

降雨方向の測定

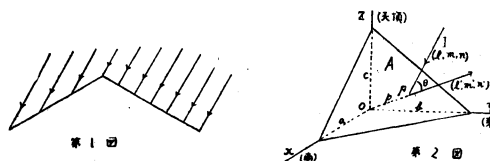
飯田博美

1 まえがき

降雨量及び降雨の強度については常に観測が行われ、又雨滴の大きさについてもまとまった研究がある。しかし降雨の方向の調査や記録はきわめて乏しい。雨は水平面に対して垂直に降ることは少く、降雨時の風向風速によって水平面に対してある傾きをもっている。すなわち降雨方向は3次元的なもので降雨を水平面上に投影すれば降雨の2次元的方向がわかるので、真南とか真東を基線にして何度の方角であるといえよ。そしてこれは結局そのときの風向に一致するはずである。しかし、ここに問題にしている3次元的な方向すなわち降雨が更に鉛直線に対してどれだけ角度をなしているかということになると別途の観測と測定を必要とする。では降雨方向がどんな方面で問題になるかといえば、**Ⓐ** 建築物の耐雨構造の研究に必要である。例えば南向きの降雨が多い地区では特に建築物の南の面の耐雨性を強める必要がおきる。**Ⓑ** 山の傾斜面特に急峻な山の谷では、その傾斜面の方向によって単位面積に対する降雨量にかなりの差異が起り植林の問題や生長量に影響する。**Ⓒ** 船舶、列車等の運行に対して強い降雨（特に進行方向に対して横なぐりの豪雨）はその安全性に相当影響する。

2 降雨方向の測定法

降雨が鉛直方向でない場合に面積の等しい2つの平面をとり、水平面となす角を等しくして向を反対にすれば（従って丁度屋根型になる）この両平面でうける雨量に相異を生ずる。（第1図）但し降雨の水平面への影響が屋根型の稜の投影と一致する場合もあるので第1図のような2平面の組をもう1組とって結局東、西、南、北の



4斜面（これを雨受面と称することにする）に受ける雨量をしらべることによって降雨方向を完全につかむことができる。

計算の大要は次の通りである。降雨方向に垂直な単位面積（1cm²）に強度 I (mm/min) の降雨量があるとす

る。第2図のように座標軸をとり雨受面Aの式を

$$\frac{x}{a} + \frac{y}{b} + \frac{z}{c} = 1 \quad \dots\dots(1)$$

降雨 I の方向余弦を i, m, n とし、更に原点 O から雨受面 A 迄の距離 OF を p とすれば、

$$\frac{1}{p^2} = \frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2} \quad \dots\dots(2)$$

となる。 p の方向余弦を l', m', n' とすれば

$$p = al' = bm' = cn', \quad \dots\dots(3)$$

従って

$$\left. \begin{aligned} l' &= \frac{\pm \frac{1}{a}}{\sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2}}} \\ m' &= \frac{\pm \frac{1}{b}}{\sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2}}} \\ n' &= \frac{\pm \frac{1}{c}}{\sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2}}} \quad (\text{複合同順}) \end{aligned} \right\} \dots\dots(4)$$

F と降雨 I のなす角を θ とすれば

$$\cos \theta = ll' + mm' + nn' = \pm \frac{\frac{l}{a} + \frac{m}{b} + \frac{n}{c}}{\sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2}}} \quad \dots\dots(5)$$

従って雨受面 A に対する降雨強度は

$$I \cos \theta = \left| \frac{\frac{l}{a} + \frac{m}{b} + \frac{n}{c}}{\sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2}}} \right| \cdot I \quad \dots\dots(6)$$

となる。これらの式はもとより降雨方向は直線的であるとしたのであり、従って地表附近数メートルの範囲についてならば何ら差つかえない。又以上の考えは降雪についても適用できる。

(i) 特に $b = \infty$ のときは第3図のようになり、雨受面と水平面のなす角を α とすれば、南斜面に対する強度 R_1 は

$$\begin{aligned} R_1 &= I \cos \theta = \left| \frac{\frac{l}{a} + \frac{n}{c}}{\sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{c^2}}} \right| \cdot I \\ &= \left| l \sin \alpha + n \cos \alpha \right| I \quad \dots\dots(7) \end{aligned}$$

