

講座

洪水特論Ⅱ

雨(1)

大道寺重雄*

第1章 雨の種類, 強サ, 雨滴

§1. 中央气象台の地上気象観測法では降水について雨に関するものを、一様に上昇する気層の限水, 安定な気層の降水, 不安定な気層の三種類に大別している。そして一様に上昇する気層の降水の中に雨(Rain)を, 安定な気層の降水の中に霧雨(Drizzle)を, 不安定な気層の降水の中にしゅう雨(Shower)をいれる。雨, 霧雨, しゅう雨の定義は次のようである。

雨 霧雨の粒より大きな水滴で多くは直径 0.5mm 以上あつて, 静穏な空気中を落ちる速サ 3m/秒 以上のもの。但し 0.5mm 以下でも霧雨にくらべてばらばらに降るものは雨とする。

霧雨 一様に降る降水で極めて多数の微小な水滴(直径 0.5 mm 以下)のみからなり, 一見空気中に浮かんでいるようで, 空気の極く弱い動きにも従うのが目に見えるようなもの。霧雨は低い連続した濃い層雲(時には地面にまで垂れ下つて霧となる)から降る。高層雲や乱層雲から降る小粒のばらばらの雨は霧雨としない。

しゅう雨 急に降り始めて急に終り強度変化の著しい降水。空模様は絶えず変化し, 圧迫感を與えるような暗いしゅう雨雲(積乱雲)があるかと思うと, たちまち雲にすき間が現われてくる。

雨の強度は 0, 1, 2 又は弱, 並, 強で示し, この判定の基準となるものは次の通り。

強度	0	1	2
判定の基準	1時間雨量 3mm以下	3.1~ 15.0 mm	15.1mm以上

アメリカのハンフリスは雨の強度をこれよりもこまかく次のように分類した。

階級	名	称	一時間雨量
1	きり雨	Mist	0.05mm
2	細雨	Drizzle	0.25
3	弱雨	Light Rain	1.00
4	並雨	Moderate Rain	4.00
5	強雨	Heavy Rain	15.00
6	甚雨	Excessive Rain	40.00
7	豪雨	Cloud Burst	100.00

* 中央气象台技官 資源調査会専門委員

岡田武松博士の気象学では, 割合に短い時間に非常に多量の雨が一時に降るのを豪雨と定義されている。实例として 1889 年 8 月 19~20 日の 40 時間に総量 1 270mm を挙げてある。これをハンフリスの表と比べてみると岡田博士はハンフリスの甚雨をも含めたものを豪雨とされておるらしい。尤も 40 時間に 1 270mm の雨が降るときは, そのなかで 1 時間には 100mm 以上のときが屢々あるものと考えられる。なお岡田博士は, 豪雨の小仕掛で且つ極く短時間なものを, 夕立又は白雨と呼んだ。また量はさほど多くなくとも短い時間中に強く降るのを強雨と定義した。

高橋浩一郎博士が分類したものは次の通り。

雨の強サ	微雨	小雨	弱雨	並雨	強雨	豪雨
日雨量 (mm)	4	8	16	32	64	128

§2. 土木の方からは年雨量, 1ヶ月雨量, 1日雨量, 1時間雨量, 10分間雨量などが要求される。1時間雨量や 10分間雨量は日記雨量計の記録から求められるが, これがないところでは次の式が実際と略々一致するらしい。

t 時間の雨量を M とする t と M との間には次の関係がある。 $M \propto \sqrt{t}$

東京ではこの式で 24 時間雨量から 1 時間雨量を求めたものは実際の量よりも小さく出るが, 1 時間の最大量から 10 分間の最大量を求めたものは略々一致する。

ケッペン はドイツでこれと同じものを用いてやはり実用に適していることを証明した。氏の論文によれば強雨の全雨量を R mm とし, 継続時間を t 分とすれば, $R = n\sqrt{t}$ また, 降雨の強サを i 分間に i mm とすれば, $i = R/t = n/\sqrt{t}$

ドイツでこの式のように R が \sqrt{t} に比例するのは 2 時間位までの範囲だが, これよりも長い時間では次のウツソウ氏の式の方がよいらしい。

$$R = \sqrt{at - bt^2}$$

米國には次の式がある。

$$i = 104t^{-0.86} \quad (i \text{ は時/時, } t \text{ は分})$$

伊藤剛氏によれば最多日雨量を γ_{24} mm とした時に T 時間内の最大雨量の平均強度 γ_T mm を求めるには,

$$r_T = \frac{r_{24}}{24} \left(\frac{24}{T} \right)^{\frac{2}{3}}$$

但しこの式は短時間の豪雨には適用しない。

貝志堅氏は東京と大阪の降雨強度と強雨の調査をし、自記雨量計の記録から最強の雨量を、5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120分の継続時間別に読取り、これを雨量の多少により第1位から第10位まで順序に表示した。この表から基準降雨量を選び、これから降雨強度の式

