

山陰地方の中小河川洪水の極値に関する研究(続報)

田中 礼次郎*・福島 晨*

Reijiro TANAKA and Akira FUKUSHIMA

Study on Reord Flood Peaks of Smaller Rivers in Sanin Region (Second Report)

1. ま え が き

大きな洪水被害をもたらす集中豪雨は、いつも特定の地域に発生するとは限らず、どこの地域にも起りうる可能性がある。すなわち気象条件の類似した地域内では、その地域内での既往最大級あるいはそれ以上の集中豪雨が、どこでも同程度の頻度で発生する危険性のあることを、最近の全国各地の事例が示している。したがって、本研究の対象地域を山陰地方とすると、気象条件が比較的類似した鳥取、島根両県内で、位置が地理的に偏在することなく、しかも対象流域内の水文資料が整備された、できるだけ多くの代表河川流域を対象として検討を進める必要がある。

この観点から、前報で対象とした島根県内の江の川、斐伊川流域に加えて、本研究では鳥取県東部の千代川、中央部の天神川流域をえらび、これら4流域のDAD特性と洪水到達時間の関係から、山陰地方の最大洪水比流量曲線の推定を試みたものである。

2. 洪水比流量曲線式

洪水比流量曲線式として、一般によく使用されているCreagerの式は、理論的側面のない経験式であって流域面積が小さい範囲では、実用的に使用できない程大きな誤差を示す欠点がある。そこで本研究では、洪水のピーク流量は、その流域に降った豪雨の時間的空間的集中特性(DAD特性)と、その流域での出水特性(洪水到達時間)とに支配されるとの観点から、半理論的に誘導した角屋らの提案式を用いて検討することにする。この式は、前報での研究から、Creager式に比べてはるかに適合性のよいことは、すでに実証済みである。以下角屋

らの示した式の概要について説明する。

i) DA 関係

$$\text{Horton 式} : P/P_0 = \exp(-\alpha A^\beta) \quad \dots\dots(1)$$

ii) DD 関係

$$\text{田中・角屋式} : i = a/(t^c + b) \quad \dots\dots(2)$$

iii) 洪水到達時間 t_p

$$\text{角屋・福島式} : t_p = C_p A^{0.22} r_e^{-0.35} \quad \dots\dots(3)$$

ここに、 P_0 , P : 点および流域平均最大雨量強度, i : 点最大降雨強度, A : 流域面積, r_e : 流域平均有効降雨強度, α, β, a, b, c : 定数

いま流域平均降雨強度を r , 流出係数を f とすれば, (1)~(3)式から

$$r_c = f \cdot r = f \cdot (P/P_0) \cdot i \\ = \frac{f \cdot a}{C_p A^{0.22} r_e^{-0.35} + b} \exp(-\alpha A^\beta) \quad \dots\dots(4)$$

洪水比流量 $q(\text{m}^3/\text{S}/\text{km}^2)$ は, r_c を mm/hr , A を km^2 の単位とすると, (5)式の関係が成立するから, (4)式は洪水比流量曲線の原型といえる。

$$q = r_c/3.6 \quad \dots\dots(5)$$

計算を単純化するため, (2)式に Sherman 式を用いると b の項が省略できるから, (4), (5)式から(6)式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} q &= KA^{-\eta} \exp(-\zeta A^\beta) \\ K &= (1/3.6) (f \cdot a / C_p^\zeta)^{1/(1-0.35\zeta)} \\ \eta &= 0.22C / (1-0.35C) \\ \zeta &= \alpha / (1-0.35C) \end{aligned} \right\}$$

