551.577.37: 551.589

豪雨の再現する時間間隔の度数分布特性と設計再現期間について*

正務　章**

1. 緒　言

近年確率雨量とか，再現期間とかの概念が水文気象学をはじめとするいろいろな分野に導入され，実際面にもかなり応用されるようになって来た．したがつて，これらを推定する解析法については，本邦においてもかなり研究され，既にいろいろな方法が提唱されている[1)~4)]．このように，度数解析法そのものについては研究もされ，又比較験証も行なわれているが[5)]，果してそれによって求まる確率限界値が期待される設計基準資料としてふさわしい特性をもったものかどうかというような実用的につっこんだ研究になると，A. Court[6)]，J. E. Gumbel[7)]，斉藤錬一[8)]などによる少数のものがあるに過ぎない．

いうまでもなく，この確率雨量は降雨の量的な出現度数分布だけから求まる限界値であって，降雨が時間的にどのような間隔で現われていたかというような時間的分布特性は考慮に入っていないのである．しかし，建造しようとする施設の耐用期間中は降雨による破壊事故などを絶対起こさせないように，合理的な設計基準雨量を決めねばならないというような応用気候学的問題においては，少なくとも量的に対象となる降雨が時間的にどんな現われ方をするものであるかということも考慮に入れておかないと危険である．

このような観点から，著者は中部日本における実際の豪雨・強雨の時間的現われ方の実態に基づき，確率限界値を設計資料として応用しようとする者が注意しなければならない特性について2，3検討した．

2. 豪雨や強雨が再現する時間間隔の度数分布特性

再現期間$\overline{T}$年の確率雨量—$\overline{T}$年—雨量—とは，平均として$\overline{T}$年に1回の割合で，これに達するか，またはこれを越す降雨量が現われると期待できる場合の限界雨量のことである．

したがって，ある長期間，例えばN年間に，$\overline{T}$年—雨量以上の降雨量の現われる回数は平均として$N/\overline{T}$と期待される．しかし，$N/\overline{T}$回のこれら箇々の降雨がいつも同じ時間間隔$\overline{T}$年で現われるというのではない．実際$\overline{T}$年—雨量を越すような降雨はどんな時間間隔で再現し，どんな分布特性をもっているものであろうか．

かって，著者は豪雨の指標として24時間雨量をとり，強雨の指標として1時間雨量をとって，中部日本におけるそれらの時間的現われ方を調べ，顕著な群発性のあることを報告した[9)10)]．その調査では，先ず相当長期に亘って資料が揃っている各地の24時間雨量と1時間雨量を度数解析して，再現期間2年・5年・10年などの確率雨量を求め，別に24時間雨量及び1時間雨量の各最大値からの順位表を地点別に作り，各地の経験的再現期間2年以上の実際の豪雨と強雨とを選び出した．そして第1図(a)，(b)に例示したように，各確率雨量に対比して実際の豪雨や強雨の時間的現われ方が判る図を各地点ごとに作り，それらが再現する時間間隔をみる資料にした．すなわち，これらの図で，雨量を表わす縦線と2，5，10年—雨量などを表わす水準線との交点の間隔年数をその地点における豪雨や強雨の再現する時間間隔として各再現期間別に読みとった．このようにして得られた各地点の時間間隔の出現度数を再現期間別に，地域的に総合して求めた度数分布を図示したのが第2図(a)，(b)である．

これらをみると，例えば，2年—雨量以上の実際の豪雨や強雨の再現した時間間隔の最多値（モード）は2年ではなく，1年であることがわかる．すなわち，2年—雨量以上の豪雨が1回起ると，それに引続いて次の年にも又豪雨が現われることが最も多い．そして間隔が長くなるにしたがってその度数は減少している．5年—雨量以上のものでも，10年—雨量以上のものでも，傾向は殆んど同じであることがうかがえる．