$$I = \frac{b}{a+t}$$

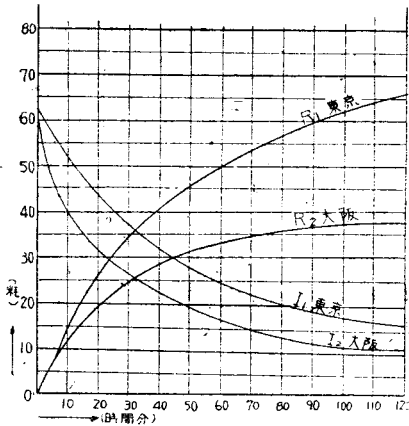
によつて I を求め、次に I の値に $\frac{t}{60}$ を乗じて標準降雨量を求めた。

東京 $I_1 = \frac{5000}{40+t}$ mm/時

大阪 $I_2 = \frac{2500}{20+t}$ mm/時

これによると標準降雨強度は東京は大阪より大きく

図-1 各地降雨・強度曲線



なる。

三浦栄五郎氏は東京における観測の結果から1分間雨量を算出する係数を求めた。

5分観測雨量 × 0.12 10分観測雨量 × 0.13

20 " × 0.15 30 " × 0.16

60 " × 0.17

1時間最大雨量の記録は 97.7mm で、これは 1925

表-1 東京降雨量(耗)記録 (自明治30年 至大正10年)

継続時間	5分	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
1	120	200	250	320	400	500	600	700	800	830	720	1070	1113	1118
2	110	180	230	300	370	470	520	640	682	717	762	840	940	980
3	110	160	213	271	370	448	500	535	565	585	578	608	626	635
4	100	160	208	270	348	405	474	510	537	555	579	575	619	627
5	100	160	200	240	325	385	470	485	475	500	500	500	500	620
6	90	155	185	225	311	370	418	420	421	431	446	476	475	500
7	85	150	178	220	300	346	353	387	407	423	438	470	468	475
8	80	145	175	210	275	315	353	363	380	412	424	442	465	475
9	80	140	173	206	250	273	342	363	377	406	420	440	460	485
10	80	135	168	200	241	270	332	350	375	405	417	436	455	482

(1) 福田秀夫: 洪水調節; 内務省土木試験所報告, 53.

表-2 大阪降雨量(耗)記録 (自明治44年 至大正8年)

継続時間	5分	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
1	60	175	216	258	375	385	426	472	501	537	561	569	577	583
2	116	175	208	235	278	362	375	375	395	420	460	490	490	502
3	110	170	195	222	248	276	297	316	344	375	395	395	406	445
4	110	167	186	210	228	260	275	310	322	330	355	375	375	375
5	107	162	180	202	226	240	270	282	292	300	338	346	355	356
6	102	150	175	194	215	234	260	280	285	293	300	314	324	325
7	86	150	165	186	214	217	235	255	264	270	301	308	323	342
8	82	146	164	184	208	217	226	247	262	288	295	300	314	326
9	80	126	155	172	207	216	225	236	260	281	292	292	310	325
10	80	123	146	170	178	214	222	235	255	262	280	288	310	318

年8月23~27日に台風がサイパンと小笠原島の間から房総、鹿島灘を通つた時に測つたもので、この時は関東には出水による大被害があつた。なお1日最大雨量の記録は尾鷲の674.9mm、カスリン台風の時の1日最大雨量は秩父の359.8mm、1時間最大雨量は水戸の81mm。

鹿兒島、大阪、東京、新潟、札幌の日雨量から、この量別頻度をみると10mm未滿のものが絶体多数である。それから日本では南するに従つて日雨量が多いことがわかる。

表-3 雨の量別頻度(1948年)

東 京

日雨量	mm									
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	150-
1	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0
4	11	3	1	2	0	0	0	0	0	0
9	15	1	0	0	0	0	0	0	0	1

大 阪

日雨量	mm									
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	
1	14	1	0	0	0	0	0	0	0	
4	14	2	1	0	0	0	0	0	0	
9	15	2	1	1	0	0	0	1	0	

鹿 兒 島

日雨量	mm									
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	
1	17	2	0	0	0	0	0	0	0	
4	13	2	0	2	0	0	0	0	0	
9	15	1	1	0	1	0	0	1	0	

新 潟

日雨量	mm									
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	
1	20	3	1	0	0	0	0	0	0	
4	13	4	0	0	0	0	0	0	0	
9	18	1	1	0	0	0	0	0	0	

札幌

日雨量 月別	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
	1	21	4	1	0	0	0	0	0
4	12	2	2	0	0	0	0	0	0
9	20	1	1	0	0	0	0	0	0