* 農業水利工学研究室

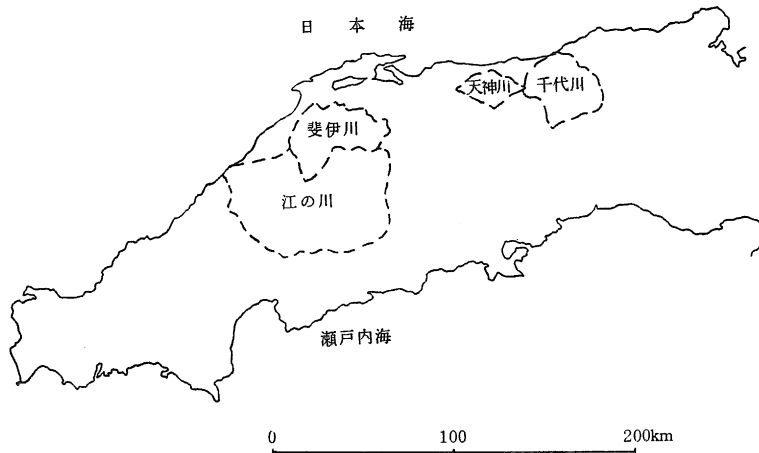


図1 対象流域位置図

表1 4 河川既往洪水一覽

順位	江の川・尾関山地点(1981km ²)			斐伊川・大津地点(911.4km ²)			天神川・小田地点(464km ²)			千代川・行徳地点(1053.7km ²)		
	流量 (m ³ /s)	生起月日	降雨原因	流量 (m ³ /s)	生起月日	降雨原因	流量 (m ³ /s)	生起月日	降雨原因	流量 (m ³ /s)	生起月日	降雨原因
1	6,900	S.47. 7. 9	梅雨前線	(2,790)	S.20. 9.18	枕崎台風	1,798	S.34. 9.26	伊勢湾台風	4,266	S.54.10.19	台風20号
2	4,790	40. 7.20	〃	(2,700)	18. 9.20	台風26号	1,162	50. 8.23	台風6号	(3,063)	T.12. 9.15	台風
3	4,510	35. 7. 7	〃	2,330	47. 7.11	梅雨前線	1,025	46. 8.31	〃 23号	(3,400)	T. 7. 9.14	〃
4	4,250	40. 6.18	〃	(1,760)	39. 7.19	〃	902	40. 9.17	〃 24号	(3,283)	S. 9. 9.20	室戸台風
5	4,160	32. 7. 2	〃	1,480	46. 7. 1	〃	840	41. 9.25	〃 24号	3,260	51. 9.10	台風17号
6	3,850	38. 7.10	〃	1,440	40. 7.23	〃	806	47. 7.11	梅雨前線	3,000	36. 9.16	〃 18号
7	3,800	33. 6.29	〃	1,420	29. 7.30	〃	781	36. 9.16	第2室戸 台風	2,700	34. 9.26	〃 15号
8	3,710	46. 7. 1	〃	1,310	19. 9.17	台風	740	51. 9.10	台風17号	2,683	40. 9.10	〃 23号
9	3,610	45. 8.21	台風	1,240	17. 9.21	〃	696	39. 7.19	梅雨前線	(2,667)	20. 9.17	枕崎台風
10	3,440	37. 7. 3	梅雨前線	1,160	38. 6. 4	台風・梅雨	541	42.10.28	台風34号	2,570	17. 9.21	台風

註 1. ()は推定流量。
 2. 中国地方建設局編集：河川関係調査成果報告書(S.53.6)による。
 3. 千代川第1位は著者が調査結果に基づき訂正した。

3. 対象河川の既往洪水記録

対象4河川について、既往の代表的洪水記録の第1位～第10位までを示すと表1のとおりで、洪水発生原因は梅雨前線か台風に伴う豪雨によるものがすべてである。表1を見ると、島根県内の江の川、斐伊川の洪水は、梅雨前線性豪雨に起因するものが大部分を占めるのに対して、鳥取県内の天神川、千代川については台風によるものが多い。各河川流域とも、降雨および流量の観測施設がととのい、記録が比較的多くの地点について整備され始めたのは、流域によって多少の相違はあるが、おおよそ昭和40年以降のことである。これから以降最近年まで

の洪水で、第10位以内にある代表的な洪水年は、昭和40年(4河川)、昭和46年、47年(千代川を除く3河川)である。このうち昭和47年7月洪水は、江の川第1位、斐伊川第3位、天神川第6位となっている。天神川では、昭和50年8月が第2位、千代川では昭和54年10月洪水がとびはなれた既往最大値を示す第1位であり、しかも最近年であるため水文記録もよく整備されて、後述する山陰地方の代表洪水比流曲線を大きく支配する結果となった。以上述べた最近の洪水年における豪雨記録は、次に述べるようにすべて解析に用いた。しかし天神川第1位洪水の昭和34年、斐伊川第1、2位洪水の昭和20年、18年など、記録がよく整備されていないものは除外