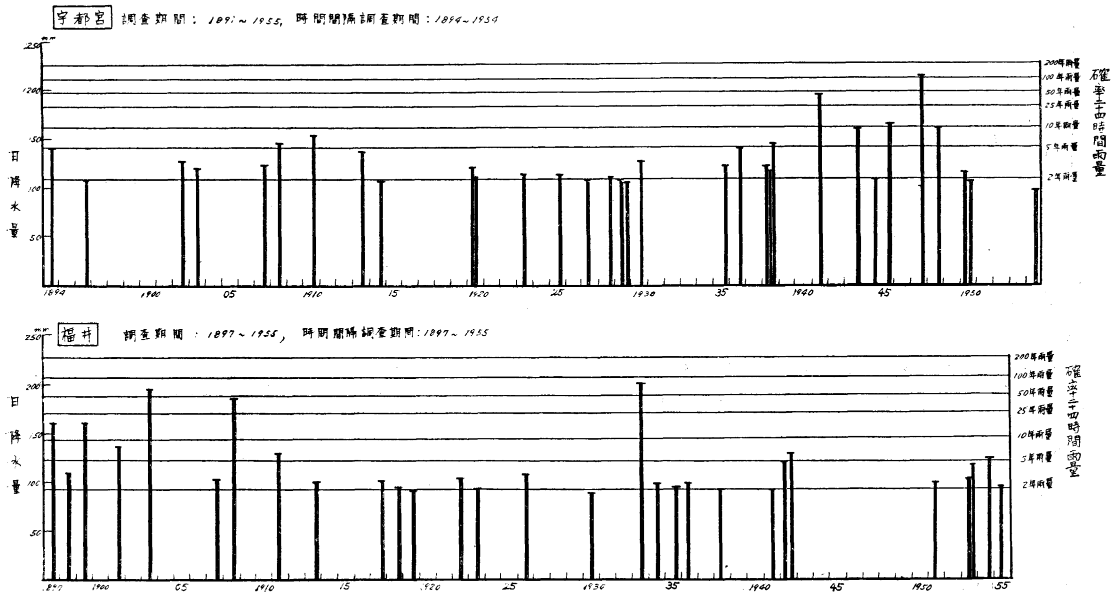
そこで，少し確率論的に考察してみよう[6)]．いま，任意の年の最大雨量（x）がある再現期間（$\overline{T}$）に対す

---

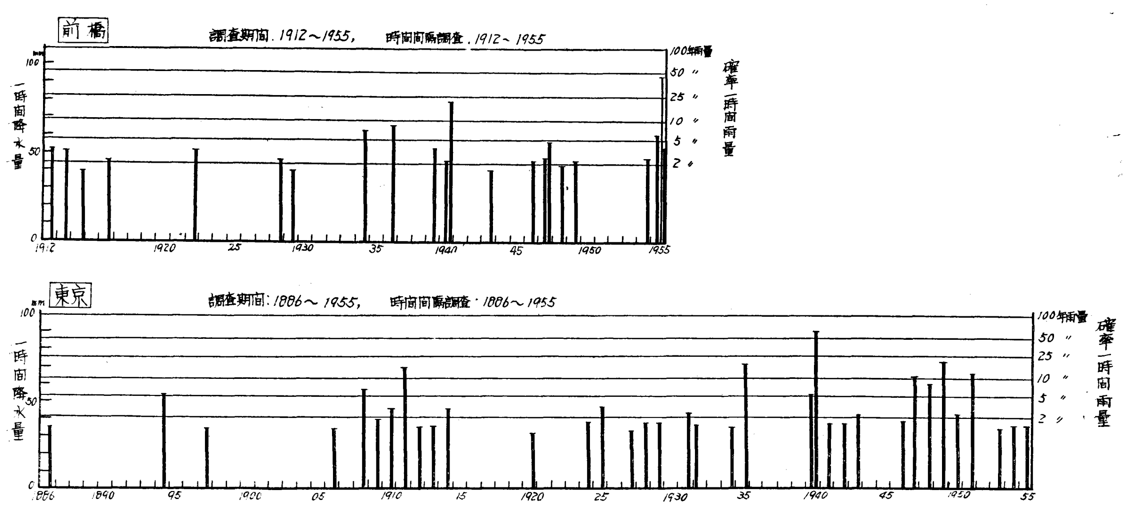
* On the Intervals between Recurrences of Heavy Rainfall and the Design Return Period.

