要 報 Notes

雨量計の口径の大きさについて*

矢 島 幸 雄*

[昭和 27 年 12 月 8 日受理]

概 要

雨量観測は古今東西を通じて行われているが、雨量計の口径（受水器の直径）の大きさについてはその標準値がなく 10 cm から 45 cm 位の大きさで各種各様である。そこで雨量観測値が統計的な量であることからその精度の計算を行い、さらに雨量観測値の応用対象により精度を考慮することから口径の大きさが決められることについて述べる。

1. ま え が き

雨量観測は既に B. C. 300 年頃インド等で行われ始めてから世界中到る所で行われているが、雨

Table 1. 雨量計口径の大きさ

雨量計口径 D cm	主 な る 使 用 例
9.06	(A=10 inch ²) カナダ (Meteorological Division)
10.0	ベルギー (旧), ガーレンカンフ式雨量計, 自動気候観測施設, 農林省, 建設省, 九建式
10.16 (4 inch)	アメリカ (R. A. Bailey 助炭の実用試験)
12.28*	(A=100 cm ²) ベルギー (新)
12.70 (5 inch)	イギリス (II) (Meteorological Office)
14.0	農林省, 建設省
14.0~14.7	朝鮮 (旧式測器)
14.14*	(A=157 cm ²) ベルギー, 田村式雨量ロボット, 旧陸軍
14.3	北大式 (菅谷, 中谷積算雨量計)
15.0 (正方形)	(A=225 cm ²) ノルウェー
15.96	(A=200 cm ²) スイス, スウェーデン, ドイツ, ヘルマン式雨量計
20.00*, **	(A=314 cm ²) 中央气象台, イギリス
20.32 (8 inch)	アメリカ (Weather Bureau), イギリス (I)
22.57**	(A=400 cm ²) フランス
25.23	(A=500 cm ²) オーストリア, ドイツ, A. Sprung ティッピングバケツ式雨量計
35.68	(A=1000 cm ²) スウェーデン, ドイツ, A. Sprung ティッピングバケツ式雨量計
40.64 (16 inch)	イギリス (観雨計)
45.14	(A=1600 cm ²) インド, オランダ

ただし A は受水面積

* 印は運輸省令規定の雨量計口径

** 印は運輸省令規定の雪量計口径 (40.00 cm を含む)

* Y. Yajima: On the Diameter of Rain-Gauge Receiver.

** 気象研究所 測器研究室

量計の口径の大きさについての標準値はなく才1表の様に 10 cm から 45 cm 位の大きさで各種各様である。

気象観測値の交換は古くから行われているが、国際的なプロジェクトとしての気象学的調査が行われる場合、その観測器械も標準化されたもの、あるいは精度の同程度のものでなければ調査のより以上の成果は期し難い。

そこで雨量計の口径の大きさが観測値にどのような影響を与えるか調べるために、雨量観測値の精度の計算を行い、さらに雨量観測値の応用目的（気象学的あるいは気候学的）に従つてその精度を考慮することによりそれに相応した雨量計の口径の大きさを決めるのが良からう。こゝで計算した精度は雨量観測値が統計的な量であることから出発しており、雨量観測値の精度の限界と考えられる。一方、実際の場合を考えると雨量観測の方法の適正さは得られていない。ということは現行方法（助炭を使用しない）では降水の捕集が正確でなく、風の影響（Jevons' effect）を受ける。例えば助炭をつけた雨量計では助炭をつけない場合より約 1 割雨量が多い⁽¹⁾ すなわち現行方法では一般に助炭を使用していないから風の影響による観測値の不正確さはさけられず、その約 1 割の変動をみなければならないだろう。それ故雨量計に助炭を使用することによつて始めて雨量観測値の精度の計算及び口径の大きさの決定が正当化される。

