

## 昭和63年7月豪雨時の降雨量に対する確率評価

福島 晨\*・田中礼次郎\*

Probabilistic Estimation for Amount of Rainfall  
during Localized Heavy Rainfall, July, 1988

Akira FUKUSHIMA and Reijiro TANAKA

The western parts of Simane Prefecture suffered severe disasters from slope and flood flows caused by record heavy rainfall, in July 15, 1988.

At the Hamada meteorological observatory, for instance, the maximum one-day and one-hour rainfalls were 331.5 mm and 90.0 mm, respectively. After delivering the amount of rainfall during the localized heavy rainfall, this paper discusses the annual extreme probability for the annual maximum values of 10 minutes, one-hour, and one-day rainfall in Hamada and Mastue District. In the hydrologic frequency analysis, it is assumed that these annual maximum values follow the 3-parameter log-normal distribution. As the results, for example, the historical maximum one-day rainfall at Hamada (394.5 mm) is evaluated as 176-years probable values by means of frequency analysis.

### I. ま え が き

島根県東部及び西部では昭和63年7月13日から15日にかけて梅雨期の豪雨が記録された。今次の梅雨前線の活動、停滞に伴い、松江地方気象台から15日午前3時15分に記録の短時間大雨情報第1号が発表されたのに続き、浜田市を中心とした地域では昭和58年7月豪雨時と同様に短時間集中豪雨に見舞われた。

本報告では i) 松江地方気象台、浜田測候所、及び浜田ダム管理所で観測された降雨記録に基づき、今次の豪雨についての生起確率の推定、ii) 確率降雨強度曲線について若干検討した結果を述べる。

### II. 昭和63年7月豪雨時の降雨量

表-1に浜田測候所(露場海面上高; 19.8 m)と松江気象台(露場海面上高; 16.9 m)で観測された7月13<sup>1)</sup>~15日の日雨量、日最大1時間雨量、及び総雨量を示す。ただし、日界は0時とし、正時毎に記録されたものである。また浜田測候所での10分毎の資料によると、24時間最大雨量は7月15日0時~7月16日0時に 394.5 mm、

1時間最大雨量は7月15日2時30分~3時30分に88mmが記録されている。なお、1時間最大雨量は自記雨量計の自記記録紙による7月15日2時30分~3時30分の90mmが公式記録とされている。上述の10分毎の資料による88mmとの2mmの差はオンライン処理の際の計測時刻に基づくものとされている。

また、図-1に7月13日~15日の時間雨量についてのハイエトグラフを示す。梅雨前線活動の活発化に伴い、13日から、松江地方を中心に大雨となり、表-1に示すように、松江では13日に時間雨量の最大が6~7時に41mm、日雨量220mmが記録された。その後、島根県東部地方は小康状態になったが、14日夜半から15日未明にかけて浜田地方を中心に強雨域が停滞し、今次の豪雨となった。浜田測候所では表-1に示すように、7月15日の日雨量が395mm、また、7月13日~16日の総雨量は

表-1 昭和63年7月13日~15日の雨量

月 日	7月13日	7月14日	7月15日	総雨量
降雨観測所	R r <sub>max</sub>	R r <sub>max</sub>	R r <sub>max</sub>	(7/13~7/16)
松江気象台	220 41	18 6	9 6	247 mm
浜田測候所	18 13	13 7	395 84	426

※ R:日雨量(mm), r<sub>max</sub>:最大1時間雨量(mm)

\* 農村工学講座

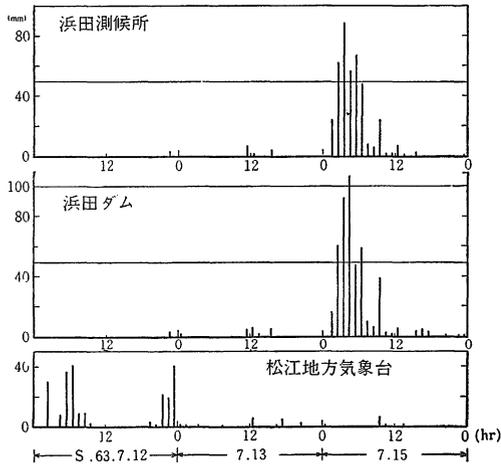


図-1 昭和63年7月13～15日の時間雨量ハイトグラフ  
426 mm と記録された。なお、15日の12時間最大雨量は1時～13時の 391.0 mm であり、15日の日雨量の99%が同時間内に記録されたことになる。

浜田市街地を貫流する浜田川の河口より上流約 10 km に位置する浜田ダム管理所（標高；143.7 m）では10分最大雨量 25 mm（15日 4時10分～4時20分）、1時間最大雨量 121.0 mm（15日 3時20分～4時20分）、12時間最大雨量 445 mm（15日 1時～13時）、日最大雨量 458 mm（15日）が観測された。浜田ダム管理所においては15日の日雨量の97%が1時～13時の12時間に記録されたことになる。

ところで、昭和58年7月豪雨時に浜田測候所では7月23日 0時40分から1時40分に 91.0 mm/h、23日に 331.5 mm/d といずれも観測開始（前者、1912年、後者1892年）以来の新記録が観測され、浜田市では未曾有の大水害を被ったばかりである。したがって、今次の24時間最大雨量は昭和58年7月豪雨時の記録を 63 mm 上回り、日最大1時間雨量はほぼ昭和58年7月豪雨時の記録に匹敵する降雨規模であったといえる。そして今次の豪雨により、松江地方気象台、浜田測候所における極値雨量は

表-2 に示す値に更新された<sup>2)</sup>。さらに昭和60年梅雨期にも島根県西部地域に長期の大雨が記録されていることから、昭和58年7月豪雨災害以来、数年を経ずして再三発生する豪雨によって引き起こされた大水害は当地域で大きな社会問題となっている。

災害対策上、洪水防御計画で目標としている安全度の指標、すなわち治水安全度は通常、年最大の水流量の生起確率（年超過確率）によって示される<sup>3)</sup>。そこで、浜田測候所で観測された今次の豪雨の生起確率を推定してみることとする。

浜田測候所で10分単位で記録された今次の降雨資料を用い、主な降雨継続時間に対する最大雨量を整理すると、表-3 のようになる。これによると、例えば1時間最大雨量が 88 mm、2時間最大雨量が 157.5 mm となっているが、これらの値はどの程度の生起確率となっているかを以下評価してみる。なお、参考までに、浜田ダム管理所、及び島根県東部の松江気象台での値も併示することとする。