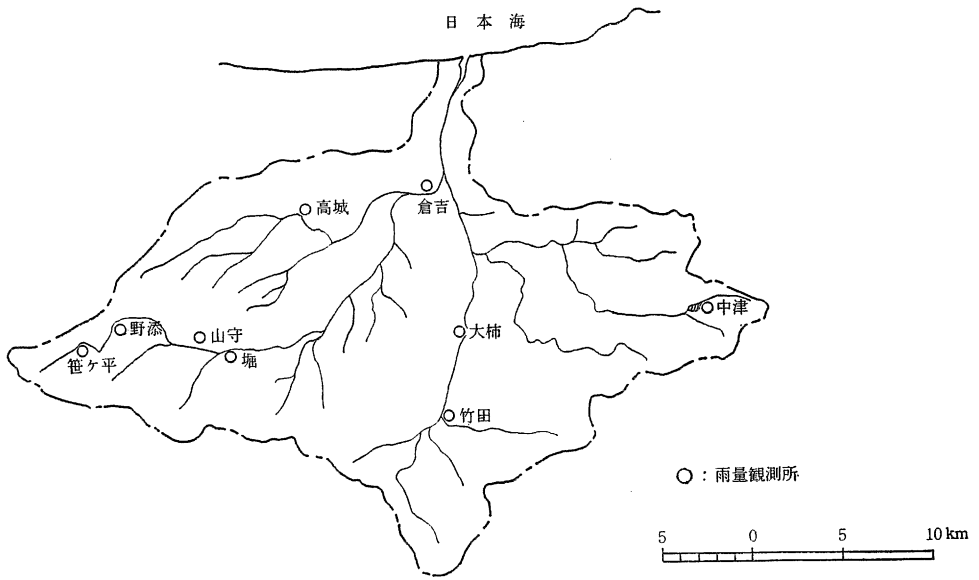


図2 天神川流域図

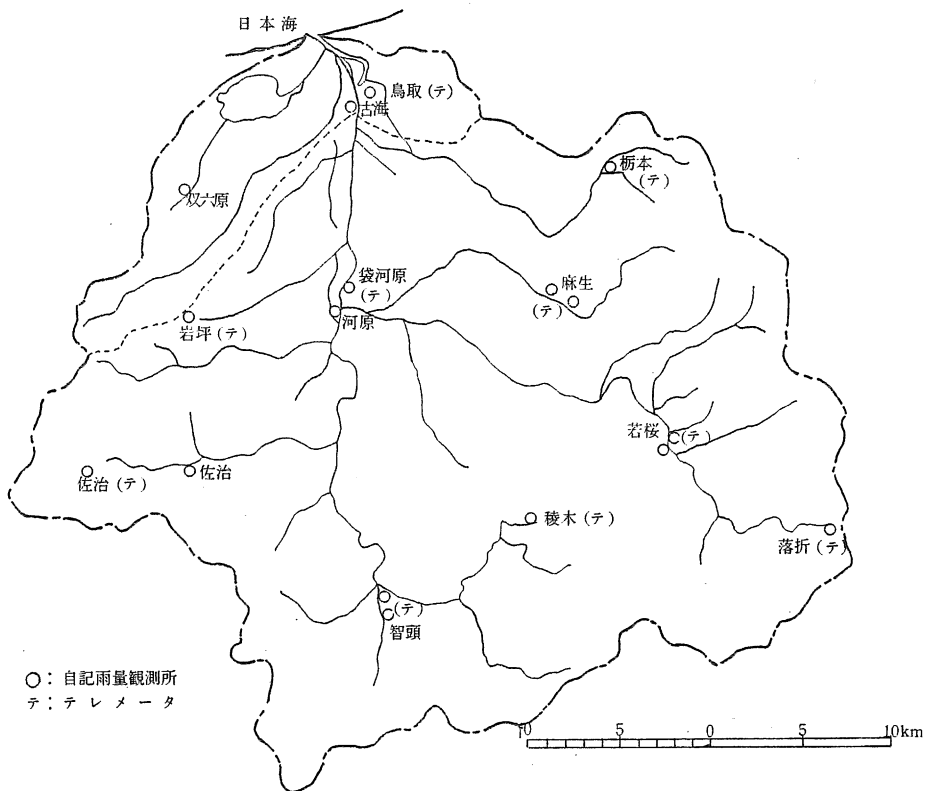


図3 千代川流域図

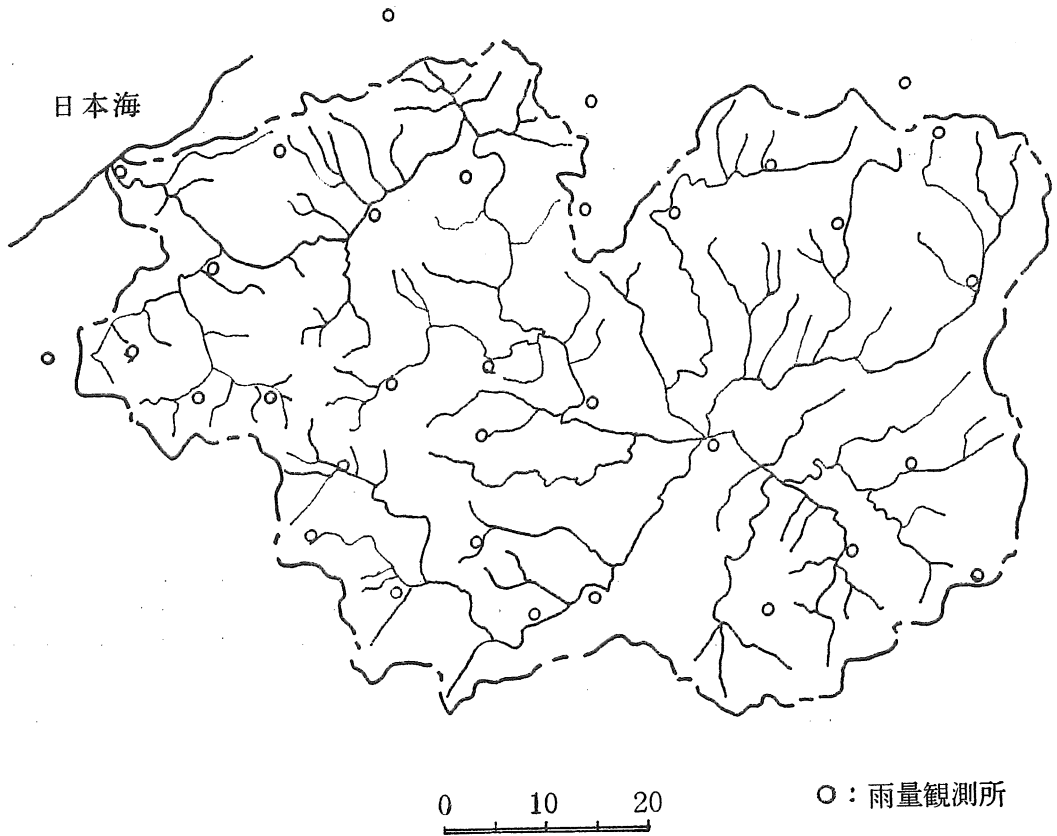


図4 江の川流域図

せざるを得なかった。

4. 対象流域と降雨資料

図1に示すように山陰地方の4流域（島根県2，鳥取県2）を対象とする。このうち島根県の斐伊川流域（面積 911.4km^2 ，雨量観測点11ヶ所），江の川上流域（面積 670.7km^2 ，雨量観測点8ヶ所）の詳細図は前報で紹介したので，天神川流域（面積 464.0km^2 ，雨量観測点9ヶ所），千代川流域（面積 1053.7km^2 ，雨量観測点17ヶ所），および江の川全流域（面積 3874.4km^2 ，雨量観測点35ヶ所）を図2，3，4に示す。使用した雨量記録の期間は江の川上流域が昭和34年～51年の18年間，江の川全流域は昭和47年のみ，斐伊川流域，昭和32年～49年（43年欠）の17年間，天神川流域，昭和41年～51年の11年間，千代川流域については長期間の記録のある観測点が少ないので，昭和51年9月と54年10月（既往最大基水量発生年）の豪雨記録を用いた。これらの降雨記録は，

年最大洪水量発生時の時間雨量記録から，各観測点とも平均的にみて最も降雨強度の大きい同時期間の雨量を対象に，1，3，6，12時間の4種類の降雨継続時間内の平均最大降雨強度を採用して計算に用いた。

