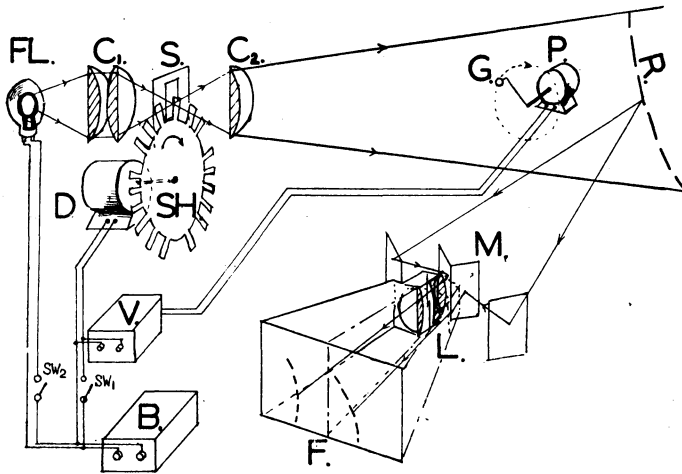


# 斜面に落下する雨滴の速度の測定

氷見 順一



第1図 撮影装置 (投光器, マーカー, カメラ)

1. はしがき 落下する雨滴の速度に関する従来の研究は、主としてその垂直方向の速さ、あるいは対気終末速度を求めることを目的とするものが多い。このため水平方向の速さを測定する方法についての工夫があまり見られず、野外における雨滴の実際速度 (対地速度) を測定する事もほとんど試みられていない。

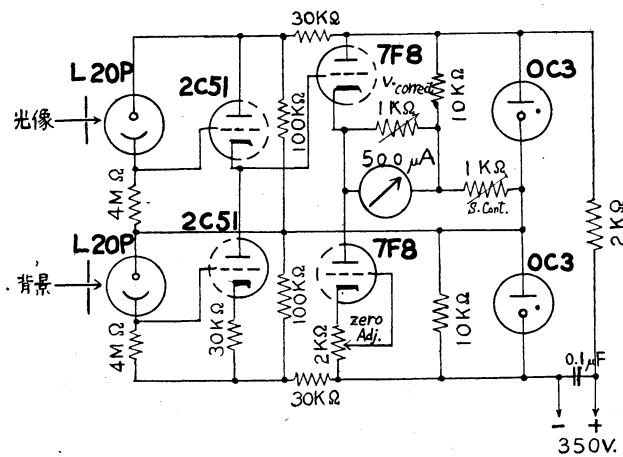
昨年夏筆者は双眼実体写真法により雨滴の速度を測定する装置を製作し、野外において二三の結果を得たので以下にその概要を報告する。

2. 測定の方法と装置の説明 約言すれば、時信号を与えられた閃光電球光源からの光束を雨滴により散乱させ、立体写真撮影によって測定する方法である。雨滴に強い光束をあて、その散乱光を測定に利用するには極め

て強い光源を必要とするので、交流配線のない野外で使用することはほとんど不可能である。幸いにフォーカスプレーンシャッター用に作られた閃光電球 (FP クラス) はかなりの時間一定な光量を保つので、これを利用した。筆者の使用した閃光電球は、タイムラグ 12m.sec. 有効時間 35 m. sec. 最大光量  $6 \times 10^5$  ルーメンで、100V 30A のアーク燈に匹敵する光度を約 1/30 秒持続するものである。

第1図に撮影装置の構成を示す。光源 (FL) から出た光束はコンデンサー ( $C_1$ ) により集束され、0.5 cm  $\times$  1.3 cm のスリット (S) 上に像を結び、レンズ ( $C_2$ ) により 0.4 ステラジアン光束として送出される。スリットの直後にはシャッター (SH) があり、モーター (D) により毎秒約 25 回の速さで廻転し、光束を変調する。(G) は時信号標準、光源光量変化の記録、実体写真の位置標定基準に用いるマーカーで 3 cm の細い鋼線の先端に径 1 mm の鉛硝子球をつけてあり、フォニックモーター (P) で毎秒 20 回転する。(V) は (P) に 400 C/S の電源を供給する音叉発振器、(B) は乾電池である。光束の中を落下する雨滴 (R) により散乱された光は 4 枚の平面鏡 (M) によりフィルム (F) 上に一組の実体光像を結ぶ。等価撮映基線長は 20 cm、レンズは Optor, 105 mm  $f$  4.5 で画面寸法は 6  $\times$  9 cm である。