** Akira Masatsuka. 東京管区気象台.

—1962年9月10日受理—



第１図　(a)　豪雨の時間的現われ方の実例



第１図　(b)　強雨の時間的現われ方の実例

る確率雨量 (x_T) 以上になる確率を p とし，x_T に達しない確率を q とすると，n 年間観測してそれぞれの年最大雨量—n 箇の年最大雨量のうちの最大値を x_n^* で表す—がすべて x_T に達しない確率 $P(x_n^*<x_T)$ は，

$$P(x_n^*<x_T)=q^n=(1-p)^n=\left(1-\frac{1}{T}\right)^n \quad\cdots\cdots\cdots(1)$$

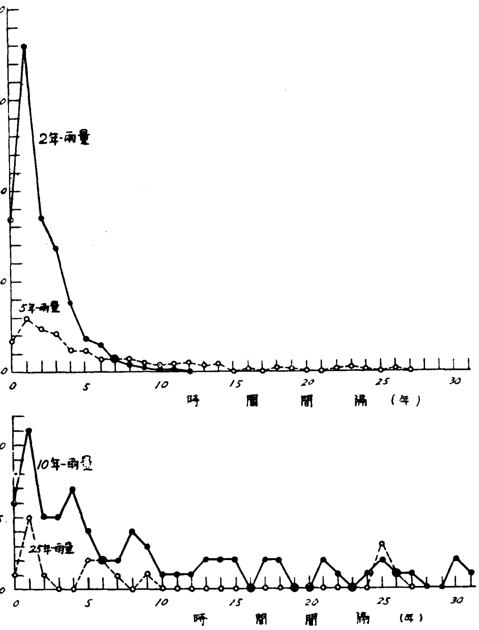
となる．したがって，n 年間に少なくとも１回 x_T 以上の年最大雨量が現われる確率 $P(x_n^*\geq x_T)$ は次のとおりになる．

$$P(x_n^*\geq x_T)=1-q^n \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

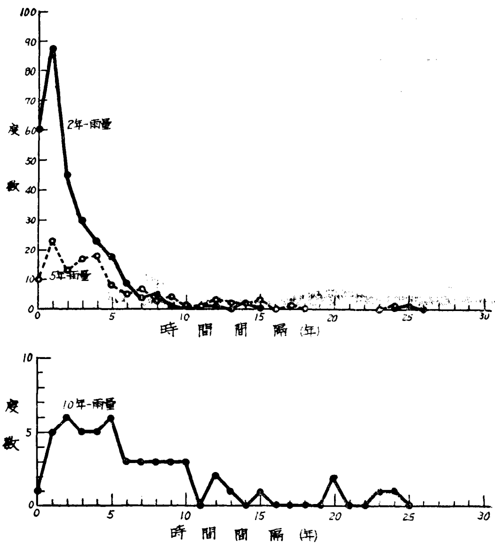
また，一度現われてから m 年目に始めて x_T 以上の年最大雨量の現われる確率を $P\{(x^*_{m-1}<x_T)(x_m\geq x_T)\}$ で表わすと，

$$P\{x^*_{m-1}<x_T)(x_m\geq x_T)\}=q^{m-1}p=\frac{(T-1)^{m-1}}{T^m}\cdots(3)$$

である．したがって，(2)式と(3)式から次のことがわかる．



第２図　(a)　2，5，10，25年一雨量以上の豪雨の再現した時間間隔の度数分布曲線



第２図　(b)　2，5，10年一雨量以上の強雨の再現した時間間隔の度数分布曲線

(a)，n 年間に少なくとも１回，$\bar{T}$ 年一雨量以上の雨が降る確率は年数 (n) が増すにしたがって大きくなる．

(b)，しかし，ある年数 (m) をへだてて，$x_{\bar{T}}$ 以上の年最大雨量が再現する確率は間隔が長くなればなる程小さくなってくる．すなわち．一度 $\bar{T}$ 年一雨量以上の雨量が現れると，それに引続いて次の年にも起り易いのである．したがって，ある確率雨量以上の年最大雨量が再現する時間間隔の最多値は１年となる筈である．この特性は第２図(a)，(b)に掲げた実際の豪雨や強雨の再現する時間間隔の度数分布曲線にもよく現われていると思う．

