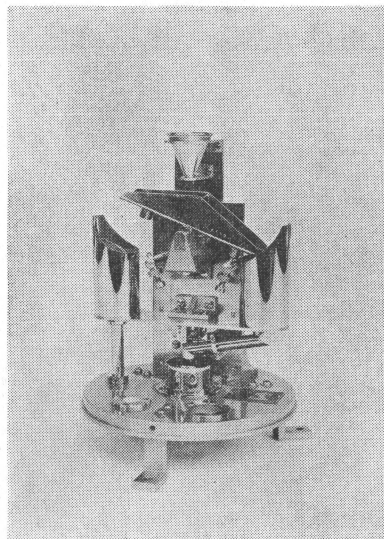
転倒ます型雨量計では、取付けが傾くと、とくに転倒ますの転倒方向に傾いている場合には、誤差を生ずる。左



第13図 受水器の歪みによる誤差



第14図 雨量計の傾きが転倒ますに及ぼす影響



第15図 転倒ます型雨量計

側に傾いていると、左の転倒ますは負の誤差、右のますは正の誤差を生ずる。ますは交互に転倒するから、2転倒の誤差は相互の誤差より小さくなる。矢島幸雄(1953)によると、左右の誤差は第14図のようになり、2転倒につき1°の傾斜について、誤差はほぼ+2%となる。

4. 雨量計の種類

4.1 雨量計

雨量計を機構的に大別すれば、指示雨量計と自記雨量計となる。

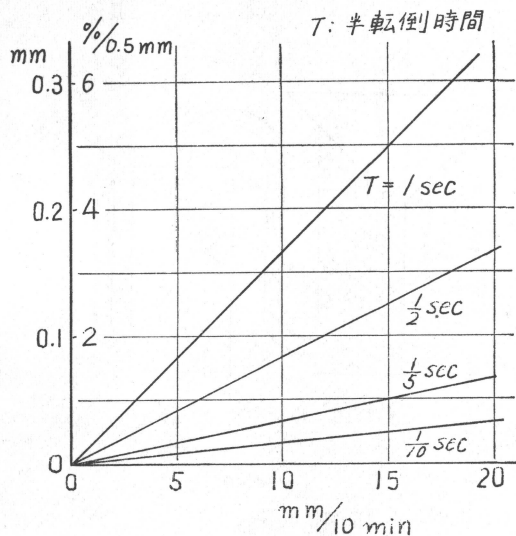
指示雨量計は受水器、貯水そうおよび指示器とから成るもので、貯水そう内にたまった降水を雨量ますや降水はかりで測るもので、価格的には安い。観測者が読み取りをやらねばならない。機械的な運動部分がないので、Pit Gaugeのように埋め込んで使うには使い易い。

自記雨量計は受水器から導いた降水を浮子、はかりなどを用いて直接自記したり、一定量の降水ごとにパルスを生じさせ、これを隔測自記させるものである。自記雨量計には古くから用いられている貯水型自記雨量計(サイフォン型自記雨量計)があるが、隔測に便利で、構造も簡単な転倒ます型雨量計(第15図)が広く用いられるようになった。

(1) 転倒ます型雨量計 転倒ます型雨量計には、受水器口径20cmで0.5mm/転倒のもの、同じ転倒ますを用い、口径14.1cmで1mm/転倒のもの、口径10cmで1mm/転倒の転倒ますを用いるもの、などがある。