表-3 主な降雨継続時間に対する最大雨量  
(浜田測候所)

降雨継続時間	最大雨量	降雨継続時間	最大雨量	降雨継続時間	最大雨量
t = 10分	18.5mm	t = 3時間	216.0mm	t = 8時間	354.0mm
t = 30分	51.0	t = 4時間	285.0	t = 10時間	382.0
t = 1時間	88.0	t = 5時間	320.5	t = 12時間	391.0
t = 2時間	157.5	t = 6時間	341.0	t = 24時間	394.5

### III. 対数正規分布の母数推定法

雨量の極値に関する確率統計解析については数多くの研究がなされ、1950年代までにはほぼ実用的な手法が確立されたとされている。しかし、実際問題として、今次のように大水害が発生すると、水害の原因である大雨の規模の年超過確率をどう評価するのがよいか、また統計年数が増えることにより、同じ降雨量に対する年超過確率が変わってくるものの解釈の仕方などについての疑問が提起されることがある。さらに、解析対象とする大雨が通常の確率評価法で評価すると数千年に1回の大雨と評

表-2 浜田、松江の極値雨量 (mm)

順位	最大10分雨量		最大1時間雨量		最大日雨量	
	浜田	松江	浜田	松江	浜田	松江
	降水量 年月日	降水量 年月日				
1	27.4 S38.8.30	25.6 S33.8.1	91.0 S58.7.23	77.9 S19.8.25	394.5 S63.7.15	263.8 S39.7.18
2	22.5 S63.7.15	24.5 S63.7.13	90.0 S63.7.15	67.8 S17.9.12	331.5 S58.7.23	220.0 S63.7.13
3	21.4 S39.9.13	22.0 S19.8.25	85.2 S34.8.22	65.0 S36.8.8	302.5 S47.7.11	209.7 S18.9.20
4	20.1 S34.8.22	20.0 S60.7.21	72.0 S52.8.8	60.5 S27.7.29	246.7 S29.7.29	201.3 S39.7.16
5	20.0 S58.7.23	20.0 S47.8.18	59.9 S32.7.29	57.7 S36.9.9	228.5 S18.9.20	200.5 S47.7.11

価される場合が生じ、このような値が推定される理由、あるいはこのような大雨が確率紙上でその他のグループから大きく外れてプロットされる outliers の問題が議論されることになる。これらについては石原、江頭・室田らの最近の研究成果が参考になる。

石原の研究報告において、年最大水量を対象とする場合、現在なお事象の生起確率をよりの確に表すような分布関数の探究、分布関数の最適さの判定方法、標本数が少ない場合の取扱方等について研究の必要性が指摘されている。また、江頭・室田らは大阪の時間雨量、全国56地点の年最大日雨量資料に基づき、大雨の生起頻度について検討した結果、わが国の年最大日雨量系列に関する限り、「平方根指数型最大値分布」の適用が妥当であり、outliers の問題がほぼ完全に説明されると結論づけている。

現在まで、年最大水量の確率分布式として、対数正規分布、グンベル分布、対数極値分布 A 型が主用されている。したがって、ここでは取り敢えず、確率分布式として対数正規分布を用いることにし、最近提案された平方根指数型最大値分布についての適用結果については別途報告することにする。

3母数対数正規分布の分布関数、及び確率密度関数は次式で表される。

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^y \exp(-y^2) dy \quad \dots\dots (1)$$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{k}{x+b} \exp(-y^2) \quad \dots\dots (2)$$

ここに、 $y = a \log_{10}\{(x+b)/(x_0+b)\}$ 、 $k = a \log_{10} e$  分布関数に含まれる母数  $a$ 、 $b$ 、及び  $x_0$  の推定には岩井・角屋の方法を用いる。すなわち、以下の手順で行う。

1) 水量  $x$  の幾何平均  $x_g$ ;

$$\log_{10} x_g = (\sum_i \log_{10} x_i) / N$$

2)  $b$ ;

$$b_i = (x_i x_r - x_g^2) / \{2x_g - (x_i + x_r)\}$$

$$\hat{b} = \sum_{i=1}^j b_i, j = N/10$$

3)  $x_0$ ;

$$\log_{10}(x_0+b) = \sum_i X_i / N, X_i = \log_{10}(x_i+b)$$

4)  $1/a$ ;

$$1/a = \sqrt{\frac{2N}{N-1}} S_x, S_x = \sqrt{\bar{X}^2 - (\bar{X})^2}$$

任意のリターンピリオドに対する確率水量  $x$  の値は次式で推定される。

$$\log_{10}(x+b) = \log_{10}(x_0+b) + (1/a)y \quad \dots\dots (3)$$

ここに、 $y$  は前述(1)、(2)式中の正規変数である。

#### IV. リターンピリオドと確率雨量

##### 1. 検討の方針

一般に、水量のリターンピリオドは、「水量  $x$  がある値  $x_a$  以上となるのが平均的にみて  $T$  年に1回であるとき、この  $T$  年を  $x_a$  のリターンピリオド(確率年、再現期間)」と定義され、 $x_a$  を  $T$  年確率水量と呼んでいる。そして、年最大値のような年1回の値を扱う場合のリターンピリオドは次式で与えられる。

$$T = 1/\{1-F(x_a)\} \quad \dots\dots (4)$$

ここに、 $F(x_a)$  は  $x_a$  の非超過確率である。

実際問題として、治水構造物などの耐用期間内に発生する年最大日雨量がどのような発生状況をしているかなどの例があげられ、 $T$  年間に生起する水量の最大値の最頻値が  $T$  年確率水量にほぼ等しいことが示されている。ただし、この場合、対数正規分布が仮定されている。

そこで、まず確率分布式として3母数対数正規分布関数を用い、年最大10分雨量、年最大時間雨量、年最大日雨量についての  $T$  年確率雨量を推定してみる。その場合、資料の統計年数を変えたときの母数、及び  $T$  年確率雨量推定値の安定性を評価することにする。

また、今次の豪雨時に記録された最大10分雨量、最大時間雨量、最大日雨量について資料の棄却検定した上で、今次の豪雨規模に対応するリターンピリオドを推定してみる。

##### 2. 資料

$T$  年確率雨量の推定に用いた各観測所における雨量資料の期間を表-4に示す。ただし、浜田測候所では昭和5~14年の1時間雨量、浜田ダム管理所では昭和39年に1時間雨量、日雨量、松江地方気象台では昭和12、13、15年の日雨量がそれぞれ入手不可能であった。これらは欠測期間として扱い、資料の補充は行わなかった。

