

UDC 627.511  
551.482.215.3:551.577.3(521.8)

## 降雨量による洪水予報の一方法

正 員 伊 藤 令 二\*

ON THE METHOD OF FLOOD PREDICTION  
USING THE RAINFALL DATA.

(Trans. of JSCE Sept. 1952)

Reiji Itō, C.E. Member.

**Synopsis** The author has had an idea of drawing graphically the relations among the flood discharge, the accumulated rainfall and the rainfall duration periods and that the total rainfall over the whole basin of the Otagawa River can be represented by the total rainfall in Hiroshima City confirmed by the author as the result of his inductive statistical studies. In this paper, the possibilities of predicting flood discharge of the Otagawa River by investigating the rainfall data in Hiroshima City are described.

**要 旨** 河川の洪水量と流域の累加雨量及び降雨継続時間との関係が図化し得る事に着目し、太田川(広島)を例にとり、広島の本雨量が流域の本雨量を代表し得る推計学的検定のもとに、広島雨量による太田川の洪水予報の可能を示したものである。

## 1. 緒 言

河川の洪水予報について、アメリカ、フランス等においては古くより水位による予報が研究されているが、諸外国の例のごとく、降雨後数日あるいは十数日後に下流に洪水のピークが現われるような大河川においては、この水位による洪水予報は比較的正確で利用価値がある。しかるに我国の河川のごとく、急流にして流路の延長短かく、降雨後数時間にして下流に洪水ピークをもたらすような河川においては、水位による予報はほとんど不可能である。そこで降雨量による洪水予報あるいは気象状況よりの雨量予報に基づく洪水予報が従来研究されているが、これらの方法はなかなか正確を期し難い。雨の降り方は各河川によりそれぞれ異なるものであり、また一河川においても常に一定のものではない。

洪水予報にいわゆる unit-hydrograph 的な考え方を指標とする方法が研究されているが、日本河川では一般に次のごとき困難さがある。すなわち洪水時の出水のピーク流量の遅れ  $T_g$  (降雨重心時刻よりピーク流量までの時間の遅れ) は洪水現象解析上基本的な数値であるが、 $T_g$  は一般に考えられているように、流域形状を代表する数値の函数とのみは考えられず、日本河川ではしばしば経験するように、 $T_g$  を決定する要素は流域形状の他に、降雨状況(累加雨量  $R$  と時間強度  $r_t$ ) が大きい因子となっている。

特に日本河川のごとく、流域面積や流路延長が小さいと、降雨状況の因子が大きく現われてくる。unit-graph の形状(ベースの時間長  $T$ ) は  $T_g$  の函数であるが、 $T_g$  が  $R$  及び  $r_t$  の函数なる以上、時間的変化をすることで、unit-graph は洪水期間中に時間的変化をする。従つて一洪水期間中の標準の unit-graph を既往の記録から求めたり、推定したりする事は非常な困難性と複雑性があり、特に流域が小さいほど洪水予報には大きな誤差を伴うおそれがある。

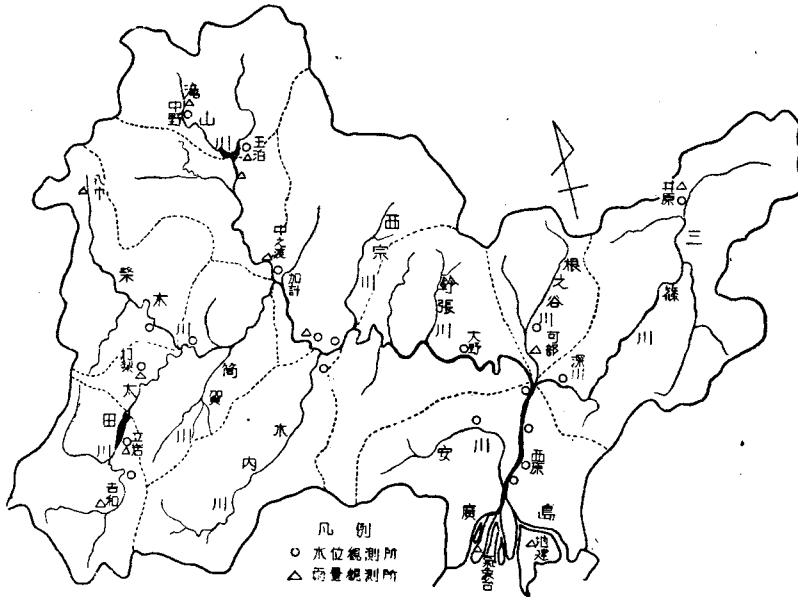
そこで本研究においては、累加雨量( $R$ )と降雨継続時間( $T$ )及び洪水量( $Q$ )の関係が図化し得ることに着目し、ある地点(太田川においては広島)の本雨量が流域の本雨量を代表し得る推計学的検定のもとに、その地点(広島)の雨量による洪水予報の可能を示したものである。本文は太田川を例にとつたが、更に他の河川についてもこれを試みたいと考えている。

