

土研資料第1189号

土木研究所資料

地上障害物が雨量計の受水率に与える影響に関する調査

昭和52年 1 月

建設省土木研究所

水文研究室

まえがき

雨量観測は、河川調査にとって不可欠の第一歩であります。そして、レーダ雨量計等の先駆的な技術の実用化に対する努力が積み重ねられている現在においても、地上雨量計は、雨量観測における王者の地位を、未だ退いてはいません。

河川砂防技術基準(案)調査編、第一障・降水量調査では、雨量計の設置場所の条件(23)として

1. おおむね10m四方以上の広さの開放された土地であって、空気流線の変化が少ないこと。
2. 湛水する恐れがないこと。
3. 観測に便利で、付近に観測員が得やすいこと。

をあげています。2と3とは置くとして、ここに報告する調査のテーマは、1に関するものです。上にあげた基準も、気象庁による「地上気象観測法」の規程を、すでに、緩めた形になっていますが、今回の調査は、地上障害物の存在が、現象として、どのように雨量観測の精度を劣化させるのかを、原始的なやり方ではありますが、実物大の模型によって確認する、ということを目的としています。

野外観測は、土木研究所の鹿島試験所で1年2箇月に亘って実施されました。担当したのは、現在、東北地方建設局岩手工事々務所に在籍の前・水文研究室佐藤一郎技官です。また、鹿島試験所の林敏夫技官からは、全期間を通じて多大の援助を受けました。記して謝する次第であります。

昭和52年1月

水文研究室長 石 崎 勝 義

1. 調査目的

雨量計受水口の設置条件に関しては、気象庁による「地上気象観測法」で詳細に述べている。すぐそばに建物があつたり大きな樹木があつたりすると、これが風に影響を及ぼし、風が降水量観測値に影響を及ぼす。この影響範囲については定説はないが、 600 m^2 以上の露場を設け、その中に設ける（地上気象観測法）、建物、樹木の高さの4倍以上離れた場所に測器を設置することが望ましい。（地上気象観測法）しかし、いざ雨量計を設置する段になると、理想的に設置条件を満す場所は非常に少ない。そこで我々は、設置条件をどの程までゆるめられるか、又その場合の観測値に及ぼす影響を知っておく必要がある。

設置条件の内特に重要な問題として次の3点が、考えられる。

- (1) 受水口周辺の地物の影響
- (2) 受水口の地上高の影響
- (3) 観測所周辺の地形の影響

当面は、(1)の問題について調査するものである。

2. 調査の方法

水文観測場は土木研究所鹿島試験所構内にもうけた。雨量計の設置条件を理想的に満足する平坦地に高さ5 m、幅10 mの障壁をほぼ東西方向に設置し、その北側に転倒樹型雨量計12台を2.5 m間隔で配列した。（図-1、写真-1,2参照）又、障壁の片側には、支柱に副わせ風車型自記風速計によって地上10 mの風向及び風速を測定し、各雨量計の受水量との関係を調べる。なお障壁の向きは、図-2のウィンド・ローズをもとに、NNE-SSWとした。

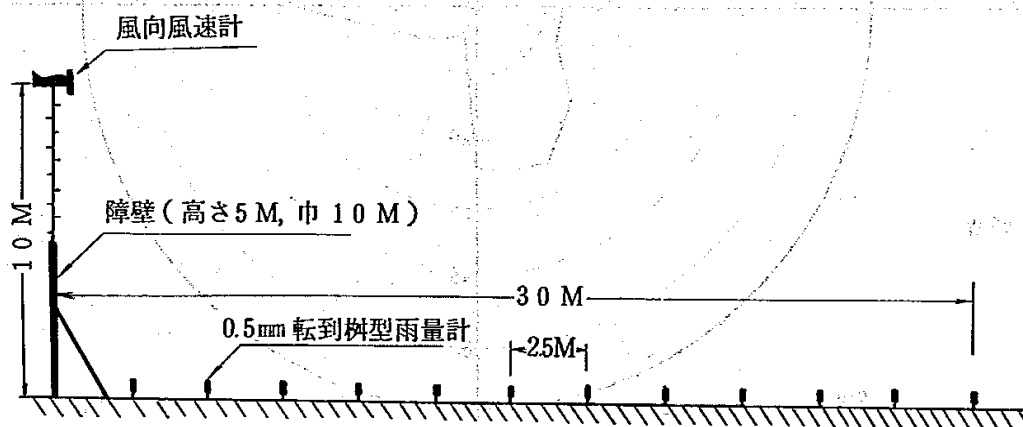


図-1 水文観測場

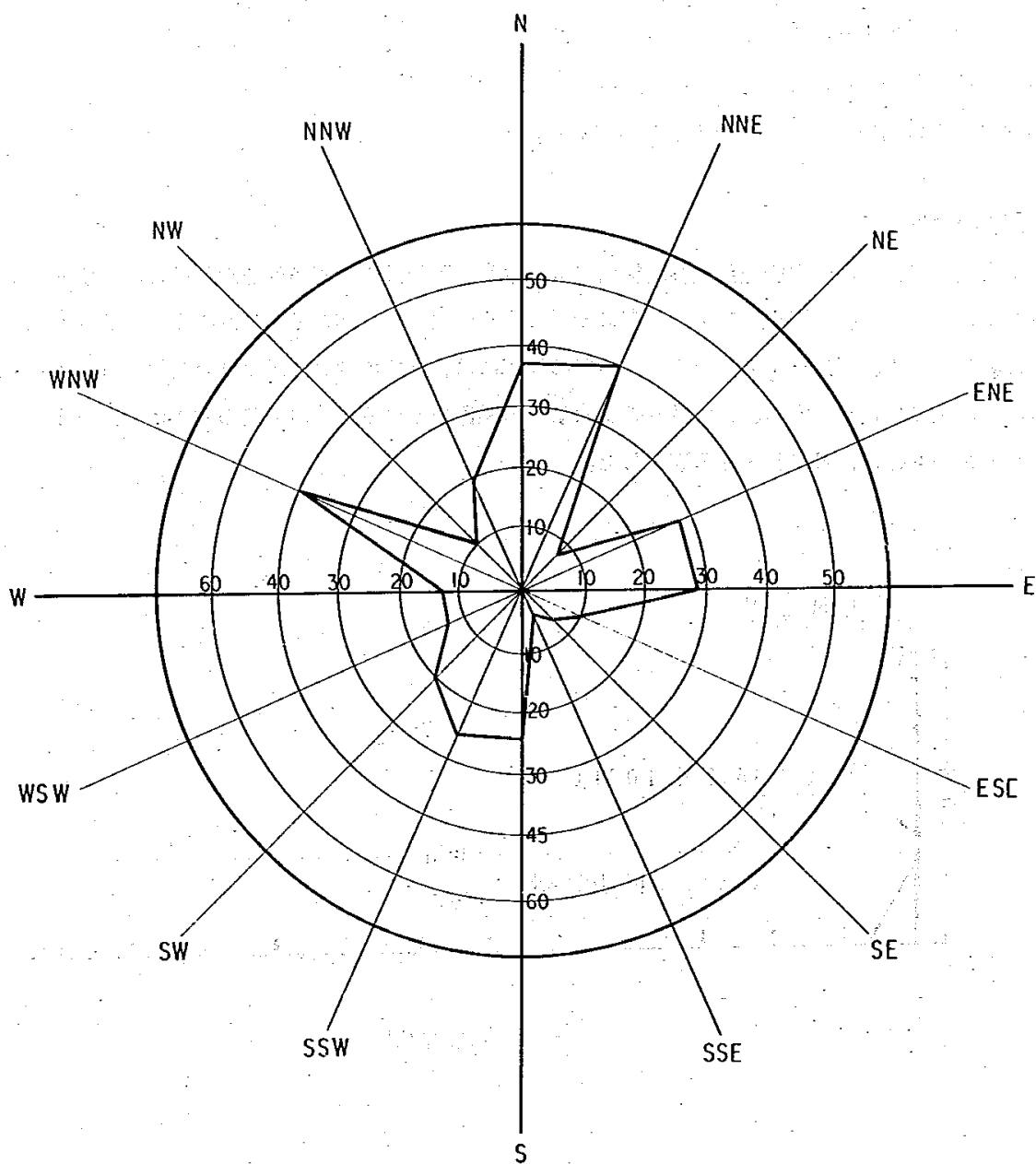
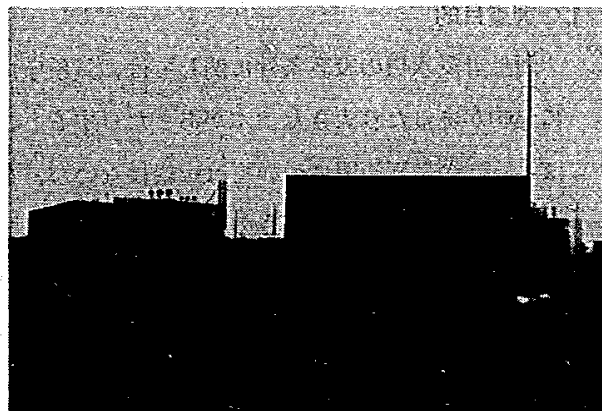
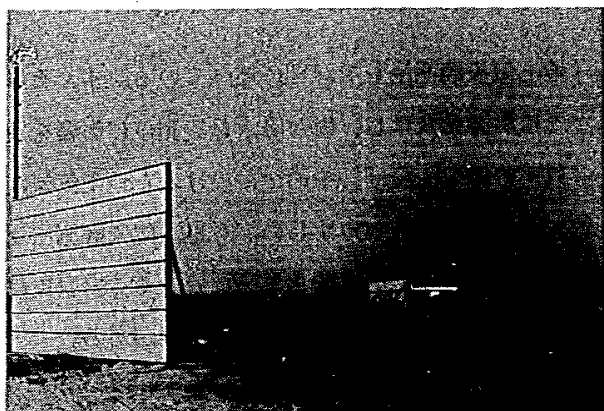


図-2 鹿島試験所近傍のウィンドローズ

3. 解析結果

一雨に量・風向等については、附表、付図に示す。12個の雨量計によって観測された一雨々量値とその時の最大受水雨量に対する各雨量計の受水率を各降雨ごとグラフ化し、その時の風向と平均風速との関連について検討を行った。図-3には、障壁にほぼ垂直に吹く風つまり南風と北風について代表的な例を示す。

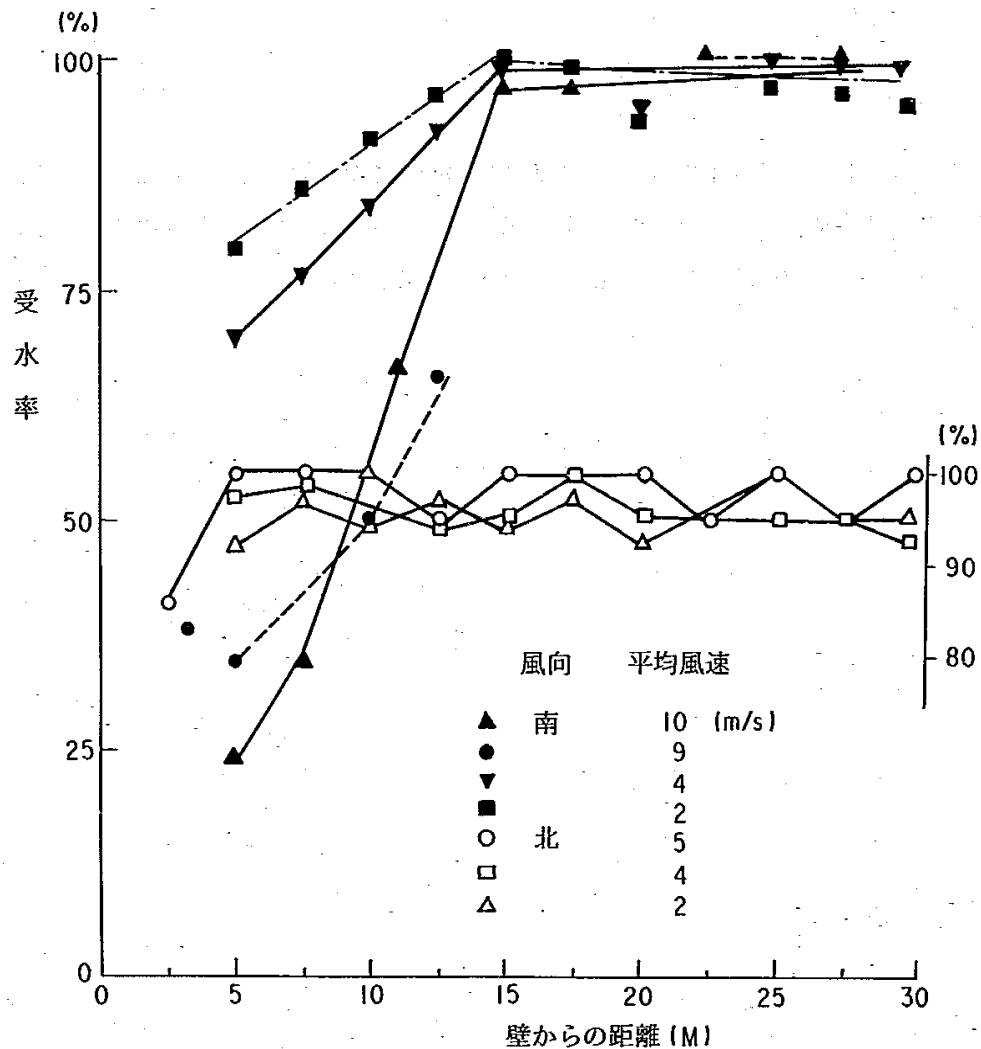


図-3 障壁からの距離と受水率との関係

図-2からも理解出来る様に雨量計の設置場所の反対方向からの風(以下南風と呼ぶ)の場合については、障壁の影響圏内と圏外とに分けられる。この境界は、障壁の高さの3~4倍の距離と見られる。又、影響圏内の雨量計の受水率の変化を見ると、受水率は、風速によって支配されている事が理解できる。さらに影響圏内での受水率がほぼ直線で表わされることは、雨滴の落下速度をほぼ一定と考えることとつながる。

一方障壁の影響圏内の境界は、多方向の風の影響を受けるが、従来のように単に風速の関数として表現

される傾向がある。

北風（雨量計から障壁方向の風）の場合には、ほとんど障壁の高さと等距離内では、受水率が下がるといふ障壁の影響が現われる傾向がある。この影響圏外にては、平均受水率の±5%以内に収まると見なせる。

東・西風（障壁に平行の風）について見ると、一定の傾向は見られないが、障壁の高さもしくは幅の4倍以上の距離を隔てれば影響は現われない。

4. おわりに

観測期が、昭和48年10月～49年12月初期までの約14ヶ月間であり、各風向、風速、障壁からの距離と雨量計の受水率の関係を定量的に明確にするには、各降雨高と風向、風速の組み合わせ数に於いて不足の感があるが、一応の定性的傾向の把握はできたと考えられる。

No	年 月 日	No 1	No 2	No 3	No 4	No 5	No 6	No 7	No 8	No 9	No 10	No 11	No 12	風 向	
1	48年10月28日 月 日	805	740	850	810	855	875	870	855	860	475 +()	870	880	N / (ENE)	2~ 8.5
2	11月 6日 月 日	15	20	15	15	20	15	15	15	15	15	15	15	ESE	15
3	11月 9日 11月10日	335	350	375	410	435	455	440	415	450	435	450	欠測	W / (SE-1.0)	1.0
4	49年 1月14日 1月15日	45	欠測	45	欠測	45	欠測	50	欠測	45	欠測	45	欠測		
5	1月21日 1月22日	45 +	350	360	365	350	355	45 +	365	345	370	370	290	(W) / N	1~6
6	2月 5日 2月 6日	欠測	330	345	340	315	340	335	345	335	350	345	340	NE / NNE	5 11.5
7	2月 7日 月 8日	欠測	365	385	380	340	375	375	385	365	395	390	390	NNE / NNW	1~9
8	2月19日 月20日	欠測	180	180	180	175	180	185	185	175	180	180	185	N	2~8
9	2月27日 月 日	欠測	20	欠測	20	欠測	25	欠測	30	欠測	30	欠測	35		
10	3月 6日 月 日	欠測	40	40	40	35	40	35	40	40	40	40	40		
11	3月 6日 月 7日	欠測	160	175	165	105	165	180	170	165	175	170	165	NE	5.5 10.5
12	3月10日 月 日	欠測	275	295	265	200	285	300	290	275	295	300	295	WNN SW WNW	1.5 5
13	3月11日 月 日	欠測	20	20	15	欠測	10	20	20	20	20	20	15		
14	3月11日 月 日	欠測	25	35	欠測	欠測	欠測	35	35	40	40	35	40		
15	3月16日 月 日	欠測	65	65	60	55	60	65	60	60	65	65	65	N / NE	1.5 7.5
16	3月18日 3月19日	欠測	240	250	245	225	240	250	245	235	250	250	240	NE / NNE	2.5 8.5

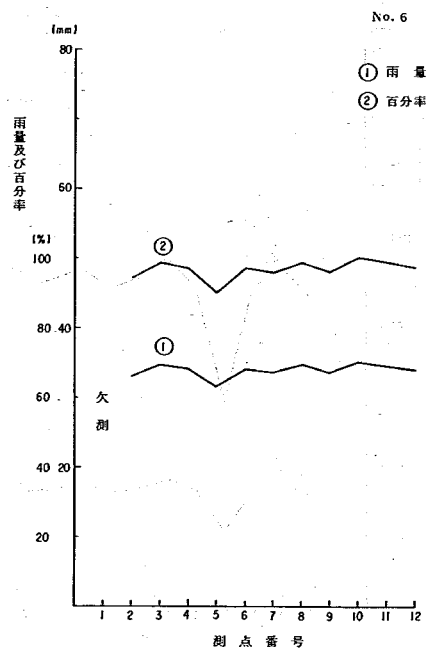
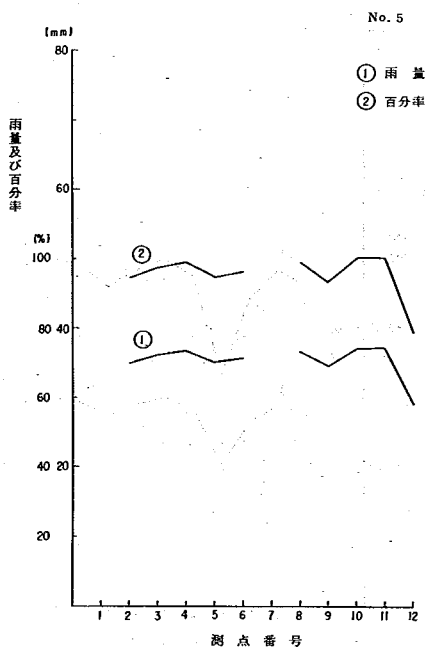
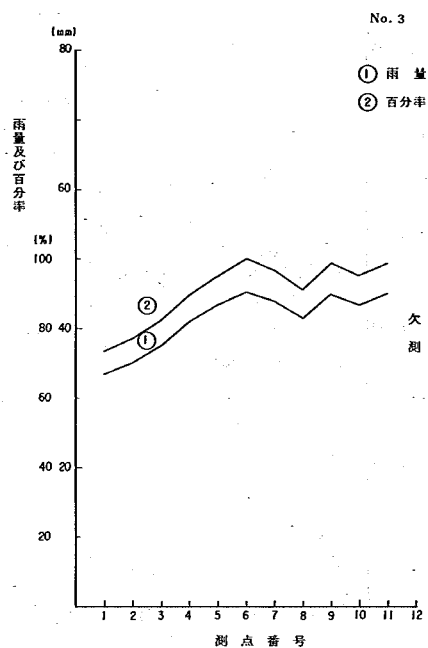
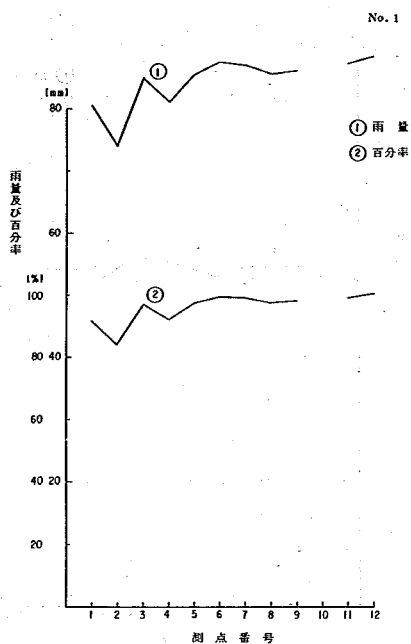
No.	年 月 日	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10	No. 11	No. 12	風 向	
17	49年 3月27日 月28日	欠測	29.0	52.5	52.0	52.0 +	53.0	53.0	52.0	51.0	53.0	53.0	52.0	E NE	5 14
18	3月31日 月 日	欠測	2.0	2.5	3.0	3.0	3.5	4.0	4.5	4.5	4.5	4.0	4.5	SW	6.0
19	4月 1日 月 日	欠測	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
20	4月 2日 月 日	欠測	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
21	4月 5日 月 日	欠測	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	1.5	1.5	1.5		
22	4月 7日 月 9日	欠測	72.0	75.0	74.5	35.0 +	73.5	78.0	76.5	70.5	75.5	75.5	74.0	(S) ENE	2~3 3~ 12.0
23	4月10日 月 日	欠測	0.5	0.5	0.5	欠測	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		
24	4月16日 月 日	欠測	7.5	8.0	1.0 +	7.5	8.0	8.5	8.5	7.5	8.5	8.0	8.0	NE	4~8
25	4月21日 月 日	欠測	3.5	5.0	8.0	11.5	14.0	14.0	12.5	14.5	14.0	14.5	13.5	SSW	7 12.0
26	4月22日 月23日	欠測	2.5	2.5	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	3.0	2.5	2.5		
27	4月26日 月 日	欠測	3.5	3.5	3.0	3.5	3.0	3.5	3.5	欠測	3.5	3.5	3.5		
28	4月 日 月29日	欠測	6.0	8.0	8.5	9.5	10.5	10.0	9.5	欠測	11.0	11.0	10.5	SSW	6 11
29	5月 9日 月 日	欠測	2.5	2.5	3.0	3.5	4.5	4.5	4.5	欠測	5.0	5.0	4.5	SW	4.5 9.0
30	5月10日 月 日	欠測	6.0	6.5	6.5	6.5	6.5	7.0	6.5	欠測	6.5	6.5	6.5	WNW	
31	5月15日 月 日	欠測	2.5	2.5	3.0	4.0	5.0	5.5	5.5	欠測	6.5	6.5	6.0	SW	4 8.0
32	5月20日 月21日	欠測	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	欠測	2.0	2.0	2.0		

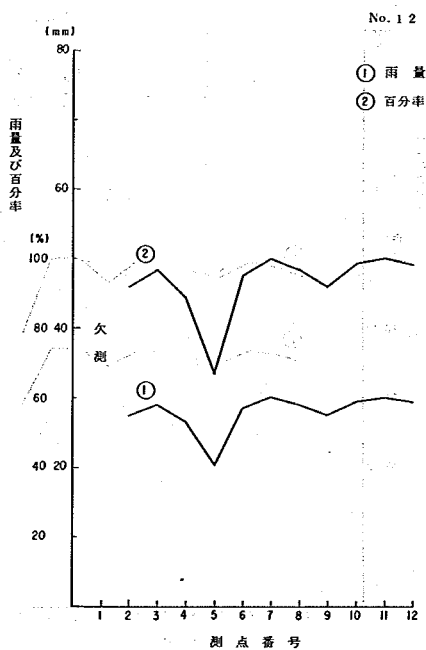
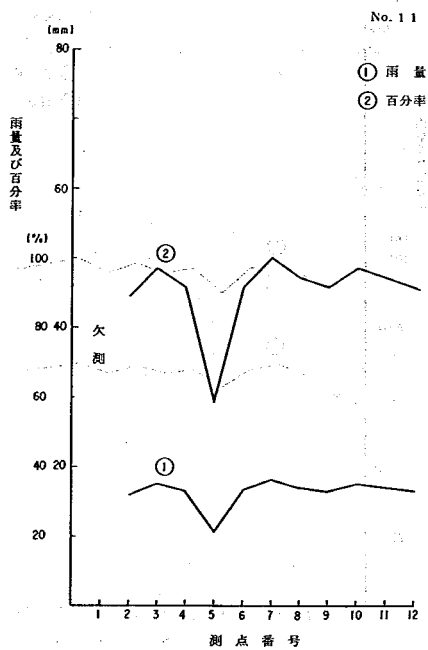
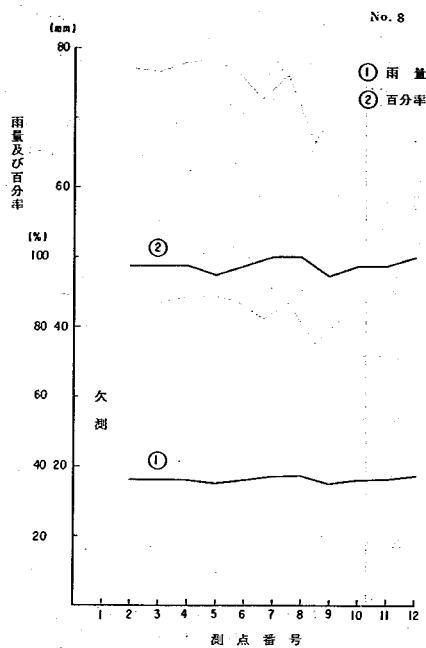
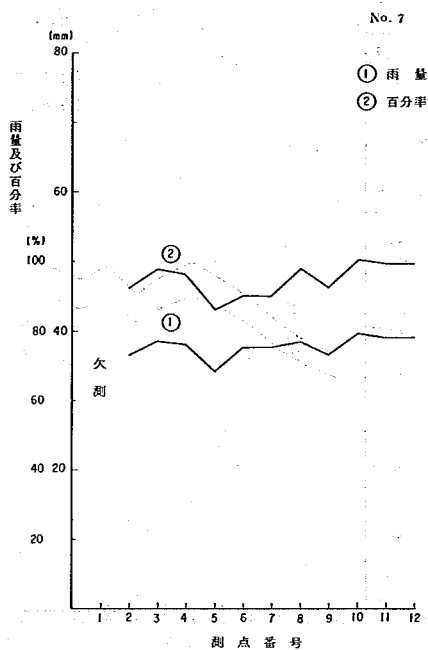
No.	年 月 日	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10	No. 11	No. 12	風 向	
33	49年 5月22日 5月23日	欠測	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5	欠測	2.5	2.5	2.0		
34	5月27日 月 日	欠測	18.5	19.5	15.0	19.0	19.0	20.0	19.0	欠測	20.0	20.0	19.5	NE	2.5 5.0
35	5月31日 月 日	欠測	24.5	26.5	25.0	25.0	25.5	25.5	25.5	欠測	26.0	24.0	25.5	E SSE	1~5
36	6月 5日 月 6日	欠測	12.5	12.0	12.5	12.5	12.0	12.5	12.0	欠測	12.5	12.5	12.0	ESE SSE	0.5 4.0
37	6月 9日 月 日	欠測	6.0	6.0	6.0	6.5	6.5	6.5	6.0	欠測	6.0	6.5	6.0	N	0.2 1.0
38	6月11日 月 日	欠測	2.5	2.5	2.5	3.0	2.5	3.0	2.5	欠測	2.5	3.0	2.5	SSE	2 3.5
39	6月14日 月 日	欠測	5.0	5.0	5.0	4.0	4.5	5.0	4.5	欠測	5.0	5.0	4.5	E, SSE N	0.2 1.0
40	6月18日 月 日	欠測	26.0	28.5	31.0	34.0	36.5	36.5	35.0	欠測	37.0	36.5	36.5	SSE	3 4.5
41	7月20日 月 日	9.0	10.5	10.5	10.5	10.0	10.5	10.5	10.5	10.0	10.5	10.0	10.5		
42	7月22日 月 日	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5		
43	6月19日 月 日	欠測	1.5	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	欠測	1.5	1.5	2.0		
44	6月21日 月22日	欠測	22.0	23.5	23.5	26.0	26.0	26.0	25.0	欠測	26.0	26.0	25.5	SSE E	0.5 4.0
45	6月24日 月 日	欠測	30.0	31.5	30.5	31.5	30.5	31.5	30.0	欠測	32.5	31.5	31.5	NE N	0.5 4.0
46	6月24日 月 日	欠測	2.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.5	2.0	欠測	2.0	2.0	2.5		
47	6月27日 月28日	欠測	33.0	33.5	19.0 +	32.5	33.0	33.5	32.0	欠測	32.0	32.0	32.5	N NE	0.5 3.5
48	6月30日 月 日	欠測	1.0	2.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	欠測	1.5	1.5	1.0		