さて，このように $x_{\bar{T}}$ 以上の x が再現する時間間隔 (T) の平均値が普通いわれる再現期間 $(\bar{T})$ にほかならないので，前述のことから一般に，平均値 $(\bar{T})$ と中央値 $(\overset{\frown}{T})$ とは一致しない筈である．次にこれらの関係を考えてみよう．いま，k を $\bar{T}$ と n に対し，$\bar{T}=kn$ なる関係にある正数とすると，(1)式は次のように書きかえられる．

$$P\left(x^*_{\frac{\bar{T}}{k}} < x_{\bar{T}}\right) = \left(1-\frac{1}{\bar{T}}\right)^{\frac{\bar{T}}{k}} \quad \cdots\cdots (4)$$

いま，$\bar{T}$ が限りなく増すと，

$$\lim_{\bar{T}\to\infty}\left(1-\frac{1}{\bar{T}}\right)^{\frac{\bar{T}}{k}} = e^{-\frac{1}{k}} \quad \cdots\cdots (5)$$

となる．したがって，$\bar{T}$ が長くなると，$\frac{\bar{T}}{k}$ 年間に少なくとも１回 $x_{\bar{T}}$ 以上の年最大雨量の起る確率は次のとおりになる．

$$P\left(x^*_{\frac{\bar{T}}{k}} \geq x_{\bar{T}}\right) = 1-e^{-\frac{1}{k}} \quad \cdots\cdots (6)$$

定義によれば，中央値 $\overset{\frown}{T}$ とは，$x_{\bar{T}}$ 以上の x が $\overset{\frown}{T}$ より短い時間間隔で再現する度数とそれより長い時間間隔で再現する度数とが丁度等しくなる臨界時間間隔に相当する．そこで，$n=\overset{\frown}{T}$ の場合を考えると，

$$P\left(x^*_{\overset{\frown}{T}} \geq x_{\bar{T}}\right) = 1-e^{-\frac{1}{k}} = \frac{1}{2} \quad \cdots\cdots (7)$$

であるから，$\frac{1}{k} \fallingdotseq 0.693$ となる．したがって，次の関係が得られる．

$$\overset{\frown}{T} \fallingdotseq 0.693\,\bar{T} \quad \cdots\cdots (8)$$

すなわち，$x_{\bar{T}}$ 以上の x の再現する時間間隔の中央値はいわゆる再現期間の約0.69倍にあたる．

中部日本における前述の実際の雨についての統計資料であたってみると，$\overset{\frown}{T} \fallingdotseq 0.6\,\bar{T}$ になっており，確率論的結論とほぼ一致した特性を表わしている．

3.　耐用安全期間と設計再現期間

平均として $\bar{T}$ 年に１回起るような年最大雨量が次の $\bar{T}$

年間に少なくとも1回起る確率は，$1-\left(1-\dfrac{1}{\overline{T}}\right)^{\overline{T}}\fallingdotseq 1-e^{-1}=0.632$ である．例えば，100年一雨量以上の豪雨が次の100年間に起る確率は約63%にもなる．原則として豪雨が降っても絶対100年間は耐え得る建造物を設計しようとする時には，少なくともその耐用期間中には絶対起らない豪雨量を設計基準として採用しなければならない．しかし，もしこの場合100年一雨量を基準にとると，前述のように危険率が非常に高く，殆んど目的にそわないといえよう．一般に再現期間$\overline{T}$年の確率雨量に対して安全なように設計された建造物は，実は$\overline{T}$年間安全に耐用できることは少ないのである．そして，$n=\dfrac{\overline{T}}{k}$年間に少なくとも1回$\overline{T}$年一雨量以上の雨が現われる確率$P(x_{\frac{\overline{T}}{k}}{}^{*}\geq x_{\overline{T}})$は，耐用安全期間を$n=\dfrac{\overline{T}}{k}$におさえ，$\overline{T}$年一雨量を設計雨量にとった建造物が豪雨のためにその耐用安全期間中に事故を起こす危険率（u）と見なすことができる．すなわち，

$$u=P(x_{\frac{\overline{T}}{k}}{}^{*}\geq x_{\overline{T}})=1-\left(1-\frac{1}{\overline{T}}\right)^{\frac{\overline{T}}{k}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(9)$$