## 2. 太田川流域における豪雨の特性と出水

(1) 太田川の概況 太田川流域は広島県の西部1市6郡に跨つており、流域面積は 1 657 km<sup>2</sup> (山地 1 365

km<sup>2</sup>平地 292 km<sup>2</sup>) である。源を県の西方山口、島根両県境より発して柴木、滝山等の支川を合わせて山間を東南に流れ、可部町附近で三篠川を合流し、安芸平野を流れて広島市に入り、7本の派川に分れて広島湾に注ぐ。その流路延長は 114 km である(図-1)。

図-1 太田川平面図



林野の面積は全流域の 80% 余で、上流部は林相がよいが中流より下流に至るに従つて花崗岩系の風化土と濫伐のために林相はあまりよくない。なお本川は上流部は大体において山間部を流下し、河巾もほぼ一定し、流路も比較的整然としているが、中下流部は河巾も一定せず乱流甚だしく、河床も未だ安定しておらず、洪水の度ごとに土砂流出甚だしく、年平均 30~40 万 m<sup>3</sup> が下流の派川及び広島湾に流入堆積している。

(2) 太田川洪水の統計 太田川の洪水について、統計に表われた洪水発生年月日を調査し、西歴 1600 年以降 53 回の洪水の旬別頻度分布図を作ると図-2(1)のごとくなる。また別に広島雨量 100 mm 以上の場合の旬別頻度分布図を作ると図-2(2)のごとくなる。

豪雨の原因を調べると、6月から7月上旬に起るものは梅雨によるもので、7月中旬から10月上旬に起るものは台風によるものである。従つて太田川の洪水及び洪水予報の調査研究に当つては、梅雨と台風による豪雨を対象とすればよい事がわかる。雷雨は局部的に烈しい降雨をもたらすが、継続時間が短いため本格的洪水を惹起しない。しかし小支川は大洪水となることがある。昭和元年より昭和25年迄の間における比較的大洪水の旬別回数を示せば表-1の通りである。

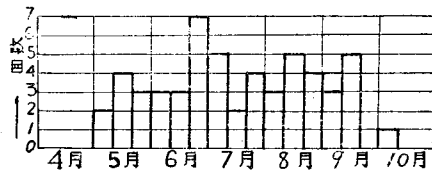
(3) 豪雨の種類 洪水予報の見地から豪雨をその原

表-1

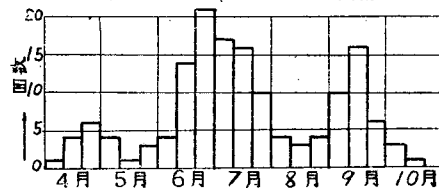
	6 月			7 月			8 月			9 月			合計
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	
梅雨洪水		1	5	2									8
台風洪水					1	1	1			5			8

図-2 太田川洪水及び豪雨の頻度分布

(1) 太田川洪水の旬別頻度分布



(2) 広島雨量100mm以上旬別頻度分布



因, 内容等により分類できれば便利である。特に降雨開始前の雨量予報による洪水予報に都合がよい。太田川における大, 中洪水を生ぜしめる豪雨は, 台風及び梅雨によるものであることは前項で述べた。更に台風による豪雨を分類するのに, その方法として太田川流域における総雨量の等雨量分布がほぼ等しいもののグループを作ることとする。このような分類は大体台風の進路により分類することになる。すなわち出水に最も関係のある総雨量, 流域の降雨量分布, 時間的強度の分布は台風の進路及び中心示度に高度の相関があり, 洪水予報に都合がよい。

上述の見地から台風による豪雨を次の A, B, C, D の 4 つの型に分類する。梅雨による豪雨も種々の型があるが, 大洪水を起すものは同じ型に属するので, ここでは一群として取扱うことにする。

(a) 台風 A 型 (最多雨地域を柴木川水源地附近に有し, 最小雨地域を三篠川中流部に有するもの): この型は台風の中心が広島市の東方を北東に進んだ時に大洪水をもたらすもので, 中心示度は大体 960 mb (720 mm) 以下である。北太平洋高気圧 ( $T_m$ ) よりもシベリヤ高気圧 ( $P_0$ ) の方が強く,  $P_0$  は日本海に張出し, 満洲の低気圧は北海道北部を通過し, 気圧の谷は南北に延びる。従つて台風はこの谷にそつていずれも N 24~25° 附近で転向し, 日向灘から大阪湾方面に進行している。台風の中心位置と広島雨量との関係は, 中心が N 22~24° にある時広島はその不連続線の影響で前期雨量があり, これは 15 時間位続き, しばらく小雨または降り止んで, 中心が広島に近づくに従つて後期雨量がある。