5. 流域平均雨量

流域平均雨量 P の推定には4流域とも ティーセン法によった。ただし江の川全流域については，比較検討のためと，図4に示すようになりに多くの雨量観測点と比較的均等に全域に分布しているため，等雨量線法を用いた。流域平均雨量は，年ごとに降雨継続時間ごとに求め，平均雨量 P と流域面積 A の関係曲線を作成した。これらの $P-A$ 曲線から， $A=50, 100, 200, \dots, 1000\text{km}^2$ に対する P を内挿的に読み取ると観測年数に相当する P, A の組ができる。ここでは，既往最大洪水量が研究の焦点であるから，これらの P を各 A ごとに大きさの順に並べかえ，各流域の第1位の値を表

表2 各流域第1位の降雨継続時間別平均雨量と流域面積の関係

流域名	T (hr)	面積 A (km ²)												
		0	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	
江の川上流域	1	50.0	49.5	48.0	42.1	33.4	30.3	28.5	27.0	26.1				
	3	104.0	100.0	95.8	87.4	80.8	75.5	69.4	62.0	56.8				
	6	149.5	149.4	148.8	145.1	139.1	131.9	125.0	119.0	117.0				
	12	198.0	197.9	197.8	196.0	192.9	186.9	183.0	179.9	172.8				
斐伊川	1	55.0	54.9	54.8	53.5	51.3	47.8	44.8	42.4	40.0	38.0	36.4		
	3	123.0	102.2	100.4	95.6	90.2	84.9	81.7	78.6	75.8	73.1	70.9		
	6	180.5	145.1	125.3	119.6	112.7	108.9	106.9	103.8	100.2	97.8	94.9		
	12	231.0	221.1	215.1	201.9	188.8	180.1	174.1	169.2	165.0	161.1	157.7		
天神川	1	54.0	39.4	34.4	29.0	26.2	24.1	22.5						
	3	97.5	95.7	91.5	80.6	72.0	65.1	59.4						
	6	170.0	158.6	150.2	135.7	123.8	113.8	105.3						
	12	284.0	250.9	230.5	198.3	173.9	154.9	139.7						
千代川	1	46.0	45.5	45.3	45.1	44.8	44.0	42.8	41.1	39.2	38.0	36.7	35.4	
	3	108.0	106.8	105.6	103.8	101.8	99.0	96.4	94.8	92.8	90.4	88.2	86.2	
	6	176.0	174.7	173.5	171.9	169.9	166.8	161.4	154.2	148.8	144.9	141.3	137.5	
	12	253.0	252.9	252.2	250.6	245.9	240.5	236.2	231.9	225.9	220.0	215.0	210.2	
4流域	1	55.0	54.9	54.8	53.5	51.3	47.8	44.8	42.4	40.0	38.0	36.7	35.4	
	3	123.0	106.8	105.6	103.8	101.8	99.0	96.4	94.8	92.8	90.4	88.2	86.2	
	6	180.5	174.7	173.5	171.9	169.9	166.8	161.4	154.2	148.8	144.9	141.3	137.5	
	12	284.0	252.9	252.2	250.6	245.9	240.5	236.2	231.9	225.9	220.0	215.0	210.2	
江の川全流域	$\frac{A}{T}$		0	50	100	200	400	800	1400	2000	2500	3000	3500	4000
	1		42.0	39.0	38.1	35.4	31.8	28.2	26.3	24.2	21.8	20.5	18.0	16.6
	3		87.5	86.3	85.2	83.8	80.6	75.8	68.9	62.9	57.7	54.2	49.7	46.8
	6		149.0	145.0	142.6	138.8	133.3	126.0	116.7	109.0	101.8	96.8	89.2	83.3
	12		198.0	195.4	193.4	190.0	184.6	177.4	169.9	162.9	155.7	150.2	141.3	134.2

2に示した。また江の川全流域の値も同表に併示した。また同表で4流域の欄は、対象とした4流域のうちから最大値を選定したものである。表2の値を、DA関係の(1)式に適用するため、 P/P_0 の形に再整理すると表3のようになる。