(9)式を k について解くと，

$$k=\log_e\left(1-\frac{1}{\overline{T}}\right)^{\overline{T}} \Big/ \log_e(1-u) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(10)$$

$\overline{T}$が限りなく大きくなると，

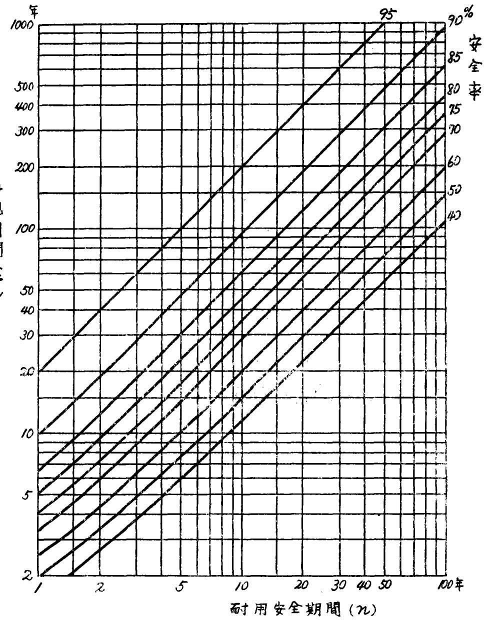
$$k \xrightarrow[\overline{T}\to\infty]{} -1/\log_e(1-u) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(11)$$

そこで，危険率uと再現期間$\overline{T}$とを指定して，(10)式と(11)式によって，対応するkの値を算出すると次表のとおりになる．

第1表　k の値

$\overline{T}$ ＼ u	0.60	0.50	0.40	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05
2年	1.51	2.00	2.71	3.89	4.82	6.21	8.53	13.16	27.02
3	1.33	1.75	2.38	3.41	4.22	5.44	7.48	11.53	23.68
5	1.22	1.61	2.18	3.13	3.88	5.00	6.87	10.59	21.75
10	1.15	1.52	2.06	2.95	3.66	4.72	6.48	10.00	20.54
20	1.12	1.48	2.01	2.88	3.57	4.60	6.31	9.74	20.00
25	1.11	1.47	2.00	2.86	3.55	4.57	6.28	9.69	19.89
50	1.10	1.46	1.98	2.83	3.51	4.52	6.21	9.58	19.68
∞	1.09	1.44	1.96	2.81	3.48	4.49	6.16	9.50	19.51

この結果を用い，いろいろな安全率（$1-u$）別に，耐用安全期間（n）と再現期間（$\overline{T}$）との関係を示す図表を作ると第3図のようになる．この図表によれば，安全率を指定しさえすれば，容易にある再現期間に対する耐用安全期間，あるいは逆に必要な耐用安全期間に応じた再現期間（設計再現期間と呼べよう）を決めることができる．したがって例えば，耐用安全期間30年を必要とする建造物の設計には，次のような設計再現期間に対する確率雨量を基準に選ぶことが望ましいのである．安全率を90%におさえれば，横軸目盛で30年の点を通る縦線と安全率90%を示す斜線との交点の縦座標を縦軸目盛で読取って，まず設計再現期間285年を求める．次にこの285年を再現期間とする確率雨量を度数解析法によって算定すれば，合理的な設計雨量が得られる．