(b) 台風 B 型 (最多雨地域を加計附近に有し, 三篠川下流に最小雨地域を有するもの): A 型に類似した型で, 中心が広島に近接してすぐ東方を NNE~NE に進行, 中心示度が 960 mb (720 mm) 以下の時は大洪水となる可能性が高い。気象配置は  $P_0$  が僅かに  $T_m$  より勢力が強く, 西方より著しい気圧の谷が東進している。台風は N 23~25° 附近で転向, 雨量も中心示度に比例する。中心が N 23~25°, 東経 130° 附近にある頃より広島は降雨に見舞われ, 前期雨量を形成する。この型は特に前期雨量が比較的多く, 洪水は 2 つのピークを持つ型となり, 最も大洪水を起しやすい型の台風である。

(c) 台風 C 型 (最多雨地域を広島市附近に有し, 本川上流滝山川上流に向うに従つて遞減するもの): この型は昭和 18 年 7 月の豪雨の型で, 洪水型豪雨としては例が少ない。C 型は台風の進路がほとんどまづすぐに北上して広島市附近を通過する。気象配置は A 型, B 型に似ているが,  $P_0$  と  $T_m$  の強さは同じ位である。台風の中心が広島に近接してピーク雨量をもたらす 3 日前位より降雨が始まり, その間降り続け, 最後に豪雨をもたらす。

(d) 台風 D 型 (本川上流吉和川もしくは水内川上流に最多雨地域を有し, 本川下流に最小雨地域を有するもの): この型は中心が広島市の西方を北上し, もしくは NE の方向に抜けるもので, 中心示度が低くかつ台風の進路が広島市に近い程, 大洪水を起す可能性がある。気象配置は東高西低で,  $P_0$  が弱く満洲北部の方向に現われ,  $T_m$  が本邦東部に張出している。台風はこの  $T_m$  に流されて大きくカーブを画いて N 28° 附近から転向している。降雨の状況は大洪水型 A, B, C 型に較べて降雨開始が遅れ, N 30°, E 130~132° 附近より始まる。降雨開始後 1.5~2 日で, 台風が広島市西方通過直後最も豪雨となる。A, B 型よりは大洪水の危険が少ない。

### 3. 降雨開始前の雨量予報に基づく水位予報

雨量の予報については広島地方気象台において, 地上解析による予報, 高層解析による予報, 地上天気図やプレミグラフ等を利用した類似法による方法等, 太田川について研究されている。現在における成績は, 降雨開始半日目の予想雨量で誤差は  $\pm 20\%$  以内である。そしてこのような降雨開始前の雨量予報は広島市の総雨量をもつて示されるので, 洪水水位, 洪水量の推定には, まづ広島市総雨量と加計 (中之渡) 量水標の水位との相関を求め, 更に加計水位と下流水位との相関式を利用して, 下流水位及び流量を想定することとする。これは未だ降雨が開始しない前で, 実際に洪水になるのはこの予報後, 台風の場合は少なくとも 1 日後, 梅雨の場合も少なくとも 12 時間後である。

広島市継続総雨量と加計水位との関係は, 標本数  $N=9$  のサンプルで, 広島市総雨量を  $x$  mm, 加計水位を  $y$  m (量水標の読み) とし, 相関係数  $r$  を求めると  $r=0.89$

$$\text{相関方程式は } y=0.019x+0.656 \dots \dots \dots (1)$$

$N=9$  で,  $r=0.89$  なる値は  $F$  検定を行うと 1% 以下の危険率で有意となる。

加計量水標水位に対する下流大野及び西原量水標水位の相関方程式は, 加計水位  $x$  m, 大野水位  $y$  m とする時標本数  $N=18$  で, 相関係数  $r=0.98$

$$\text{相関方程式 } y=1.673x-1.607 \dots \dots \dots (2)$$

次に, 加計水位  $x$  m, 西原水位  $y$  m とする時, 標本数  $N=12$  で, 相関係数  $r=0.80$

$$\text{相関方程式 } y=0.568x+1.642 \dots \dots \dots (3)$$

4. 降雨開始後における降雨量による洪水予報

(1) まえがき 台風による降雨の開始時刻は 2. (3)において述べたごとく, A, B, C の各型の台風が N 22~24° 附近にある時広島に雨が降り始め, D 型は N 29° 附近から降雨が開始している。梅雨の降雨開始については広島地方気象台越智技官の研究によれば次のことが示される。