最近、転倒ますの軽量化および量産化をはかる面か

1974年1月

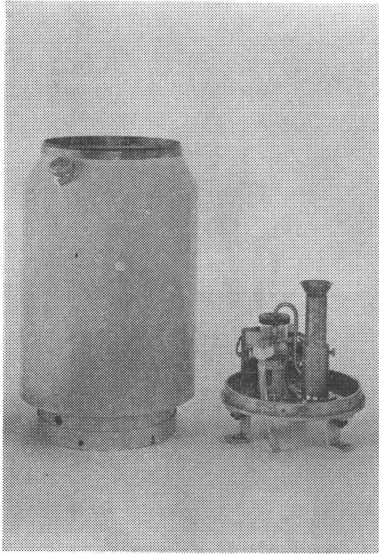


第16図 降雨強度が転倒ますに及ぼす影響

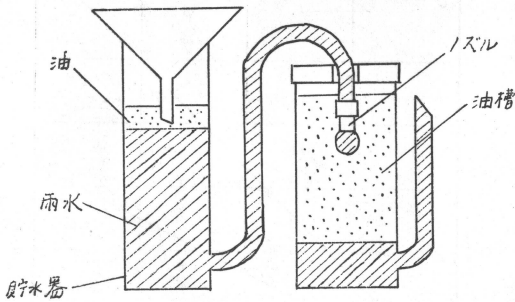
ら、合成樹脂に金属メッキを施したものも使用されている。

転倒ます型雨量計の主たる利点は、隔測記録、デジタル計数やテレメーターが容易にできることであるが、一方、欠点としては、

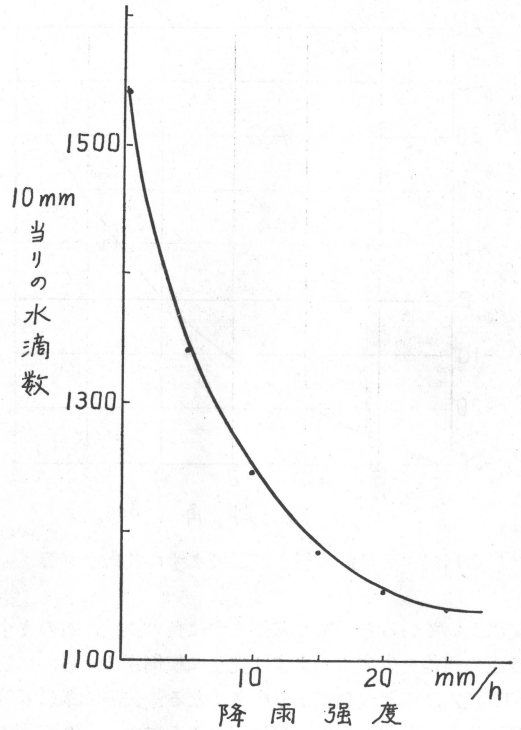
- a. 転倒ますの転倒には、短い、ある時間がかかり、転倒運動の前半には、雨が一杯になったますに入り過ぎ、強雨の場合には誤差になる。この誤差は降雨強度、転倒運動の時間に関係し、第16図のような誤差となる。



第17図 降雨強度計
(温水式融雪装置付)



第18図 降雨強度計の構造



第19図 降雨強度計の精度

Pan の表面に金網を張り、その上に小さな砂利を敷きつめた受水器を、周囲 180cm 巾を同じ環境に作った敷地に、受水面高さを同じに設置し、この受水器の重量を台秤で秤量し、隔測自記する。1 mm の雨量は 1.146 kg に相当する。Pan に溜った降水は定時に排水される。降雨後で、砂利が湿っている時の Pan の上面からの蒸発は、冬期で 0.07 mm/h であるが、砂利が乾いてからの蒸発は極めて緩慢である。露、霜の凝結は甚しい時には 0.14 mm に相当することもある。

4.2 降雨強度計

降雨強度計は大別して2種類がある。

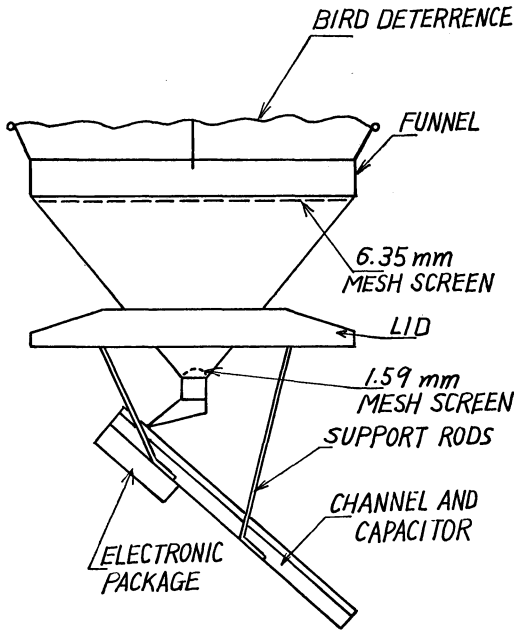
(1) 短い時間内の降雨量を記録するもの この場合、降雨強度は5分以内の時間内の平均値が得られれば、一般に充分と考えられる。浮子式、あるいは受水器の底の小さいオリフィスで生成される水滴を計数する式のものを用いられる。これらの降雨強度計は一般に、並または弱い降雨強度を測るのに用いられる。