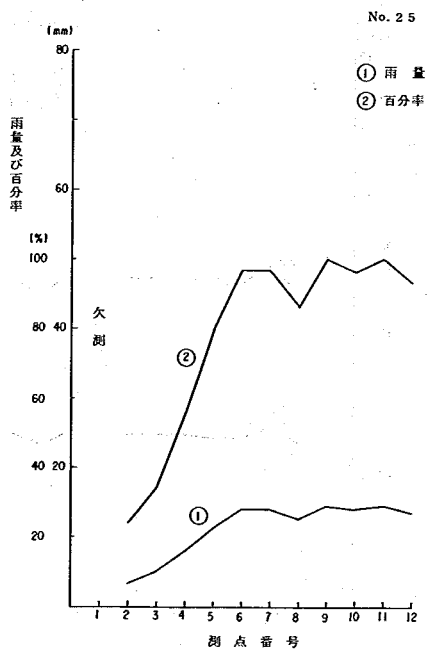
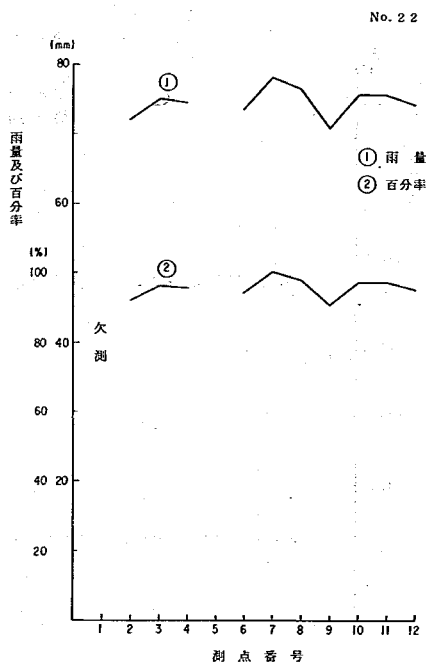
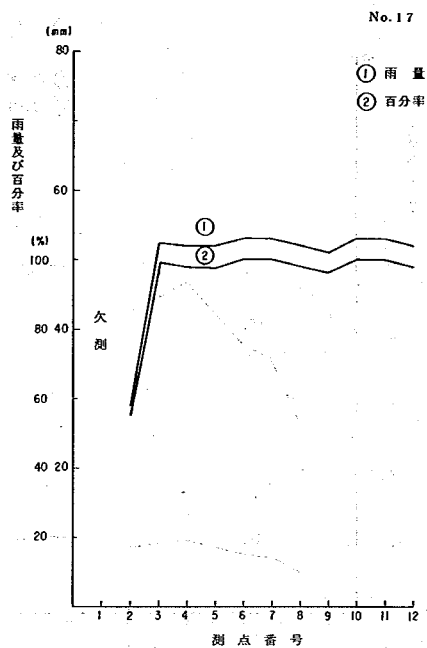
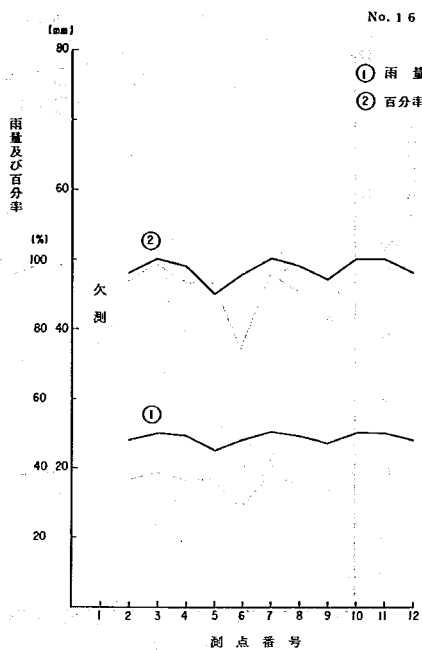
No.	年 月 日	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10	No. 11	No. 12	風 向
49	49年 7月 1日 7月 3日	欠測	57.0	57.5	42.0 +	53.0	55.0	56.0	54.5	欠測	56.0	56.0	55.5	NE NNE 0.5 1.0
50	7月 4日 7月 6日	欠測	36.5	37.0	26.0	35.5	36.0	37.5	36.0	欠測	36.0	36.0	35.0	NE NNE N 0.5 4.0
51	7月 7日 7月 日	欠測	1.5	1.5	欠測	1.5	1.5	1.5	1.5	欠測	1.5	1.5	1.5	
52	7月 8日 7月 日	欠測	29.0	30.5	31.0	35.0	36.5	36.0	34.0	欠測	35.5	35.0	34.5	SSW SSE 1.5 3.0
53	7月 10日 7月 11日	欠測	49.0	50.0	45.0	49.0	49.5	50.5	48.5	欠測	50.0	16.5 +	49.0	SSW NNW 1.3 3.5
54	7月 11日 7月 日	欠測	1.5	2.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	欠測	2.0	1.5	1.5	
55	7月 12日 7月 13日	欠測	10.0	9.5	8.0	9.5	9.5	10.0	9.5	欠測	9.5	10.0	10.0	NE NNW 0.5 1.5
56	7月 14日 7月 15日	欠測	2.5	3.0	1.0	2.5	3.0	2.5	3.5	欠測	2.5	3.0	2.5	
57	7月 24日 7月 25日	3.5	4.0	3.5	4.0	3.5	3.0	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.0	S
58	8月 16日 8月 17日	34.5	41.0	40.5	38.5	38.0	38.5	42.0	41.0	39.0	40.0	39.5	40.0	SE ESE 4.5 8.0
59	8月 25日 8月 26日	5.0	4.5	5.5	6.5	8.5	8.5	11.5	9.5	13.0	10.0	13.0	11.0	SSE S 8.5 10.5
60	8月 27日 8月 日	1.0	1.5	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.0	1.0	
61	8月 30日 8月 日	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.0	
62	8月 31日 9月 1日	152.5	159.5	169.5	160.5	150.5	92.5 +	167.0	157.0	159.0	89.0 +	162.5	161.5	NE ENE E 0.5 6.5
63	9月 2日 9月 日	8.5	11.0	11.5	13.0	12.5	1.5 +	13.5	13.5	14.5	14.0	14.0	15.5	SE 2.5 7.2
64	9月 4日 9月 5日	38.0	39.0	40.5	41.0	35.0	40.5	41.0	40.0	40.5	41.5	41.0	40.0	SSW S.ESE 1.0 4.0

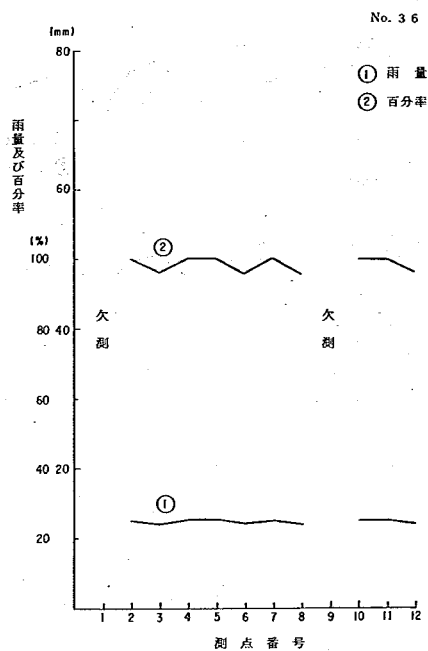
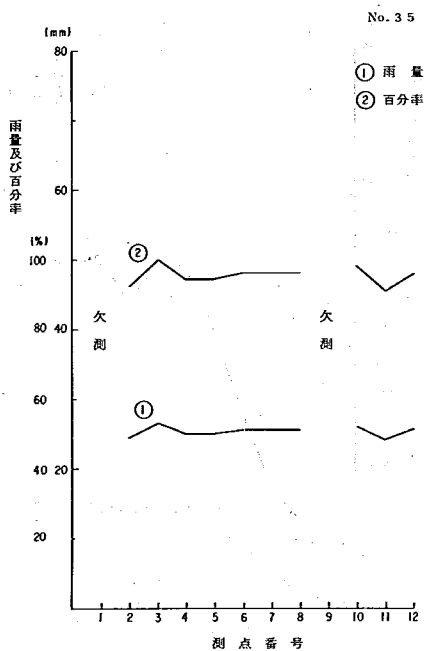
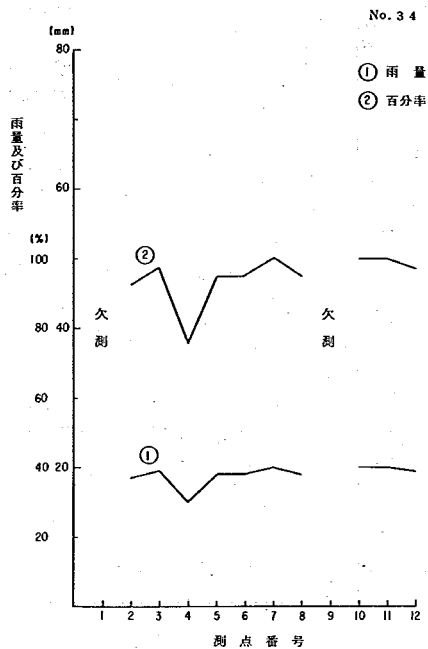
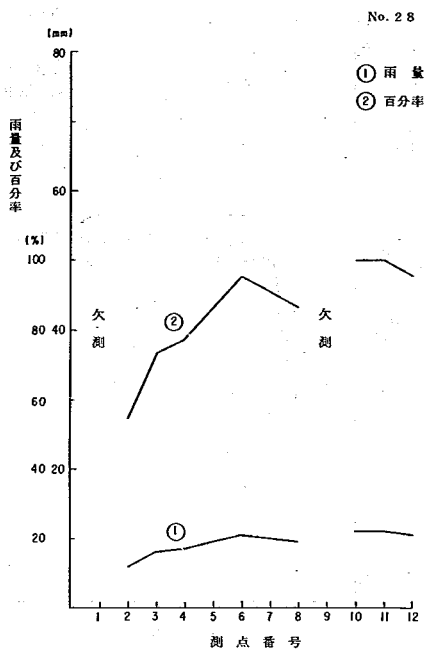
No.	年 月 日	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	No.12	風 向	
65	49年 9月16日 月 日	14.0	12.5	17.0	14.5	14.0	16.0	17.5	17.0	16.5	17.0	16.0	17.0	NE NNE N	2.0 1.8 8.2
66	9月16日 月 17日	6.0	2.0	7.0	2.0	2.5	欠測	7.5	7.5	7.0	7.0	7.5	6.5	NNW	1.0 1.5
67	9月18日 月 日	11.0	9.0	11.5	10.0	10.0	8.0	10.5	11.0	11.0	11.0	11.0	10.5	NE	3.0 4.0
68	9月19日 月 日	7.0	7.5	9.0	8.0	8.0	7.0	8.5	9.0	9.0	9.5	9.0	8.5	NNE	2.0 2.5
69	9月22日 月 日	9.5	5.5	10.5	4.5 +	5.5	5.0 +	10.5	10.0	10.0	10.0	10.5	10.0	N NE	3.5 5.0
70	9月24日 月 日	8.0	5.0	8.5	6.0	7.5	4.0	9.0	8.0	9.0	9.0	9.0	8.0	SSW SW WSW NW	1.0 2.3
71	9月27日 月 日	1.0	欠測	0.5	0.5	欠測	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	0.5	1.0		
72	9月28日 月 日	0.5	0.5	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5		
73	10月 2日 月 日	2.5	2.0	3.0	2.5	2.5	2.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0		
74	10月 3日 月 日	24.5	23.5	29.5	27.0	24.5	24.0	30.0	28.5	27.5	29.5	29.0	29.0	N NE	2.5 6.0
75	10月 3日 月 日	1.0	欠測	1.0	0.5	欠測	欠測	1.0	1.5	1.5	1.5	1.0	1.0		
76	10月 8日 月 日	15.0	13.5	16.0	14.5	14.0	15.0	15.5	15.5	15.5	16.0	15.5	15.5	SW S E	1.0 2.0
77	10月 9日 月 日	0.5	0.5	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
78	10月12日 月13日	29.5	13.5	36.0	34.5	28.0	5.0	37.5	35.5	34.5	36.0	35.5	34.5	NE NNE	2.5 5.5
79	10月14日 月 日	7.5	7.0	7.0	7.0	7.0	6.0	7.0	7.5	7.5	7.0	8.0	7.5	NNW	2.5
80	10月19日 月20日	9.0	1.0 +()	10.0	9.0	4.0 +()	9.0	10.5	10.0	9.5	10.0	10.0	9.5	NE (ENE)	1.0 5.0

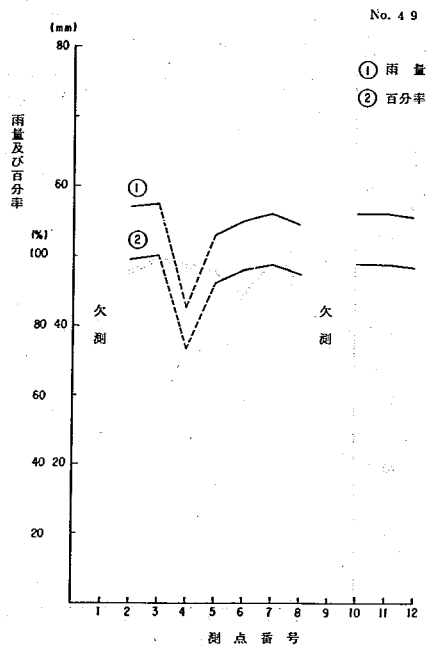
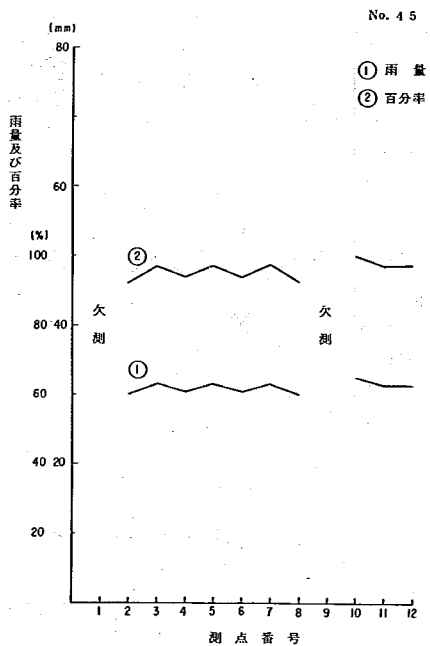
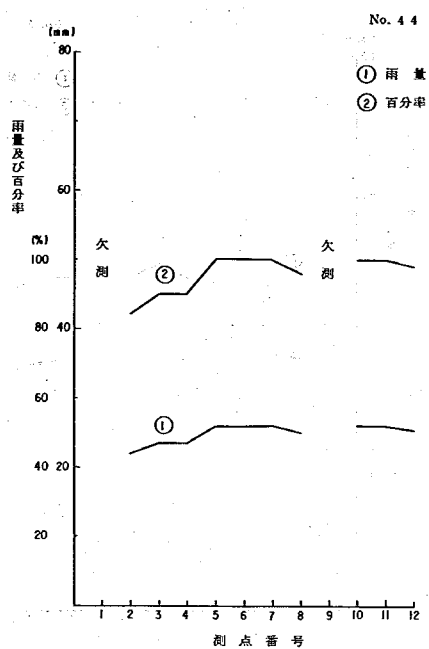
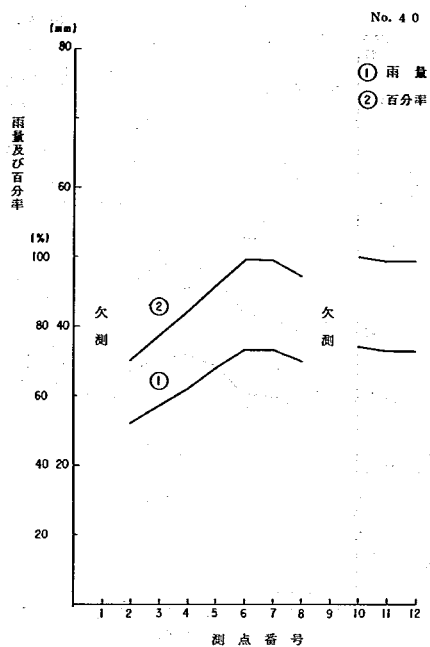
No.	年 月 日	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10	No. 11	No. 12	風 向
81	49年10月22日 月23日	31.0	23.0 +()	37.0	34.0	32.0	11.0 +()	37.5	35.0	35.0	34.5	35.5	36.0	ESE ENE NE 1.5 7.5
82	10月27日 月 日	8.5	5.0	9.0	9.0	8.0	2.0 +()	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	8.5	SW 0.5 1.8
83	10月30日 月31日	9.5	3.0 +()	10.5	10.5	7.0 +()	4.0 +()	11.0	10.0	9.5	10.5	10.5	10.5	WNW NW 0.5 1.5
84	11月 日 月 5日	6.0	2.0	6.0	6.0	4.5	+()	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.5	NE 4.0 6.0
85	11月17日 月18日	18.0	16.5	23.0	23.5	27.0	17.0 +()	26.0	25.0	26.0	27.5	26.0	26.0	W NE SSE 0~ 1.5 3~ 10.5
86	12月 2日 月 3日	14.5	13.5	17.5	17.5	17.5	欠測	18.0	17.5	16.5	17.5	17.5	17.5	NW NE N 1.5 7.5
87	12月 3日 月 日	3.5	2.0	4.0	3.5	5.0	欠測	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	
88	12月10日 月 日	15.0	11.0	15.5	15.5	15.5	欠測	16.0	15.5	15.5	16.0	16.0	15.5	NNE N WNW NW 2.0 4.5

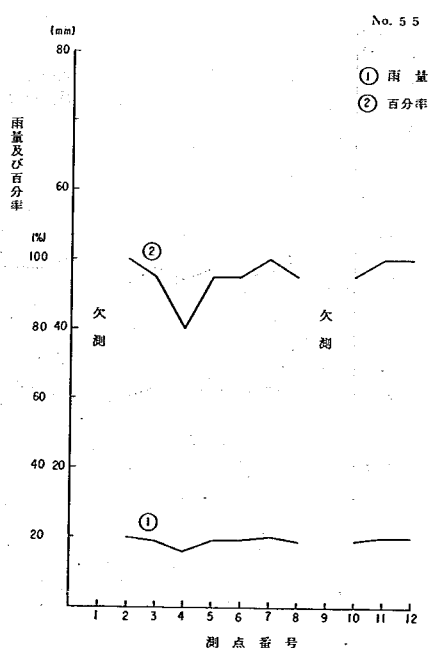
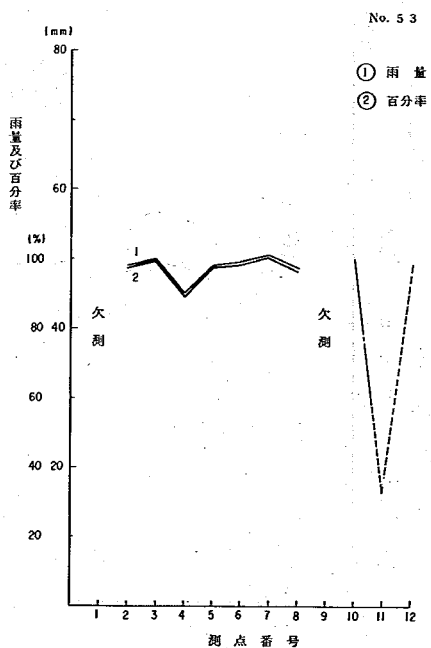
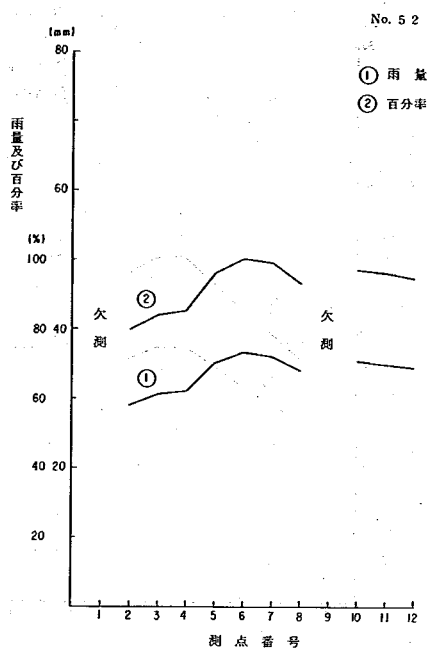
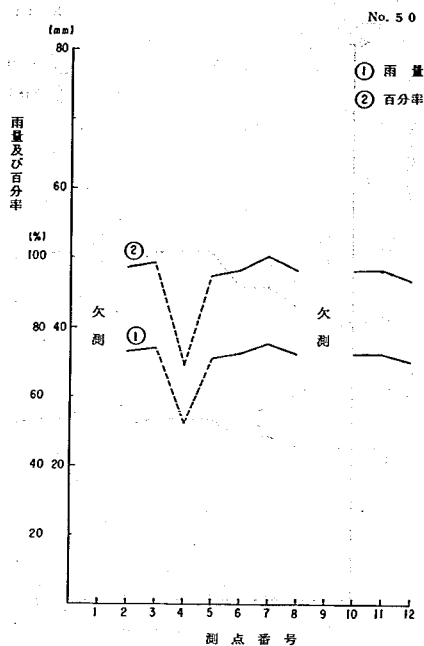


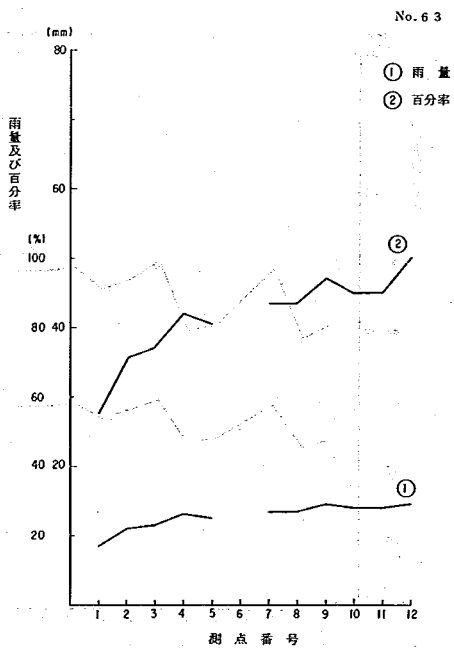
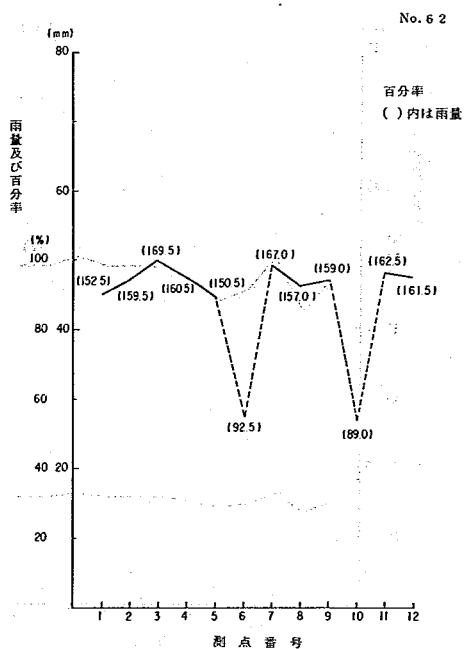
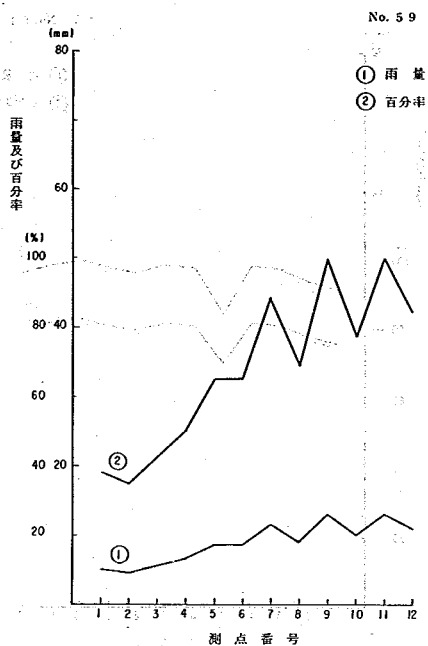
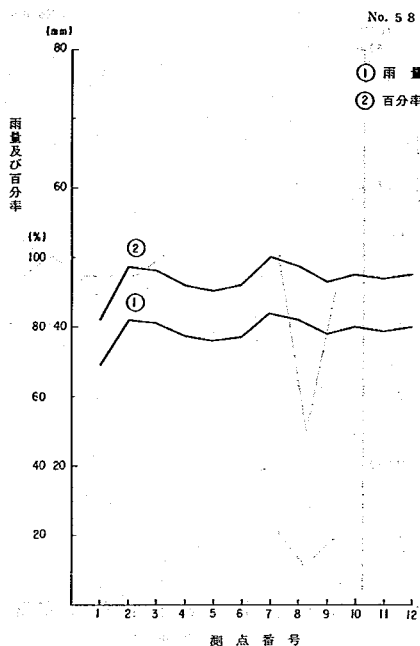


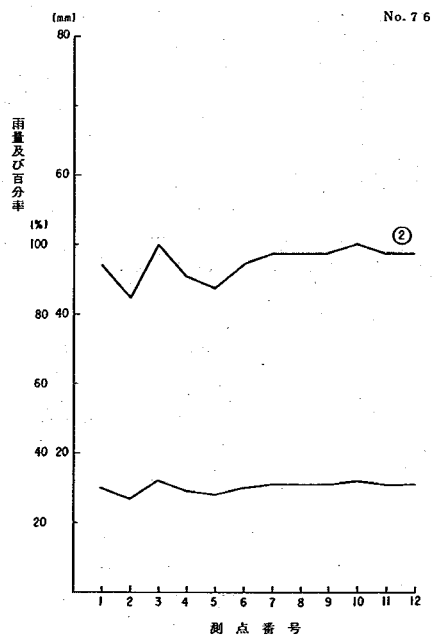
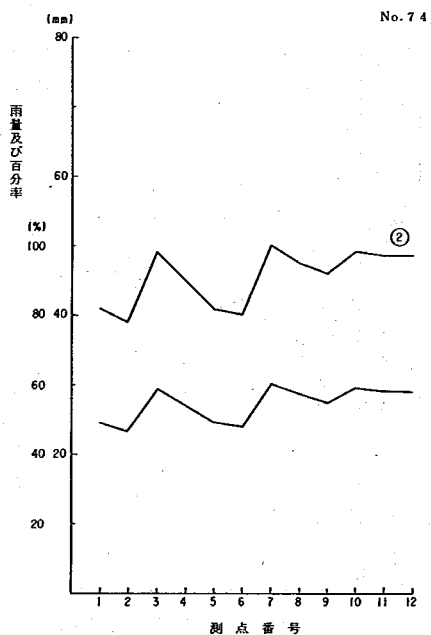
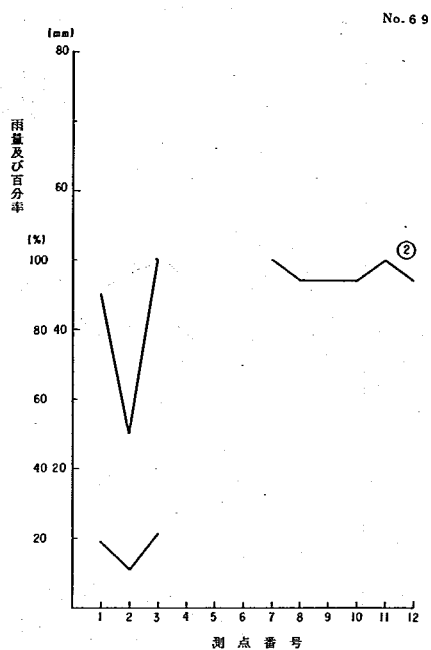
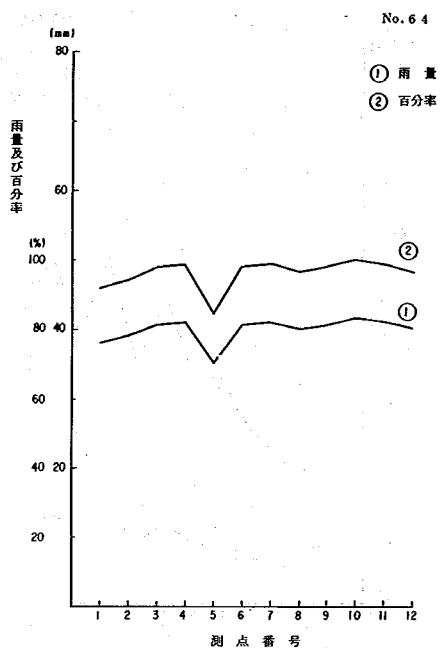




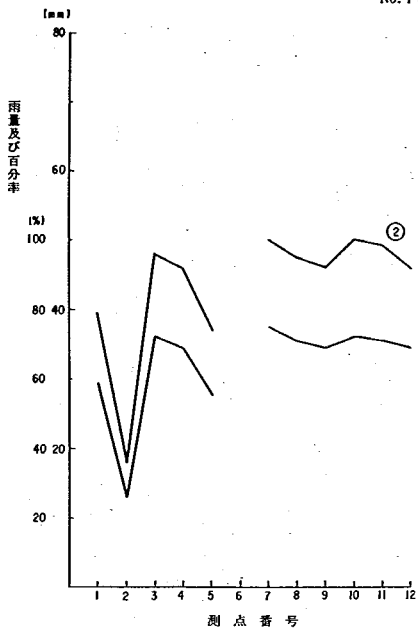




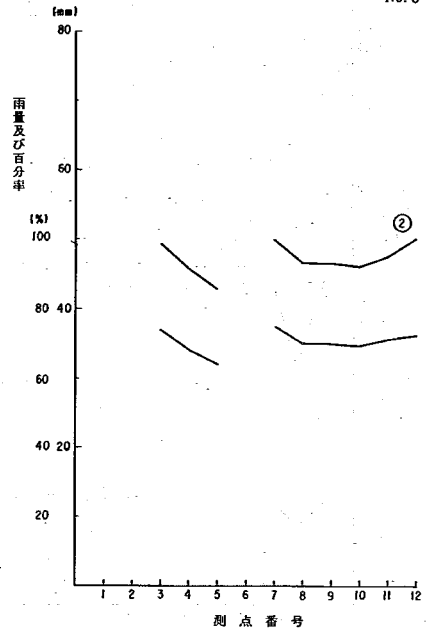




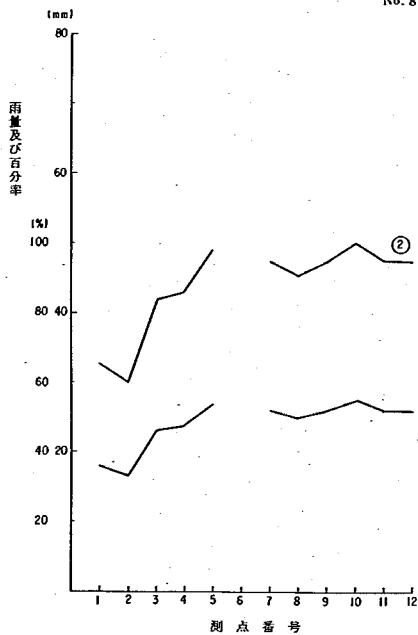
No. 7 8



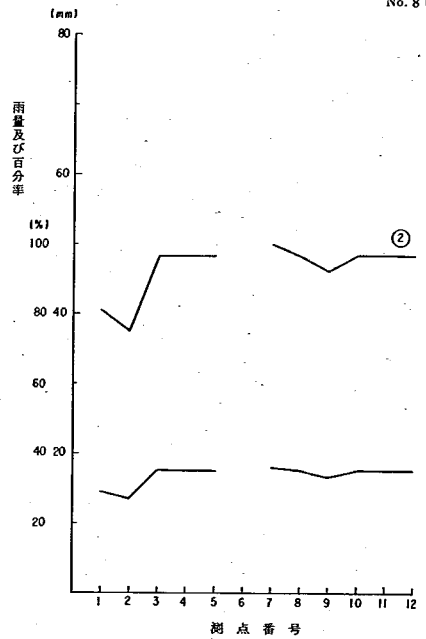
No. 8 1

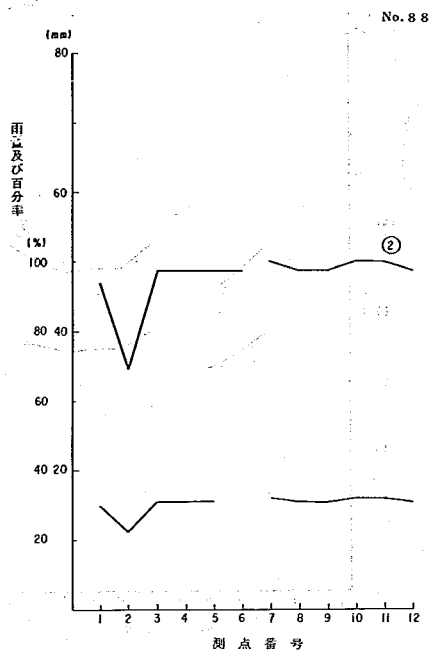


No. 8 5



No. 8 6





河川砂防技術基準(案)