(a) 石垣島の気圧が 1011 mb (758 mm) を超えると降り始め, 1012~1013 mb (759~760 mm) に達すると豪雨になる。(b) 石垣島の水張が 24 mm (露点 77.8°F) を超えると降り始め, 24.5~25 mm (78.3~78.8°F) に達すると豪雨になる。(c) 広島気圧が 1013 mb (760 mm) で水張が 17 mm (67.5°F) を超えると降り始め, 18 mm (69.1°F) を超えると豪雨になる。

この事実を北太平洋高気圧が本邦附近に拡がること及びフロントが東西に横たわっていること, 弱い低気圧が九州西方にあると云う豪雨型の気象配置を示す時に云えるというのである。

このように台風についても梅雨についても, 雨の降り始めの時刻は気象台で相当の信頼度で発表されるので, ここでは降雨開始後, 広島雨量の自記記録を刻々に累加の形で定まった用紙に写すことにより, 下流洪水量の予報を行う事を研究することとする。

(2) 流域代表雨量観測所の検討 洪水予報の立場から, 流域を代表し得る雨量観測所があれば便利である。そこで今これを検定する方法として, 各洪水時の総雨量の流域平均降雨量比率  $(r_s \cdot A_s)$  と, 各ブロック代表観測所の降雨量比率  $(r_i \cdot A_i)$  との比  $(x_i)$  をとつて考える時, この比の値が均一な程よいわけである。

ここに  $A_s$  : 広島雨量観測所の分担する流域面積を 1.0 とした場合の流域面積比率

$r_s$  : 広島累加雨量を 1.0 とした場合の雨量比率

$$x_i = \frac{\text{流域平均降雨量比率}(r_s \cdot A_s)}{\text{ブロック代表観測所の降雨量比率}(r_i \cdot A_i)}$$

これは分散の差の検定によつて判定し得るし, またその選ばれた観測所の代表性の精度は分散及び平均値に関する諸検定を利用し得る。

今, 広島雨量について検討するに, 広島については,

$$A_s = 1, r_s = 1$$

既往の豪雨 20 の統計について  $x_i$  を求め, 棄却限界法を行うと,

$x_i$	$x_i^2$
1.18	1.3924
1.19	1.4161
1.07	1.1449
0.98	0.9604
1.13	1.2769
0.95	0.9025
1.08	1.1664
0.97	0.9409
0.83	0.6889
1.02	1.0404
1.05	1.1025
0.85	0.7225
0.97	0.9409
1.02	1.0404
1.15	1.3225
0.98	0.9604
1.07	1.1449
1.28	1.6384
0.81	0.6561
計 21.19	23.0505

$$N = 20, \bar{x} = 1.0595, \bar{x}^2 = 1.1220$$

$$s^2 = \frac{\sum x_i^2}{N} - \bar{x}^2 = 1.1525 - 1.1220 = 0.0305$$

$$u^2 = \frac{s^2 N}{N-1} = \frac{0.0305 \times 20}{19} = 0.0321$$

$$x = \bar{x} \pm \sqrt{\frac{u^2 (N+1) F'}{N}} = 1.0595 \pm \sqrt{\frac{0.0321 \times 21 \times 4.38}{20}} = 1.0595 \pm 0.3847$$

$$\text{すなわち } 1.4442 > x > 0.6748$$

但し,  $F'$  の値は危険率において

$$n_1 = 1, n_2 = N - 1 = 19, F' = 4.38$$

従つて  $x_i$  のうち D 型の 1.61 なる値 (Kizia 台風) は, 危険率 5% で棄却されることになる。この事は D 型台風に対しては特別の取り扱いを必要とすることがわかる。

次に D 型の 1.61 の値を除いた他の 19 標本に対して, これらが母平均 = 1.0 の母集団に属するかどうかの検定を行う。

$$\sum x_i = 19.18, \sum x_i^2 = 20.4584, \bar{x} = 1.031, \bar{x}^2 = 1.06296$$

$$s^2 = \frac{\sum x_i^2}{N} - \bar{x}^2 = \frac{20.4584}{19} - 1.06296 = 0.01374$$

$$u^2 = \frac{s^2 N}{N-1} = \frac{0.01374 \times 19}{18} = 0.0145$$

$$n_1 = 1, n_2 = N - 1 = 18$$

5% の危険率において  $F' = 4.41$

$$F'_0 = \frac{N(\bar{x} - m)^2}{n_2} = \frac{19(1.031 - 1.00)^2}{18} = 1.25 < 4.41$$