気象庁(測器要報第9輯)が用いている降雨計の一要素をなしている降雨強度計(第17図)は、前記の水滴を計数する式であるが、この式で生ずる欠点の多くを除去している。第18図に示すように、降水は受水器から一た

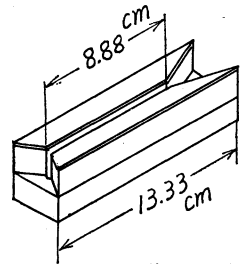
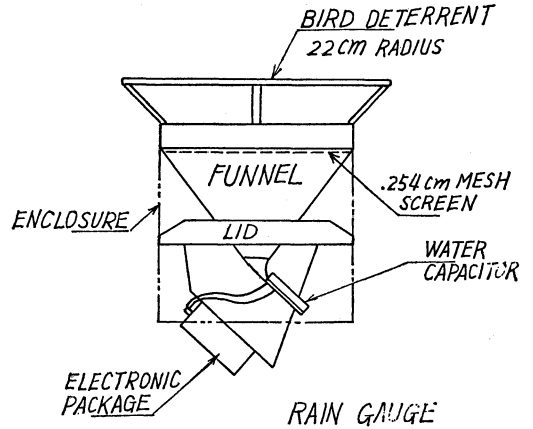
b. 記録が本質的に、間歇的であるから、微雨や細雨に用いるには不適當であり、雨の降り始め、降り終りの時刻は正確には判らない。

(2) 重量型雨量計

貯水器と雨との重量の和が、ばね機構あるいははかり機構によって、連続的に記録される。この型の雨量計は蒸発による損失を防ぐように設計されねばならない。水面に 2 mm 厚さの油を浮かせることで効果を挙げる事ができる。重量型では雨のほか、雪、霰、霰なども、溶解前に、直ちに記録できる長所がある。英国の Kew Observatory では、標準雨量計の一方式を目途として、重量式雨量計 (crawford, 1972) を設置した。Class A



第20図 Semplak の容量式降雨強度計



WATER CAPACITOR

第21図 Seibel の容量式降雨強度計

ん小さな貯水器に導かれ、貯水器からサイフォン管を通った降水は、サイフォン管の先のノズルで油槽内に水滴を形成して放出される。この水滴を光電式に毎分計数して自記する。ノズルの口径と油槽中に用いる油の種類によって、1個の水滴の体積、すなわち相当降水量が決る。降雨計用の降雨強度計では1滴/分が0.5mm/hの強度に相当する。ノズルが油槽中にあるので、ノズルの汚れによる水滴の大きさの変動がなく、水滴が空気中に放出されるより遙かに精度の維持が容易である。ただ第19図に示すように、降雨強度によって多少水滴の大きさが変化するので(岡1965, 小関1967), 雨量測定に兼用することはできない。

英国の気象局では受水面積150cm²、地上高さ30cmの受水器を用い、オリフィスを用いて0.005mm/滴に相当する一定の大きさの水滴を作って、これを光電式に計数する降雨強度計を開発した。この場合、3.6mm/hの並雨で1分間に12滴となる。なお弱い雨については受水面積750cm²の受水器を用いることにしている。英国では転倒ます型雨量計の記録を磁気テープに入れる観測網を展開しているが、この降雨強度計の変換部は気温、風、汚れの影響を受けるので、雨量計と降雨強度計の双方を設けた二次観測網を設け、雨量計の磁気テープ記録デー

タで降雨強度計の磁気テープ記録データを補正しようと考えている。前述したように、オリフィスを空気中に解放する場合には、オリフィスの状態を安定に保持するのが難しいからと考えられる。