調査編

第 1 章 降水量調査

第1章 降水量調査

第1節 総 説

本章は、地上において降水量計により行う降水量の調査に関する標準的手法を定めるものである。

第2節 観測所の配置と設置

2.1 配 置

降水量観測所の配置は、調査対象区域をおおむね均一の降水状況を示す地域に区分してその各地域ごとに1観測所を配置するものとする。ただし、おおむね均一の降水状況を示す地域に区分することが困難であるときには、調査対象区域をおおむね 50 km^2 ごとの地域に区分して各地域ごとに1観測所を設置すること。

解 説

降水量観測所の配置密度は、他機関の降水量観測所で、永続性と精度に信頼がおけ、かつ利用可能なものがあれば、それを含めて考えてよい。

配置密度は降雨特性が単純で、よく把握されているところでは、 50 km^2 より疎であってもよい。

洪水予報業務のテレメータ雨量計においては、データの確実な収集を目指して、密度を疎にせざるをえない場合がある。しかし、ダム流域で重要性が認められる場合は、基準密度より密にしなければならない。また都市河川などでは調査対象区域が狭い場合でも、2観測所以上設置しなければならない場合がある。

区分された各地域内において降水量観測所を配置するに当たっては、降水量の代表性のある地点を選ばねばならない。そのためには、事前に降水量観測を密に行い降水の特性を十分把握してから降水量観測所を配置する点を選ぶことが望ましいが、それが困難な場合には、区分された地域の重心付近で平均高度となっている地点を選ぶとよい。

2.2 設置場所の選定

図上で設置場所を選定する場合には、次のような場所を選定しなければならない。

1. 地形が狭窄して風向、風速が特殊な値を示すようなことがない所。
2. 風衝、風背、その他特殊な降水状況を示すようなことがない所。

解 説

降水量観測所の配置を決定した後 $1/25\,000 \sim 1/50\,000$ の地図により設置場所を選定する。

降水量の観測値は、風の影響を強く受けるので、まず、図上で適切な設置場所を選定する。例えば、両側に

調 査 編

山が迫ったような地形の狭窄した所では、風がほとんど一方向に吹いたり、特にその部分だけに強く吹くような場合があり、また付近に高い山があって壁のようになっている所は、風の吹き方が特殊な状況を示し、その影響で降水量の観測値自身も代表性が減じる場合があるので、このような場所に観測所を設置するのは避けるべきでない。

なお、テレメータ雨量計に関しては、アンテナを電波伝播条件の良好な所に設置しなければならないので、降水量観測所の設置に当たって考慮する必要がある。

2.3 設置場所の決定

設置場所は、原則として次の各項に掲げる条件に適合するよう決定するものとする。

1. おおむね 10 m 四方以上の広さの開放された土地であって、空気流線の変化が少ないこと。
2. 湛水する恐れがないこと。
3. 観測に便利で、付近に観測員が得やすいこと。

解 説

前項により地図上で観測所の設置場所を選定した後、現地で本項の条件を考慮して具体的な設置場所の決定を行う。

1. すぐそばに建物があったり大きな樹木があったりすると、これが風に影響を及ぼし、風が降水量観測値に影響を及ぼす。この影響範囲については定説はないが、600 m² 以上の露場を設け、その中に設ける（地上気象観測法）、建物、樹木の高さの 4 倍以上離れた場所に測器を設置することが望ましい（地上気象観測法）などと、定めた例がある。

しかし、現実にはそのような場所がなかなか得られないので、本項ではおおむね 10 m 四方以上の広さの開放された土地と規定した。

都市域などでは、この条件すら満たすことができず、ビルの屋上などに取り付けざるをえない場合があるが、この場合でも孤立したビルの屋上や屋根の上では好ましくない（地上気象観測法）。

2. 凹地等で周囲の水が流れ込んだり排水が悪かったりして、大雨のとき水が溜るような所は、雨量計に溜り水が入ったりするので避けなければならない。大雨のときは、平常では考えられないような方向から雨水が流れてくることがあるので、観測所は、周囲地盤より幾分高くしておくか、排水路を周囲にめぐらしておくことよい。
3. 観測と巡回点検を行う際の通行の容易さと安全とが確保できなければならない。また、通信連絡の容易さも考慮する必要がある。電話のある所は洪水予報のための通報に便利である。

第 3 節 設 備

3.1 測 器

降水量観測用の測器は、気象業務法、気象測器検定規則に適合したものでなければならない。

解 説

気象業務法、気象測器検定規則に定められた降水量計には多くの種類があるが、常用される測器は、次のもの

第1章 降水量調査

である。

1. 普通雨量計
2. 自記雨量計
3. 普通雪量計
4. 自記雪量計

このうち、自記雨量計は受感部の型式により、転倒ます型、貯水型、はかり型（重量計）があり、日本では、前二者がよく用いられる。

普通雪量計は受水口より入った降雪を貯留できるものである。

自記雪量計は、はかり等で降雪量を検知し、自記記録するようになったものである。

このほかに、自記雨量計と自記雪量計との機能を兼ね備えたものに自記雨雪量計がある。

なお、雪量に関し、寒冷地では、積雪量の変化高から降雪量を求めることもある。

これらの測器は気象業務法及び気象測器検定規則による検定に合格したものでなければならない。

3.2 受 水 口

雨量計の受水口の直径は20 cmを基準とする。受水口は水平に設置する。受水口の高さは測器の種類ごとに決められているから、これを大きく変えてはならない。

解 説

雨量計の受水口の直径は通常 20 cm であるが、山岳用長期巻雨量計は 10 cm、無線テレメータ雨量計は 20 cm のほか 14.14 cm のものも用いている。

山地の斜面に取り付ける雨量計であっても、受水口は水平に設置する。測器据付中も水準には十分注意を払わねばならないが、カバー等をかけた後にも、受水口が水平であることを確かめておくこと。

受水口の高さは測器の種類ごとに決められている。一般には低いほどよいが、測器の機構（特に排水方式）と地面からのはね返りを防ぐことの2点で下限が制約される。普通雨量計の受水口の高さは、地上 20 cm とすることになっている。地面から雨水のはね返りを防ぐためには、受水口の周囲 1 m 四方に芝生を張り、よく刈り込んでおくといよい。また、風の影響が著しいと思われる観測所では、受水口に風よけを付ける必要がある。雪量計などにおいては、常に積雪面上に受水口が出ていなければならないことはいうまでもない。

3.3 記録部の据付け

自記の記録部は、原則として屋内に据え付けるものとする。ただし、やむをえず屋外に据え付ける場合には堅固な基礎を設けること。

解 説

貯水型自記雨量計などの場合、受水口を小屋の屋根の上に置き、ホースで雨水を屋内へ導いて、受感部、記録部を小屋の中に置いた場合があった。

しかし、最近では測定、維持、管理上の便を考慮して自記雨量計の受水口、受感部を屋外に据え付け、電線により電気信号を室内へ導き、室内に記録部を置く方式が多くなってきた。

本章 3.2 受水口でも述べたが、測器を水平に据え付けることは大変重要なことであり、特に転倒ます型自記雨量計の場合は重要である。このため風雨、凍上などで傾かないような堅固な基礎が必要である。

3.4 普通雨量計等の併置

自記雨量計には原則として普通雨量計を、自記雪量計には原則として普通雪量計をそれぞれ併置するものとする。

解 説

自記計にはまだ不安があるので、なるべく普通計を併置し観測員等をつけたほうがよい。特に自記雪量計には普通雪量計は必要である。

3.5 標 識

設置された測器の付近には、観測所名、水系・河川名、設置者名、設置年月日、観測所所在地、緯度、経度、標高、観測所番号及び観測員名を記した標識を立て、更に必要な場合には、周囲に柵などを設けるものとする。

解 説

標識は、観測所の名称、観測所の諸条件等を周知徹底せしめることを目的とするほか、整理、照合などに間違いを起こさないようにすることを目的として設置する。

周囲の柵は管理上の必要性を考慮して決める。

なお、標識や柵が観測の妨げにならないように注意しなければならない。

3.6 台 帳

観測所を設置し、又は既存の観測所に観測を委嘱した場合には、降水量調査を行う者は、降水量観測所台帳及び付図（位置図）を作成しなければならない。

解 説

降水量観測台帳には、次の項目が記載されていなければならない。観測員、機種等に変更があった場合はその都度、改訂していかなばならない。

観測所名、水系・河川名、設置者名、観測開始年月日、観測所所在地、緯度、経度、標高、観測所番号、観測員、機種、通報場所、原簿保管箇所、観測記録送付先。

付図は 1/50 000 地形図などを利用して観測所の位置を明記する。

上記を含め、様式は水文観測業務規定による。

第 4 節 観 測

4.1 観 測 員

1. 観測員は次に掲げる条件を有する者のうちから、降水量調査を行う者が委嘱するものとする。

- (1) 長期間継続し、一定時刻に観測作業に従事することが可能な者。

第1章 降水量調査

(2) 自記器械を設備する観測所にあつては、自記器械の取扱いに関し必要な知識を有する者。

2. 観測員を委嘱したときは、原則としてその旨を観測所に表示するとともに委嘱辞令書を本人に交付するものとする。

3. 降水量調査を行う者は、観測が円滑に行われるよう配慮するとともに、観測心得を交付し、原則として年1回観測員の講習を行わなければならない。

解 説

自記雨量計等による観測所にあつても本章3.4で定めたとおり原則として普通雨量計等を併置する必要があるので、観測員を置く必要がある。観測員を委嘱したときには、本文2.で定めたとおり、観測員に観測を委嘱したことを明確にしておかねばならない。

また、本文3.で定めた観測の円滑化のためには、観測所へ至るまでの通路の保持と安全管理、及び不測の事情のあるときの代理観測員の確保などが必要である。

講習は、雨期の前など、観測の重要性が高まる直前に技術の一層の向上を目指して行うものであり、

1. 観測の目的の再確認
2. 観測手法の訓練
3. 故障した場合の対処方法の研修

などを含むものとする。

4.2 観測心得、観測員心得

降水量観測を行う者は、観測心得、観測員心得を定め、これを観測に従事する者に交付しなければならない。

観測心得には、次に掲げる事項を定めるものとする。

1. 観測の目的と意義
2. 観測施設の使用法
3. 観測器械の取扱方法
4. 観測の実施に際しての必要な注意事項
5. 臨時観測の基準
6. その他必要な事項

観測員心得には、次に掲げる事項を定めるものとする。

1. 観測記録の取扱方法及び報告の方法
2. 観測員の新任、辞任又は代理の場合の手続
3. 物件の保管及び引継ぎ
4. その他必要な事項

解 説

降水量調査を行う者は、観測員に観測心得、及び観測員心得を十分説明し、理解させておかなければなら

い。

1. 観測の目的と意義に関しては、観測が災害の防除、水資源開発、環境保全などに役立っていることをわかりやすく記す必要がある。
 2. 観測施設、器械の取扱方法は、単に業者の取扱説明書というのではなく、利用者の立場からの説明書でなければならない。
 3. 観測の実施に際して必要な注意事項として、自記紙の読みは測器の故障発見にもつながるから、丁寧に記しておく必要がある。記録の反転する方式は、読み違えないようにする。
 4. 臨時観測の基準に関しては、大雨が予想されるとき（例えば大雨注意報発令時）には普通雨量計によって時間雨量が得られるよう手はずを整えておく必要がある。
- その他必要な事項として、
5. 観測記録の報告に関しては、報告の期限、発送の方法などを記しておく必要がある。
 6. 観測員の代理の場合の手続に関しては、代理観測員の任命、解除にも辞令を交付することとして、その手続を記しておく必要がある。
 7. 故障時の処置と連絡先、異常値が観測された場合の連絡先などを具体的に示しておく必要がある。

4.3 巡回点検

観測が確実に行われているかどうかを調べるために、定められた時期に観測所を巡回し、測器の稼働状況、観測員の観測の状況を点検するものとする。少なくとも巡回点検は月1回とすること。

また、このため観測所ごとに維持管理上必要な事項を記入した点検簿を備えること。

解 説

最近では、無人観測所が増えたため、巡回点検の重要性は増した。ここでは少なくとも月1回としたが、巡回頻度は無人観測所の場合は多くしなければならない。点検結果は点検簿に詳しく記録しておくものとするが、点検簿記入に際しては空欄を残さぬようにして不要の欄はその旨記入するか斜線により空欄を消すかする必要がある。

点検すべき主要な事項は次のとおりである。

1. 観測員の安否：これは出稼ぎ、移転などで本人が不在となり、家族や近隣の人が代行していないかについての確認を行うものである。
2. 観測所の周辺状況：これは通路の保持と安全管理は大丈夫か、高い木が伸びたり、建物が立っていないか、柵は破損していないか、等について点検を行うものである。
3. 記録の当否：これは欠測はないか、あれば原因は何か、時計の狂いはないか、他の観測所と比べて著しい違いはないか、等について点検を行うものである。
4. 器械の状況：受水口の漏斗は詰まっていないか、貯水槽、転倒ますなどに泥が詰まっていないか、器械の破損（特に受水口の変形）はないか、自記計の場合は、所定量の清水を受水口よりゆっくり注入して相当量の指示の変化を示すかどうか、電池の出力は十分か、セットされた記録用紙の残量が適切か、等について点検を行うものである。
5. 野帳記入状況：これは定められたとおり観測が行われているか、特に雨の降らなかったと思われる日でも観測員は定められた時刻に雨量計を調べ様式どおりの記載をしているか、について点検を行うものである。
6. 予備品、消耗品の残量、特に記録用紙の残量：点検の結果、具合の悪い点を見出した場合には、その場で直ちに修理を行う必要があり、もし修理できなければ、直ちに予備器械と交換する必要がある。そのために巡回に当たっては、修理用具と予備器械とを携行するものとし、次期巡回点検までの記録用紙使用量の2倍程度の量を観測員の手元に残量として確保しておく必要がある。

第1章 降水量調査

4.4 普通雨量計による観測

普通雨量計による観測は毎日9時に行うものとする。降水量は所定時間内に受水口を通った降水を同面積の水平面に溜ったとしたときの水深で表し、読取単位は mm とする。また、最小読取単位は、0.1 mm を原則とする。

受水器内に雪、雹、霰等が積もっているときは、既知量の温湯を注入して溶かして測定した後、注入した温湯量を差し引いて求めること。

解 説

普通雨量計の観測時刻は9時を厳守しなければならない。なぜなら、降雨中において9時30分に観測しても、9時に観測した値に換算し得ないからである。9時に観測できなかった場合には、実際の観測時刻を記録しておくものとする。

観測には所定のメスシリンダで測れば mm 単位で目盛ってあるので便利である。最小読取単位は 0.1mm であるので視差を生じないように注意して正確に読み取る。1回で測れないときは、数回に分けて測ることになるが、1回ごとに取り分ける量は、9.8mm でも 10.1mm でもよいのであって、要はこぼさないことに主眼を置いて、読み取ったとおり記録すればよい。

冬期などには受水器の底に雪などが積もっていることがあるから忘れずに溶かして測る必要がある。

4.5 自記雨量計による観測

自記雨量計による観測は、自記紙の交換と記録の読取りとに分かれる。

1. 自記紙の交換は所定の時刻に定められた方式で行い、併置した普通雨量計の観測も併せ行うものとする。
2. 読取りは、時計の遅れ進みに応じて時刻の補正を行い、前日の9時から当日の9時までの降水量を読み取り、所定の様式に整理すること。

解 説

自記雨量計には、記録部時計の能力により、日巻、週巻、1ヵ月巻、3ヵ月巻などがあり、1ヵ月巻以上を長期巻と呼ぶ。

1. 自記紙の交換は日巻、週巻の雨量計においては9時に行う。月巻以上の長期巻の雨量計ではいつでもよいが、できれば9時に統一しておいたほうがよい。自記紙の交換は観測心得に従って正確に行う必要がある。なお、自記紙を交換するときに、強雨のあるときは、暫く待って小雨になってから交換するとよい。自記紙交換に際しての主たる作業を、その順序に従って記す次のとおりである。
 - (1) 自記紙を取り外す前にペン位置に印を付け、年月日、時刻、天候、取り外した人の姓名を自記紙に記入する。
 - (2) 新しい自記紙を取り付ける。スプロケット穴を正確に合わせる。フランジ付のドラムでは、たるまないように、フランジにぴったり付ける。時刻目盛を合わせ、年月日、時刻、天候、取り付けた人の姓名を自記紙に記入する。
 - (3) インクの点検をする。ペン先に十分ついているか、つき過ぎていないかを点検する。古くなったインクは、水で洗い流し、新しいインクを補給する。このとき必ず所定のインクを使用する必要がある。

附 主 編

- (4) センマイを巻く。又は電池を取り替える。センマイは、所定回数巻くようにして巻き過ぎないように注意する。電池の交換は若干早めに行う。

同時に行う普通雨量計の観測は、本章4.4で述べたとおりであるが、9時という時刻厳守については普通雨量計のほうを優先する。

2. 読取りは、時計の遅れ進みに応じて時刻の補正をしなくてはならない。読取りの項目は、次のとおりである。降雪地帯の冬期間等は、雪量計によって測られた値を記入する。

なお、記入に際しては空欄を残さぬようにし、不要の欄はその旨記入するか、斜線によって空欄を消すかする。

- (1) 日降水量：前日の9時より当日の9時までの24時間に降った降水量を前日の日降水量として記録する。
- (2) 時間降水量：毎正時における前1時間の降水量。
- (3) 強雨が合った場合には、任意時刻において、その最大強度を示す1時間及び10分間の降水量とその生起時刻。なおこの場合、1時間降水量については前日の23時30分より、翌日の0時30分までの25時間内において読み取る。10分間降水量については、前日の23時55分から翌日の0時05分までの24時間10分内において読み取る。

測器の機種選定に関しては、互換性を考え、機種の統一を図るのもよい。費用、設備、観測員の問題も関連するので一概にはいえないが、取扱いの容易さを考えれば転倒ます型自記雨量計がよい。

4.6 普通雪量計による観測

普通雪量計による観測は本章4.4普通雨量計による観測に準じて行うものとする。

4.7 自記雪量計による観測

自記雪量計による観測は本章4.5自記雨量計による観測に準じて行うものとする。

解 説

自記雪量計には、はかり型自記雪量計、転倒ます型自記雪量計などがある。電熱器を内蔵したものが多く、気温などの外圍条件によって電熱器の利用には限界があるから取扱説明書によること。

用紙交換、読取り等の作業は、自記雨量計による観測に準じて行う。

4.8 関連気象要素

関連気象要素としては、必要に応じ次の項目を観測するものとする。

気圧、風向風速、蒸発量、気温、湿度、日照・日射

解 説

蒸発量の観測以外は自記計が市販されているが、自記計を用いるときには気象業務法で定められた検定を受けることはもちろん、常日ごろ、基準となっている普通計との比較を行わねばならない。項目と主な用途は次のとおりである。

1. 気 圧：天候変化の予測、降水量記録のチェック
2. 風 向 風 速：特に台風の予測、降水量記録のチェック
3. 蒸 発 量：水資源開発のための水収支計算
4. 気 温：融雪予測、降水量観測所保守

第1章 降水量調査

5. 湿度：一般的な水文観測所保守
6. 日照・日射：蒸発量チェック，降水量チェック，融雪予測

4.9 テレメータ化

降水量観測所をテレメータ化する場合においては，次の諸点を考慮しなければならない。

1. 観測値の代表性
2. これまでの稼働状況
3. 観測のチェック方式
4. 電気的条件

解 説

1. 観測値の代表性の考慮とは，テレメータ化しようとする観測所の観測値が流域平均降水量などとよい相関があるかどうか，あるいは逆に，是非必要な特殊な値を示すかどうか，についての考慮である。
2. これまでの稼働状況についての考慮とは，これまで，受感部など（テレメータ機械に接続されるまでの部分）が原因で，欠測や観測不良を起こしていないかどうかについての考慮である。
3. 観測のチェック方式についての考慮とは，テレメータ化した後に，現地記録と伝送記録とをチェックする方式についての考慮である。テレメータ化した後も，現地で自記記録を行い，チェック体制を完全にしておかなければならない。現地記録と伝送記録とに差異が生じた場合には，(1)現地記録の時計などに誤りはないか，(2)伝送系に誤りがないか等の考察が必要である。
4. 電気的条件の考慮とは，電源（特に停電対策），電気回路の温度・湿度変化に対する対策，アンテナ位置の電波条件等についての考慮である。

第5節 データ整理

5.1 データ整理

降水量のデータは，所定の様式に従って整理するものとする。

解 説

日降水量年表，時間降水量月表，一降水量表を作成する。様式は水文観測業務規定による。

なお，特にこの場合，欠測と降水が観測されなかったことは明確に区別できるように記入する必要がある。

5.2 作業の分担

作業の分担はデータ整理の作業が円滑にできるようにあらかじめ関係者間で定めておかねばならない。

解 説

データの整理には色々の段階があり，これが一つの流れに整理されていかなければならない。したがって，関係者間の分担をあらかじめ定め，整理に停滞のないようにしなければならない。ことに作業が外注，電算処理に移っていくとき，全体の精度向上と能率とを考慮して，作業の分担を定めなければならない。

5.3 照 査

5.3.1 照 査

データを発表するまでには整理の各段階ごとに十分な照査を行い、発表の数値に万全を期さなければならない。

解 説

作業の照査は、作業者と別の人が、次の点について行う。外注した場合は特に照査は重要である。

1. 観測値及び記録：観測値の錯誤（例えば反転機構のある記録計の読み違い）の有無、器械の故障や取扱いの不備による記録の誤り（例えば、自記紙の目盛りをはずれた記録の取扱い）の有無について照査を行う。
2. 転 記：転記の際に写し違えることが非常に多いので、照査の折には十分注意することが必要である。
3. 計 算

5.3.2 処 置

照査の結果、疑問があれば問いただし、誤りを見出した場合は所定の手続を経て訂正しなければならない。

解 説

疑問があれば必ず問いただし、野帳、点検簿、自記紙等を入念に調査しなければならない。訂正する場合は、取り扱った一部のみを訂正するだけでなく、その部分が関係するすべての数値を訂正するとともに、それまでの整理の全過程にさかのぼり確認し、同種の誤りが無いことを明らかにすることが必要である。

5.4 保 管

野帳、自記紙及び整理資料は確実に保管しなければならない。このためあらかじめ保管の区分を明確にし、更にこれらの受渡しについての確実な方法を定めなければならない。

解 説

野帳、自記紙及び本章 5.1 による整理資料は、いずれも永久保存である。保存分担は別に定める。最近では複写技術も進歩したので大いに利用すること。特にマイクロフィルムは有効なので利用するとよい。受渡しについては常に慎重を期し、複写する前に郵送しなければならないときは必ず書留にすること。また、使送による受渡しにはメモを付けて、トラブルの残らないようにするとよい。

〔参 考 1.1〕 関連諸法規等

本省に関連する法規等の主なものとしては次のものがある。

1. 気象業務法 2. 国土調査法 3. 水文観測業務規程

参 考 文 献

- 1) 地上気象器械 共立全書53 佐賀亦男
- 2) 応用水理学（下）Ⅰ（水文観測）S46.1 丸善

参 考 文 献 集

本文献集は、電力気象連総会彙報（Vo 1 12 から「電力と気象」）の中から、地上雨量計の設置にかかわる文献を抜粋転載したものである。部内資料であるので、取り扱いに注意されたい。

Interprétation des mesures pluviométriques Lois de la pluviosité

雨量測定 of 解釈, 降雨 of 法則

M. Louis Serra

Ho. Bl. VII, n° B. p. 491—505, 1952.

紹介者 小平吉男 (東京管区気象台)

概 要

雨量計に対する斜面及び風向の影響が明かにされているので、水理学者が雨量の資料から流域内の降水量の計算をするときの注意すべき点が明瞭になった。雨量計は受水口が水平であればよいもので、それで測られた降雨量を如何に使用するかの立場をよく理解することが必要である。又雨量計の誤差も場合と場所に依つて異なるが凡そ 7~8% 位は考えてよいようである。

降水量にはいろいろの法則が成立する。例えば斜面傾斜の法則、高さの法則、海よりの距離の法則などがそれである。降水量はこれらの法則が組合つた一般の法則に従うことを考慮に入れてはじめて、降雨の法則を解明することが出来る。

I. 緒 言

普通雨を持つた風に露出している斜面は峰の陰になつてゐる斜面より雨が余分にかかり、又一般に傾いた表面が受ける雨量は同じ表面が水平であるときに受ける量とは異なることが認められている。

観測も非常に多く、報告や論文も多い。又使用されている雨量計の型も多様であつて、これは誰もが、誤差は隣の器械の爲であるとしてそれを直すことの出来る器械を作り出そうと工夫するからである。

然しこれら調査研究は全体として整つた原理を作るのに成功してゐると思われぬ。時々いろいろの著者の結論には矛盾が存在することさえある。よく調べてみると誤差は実際のものというよりは見掛け上のものであることが判るので、雨量測定に対して焦慮と不信の念を起させることになる。

雨はありふれた現象で非常に長期間に亘り測られている。それが爲に測ろうとするものは何か、何のために測るのか、測定は如何にすべきかを正確に知ることを屢々忘れることになるものと思われる。

然しこれらの点は反省してみる価値がある。

II. 一般的考察

a) 第一に何を測るべきか？ 大気の降水量の問題であるから、何の曖昧もない：気象学的に

言うと、降水量は液体又は固体状態の大気の水の量であつて、与えられた水平面、即ち雨量計の切口を通る量で測るのである。水平面は器具としては雨量計の水平な受水口であり、固形の降水の場合には補助的にその積る矢張り水平な面に依つて現わされる。

このことに依つて傾いた雨量計 (Brooks, Hoeck など)、球形雨量計 (Lutsch, Hass)、方向性雨量計又は立体雨量計 (Pers) などは除外される。

又このことに依つていろいろの降水量に差があるとの主張、例えば理想的に平な面に集められる水の層を表わす“気象学的降水量”と傾いた面の上に動かないと仮定し、且つ流出も、滲透も蒸発もないときの水の層を鉛直に測つたものとする“水理学的な降水量”との差のあるという主張は解消される。

実際一つの観測所に於いて受水口が水平な雨量計と傾いた受水口の雨量計で測つた雨量は明らかに異なるが、これを考えるというのは少しわざとらしく思われる。事實は地上に落ちた雨量はきちつと決つたものであつて、その一定の量の解釈が利用者に依つて異なるのである。気象学者と水理学者とは同じ目的を追及しているのではなく、同じ要求をすることはあり得ない。

b) 従つて各自雨量が何故必要かを正確に知るのが適當である。気象学者は雨を彼の研究の対照である気候の記述の要素と考えている。彼は一つの観測所に於いて、液体又は固体として地上に到着するとして、一年間に雨量がどれ位あるか、又月又は季節に分けてどの位あるかを知る必要がある。この雨量を他の気象要素 (気圧、気温、日射、風など) と結び合わせて一つの“気候”を定義することが出来る。従つて彼に興味のあるものは、名前を附けるとすれば、“気象学的雨量”、即ち受水口が水平である雨量計の生の結果である。

これに反し水理学者に対しては雨は気候の記述以上のものである。即ち流水量の構成要素である。傾斜している流域に於ける水理学的な水量の研究には、彼は流域全体にどれ位の水が落ちるかを求めようとするだろう。非常に近い所の一つ又は数個の観測所の雨の“地点”量があつても充分でなく、雨の降る流域の連続な面に対する積分値、即ち表面の総ての点で集められる水の総量が必要であらう。

この表面は一般には水平ではない。面積を出すには水平面へ投射した地図を本にするので地図上の面積を実際の面積に引直すための土地の傾き α なる要素を計算のとき使用せねばならぬ。

又一方に於いては大気が絶対に静かであるような、殆んどないといつてもよい日を除いて、雨は決して鉛直には落ちない。従つて雨滴の経路の傾き θ を計算に入れなくてはならない。この二つの角 α , θ は論文にはつきりしているのは稀である。

混乱を避けるために次のことを述べるのもあながち無用ではないと思われる。この場合初歩

的と見えることではあるが、雨量測定 of 正しい解釈の根底となる点に就いて説明するのを御許し願ひ度いと思う。

雨量測定に入ってくる諸量

a) 水平な土地

1. 最初に大気は静かであるとする。雨は垂直に落下する。雨滴生成の詳細は完全には知られていないので、それを述べるのは避け、簡単に雨の機構の現在の考え方を述べよう。