従つて、第2種の過誤を犯すかも知れないので、完全に母平均 1.0 なる標本とは云えないが、實際上母平均 1.0 の標本とみなして差支えない。第2種の過誤とは、正しくないものを棄却していない過誤であるが、今の場合これは考えられないからである。

上記と同様の検定を加計雨量について行くと、棄却すべき標本のないことがわかる。このことは加計観測所は広島以上に流域を代表した観測所と云える。

同様に、可部、井原、中野、八幡及び吉和の各雨量観測所について検定を行うと、いずれも広島より劣ることがわかる。

(3) 広島雨量強度 広島雨量について既往の洪水時における時間と雨量強度との関係を統計的に求めると

$$\frac{r_t}{r_{24}} = \left( \frac{24}{t} \right)^n \dots\dots\dots(4)$$

の式において、係数  $n=0.5$  となる。

但し、 $r_t$ : 24 時間以内の任意の  $t$  時間の雨量強度 (mm)

$r_{24}$ : 24 時間の雨量強度 (mm)

(4) 式を書きかえると

$$r_t = r_{24} \left( \frac{24}{t} \right)^{0.5} = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{t} \right)^{0.5} \dots\dots\dots(5)$$

但し、 $R_{24}$ : 24 時間の雨量

(4) 累加係数 雨の降り方を出水と関係づけるには累加雨量曲線、すなわち mass curve で示すとよい。累加雨量曲線において、曲線上の任意の 2 点を結ぶ直線の tangent はその間の雨量強度を示す。

頻度分布がいわゆる正規型、あるいは変数置換によつて正規型になるようなものは、それを累加の形で表わした Duration curve にしても推計的統計が可能であるが、雨のごときその時間的分布が複雑に変化する mass curve に対しては、お互いに 2 つ以上のものを比較する場合それが困難である。そこで各 mass curve を代表させる数値として、次のごとき係数を求め、累加の状態を示すこととする。

図-3 累加雨量曲線

$$P_1 = \frac{R_1}{T_1}, P_2 = \frac{R_2}{T_2}, \frac{T_2}{T_1} = K_2$$

一般に  $P_t = \frac{R_t}{T_t}, K_t = \frac{T_t}{T_1}$  とすると

$$g_t = \frac{P_t}{P_1} = \frac{R_t}{T_t} \cdot \frac{T_1}{R_1} = \frac{R_t}{R_1} \cdot \frac{1}{K_t} \dots\dots\dots(6)$$

この  $g_t$  を累加係数とし、広島雨量の場合は  $T_1=6$  時間とする。 $T_1=6$  時間として 6 時間ごとに  $T$  を刻めば、よく整理されることが累加曲線より推定される。このことは  $T=6$  時間が前期(初期)雨量分布曲線の重心までの平均継続時間に近いこと、及び下流に洪水の最高ピークが出るのは 図-4 のごとく、原点より 12~24 時間の間が最も多く、また 30~36 時間に出るのにも大洪水があることに基因する。

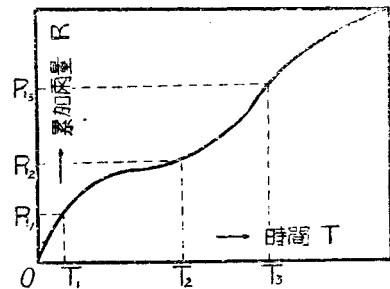


表-2 に過去の太田川洪水の場合における広島雨量の累加係数を示す。上欄は累加係数で、下欄は累加雨量である。

この表から次の事がらが云える。

(i) 継続時間として 12~36 時間をとり、 $g_{12}, g_{18}, g_{24}, g_{30}$  及び  $g_{36}$  を作ると、これらはいずれも初期における雨量強度に対する増減の割合を示し、その時における雨量強度の状態を表わすことができる。

(ii) この係数の値が  $t=18\sim36$  時間の間に 1.0 を超す場合は、D 型台風を除いては大洪水で 3 000 m<sup>3</sup>/sec 以上を記録している。

(iii) 台風 A 型は  $g_t$  が他に較べて最も大きく 2.0 に及ぶが、 $t=24$  時間までである。B 型は  $g_t$  の変動が大きく、このことは後期雨量が大きくなる公算が大で、大洪水を起すことが多い。C 型は  $g_t$  が大体一定で、同じ強度の雨が降り続くことを示す。D 型は  $t$  と共に  $g_t$  が小さくなり、かつ全般的に  $g_t$  の値が小さい。これは前期雨量が他に較べて大きく、後期雨量が比較的小さいためで、他の型と趣きを異にし別途に取扱う必要がある。梅雨はいずれの洪水の場合も相似の  $g_t$  を示しているが、1.0 を超える場合は大洪水になる。