(2) 瞬間強度を記録するもの この方式の一つは、定められたオリフィスを通る流量と、その流れを生起する水頭との関係を利用したものである。降水は受水器から、底にオリフィスのついた浮子室に導かれ、浮子室内の浮子は、浮子室内に滞留する水頭だけ浮くので、浮子の上下を記録することで、瞬間降雨強度を連続的に知ることができる。しかし、目盛は等間隔にはならない。

他の一つの方式として、Semplak (1966) が開発した容量式降雨強度計がある。第20図はその構造を示すものである。銅板を対極とした溝の中を降水が流れる流量により、電気容量が変化するのを利用して、連続的に降雨強度を記録するものである。溝を通る流量の変化に伴って変化する電気容量はFM信号に変換され、電話線を通じて伝送も可能である。応答速度が早いこと、電気

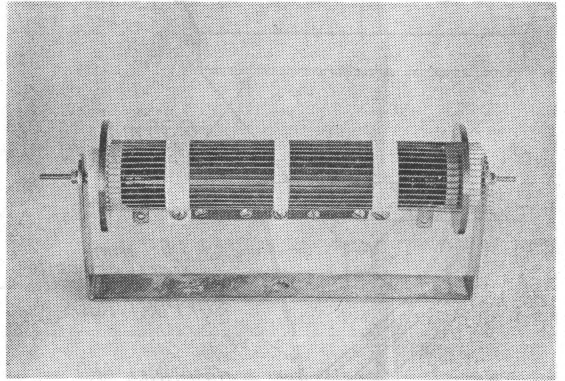


第22図 円板型感雨器

的、機械的構造が簡単なこと、電力消費が少いこと（約1.0W）などの利点があるが、一方、発振器の温度による不安定さのため、降雨強度の弱い時に精度が悪いこと、降水の接する底面がプラスチックなため、降雨強度の弱い時に、水滴状となって落ち、強度が強くなるにつれ、この現象はなくなるが、その遷移の限界が確定できないこと、汚れが着き易く、それが流れの性状を変え、また清掃し難い、などの欠点がある。Seibel (1972) は Semplak のものの機械的構造の続点を改良し、第21図に示すように、受水器のロートの下端を改良することによって40~120 mm/h の範囲でも乱流にならぬようにし、0~800mm/h の範囲内で層流になるようにした。溝の部分も平らに白い塗料を塗布し、濡れた面を形成するようにした。また、RFブリッジ回路を用い、ブリッジの一辺に、流量による可変容量を挿入した。0~800mm/h の範囲で容量は5~84PF の範囲の変化する。出力は直流電圧化されるが、出力と降雨強度とは比例関係とはならない。

4.3 感雨器

雨の降り始め、降り終りあるいは降雨の大まかな状況を知るためには、感雨器が用いられる。また一般的にも、感雨器の応用範囲は広い。その1、2例を紹介する。



第23図 簡易型感雨器

原理的には、2本の平行導線の間を雨が短絡することで、電気信号を生じさせるものである。

(1) 円板型感雨器（気象庁測器要報、第9輯）円筒状の電気絶縁体の上に2本の平行導線を密に、ヘリカル状に巻きつけた感雨器が早くから試用されていたが、最初の気象庁型降雨計の一要素として感雨器を組み込むに当り、円板型感雨器（第22図）が開発された。雨滴を捕える面積をより大きくするためと、製作を容易にするために、直径200mmの円板上に、平行渦巻型に2本の導線を印刷配線した基板を主体とし、この平行導線の間を雨が短絡すると、電気信号を生ずるとともに、基板の下に配置された電熱線に加える電圧を高くし、基板上の雨滴を蒸発させるものである。導線の巾を0.6mm、導線間隔を1.2mm、したがって、導線間の隙間は0.6mmで、0.5mm径の雨滴から探知できるようになっている。露、霜などに感じないように、印刷配線基板は常時、前述の電熱線に低い電圧を加えて予熱している。なお、二重渦巻型の基板は1か所でも導線が切れると、その先端の部分では働かなくなる欠点があるので、さらに対向楕型に導線を印刷した基板に改良された。