第3図　耐用安全期間と再現期間との関係

なお，第3図はさきに斉藤（錬）によって得られた図表[8]と求め方は少し違うが，殆んど同じ結果を与える．

4. 結　　語

以上を要約すると次のとおりである．

(a) 中部日本における実際の豪雨（24時間雨量）と強雨（1時間雨量）の再現する時間間隔の度数分布特性は確率論的に考察した結果とかなりよく一致している．

(b) もし普通のいわゆる再現期間（平均）に対する確率雨量をそのまま設計基準に採用すると，目的が達せられない場合が非常に多い．

(c) 耐用安全期間と再現期間との関係は第3図のとおりである．

(d) 耐用安全期間と安全率を指定して求めた設計再現期間に対する確率雨量が合理的な設計基準となる．

終りに，この報告を作成するについては，Arnold Court，斎藤錬一両博士の所論に示唆されるところが多かつたことを特記し，感謝申しあげる．

参考文献

1) 岩井重久(1949)：Slade 型分布の非対称性の吟味およびその2，3の新解法．土木学会論文集，第4号，84～104.
2) Ogawara, M. and Collaborators (1954): Stochastic Limits for Maximum possible Amount of Precipitation. Papers in Met. and Geophys., **5**, 8～21.
3) 気象庁統計課(1954)：主として小河原氏の方法による日降水量の Return Period の計算法．電力気象連絡会彙報，2輯，**3**，217～239.
4) 正務章・草間宗三(1955)：松本の確率雨量について．気象庁研究時報，**7**，277～282．又は，正務章・待井一男(1956)：本邦各地の無降水継続日数の Return Periodについて．気象庁研究時報，**8**，400～408.
5) 例えば，気象庁統計課(1958)：日降水量の再現期間の推定法に関する調査．気象庁測候時報，**25**，181～186.
6) Court, A.(1952): Some New Statistical Ttechniques in Geophysics. Advances in Geophysics, Academic Press Inc., New York, **1**, 45～85.
7) Gumbel, E.J. (1955): The calculated Risk in Flood Control. Appl. Sci. Research, A, **5**, 273～280.
8) 斎藤錬一(1957)：暴風の確率限界値．気象庁研究時報，**9**，529～532.
9) 正務章・新井貞義(1959)：中部日本における雨の降り方に関する統計的調査(2)．気象庁研究時報，**11**，623～634.
10) 正務章・新井貞義(1960)：中部日本における雨の降り方に関する統計的調査(3)．気象庁研究時報，**12**，402～415.

第5回常任理事会議事録

日　時　昭和37年10月1日（月）17.00～20.00
場　所　神田学士会館
出席者　松本，正野，村上，今井，吉武，神山，有住，岸保，須田，増田，淵 各理事
（順序不同）

決　議

1. 秋期大会に関し次のとおり実施する．
(1) 期日　12月5日（水），6日（木），7日（金）
(2) 場所　気象大学校　2階講堂及び教室
(3) 行事　12月5日　9 h 30～17 h
12月6日　〃　研究発表
〃　18 h　懇親会
12月7日　9 h 30～12 h 研究発表
〃　13 h～17 h シンポジウム
(4) 大会委員長　中野猿人
(5) シンポジウム（文部省総合研究班「防災科学」異常気象分科会と共催）
気象災害に関するシンポジウム
座長　斎藤　錬一
―防災研究はどう進めたらよいか―
話題提供者
河川工学関係　高橋　裕（東 大 工）
建築工学関係　亀井　勇（東北大工）
海岸工学関係　鶴田　千里（港湾技研）
気象学関係　奥田　穣（気研台風）
(6) 予稿集（講演申込数 102）
オフセットで作成する．1人2頁以内，締切10月末
(7) 大会座長
第1会場
5日午前（気候・総観気象）　長尾　隆
5日午後（汚染・乱流）　竹内　清秀，関川　俊男
6日午前（台風）　久米　庸孝
〃 午後（力学・長期予報）　岸保勘三郎，窪田　正八
7日午前（降水統計・災害）　荒井　隆夫
第2会場
5日午前（陸海水・雲の観測）　石原　健二
〃 午後（放射・高層）　沢田　龍吉，関原　彊
6日午前（氷晶核・人工降雨）　駒林　誠
〃 午後（凝結核・霧・降水）　樋口　敬二，小林　禎作
7日午前（応用気象・気象電気）　神山　恵三

2. 明年度大会に関しては今井理事が研究会出席とともに現地と相談する．
3. 評議員に関しては次回に案を出して全国理事で投票してきめる．
4. 講演企画委員会の強化に関しては次回に案を出して討論する．
5. 日米科学委員会に関する説明会を開くこととし，和達・坪井両氏に講師をお願いする．期日等の世話役は岸保，松本，増田，神山4理事が当る．
6. 10月16日開かれる生物，地質関係主催の日米科学委員会に関する討論会には上記4氏が出席する．
7. 朝日賞に関しては数値予報グループの協同研究を出す．
8. ノートの地区編集委員は支部推せん者および各管区の調査課長（支部のないところ，および推せんのない支部）にお願いする．