(iv) 以上の傾向は洪水予報に当つて各豪雨型により  $P_6$  より  $P_{12}, P_{18}$  等を予想するのによい目安となり、

表一 広島雨量の累加係数

雨の型	年月日	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$
		$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$
A	昭9.9	1.0	0.765	0.537	0.495	0.562	0.622
	19~20	43.0	66.0	69.0	85.0	125.0	160.0
A	昭20.9	1.0	1.67	1.80	2.40		
	16~17	26.5	68.5	111.0	196.5		
A	大14.9	1.0	1.907	1.947	1.90		
	17~18	23.0	87.5	134.0	174.5		
B	昭18.9	1.0	1.335	1.600	1.407	1.452	1.52
	19~21	30.0	80.0	144.0	169.0	210.0	275.0
B	昭20.10	1.0	1.00	1.37	1.39	1.312	1.215
	7~12	20.2	40.4	84.2	111.9	132.2	147.2
C	昭18.7	1.0	1.145	1.10	0.98	1.016	1.016
	23~25	34.0	78.0	112.0	133.0	173.0	207.5
D	昭5.8	1.0	0.895	0.693	0.504		
	11~14	62.0	111.0	129.0	134.0		
D	大8.7	1.0	0.80	0.69	0.503		
	4~5	75.0	120.0	156.0	159.5		
空雨	昭3.6	1.0	1.15	1.35	1.09		
	23~26	37.0	85.0	150.0	161.5		
梅雨	昭16.6	1.0	0.92	0.79	0.75	0.696	
	26~29	62.5	115.0	148.0	188.0	248.5	
梅雨	昭10.6	1.0	0.785	0.72	0.85	1.036	0.903
	29~30	31.5	49.5	68.0	107.0	163.0	170.5
梅雨	昭13.6	1.0	0.80	0.853	0.66		
	12~14	37.5	60.0	96.0	99.0		

次に述べる雨量よりの洪水予報に合わせて利用することができる。

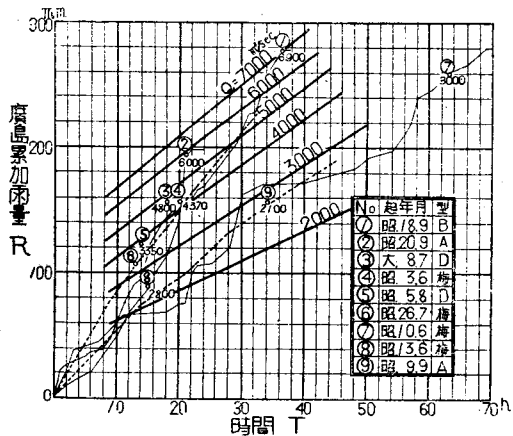
(5) 広島雨量による洪水予報

(a) 概 説：降雨量により洪水予報を行う場合、その雨量は全流域の雨量を最もよく代表し得るものがよいわけである。4.(2)において、太田川流域の雨量を代表し得る代表雨量観測所としての精度を検討したのであるが、その結果加計観測所が最も優れている事がわかったが、加計雨量観測所は現在自記雨量計の設備がないので、雨量と出水との相関が比較的によく、かつ自記雨量計の設備があり、地理的にも好都合である広島雨量を利用して洪水予報を試みることにした。

広島自記雨量計（広島地方気象台または建設省地方建設局）に刻々記録される累加雨量より、気象台による気象状況とにらみ合わせ、直接下流の洪水量と時刻を予想することを試みたのである。これは太田川上流水位より下流水位を予報する水位予報は、時間的に実際の水防活動に間に合わないで、この方法を調査研究の対象としたのである。

(b) 洪水予報図の作成（図-4）：広島雨量により洪水予報を行うために、過去の大洪水の記録より、広島総雨量と時間及び最大洪水量の関係を図-4を作成する。縦距に広島総雨量をとり、横距に時間をとつた累加曲線を作る。既往の雨量記録は下流洪水量 2000 m<sup>3</sup>/sec 以上で、水位記録のあるものを対象とした。

図-4



縦距に広島総雨量をとり、横距に時間をとつた累加曲線を作る。既往の雨量記録は下流洪水量 2000 m<sup>3</sup>/sec 以上で、水位記録のあるものを対象とした。