(2) 簡易型感雨器（小関1968）円板型感雨器は、0.5mm径以上の降水を雨という定義に従って、0.5mm径以上の雨滴を検知するように作られているが、より緩い条件で、一般的に用いられ易いものとして、簡易型感雨器がある。これは、円板型のような特殊の印刷配線基板を製作する必要はなく、容易に市販で入手できる材料を用いて、比較的安価にできるところに利点がある。第

23図に示すように、ホーロー抵抗の周囲に巻いた金属板と、これを取囲んで、板と適当な間隔を保ち、かつ互に適当な間隔を保って配置した金属線とから成り、雨滴が金属板と金属線との間を短絡した時に、信号を発生するとともに、ホーロー抵抗を電熱体として、雨滴を蒸発させるものである。

円板型、簡易型両感雨器とも、金属導体間に極性を一定に直流を流すと、雨滴が付着した時、電気分解作用によって、金属の電蝕を生ずるので、極性を交番させることが必要である。

5. 雨量計の雪量計への拡張

雪は雨と違って、場所により、季節によって、雪質が色々である。すなわち、比重、それ自体の温度、降雪時の気温などにおいて相違がある。しかし、捕えてしまえば雨も雪も同じ降水であるから、降水量を測る機構としては、雨量計と雪量計とは、それ程、別にする必要はない。

したがって、場所によっては、雨量計に多少の工夫をして、雪量の観測にも用いようと、色々な研究や実験が重ねられている。

5.1 雨量計の凍結防止

転倒ます型雨量計、サイフォン式雨量計あるいは降雨計用の降雨強度計のように、降水が測器の中に残留しているようなものでは、この残留している水の凍結を防止する措置を講じないと、測器を傷める場合がある。

このため、測器内にヒヨコ電球あるいはシーズヒーターとサーモスタットとを備え、測器内を氷点以上の適当な温度に保って凍結を防止する方法が効果を挙げている。この方法は冬期の気温が比較的高く、年に何回も雪の降らないような地方では、通年雨量計を動作させて置くのに充分である。また、その他の地方でも、初冬あるいは晩冬の、雨と雪との変り目の季節には有効である。

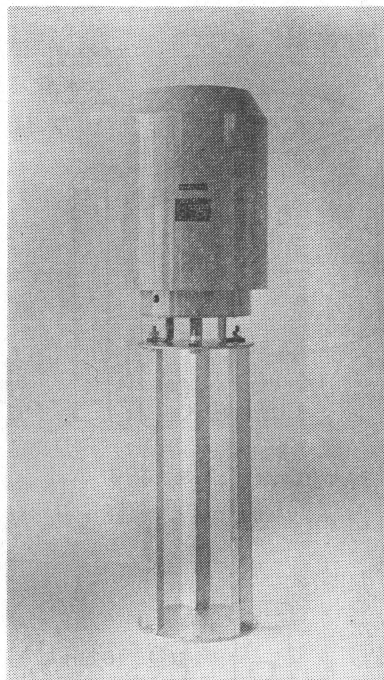
5.2 融雪装置

単に凍結を防止するだけでなく、なお積極的に、雪の季節にまで踏み込んで、雨量計を動作させようとするには、別の融雪装置が必要である。

融雪装置の条件としては、

- i) 降雪強度の大きい場合にも十分に降雪を融解できること。
- ii) 降雪強度の小さい場合にも、蒸発による誤差を生ずることが少ないこと。
- iii) 融雪装置のため、熱対流などで雪の捕捉を阻害しないこと。

1974年1月



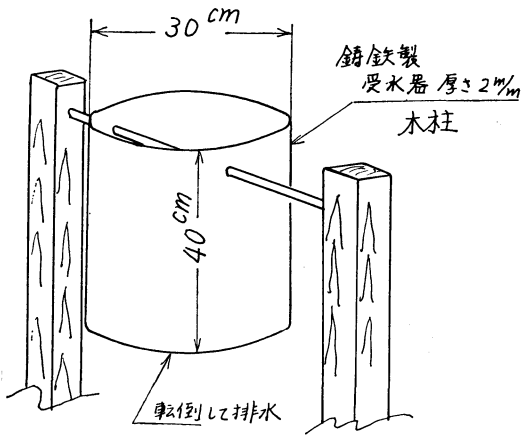
第24図 温水式雨量計

などが考えられる。

これらの要件を勘案しながら、多くの方法が試みられているが、要は何等かの種類のヒーターを用い、かつ、温度制御回路を用意することで、かつ、雪のたまる部分をできるだけ均一に加熱し、融雪装置の熱容量を大きくすることである。