北斜面に対する強度 R_2 は α の代りに $-\alpha$ とおき

$$R_2 = \sqrt{-I \sin \alpha + n \cos \alpha} / I \dots\dots\dots(8)$$

をうる。

(ii) 次に $a = \infty$ のときは第4図のようになり (i) と同様にして、東斜面に対する強度 R_3 は

$$R_3 = I \cos \theta = \frac{\frac{m}{b} + \frac{n}{c}}{\sqrt{\frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2}}} I$$

$$= \sqrt{m \sin \alpha + n \cos \alpha} / I \dots\dots\dots(9)$$

西斜面に対する強度 R_4 は α の代りに $-\alpha$ とおき

$$R_4 = \sqrt{-m \sin \alpha + n \cos \alpha} / I \dots\dots\dots(10)$$

をうる。

観測装置では $\alpha = 20^\circ$ としたので I と Z 軸のなす角が $68^\circ 40'$ 以内ならば (観測結果によるとこの値はせいぜい 30° 以内程度である) 常に $n \cos \alpha < I \sin \alpha$, $n \cos \alpha > m \sin \alpha$ が成立して、(7)~(10) は

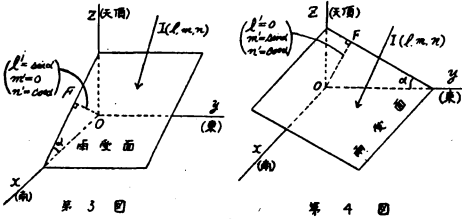
$$R_1 = (I \sin \alpha + n \cos \alpha) I \dots\dots\dots(11)$$

$$R_2 = (-I \sin \alpha + n \cos \alpha) I \dots\dots\dots(12)$$

$$R_3 = (m \sin \alpha + n \cos \alpha) I \dots\dots\dots(13)$$

$$R_4 = (-m \sin \alpha + n \cos \alpha) I \dots\dots\dots(14)$$

となる。(11)~(14) は直接にも計算できる。



降雨が一定 (即ち l, m, n 一定) をもち、且一定の強度 I のときには (12), (13) から

$$l = \frac{R_1 - R_2}{2I \sin \alpha} \dots\dots\dots(15)$$

$$n = \frac{R_1 + R_2}{2I \cos \alpha} \dots\dots\dots(16)$$

(13), (14) から

$$m = \frac{R_3 - R_4}{2I \sin \alpha} \dots\dots\dots(17)$$

$$n = \frac{R_3 + R_4}{2I \cos \alpha} \dots\dots\dots(18)$$

となる。(16), (18) から

$$R_1 + R_2 = R_3 + R_4 \dots\dots\dots(19)$$

となる必要があるが、これは南北両斜面と東西両斜面の水平面への正射影が等しいことから容易に理解できる。 l, m, n の間には $l^2 + m^2 + n^2 = 1$ の関係があるから実際に独立な未知数は2つである。 I, α を消去して

$$l = \frac{R_1 - R_2}{\sqrt{2(R_1^2 + R_2^2) + (R_3 - R_4)^2}}$$

$$= \frac{R_1 - R_2}{\sqrt{3(R_1^2 + R_2^2) + 2R_1 R_2 - 4R_3 R_4}} \dots\dots\dots(20)$$

$$m = \frac{R_1 - R_4}{\sqrt{2(R_1^2 + R_2^2) + (R_3 - R_4)^2}}$$

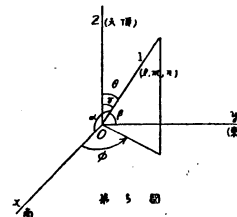
$$= \frac{R_3 - R_4}{\sqrt{3(R_1^2 + R_2^2) + 2R_1 R_2 - 4R_3 R_4}} \dots\dots\dots(21)$$

$$n = \frac{R_1 + R_2}{\sqrt{2(R_1^2 + R_2^2) + (R_3 - R_4)^2}}$$

$$= \frac{R_1 + R_2}{\sqrt{3(R_1^2 + R_2^2) + 2R_1 R_2 - 4R_3 R_4}} \dots\dots\dots(22)$$