累加曲線の起点は、降雨開始後最初の6時間継続雨量が平均3 mm/hr 以上になる所を出発点とした。このことは既往の大洪水時の雨と出水の資料から1~2 mm/hr の強度の雨は出水に及ぼす影響が小さいが、前期6時間で20 mm/hr 以上の累加雨量があると、その出水に及ぼす影響が大きい事実よりきめた。記録のある既往の大洪水を全部記入すると図が煩雑になるので代表的の洪水記録3つを記入し、他は各洪水の累加雨量曲線において、下流西原に最大流量を生ぜしめた最終雨量(3 mm/hr)の時刻の位置に○印をつけ、かつ西原の最大洪水量を記入した。

次に流量の曲線を作成するために、降雨と出水との関係を表わす次の式を利用する。

$$Q = 0.2778 \frac{k}{\sqrt{T}} r_T \cdot A \dots \dots \dots (7)$$

本論においては西原地点の洪水量を対象とすることとし、従つて上式において

- Q：西原における最大流量(m<sup>3</sup>/sec)
- T：豪雨の集中時刻より、西原に最大流量ピークの到達するまでの時間
- r<sub>T</sub>：最大流量を生ぜしめた流域の豪雨の T 時間の時間雨量強度 (mm/hr)
- A：西原地点の流域面積=1480 km<sup>2</sup>
- k：常数

Q が  $\sqrt{T}$  に反比例することは経験的事実に基づくもので、普通流出係数 f として  $Q = f \cdot r_T \cdot A$  の式がよく用いられているが、今の場合  $f = 0.2778 \frac{k}{\sqrt{T}}$  で  $f = f(T)$  と考えたものである。

次に常数 k を決定するために、既往の洪水記録により (7) 式より逆算して k の値を求め、それらの平均値として  $k = 2.2$  ときめた。

さて流量の曲線を描くのに、初期の雨が微小にしてその後豪雨が続いた時の  $T$  は、既往の記録によると 2000  $m^3/sec$  程度の洪水に対しては  $T=9$  時間、7000  $m^3/sec$  程度の大洪水に対しては  $T=7.5$  時間程度である。その間の洪水に対しては  $T$  は大体これらに比例するものとして (7) 式より  $r_T$  を求めてみる。その結果は表-3のごとくなる。

$$r_T = \frac{Q\sqrt{T}}{0.2778kA} = \frac{Q\sqrt{T}}{0.2778 \times 2.2 \times 1480}$$

次に広島雨量強度について、先に述べたように (5) 式

$$r_t = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{t} \right)^{0.5}$$

の関係があることから、 $t=24$  時間を経た時に与えられた洪水量を生ずる累加雨量  $R_{24}$  を求めることができる。この際は前期雨量の関係から、既往の洪水記録によると  $T$  は  $Q=2000 m^3/sec$  程度の洪水に対しては 9 時間、 $Q=7000 m^3/sec$  程度の大洪水に対しては 6 時間である。この間の洪水に対しては  $Q \propto 1/\sqrt{T}$  として  $T$  を求め、(7) 式より  $r_T$  を求め、更に (5) 式より  $R_{24}$  を求めると表-4のごとくなる。

以上で求めた  $Q, R, T$  の関係を図にプロットするのに  $T=7.5 \sim 9$  時間のところは表-3の  $Q, R$  を記入し、 $T=24$  時間のところには表-4の  $Q, R$  を記入して、この間の  $Q$  を直線で結ぶ。  $T$  が 24 時間以上に対する  $Q, R, T$  の関係はこれらの直線を延長して利用する。

なお、図-4において  $R=50, 70, 100, 125, 150$  及び  $170 mm$  の各場合における時間  $T$  の平均値の信頼限界を 5% の危険率で求め、上限及び下限の点をおのおの連ね、更に  $R=250 mm$  附近まで外挿すると、図の点線のごとき境界ができる。

(c) 洪水予報図の使用法：降雨開始前に行われる雨量予報より、総雨量がいかにか累加されて行くかを刻々図に記入し、どの豪雨型に属するかを台風の方角、気圧の配置により判断しつつ  $P_0$  より  $P_{12}, P_{18}$  と予想をたてて行く。図を見てわかるように、信頼限界線の下限の左側は大洪水危険区域で、信頼限界線内より下限を横ぎる場合は特に大洪水で、また最初から下限の外に出るものも大洪水を起す。上限の外に出るものは洪水の危険なく、また内部より上限の外に出で、また内部に入るような雨も危険はない。従つて

下限より左側：大洪水区域

上下限の間：洪水警戒区域

上限より右側：小洪水区域

と考えられる。

広島に雨が降り始め  $P_0=R_0/6$  が決定されると、前の計算に従つて図より洪水量を大体推定する事ができる。なお刻々の広島雨量を捉えて  $q_t$  を計算し、その値に相当する  $R$  を図-4にプロットすれば、図において洪水量を推定することができる。