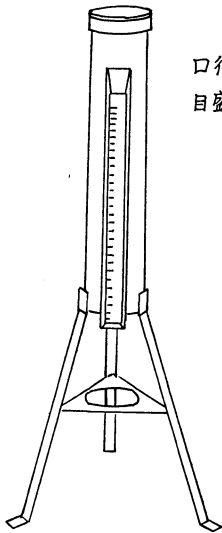
ヒーターにはテープヒーター、面ヒーター（シートヒーター）、農電ヒーター、シーズヒーターなどを用いる試みが行われている。一般に、研究用あるいは調査用として、短期間、少数の雨量計に用いるには、その何れを用いるかを問わないが、多数を長期間、定常的に用いる観測網にあっては、入手の容易さ、交換の容易さなどから、市販の規格品を用いることを考えざるを得ない。テープヒーターはこのままでは、加熱が局部的になること、面ヒーターは未だ開発途上でもあり、また雨量計に所要な寸法のもののが得難いことなど、それぞれ難点がある。

これらのヒーターおよび構造の組み合わせによる融雪装置の試験の結果（山本1971）では、雨量計の受水器の周囲に温水槽を設けた温水式が、他の方式に較べて上記の条件に近いものと言えるようである。第24図は温水式融雪装置付きの転倒ます型雨量計である。温水の温度と



降水量は物差を入れて測る

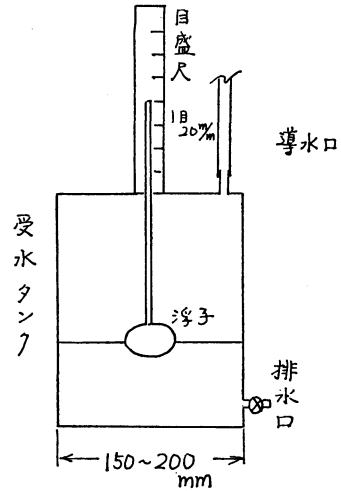
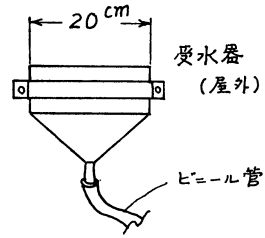
第25図 簡易雨量計



口径：10 cm
目盛：10 mmまで
0.5 mm.
10~200 mm
1 mm

第26図 簡易雨量計

しては、ほぼ 5°C 程度が適当であるとの結果が得られているが、場所による雪質の違い、気温の違い、あるいは降雪強度の違いなどにより、設定温度も多少異なるところが考えられる。設定温度が低ければ、蒸発損失は少く、上昇気流による捕捉損失も少ないが、降雨強度が大きい場合に融解し切れずに、時間遅れが生ずるところになる。設定温度を高くすると、低い場合と功罪逆になるなど、何処でも、降雨強度の如何を問わず用いられるとは言い難い。