普通私達の緯度の如く温帯に於いては、雲からの降水は同時にその中に過飽和水蒸気と過冷却の水滴と氷晶とが存在するときに起るのである。“人工雨の製造者達”が起こさせようと研究しているような影響に依つて、過冷却水蒸気は氷晶の上に凝結する；大気は湿度を減じ水滴は蒸発して、その水蒸気が氷晶につく、氷晶は大きくなり、その目方を増し、重力の作用が上昇気流の作用に打ち勝ち、氷晶は雪片の形として落下する。雪は 0° の等温層を通つて融解し、雨滴の形で落下を継続する。

地上の観測者——これを今考えているのであるが——に対してはあたかも或る可降水量のある雲の 0° の等温の平面から水滴が離れるように見える。

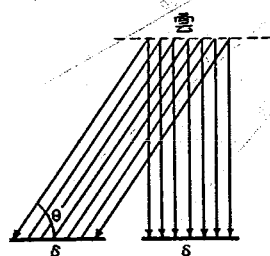
今雲の下の水平面の単位面積を通つて地上の単位面積に達する水滴の数を γ とすれば、地表の水平面積 S は γS 個の雨滴を受ける。

2. 地上附近に強さと方向の一定の風が吹いているとする。風の影響は後で詳しく研究するが、風は一様であつて、どの雨滴にも同じ傾斜を与える影響しかないとしよう。雨滴の経路はお互に平行で地上に θ なる角度で到着するとしよう。

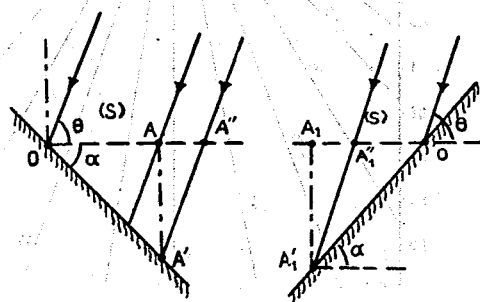
地表の単位面積の受ける雨滴の数は前と同じであるから、地表は γS 個の雨滴を受ける。

b) 傾斜した土地

α を土地の水平との傾とする。断面に示してある土地の一部分 OA' の水平の投射が OA



第1図



第2図

であつて、その面積を S とする（地図で測る面積は OA の面積である）。

若し雨が鉛直に落ちると（大気の静かな場合は $\theta=\pi/2$ ） OA' は OA と同数の雨滴を受ける。地面上では多少拡つてゐるが、雨量自身には変化はない。

雨が水平と θ なる角度をなして落ちるときには、実際の地面 OA' 上に落ちる雨滴の数は水平面 OA'' の上へ落ちる数と同じである。

従つて前面から雨が降る場合には、同じ水平面よりは多く降ることになるのは、 $AO'' > OA$ なることから判る。

反対の斜面では $OA_1'' < OA_1$ であるから、逆である。

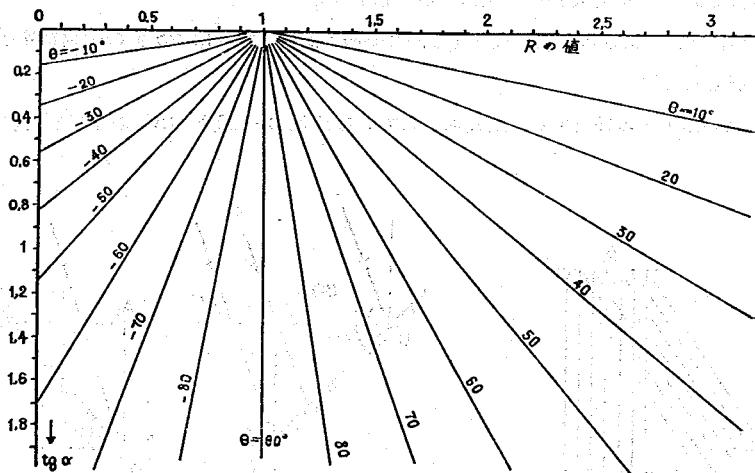
受水口の水平な雨量計で、その面積が単位面積であれば γ 個の雨滴を受ける。これは降水量 h である。気候学者にはこの数字があれば充分である。水理学者は地面に受ける全体の雨量を知ろうとしているので、雨量 h に地図上の面積 S を掛け、更に $OA''/OA=R$ なる比を掛けねばならぬ。この比は傾斜が α なる地面に θ なる角度で雨が降る場合に土地が受ける雨量の増加（反対側の傾斜に対しては減少）の割合を表わす。

簡単な幾何学的計算に依り

$$R = \frac{OA''}{OA} = 1 \pm \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \theta} \quad (1)$$

+ なる符号は雨の正面の斜面に対して、- なる符号は後面の斜面に対するものである。

この関係を図表にすれば第3図となる。



第3図

傾斜した雨量計を用いる場合の注意

a) 或著者は傾斜した雨量計，即ち受水口が土地の傾斜に平行なものをを用いることを推奨している。

この場合にも平行ということを正確にするにはどうすればよいかを明確にする必要がある。次の二つが考えられる。(スイス及びアメリカでは二つの型を実験した。)

普通の雨量計で，同形で面積 σ の受水口を傾けるだけで他に変形をしない場合 (型 b)。

傾斜に平行な面を鉛直な切口面積 σ の円筒で切り，受水口を楕円形にする場合 (型 c)。

水平の受水口の雨量計 (型 a) が雨量 H を測るとすれば

容易に型 b では

$$H_b = H \cos \alpha \left(1 + \frac{\tan \alpha}{\tan \theta} \right),$$

型 c では

$$H_c = H \left(1 + \frac{\tan \alpha}{\tan \theta} \right)$$

なる雨量を測ることが判る。

これが実際実験場での比較検討をした論文が皆確めている

ことである。この結果からどの型がよりよいかという結論を

出すことは出来ない。何となれば或型が他の型に比較して 20, 30 或は 50% も多い雨量を示すことがあるからである。

水平の投射が S であるような土地自身にはどれ位の雨が降るか?

型 a に対しては雨量は

$$H \times S \times \left(1 + \frac{\tan \alpha}{\tan \theta} \right)$$

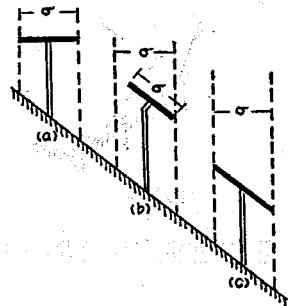
型 b の場合には，これは H_b に受水口の平行な面積と，土地の面積の比 $\frac{S}{\cos \alpha} : 1$ を掛けたものである。

型 c の場合には， H_c に平行な面積と土地の面積の比 $\frac{S}{\cos \alpha} : \frac{1}{\cos \alpha}$ で，即ち S を掛けたものである。

三つの場合に土地の受ける水の量は同じである。これは雨量が観測する方法に関係しないことが明らかであることから当然のことである。

このことに依つて雨量測定に於いては，“測定の誤差” と思ひ込んでいる所のものは実際には“測定の解釈の誤差” にしか過ぎないのであるが，この見解を忘れる場合が時としてはあるという点が明らかとなつたのである。

b) 上のことに依り水理学者には H , H_b , 又は H_c のどの値を探るとしても，どれを採用



第4図

したかを知っている限りに於いては同じことである。原理はその通りであるが、受水口が土地に平行な雨量計を実際に据附けるには常に注意を要する。

土地に小さな凹凸のあるのが普通であるが、これを除外するとしても、谷の峰から底まで傾斜が一樣な斜面をなしていることは稀である。挿入した模図に画いてある場合が寧ろ普通である。P に置く雨量計は受水口を VD に平行にすべきか、VS に平行にすべきか？

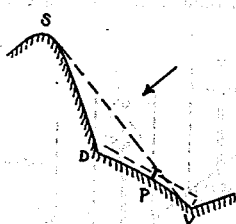
実際に於いては、何れにしても斜面 VS を構成する二つの部分の上に降る雨の忠実な表現

にはならないだろうから、何れとも言ふことは難しい。

c) 最後に現存の気象網(雨量計の受水口は水平である)に、受水口が円形であれ、楕円形であれ、傾斜したものを持つ器械を持ち込むことは各国の気象学者と水理学者の間で資料交換に複雑と誤差の原因を増す許りであることを附け加えて置く必要がある。

斯くして上の考察に依つて第一の結果が出る。

受水口が水平である昔からの雨量計は雨量測定の普遍的な器械として存置すべきである。



第5図

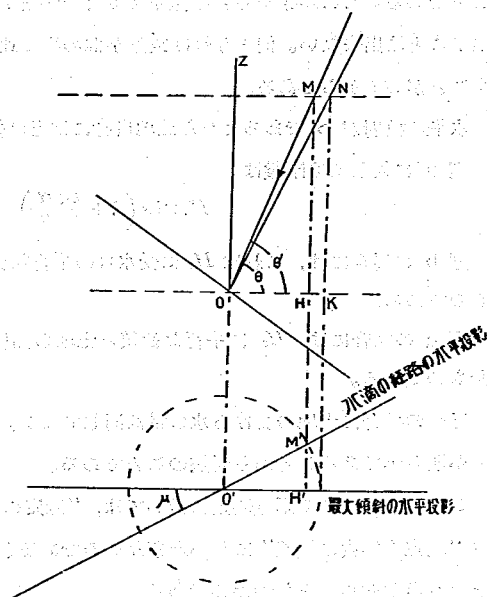
雨の一般方向に対する注意

“斜面の傾斜” というときには陰に斜面の最大傾斜の線が水平となす角を意味している。同様に雨が斜に降る場合には、明確に言わないでも、雨は斜面を峯に直角に打つこと、即ち最大傾斜の線を含む面内に降ると仮定している。然しこれは特別の場合であつて普通は斜面には横から降ってくるのである。

この場合には雨量計は何を測るか？

μ を雨滴の経路を含む鉛直平面(雨の平面)が最大傾斜の線を含む鉛直平面となす角とする。

雨滴の実際の経路は MO であると
する(投射 $M'O'$)、図の平面の上に倒



第6図

した雨の経路が水平となす角を $\theta = \text{MOH}$ とする。

然し前に出した関係 (1) の中には土地の傾斜と雨の傾きが入っているが、計算に用いる角は平面上に倒した角ではなく $\theta' = \text{MOH}$ である。

$$\text{tg } \theta' = \frac{\text{MH}}{\text{OH}}, \quad \text{tg } \theta = \frac{\text{NK}}{\text{OK}}$$

であるから

$$\text{tg } \theta' = \text{tg } \theta \frac{\text{OK}}{\text{OH}} = \text{tg } \theta \frac{\text{OM}'}{\text{OH}'} = \text{tg } \theta \frac{1}{\cos \mu}.$$

水理学者が水平の受水口の雨量計で測った雨量に掛けるべき係数 R は、最も一般的な場合には次の如くなる：

$$R = 1 + \frac{\text{tg } \alpha}{\text{tg } \theta} \cos \mu \quad (2)$$

この関係は容易に直線図表にて表わされる。(第7図)

この図表には可能な場合を絵で画いてある：

α は 0 (水平な土地) から $\pi/2$ (断崖) まで

θ : 雨の傾斜は 0 (嵐の風により稀な場合) から $\pi/2$ (静穏な天気) まで

μ : 雨の面と最大傾斜の線を含む鋭直面との間の角は 0 から $\pi/2$ (雨が斜面を正面から打つ場合から峯に平行になるまで) までと $\pi/2$ から π (斜面が雨から陰になる場合) まで

図表の使用方法是簡単である：

最初に雨滴の経路を表わす二つの値、即ち θ と μ の値を結ぶ。この二点を結んだ直線を延長して、目盛のしてない補助線との交点 X を求める。

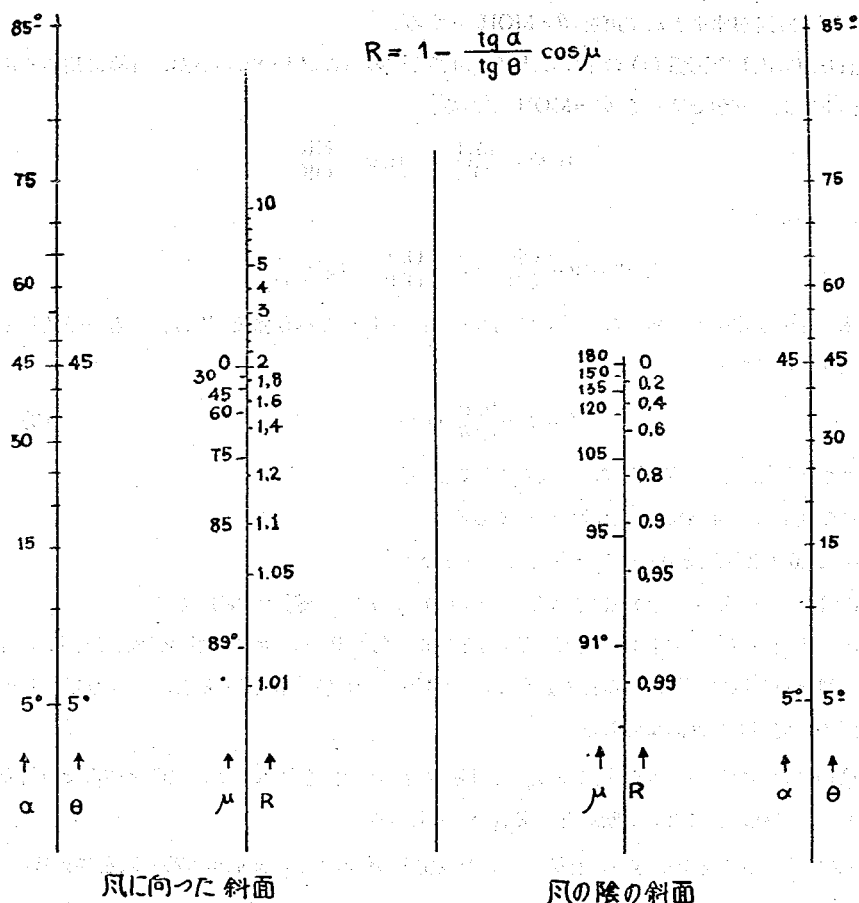
次に X と傾斜を表わす α を結ぶ。この直線と R の軸との交点が求める値を与える。

この図表の補助線を含めた左の部分は斜面が雨に露出している場合、補助線を含めて右の部分は斜面が雨の陰になっている場合に使用する (図に示すような目盛の二つの部分を作つたのは、数字が余り多くなるからである。二つの軸と一つの補助線があれば、関係式を表わすには充分である)。

上に述べたことは、角 α を固定して、持続状態に於いて同時に μ と θ とが測れることを仮定している。然しこれは降雨現象の細い解析を流出量の関係に於いてしようと思うときのみに正当化される。

実際には屢々平均の結果に満足し、 μ と θ の近似値を出すのに同意しなくてはならないだろう。

1. 先づ流域を八方位 N, NE, E, SE, S, SW, W, NW の方向を持つ大きな斜面に分

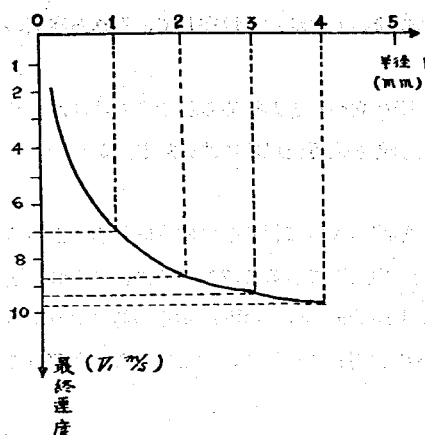


第7図

ける。雨の降ってくる平均の方向を観測し、 μ の値は $\pi/4$ の倍数に制限し、0 から π までの値を附ける。

2. θ の値を求めるに際しては次のことを注意する：雨滴はその最終速度 V_1 となつて地上に到着するまでにはかなり長い道を遍歴する。最終速度は雨滴の半径 r に関係しているが、その関係は第8図に示してある。

風の分布の場が与えられているとして、場が一様であり——実際には限られた空間のみ適用される——雨滴の落下速度に影響を与えないと仮定するならば、雨滴は各点に於いて V_1 (落下の最終速度) と V_2 (風) の合成の方向を採る。



第8図

このことに依つて雨滴の大中小に対して $\tan \theta$ を V_2 の函数として表わす図表を作ることが出来る。(第9図)

次に、例えば観測全体に対し雨滴の大きさが中位とすると風の強ささえ見積れば充分であるとする。風の強さを次のように分類する:

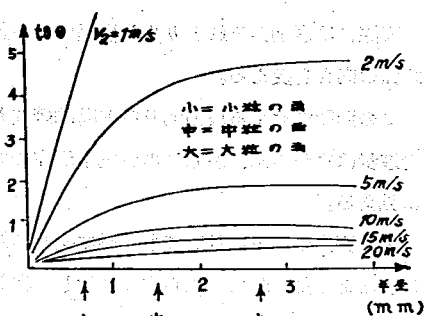
- 平風 (0—2 m/s)
- 軽風 (2—5 m/s)
- 軟風 (5—12 m/s)
- 強風 (12—20 m/s)
- 烈風 (それ以上)

前に示した直線図表 $R=F(\theta, \mu, \alpha)$ はもつと簡単になり、前と同様に使用出来るが、 θ の軸は直接に V_2 を目盛つてある。

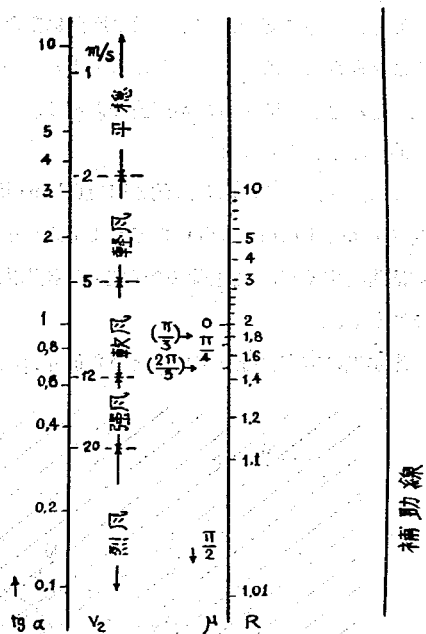
第10図には左の部分(雨風へ向いた斜面)だけ画いてある。

風の経路に対する影響

今迄は記述を明瞭にするため風速の分布の場は空間全体に亘つて一様である、即ち凹凸のない斜面の上を一定の風速で吹くと仮定した。このことは渦が無く、経路は平行で、 θ なる角度は斜面全体に亘つて一定であることを仮定したのである。



第9図



第10図

実際には事柄がそれより少し複雑である。地面の起伏の上に地物が散在して、それが空気の経路の向きを変える。

この問題に対する理論的及び実験的研究も、帆で飛び立つことが初められるまではほんとうの進歩はなかつた。然しこの研究も現在まで空気力学者と飛行士以外には興味が無かつたように見える。

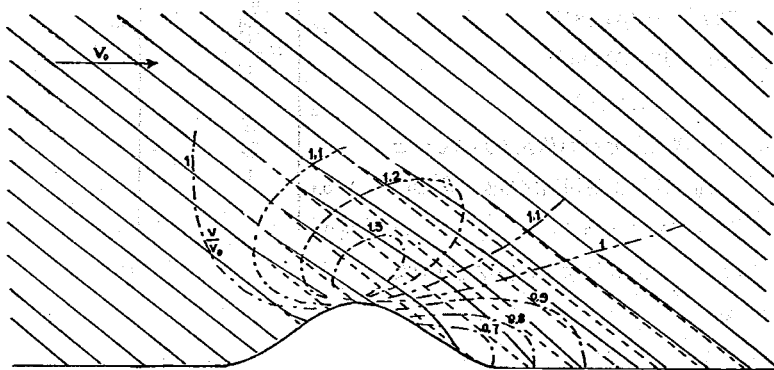
雨量測定に於いても、風は受水装置の口に雨滴が入つて行くのに妨害的な影響があることはよく知られていたら“風に対して空気力学的に中立”である装置を作る為に為された論文さえある。第一に Nipher, 次いで Bastamoff, Brazier, De Haller がその線に沿うて研究した。然し彼等は大気全体の運動に得られた知見の利用を無視して、非常に限られた研究の領域、即ち雨量計の極めて近くに限定した。

実際に経路の変形が同じ一般の原因に起因するなら、風が地物を打つときの変形の重要性はその大きさに関係する。大きさに大小がある。地形に依る変形と、所々にある局地的な凹凸に依るそれとを区別するのが適当であろう。

a) 地形による擾乱

前に述べたように、理論的研究(Georgii, Pockels, Defant, Taylor など)が実験的研究(Idrac, Koschmieder など)より多いのであるが、何れも次第に数を増す傾向にある。詳細は省略するが、雨量測定の研究に無視出来ない結果の一般の進歩の状態を振り返るのも無駄ではない。

峯が風の方向に延びているような簡単な場合を考え、それが第 11 図の如き断面を有すると



第11図

する。この峯がなければ水滴の経路は平行である。風が断面で何処でも一定ならば経路は平行な直線であり、風の高さに依る傾度があれば、お互に平行移動に依つて得られる平行曲線であ

る（経路の地物のない場合に対する隔たりは水平との角に依つて計られる。図には見易くするために経路は風上で平行な直線としてある）。

V/V_0 を表わす曲線は鎖線で示してある。（ V_0 は風上無限遠の風速、 V は実際の風速）。これから水滴の実際の経路が実線の如く得られる。図には“中位の場合”が図いてある。即ち中位の雨滴（最終落下速度=8 m/s）、中位の風（ $V_0=10$ m/s）が用いてある。図の点線は峯のない場合の理論的の経路である。

実際の経路の隔りはお互に等しくはない。峯のない場合に対して隔りは 70% から 150% 以上に達している。この隔りは雨の密度とは逆である。従つて地物は風の分布を変え、降雨の密度に対する傾斜の影響を強める。峯の前後では降雨量の隔りは一倍から二倍となることが屢々ある。このことは図でもよく現われている。

実をいうと風速の場の分布は非常に複雑である。 V/V_0 の曲線群は大きな目で見れば同じ形を保ちつつ、 V_0 の値と地物の形に従つてその形を変える。この曲線を簡単な幾何学的曲線で表わし、又それを代数式に表わすことも出来ようが計算は非常に複雑である。次のことは記憶して置く必要がある：

——前に研究した傾斜の幾何学的影響は地物に依つて強められる。

——峯の近くで、雨風に露されている斜面で力学的の影響が比較的重要になり初める。即ち雨滴の経路は離れて来て、降雨の密度が減少する。（この減少は多少高さに依る増加で補われるが、これは全く別の原因に依るものである。実際に測るものは合成した結果である。）

——空気の運動は風下の傾斜より風上の傾斜で規則正しい。風下に於いては屢々定常的な渦、移動する渦、又は渦性の擾乱が出来る。このことは雨量計の適地の選択に役に立つものである。

b) 極地的の凹凸に依る擾乱

此處で“極地的の凹凸”というのは、山のような大きさのものでない地物を云うことにする。これには地上構造物、防風林、垣などが含まれる。

雨量計自身もこの種類のものである。これは極部的に風速の分布の場を変形し、それに依つて雨滴の経路が尙更曲がる。

空気力学の研究に於いて Georgii は地物の影響の高さと、影響の距離の概念を導入した。この区域は風の強さと土地の起伏の形に依つて異なるが、地物それ自身位の大きさである。“極地的凹凸”に関しては、その影響を免れる為には、それから高さの 3, 4 又は 5 倍離れば充分である。これが又普通のきまりとして認められているのである。

雨量計自身に関しては擾乱が如何に小さいとしても、空気の経路を乱すことは避けられない。風洞実験 (Bastamoff) から、規則正しい風速の場の中の雨滴の経路に対する理論的計算からも、普通使用されている雨量計の大きさに対しては擾乱される空気の層の厚さは小さく、デ

シメートルの大きさで、普通型と空気力学的の二つの雨量計で測った降水量の差は 7 から 8% を超えないという結果が出ている。

この数字は又 Brazier に依つて St-Maur 公園の気象台が行つた観測からも確かめられている。普通の雨量計を 1.05 m の高さの支えにのせたものと、それから 4 m 離して受水口を地面に出して置いた第二の雨量計を設置した。この後の雨量計は雨量計とその支えの為の擾乱を無くするようになってゐる。

各々の器械で集水した降水量の比は年に対し 1.05 であつて、それを季節別にとすると次の通りである：

春：1.06；夏：1.03；秋：1.03；冬：1.08。

雨量測定の精度

大気の観測資料より得られる経験に依れば、地表近くの空気の運動は、安定した流れでなしに、風が吹いたり静つたりして、それと共に風向の変化があることが判つてゐる。この週期の短い擾乱は平均の気流の中に点在し、大気の中に“細胞”の形で入つて行く、平均の大きさが 30 m 位の渦に因るものである。

驟雨の時には雨滴は雨量計の上に定常的の流れとして落下せず、不規則な突風のように落下する。こんな風だから、測定した量と実際に地上に落ちた量との間に不確定の幅があつて、これは考えられる注意を皆やつても、それ自身が測らうとする現象の性質に起因するものであるから、小さくすることは出来ない。

水理部がこの問題に対する実験を行つてゐる。邪魔物のない実験場に五点形に 16 個の雨量計を互に 20 m 程離して据附けた。最初数箇月の結果に依れば、平均の雨量と各々の雨量との間の差は 8% にもなり得ることを明らかにした。

この大きさは普通の雨量計と“風の影響のない”雨量計の間の差の大きさと同じ位である。こんな状態に於いて空気力学的に中立な装置を用いようとするのは錯覚であると思う。実際には数パーセント位の幅が問題となるのであるが、これは測らうとする現象がそれをもつと小さくすることを阻んでいるのである。

助 炭

雨量計の周りの渦の影響を少なくするために、Nipher 型の助炭を用いることを考え附いたのである。比較測定の結果は助炭を附けた器械はそれのないものより一般に少し多い雨量を受けていることから、軽卒に助炭は有効だという結論が出ている。

実際にはどんな事が起つてゐるのか？ 普通の雨量計（直径 22.5 cm）に依る流線の変形は 10 cm 位の区域以外には出ない。Nipher 型の助炭は直径は 1.30 m であるが、第一の影響は

地物の大きさを増加させることである。これが装置の内に aa の如き重大な下降気流を誘致して、受水口の雨の密度を増す。然しこれは単に雨滴の経路が測器の上に集める役目をするだけで、このようにして得られた結果は雨量計のない近接の地に落ちる雨量を忠実に表わしていることは考えられない。又この考えの正しいことは実験に依つて完全に確められている。受水口の面積が 1—16—40—100 の比をなす雨量計を隣合せて設置して、雨量の比 1—1.09—1.14—120 を得ている。雨量測定には不確定の幅（凡そ 7—8%）がいつも附属しているのであるが、これで見ると受水口の大きさの雨量に対する影響が見えている。



第 12 図

こんなことから助炭に対してどんな結果が出るか？ 人為的に雨量計に雨滴の経路を集め、採集した雨量の標本値を不正確にし、それに依つて結果の解釈を無益に複雑にする。従つて助炭のある場合にはない場合より多くの雨量を集るといつても、助炭は有用というより寧ろ無用であると考えられる。

雨量計設置の適地

雨量観測所の数は、いろいろの理由で、無限に増すことは出来ないから、測定場所の選定は特に大切である。

雨量観測は結局降雨の標本採取でしかない。それ故に標本が“代表的”であることに意を用いる。このことは特殊で解明出来ない値を測る恐れのある場所又は装置を一切排除することになる。

装置は私が簡便雨量計と命名している受水口の直径 20 cm 位の小さなもので、口は水平で助炭を使はないのがよい。

設置場所の選択に関しては、この論文の注意を基とすればよい。

雨量測定と流量測定の比較は非常に教えられる所がある。

河の流量を知ろうとしている水理学者は流速計を“陰になつている”区域だと云つて岸に非常に近づけたり、橋脚の後へは持つて行かないだろう。状況に依り観測点を多く採ることの出来ないときには、流れの平均流速に出来るだけ近い値を与えるような平均の流速点を選ぶであろう。深さの 1/5 と 4/5 にある点を選びその平均値を採るか、唯一点しか測れない場合には表面から深さの 6/10 の点を選ぶ。

このことは殆んど完全に雨量測定で起こる。観測所は少ないので、その地点を選ばねばならない。

a) 従つて第一に“特異点”即ち防風林、家屋などの地物の影響のある区域を避けねばならぬ。特にテラスの屋根などは如何に開けていても必ず悪い場所である。伊太利の気象学者は地物の高さの最低 10 位の所を推奨している。これは多分自重を表明するものであろうが、よく人が迷うのであるが物陰を探すような反対の極端よりは断然よいのである。

b) 一斜面に一観測所しか設置出来ない場合には——屢々起る場合であるが——傾斜の中程を選ぶのがよいと思われる。これは水理学者の 6/10 則に近づいた訳である。

c) 研究せんとする地帯の中に斜面を選ぶことも亦疎に出来ない。風下の傾斜に沿うては風上よりはよく雨滴の経路が渦に影響され、空気の流れは規則的でない。従つて雨量計の設置に當つては雨を含んだ風の主風向の正面の斜面にある場所が望ましい。

III. 応 用 (降雨の法則)

1. 傾斜の法則

この法則はこの論文の初めの方で造つてある。それを集約すれば次の通り：

a) 傾斜の“幾何学的”影響——傾いた面積が受ける水の量は その面積の水平投影が受ける量とは異なる。風上の斜面の受ける雨量は多く、峰の陰になつている斜面のそれは少ない。変化の割合（水平面の受ける量に対する増減）は次の式にて与えられる。

$$R=1+\frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \theta} \cos \mu.$$

b) “力学的”影響——受水口の水平な雨量計の受ける雨量は高さが同じなら風上の方が風下より多い。然し風上側で峰の附近になると雨滴の経路は離れ初め、峰では降雨の密度の減少が観測される。