使用の際はカメラ、投光器、マーカーを同一水面内に固定し、スイッチ  $SW_1$  を入れてモーター、音叉発振器を作動させ、約 1 秒後に  $SW_2$  (シャッターリリースと連動) を入れればよい。閃光球交換とフィルム巻取の時間を含めて 1 分間に 5 回迄の撮影が可能である。晝間でも暗い背景をえらび、大型レンズフードと青フィルターを使用すれば飛跡の観察、速度の測定はできる。粒径測定は背景の条件がよほどよくないと誤差が大となり実用にならぬことが多い。撮映されたネガから引伸陽画を作り、画面座標と視差を計測して雨滴の速度の 3 軸成分を求める操作は一般の写真測量の場合と同様である。雨滴の粒径の測定は陰画面上の光像の濃さを光電管により背景部と比較計測し、速度による補正 (同大光点の明るさは速度に反比



第2図 粒径測定用光電管回路

第1表 (A) A点における  $\dot{V}_H$  と  $\dot{W}_H$  の関係 ( $\phi=2^\circ$ )

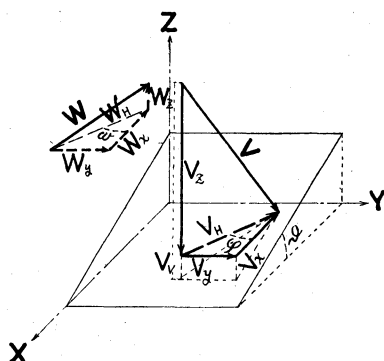
$\dot{W}_H$ 平均風速(m/s)と風向	1.2		SE		3.2		ENE		4.7		ENE	
R 雨 滴 半 径	0.5-0.7	0.7-1.0	1.0-1.4	1.4-2.0	0.5-0.7	0.7-1.0	1.0-1.4	1.4-2.0	0.5-0.7	0.7-1.0	1.0-1.4	1.4-2.0
$\bar{V}_H$ 雨 滴 の 水 平 分 速 の 平 均	1.2	1.3	1.3	1.3	3.3	3.5	3.7	3.7	4.9	5.2	5.6	5.7
$\sigma V_H$ 雨 滴 の 水 平 分 速 の 標 準 偏 差	0.24	0.19	0.14	0.12	0.31	0.17	0.11	0.10	0.38	0.22	0.14	0.12
$\bar{\varphi}-\bar{\omega}$ 風 向 と 雨 滴 の 方 向 の 差 角 の 平 均	-4	7	6	6	11	8	7	7	-1	0	3	4
$\sigma \varphi$ 風 向 と 雨 滴 の 方 向 の 差 角 の 標 準 偏 差	28	17	14	12	31	13	11	10	27	9	9	8

(B) B点における  $\dot{V}_H$  と  $\dot{W}_H$  の関係 ( $\phi=15^\circ$ )

$\dot{W}_H$ 平均風速(m/s)と風向	1.1		SE		2.9		ESE		4.4		ESE	
R 雨 滴 半 径	0.5-0.7	0.7-1.0	1.0-1.4	1.4-2.0	0.5-0.7	0.7-1.0	1.0-1.4	1.4-2.0	0.5-0.7	0.7-1.0	1.0-1.4	1.4-2.0
$\bar{V}$ 雨 滴 の 水 平 分 速 の 平 均	1.1	1.2	1.3	1.3	3.0	3.3	3.3	3.1	4.4	4.7	4.9	5.0
$\sigma V_H$ 雨 滴 の 水 平 分 速 の 標 準 偏 差	0.35	0.24	0.16	0.14	0.62	0.29	0.15	0.17	0.83	0.32	0.22	0.21
$\bar{\varphi}-\bar{\omega}$ 風 向 と 雨 滴 の 方 向 の 差 角 の 平 均	-14	-12	-11	-12	9	14	13	15	4	2	-1	-3
$\sigma \varphi$ 風 向 と 雨 滴 の 方 向 の 差 角 の 標 準 偏 差	32	11	14	9	36	19	11	9	27	22	14	8