第27図 簡易雨量計

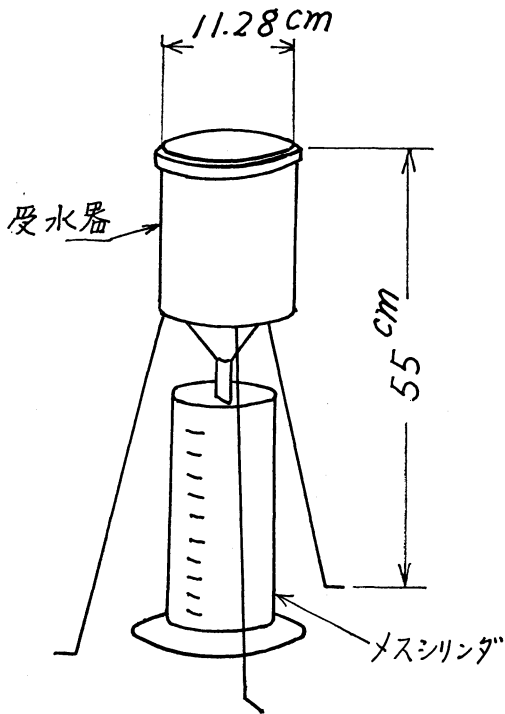
6. 簡易雨量計

第4節に雨量計の各種について述べたが、最近、集中豪雨禍などのことから、土石流や洪水などの災害を未然に防御したり、あるいは未然に退避したりするための目的で、局地的な雨量を簡易に測ることが行われている。

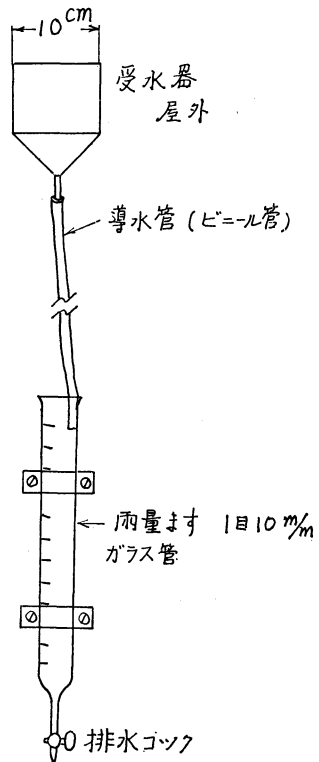
雨量を正確に測ることは第3節にも述べたように中々難しい。誤差を生ずる要因は、雨量計の形状にもあるし、また、雨量計の設置方法の如何にもある。

最近、気象庁で調査した、いわゆる簡易雨量計の中には第25図~第30図のようなものがある。雨量の目安に用いるだけには用が足りるであろうが、雨量観測の目的にはいかがかと思われるもの、また設置の状況もいかがかと思われるもの、などもある。

念のために付け加えると、気象業務法によって、気象庁の行う観測の方法が定められている(第4条)ほか、気象庁以外の政府機関または地方公共団体が気象の観測を行う場合であって、研究、教育のために行う場合および特定の場合以外にあっては、また、これらの機関および団体以外の者が気象観測を行う場合であって、それが、



第28図 簡易雨量計



第29図 簡易雨量計

- i) その成果を発表するための気象の観測
- ii) その成果を災害の防止に利用するための気象の観測

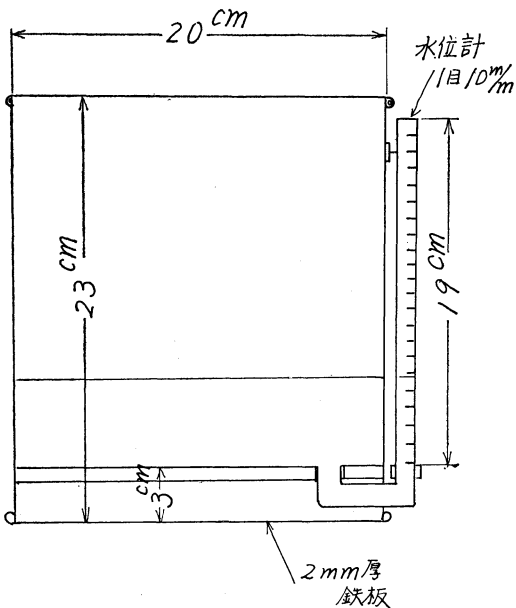
iii) その成果を電気事業法第2条第5項の電気事業の運営に利用するための気象の観測、
 である場合には、定められた技術上の基準によって、気象庁の検定または計量法の比較検査に合格した測器を用いて行わなければならないことが定められている。(第6条, 第9条)