また、日雨量の日界が昭和27年以前は22時、昭和28~38年は9時、昭和39年以降は0時である。 $T$  年確率雨量の推定にあたり、年最大水量という標本は独立性、及び等質性の仮定が満足されていることが前提となっている。したがって、上述の欠測期間の取扱とともに、こ

表-4 降雨資料の期間

観測所	年最大10分雨量	年最大時間雨量	年最大日雨量
浜田測候所	1940 ~ 1988	1912 ~ 1988	1893 ~ 1988
浜田ダム管理所	—	1963 ~ 1988	1963 ~ 1988
松江気象台	—	1941 ~ 1988	1926 ~ 1988

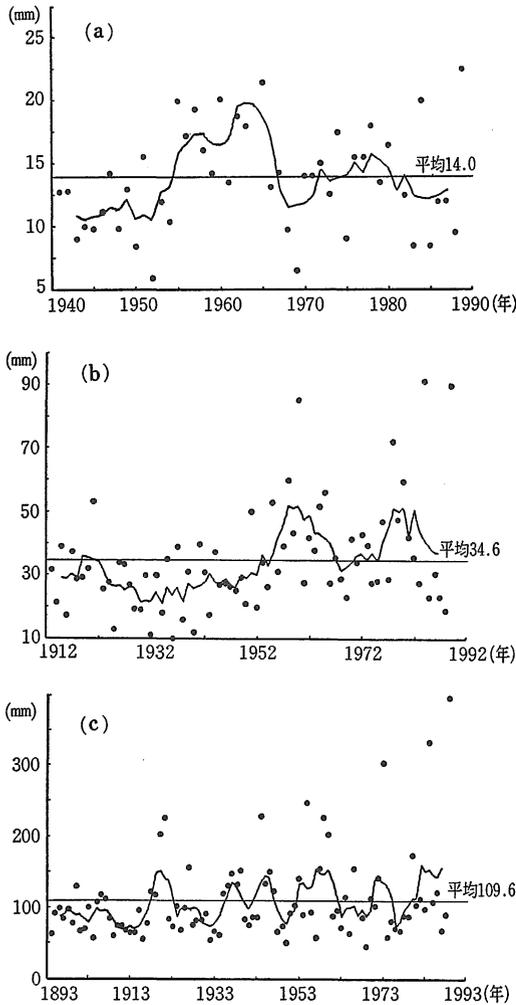


図-2 浜田測候所における年最大雨量の5年移動平均 (a)10分間雨量 (b)1時間雨量 (c)日雨量

のように日界が異なる年最大日雨量を一組の順序統計量とみなすことには問題がある。適当に区切られた日界に従って得られた日雨量を資料とした確率日雨量と、最大24時間確率雨量との間には差があり、後者は前者のほぼ1.1~1.2≒1.15倍との報告がある<sup>7)</sup>。この報告を勘案すると、表-4に示す資料期間の年最大日雨量を一組の順序統計量とみなした  $T$  年確率雨量推定値は高々この程度の推定誤差をともなっていると解釈される。

図-2に浜田測候所の資料に基づく最大10分雨量、最大時間雨量、最大日雨量についての経年変化を示す。同図には5年の移動平均による曲線、及び平均値が併示してある。これらの図において、次第に増加傾向、あるいは

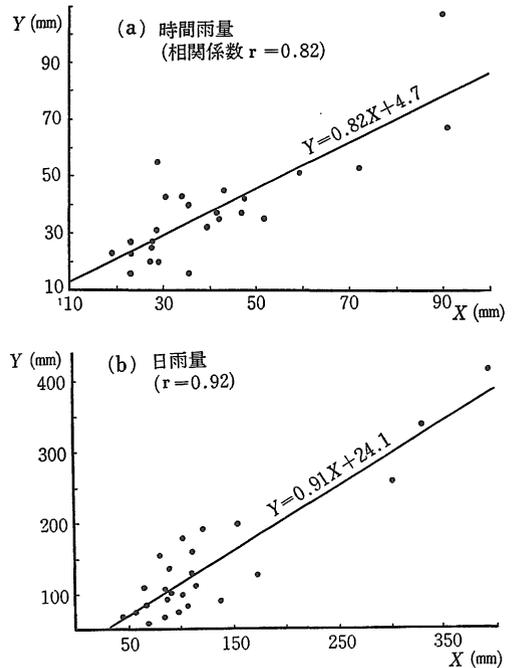


図-3 浜田測候所(X)と浜田ダム (Y)の年最大雨量相関図

は周期性があるようにみえるが、これだけのデータでは統計的に意味がある増加傾向、あるいは周期性とは断定できない。一応、解析対象とする資料は独立性が満足されているものとして扱う。

図-3は浜田測候所(X)と浜田ダム管理所(Y)の雨量資料に基づく、年最大時間雨量、及び年最大日雨量についての散布図である。図中の直線はYのXへの標本回帰直線である。いずれも強相関となっている。

### 3. 資料の統計年数と $T$ 年確率雨量

前項の表-4に示す100個にも満たない程度のデータからなる1標本が母集団の特性を忠実に代表しているとは考えられず、確率水文量には分布関数に基づく不確定性、及び標本抽出の変動性に起因する推定母数に関する不確定性が内在している。

寒川<sup>8)</sup>らは年最大日雨量がグンベル分布に従うとして、資料数の増加に伴う50年、100年確率雨量の変動性を検討し、資料数が30~40個以上になるとその値が安定していくことを示している。

また、宝<sup>9)</sup>らは確率水文量の変動性を確率分布モデル評価の規準とすることを提案している。そして、琵琶湖流域平均年最大日雨量が2母数のグンベル分布に従うものとする、50~200年確率水文量は資料数が20、70、140のとき、それぞれ13~14%、6~7%、4~5%の推

定誤差をもつことを bootstrap 型のリサンプリング手法により示している。その結果、10%以内の推定誤差に抑えようとすれば少なくとも30~40個の資料数が必要であると結論している。

これらの研究成果を参考にすると、 $T$  年確率雨量を推定する際の資料の統計年数は30~40年以上とすることが望ましいといえる。

そこで、表-5に示す4Caseについて $T$ 年確率雨量を推定し、比較検討することにする。

まず、Case 1 についての結果を示す。対数正規分布の母数を推定すると表-6の値が得られた。ここで、 $x_0$  は対数正規分布の中央値であり、 $x_0$  は対数確率紙上では  $F = 50\%$  に対応する値となる。また、 $b$  の正負は分布性状によってきまり、 $a$  は対数正規分布のひずみの程度を表すパラメーターであり、ひずみ係数は  $1/a$  に関して単調増加関数となっている。すなわち、 $1/a$  の値の大きいほど正のひずみが増加する分布性状を示すことになる。