$$l : m : n = (R_1 - R_2) : (R_3 - R_4) : (R_1 + R_2) \dots\dots\dots(23)$$

l, m, n では実用上不便であるから極座標的表示をすれば (第5図)



$$l = \cos \alpha = \sin \theta \cos \phi \dots\dots\dots(24)$$

$$m = \cos \beta = \sin \theta \sin \phi \dots\dots\dots(25)$$

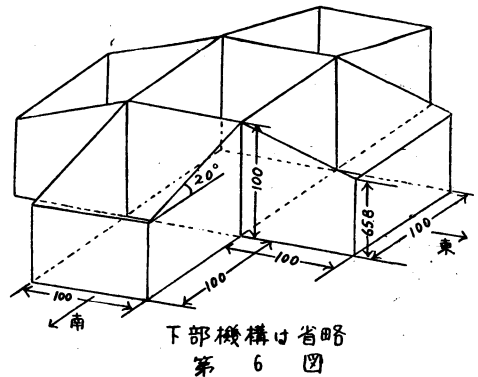
$$n = \cos \gamma = \cos \theta \dots\dots\dots(26)$$

の関係がある。従って ϕ, θ を求める式に直せば

$$\tan \phi = \frac{m}{l} = \frac{R_3 - R_4}{R_1 - R_2} \dots\dots\dots(27)$$

$$\cos \theta = n = 1 - \frac{(R_1 - R_2)^2 + (R_3 - R_4)^2}{2(R_1 + R_2)^2} \dots\dots\dots(28)$$

降雨方向や強度が時間と共に変化する場合には (20)~(23) で得られる l, m, n 又は (27), (28) から得られる ϕ, θ はその時間中の平均の値を示すことになる。



以上の原理にもとづいて第6図の装置を製作して中央 (水平)、東、西、南、北の各 20° 傾斜面にたまった雨量を一降雨ごとに測定して、それから ϕ, θ を計算した。

3 測定及び計算の結果

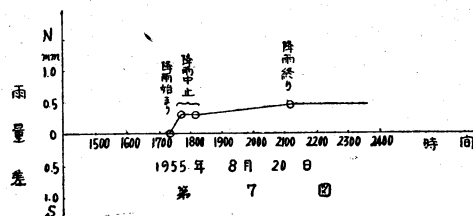
次表の L は水平の雨受面、 E, W, S, N はそれぞれ東、西、南、北の雨受面にたまった雨量 (mm) を示す。但し、特に小雨量のときは体積 (cm³) で測定して深さ

年月日	E	W	L	S	N	計算値		名古屋地方気象台		備考	
						ϕ	θ	降雪中の 主な風向	雨量		
1954-12-8	36.0	28.9	32.1	37.3	27.9	37°0'(SE)	14°30'	SE, SSE	21.8	θ の大きい例	
1955-1-9~10	18.3	19.3	18.5	18.3	18.8	243°30'(WNW)	1°40'	N, NW	17.3		
1955-1-20	微量で測定できず								WNW	0.2	
1955-1-29	12.0	12.6	12.1*	11.6	12.9	204°50'(NNW)	3°40'	N, NNW	8.7		
1955-2-21~22	1.100	1.777	1.307	1.153	1.580	237°40'(WNW)	16°50'	W, WNW	3.6	θ の大きい例	
1955-3-5	6.172	7.390	6.764	6.595	7.173	244°40'(WNW)	5°40'	N	6.0	雪のみ	
1955-3-22~24	36.2	39.5	36.8	36.3	38.7	234°0'(NW)	3°50'	NNW, NW	39.7		
1955-4-24	18.1	13.6	15.1	18.7	12.3	35°10'(SE)	14°30'	SE, SSE	14.6	θ の大きい例	
1955-5-3	7.5	6.7	7.1	7.5	6.6	41°40'(SE)	4°10'	SE	8.0		
1955-6-11~12	4.097	3.868	3.865*	4.884	3.013	6°50'(S)	16°0'	S	2.9	θ の大きい例	
1955-6-15~16	23.5	22.4	22.6	23.7	22.1	34°50'(SE)	2°20'	SSE, —	25.0		
1955-6-24	3.573	4.082	3.678	3.764	3.959	249°0'(WNW)	4°0'	NNW, NE	0.0		
1955-6-29	7.6	11.5	8.7	8.1	10.6	237°20'(WNW)	14°20'	WSW	3.7	θ の大きい例	
1955-7-4~6	31.6	28.7	29.0	32.4	27.6	31°10'(SSE)	5°20'	SSE, S	29.0		
1955-7-20	15.3	14.0	15.1	15.0	14.5	69°0'(ESE)	2°40'	ESE	6.3		
1955-8-8~9	7.2	7.3	7.1	7.4	7.2	333°30'(SSW)	50'	NW	20.0	風速小さく ϕ, θ の信頼度の	
1955-8-19	0.727	0.622	0.670	0.630	0.721	131°0'(NE)	10'	N	—	風速小さく ϕ, θ の信頼度小	
1955-8-30~31	9.0	8.1	8.6	9.1	7.9	36°50'(SE)	5°0'	SSE, S	22.1		