(d) 修正使用法：図-4に既往大洪水の累加雨量を記入してみると、この方法による推定洪水量と実測洪水量と合わないものが 11 例中 3 例ある。表-5にこれを示す。

この事実は、広島総雨量を洪水予報の基準としたことに無理な場合がある事を示すものである。広島が山地に較べて異常に雨量の多い場合、あるいは異常に少ない場合には総雨量において広島雨量が流域全体の雨量を代表し得ないことは、既に 4.(2) のところで述べた通りである。

そこで、このような異常降雨の場合における修正方法を考える。この場合は広島雨量のみを基準とすることに無理があるから、上流において自記雨量計を備え、信頼し得る雨量観測所のある立岩及び王泊の雨量を考える。

表-3

Q(m <sup>3</sup> /sec)	T(時間)	$\sqrt{T}$	$r_T$	$RT=T \cdot r_T$
2000	9.0	3.00	6.62	59.5
3000	8.7	2.94	9.70	84.0
4000	8.4	2.89	12.80	107.0
5000	8.1	2.84	15.60	126.0
6000	7.8	2.79	18.70	146.0
7000	7.5	2.74	21.20	159.0

表-4

Q(m <sup>3</sup> /sec)	T(時間)	$\sqrt{T}$	$r_T$	$\left(\frac{24}{T}\right)^{0.5}$	$R_{24}$
2000	9.0	3.00	6.6	1.63	97
3000	8.4	2.89	9.6	1.69	136
4000	7.7	2.78	12.3	1.77	166
5000	7.1	2.67	14.7	1.84	191
6000	6.5	2.56	16.9	1.92	211
7000	6.0	2.45	18.9	2.00	227

表-5

洪水年月	実測洪水量	図より求めた流量
昭 18.9	$m^3/sec$ 6900	$m^3/sec$ 6950
" 20.9	5900	5800
" 18.7	5090	不
" 25.9	4800	不
大 8.7	4370	4300
" 14.9	3650	4400
昭 5.8	3350	3800
" 10.6	3000	3000
" 13.6	2800	2500
" 9.9	2100	2800
" 16.6	2300	不

立岩雨量  $R_{Ta}$ , 王泊雨量  $R_0$ , 広島雨量  $R_H$  とし, 山地部の雨量の平均と, 平地部広島雨量との更に平均雨量

$$K = \frac{1}{2} \left\{ \frac{R_{Ta} + R_0}{2} + R_H \right\}$$

を考え,  $K/R_H$  の値につき, 初期 6 時間雨量及び総雨量について既往の大洪水の記録から求めると

$$\left( \frac{K}{R_H} \right)_{T=6} \approx \left( \frac{K}{R_H} \right)_{T=total}$$

で, すなわち初期6時間雨量について修正を考えれば, 総雨量をほぼ修正し得ることがわかる。なお, 実際の修正には  $R_{Ta} = R_0$  として

$$\left( \frac{K}{R_H} \right)_{T=6} \text{ の代わりに } W = \left( \frac{R_H + R_{Ta}}{2 R_H} \right)_{T=6}$$

で修正すればよいことがわかる。

修正方法は図-4 において, 洪水時の累加曲線の○印の点の示す  $R$  を  $W/1.15$  倍すると, これが修正された値である。表-5 の中の 5 例の修正値を表-6 に示す。

表-6

年 月	$W$	$W/1.15$	$R$	$\frac{R \cdot W}{1.15}$	修正された $Q$	実測の $Q$
昭 18.9	1.15	1.00	274 <sup>mm</sup>	274 <sup>mm</sup>	6900 <sup>m<sup>3</sup>/sec</sup>	6900 <sup>m<sup>3</sup>/sec</sup>
" 18.7	0.88	0.77	433	334	4500	5090
" 20.9	1.35	1.17	192	224	7200	5900
" 16.6	0.67	0.58	249	144	2800	2500
" 25.9	3.19	2.74	44	121	4000	4600

しかしこの方法で修正すると, 昭. 20. 9 洪水は 7200 m<sup>3</sup>/sec となり安全すぎる。実際には  $1.40 > W > 1.10$  に対しては修正しない方がよく,  $W > 1.50$  及び  $W < 1.00$  の時は修正する必要がある。

なお, このような修正をすることなく正確な予報を行うためには, 代表雨量観測所として加計に正確な自記雨量計を設備して, 加計雨量を基準とすることが望ましい。(昭. 27. 6. 15).