表-6から中央値は年最大時間雨量より、年最大日雨量の方が各観測所間の差が大きいこと、及び分布のひずみ係数は年最大時間雨量より、年最大日雨量の方が大きくなることが指摘できる。また浜田測候所の  $x_0, b, a$  はいずれも松江測候所の値より小さく評価されている。

次いで、(1)式により主な  $T$  に対する確率雨量を算定すると表-7のようになる。なお、昭和63年の資料を除外してデータの棄却検定した結果、今次の1時間雨量、日雨量とも棄却水準5%に対して棄却されなかった。そこで昭和63年の資料を含めて生起確率推定曲線を求めた結果、図-4のようになった。なお、図中には観測値がハーゼン・プロットしてあり、また昭和58年豪雨、及び今次の豪雨時のデータが別記号で明示されている。浜田ダム管理所の年最大1時間雨量についてはやや適合度が劣る傾向にあるが、他のプロット値はほぼ生起確率推定曲線上にプロットされている。

Case 2 は観測開始年から1年ずつスライドさせながら、一定の標本の大きさ  $N$  の標本抽出を行い、合計  $N_k$  ( $=N_s - N + 1, N_s$ : 全資料数) 組の標本を作成し、各標本について、対数正規分布の母数推定を行うものである。この場合、標本の大きさを  $N$  として、 $N = 30, 40, 50, 60$  の4種類の検討を行った。図-5 (a) ~ (c) に浜田測候所の年最大日雨量の資料を対象に  $N_k$  組の標本からそれぞれ算定される  $x_0, b, 1/a$  の平均値と標本の大きさ  $N$  との関係を示す。なお、図中には各推定母数の平均値±標準偏差、及び最大、最小値も併示してある。各推定母数の平均値は標本の大きさ  $N$  を30~60に増加させても大きな変化はなく、ほぼ一定している。しかし、

表-5 標本抽出の方法

Case	標本の大きさ
1	観測期間の全データ数 $N_s$
2	標本の大きさ $N$ を一定 ( $N < N_s$ )
3	標本の大きさ $N$ を漸次増加 ( $N \leq N_s$ )
4	標本抽出の開始年を限定

表-6 定数  $x_0, b, 1/a$  の値

$T$	浜田測候所			浜田ダム管理所		松江気象台	
	10分雨量	時間雨量	日雨量	時間雨量	日雨量	時間雨量	日雨量
$x_0$	13.28	33.41	98.99	34.32	122.33	35.82	102.42
$b$	4.05	-6.62	-38.26	-1.23	-45.55	1.97	-19.10
$1/a$	0.1500	0.3070	0.4299	0.2869	0.5031	0.2056	0.2994

表-7 主な  $T$  に対する生起確率1雨量 (単位: mm)

$T$	浜田測候所			浜田ダム管理所		松江気象台	
	10分雨量	時間雨量	日雨量	時間雨量	日雨量	時間雨量	日雨量
2	13.3	33.4	99.0	34.3	122.3	35.8	102.4
5	17.2	47.4	147.7	50.3	198.5	48.1	144.7
10	19.6	57.5	187.2	61.4	264.9	56.1	174.7
50	24.6	81.4	293.9	87.6	458.3	73.2	245.8
100	26.5	92.3	347.7	99.3	561.7	80.4	278.1
200	28.5	103.7	406.8	111.5	678.8	87.5	311.6
300	29.6	110.6	443.9	118.8	754.0	91.8	331.8

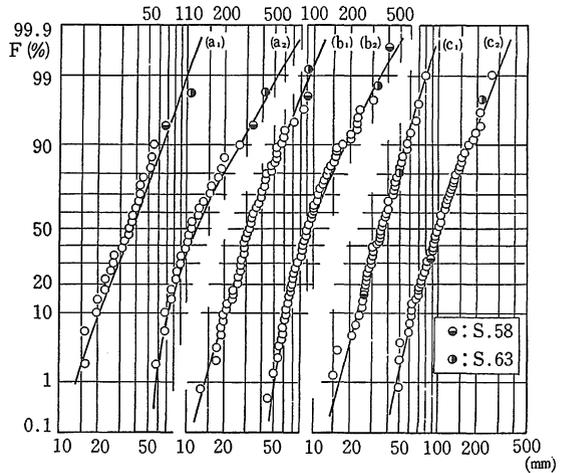


図-4 年最大雨量の確率分布

- (a<sub>1</sub>) 浜田ダムの1時間雨量
- (a<sub>2</sub>) 浜田ダムの日雨量
- (b<sub>1</sub>) 浜田測候所の1時間雨量
- (b<sub>2</sub>) 浜田測候所の日雨量
- (c<sub>1</sub>) 松江測候所の1時間雨量
- (c<sub>2</sub>) 松江測候所の日雨量

標準偏差は  $N$  の増加にともない、次第に減少傾向にあり、かつ  $N = 40$  程度を境にしてこの減少傾向が変化している。すなわち、 $N = 30$  では標本の統計的変動性

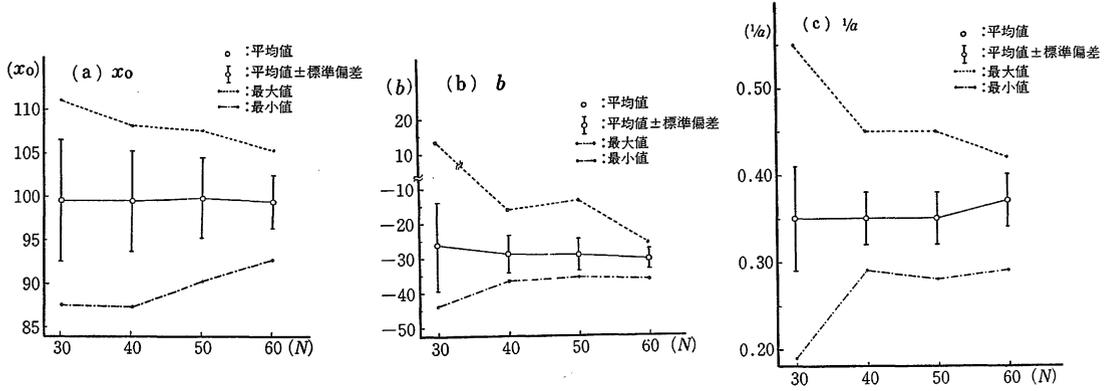


図-5 定数  $x_0$ ,  $b$ ,  $1/a$  の値 (浜田測候所の年最大日雨量の例)