に換算したのもある。 ϕ, θ はそれをもとにして計算した降雨方向の平均値である。測定場所は名古屋市外鳴海町(名古屋地方気象台の南方9.9km)であるが、名古屋地方気象台の値を参考に記入した。1954年12月1日以降観測を続けた。上表にはその代表的なものを示した。

4 結論

- (1) 予想通り降雨方向水平面投影と風向はよく一致する。
- (2) 降雨の天頂方向となす角 θ は $4^\circ \sim 5^\circ$ 程度の場合が最も多く 10° を超える場合は少くない。
- (3) 降雨方向は局地的な地形や構造物の影響を受けやすいので1地点の測定値で広地域の値とはできない。
- (4) 降雨は多くの場合雨滴の大きさが均一でないために降雨方向も2種類以上が同時に起っている。従って第1表の ϕ, θ は時間的並びに種類の平均値である。
- (5) θ の小さいとき、すなわち $R_1 - R_2, R_3 - R_4$ の値が小さいときは計算値等特に ϕ の精度が悪い。これは風速のきわめて小さい場合であるから当然である。
- (6) 第1表の ϕ, θ は1雨(又は2雨)ごとの平均値であるから各瞬間の ϕ, θ は上の値とはずっと偏した値になるはずである。この瞬間ごとの値とその変化を調査するために、一部自記装置(天秤による雨量差の自記)を使用した。が、 ϕ, θ を直接読みとることは今後の問題とする。(第7図)
- (7) 第1表の*印は $L = \frac{E+W}{2} = \frac{S+N}{2}$ の条件式から大きくはなれた値である。観測器械(第6図)による乱流の影響と思われるがなお研究を要する。
- (8) 一定の風向と風速ならば雨滴の大きさにより $R_1,$



R_2, R_3, R_4 の値は変化する。従って風向と風速が既知ならば逆に雨滴の大きさを計算又は実験する装置が可能である。(均一の雨滴として) なければならない。

5 あとがき

この研究に対して御指導をいただき且観測装置、資料文献等に御便宜を賜りました吉武名古屋地方気象台長に謝意を表します。なおこれは昭和29年度文部省科学研究助成金による研究であることを附記します。

参考文献

- (1) 岡田武松：気象器械学(岩波書店)(1931)
- (2) 岡田武松：雨(岩波書店)(1951)
- (3) 高橋喜彦：雨滴観測による降雨機巧の研究序報、気象集誌、第2輯、第13巻、第2号(1935)
- (4) 孫野長治：巨大降水要素の容積分布、気象集誌、第2輯、第31巻、第8号(1953)
- (5) 佐藤貞雄：雨滴の大きさについて、東海地方気象研究会誌、第8巻、1号2号(1954)
- (6) J.O. Laws, Measurement of the fall-velocity of water drops and rain drops: Trans. Amer. Geophys. Union., 709(1941)
- (7) 名古屋地方気象台：気象月表原簿(愛知県立大府高等学校)