§3. 普通の雨の直径は小粒 1.0, 中粒 2.0, 大粒 3~4mm位, しゅう雨は 5~8mm, 今までに測られた最大粒はジャワで観測した 7.3mm である。実験の結果によると, 直径 8mm 以上の水滴を落すと途中で割れてしまうので, 雨としては 8mm が限界であろう。

ベントレー氏が 344 回の降雨について, 雨滴の大きさを測定した結果は次の通り。

雨滴の直径	0.8mm 以下	0.8~1.4mm	1.5~3.4mm	3.5~5.1mm	5.1mm 以上
数	149	288	254	141	35

豪雨あるいはしゅう雨の雨滴は大きいのが普通である。最近の研究によると大雨滴が急速に落ちると地表の状態が乱されるので, 地表は土砂混りの水で被われるから, 雨水の滲透量が少なくなつて流出係数が大きくなる。これが洪水の一原因であるとも言われる。この考えから推すと河岸の土質によつてはあてはまらないだろうが, 豪雨の降る回数の多い地方の河川は流出係数が大きいことになる。

参考までに 24 時間雨量が 50 mm 以上あつた 1 年間の日数をかゝげる。

	鹿児島	福岡	広島	大阪	名古屋	東京	新潟	仙台	札幌
11日	6	7	3	5	5	2	3	1	

”雨滴観測による豪雨の性格の早期判定“ という問題を中央気象台の高橋喜彦博士がとりあげて研究中有る。雨滴は大きい程早く, 小さいものはゆつくり落下する。シュミット氏が雨滴の直径と落下速度を調べた結果を次に示す。

雨滴の直径	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5mm
落下の速度	1.8	2.3	2.7	3.1	3.4	3.9	5.0	5.8	6.4	6.9	7.4m/秒

雨滴の落下の速度の計算についてはストークスの式とシュミットの式が有力である。

ストークスは μ を空気の粘性, ρ を水の比重, σ を空気の比重, γ を水滴の半径とし,

$$6\pi\mu\gamma v = \frac{4}{3}\gamma^3\pi g(\rho - \sigma)$$

$$\text{から } v = \frac{2\gamma^2 g}{9\mu} = 1.26 \times 10^6 \gamma^2 \text{cm/sec} \quad (1)$$

$$\text{又, } \frac{4}{3}\pi\gamma g(\rho - \sigma) = C\pi\gamma^2\sigma v^2$$

$$\text{から } v = C\sqrt{\frac{\rho - \sigma}{\sigma}}\gamma = 1.344\sqrt{\gamma} \text{cm/sec} \quad (2)$$

として v を求めた。

シュミットの式は,

$$v = \frac{10^6}{\gamma^2 + \sqrt{\gamma}} \text{cm/sec}$$

$$\text{から } \gamma = \frac{10^6 \gamma^2}{0.787} = 1.27 \times 10^6 \gamma^2 \text{cm/sec} \quad (3)$$

(1), (2), (3) 式は $\gamma = 4 \times 10^{-4} \text{mm}$ から $\gamma = 1 \times 10^{-2} \text{mm}$ 位の間の水滴については実測とよく合うが, これよりも大滴のものについては前述の表であきらかなように合わない。

雨滴の写真を見ると, 雨滴は小さいものほど球状に近く, 大きいものほど不規則な形をしておつて, 大体椎の実のような形をしているものが多い。

これは雨滴が絶えず振動して空中を落下するからである。

§4. 雨水の pH を測定したものは次の通り,

1947 年

月別 地別	1月	2月	6月	9月	10月	11月
	神戸	5.8	5.8	5.4	5.6	5.9
宇都宮	5.9	5.7	—	5.8	6.0	—

1934 年 9 月 21 日 (室戸台風) の観測によると台風の際の雨水の塩素イオンは台風が接近するに従つて急に増す。次のものは東京で観測したものである。

19日16時~20日8時	20日8時~20日13時	20日13時~20日16時	21日16時~21日19時
1.5	1.0	4.3	57.2mg/l

1936 年に濱松で風向別に雨水の pH と Cl を測定した結果は次の通り。

主風向	観測回数	pH	Cl
N	8	5.7	1.5
NE	46	5.6	1.4
E	22	5.6	1.4
SE	5	5.7	7.2
S	4	5.6	10.7
SW	9	5.6	3.5
W	4	5.6	1.0
NW	5	5.6	1.0

§5. 雨滴は帯電している。雨滴の電流は n を單位体積中にある雨滴の数とし, e を一つの雨滴のもつ電荷, v を落下速度とすると次の関係がある。

$$i = nev$$

雨滴 1gr 当りの電荷はおよそ 1 静電單位で, 一滴当りは 0.005~0.1 静電單位はで電位 10 ボルト位である。雷雨の際には雨滴 1gr 当り 30~40 静電單位の電気を帯びる。