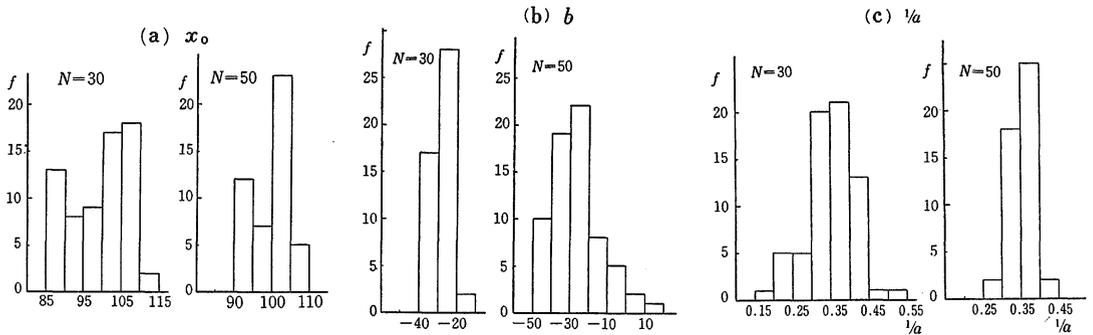


図-6 定数  $x_0$ ,  $b$ ,  $1/a$  のヒストグラム (浜田測候所における年最大日雨量の例)

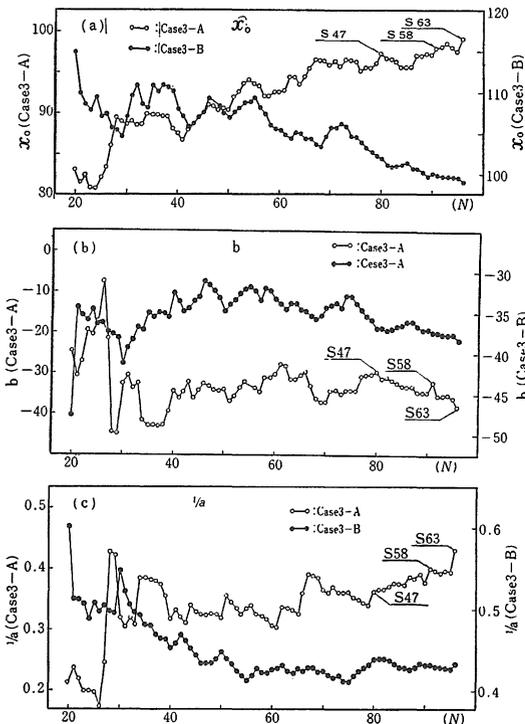


図-7 定数  $x_0$ ,  $b$ ,  $1/a$  の変化 (浜田測候所, 年最大日雨量)

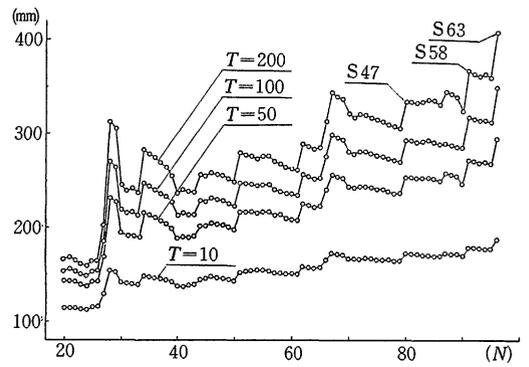


図-8 確率雨量推定値の変化 (浜田測候所, 年最大日雨量, Case3-A)

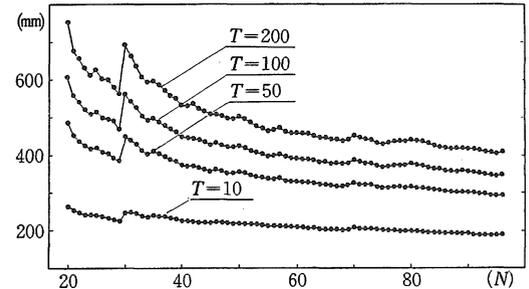


図-9 確率雨量推定値の変化 (浜田測候所, 年最大日雨量, Case3-B)

が大きく、 $N = 40 \sim 50$ になると変動は小さくなり安定する傾向にあるといえる。図-6 (a) ~ (c) は  $N = 30, 50$  についての  $x_0, b, 1/a$  の変動性をヒストグラムで示したものである。図-5 (a) ~ (c) で  $N = 40$  以上となると標本の大きさによる変動性は小さくなることを指摘したものの、図-6 (a) ~ (c) の分布をみる限り、 $N = 50$  程度であっても、推定母数の変動性は無視できないように思われる。したがって、 $T$  年確率雨量の推定値も含めて検討する必要がある。

Case 3 は観測開始年から観測年順に標本の大きさ  $N$

表-8 統計年数による定数、及び生起確率雨量推定値 (mm) の変化

No.	データ数	$x_0$	$b$	$1/a$	リターンピリオド (T, 年)			
					T=10	T=50	T=100	T=200
1	30	88.3	-32.3	0.3178	141	195	219	245
2	79	95.9	-29.3	0.3384	164	236	269	305
3	80	97.3	-31.2	0.3623	172	253	292	334
4	90	96.4	-32.1	0.3602	168	247	284	323
5	91	97.7	-35.8	0.3997	178	271	317	367
6	96	99.0	-38.3	0.4299	187	294	348	407

※No. 1...1893~1922, No. 2...1893~1971, No. 3...1893~1972  
No. 4...1893~1982, No. 5...1893~1983, No. 6...1893~1988

表-9 Case 4-A, Case 4-B による確率雨量推定値

(a) 浜田測候所

(単位mm)