正しい機能を有しない測器で観測した値を公表したり、災害防止に利用したりして、誤った判断を生じることを防ぐための措置である。

上記のような目的の観測に用いるのでなくとも、雨量を測ろうという場合、用いる雨量計の選択、およびその設置場所について充分な配慮が必要である。

文献

本文中に引用した文献のうち、今から20年以上古いもの、すなわち1953年以前のもの、次のリストから省略したことをお断わりしておく。



第30図 簡易雨量計

- 1) Anderson T., 1964: Further studies on the accuracy of rain measurements, Arkiv. for Geofysik, 359-393.
- 2) Aslygn, H.C., 1965: Rain, Snow and dew measurements, Actae Agriculture Scandinavica, **15**, 275-283.
- 3) Crawford, S.G., 1972: A recording gravimetric rain-gauge-Towards an absolute reference instrument, Met. Mag., **101**, 368-374.
- 4) Golubev, V.C., 1960: CIMO-V/DOC. 55 Appendix 9
- 5) 五十嵐浩三, 1959: 世界における降水観測の現状, 測候時報, **26**, 53-60, 101-109.
- 6) 気象庁, 測器要報, 第9輯,
- 7) Met. Office, U.K.: CIMO-V/Doc 34 Appendix.
- 8) Met. Office, U.K.: CIMO-VI/INF. 5 Appendix.
- 9) Nechayev, I.N., 1965: Precipitation losses on the wetting of precipitation gauges and a technique for correcting for amounts of precipitation, Tr. Glav. Geof. Obs. vyp. 175.
- 10) Nechayev, I.N., L.R. Struzer, E.A.Fedorova, E.G.Bogdanova, 1968: An attempt at correcting precipitation averages, Leningrad Glav. Geof. Obs., T vyp 215, pp 3-15
- 11) 岡 正康, 1965: 降雨強度計ノズルの試験, 測候時報, **32**, 220-221.
- 12) 小関桂三郎, 1967: 降雨強度計の改良について, 測候時報, **33**, 231-235.
- 13) 小関桂三郎, 1968: 簡易型感雨器, 測候時報, **35**, 45-47.
- 14) Radda, J.C., 1967: The rainfall measurement 'problem, Proc. Bern Assembly Intern., Association of Scientific Hydrology, Pub. No. 76, 215-231.
- 15) Seibel, R.R., 1972: A capacitor-type rain gauge with dc output and improved flow characteristics, Rev. Sci. Instrum., **43**, 1081-1085.
- 16) Semplak, R.A., 1966: Gauge for continuously measuring rate of rainfall, Rev. Sci. Instrum., **37**, 1554-1558
- 17) Struzer, L.R., T.V. D'jakova, V.F. Kulagin, and A.S. Zzaycer, 1968: On errors in the measurements of precipitation by rainguapes at ground level in the presence of wind, Leningrad Glav. Geof. Obs. T. vyp 215, 135-152.
- 18) Struzer, L.R., E.A. Fedorova, E.G. Bogdanova, and I.N. Nechaev, 1968: An attempt at correcting precipitation averages, Leningrad Glav. Geof. Obs. T. vyp. 215, 3-15.
- 19) Struzer, L.R., I.N. Nechayer, and E.G. Bogdanova, 1965: Systematic errors of measurement of atmospheric precipitation, Meteorology and Hydrology, **10**, 50-54.
- 20) Struzer, L.R., I.N. Nechaev, and E.G. Bogdanova, 1968: Experience in correcting the precipitation normals, Truddy GGO, 215.
- 21) Water Research Association, 1964: Annual Report, p. 25.
- 22) Winter, E.J., and G. Stanhill, 1959: Rainfall measurements at ground level, Weather, **14**, 367-368.
- 23) WMO, 1970: Guide to Meteorological Instrument and observing Practics, WMO Tech Note No. 100.
- 24) WMO, 1957: CIMO II/DOC.
- 25) WMO, 1969: CIMO V/DOC. 55.
- 26) WMO, 1973: CIMO VI/DOC. 22.
- 27) 矢島幸雄, 1953: ティッピングバケツ式雨量計の機構について, 研究時報, **5**, 423-430.
- 28) 山本寿雄, 1971: 雨量計受水器の保温について, 測候時報, **38**, 111-116.

お詫び

20巻12号に掲載しました「天気第20巻総目次」に

短報

東京周辺における強い南風の特性について 中村喜三雄……………689~691(12)

を追加して下さい。