$\{R < 2 \text{ mm}$  は資料が少ないので省略した。

$\{R > 0.5 \text{ mm}$  は整理未了であるが、値の分散が著るしい。



第3図 雨滴の運動の模式図

$V$ : 雨滴の速度

$V_x, V_y, V_z$ : 雨滴の速度三成分

$V_H$ : 雨滴の水平分速度

$W$ : 気流の速度

$W_x, W_y, W_z$ : 気流の速度の三成分

$W_H$ : 風 の 速 度

$\phi$ : 斜面の傾斜

$\varphi$ :  $V_H$  が斜面の最大傾斜方向 ( $x$  軸) となす角

$\omega$ : 風向と斜面の最大傾斜方向とのなす角

$\cdot$  は Vector

$\bar{\quad}$  は Mean を表わす。

例する)を行った上で、大きさ既知の水滴による更正結果と比較する方法による。操作を簡単にするため光電流測定回路に速度補正部を設け直列平衡型真空管電圧計の読みが直接粒径を指示するよう補正して使用した。第2図がその回路図である。

この方法と装置により測定できる範囲と精度は、現在

迄に検討を加えた限りでは次の通りである。(夜間、撮映距離1mにおいて)粒径0.4mm以上、光点の位置誤差 $\pm 0.20 \text{ cm}$ 、距離誤差 $\pm 0.75 \text{ cm}$ 、識別可能時間0.5m.sec.雨滴の速度(誤差 $\leq 10\%$ )15m/s $\sim$ 0.6m/s.高感度微粒子フィルムおよび優秀レンズの使用、光源光量の増加により性能を向上させ得ると思う。

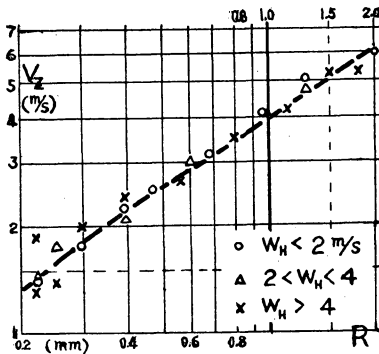
3. 観測 1954年8月24日より30日迄の夜間に伊豆半島大室山付近で観測した。観測した要素は風向風速(地上1.5mにおける毎30秒平均)、降水強度(10分間粒径頻度分布(吸収法による))である。実験地Aは東西240m、南北300mの開墾地の中央で地表はおおむね平坦で北東に $2^\circ$ 傾斜し、Bは幅150m長さ300mの南東向の一樣な斜面の中央で傾斜は約 $15^\circ$ 付近の植被は草丈0.5mのオバナである。

降水および風の状態が比較的一様に持続しているときをえらんで、連続5枚の撮映をAB両地点において4回づつ行い、各回共前後5分間30秒毎の平均風速風向と降水を観測した。40枚の原板中操作不良(キズ、現像ムラ)のため3枚は使用を見あわせたが、残り37枚から784の有効な雨滴の像を得ることができた。

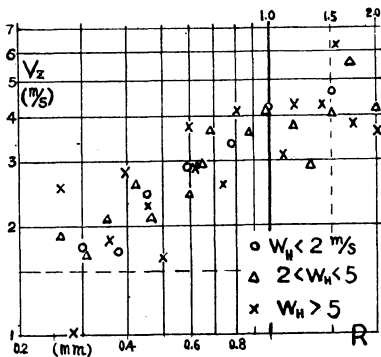
4. 測定結果の要約 (号記については第3図とその説明を参照のこと)第1表に $\dot{W}_H$ と $\dot{V}_H$ との関係を示す。一般に雨滴が大きい程 $\varphi$ は集中し、 $W_H$ の増加と共にその傾向を増す。 $V_H$ は $W_H$ よりやや大きな平均値を示すが、粒径の小さな時はかなり分散した値をとり、特にB点の資料においていちぢるしい。第4図に $V_z$ と粒径の関係を風速別に示す。Aの資料では $W_H$