2. 標高の法則

雨を持つ前面に直角な山の背は多量の凝結を誘発する。一般に、後で述べる特別な場合を除いて、降雨は高さと共に増す。

その雨量増加を表わすいろいろの公式が発表されている。これらの公式は限られた広さの地域で為された観測の結果を代数式に表わしたのが主であつて、何れの場合にも適用出来るものではない。雨量計に依つて与えられる広い範囲の資料を調査だけで一般の法則を打樹てようとすることが無駄であるときは、降雨に影響のある各の原因を別々に研究すれば、第一次近似として複雑な現象からこの変化を示す個々の法則を引出すことが出来る。

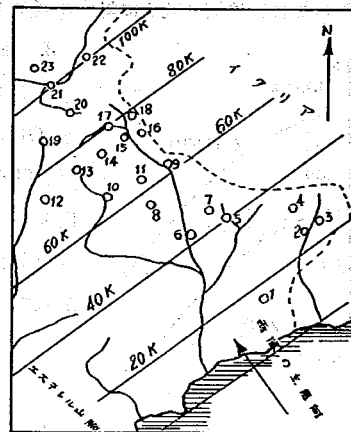
次の例に依つて調査の手段が判る。

仏蘭西の南東の Var 河と Tinée 河の注ぐ盆地、即ち伊太利国境、Ubaye 河の上流、Verdon

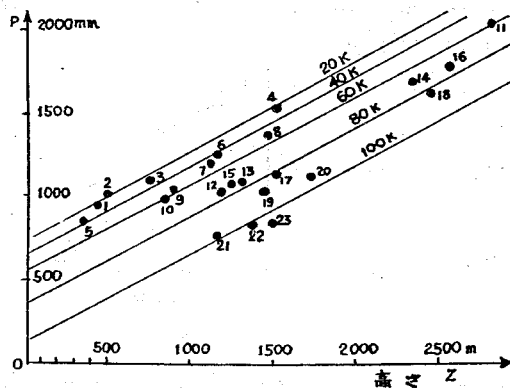
河の上流, Esterel 山脈で囲れた地域は面白い特異性を示している。殆んど総ての場合雨を持った風は南東から来る。この地域には 23 の雨量観測所網があつて、15 年から多くは 20 年の観測をしている (図参照) が、観測所は 200 から 2,730 m の高さの間に散在している。

各観測点の平均年間雨量の高さに対する関係の図は点が非常に散らばつていて、調査が仕難い。然し南北風の正面の斜面上の観測所であるか、そうでない斜面上の観測所であるかの正確な地理学的位置を知れば、傾斜の法則に従つて、生の降雨量を補正した降雨量で置き換えることが出来る。

これに依つて陰の影響は取除かれる。斯くの如くにして第 14 図が得られる。



第 13 図



第 14 図

点は尚ばらついている。然し海からの距離の同じな観測所を表わす点を結ぶと、これらの点は正確に平行直線群の上に乗る。このことから次の如く“高さの法則”を作ることが出来る。

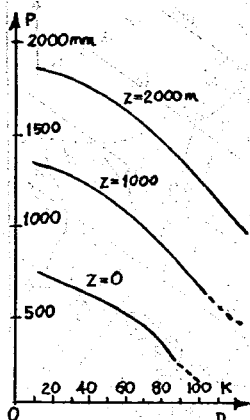
同時に雨の前面の影響を受ける観測所、即ち海からの距離が同じな観測所に対しては、降雨量は高さと共に直線的に増す。増し方は 100m 増す毎に 55 mm である。

他の例も研究されている。伊太利に於いて Apuana と Viareggio の間の Appennin 山脈北部の南西斜面の地域は、この法則を応用する一つの場合である。この法則は直線式で表わされ、高さに対する増し方も略同じである。

特別の場合

高さの法則は山脈に向つて雨を含んだ気塊が連続的な前面を構成しつつ進行するときのみに応用出来る。孤峰の場合には、雲の系の一部分は上を登る代りに、それを周り、従つて冷えて凝結を起こすことはない。

この場合には同じ高さに対する雨量より少ない雨量が観測される。



第15図

3. 距離の法則

さて同じ高さの観測所の群を考えると、前の図 $P=f(Z, D)$ を OP に平行に切ることになるが、これから第15図の曲線群を得る。この曲線の形を物理的に次のように解釈することが出来る。雲の系が侵入して大陸の内部に進むに従つて、降雨は減少するが、減り方は漸近的である。数学的には雨量 P と海からの距離 D との関係は

$$P = \lambda e^{-\mu D^a}$$

の如き形で表わされる。

次の例はこの式に対する補助的な証明を与える。

地域として選んだのは Garonne 河と Pyrénées の第一支脈の間にある。第一に 3~157 m の間の観測所 36 (これは高さ

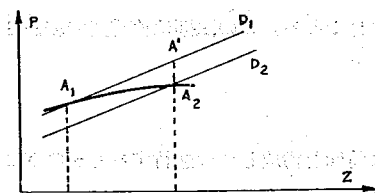
の影響を殆んど無くするためである)のみを考え、第二に秋の降雨 (10, 11, 12 月に於いては雨を持った風は同じ方向 W~SW を持続している) に限るとすれば、 $P=f(D)$ の曲線は前に挙げた式に完全に対応する特徴ある形を採る。

このことから“距離の法則”を次の如く作ることが出来る。

同じ高さで、海からの距離が異なる観測所に対しては、降雨は距離の指数函数に従つて減少する。

一般法則

a) この二つの原因別の法則を組合わせれば、高さと共に降雨の増加するのを表わす公式として大部分の人が出している拋物線の行き方を説明することが出来る。



第17図

雨風に露されている山の中腹を登つて行くときには、同時に海から遠ざかるのである。距離が一定で高さが増すのは図の A' から A'' へ行くので表わされ、海から遠ざかるのは $A'(D_1 \text{ 上})$ から $A_2(D_2 \text{ 上})$ へ移動する。二つの“運動”の結果は拋物線的の歩みを示す A_1A_2 の曲線を与える。これは二つの行き方を加え合はせた次の公式で表わされる：

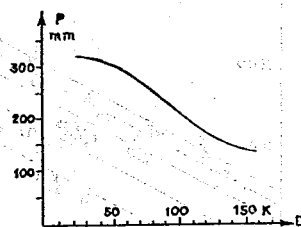


Fig. 16.

第16図

$$P = \lambda e^{-\mu D^2} + KZ.$$

海から D の距離にあつて、傾斜 α の斜面上にある観測に対しては D は α と距離 D_0 (麓の海への距離) と高さ Z で表わされる。即ち:

$$D = D_0 + (Z - Z_0) \cotg \alpha.$$

これから P に対して次の式を得る:

$$P = KZ + K'e^{-(aZ+b)^2}.$$

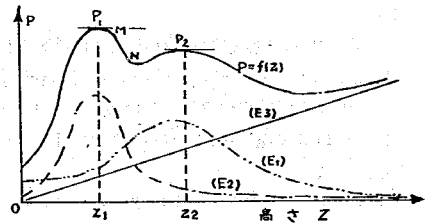
b) 一般化——山に於ける極大の法則

この形に表わした法則は、風が一つの方向から吹いてくるという意味に於いて未だ一般化されていない。今雨が二つの主方向からくるとして、第一は全体の $m\%$ 、第二は全体の $(100-m)\%$ の割合で吹くとする。山腹の点 Z に於ける降雨の全量は次の如き関係で与えられる:

$$P = Ae^{-(\alpha Z + \beta)^2} + A'e^{-(\alpha'Z + \beta')^2} + BZ.$$

この式をよく検討しよう。この曲線の上で切線が水平となる点を探せば、即ち函数 $P(Z)$ の導函数が 0 となる Z を求めれば、 $A, \alpha, \dots$

B の値に従つて 0 になる四つの実の解が得られることを注意するに止めよう。 Z は物理的の量、即ち高さであつて、0 から山の頂の高さ Z_s まで変化する。 $P'(Z)=0$ の実の解の中 $0 \sim Z_s$ の間のもののみを残して置かなくてはならぬ。第 18 図の曲線は二つの曲線 E_1, E_2 (距離



第 18 図

の指数則) と、直線 E_3 (高さの直線則) を加え合はせた曲線の例である。

この曲線から、二三の実験事実を説明することが出来る。即ち:

a) 山の降雨の極大の存在。この法則は次の如く云い表わされる。山脈の位置と方向に依つて決まる或条件の下では、降雨は Z_1 なる高さの第一の極大 P_1 まで増加し、それから減少し初める。高い山脈に於いては $Z_2 (Z_2 > Z_1)$ なる高さに第二の極大 P_2 があり得る。ここで水平の値を採つた後降雨は、高さが無限大となるなら、理論的には増大し初める。

第一の極大は山に於ける“降雨最適地”に対するもので、第二は二次的の適地で第一のものより高く、或著者に依つて指摘されたものである。

b) 特殊の場合に於ける降雨の高さに依る減少。これは Madagascar の中腹にきれいな例を見出すもので、これは WE~SE の貿易風と W~NW の季節風が交互に影響するからである。この場所ではこの例をもつと発展させることは出来ていない; 単に、この島の中腹は雨量 3 m 程あることを指摘して置く。内部でこの中腹から 120 km で高さが 1600 m の所では雨

量は 1 m しか無い。この曲線の MN の如き部分が存在することは非常に可能性のあることである。

◇ 討 論 ◇

○座長はこの論文に依れば、普通考えられている程雨量計は悪いものではないことを注意している。

○Varlet 氏は Serra 氏に Mathias の法則は本誌に印刷されているが、負の項を含んでいて、雨量が高さと共に減少することになっているが、それに対する意見を質している。

Serra 氏は Mathias の法則は Lugeon に依つて引用され、Wassov (独逸) に依つて批評を加えられているが、雨量観測の正しい解釈に依る正しい法則の“一部分”しか現はしていないことを明確にした。

この公式は最初非常に速く増す項 Z を含んでいて、負の項 $(Z/100)^2$ よりは大きく、 Z の非常に大きい値 (理論的には 8000 m 位) でなければ減少し初めない。従つてこの公式はかなり低い所で実際に観測されている極大を計算に入れない。

○座長は Bretagne に於ける降雨の変化を研究すると面白いと考えている。此处では雨量計を峰の陰の方にも置いて、単に風の正面の観測値のみでなく、正しい平均値を出すようにすべきであるとしている。

○Varlet 氏の技術的に km^2 当りに必要な雨量計の台数の質問に対し、この重要な問題は二三の研究課題になっているが、その中水理学調査研究評が Alrance の実験地で行つた結果があるが、其処では 16 の雨量計をお互に 30 m 離し $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ の四角形の中に置いてあるが、或驟雨の場合には 20~25% の差が出ている。従つて雨量計の理想的の数はこの実験に用いられたもの以上であると答えている。

Serra 氏はこの点を明かにするためこれらの雨量計の中お互の距離を 10 m にしたものもあり、又雨量計と雨量計が接触するまで持つて行つている。米国では 1.5 km 間隔に 55 台の雨量計を置いた所があるが、差は上と同じ位の大きさである。

Varlet 氏は雨量計の数を非常に少なくすることを力説した。Coutagne 氏は Savoie 地区に於いては 30 km^2 に 1 台の雨量計があるので特に多いと言っている。

座長 Gariel 氏は雨量計の分布は突風の状況を知る為に考えられているので、これは風のエネルギー観測の場合にも見られることであることを注意している。

Serra 氏は雨の方向及び強さの不規則性は雨量の資料を長い間統計すれば、例えば 1 ヶ月とか 1 年とかの総量を採れば減少することを附け加えている。

Fontaine 氏の質問に対し、Serra 氏は傾斜地の資料の解釈は或程度個人的評価が入つてくることを指摘している。

○Padré 氏は Serra 氏の報告はよく焦点が合っていると評価している。山に於ける雨量観測はいつも困難なもので、誤差のある Mougin のトータライザーを使用したり、数が少なくてその分布も不完全な雨量計に頼っている。La Baye de Montreux の実験地域に於いて、Lutsch 氏は年雨量が山麓で 500~800 mm、高い所で 2~2.25 m の傾斜面に沿うて $20 \sim 25 \text{ km}^2$ に 30~40 台のトータライザーを設置した；Coutagne 氏が言っているように、最もよい雨量計は河の流域の盆地で理想的に積分機になるようなものである。又 2500 m と 3000 m の間に極大のある、高さの函数としての降雨の法則は或実験地で研究され、Padré 氏の Rhône 河に関する論文の中でアルプス地方の盆地に応用されているが、流量から計算した流出係数には殆んど利いて来ないし、又逆に流量からもこの降雨の法

則は殆んど確められない。然しこの注意すべき検証にも偶然が入っているし、又 Padré 氏自身も言っているように、この係数は大ざっぱな近似値に過ぎないものである。

○座長の質問に対し Padré 氏は二つの極大の法則は Belle-Plinier 山の Modane の以上の所で確認され、それは平均状態に於いて降雨が W と E から来ることが説明出来ることを注意している。

○Christian Beau 氏は雨量の資料が Bachet の方法に依つて積分され、雨量予報を考慮に入れて 24 時間後に Paris に到達する Grand-Morin の出水を 3 日前、5~6 cm の精度で予報することが出来ることを知つて有難いと述べている。

Niederschlagsmessungen am Hang

Dr. J. Grunow, Hohenpeiszenberg.

(*Meteor. Rundschau*, 5/6, S. 85-91, 1953)

斜面における降水量の測定

紹介者 大田正次 (中央气象台)

総 括

山地における降水量の測定は、水平の受入口を用いると小さすぎる値を与える。この測定誤差は斜面の傾斜、風速がますます大きくなり、又降水粒子の重さがへると大きくなる。この誤差は降水粒子が斜めに落下する場合に起るもので、この場合には斜面に平行な受水口によつてのみ正しく測ることができる。

当地における 20° の斜面で、水平及び斜面に平行な受水口による比較測定を行い、測定誤差の大きさ、降水種類及び強度と誤差の大きさ、風速と誤差、降水粒子の入射角スペクトル(頻度)と誤差等が推定された。又降水落下に及ぼす風の影響が、幾何学的方法による誤差の補正量より大きいことがわかつた。従つて測器の設定にあつては新しい着眼点としてこの点を考えねばならない。

降水を把握するには、気象学的及び水理学的な降水の研究が何を必要としているかを、統一した定義の下で振り返つてみる必要がある。

1. 緒 言

水経済に関するすべての研究は最も確実に現われる量としての降水からはじまる。ところが山地については降水測定の結果がまだ矛盾が多く、山地の降水状態についての知識は確実なものとは見なされ得ない⁽¹⁾。夏行われる積雪水量の決定は—その間の蒸発を除いて—50%に及ぶ誤測があると思われる。この違いは山地の急斜面では風の強い高い地帯で、雪の割合が増すと共に大きくなる^(2,3)。

この誤差はまず第一に風及び地形の影響に帰せられる。測器のまわりの気流がまがるために起る誤差 (Jevons 効果) を排除く研究は山地に対しては適用できない。従つて Nipher の助炭の効果は疑問となり斜面では用いられない (Röstad, Hartmann, Bastamoff u. Witkiewitsch, Mercanton⁽⁴⁾)。又空気が力学的な中立をはかる別の装置 (Mercanton⁽⁵⁾) は平地か又は総降水量に対して雪の割合の少ない場合にしか用いられない。又地中にうめた雨量計は風の影響は完全に防ぐことができるが (Koschmieder, Braak, Haeck u. Thams 其の他⁽⁶⁾)、雪の場合には用いられない。一方測器の設置場所を選ぶことによつて風の影響を防ぐことも研究され、障

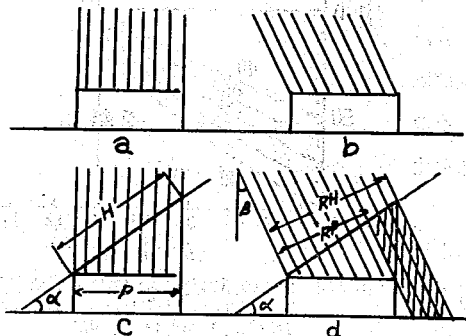
害物の風下で測られた降水量は、そのまわりのより広い地域に対して代表的であることが推定されている。

最近のスイスにおける研究 (Hoeck) は山地における降水測定の問題について定義を与えたり又測定技術的に修正を行うことの必要を提案した⁽⁷⁾。

2. 降水量測定の方法について

降水の測定は結局ある地域に落下した総水量を知るのが目的である。降水の測定結果はまず平面図上に記入される。普通の雨量計の受水口は水平であるから平面図の面の一部と見なされる。降水量とその代表する水平に投影された総面積の積がその地域の降水量を与えるわけである (Fischer⁽⁸⁾, Lüscher⁽⁹⁾)。

平らな地面では普通の雨量計に入れる量は Jevons 効果は無視すれば、水平な地面で受けた水量に相当する。降水が鉛直に落下しても、斜めに落下してもこの場合は同じである (第1図



第1図 降水測定の方法

a, b)。

斜面では水平面に投影された面積より元の斜面の面積の方が大きい。すなわち $H = P : \cos \alpha$ である。鉛直に落下する降水の場合には水平の単位面積に対応する斜面は、水平単位面積と等しい降水量を受ける。これは斜面の傾斜角度には無関係である (第1図c)。他方降水が斜めに落下する場合には斜面は投影水平面より多くの雨をうける (第1図d)。斜面の傾

斜角と降水の落下角が大きい程誤差量は大きくなる。この誤差量は前記の平面図にはあらわれない。そこで地表面自体を受水面としその水平投影面が単位面積に相当する場合に、はじめて斜面の降水量が正しく測られることになる。これは雨量計の受水口が斜面に平行に置かれ、その傾いた受水面が長さ $P : \cos \alpha$ をもつ場合、言い換えれば鉛直に置いた雨量計の筒を斜面に平行に切断した場合である。

単位面積の受水口をそのまま傾けて斜面に平行に向けたのではいけない。この場合にはその受水面の水平投影面積は単位面積より小さくなるからである。又降水の落下する方向に直角に受水口を向けて測ることも降水測定の目的と矛盾する。この場合には降水粒子の落下経路に垂直な断面に入る量を与えるが、これをある地域に落下した総量に換算するには、たえず変動する落下経路の連続的の同時的測定が必要であつて、正確な換算はほとんど実行不可能である。

斜めに落下する降水に垂直な受水面とそれに対応する水平単位面積及び斜面 (その水平投影

面積は単位面積に等しい)との関係は幾何学的に容易に求めることができる。角 β で落下する降水に対応する水平受水面の投影は $RP=P \cdot \cos\beta$, 斜面の投影は $RH=H \cos(\alpha-\beta)$ $= \frac{P \cdot \cos(\alpha-\beta)}{\cos\alpha}$ (第2図)。前者は β がますます小さくなり、後者は β が α に等しくなるまで大きくなり、 β が α より大きくなると小さくなる。このようなことのために水平及び斜面平行の受水口をもつ二つ雨量計の報告に差が生じるのである。

なお落下方向に投影した斜面受水面と水平受水面との比は落下の方位角には無関係である。方位角が増すと斜面平行及び水平の受水口においては共に等しい割合だけ降水が減少するからである。

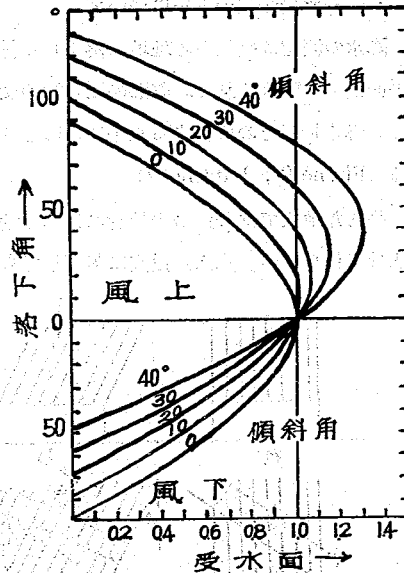
第2図においてある傾斜角に対する受水面(横座標)と 0° の傾斜角に対する受水面の比をとると風上側では1より小、風下側では1より大となる。言い換えれば普通の雨量計で測つた雨量は風上では少なすぎ風下では多すぎる値をとる。その結果わずかに離れた所で異なつた降水の分布を生じるといふようなことになる。

水平単位面積に対応する斜面に落下する降水量は、雨を運ぶ風に対して同じ地表状態の場所でも斜面の傾斜が違えば異なる。斜面に降る雨と普通

の雨量計で得られた量との差については R. Pers⁽¹⁰⁾ が斜面の垂直面部分の水平面部分に対する割合及び降水の落下角から理論的に求めた。Chartreuse について計算された例によれば、Granb-Som と Oisans の中腹の二つの異なつた高さの場所で、普通の雨量計で 1900 mm と 900 mm の差(比 2.1) 斜面平行の場合で 2450 mm と 640 の差(比 3.8) が得られた。

風上と風下の両斜面をもつもつと広い地域では、もし落下角が等しいと仮定すれば、このような差はなくなるであろう。すなわち斜面平行の受水口では風上側の斜面での受入過剰量は風下側の斜面で受入不足量と相殺するからである。このような事から K. Fisher, M. Pardé その他⁽⁹⁾は測定の方法を変更することに反対した。しかしこれは単なる幾何学的取扱のためにおきることである。すなわち単に幾何学的に考えれば雨滴の落下方向は両方の斜面で等しいとみなされ、従つて水平面で測つた降水量が水平面に投影されたずつと広い地域に対しては代表的であり得ると見なされるからである。

しかしながら特別の測器^(10, 18)及び斜面平行の受水面での降水量測定によれば、傾斜地での



第2図 色々の傾斜角に対する降水の落下角に垂直な雨量計受水面。落下方向の方位角は斜面に対して 90° 。

流線の状態は幾何学的でなく力学的な問題としての取扱いを必要とすることが示された。

Geiger⁽¹¹⁾, Hudleston⁽¹²⁾ 及び Pagliuca⁽¹³⁾ の斜面平行の受水面についての古い研究は、普通の雨量計を斜めに設置したものである。これらの結果はすべて風上側では普通の水平の受水面をもつた雨量計より多く、風下側では少ないことになっている。この場合完全な誤差の値は得られなかった。それは斜めに置いた測器の受水面は、水平に投影すれば水平受水口面積 P に対し $P \cos \alpha$ の面積をもつ、従つて得られた値に $1/\cos \alpha$ をかけて水平の単位面積に換算しなければならないからである。

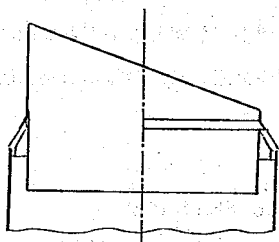
その後の研究では理論に適応して垂直に据えつけられた円筒が斜面に平行に切斷された形のものが用いられた。この場合の測定結果は水平単位面積に直接換算され得る。Hayes⁽¹⁴⁾ の測定は Priest River (Idaho, U.S.A) の試験林の山地で行われ、又 Hoeck⁽⁷⁾ の研究はスイスの高山 (Baye de Montreux) の盆地で行われたが、風上と風下側の降水量の関係及び高度分布は両者異なつた形となつた。又斜面平行の方法で見出された過剰量から、従来は 30~45% 位蒸発が小さく見積られていたことが推定された。

1951 年 2 月から Hohenpeiszenberg で水平及び斜面平行の受水口をもつた雨量計の比較測

定が行われたが⁽¹⁵⁾、その場合風の当る位置では普通の方法は不足量を示すことが確かめられた。その純粋な幾何学的立場から補正し得ないものである。

3. Hohenpeiszenberg における比較測定

Hohenpeiszenberg (989m) は、西から東へ延びた周囲より約 250m 高い山稜で、測定場所は南及び北斜面でいずれも頂上近くの海拔高度約 960 m の地点である。傾斜は 15~20° である。一般に北向斜面 (15°) は風上側、南向斜面 (20°) は風下側とみなされる。ここに置いた測器は普通の Hellmann の



第3図 Hellmann 200 cm² 雨量計に対応するに 20° に傾いた受水口
左半分：断面。右半分：外面

200 cm² の水平受水口のもの及び同形の傾斜受水口で、後者は斜面に平行に切斷された形のものである (第3図)。その楕円形の切口の水平投影面積は 200 cm² である。受水口の高さ (1.5m) に風盃形風力計を置いて風を測り、クロノグラフに記録した。

2 年間の測定結果の総括を第1表に示す。同じ斜面で二つの方法で得られた積算値を比較すれば、全期間にわたつて、斜面平行の測定は風上では 14% の過剰、風下では 5% の不足がある。雨と雪とに分けてみると風上ではそれぞれ 13%, 21% 多く、風の強い時はそれぞれ 19%, 48% 多い。このように普通に置かれた測器の誤差量は降水粒子の重さが減ると共に大きくなり風速がますます大きくなる。しかしながら風下側では風速がましても大きくならず、SH:S の比は風の強い時でも 5% のまゝ、又雪の場合はむしろ逆になる。これは降水粒子の落下角は

両方の斜面で全く異なるためとみなされる。

第 1 表

水平及び斜面平行 (20°) の雨量計 (Hellmann 200 cm²) の積算値, 両者, 風上, 風下等相互の関係, Hohenpeisenberg (960m)

番号	降水種類	風 上				風 下				比(風下: 風上)		主露場
		N	NH	NH: N %	平 均 落 下 角	S	SH	SH: S %	平 均 落 下 角	S: N %	SH: NH %	
1	すべての場合	1990	2287	114	21°	2289	2179	95	8°	115	95	2307
2	面 の み	1549	1749	113	20°	1645	1567	95	8°	106	90	1609
3	雪 の み	441	538	121	31°	644	612	95	8°	145	113	698

受水口面風速 ≥ 4 m/s

4	雨 の み	339	404	119	28°	372	354	95	8°	110	88	371
5	雪 の み	117	171	148	55°	188	190	101	-4°	161	111	226

期 間: 1951年2月15日~1953年2月28日, たゞし番号4, 5は1951年4月20日~1953年2月

28日雨と雪が同時にあつた日の分はいずれか大きい方をとつて該当欄に入れた。

N, S: 水平受水口をもつたもの, NH, SH: 斜面平行の受水口をもつた雨量計。

主露場: 風を防いだ場所での値。

さて普通の水平受水口の雨量計の測定誤差の大きさは, 同じ場所で測つた二つの測器による測定結果の差に相当する。その誤差は降水の落下方向に投影した斜面平行な面と水平面との比に等しいと置くことができよう。このことから, 全く幾何学的な関係を用いて, 誤差がわかれば

第 2 表

降水の種類及び強度が誤差に及ぼす影響

降水日量 mm	比 NH: N (%)					比 SH: S (%)				
	×	●	▽	●+▽	×+●+▽	×	●	▽	●+▽	×+●+▽
<1.0	129 *54	134 36	112 21	125	127	96	97	98	97	97
1.0~2.9	127 64	113 35	106 26	110	118	94	96	95	95	94
3.0~4.9	119 25	122 17	110 13	116	118	89	99	92	96	93
5.0~9.9	110 10	119 23	109 15	115	113	92	97	93	96	95
>10.0	124 5	115 38	110 24	113	114	90	98	93	96	96

*回数を示す

斜面の傾斜角に対して降水粒子の落下角が推定される(第4図)。なお第1表には, このような推定から得られた平均の落下角が記してある。この平均落下角は風上では 21°乃至 22°(雨に対し), 31°(雪に対し)となる。この角はすべての場合につき風速が増すと大きくなりそれぞれ 28°(雨), 55°(雪)となる。風下側ではこれに反し一定で 8°である。雪で風の強い場合に

第 3 表
降水種類及び強度と落下角との関係

降水日量 mm	北 斜 面			南 斜 面		
	✱	●	▽	✱	●	▽
<1.0	38	43	18	-6	-5	-3
1.0~2.9	37	18	10	-9	-6	-8
3.0~4.9	28	20	16	-17	-1	-13
5.0~9.9	16	28	15	-13	-5	-11
>10.0	31	23	16	-15	-3	-11

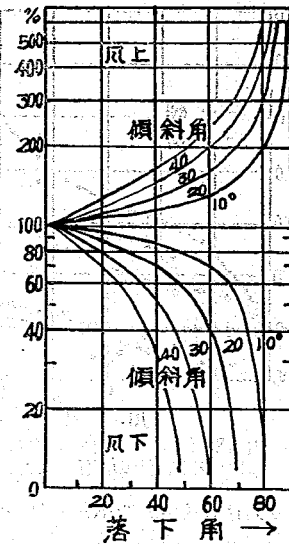
角度は観測点における鉛直線と雨滴径路のなす角を斜面下方へかけて測る。

は角は逆になりこのことは風下側に渦の出来ることを示す。

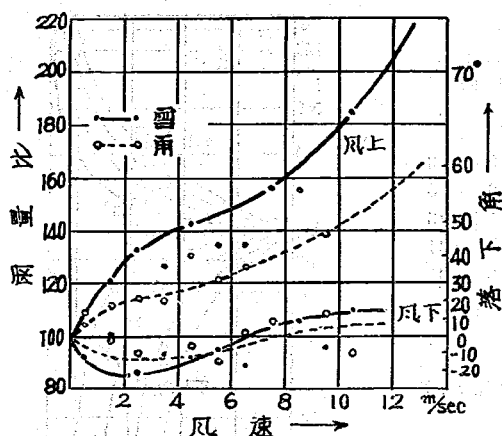
すべての降水日量について量別に (Geiger⁽¹¹⁾) 降水粒子の質量が誤差に及ぼす影響 (第2表) 又は落下角に及ぼす影響 (第3表) について説明する。すなわち降水を雨と雪に分け、雨は地雨と驟雨性雨に分けた。なお量別のとり方は北側(風上)

の水平受水量を基準とした。さて風上斜面では比の値は雪に対して130~120%，地雨に対して125~115%であつて、日量が増すと小さくなるがよくあらわれている。大滴の驟雨性の降水の場合にはこれに反して日量にかかわらず小さな値をとりおよそ110%である。平均の落下面は雪に対して約40~28°，地雨で40~20°，驟雨性雨で18~15°である。南斜面では比の値は地雨で100%よりわずかに小さく、雪では95~90%である。軽い雪片に対しては風下の渦の影響は雨滴の場合より非常に大きい。すなわち雨滴は測定位置の上空ではほとんどすでに鉛直に落下するが、雪片はなお17°までの角をもつ。表によれば大滴の驟雨性雨は小滴に対してより大きい落下角をもち、その値はほとんど雪の値と等しい。しかしながら同一の日量について風上と風下の落下角を比較すると、驟雨の際には気流が山を吹越した後に2~15°，雪の場合には32°までも落下角が向きをかえることがわかる。(以下では風下側での落下角の符号のとり方が異なることに注意)