種類	期間	統計年数 (N, 年)	リターンピリオド (T, 年)						
			2	5	10	50	100	200	
戦後 (S21~)	10分雨量	S21 ~ 63	N = 43	13.7	17.7	20.0	24.6	26.3	28.0
	1時間雨量	S21 ~ 46	= 26	35.9	48.6	57.2	76.6	85.0	93.6
		~ 47	= 27	36.0	48.5	56.8	75.4	83.5	91.6
		~ 57	= 37	36.9	49.7	58.6	78.6	87.4	96.4
		~ 58	= 38	37.8	52.8	63.8	90.8	103.3	116.5
		~ 62	= 42	36.1	50.8	61.6	87.9	100.1	112.9
~ 63	= 43	36.9	53.5	66.3	99.0	114.9	131.9		
日雨量	S21 ~ 46	= 26	101.0	147.5	181.0	261.8	298.9	337.7	
	~ 47	= 27	105.2	159.9	201.2	305.1	354.5	407.2	
	~ 57	= 37	100.6	150.4	188.9	288.2	336.6	388.6	
	~ 58	= 38	103.8	161.0	207.0	330.7	392.8	460.8	
	~ 62	= 42	102.9	157.1	200.4	315.7	373.2	435.9	
~ 63	= 43	106.2	168.8	221.0	366.2	441.1	524.4		
日界変更 (S39~)	10分雨量	S39 ~ 57	= 19	13.2	16.3	18.1	21.3	22.5	23.7
	1時間雨量	~ 58	= 20	13.5	16.8	18.6	22.0	23.2	24.4
		~ 62	= 24	12.9	16.3	18.3	22.2	23.8	25.3
		~ 63	= 25	13.2	16.9	19.1	23.6	25.4	27.2
		S39 ~ 57	= 19	37.5	49.4	57.7	77.2	85.9	94.9
	~ 58	= 20	39.2	55.7	69.0	105.0	123.2	143.0	
~ 62	= 24	36.0	51.8	64.1	95.9	111.5	128.3		
~ 63	= 25	37.3	55.4	69.8	108.2	127.3	148.1		
日雨量	S39 ~ 57	= 19	96.7	143.8	180.2	274.0	319.6	368.6	
	~ 58	= 20	102.9	167.4	222.9	382.6	467.1	562.4	
	~ 62	= 24	101.4	160.0	208.7	346.7	418.4	498.5	
	~ 63	= 25	107.1	177.9	240.0	420.5	517.4	627.2	

(b) 松江地方気象台

(単位mm)

種類	期間	統計年数 (N, 年)	リターンピリオド (T, 年)						
			2	5	10	50	100	200	
戦後 (S21~)	1時間雨量	S21 ~ 46	26	35.7	47.0	53.7	67.4	72.8	78.1
	1時間雨量	~ 47	27	35.9	46.9	53.4	66.6	71.8	76.8
		~ 57	37	34.8	45.3	51.6	64.0	68.9	73.7
		~ 58	38	34.7	45.1	51.3	63.8	68.7	73.4
		~ 62	42	34.5	45.2	51.7	65.3	70.8	76.1
		~ 63	43	34.2	44.9	51.5	65.4	71.0	76.5
日雨量	S 21 ~ 46	26	102.1	140.4	167.7	232.5	261.9	292.5	
	~ 47	27	103.6	141.9	168.5	230.3	257.9	286.3	
	~ 57	37	102.0	141.2	168.7	232.8	261.5	291.1	
	~ 58	38	101.3	140.2	167.6	232.0	260.9	290.9	
	~ 62	42	100.8	136.6	160.1	214.5	237.8	261.4	
~ 63	43	100.2	135.8	159.9	214.2	238.0	262.1		
日界変更 (S39~)	1時間雨量	S39 ~ 57	19	33.7	42.1	46.8	55.6	58.9	62.0
	1時間雨量	~ 58	20	33.3	42.0	47.2	57.7	61.9	65.9
		~ 62	24	33.0	42.2	47.8	59.2	63.7	68.2
		~ 63	25	33.6	42.8	48.4	59.4	63.7	67.9
		S39 ~ 57	19	111.6	159.0	191.9	268.0	301.8	336.7
	~ 58	20	110.4	156.0	187.3	259.1	290.8	323.3	
~ 62	24	107.3	150.1	180.0	249.3	280.2	312.2		
~ 63	25	110.4	156.2	187.9	261.1	293.6	327.1		

を漸次1づつ増加させていった場合についての検討である。この場合、最新の観測年から観測年を遡って標本の大きさ  $N$  を漸次1づつ増加させていく場合も併せて検討した。前者を Case 3-A、後者を Case 3-B とする。

図-7 (a)~(c)は推定母数の変動性を標本の大きさ  $N$  との関係で整理したものである。図-7 (a)の  $x_0$  は Case 3-A では  $N = 30$  以降の増加傾向が継続しており、安定した値に達していない。Case 3-B ではその逆の傾向があらわれている。図-7 (b)の  $b$  についてもやはり変動があるものの、 $N = 40$  以上で収束する傾向が認められる。図-7 (c)の  $1/a$  の Case 3-A では  $N = 40 \sim 60$  ではほぼ安定した値が得られているものの、 $N > 60$  で増加傾向に転じている。Case 3-B では  $N > 45$  で安定している。また、これらの図から昭和58年7月豪雨、及び今次の豪雨記録が追加されたことによる影響が顕著に認められる。

図-8、9は統計年数の増加に伴う  $T$  年確率雨量推定値の推移を示したものである。図-8に示す Case 3-A の場合、 $N = 40$  以降で増加傾向が持続している。また、図-9に示す Case 3-B では、 $N = 40$  以降で逆に減少傾向となっている。また、図-8、9においても図-7で指摘した推定母数の変動が大きい年を境に  $T$  年確率雨量推定値の変化が大きくなっていることが指摘できる。

表-8は豪雨が記録された昭和47年、昭和58年、及び昭和63年を境にして、推定母数、及び  $T$  年確率雨量の推定値がどの程度変化するかを示したものである。すなわち、同表は資料年数による推定母数の変動性、及び  $T$  年確率雨量の推移を数値で示したものである。既往最大雨量を上回る豪雨記録が追加されることにより、同一の降雨量に対するリターンピリオドが変化することは極値統計上はなんら不思議ではない。すなわち、与えられた1組の極値資料は母集団からランダムに抽出された1つの標本であり、年とともに資料が蓄積されれば確率水文量や母数の推定値が変動するのは当然といえる。ただし、

表-10 生起確率年  $T$  の推定

観測所	種類	既往最大雨量	$T$	昭和63年7月豪雨	$T$
浜田 測候所	10分雨量	27.4mm (S.38.8.30)	137~140	22.5mm (S.63.7.15)	25
	時間雨量	91.0 (S.58.7.23)	92	90.0 (S.63.7.15)	86~87
	日雨量	331.5 (S.58.7.23)	82	394.5 (S.63.7.15)	176
浜田ダム 管理所	時間雨量	67.0mm (S.58.7.23)	14	107.0mm (S.63.7.15)	156
	日雨量	337.0 (S.58.7.23)	19~20	415.0 (S.63.7.15)	36~37