の大きな時粒径の小さな側で値がばらつくが、全体としては従来観測されあるいは計算された値と同一傾向をとる。ただし同一粒径でも降水強度の大きな時の方が  $V_z$  は大であることが多い。B の資料は  $W_H$  の増加とともに分散し、A のように一定の傾向を示さない。いいかえれば、風のある時には斜面上に落下する雨滴の速さが変化する。

B において観測した個々の雨滴について  $V_v = V_z + V_x \tan \phi$  を計算し、粒径の階級別に平均を求めて見ると

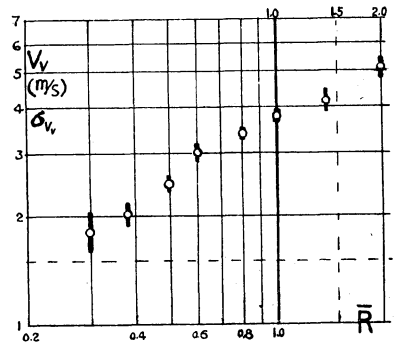


第4図(A) A点における  $V_z$  と粒径の関係、  
R : 雨滴の半径  
(破線は Schmidt の式による値)



第4図(B) B点における  $V_z$  と粒径の関係

第5図の結果をえ、偏差はやや大であるが第4図(A)の傾向とよく一致する。この場合  $\bar{V}_v / W_x$  はほとんどの粒



第5図 B点における  $V_v = V_z + V_x \tan \phi$  と  
粒径の関係  
黒短線は  $V_v$  標準偏差を表す

径について1から1.3であり、 $V_v$  を求めるときに  $V_x$  の代りに  $W_x$  を用いても全体の傾向はほぼ第4図(A)と一致する。

5. むすび 資料の数、種類が充分ではないが次のような考察と今後の問題が指摘される。

(1) ある程度以上のひろがりをもつ斜面上に落下する雨滴の速度は、対気終末速度と斜面上の気流の速度の Vector 和である。

(2) 同大の地表面に同じ粒径の雨が同数落下するとき、地表に作用する雨滴の運動エネルギーは風の状態に応じたかなりの変化(しばしば  $\pm 50\%$  以上)を示す。

以上の考察を実測値の面から検討するために今後資料をふやすとともに装置の改良、とくに晝間の測定法、降雨時の風の観測法と雨滴の影響の排除、小規模の起伏ある地表面または地物が風および雨滴の運動にあたる影響の量的な観測などをとりあげてゆきたい。

(東京教育大学地理学教室)

書評

グライダーの気象 山下一郎著  
B.6 169頁 光生館 220円

第1篇は気象学の常識で、第1章 観測法、第2章 風、第3章 安定度、第4章 予報、となっている。この予報の所にはもう少し重点を置き、グライダーをやる前日に天気図によってある程度の予想ができるようにするとよいと思う。第2篇はグライダー気象で、第1章で気流を、第2章でテルミックを説明してある。これは本書の主眼点であり、非常に良くできている。おそらくはこれ以上のことは現在望めないのではないかと思う。欲

をいえば頁数の比率が第1編と第2篇が2:1になっているが、これが逆になればよいと思う。そういうふうになるのが発展することをグライダー愛好家ともに切望するものである。著者は学生時代から霧ヶ峯でグライダーをやりのちに霧ヶ峯山頂測候所の建設にあたり、また所長として活躍した人で、表題に関して最良の筆者である。余談であるが、スキーで山頂に立ったとき、あの立派な測候所が跡方もなく消えうせ、土台石に粗氷が淋しく着いているのを見ては、まことに痛惜の感にたえない。

(大井正一)