測定誤差に対する風の作用 (Geiger⁽¹¹⁾) は第5図に具体的に示した。これでは同一の風速の階級に対して作られた比の値の平均をとつた。なお比に相当する落下角も示した。風上側では雨の場合も雪の場合も風が増すと常に大きくなる。雨では5m/sで落下角はすでに30°に達し、10m/sでは50°をこえる。雪では4m/sですでに50°に達する。風下では状況は全く異なり、3又は7m/sまでは負である。すなわち落下角は斜面の傾斜角に近づく。さらに強い風に対しては



第4図 落下方向に投影した受水面の関係から導かれた水平と斜面平行による測定値の比。



第5図 斜面平行：水平の雨量比又は落下角と受水口の高さにけおる風速との関係。ただし風速は風上側の値。

下側より大きい角度まで広がり且つ曲線の傾斜がゆるい。雪についても明瞭に非対称が起つて
いる。すなわち風上側では 70° ま
でのびている。又風下側では風下
の渦の結果 -10° の所に著しい極
大が起つている。このような分布
形は力学的に変わる落下角を考慮す
ることによつてのみ理解されるの
である。

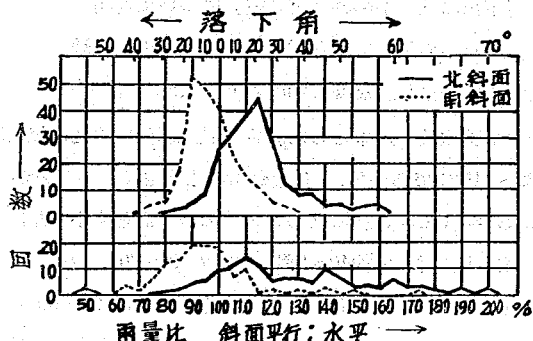
Hohenpeissenberg の 20° の斜面
について得られた落下角の頻度分
布、は普通の雨量計で生じる誤差

を他の斜面に対して見積ることの可能性を与える。この分布は雪の割合が多く且つ風の強いより
高い山においては、又より急な斜面においては非常に極端な形となるであらう。

風上及び風下で落下角が異なること及びそれによつて起る測定誤差から必然的に降水分布の全
く異つた形を生じる。今普通の雨量計の結果から風下：風上量の比をとつてみると（第1及び
第4表）、降水の種類及び日量のいかんにかかわらず風下斜面の方が大きい、又降水粒子の重
さが減ると共に大きくなつている。この見かけ上の増加は驟雨で10%、地雨で15~25%、雪で
20~30%の測定誤差に原因がある。しかし他方斜面の平行の雨量計の測定結果を用いると上記
とは全く別の関係を示す。すなわち雨の場合は風下斜面の方が常に小さく、雪の場合は前述と
同じように大きい。ただし普通の雨量計における比の値よりは20~50%方小さい。

測定位置の上空で風下の渦が発生す
る結果比の値は正となつて、これは
幾何学的な取扱いが間違つた結果に
導くことを明瞭に示している。

各降水日量について作つた比の値
を基にして落下角のスペクトル（頻
度）を求めた（第6図）。北斜面では
頻度の中は $-30^\circ \sim 60^\circ$ で著しい極大
が 22° にある。南側では中はこれよ
り小さく $-40^\circ \sim 35^\circ$ で極大は -18° に
ある。頻度曲線は幾何学的な取扱いに
反して対称的でない。風上側では風



第6図 20° 斜面における落下角スペクトル、落下角は雨
量比から求めたもの。

第4表
測定方法別に降水強度が分布形に及ぼす影響を示す

降水日量 (Nに上る)	比 S : N					比 SH : NH				
	×	●	▽	●+▽	×+●+▽	×	●	▽	●+▽	×+●+▽
<1.0	182	128	155	140	161	135	93	136	109	122
1.0~2.9	155	114	108	111	133	114	97	97	97	106
3.0~4.9	157	122	110	116	133	116	98	93	96	105
5.0~9.9	138	111	106	109	115	116	92	90	91	99
>10.0	155	102	104	103	105	113	86	88	88	89

このようなことから水平受水口の普通の雨量計で測定した降水分布を、力学的立場から後に
なつて補正することは風が強く且つ雪の割合が多い程困難となることがわかる。

4. 雨量計の設置について

高山観測所の測定結果から得られた降水についての間違つた結論は本質的に風の影響にその
原因がある⁽¹⁶⁾、風は降水の落下角を変え、又固まらない積雪を吹流す作用があるからである。
Tollner⁽³⁾によれば氷の多い山地で、雨量計が崖ふちのような所でなく風の当たらない古い雪の
斜面のような所にあるなら自然に近い状態が得られる。この場合も降水が斜めに落下すること
を考慮して斜面平行の受水口を用いるべきである。

もつと広くもつと低い山地では我々は風を防ぐ設置場所を選んで風の影響を防ぎ、力学的な
影響をはじめからのがれようとつとめるが⁽⁹⁾、局部的に風のない場所、たとえば障害物の風下
では全く異なる気流状態となるから注意を要する。障害物の風下に置かれた測器は風下の渦の中
に入り従つて測定値は広くて障害のない場所での値から著しくかたよることがあり得る。

普通に許容されている雨量計の距離1:1(障害物の高さと同距離との比)では充分でない。
Hudleston⁽¹²⁾によれば1:2から1:3の距離ではじめて役に立つ値が得られる。たゞし積雪深
の深い場合は1:3までは高すぎる値を与える。FinlandでのKorhonen⁽¹⁷⁾の研究もこれを
証明している。すなわち風を防いだ場所で測つた積雪深度は広々した地より16又は30%大き
かつた。では森や松林でかこまれた広い“主露場”がちょうどこのような風を防いだ場所に当
る。そこで標準雨量計で測つた量は(第1表最後の欄)障害物のない北側の斜面平行雨量計に
比し雨の場合は少なく、雪の場合すなわち強い渦の影響がある場合は多い。風を防いだ場所内
と、ひらけた傾斜面(この斜面が水経済上重要である)との積雪深度の比較は上の結果と一致
する。より高い所では風の強さも増し、又雪の割合も多くなるから風を防いだ場所の値はさら
に代表性としての価値を減ずるのである。

落下しつつある降水に対する力学的の影響を明らかにするためR. Pers⁽¹⁰⁾は“Ortho-雨量計”
——これは、受水口から鉛直で主風向に向いた4つの雨量計と、水平口をもつた一つの雨量計
よりなる——を又Lütschg⁽⁹⁾⁽¹⁸⁾は球形雨量計を提案した。これらの測器によつて降水は三次

元的に一つのベクトル量としてつかむことができ、代表地点の決定に役立つ。しかし他方より広い地域の降水状態については積雪状態の研究がよりよい概観を示してくれる。Friedel⁽⁹⁰⁾によれば地形地物の形の結果として、天気の間年の経過には関係のない積雪分布型が定まる。⁽¹⁹⁾なお地形地物の作用（降水を運ぶ風に対する地面の傾斜、表面状態）によつて生じる積雪の不同はきわめて著しいので高山内の積雪分布は最終的には融雪期に定めることになる。

地形地物の作用を無視しては実際の状況を知ることはいかなる。降水の測定は地形地物の作用が十分に現われるような所で行うべきである。たとえば降水の吹きたまる谷底は必ずつかまねばならぬ⁽⁹⁾。このような状態で降水を測るには結局斜面に平行な受水面のみが真の結果を与えてくれることになる。

5. 降水研究の目的をきめることについて

傾斜した地面に落ちた全降水は今までは十分につかめなかつたが、これを測定することが水理学上要求され、これから“水理学的”な降水（Hoeck）という定義が生れた。これについては斜面に落下した降水すなわち水平単位面積をもつ斜面に平行な受水口で測られた降水が相当する。これに対して普通の方法で平面図に記入された“気象学的”な降水はより理論的な価値をもつていふと考えられる。この場合には最も重要な実用的な水理学的な応用はきかない。しかしながら降水研究に二種の量を用いるという案は基礎的な面と実用的な面とから賛成されるべきでない。

実用的な必要に対しても又気候学的な比較目的にも役立つ値を与える方法のみが意味があり且つ正しいと思われる。高山水理学のもつと進んだ要求に対しては用いられる方法を判定した上で優先が与へられるべきである。理論的な考慮と、改良された方法によつて得られた測定結果によれば、今の所斜面上では斜面平行の測定が基本的にすぐれていることを示す。

もしより広い意味での降水研究が降つて来る雪ではなくてそこにある積雪を知ることが目的とするなら、運ばれた雪と降つた量との関係を知ることが必要である。そのためには降つて来る雪の外にその地域の積雪深図を必要とする。なお降つて来た降水量と運ばれて来た降水量との比較によつて、雨量計設置の代表的場所をさがし出すことができよう。

降水量測定についての条件は非常に多いので雨量計の形式、設置についての一つの指針で定めることはむずかしい。しかし一般的に必要と思われることは降水が自然のままに地上に落下する状態に出来るだけ近くおいて降水量を測ることである（Lüschg⁽⁹⁾）。それによつて水理学上の要求も又比較気候学上の要求も最もよく満足されよう。もし気象学的及び水理学的降水研究の間に相違があるとすれば一旦降つた水量がその後の流動で動くためであつて、Hoeckは降水測定の定義を国際協定によつて明らかにし且つ規定化することを提案したが、これは急速に実現したいものである。

トータライザーに関する実験観測

大 阪 管 区 気 象 台

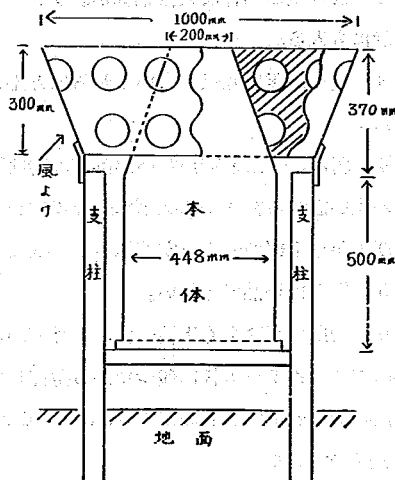
§ 1. 概 要

トータライザーは冬季山岳地方などにおける雨雪の積算量を容易に測るための簡単な雪量計であつて、塩化カルシウムの濃厚な溶液が低温でも容易に凍結せず、且つ降り込んだ雨雪と混和しやすい性質を利用したものである。

昭和 28—29 年の冬大阪管区気象台ではトータライザーに関する 2 つの実験観測を行つた。1 つは塩化カルシウム溶液の表面をおおう油膜の効果の検討で大阪管区気象台露場において実施し、油膜は是非必要であるとの結論に達した。今 1 つは伊吹山頂および山麓における普通雨量計との比較観測で、山麓においては両者はよく一致したが山頂においては必ずしも一致しない。しかし、トータライザーと普通雨量計のどちらが正しいかは簡単に断言できない。どちらかと言えばトータライザーの方が真に近いと考えられる理由もある。又、低温・強風で霧水の多い山間で普通ならば放置せられるトータライザーの作働状態を、専門気象観測者がつぶさに観察することができたのは大きな収穫である。

§ 3. トータライザーの設計

伊吹山頂および山麓春照村に設置するトータライザーは、伊吹山での冬季の総降水量を考慮して第 3 図のように設計した。受水口径 20 cm に対し貯水部の直径は 44.8 cm であるから水位 1 mm の増加は降水量 5 mm に相当する。すなわち 5:1 の比率に設計した。伊吹山頂の冬は強風が続くから風除けは是非必要なので図のように窓つきの上向き円錐形のものを附けた。内面の塗装は塩化カルシウム溶液に腐蝕されない



第 3 図 伊吹山頂
春 照 村 設置トータライザー

よう0.1 mm厚みの亜鉛メタリコンを施したが、山麓へ設置の分は試験の意味もあつて黒色焼付のみとした。しかし後で検べるとやはり多少の腐蝕を見たのでメタリコンは是非必要である。

溶液の濃度は降水によつて稀釈された後もなお -10°C 程度の低温に耐えるよう、 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 13kg を水 10kg に溶かしたものを原液とした。蒸発・吸水防止用の油膜には燈油を用いた。

§ 4. 山頂における作働状態の観察

伊吹山頂における実験の特徴は本来ならば山間に放置されるトータライザーを、同じような環境にありながら専門の気象観測者がつぶさにその作働状態を観察できた点にある。このため設計者から観測者に対し次の諸項目の観察を特に依頼しておいた。

- (1) 気流の乱れのため入るべき雪が入らぬことはないか、
- (2) 風のため地上の積雪が飛散して入り込むことはないか、
- (3) トータライザー外部に雪が附着しないか、
- (4) 風除け、木枠などに雪が附着しないか、
- (5) 受水口などに雪紐ができることはないか、
- (6) 液面が凍結することはないか。

これに対し伊吹山頂で観察の結果、次のようであつた。

(1) 定量的には分らないが多くの場合、濃霧中を吹雪と飛雪が入混つてトータライザーの上方・後方で濃然と渦をまいている。風が弱い時は気流の乱れはない。

(2) NW風の場合は大抵飛雪があり3—5mも舞い上るからトータライザーにも勿論普通雨量計にも入る。

(3) 山頂の雪は乾燥しているからほとんど着かない。但しSE風の場合は湿つているので若干着く。

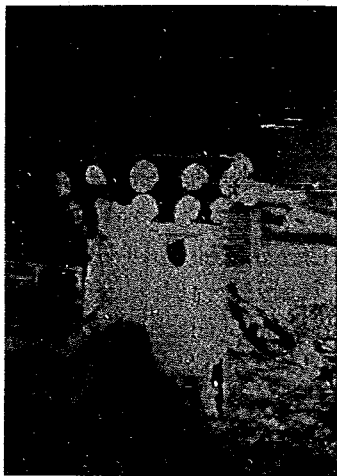
(4) 雪はほとんど着かないが濃霧の時は霧氷が着く。今冬は霧氷が少ない方であつたが風除けの丸い窓から初まつて次第に全体に成長して行く。しかしかなり成長しても風のくる方向に伸びるから上部の受水口が閉じることなく雪の入り具合には大した影響はない。

(5) 雪紐は全然できない。

(6) 初期の間は全く氷結せず、1月末から2月初めにかけの大雪の時は雪がとけきれず表面にアイスクリーム状に残つたから攪拌してとがした。又3月13日最低気温が -12°C に下つた時油膜の下で液表面が1.5cmぐらいの厚さに凍つた。砕いて観測したがその氷は5日間ほど残つていた。

写真は霧氷の附着したトータライザーのありさまを示す。以上の観察によれば乱流・飛雪・霧氷などの影響は別として大体において予定通り作働したものと思われる。

(6) については観測の終期に近く溶液が稀釈されている時期に低温に遭遇したためであるが、初めから原液を濃くしておくとか途中で人為的又は自動的に塩化カルシウムを追加して濃度の低下を防ぐことによつて解決できよう。なお乱流・飛雪・霧氷の問題は比較に用いた普通雨量計に関しても同様で、これには風除けがないから更に影響が大きかつたものと推定される。



第4図 3月3日 9^h 42^m NE
より見る



第5図 3月3日 12^h 00^m の状態

(Vol 4, No. 1)

風に曝された傾斜地での雨量測定の方法

G. L. Hayes

A Method of Measuring Rainfall on Windy Slopes

(*Month. Weath. Rev.*, Vol. 72 pp. 111~114, 1944)

Brooks も述べているように降水量測定の目的は、“地域面積の降水量を代表するような標本値を測定するにある”。面積はこの場合、水平すなわち地図面積である。傾斜地で測られる場合でも、降雨は水平面積についての水深として表わされる。

風の吹きとおる地点では、平地でも傾斜地でも色々な條件が降水の正確な観測を妨げる。Koschmieder, Brooks, Riesbol やその他の人々の充分に論じたところでは、従来の型の雨量計を在来のように

受水部を2呎ないし以上地上より高く設置した場合に、風にもなつた雨について、地表が受ける実際の値を雨量計が受水することはできかねる。この障害というのは、風の流れのなかでは雨量計自体によつて生じる乱れにもとづく、すなわち上向きの逆流と、顕著な雨量計上での増速および受水口内の渦の流れが、本来雨量計に入るべき水滴をそらすためである。したがつて地表高くおかれた雨量計の受水口によつて受水する量は、地上に達するものよりはるかにすくない。

この誤差は、山の傾斜地にあつてはさらに増大する。この場合は空氣の流れのなかでの雨量計によつて生じる乱れに加えて、水平の受水部分が雨をとまう風となす角と地表となす角とはことなり、このために降水は地点毎に変わる。この條件の意味について Soil Conservation Service の水文分科会の最近の刊行物で次のように述べている。North Appalachian Experimental Watershed では個々の雨量計の位置は、山の嶮所のため、とくに地域の地形がきくのであるが、多くの森林地域や農場等があるため全然不適当のものから最適のものまで混在している。

これらの測定上の困難は、すべて1935～1936年の夏に逢着したもので、当時森林火災の地形分布の研究の一分科として、降雨を従来の雨量計をもちいて、プライスト河試験林(北アイダホ)で6箇所の山側と一つの谷についてはかつたものである。記録された降水量は観測点ごとくにいちじるしくことなり、またそのことなる意味が不明である。したがつてある地点についてはあやまりと考えないわけにゆかないものがある。このように風に測定の不正確の共通の原因があつたので、若干の特別の風の影響をなくする方法を1937年にこころみたが、これらは従来のにならべて設置された。3回の季節の資料によつて理論的な信すべき関係が、測定値間に存在することがあきらかになつたのである。

雨量計についての説明とその設置 この特殊な装置は“傾斜受水口”雨量計をくば地に設置するものである。くば地に受水器を附近の地表と平行においた雨量計は風をさえぎる効果をしめす。受水口を周辺の地面とたいらにたもつためには雨量計が本来の位置からかたむくか、受水口がかたむくしなければならぬ。もし雨量計がかたむくようにすれば、受水量は受水口が水平となす角の $\sec$ を乗じて単位水平面上におちる値に引直さなければならない。

この数値的な補正をほどくことはさけたい。また W. A. Rockie によれば大きいコンクリートの流出タンクで Pullman, Washington 附近の傾斜地であつめた降水量は地上におかれた傾斜受水口とよく一致する。このようなことから傾斜受水口雨量計がもちいられた。傾斜受水口はそれぞれの雨量計について周囲の地表面と平行かつ離しておくようにし、かつ垂直にたもつて受水量を単位水平面積について直接測定できるようにする。

第1図(写真略)で示している傾斜受水口雨量計は Forest Service 型の雨量計の受水口へ、傾斜した口を亜鉛引鉄板でつくつた補助棒をつけたものである。各受水器はそれぞれそのもちいる地点の傾斜にあつて傾斜を附してあり、この補助棒は Missoula Mont 金属加工所で1.89ドルでつくられ、本体の価格1.31ドルにあわせて経費は3.20ドルに過ぎない。

くば地に設置した雨量計が地表面のハネカエリ飛沫をうけないために、6×6呎角の半インチメツシユ金網におおわれたカンナ屑のマットでかこんでいる。このマットは雨の飛沫を有効に阻止するが、電には効果がないので、電をとまう風は解析からのぞかれてある。Riesbol はある種の條件のもとではこわれた雨滴の飛沫が地上附近では風にふきとばされて、くば地の雨量計の受水量を増加させることを

見出しているが、この研究ではマツが測点をかこんでいるので、このような現象をうけないかたちになった。

従来の設置方法では測点に Forest Service 型雨量計を地上 2 呎に置いてある。この雨量計は Weather Bureau Standard 型であるが、容量と材質にちがいがある。Hay は両者を降雨 330 回について比較をし、また 311 回 Friez tipping bucket 型と比較観測して、Forest Service 型はこれらの標準設計品に同等だと論証した。傾斜受水口の雨量計は Forest Service 型雨量計を基礎にしてあつて、各地点での両者の設置は単に雨量計受水口の形、漏斗より上の縁の長さ、雨量計受水口の地面に対する関係がことなるだけである。

雨量測定地点のさきにのべたとおり降水量は状況のことなつた 7 箇所の地点についてはかつた。一つだけは谷で、他の 6 箇所は山の傾斜面で高い場所である。傾斜受水口雨量計をもちいたのは後者の 6 箇所である。谷の地表はひらたい場所で、風には開かれた地点ではあるが、しばしば雨をともなつた暴風雨も上方の地点の何箇所かのように強風はふかなかつた。この谷については 1939 年迄は在来の設置様式の雨量計のみをもちい、後にくぼ地設置雨量計をくわえたが、二つの雨量計をおいた一季節についてなんのちがいがみとめず、いずれでも正確な測定値が得られることを示している。

6 箇の傾斜地測点は高さ 2700、3800、5500 呎にそれぞれ一組づつとし、組のうち一方を北側の斜面に、他を南側の斜面に設置した。たがいに對をなす 2 測点は 300 呎以上はなれることなく、両者をわかつ尾根より 50 呎以上垂直距離があるのはない。ただ一つが北に面し、他が南に面すること、傾斜のけわしさにちがいがあるだけである。

南側斜面の測点は北側よりも強い風にさらされる、暴風雨は南からの方向の多いからである。1935～1938 年の 8 月についての平均風速は地上 7 $\frac{1}{2}$ 呎で 3.2 MPH、南側斜面では 2700、3800、5500 呎につきそれぞれ 3.9、3.6 および 4.5 MPH であるが、北側では 2.4、2.0、および 3.4 MPH である。1939 年 10 月 4 日の暴風雨では 4 時間以上の平均で南側はそれぞれ 11.1、12.7 および 11.8 MPH に対し北側ではそれぞれ 3.1、2.2 および 5.1 MPH である。

3800、5500 呎の南側斜面の雨量計はもつとも強い風をうけ、山の風のあたる側にあるが、ごく小さい灌木または他の植物が雨量計のそばにあつて雨量計への風の全影響をさえぎっている。南側の 2700 呎のものは、やはり風にむかっているが、部分的に風をよけている。すなわち草地にあつて 32 × 32 呎内のきれいになつてい場所ではうたがいがなく雨量計の高さでの風はよめられるが、風力計の高さでははつきりした影響はない。

北側の測点は風に対する露出度合がかなりことなつてい。5500 呎では南側の 3800、5500 呎と同様に露出されているが、北の 2700 呎測点は南と同様に草地にあつてきれいになつていて、雨量計は部分的に遮蔽されている。3800 呎北側測点はもつとも遮蔽されている、この測点は森林のなかの開墾地であり、雨量計が開墾地のふちから 100～250 呎の地点にあるが、つよい風はとらぬ。7 $\frac{1}{2}$ 呎の風力計の高さにあつても、6 MPH 以上の風が 1 時間以上記録されたことは 5 季節間一回もなかつた。

山の傾斜のけわしさに関連して、他の條件が雨量の測定精度に影響をおよぼす。3800 呎の測点は測定精度について最もこのましくない。そこでは南側斜面は 28°、北では 27° である。2700 呎南側測点は最もこのましい傾斜で 15°、他の 3 測点は中程度で、2700 呎北側が 21°、5500 呎は南、北ともに 20° で

ある。

結果 第1表に示すように1935～1936年の間に普通の方法によつた測定の結果は在来型の雨量計を風のつよい斜面に在来の方法で設置した場合の欠陥をよく示している。部分的に遮蔽された2700呎地点は両者のようすが同じで、南側の雨量は北側よりも3%多く、尾根の両側では等量にちかい雨がふつて

いることを示している。3800と5500呎地点は風のつよい南面は風のよわい北側斜面よりもはるかに受

第1表 1935、1936年在来型雨量計で測られた雨量
(1谷底と6山麓地点について)

位置と高さ (フィート)		1935 (インチ)	1936 (インチ)	平均 (インチ)
谷 底	2300	3.01	6.55	4.78
	2700	3.57	6.14	4.86
	3800	3.98	6.31	5.14
	5500	4.64	6.93	5.78
山 麓	2700	3.41	6.61	5.01
	3800	2.92	5.66	4.29
	5500	3.88	6.59	5.24

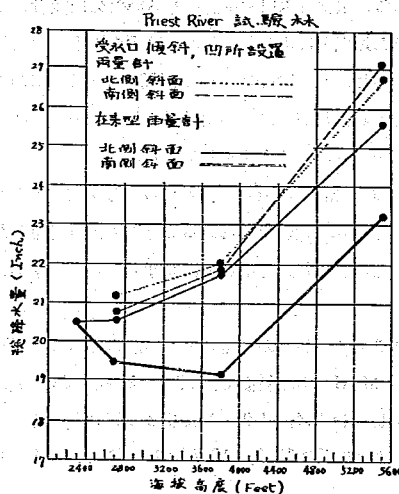
水量がすくなくて、それぞれ83%、91%である。

もしこれらの高度で同量の雨が風のあたる南側と反対の北側とによつたとしたならば雨量計は降水量を正しく記録していなかったことになる。

さらに、あきらかに風のあたる側の雨量計の受水量がすくないことは、尾根の両側の降水地点の高度分布によつて示される。風下になる北側の斜面では、降雨の受水量はしばしば論証されているように高さとともに増加しているが、風のあたる側では受水量は3800呎地点でも谷底の1500呎地点よりもすくない。

1937～1939年の間普通の方法での設置の結果、おなじような重要なズレを示しつづけた。しかし、くぼ地設置の「傾斜受水口」雨量計は両者間にまったくことなつた関係のあることを明らかにした。比

較対照のために両タイプの結果を第2図に示す。普通の方法ではむきによつて大きい差を示すが、特殊な雨量計では北も南も等量の降水量を示す。事実第2表のとおりで、2700呎地点ののぞいては二つのむきの降水量には統計的に意味あるほどの差はない。



第2図 1937～1939年間の雨量の比較
Priest River 試験林

第2表 傾斜受水口雨量計による北および南側斜面の雨量比較 (1937～39年, Priest 川試験林)

高度 (フィート)	風雨の回数	総 降 水 量		
		北側斜面 (インチ)	南側斜面 (インチ)	差 (インチ)
2,700	48	21.20	20.73	0.47*
3,800	49	21.98	21.88	0.10
5,500	50	26.73	27.16	0.43

* 危険度5%で有意の差を示す。

さらに降水量は南側斜面では普通の状態では高さとともに増加することを示している。これらの結果はつぎの二つの理由から高い精度を示しているものと信ぜられる。第一には雨量計の型と設置が合理的な論証された原理に準拠しているものと思われる。すなわち風のあたる斜面地にあつては雨量計は受水口を傾斜地面に平行にすべきこと、およびくぼ地設置は正しく雨滴のハネカエリから防護されていて、標準雨量計の在来の設置の仕方に際して生ずる風による乱れを実際上除去しているものである。第二に

は傾斜受水口による受水量と在来のものとの差はつよい風にもつとも多くさらされた場合にもつとも大きく、完全に遮蔽された場合に非常にすくなくなっている。

これは第3表にも示すように風の吹きあたる 3800, 5500 呎の南側地点では傾斜受水口は 2.68 および 3.87 吋づつそれぞれ普通型のより多く三季節を通じて受水しているにかかわらず、遮蔽された 3800 呎の北側地点はわずかに 0.21 吋の差異となつている。

地上 7 1/2 呎の風速平均が 2 MPH, 最もはげしい暴風雨で 1 時間について 6 MPH をでないところではど

第3表 傾斜口雨量計、くぼ地設置と在来型雨量計とによる測定と比較

位置と高さ (フイート)	風雨 回数	総降水量		
		在来型	傾斜口	差
北 向 2700	49	20.61	21.22	0.61
	3800	49	21.77	0.21
	5500	52	25.61	1.15
南 向 2700	48	19.54	20.73	1.19
	3800	49	19.20	2.68
	5500	50	23.29	3.87

んな型の雨量計でも正確な降水量が得られる。すなわち第3表によれば北側 3800 呎点ではよく測定値が一致し、その差について統計上の意味はない。他のすべての測点について傾斜受水口の受水量が普通の型のものより多いことは危険度 0.01 で統計的に有意である。

要約および結語 正確な降水量の測定は風にさらされた山地の斜面でははなはだ困難である。在来の方法はこれに適しない。高い精度はくぼ地設置「傾斜受水口」雨量計によつて得られる。現在、開豁な風のあたる傾斜地で在来の方法でつくられているたくさんの降水量の測定値は、ここに示された方法を用いるとより正確になるであろう。Montana 国有林と北部アイダホで、たとえば 700 箇所以上の在来の様式の雨量計が森林火災調査のためにもちいられている。これらの多くは山の頂におかれて、ここでは夏の対流性降雨をとまう風はしばしば 35~50 MPH の風速に達する。このような条件下では Koschmieder は在来型は、くぼ地雨量計ではかられた降水量の 30% すぎないことを見出した。あるストームについて調べてみると、風のある 5500 呎の南側傾斜地点で在来のとおりおかれた雨量計は傾斜受水口のその 50% しか受水していない。このような状況であるから在来型の設置は火災対策のためにはならないのである。

山地の雨量分布について(第1報)

竹花 峰夫・渡辺 利兵衛

(山形測候所)

まえがき

降水量の時間的・地域的变化に直接関係するパラメーターとして、第1は低気圧または凝結作用に関する大気中の擾乱構造である。第2は山岳地方での広域の地形 (topography), 第3は小地形的效果または観測所周辺の地物、測器自身のまわりの影響などである。

これら3つのパラメーターの解析は多くの降水資料を集積して、多角的に分析をすることが必要である。特に本邦のように山岳が多い地方での降水については、地形性降雨 (orographic rain) の研究は水文気象学的見地からも重要である。ところで山地降水 (本文では特に雨に限る) の測定調査は今までも各地で行われており、最近はまだその必要性が再認識されたかたちであるが、未だ一般的に確かな結論が得られているものは少ないようである。