2. 雨量観測値の精度と雨量計の口径の大きさ

雨量計による雨量の捕集が正確であること、換言すれば適当な形の助炭をつけて Jevons' effect をでき得る限り小さくした場合について考える。雨滴が t 時間に面積 s 内に n 個落ちる確率 $p_n(s, t)$ は次式で与えられる⁽²⁾。

$$P_n(s, t) = \frac{\nu^n}{n!} \exp(-\nu) \quad (1)$$

たゞし ν は落ちる雨滴の数の確からしい値、 $\nu = \mu st$ 、 μ は常数である。雨滴がある面積に散在する状態が確率の法則に従うことが認められている⁽²⁾。さらに雨滴がある面積 s 上に t 時間に落ちる数の確からしい値の平方根が平均誤差に等しい。今雨が一樣に降つている場合を考え、雨滴の平均半径を a 、単位時間の雨量を M_0 、雨量計の口径を D 、 t 時間に受水器に入る雨滴の数を N とすれば次式が成立する⁽³⁾。

$$N \left(\frac{4}{3} \pi a^3 \right) = \pi \frac{D^2}{4} M_0 t \quad \text{すなわち} \quad N = \frac{3}{16} \frac{D^2 M_0 t}{a^3} \quad (2)$$

しかるに前述の様に雨滴の数 N は確率の法則に従い、その信頼度を表わす平均誤差は $\sqrt{N}$ で与えられる⁽²⁾。それ故その百分誤差 E_c は

$$E_c = \frac{\sqrt{N}}{N} \times 100 = \frac{1}{\sqrt{N}} \times 100$$

(2) 式を代入すれば

$$E_c = \frac{40}{\sqrt{3}} \frac{a}{D} \sqrt{\frac{a}{M_0 t}} \approx 2.3094 \times 10^2 \frac{a}{D} \sqrt{\frac{a}{M_0 t}} \quad (3)$$

雨量 $M_0 t$ に対して

$$\Delta M_t = \frac{M_0 t}{\sqrt{N}} \quad (4)$$

の範囲のばらつきがあり、実際の雨量観測値 M_t は

$$M_t = M_0 t \pm \Delta M_t = M_0 t \left(1 \pm \frac{1}{\sqrt{N}} \right) \quad (5)$$

である。

今 $M_0 = 0 \sim 100 \text{ mm/hour}^*$, $t = 1 \text{ hour}$, $a = 0.02 \text{ cm}$ (並雨), 0.1 cm (強雨), 0.15 cm (夕立)** を代入して E_c 及び ΔM_t を計算し, $M_0 \sim E_c$ 及び $M_0 \sim \Delta M_t$ の関係を才1図~才4図に示す。

口 径 $D \text{ cm}$	6.32	10.00	14.14	15.96	20.00	25.4	30.0	50.0
受水器面積比 ($R=10 \text{ cm}$ を1とする)	0.10	0.25	0.50	0.64	1.00	1.61	2.25	6.25

(3), (4) 式でも解る様に偏差及び百分誤差は雨滴の半径の $2/3$ 乗に比例し, 雨量計の口径に反比例する。才4図によれば雨量計の口径の大きさが解れば偏差が求まり, これがその雨量計による雨量観測の精度の限界である。中央气象台正規の雨量計 (口径 20 cm) の精度は $\pm 0.2 \text{ mm}$ であ

Fig. 1. $M_0 \sim E_c$ の関係 $a = 0.02 \text{ cm}$

Fig. 2. $M_0 \sim E_c$ の関係 $a = 0.1 \text{ cm}$

* 東京における雨量観測値によれば1時間最大量は 89 mm であるので一応安全を考え 100 mm/hour を採用した。

** 人工降雨の話 1952: 小平吉男, 気象協会 p. 6 参照。

Fig. 3 $M_0 \sim E_c$ の関係 $a=0.15$ cm Fig. 4 $M_0 \sim \Delta M_t$ の関係 $a=0.15$ cm

る。ただしこれは1時間雨量の最大値を 100 mm とした場合である。

又逆にある精度を与えこれを得るための雨量計口径の大きさが決められる。例えば ± 0.1 mm の精度を得るには雨量計の口径は 45 cm 以上であれば良い。

一方雨量観測値の百分誤差をどの程度にするかによつても口径が決められる。実際にはこの方法が有効である。例えば1時間雨量何 mm 以上に対して百分誤差を何%以下にするということから雨量計の口径が決まる。