現時点で得られている資料に基づく母集団の推定が、将来のある時点までに追加された資料も含めたときの母集団の推定と大きく異なることが望ましい<sup>9)</sup>。こうした観点で表-8をみる限り、 $N = 80 \sim 90$  程度としてもなお、資料年数は十分と判断し難いと言える。石原の指摘のように生起確率をよりの確に表すような分布関数の検討が必要と思われる。

Case 3-B では  $N = 20$  でも既に昭和47年7月豪雨、昭和58年7月豪雨、及び今次の豪雨記録を含むため、 $N$  の増加にともなう推定母数の変動は比較的緩慢な傾向となっている。

Case 4は資料の等質性を考慮し、資料期間を限定した検討例に相当する。ここでは第二次世界大戦後の昭和21年(1946年)以降(Case 4-A)、及び日界が午前0時となった昭和39年(1964年)以降(Case 4-B)の期間に統計年を限定した場合の2種類について検討した。表-9(a)、(b)に浜田測候所、及び松江気象台についての結果を示す。浜田測候所では、今次の豪雨により、年最大日雨量については既往最大値が更新され、年最大1時間雨量も極値第2位であったことから、今次の記録が追加されたことにより、 $T$  年確率雨量推定値が大きく変化している。また松江気象台については今次の年最大日雨量が極値第2位であったが、Case 4-A では今次の記録が追加されたことによる  $T$  年確率雨量推定値の変動は小さいのに対し、Case 4-B では変動が大きいことが指摘できる。浜田測候所、及び松江気象台の Case 4-B については現時点では資料数が40未満であることから、今後資料の蓄積にともない、これらの推定値はかたり修正されることが予想される。

#### 4. 昭和63年7月豪雨規模に対応するリターンピリオド

資料の等質性に関して問題は残るが、上述の Case 1 で得られた  $T$  年確率雨量推定式を用い、昭和62年以前の既往年最大雨量、及び今次の豪雨規模に対応するリターンピリオド  $T$  を算定すると、表-10のようになる。すなわち、今次の豪雨時に浜田測候所で記録された最大日雨量 394.5 mm は  $T = 176$ 、最大1時間雨量 90.0 mm は  $T = 86 \sim 87$  の確率雨量に相当する降雨規模であったと推定されている。また、浜田ダム管理所で記録された最大日雨量 415.0 mm は  $T = 36 \sim 37$ 、最大1時間雨量 107.0 mm は  $T = 156$  の確率雨量に相当する降雨規模であったと推定されている。しかし、前述のように母数の推定値、及び確率水文量は資料の統計年数により変動することが明らかになったので、特に統計年数が40年以下である浜田ダム管理所の記録による推定値

表-11 P の推定値

観測所	種類	N	既往最大雨量	P (%)	昭和63年7月豪雨	P (%)
浜田測候所	10分間雨量	5	27.4mm (T=137)	96.4	22.5mm (T=25)	81.5
		10		92.9		66.5
		30		80.3		29.4
		50		69.3		13.0
		100		48.1		1.7
	時間雨量	5	91.0mm (T=92)	94.7	90.0mm (T=86)	94.3
		10		89.6		89.0
		30		72.0		70.4
		50		57.9		55.7
100		33.5		31.0		
日雨量	5	331.5mm (T=82)	94.0	394.5mm (T=176)	97.2	
	10		88.5		94.5	
	30		69.2		84.3	
	50		54.1		75.2	
	100		29.3		56.6	
浜田ダム管理所	時間雨量	5	67.0mm (T=14)	69.0	107.0mm (T=156)	96.8
		10		47.7		93.8
		30		10.8		82.5
		50		2.5		72.5
		100		0.1		52.6
	日雨量	5	337.0mm (T=19)	76.3	415.0mm (T=36)	86.9
		10		58.2		75.4
		30		19.8		43.0
		50		6.7		24.4
		100		0.4		6.0

は今後検討を要すると考えられる。

ところで、 $T$  年確率値以上の値が  $N$  年間に一度も生起しない確率  $P$ 、及び少なくとも1度は生起する確率  $W$  は次式で与えられる。

$$P = (1 - 1/T)^N, W = 1 - P \quad \dots\dots(5)$$

そこで、表-10に示す  $T$  の値を上式に代入することにより、確率  $P$  を算定すると表-11のようになる。例えば、昭和58年7月豪雨時の雨量規模に相当する 331.5 mm 以上の日雨量が今後10年間に一度も生起しない確率は88.5%、30年間では69.2%と算定されている。また今次の豪雨時の雨量規模に相当する 394.5 mm 以上の日雨量が今後10年間に一度も生起しない確率は94.5%、30年間では84.3%と算定されている。

### V. 確率降雨強度式

浜田測候所の記録に基づいて、確率降雨強度曲線を算定してみる。降雨強度式の形式としては、久野型、及び3定数型の2形式とする。

#### 1. 久野型降雨強度式

上述のように、岩井・角屋法により、確率10分雨量、及び1時間雨量が推定されたので、石黒の特性係数法を適用して  $T$  年確率降雨強度  $i_T$  を算定した結果、次式を得た。

$$\left. \begin{aligned} T = 5; i_T &= 402 / (\sqrt{t} + 0.7) \\ T = 10; i_T &= 516 / (\sqrt{t} + 1.2) \\ T = 50; i_T &= 832 / (\sqrt{t} + 2.5) \\ T = 100; i_T &= 1009 / (\sqrt{t} + 3.2) \end{aligned} \right\} \dots\dots(6)$$

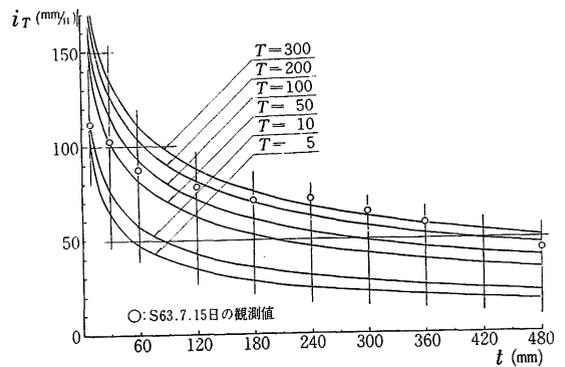


図-10 久野型確率降雨強度曲線 (浜田測候所)