著者等は従来の各地の資料を総合的に検討しつゝ、山形 (a) 地形の影響 (L. Serra による) 第1種
県の観測値についても2~3の考究を行なつてみた。

§1. 雨量測定の問題

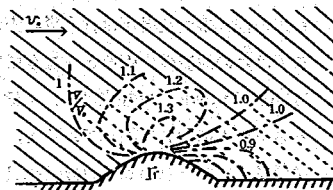
まず前置きとして雨量測定の基本的問題について検討してみる。

(i) 風の影響

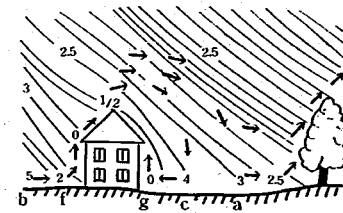
(a) 小地形によるじょう乱 実際の地形は複雑であるが仮りにモデルとして第1図(a)のように風と直角な方向に丘が横たわっているような簡単な地形を考える⁽¹⁾。斜の実線は雨の経路で点線は障害のない場合の雨の経路である。鎖線は V/V_0 を表わす。 (V_0 は上層の風速, V は地上の風速である) これでわかるように丘は風の分布を変え降雨密度に対する傾斜の影響を強める。丘の前後で雨量の差は2倍にもなる。

また気流は丘に対して、風上より風下の方が乱れが起り易く、風下では渦動性のじょう乱となり易い。これは山地の雨量計設置位置の選定に当つて注意すべきことである。

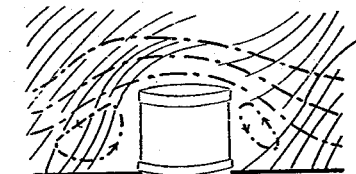
しかしながら実際の山地で起伏重疊の地形について、これ



(b) 地物の影響 (Stow による) 第2種



(c) 雨量計の影響 (Jevon 効果) 第3種



第1図 雨量に及ぼす風の影響

らを解明することは至難であり、また小地形大地形といつても、そのスケールの限界すら明らかでない。

とにかくこの種の雨量測定に及ぼす影響を第1種の(風の)影響と呼ぶことにする。

(b) 地物によるじょう乱 山のような大きさではないが、建物、防風林、樹木、垣などの地物によるものである。我々が雨量観測所を選定する際、また雨量計を設置する場合に、これらの点は比較的注意して検討しているから、不適当なものは少ない。第1図(b)はStowが地物による風の影響をスケッチで示したものである。図中の数字は受水量の割合を推定したもので多少誇張はあるが、f, gのような位置が雨量計の設置に適さないことを示している。広い原野でない限り地物の影響は多少なりとも免れ難く、しかもその値はかなり大きい。またこれと性質は違うが、降雨現象自身の不整による地点観測の偏差も少なくない。しかしこれらを定量的に補正する方法はかなりむずかしい。

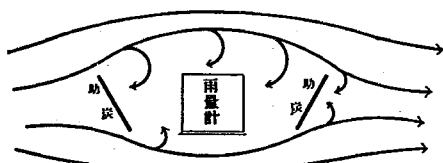
このような類が第2種の影響である。

(c) 雨量計自身の影響 わが国の普通雨量計は口径 20 cm で受水部が地上に約 20 cm 出てそれ以下の部分は埋設される。たゞし自記雨量計は地上 1~2m の適当な高さに設けられる。外国の雨量計は口径 10 cm ぐらいのものもあり区々である。(アメリカ Weather Bureau の標準型は普通口径 8 吋 (20.3 cm)、自記 12 吋 (30.5 cm) である)。

この雨量計の受水口の部分に風が当たると第1図(c)のように空気の混乱を生じ、そのため雨量計で測る雨量は風速が大きくなるほど減少する。これがいわゆる Jevons effect である。

この問題は風洞実験や、規則正しい気流の中の雨滴の経路の理論的計算などからも求められるが、実際の地面近くの空気の運動は安定した流れとは違うものである。従つて風洞実験の結果から作られた、流体力学的に中立である装置⁽²⁾といえども雨量計として完全とは考えられない。実際には Jevons effect を防ぐために Nipher 型の助炭 (shield) または Wild の板囲い (fence) などが用いられている。Nipher 型助炭は最近特に山地用雨量計に用いられるようになった。

しかしこれを用いることにはかなりの異論もある。つまり助炭をつけた雨量計は、つけない雨量計より多い雨量を受けることは確かである。Nipher 型の助炭の直径は雨量計の直径 20 cm



第2図 Nipher型 助炭の影響

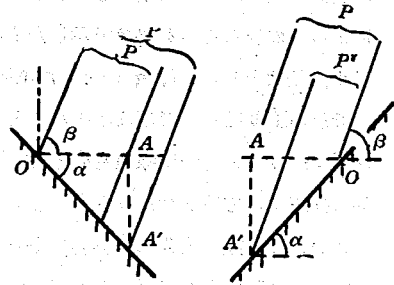
に対して直径 1 m 以上もあるから、第2図のようにこれが地物的に働いて、雨量計のまわりに下降気流を起し、雨滴を雨量計に多く集めるだけで、雨量を正確に測るのではなく、結果を複雑にするだけであるというのである。このことは確かで、Mercanton の風洞実

験⁽³⁾の結果でも証明されている。とにかく Nipher の風除けだけで雨量計のデーターが正確になるような見解は正しくない。

この種の雨量計の構造に関する風の効果を第3種の影響と呼ぶ。

(ii) 斜面の影響

第3図で α を土地の水平との傾斜角、OAを斜面上に設けた雨量計の水平の切口とする。雨が鉛直に落ちるとき（静穏のとき）は、雨量計も斜面（OA'）の受ける雨量も同じであるが、雨が水平と β の角度で落ちるときは、向い風と反対風とで違い、向い風であると、地面の受ける実際の雨量 P' に対して、雨量計は P （ $P' > P$ ）の雨量しか受けず、同じ角度で反対風のときは地面の実際の雨量は P'' （ $P'' < P$ ）で雨量計の方が多くなる。つまり水平な雨量計の雨量は他の条件が同じならば、風上風下で受ける雨量は同じだが、これは実際とは全く違う。



第3図 斜面による雨量の変化

これは谷のように斜面が向い合つてほぼ同面積の地形ならば、総雨量については差引されて水平の雨量計と同じになるが、一般地形において水理学的な水量算定の場合は無視できない。

最近山の傾斜面での風の影響による誤差を少なくするため、斜面に平行な受水口をもつた雨量計が実験され、水平雨量計に比べて受水率が遙かに良いことが実証された⁽³⁴⁾。

吹き曝しの斜面上で測定した降水量*

A. E. Helmers

概要 高度 5500 呎、傾斜角 22 度の吹き曝しの南面した斜面上においた、4 つの型式の雨量計で測定した過去 3 年間の降水量を比較した。1950 年には降水量を次のような雨量計で測定した。(1) 受水口と Alter 型の助炭 (shield) を地面の傾斜に平行にした重量式の自記雨量計、(2) 受水口を傾斜面に平行にした、助炭のない記録装置のない雨量計、(3) 水平な受水口と Alter 型の助炭をつけた重量式自記雨量計、(4) 漏斗を取去った助炭のない U. S. Weather Bureau の標準の雨量計。その結果 (1) で 62.90, (2) で 53.34, (3) 39.82, (4) では 27.64 時の値であつた。1951 年にはそれぞれの測器の捕捉した降水量は (1) 61.38, (2) 52.94, (3) 35.91, (4) 25.67 時であり、1952 年には (1) 39.62, (2) 35.01, (3) 27.09, (4) 15.91 時であつた。結果として測器 (1) の降水量はおそらく多過ぎるものではないであろうということと、風速と各測器の捕捉量の差との間の関係がわかつた。

緒言 降水量を正確に測ることは全くむずかしい。凹凸ある地形、風に曝されること、降水の大部分が雪の形で降ることなどにより、問題になる点が増加する。

風に曝された斜面で降水量を測定する際に、不正確や変動を起す主な原因の一つは、水滴を含んだ気流の中においてある雨量計によつて生ずる渦動である。雨量計の中に、当然落ちるべき降水のいくらかは、風上側では圧力が増加する結果として空気の流れを上方へ押しやり、測器の上では圧力と空気の流れの加速度が著しく減小するために、雨量計の上を越えて行ってしまう [Brooks, 1938 a, Krein, 1952]。

測器の受水口の上に生ずる空気の渦を最少にするためには、助炭を用いることが望ましいことは繰返し示されてきた。これらの研究の中で雪に関係したものは比較的少ないが、風や地形の厳密な条件を考

* **Precipitation Measurements on Wind-swept Slopes**
(*Trans. Amer. Geophys. Union*, Vol. 35 pp. 471-474, 1954)

慮したものはさらに少ない。しかしながらほとんどあらゆる場合に、助炭を用いることによつて測器が捕捉する降水量が著しく増加したことを示している。

Nipher [Brooks, 1938 b] 型と Alter [Alter, 1937] 型の助炭は数多い型式の中で最も有効なものであることが立証されている。Nipher 型のものは雨に対しては Alter 型のものより良いが、設置しておく場合には雪に対しては不適当である。大きな平らな面が後になつて測器の中へ吹込むような雪を集めたり、積つた雪が受水口をおおつてしまつたりする。小板型 (Slat-type) の Alter 型助炭は雪に対しては最も有効で、西部の山岳地帯では広く雪量計に用いられている [Bernard and Codd, 1940]。この助炭は短冊状の板金で、直径約 40 吋の支持環にブラブラしてとりつけてある。助炭の外見上の作用は、測器の方へ近づいて測器によつて起される空気の流れを下方にそらして上方への偏りを充分打消すようにすることである [Krein, 1952]。

測定の誤差の他の原因は、受水口面と斜面とで降水を受ける角度が異なることによるものである。その誤差は急斜面上に水平に設置された測器の中に、降水が多少垂直から傾いて落ちてくる時に大きくなる。雨量計を傾けると地面と同じ平面上で降水を受けるから、このことは斜面上での降水捕捉を改善する。このとき捕捉される降水量を水平面の値に修正するために、受水口面と、水平面とのなす角の正割 (secant) を乗ずれば、これが水平基準面上の降水量を表わす。斜面と同じ角度に受水口を切断してやれば斜面の補正の必要なしに同様な結果が得られる。Story と Hamilton [1943] はこの型式の測器を "stereo" 型測器と呼ぶことにした。だがこの両氏は Pagliuca [1934] とともに、傾けた測器は空気動力学的には stereo 型より優つていると述べた。

北部 Idaho の Priest 河試験林の降水観測網の測器の設置場所は、大部分が急斜面で風に吹き曝されている。このうちで比較的激しい場所に対して改良された雨量計は、stereo 型の受水口と Alter 型の助炭の利点を結合させたものである。受水口も助炭もともに地面に対し平行におくのである。測器の中には重量式自記記録型で傾斜させるのに適しないものもあるので、stereo 型が用いられた。Pagliuca [1934] は雪を測定するために斜面上に平行に測器と助炭を傾けることを考え、Hayes と Kittredge [1949] は雨を測定するのに Nipher 型の助炭をつけた傾けた測器を使用した。Priest 河の測器は本質的には前に述べた型式のようなものを使用した。雪に対してはもつと具合の良い小板型の助炭を使用したことが異なっている。この組合せはあまり一般的でないで、他の 3 型式の測器とこの測器の性能を比較するために、1949 年の秋の初めから 3 年間試験観測が行われた。この試験の初期の結果は Helmers [1952] により報告された。その最終的な結果について、これから以下に述べる。

測器の設置と結果 各測器 (第 1 図: 図省略) は高度 5,500 呎、傾斜 22° の風の当る南面した斜面上に設置された。(A) は stereo 型の受水口と傾けた助炭をつけた自起器、(B) は stereo 型の受水口を持つた助炭のない無記録装置の測器、(C) は水平な受水口と助炭をつけた自起器、(D) は水平な受水口を持つた (8 時に 24 時の無記録装置) 助炭のない標準の測器である。

試験地では年降水量の 50% か、あるいはそれ以上が雪として降つたと推定される。最大積雪深のすぐ上に測器の底があるように、すべての測器の口は地上約 10 呎の処におかれた。雨期の間は通常 1 週間ごとに降水量は測定されたが、1952 年と降水の少ない夏の期間ともつと間隔をおいて測定された。

第 1 表は各測器が捕捉した年降水量の 3 年間の記録を示している。各測器の捕捉した降水量の差は

第1表 4 型式の測器で捕捉した 1950-1952 年の年降水量

測器	装 置	降水量測定値			標準測器との比較		
		1950	1951	1952	1950	1951	1952
A	stereo 型受水口と傾けた助炭をつけた自記測器	62.90	61.38	39.62	228%	239%	249%
B	助炭のない stereo 型測器	53.34	52.94	35.01	193	206	220
C	水平な受水口と助炭をつけた自記測器	39.82	35.91	27.09	144	140	170
D	助炭のない水平な受水口の標準測器	27.64	25.67	15.91	100	100	100

風や、雪として降る降水の割合が異なるために、年により異なることが予期される。捕捉量の変動を起すこのような可能な原因があるにもかかわらず、ほとんど降水量の等しかつた 2 年間は、4 個の測器がほぼ同量を捕捉している。1952 年の降水量は前の 2 年よりざつと 40% 少なかつた。そして標準でない測器で測定された降水量は、標準のものに比較して 10% から 30% 多かつた。

実際に各測定期間に対して年降水量も順位を第 2 図（省略）に示してある。主な欠測は大雪に基因するものである。その時は 2 個の stereo 型の測器の口がほとんど雪でおおわれてしまった。他の時々故障は重量測定の際、即ち、総降水量が測器の重量測定装置の正確さの限界に近いような、ごく少量の降水に基因するものであつた。

Stereo 型測器は、水平な受水口の測器より早く受水口が雪におおわれてしまう傾向が見られたが、これは stereo 型について前に述べた空気動力学的な欠点 (Storey と Hamilton, 1943; Pagliua, 1934) があつたことを裏書きするものである。

どんな測器が最も効果的であるか決定するために、可能な場合には捕捉量と積雪相当水量とが比較された。しかしこれらの比較は完全な成功とはいへなかつた。雨や風が積雪に影響して、しばしば比較のための確実な根拠が失われた。見かけ上の相当水量は、雨や融雪水の滲透による損失がない時及び雪の風蝕がない時にだけ信用できた。測器で捕捉されたものと積雪相当水量との割合信用できる比較の一つは 1950 年 2 月 9 日から 3 月 8 日までの期間にわたるものである。その時は傾けた助炭をつけた stereo 型測器では降水量は約 6.05 吋であつた。同じ期間の積雪相当水量は 7.9 吋であつた。1950 年の 3 月 23 日から 4 月 5 日まで、風蝕がほとんどなかつた別の期間であつた。その時は測器は約 2.8 吋の降水量を受けたが、一方積雪は水量にして 3.2 吋であつた。2 月 9 日から 3 月 23 日の間は、測器の受水口は積雪面上約 6 呎、3 月 8 日から 4 月 5 日の間は約 4 呎の高さにあつたものである。これらの比較から試験した 4 個の測器の中で最も効率のよいものが、おそらく最も正確であろうということがわかる。

1951 年には測器の捕捉量はいつも相当水量より多かつた。2 月 2 日から 3 月 12 日までに測器では積算量 3.60 吋の降水量があつたが、積雪量は

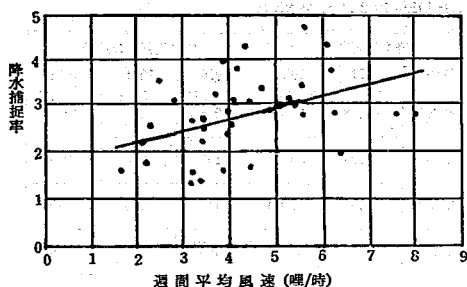
相当水量 2.4 吋にすぎなかつた。しかしながら 1951 年の期間は 1950 年の期間に比べて、

第 2 表に示されるように風が強かつた。

風の強い期間には、積雪が浸蝕されると同時に、測器の中に風に吹かれた雪が非常に

第2表 日 風 程 の 比 較

日 風 程	1950		1951	
	2月9日~3月8日		2月12日~3月12日	
100 以下	日数 16		日数 8	
100~200	5		16	
200 以上	0		4	
欠 測	6		0	
総 計	27		28	



第3図 週間平均風速と降水捕捉率（傾けた助炭をつけた stereo 型測器の捕捉量と助炭のない標準測器の捕捉量との比）の関係

傾けた助炭をつけた stereo 型測器が捕捉した量と助炭のない水平な受水口を持った標準の測器が捕捉した量との比) の間に、有意な関係 ($r=0.39$) が見出された(第3図)。

標準測器に対する傾けた助炭装置付測器の降水捕捉率〔その率は週間の平均風速(哩/時)の一次函数と見られる〕は、利用できる風の最もよい記録によれば次のようである。

$$\text{捕捉率} = 1.78 + 0.24 \times \text{週間平均風速(哩/時)}$$

大 略 高度 5500 呎の吹き曝しの南面した斜面上に設置した 4 つの型式の測器について、過去 3 年間に捕捉した降水量が比較された。水平な受水口を持った 8 吋の標準の測器で捕捉した降水量は、いつも少なかった。標準の測器の捕捉量は、Alter 型の助炭を水平に取り付けることによって増加した。しかし測器の受水口を斜面の傾斜角と等しく切る (“stereo 型受水口”) ことによって、助炭を水平に取り付けるよりもっと多く捕捉した。斜面に平行に傾けた助炭をつけた stereo 型測器が捕捉量が一番多かった。

傾けた助炭をつけた stereo 型測器で捕捉した降水量は、風が積雪を浸蝕しない期間、あるいは風が測器の中へ雪を押し入れない期間では、そのとき得られた積雪相当水量とよく一致した。しかしながら決定的な比較は得られなかった。傾けた助炭をつけた stereo 型測器は、試験した測器の中では最も正確であると思われる。

助炭の効果は風速が増すにつれて増加する。

積りやすい。測器の受水口は上述の 1951 年の期間には、雪面上約 6 呎であつた。

風は 3 杯式風速計で記録した。この型式の風速計は冬期には不適で、しばしば雪や氷や霧氷のために動かなくなり、そのために記録が断片的になつた。しかしながら利用し得る資料からみると、Pagliuca [1934] とその他の人達の観測、すなわち助炭の効果は、風速の増加するにつれて増大するということを支持しているように思われる。週間の平均風速と降水捕捉率(傾

論 文

剣山における山岳雨量について

福 家 光 雄

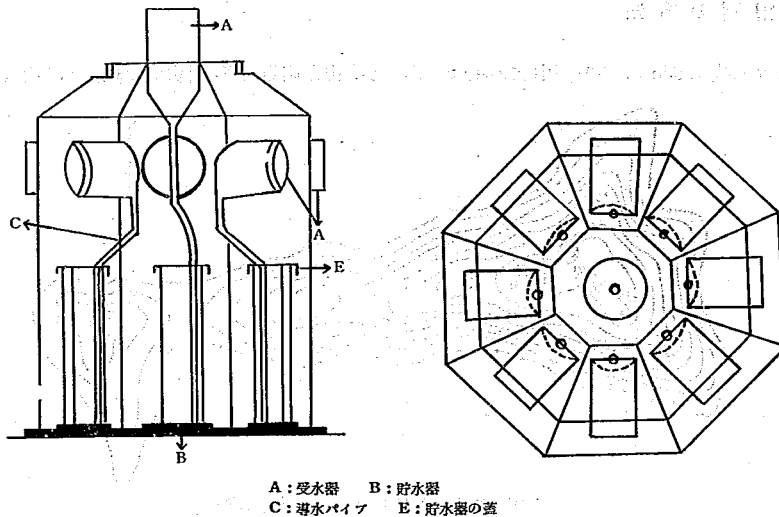
(高松地方気象台)

§ 1. は し が さ

山岳における雨は吹上げ、気流のみだれなどのため複雑なもので、その実体を把握することは困難である。そこで高松地方気象台では昨年8方位に水平受水口をもった指向性雨量計を試作し、剣山山頂附近で観測した。観測は32年9月～10月、33年5月～9月まで行い、その資料を一応まとめたのでその結果を報告する。

§ 2. 使用した雨量計の構造

全体の構造は第1図の如くであつて、その主要部分は受水器(A)、硬質塩化ビニール製貯水器(B)、太さ10mmの雨水導入用ビニールパイプ(C)、と貯水器の蓋(E)とからなつてゐる。受水器の切口の直径および貯水器の内径は10cmである。これは長期自記雨量計、総合自動気候観測装置の雨量計の口径と一致させ、比較観測に便利にするとともに、雨量計全体の大



第1図 指向性雨量計の構造図

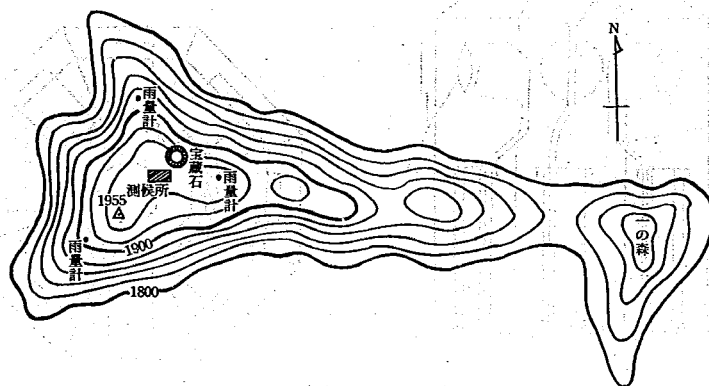
きをできるだけ小型にしたいからである。受水口は全部で9個あり、上部の1個は普通雨量計の如く水平にしてあるが、他の8個は8方位にはゞ切口を鉛直にしてある。（実際には雨滴の流入し易いように約5度上方に傾けた）さらに雨量計の外側にあつた雨滴の“はねかえり”が入らないように上部受水口は外側に9cm、側方の受水口は水平方向に3cm出してある。貯水器は八角形の本器の内部にそれぞれ方位別に並べ、受水器の漏斗からビニールパイプで雨水を貯水器の底へ導くようにした。

風除は次の理由からつけなかつた。すなわち上部受水器につければ側方の受水口を非常に長く外側に出す必要があり、本器全体が不安定となり、また強度が弱くなり、測方の受水口につければ風による渦が一層大きくなる点を考慮したからである。雨滴が受水口に入ってから外へ飛び出すことがないようにまた上部貯水器は漏斗状の底をできるだけ深くし、側方のものはその奥の上部に受水面積より大きい空気の流出口をつけて風によつて雨水が通り抜けてしまはないように設計した。従つて受水口から空気の出入は容易であり、夏季でも雨量計の内部の温度は自然に調整され、それほど高温にならず、貯水器よりの蒸発や体積の膨脹を心配する必要がない。

貯水器の長さは長ければ長いほど積算雨量が多くなり、それだけ長期の観測が可能であるが、そのように設計すれば雨量計全体の容量が大きくなり、背が高くなつて強風に対して不安定となるので、1降水の積算値を300mmとして長さを30cmにした。なお全体を濃い緑色のラツカーで塗装して、保護色により、盗難の危険性を少くし、雨量計自身の耐久度を増すようににした。さらにラツカーは撥水作用もあるので細かい雨滴も貯水器に集まり易い利点がある。

§ 3. 観 測 の 方 法

剣山は海拔1,955mの四国山脈の主峰であるが、山頂附近は第2図に示すように比較的なだ



第2図 剣山における実験用雨量計配置図

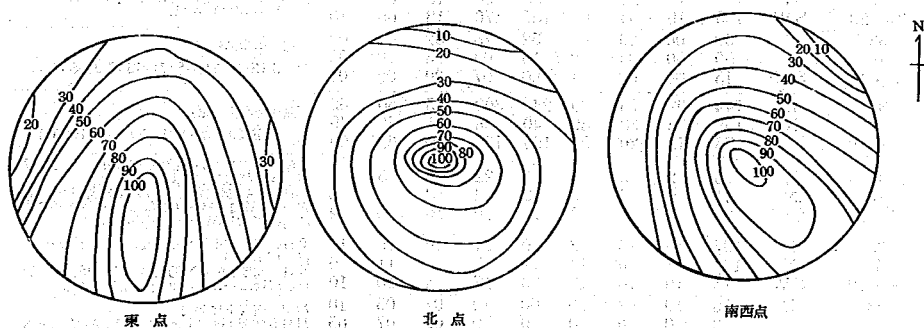
らかないゆる“平家馬場”と称する台地になつている。測候所はその台地のほぼ中央部に建てられてある。われわれは今回試作した3台の雨量計を図に示すように測候所を中心としてそれぞれ南西、東、北には等距離に設置して観測した、各々の雨量計の附近の地形は少しづつ異なつている。すなわち南西のものは45度以上の急斜面に、北のものはなだらかな斜面に設置してある。東のものは平坦な台地上にあり転倒型、塚本式雨量計等との比較に便なるようにしてある。

§ 4. 観 測 結 果

降雨時剣山では風は南寄り（多くは南南東）の風で始まり降雨時間の大部分は南寄りの風が続き風速は大体 10 m/sec を越し、北寄りの風（多くは北北西）に変わつて風速も弱くなり終つてゐる。個々の観測結果は第1表に示した。

3点における各受水口の一雨雨量の平均値およびそれぞれの点における水平（Z）受水口に対する鉛直受水口の雨量百分率（%）は第2表の通りである。

第3表にしたものが第3図で水平受水口を100%として中心点に、各方位別鉛直受水口の百分率をそれぞれ円周上に記入し、等値線を図いたものである。



第3図 垂直（Z）受水口に対する各水平受水口雨量の百分率（%）分布図

1. 水平受水口（Z）の場合

“雨量は風下側が風上側より多い”といわれているが、右の表をみると北点がわづかに多く、東点も同じ位の値になつている。（今回の観測は一降雨ごとに観測したので一定風向に対する観測でなく、いろいろの風向に対する雨が積算されたものであるから細かいことはいえない）、個々の観測結果をみると北点が多くなつてゐる例が6割位で、それらの場合東点の雨量も大体同じ値になつてゐる。これは南西点は上昇気流の中に置かれてゐるため雨量は少くなり、風下側にあたる北点はじょう乱をうけ減速された気流の中に置かれてゐるため雨量が多く、東点は

第1表 個々の観測値表

年月日	観測点	各 受 水 口 の 観 測 値									記 事
		Z	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
32 9 9~11	E N SW	204 300 133	133 40 132	110 70 55	69 76 80	161 57 163	216 29 158	137 60 54	53 81 93	65 79 154	台風がフィリッピン附近にあり西国南海上に前線が停滞すること影響で降った。風はS-Nに変わった。
32 9 20~21	E N SW	25 30 13	4 6 13	1 1 25	0 0 10	9 — 24	18 1 0	24 11 2	17 30 6	8 16 10	低気圧が南海上を通過し南が降った。風はS-Nに変わった。
32 10 5~7	E N SW	75 84 48	40 7 29	27 10 40	7 8 42	23 3 13	70 25 96	98 74 27	81 84 85	51 54 14	同 上
33 3 3~4	E N SW	47 105 104	05 25 18	11 20 06	14 07 23	07 50 46	07 52 46	05 31 07	06 03 10	03 21 15	低気圧が南海上に通過した。 風 SSE(9時間)-S(1)-SSW(1)-SW(1)-WSW(1)-NW(2)-NNW(3)
33 5 7~9	E N SW	199 224 220	03 02 03	27 33 08	60 68 74	103 46 141	188 47 104	47 18 11	01 04 05	01 03 07	前線南海上に停滞し、波動が通過した。 風 SSE(31時間)-SE(2)-ESE(1)-E(3)-ESE(1)-SE(7)-ESE(8)-SSE(3)-NNE(1)
33 5 9~12	E N SW	184 106 106	32 06 18	22 19 02	11 44 64	171 19 193	228 43 144	109 19 06	03 07 08	21 04 35	前線 南海上に停滞し、低気圧が通過した。 風 SSE(23時間)-S(14)-SSE(4)-S(1)-SSW(1)-NW(9)-WNW(1)-WSW(2)-NW(1)-NNW(9)
33 5 14~16	E N SW	242 — 300	10 — 07	07 09 03	06 16 52	57 34 169	274 60 176	219 89 38	32 47 80	07 26 46	低気圧 山陰沖を通過した。 風 SSE(1時間)-S(2)-SSE(2)-S(11)-SSE(3)-S(5)-SSW(1)-SW(4)-WSW(1)-W(3)-WSW(1)-W(2)-WSW(1)
33 5 19~20	E N SW	291 215 232	01 08 04	03 02 03	57 73 96	89 73 152	170 18 113	40 03 04	02 01 03	02 — 12	低気圧 南海上に通過。 風 SSE(12時間)-SE(11)-SSE(2)-S(1)-WNW(2)-
33 5 21~23	E N SW	225 142 125	04 10 —	02 24 03	38 30 65	168 20 167	218 18 170	86 09 18	06 10 05	06 10 10	低気圧通過。 風 SSE(32時間)-S(1)-SSW(1)-NW(1)-WNW(1)-W(1)
33 6 1~2	E N SW	50 50 15	00 00 00	00 04 00	06 10 21	52 10 60	78 09 07	52 15 30	04 10 02	00 03 02	前線 南岸に停滞。 風 SSE(18時間)-S(7)-SSW(2)-SW(1)
33 6 7~9	E N SW	144 139 76	99 38 72	75 38 20	20 49 90	241 40 194	300 28 194	153 41 70	50 60 62	62 49 109	低気圧南海上に通過。 風 SSE(30時間)-S(1)-N(1)-NNW(16)
33 6 15~18	E N SW	36 41 30	2 0 3	3 2 1	0 3 7	11 3 17	22 4 20	18 8 10	5 8 5	2 5 9	南岸に停滞していた前線上を15日、16日、17日小さな低気圧が通過。 15日2時間(風向Wより)16日3時間(風向NNW→S)17日8時間(風向SSE→W)18日3時間(風向NNW)の合計雨量である
33 7 9~10	E N SW	137 140 73	15 1 10	13 10 10	8 14 15	10 12 20	21 7 17	16 15 4	15 11 10	12 9 10	9日低気圧が山陰沖を通過。10日南岸沿いに低気圧が通過。 9日7時間(風向N乃至Wより)10日6時間(風向NNE→SSE)の合計雨量である
33 7 11~12	E N SW	25 22 20	10 0 03	07 0 02	00 0 0	00 0 02	10 0 05	07 02 05	05 07 05	10 05 08	前線 南海上に停滞。 11日5時間(風向南より)12日9時間(風向Nより)の合計雨量
33 7 20~23	E N SW	125 75 55	75 15 15	80 10 10	40 41 75	20 67 67	60 35 16	35 05 10	05 30 20	30 — —	台風第11号による降雨。 風 SSE(34時間)-SE(2)-ESE(1)-E(2)-ENE(1)-NE(1)-NNE(1)-NE(1)-E(1)-NNE(4)-NNW(9)-NW(3)
33 7 24~26	E N SW	300 300 70	2 4 3	1 6 5	20 58 115	130 114 29	290 180 29	290 125 140	53 73 34	2 73 18	前線 山陰に停滞。 風 SSE(7時間)-S(39)
33 8 23~26	E N SW	250 300 300	290 142 170	291 300 20	300 300 300	300 300 92	240 156 24	185 159 23	300 236 61	— — —	台風第17号及びその前面にあつた前線による風 SSE(11時間)-SE(13)-SSE(4)-SE(3)-ESE(7)-E(1)-ENE(1)-NW(1)-ESE(1)-NE(1)-NW(1)-NNW(5)-WNW(1)-SW(1)-S(1)-SW(1)-W(1)
33 9 15~18	E N SW	141 121 欠測	165 35 1	163 2 20	85 80 85	92 49 172	240 22 168	166 46 47	41 35 40	60 30 123	台風第21号による風 SSEから始まりNNWにかわつている
33 9 21~24	E N SW	210 295 310	225 8 5	208 98 1	95 123 108	130 197 68	175 170 20	92 57 15	8 47 11	98 98 20	前線が南方海上に停滞、その上を小さな低気圧が進んだ。 風 SSEに始まりNNWで終つている