3. 結 語

以上要略すると次の様になる。

(1) 雨量計の口径の大きさと精度の関係は図4に示される。雨滴の半径 a は 0.15 cm まで考える*。

すなわち

口 径 D cm	6.32	10.00	14.14	15.96	20.00	25.4	30.0	50.0
ΔM_t ($\pm$ mm)	0.7	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.15	0.1

ただし1時間雨量の最大値を 100 mm とする。

(2) 中央气象台正規の雨量計(口径 20 cm)の精度は ± 0.2 mm である。

註(3) $E_c, \Delta M_t$ 共に $a^{3/2}$ に比例する。精度の計算で雨滴の半径 a の最大の時を考えれば a の小さい時はこれ以下となる。

(3) 雨量観測値の精度として ± 0.1 mm を得るには雨量計の口径は 45 cm (口径 20 cm に比べ受水面積 5.06 倍) 以上あれば良い。この値は 1 時間雨量の最大値を 100 mm に取っているから関東地方以南に適用される。関東地方以北では 1 時間雨量の最大値はこれより小さくなる。例えば 70 mm に取ればこの場合、雨量計口径は 40 cm (口径 20 cm に比べ受水面積 4.00 倍) 以上あれば良い。

(4) 国土総合調査で雨量観測において口径 20 cm に比べ受水面積が 1/2 の雨量計 (口径 14.14 cm) を用いる場合があるが 1 mm の精度に対しては充分である。しかし微気象調査では (3) の様に雨量計の口径の大きさを考慮せねばならない。

(5) 一方雨量観測値の百分誤差から考えると 1 時間雨量観測値の最小値の取り方によつて変るが、それを 1 mm とすれば雨量計の口径 20 cm では $\pm 2.1\%$ の百分誤差があり、又口径で 14.14 cm では $\pm 3.0\%$ の百分誤差がある。(才 2 表参照)

さらに 1 時間雨量 1 mm 以上に対し百分誤差を $\pm 1\%$ 以下にするには口径は 43 cm 以上にすれば良い。

(6) 雨量計の口径 45 cm の受水器を用いると、偏差は ± 0.1 mm, 百分誤差 $\pm 1\%$ の観測値が得られる。

Table 2 百分誤差 ($\pm\%$) 才 3 図から読取る

M_0 (mm/hour) D (cm)	1	3	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
6.32	6.6	3.9	3.0	2.1	1.5	1.2	1.1	1.0	.9	.8	.8	.7	.7
10.00	4.2	2.4	1.9	1.3	1.0	.8	.7	.6	.6	.5	.5	.5	.4
14.14	3.0	1.7	1.3	1.0	.7	.6	.5	.4	.4	.4	.3	.3	.3
15.96	2.6	1.5	1.2	.8	.6	.5	.4	.4	.3	.3	.3	.3	.3
20.00	2.1	1.2	1.0	.7	.5	.4	.3	.3	.3	.3	.2	.2	.2
25.4	1.7	1.0	.8	.5	.4	.3	.3	.2	.2	.2	.2	.2	.2
30.0	1.4	.8	.6	.5	.3	.3	.2	.2	.2	.2	.2	.2	.1
50.0	.9	.5	.4	.3	.2	.2	.1	.1	.1	.1	.1	.1	.1

ただし 雨滴の平均半径 $\alpha = 0.15$ cm (夕立),

D は雨量計の口径, M_0 は 1 時間雨量である。

文 献

- (1) 矢島幸雄 1952: 雨量計の助炭について, 研究時報. (未刊)
- (2) 伊藤徳之助 1921: 雨滴の確率的散在性, 気象集誌, 才 40 年才 2 号 p. 47~58.
伊藤徳之助 1921: 再び雨滴の確率的散在性に就いて, 気象集誌, 才 40 年才 3 号 p. 69~75.
- (3) 高橋浩一郎 1938: 気象学に於ける種々の測定値の限界に就いて, 気象集誌, 才 16 巻才 4 号 p. 159~164.
高橋浩一郎 1945: 気象観測値の統計性の精度の限界, 気象統計 p. 96