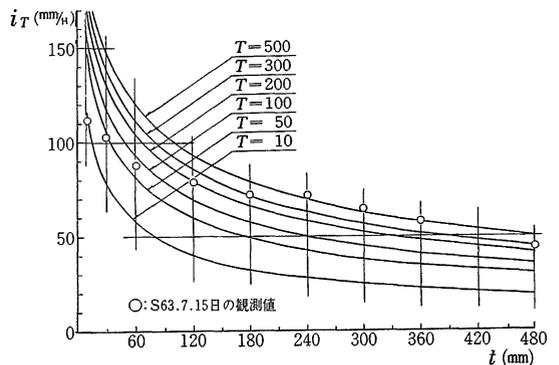


図-11 3定数型確率降雨強度曲線 (浜田測候所)

$$\left. \begin{aligned} T = 200; i_T &= 1208/(\sqrt{t}+3.9) \\ T = 300; i_T &= 1344/(\sqrt{t}+4.4) \end{aligned} \right\}$$

これらの関係は図-10のようになり、以下の特性が指摘できる。

今次の豪雨の10分最大降雨強度は 111 mm/h で、10年確率降雨強度 118 mm/h より 7 mm/h 小さい降雨強度であった。また降雨継続時間  $t = 30$  分になると、今次の豪雨規模は  $T = 50$  の確率降雨強度曲線を上回り、ついで  $t = 120, 180$  分ではそれぞれ  $T = 100, 200$  の確率降雨強度曲線も上回り、さらに  $t = 240 \sim 360$  分ではほぼ  $T = 300$  の生起確率の降雨規模の豪雨が継続したといえる。なお、前述のように、浜田測候所で7月15日に記録された日雨量 394.5 mm はほぼ  $T = 176$  の生起確率の降雨規模の豪雨であったことが算定された。しかし、同日に記録された12時間最大雨量は 391.0 mm (午前1時～午後1時) であるから、日雨量の99%が12時間雨量で形成された記録となっている。したがって、12時間最大雨量 391.0 mm に対するリターンピリオドは日雨量 394.5 mm に対して算定される  $T = 176$  よりさらに大きな値になるものと推察される。

### 2. 3定数型降雨強度式

前述の久野型の確率降雨強度曲線の適用範囲は通常2時間程度とされているので  $t > 120$  分の推定値に対しては問題は残る。そこで、降雨継続時間 8～10時間程度まで適用しうる3定数型降雨強度式の適用を試みる。

3定数型降雨強度式は次式で与えられる。

$$i_T = \alpha / (t^\beta + \gamma) \quad \dots\dots(7)$$

ここに、 $i_T$ :  $T$  年確率降雨強度 (mm/h),  $t$ : 降雨継続時間 (min),  $\alpha, \beta, \gamma$ : 定数である。

$t = 10, 60, 360$  分の確率雨量を算定した後、 $T$  年確率雨量降雨強度式として次式を得た。

$$\left. \begin{aligned} T = 10; i_T &= 1001/(t^{0.629}+4.3) \\ T = 50; i_T &= 1449/(t^{0.608}+5.8) \\ T = 100; i_T &= 1755/(t^{0.608}+7.0) \\ T = 200; i_T &= 2128/(t^{0.610}+8.4) \\ T = 300; i_T &= 2426/(t^{0.615}+9.5) \\ T = 500; i_T &= 2899/(t^{0.623}+11.4) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots(8)$$

これらの関係を図-11に示す。今次の豪雨の10分最大降雨強度 111mm/h は、10年確率降雨強度 117 mm/h より 6 mm/h 小さい降雨強度であった。また降雨継続時間  $t = 30, 120, 180$  分になると、今次の豪雨規模はそれぞれ  $T = 50, 200, 300$  の確率降雨強度曲線に近似し、ついで  $t = 240 \sim 360$  分では  $T = 500$  の確率降雨強度曲線をも上回っている。さらに  $t = 480$  分でもほぼ  $T =$

300 の生起確率の降雨規模の豪雨が継続したことを意味している。 $t > 120$  分については3定数型降雨強度式による方が久野型の値よりも妥当な推定値が得られていることを勘案すると、今次の2～6時間最大降雨量は確率評価の上においても未曾有の豪雨規模であったと判断される。むろん、前述 IV. に示した確率雨量の評価手法による検討が正攻法といえるが、2～10時間最大降雨量についてはこのように確率降雨強度曲線を用いる  $T$  年確率雨量の推定が簡便である。ただし、農地排水計画、あるいは洪水予知の問題に応用する場合には、こうした降雨継続時間と降雨強度とのいわゆる  $DD$  関係の他に、洪水到達時間内の降雨強度ないし有効降雨強度を併せて考慮しなければならない。

## VI. あとがき

本報告では今次の豪雨時の10分、1時間、日最大雨量の生起確率をリターンピリオドとの関連で、また10分～8時間の降雨継続時間に対する最大雨量の特性を確率降雨強度曲線との関連で検討し、その特性を明らかにした。確率分布式として3母数対数正規分布を適用し、ここでは今次の豪雨資料を新たに追加して得られて結果を中心にまとめたが、分布式の適合性、及び推定母数、確率雨量推定値の変動性については十分な検討が行なわれていない。これらについては、今後なお的確な評価規準の設定を行った上で、一層の検討が必要と思われる。

なお、貴重な雨量資料の収集に際して、松江地方气象台、浜田測候所、島根県土木部河川課、農林水産部耕地課、浜田土木建築事務所、浜田農林事務所、浜田市など行政官公庁の多くの方々にご世話になったことを記し、深謝の意を表する次第である。

## 参 考 文 献

1. 松江地方气象台：災害時自然現象報告書：5-7, 1988
2. 日本気象協会松江・鳥取支部：山陰のくらしと気象の暦：68-71, 1988.
3. 石原安雄：水利科学, 178(31-5)：1-18, 1987.
4. 江頭剛治・室田明・米谷恒春・木下武雄：土木論集 369：165-174, 1986.
5. 土木学会編：土木工学ハンドブック上：501-502, 1974.
6. 高瀬信忠・宇治橋康行・小川正宏：土木論集, 393：225-228, 1988.
7. 桑原英夫：農土会誌, 39(2,3), 77-83, 146-159, 1971.
8. 寒川典昭・荒木正夫・渡辺輝彦：土木論集, 375：133-141, 1986.
9. 宝馨・高棹琢馬：土木論集, 393：151-160, 1988.
10. 田中礼次郎・角屋 睦：農土論集, 83：1-8, 1979.