第2表 各受水口における一雨平均雨量

観測点	Z	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
東点	153.2	58.7	55.3	44.9	93.4	151.0	96.5	30.1	38.9
北点	153.8	11.8	30.6	54.0	55.7	50.6	43.5	36.8	40.8
南西点	123.9	31.1	11.9	66.8	101.8	84.3	27.3	25.4	31.1

第3表 水平 (Z) 受水口に対する各鉛直受水口雨量の百分率 (%)

観測点	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
東点	38.3	36.1	28.7	61.0	99.1	63.0	19.7	25.4
北点	7.7	19.9	35.3	36.2	32.9	28.3	23.9	26.5
南西点	25.1	9.6	53.9	82.2	68.1	22.0	20.5	25.1

気流がのぼりきつて山越えをする所にあるため北点と条件が似ているためと考えられる。

2. 鉛直受水口の場合

1) 北点 (N), 各点における鉛直受水口の受けた雨量を比較してみると, 北点は他の2点に比べて8方位とも割合同じような雨量で, しかもZの20~30%の雨量しか受けていないことがわかる。北点附近は下降気流としよう乱され減速された気流とのあわきつた場所にあるためこのような結果が出たものとする。次に分布図を見ると中心附近がこんだ東西に長軸をもつ楕円形になっており, N側が一番少なくなっている。個々の観測結果を見てもZがいつも最大であり, 鉛直受水口とは差が大きくなっている。

例外的な分布をしているのは33年5月3日~4日と8月23日~26日の2例ある。この場合は楕円が南北にのびている。(Synoptic な特徴は把み得ない)

2) 東点 (E), 東点に於ける分布を見ると方向によつて大きな差があり最大はSで, SWS Eがこれにつき, 南から北にのびる分布をしめし, W, E が小さくなっている。Zとの百分率は第3図に示す通りで, SはZと大体同じであるが, Wは19.7%という小さな率になつている。個々の観測結果を見ると, ZよりSの方が雨量の多い場合が7例, 大体同値が6例ある。この場合充分な事はいえないが大体風が強く平均風速12m/sec 以上の場合となつている。また, Zに比べてSの雨量が20%以下の例が2例あるがこの場合は風がいくぶん弱くなつている。

3) 南西点 (SW), 東点と同じく方向別の雨量には大きな差があり, SEが一番大きく, S, Eがこれにつき, 南東から北西にのびる分布を示し, NEが一番小さくなっている。個々の観測結果の分布図をみると, 殆んどの例は平均値の分布と同じであるが, 33年7月24日~26日は例外で南西から北東にのびる分布になつている。

Synoptic な特徴をあげられないが, この例の場合は山陰沖に前線が停滞し, 風速もつよく, 平均17.5 m/sec を示している。以上の事から,

- (1) 水平な受水口による測定では風下側が風上側より雨量の大きい場合が多い。
- (2) 鉛直な受水口によつて方向別な測定を行つた結果では風上側では雨量は方向別の差異が大きく、風下側では方向別の差が小さくしかも受ける量も少い。
- (a) 風上側測器による雨量 風上側に最大雨量が出る。分布は風上側から風下側にのびるような分布をしており、その両側の雨量が少くなつてゐる。これはいろいろ気象要素が影響しているが特に風速が大きく影響しているらしく、山頂に達するまでの気流はわりあい乱れていないためではないかと考えられる（雨は50度位の傾斜で落ちてゐる場合が多い）
- (b) 風下側測器による雨量 風下側では鉛直受水口はいつも雨量が少く水平受水口の20～30%しか受水してゐない。分布は東西に長軸をもつ楕円形の分布で北が一番少なくなつてゐる。これは気流が山を越したあと、風下側の測器附近は気流の乱れが大きく、風速が弱くなつてゐるためと考えられる。（雨滴は垂直に落下するものが多いのではないかと考える。）

§ 5. む す び

指向性を考慮入れた観測で山岳雨量を調査したが、今回の観測は雨量計のみの単独観測で他の気象要素はすべて山頂中央部にある測候所の記録であるためくわしい検討はできず、単に雨にどのような方向性があるかをみるに止まつた。今後は各点に他の気象測器を併用した観測を実施する機会をもちたいと考えてゐる。また水蒸気が雨量計内で凝結したものも含まれることになるが、この問題についても毎時観測等によつて今後検討しなければならないと考えてゐる。

なお、この測器の設計、試作および設置は橋本、立川両技官が担当され、困難な山頂観測は剣山測候所の方々に担当していただいたもので、資料の整理のみを筆者が行つたものである。終りに本調査に対して全面的な御指導を与えられた野口高松地方気象台長および問題を提起していただいた種村高知地方気象台長に厚く御礼申し上げます。

文 献

橋本義愛、立川勝己（1957）：剣山における山岳雨量について（第1報）、四国地区研究会誌。

山岳地帯における降水量の測定と雨量計の使い方*

M. Vauni.

降水量の測定法には、今なお多くの問題があり、そのために得られた観測値が、かなり不正確なことがしばしばおこる。各地の降水量の相互間の関係を求めようとする場合等には特に痛感される。この問題については1953年9月、ローマで開催された地球物理の国際会議においても多数の論議があつた。

種々の降水量測定測器による観測値は、相互に比較できないことがあるが、それは単に測器の構造の差異によるばかりでなく、測器そのものの設置の仕方にもよるものである。従つて周囲の環境条件が変われば、測器の位置もかえねばならぬことが起る。この点では、高山の環境は興味ある諸問題を提示するが、地表上の有効降水量をできるだけ正確に測定するには、これらの問題の解決が必要である。

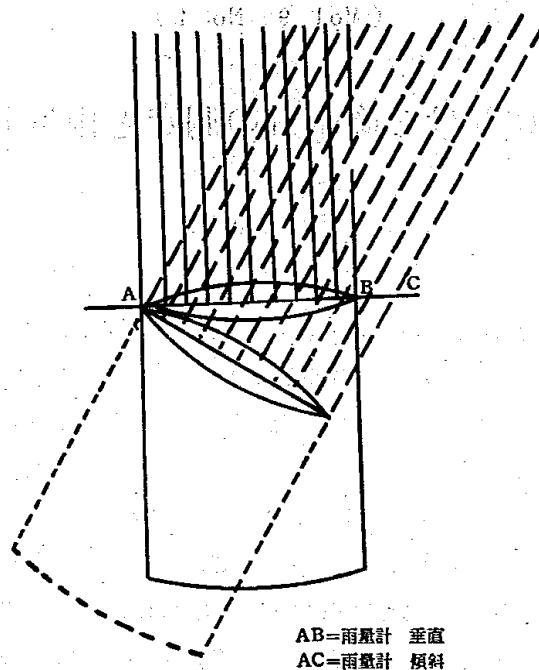
ここに考えようとする問題は、降水が地表面とある角度をなして降る場合の雨量計の据え付け方の問題である。事実山の傾斜角に相応する雨量計の据え付け方は、すでに考慮済であるが、著者の知る範囲では、降水が雨量計に対してある角度をなして降る場合を考慮したものはない。

高山では、風はかなり強いことがあるから、地表面で水平に設置された雨量計で観測した降水量を正確なものかどうか考えざるを得ない。Monterin [1] はすでに、高山における雨量計の使用はきわめて複雑な問題を含む点を指摘し、風の影響で雪が雨量計の口縁に対してある角度を持つことによつて生ずる問題を提示したが、特にこれという名案も得られなかつた。そのご、Valsura [2] は風の吹いているときの雪の雪量計への入り方に注目した。雨量計が水平の場合には、風があるときには、雪は斜めに地表に降り、雨量計に入るのはその一部に過ぎないから、ここで、再びこの問題を取り上げることは時宜に適したものと判断される。(第1図参照)

広般な面では、雨雪の落下が垂直でも斜めでも結果には差異はないとしても、雨量計のような小さい口径では同様だとは言えない。そこで、高山地帯でしかも強風がしばしば吹く冬においては、水平な雨量計で測定した降水量が、実際に地上に降る有効降水量を示しているかどうかを考えてみる必要がある。この目的には、例え近似的でも、水平の雨量計で得た値と、雪の落下角度に沿うように傾斜させた雨量計で観測した値との差を明確にする方がよいと考えた。

Breail の出口にある Goillet 湖 (2,526m) の気象観測所は広い台地上にあつて、主風向はSEである。この観測所の近傍で、しかもすでに設置してある普通の雨量計のかたわらに、さらに1個の雨量計を設置し、風の方向と強度に沿うように毎日傾斜させて観測した。この場合、毎日観測者自ら方向を調整する必要があつたし、それも日中だけで夜間はできなかつたから、もちろんきわめて近似的のものである。従つて、得られた雨量は正確なものでないが、これら二つの観測値には差があるから、この問題を取り上げねばならぬことは明らかである。実験は8カ月間行つた。すなわち1954年11月から1955年7月ま

* M. Vauni (1957) : Mesures des precipitations et Emploi des Nivo pluviométriques en Haute Montagne, Meteorologische Institut, München La Meteorologie, No.45-46, pp.127-131.



第 1 図

第 1 表 月降水量 (Lac Goillet (2,526m) 観測所)

年	月	降水量傾斜のもの	正 常 の も の	比	風
1954	11	84.1mm	81.8mm	1.03	風ややあり
1954	12	195.4	182.0	1.07	風強し
1955	1	169.1	151.1	1.12	"
1955	2	183.9	160.6	1.15	"
1955	3	28.8	28.8	1.00	風なし
1955	4	6.0	6.0	1.00	"
1955	5	49.0	48.0	1.02	"
1955	6	146.5	145.5	1.01	"
総	計	857.8	803.8	1.07	

である。毎日の観測値は第1表と同時に第2図の1で示した。なお、第2図の1には、両方の雨量計で測定した雨量の差が、風の強いときに増すかどうかを示すために風の強い日を記入してある。

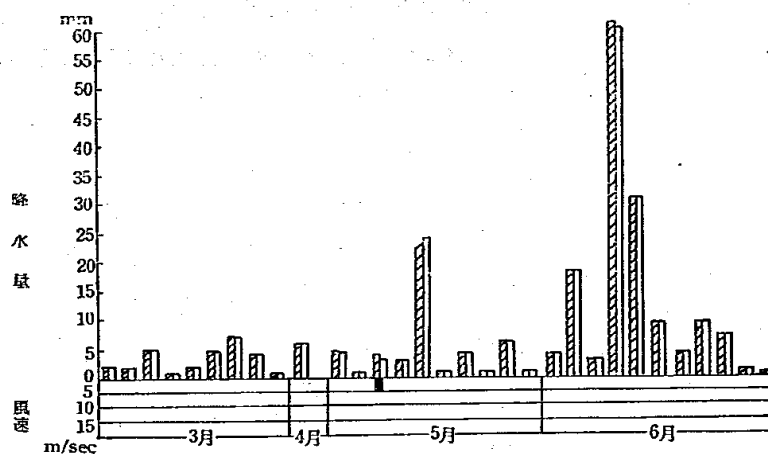
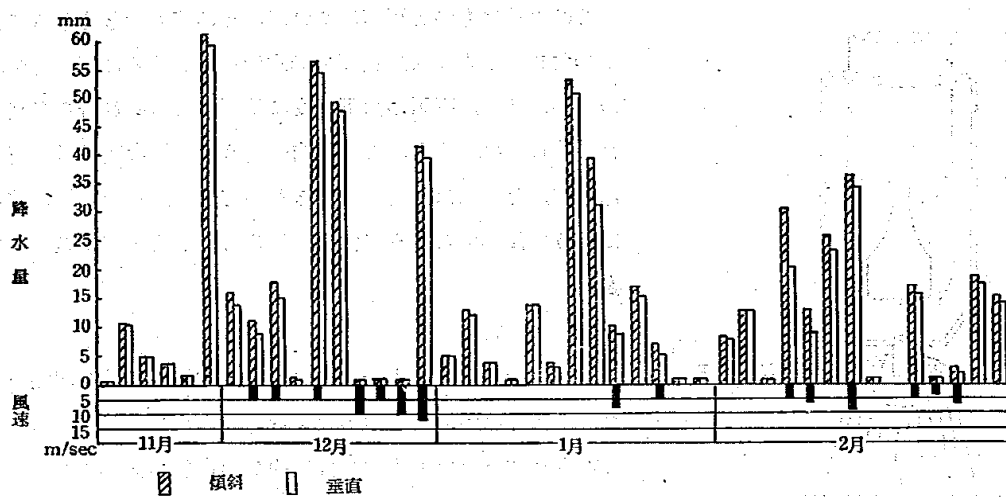
第2図の1は降水量の毎日の値を示したが、これによると2個の雨量計での差異は明瞭である。すなわち、実際には、雨量が多いほど、また、風が強くなるほど、差は顕著になることが認められる。

降水が無風のときに起れば、雨量計は二つとも正常な位置を示しその降水量もまた等しい。多少の例外はもちろんあるが上記のように、夜には雨量計を傾斜させなかつたことを想起しなければならない。夜はもちろん、風速も観測できなかつた。

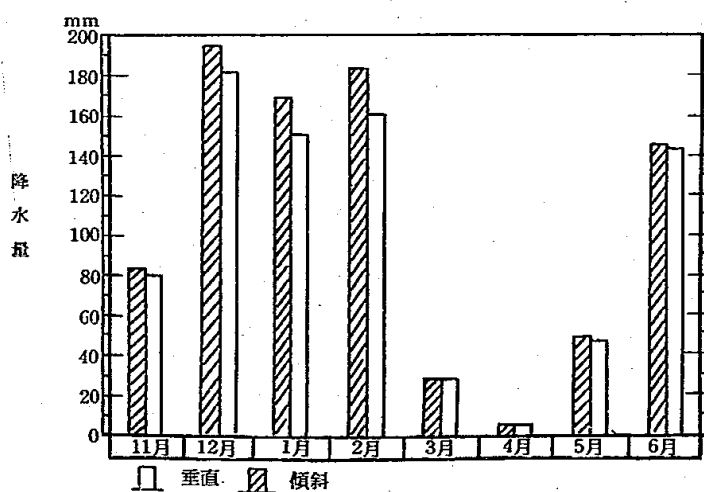
第1表と第2図の2では月別の降水総量を示した。全体としては、観測値のうちで最も差のあるのは、風の強い冬の月で、春は一般に風は穏やかであつたから差も僅かである。

8ヵ月間の2個の雨量計による降水総量は第1表のとおりである。

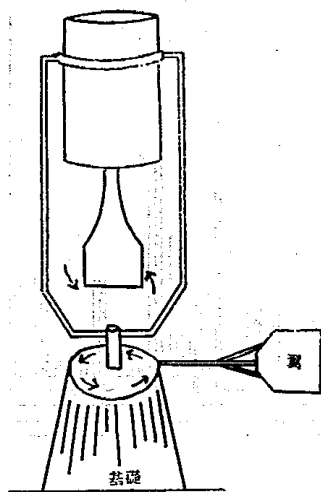
正規の雨量計では 803.8mm で、傾斜させたものでは、857.8mm で、その差は 57mm、事実正規のものではこれだけ少ない。



第2図の1 日降水量



第2図の2 月降水量



第3図

この実験はもつと正確にやれば、その差も大きくなるであろう。このため、さらにより精度で降水量を観測するには、自動的に風の方角に向き、雨雪の落下角度に垂直になる雨量計を考案しなければならない。現在、この目的に沿う、適切な雨量計を研究中であるが、それには、雨量計はきわめて軽く、しかもその時々風に沿うて傾斜するように翼をつける必要がある。（第3図参照）

結 言

以上、第1着手の実験によれば、降水量の正確な観測値を得るためには、雨雪の降る傾斜角を考慮に入れる必要があるから、これを考えてそれに即応する合理的な雨量計が必要であると考えられる。この問題は少し離れると周囲の気象状態が変化する山岳地帯では特に必要であろうと思う。

紹介者 藤 田 兼 吉（東京管区気象台）

一文献紹介一

降雨の平均の方位角と入射角を求める一方法

A Method of Obtaining Average Bearing and Incidence of Rainfall.

C.W. Rose and H.G. Farbrather

Makerere University College, Uganda. Empire Cotton Growing Corporation, Namulonge, Uganda.

毛利 聡 明

(東京管区気象台)

概要 水平と 45° の角度をなし外側に集水口を向けた三つの傾斜雨量計が、垂直軸のまわりに対称的に配置されている。捕捉量の比から雨の降ってくる平均的な方向が判るし、また雨滴の水平速度の垂直速度に対する比 (V_h/V_v) が1以下であるならば、その比も概算できる。Uganda の Namulonge (Kampala の北17マイル) において、1954年9月から1956年5月までの間に、最もよく現われる降雨の方向は南で、扇形 $150^\circ \sim 210^\circ$ の間であった。また速度比 V_h/V_v は全降雨の90%が $\tan 10^\circ$ を超えた。

1. はしがき

綿の木の細菌による胴枯れ病は、雨滴のはねかえりによって伝染するということが知られている。(Faulweather 1917) Uganda の帝国綿生育会社の研究所では、病症研究部の一部として、ある種の測器を設置した。これは、その植物(綿の木)の上に雨滴が衝突する角度を明らかにするため、2方向の成分を測定するものである。その測器は他の人々(たとえば Fourcade 1942, Lacy 1951)が同じような目的で設計したものより、構造の簡単なものを考えた。そして測器についての必要な知識は調製された図から容易に得られる。

2. 測 器

3個の標準雨量計 (standard rain-collection) は、そ

の受水口の平面が水平と 45° の角度をなすように、鉛直柱の先端から対称的にとりつけた曲った腕木に据えつけられている。

3. 測器の理論

Q_a, Q_b, Q_c を3個の雨量計で捕えた雨量の少い順の値とする。(捕捉量が等しい場合でも全然問題はない。)

ϕ を図-1に示されているように、雨量計A (捕捉量最小) の軸の線から測った降雨の平均方位角とする。そして図-2の挿入図のA, B, Cは3個の雨量計の平面

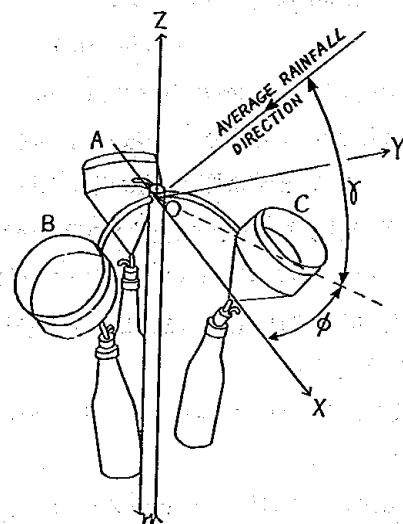


図-1 H. G. Farbrother によって考案された3個の雨量計。デカルト座標軸 OX と OZ によって定義される平面は、雨量計Aの軸を含んでいる。

図を表わしている。

γ を水平から測った降雨平均入射角とする。それで

$$\tan \gamma = \text{垂直速度} / \text{水平速度}$$

雨量計に捕捉される総雨量は降雨の（ベクトルの）平均方向 (ϕ, γ) からみた場合、受口面積の成分に比例している。また雨量計の受口面に対する法線は、 ϕ と γ を定義するのに用いた同じデカルト軸 OX, OY, OZ (図-1) を球面極座標 (α, β) に変えて定義することができる。図-1から雨量計Cに関しては、 $\alpha_c = 60^\circ$, $\beta_c = 45^\circ$, Aに関しては、 $\alpha_a = 180^\circ$, $\beta_a = 45^\circ$, Bに関しては、 $\alpha_b = 300^\circ$, $\beta_b = 45^\circ$ である。立体幾何学の定理から、その座標が (ϕ, γ) と (α, β) である二つの線の間のなす角 θ は、次の式で与えられる。

$$\cos \theta = \cos \alpha \cdot \cos \beta \cdot \cos \phi \cdot \cos \gamma + \sin \alpha \cdot \cos \beta \cdot \sin \phi \cdot \cos \gamma + \sin \beta \cdot \sin \gamma \quad \dots (1)$$

$\theta_a, \theta_b, \theta_c$ を降雨の平均の方位と雨量計A, B, Cそれぞれの法線との間のなす角とする。雨量計の法線の極座標の値（上で求められた α_a, β_a 等）を方程式(1)に代入すると、次の式が得られる。

$$\cos \theta_a = -0.706 \cos \phi \cos \gamma + 0.707 \sin \gamma$$

$$\cos \theta_b = 0.354 \cos \phi \cos \gamma - 0.6125 \sin \phi \cos \gamma + 0.707 \sin \gamma$$

$$\cos \theta_c = 0.354 \cos \phi \cos \gamma + 0.6125 \sin \phi \cos \gamma + 0.707 \sin \gamma$$

これらの式を用いて、 $\cos \theta_a, \cos \theta_b, \cos \theta_c$ は ϕ と γ の許容されるすべての組合せ（すなわち $0^\circ \leq \phi \leq 60^\circ, 45^\circ < \gamma \leq 90^\circ$ ）の中で、適当な間隔を選び出して計算した。

A_a = 平均降雨方位から見た雨量計Aの受口面積の成分とする。そうすると $A_a = N \cos \theta_a$ 。ここで N は各雨量計の法線方向の受口面積である。これは雨量計B, Cについても対応する。

それ故に、 $Q_a : Q_b : Q_c = A_a : A_b : A_c = \cos \theta_a : \cos \theta_b : \cos \theta_c$ となる。

図-2と図-3におけるそれぞれの交線は、この定理から計算されたものである。どちらのグラフも縦座標に

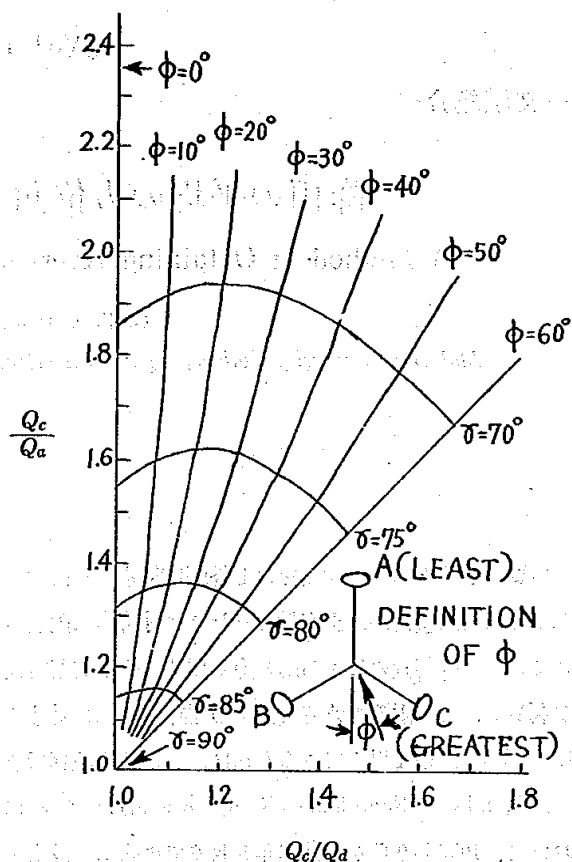


図-2 γ が大きい値の場合の γ と ϕ (本文参照) を求める図表。 Q_c は最大の、また Q_a は最小の捕捉雨量でなければならない。

最多降水量と最少降水量との比を、横座標に最多降水量と2番目に多い降水量との比を記入すれば、グラフ上の1点が定まるので、 ϕ と γ の値は内挿によって読みとることができる。3個の雨量計の方位がわかっているれば、 ϕ の値は地理学上の方位角で表わされる。

γ が減少するにつれて、 γ の等値線の形は伸展している。しかも図-3で示される $\gamma = 50^\circ$ の曲線形にはっきり現われており、これは水平と 45° の角度に傾いている雨量計に起因している。それ故 $\theta = 0^\circ$ で $\gamma < 45^\circ$ ならば、1個の雨量計には雨が入らないであろう。そのような位置では縦座標は無限大になる。そして、その解析はもはや確実ではない。もしも入射角の平均値が低くければ（たとえば 50° ）、降雨中のある期間に γ が 45° 以下になることも実際に起こり得る。このようにして誤差が導

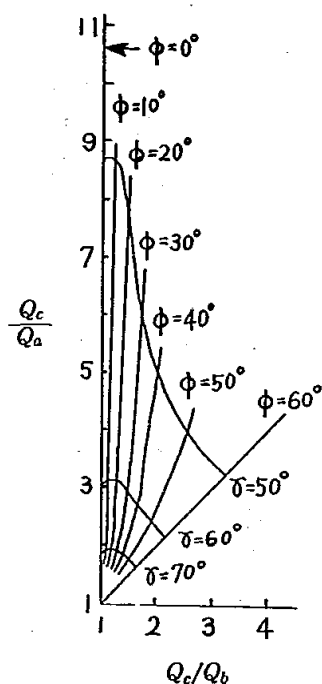


図-3 図-2と同様であるが、 γ の値が小さい場合。

入される。しかしそのような誤差は平均入射角が 45° 以上に増えるにつれて急激に減少するであろう。そのうえ雨量計の外への雨のはね返りによる誤差が、かならず生ずるであろう。

4. 実験結果

γ についての図-4や ϕ についての図-5に要約された結果では、0.1インチ以下の降雨は含まれていなかった。そしていろいろの季節の比較的大きな雨は除いた。

図-4は20か月の期間（1954年9月2日～1956年5月4日）で、降雨の90%が風によって垂直方向から 10° 以上の角度（すなわち $\gamma < 80^\circ$ ）にかたよせられたことを示している。平均入射角が水平に対して 45° 以下であるような降雨では、風の影響は非常に小さく現われるのが常であった。そのために非常に違った特性を有する雨の地域では、雨量計の傾斜角 β は他の値の方がさらによいかも知れないが、この雨量計では 45° の傾斜角が適当であった。もしも 45° と異った β の値を採用されたな

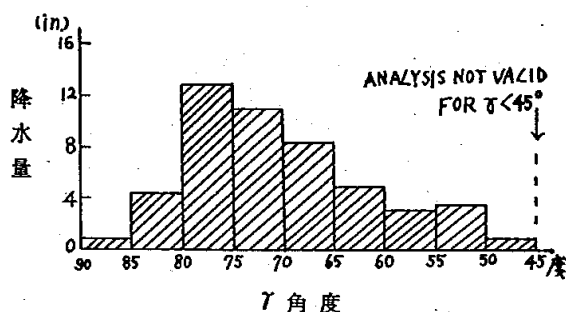


図-4 (1954年9月2日から1956年5月4日までの期間にわたって Uganda Namulonge の帝国綿生育研究所において) 水平から測った降雨の平均入射角 (γ) に対応して、プロットされた水平面上で受けた雨量を示したヒストグラム。

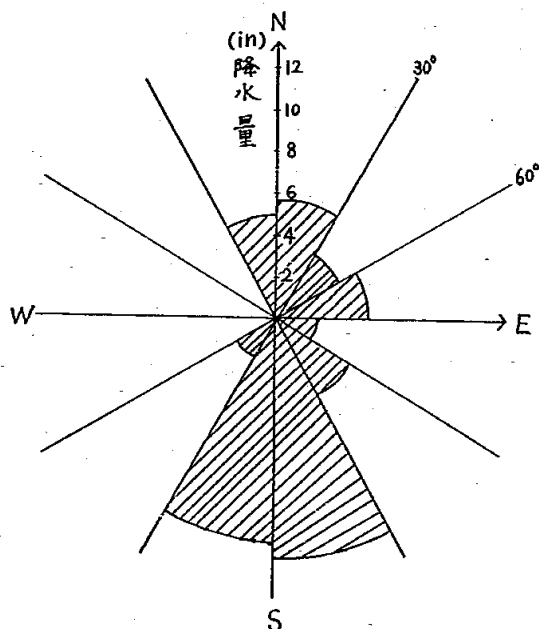


図-5 地理的方位角 30° の扇形区域について、放射状に曲線が描かれている水平面上で受けられた総雨量。その位置と期間は図-4の場合と同じ。

らば、3節で述べた一般的な解析方法は、図-2や図-3に類似した必要な図表を算定して、用いることができたであろう。

図-5から降雨の最大量の方向は、扇形 $150^\circ \sim 210^\circ$ 、すなわちだいたい Victoria 湖の方向から南にかけての方向であった。