6. DA および DD 式

表3の値を用いて(1)式のパラメータ α, β を推定すると表4、図5のようになる。図5から α, β の分布範囲は、流域ごとにかなり異なることがわかるが、両者の関係は両対数紙上にプロットした分布性状を示す図5をみれば、ほぼ直線状に分布し、(7)式で近似されることが理解できる。

$$\log \alpha = \log 0.00019 - 6.98 \log \beta \quad \dots\dots(7)$$

図6は4流域のDA関係を示しているが、千代川流域と等雨量線法を用いた江の川全流域(1時間雨量分布を除く)以外は、降雨継続時間によってかなりばらつきのあることがわかる。しかし降雨継続時間ごとに同一流域におけるDA曲線が異なるのは実用的でないから、各流域ごとに一つのDA曲線で代表させるため、4種類の降雨継続時間に対する図6のDA値を、流域別に最小自乗法で処理して求めたDA曲線を併示した。これらの曲線形が流域ごとにそれぞれ異なることは、とりもなおさず各流域のDA特性を示唆しているといえよう。

表3 各流域の P/P_0 の値

流域名	T (hr)	面積 A (km ²)											
		50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	
江の川上流域	1	0.990	0.960	0.842	0.668	0.606	0.570	0.540	0.522				
	3	0.962	0.921	0.840	0.777	0.726	0.667	0.596	0.546				
	6	0.999	0.995	0.971	0.930	0.882	0.836	0.802	0.783				
	12	0.999	0.999	0.980	0.974	0.944	0.924	0.909	0.869				
斐伊川	1	0.998	0.996	0.973	0.933	0.869	0.815	0.771	0.727	0.691	0.662		
	∞	0.831	0.816	0.777	0.733	0.690	0.664	0.639	0.616	0.594	0.576		
	6	0.804	0.694	0.663	0.624	0.603	0.592	0.575	0.555	0.542	0.526		
	12	0.957	0.931	0.874	0.817	0.780	0.754	0.732	0.714	0.697	0.683		
天神川	1	0.730	0.637	0.537	0.485	0.446	0.417						
	3	0.982	0.939	0.827	0.739	0.668	0.609						
	6	0.933	0.884	0.798	0.728	0.669	0.619						
	12	0.884	0.812	0.698	0.612	0.545	0.492						
千代川	1	0.989	0.985	0.980	0.974	0.957	0.930	0.893	0.852	0.826	0.798	0.770	
	3	0.989	0.978	0.961	0.943	0.917	0.893	0.878	0.859	0.837	0.817	0.798	
	6	0.993	0.986	0.977	0.965	0.948	0.917	0.876	0.845	0.823	0.803	0.781	
	12	0.999	0.997	0.991	0.972	0.951	0.934	0.917	0.893	0.870	0.850	0.831	
4流域	1	0.998	0.996	0.973	0.933	0.869	0.815	0.771	0.727	0.691	0.667	0.644	
	3	0.868	0.859	0.845	0.828	0.805	0.784	0.771	0.754	0.735	0.717	0.701	
	6	0.968	0.961	0.952	0.941	0.924	0.894	0.854	0.824	0.803	0.783	0.762	
	12	0.890	0.888	0.882	0.866	0.847	0.832	0.817	0.795	0.775	0.757	0.740	
江の川全流域	$\begin{matrix} A \\ T \end{matrix}$		50	100	200	400	800	1400	2000	2500	3000	3500	4000
	1		0.950	0.907	0.843	0.757	0.671	0.626	0.576	0.519	0.488	0.429	0.395
	3		0.986	0.974	0.958	0.921	0.866	0.787	0.719	0.659	0.619	0.568	0.535
	6		0.973	0.957	0.932	0.895	0.846	0.783	0.732	0.683	0.650	0.599	0.559
	12		0.987	0.978	0.960	0.932	0.896	0.858	0.823	0.786	0.759	0.714	0.678

DA 関係は図7のとおりで、各流域とも DA 関係に比べて、各流域ごとに一つの DD 式で、かなりよく適合させることができる。

以上の各流域別に推定した一つの代表 DA, DD 曲線式から、洪水比流量曲線(6)式を計算するために用いる各パラメータを表5にまとめた。

7. 洪水比流量曲線式

表5の値を用いて(6)式の各パラメータを流域ごとに求め、図8～10にプロットした、各対象流域を含む山陰地方の既往最大洪水比流量観測値を包絡するように、(6)式の K の値を変化させて曲線を平行移動すれば、所望の洪水比流量曲線式が得られる。

いま(6)式で、 $f=1.0$, $C_p=290$ として、表5の値から推定した4流域の各洪水比流量曲線および式を、実線で記入した Creager 曲線と対比して図8, 9に示した。また表5中の4流域の値(4流域の中から選んだ第1位の DA 関係値から得た値)、および最下欄の江の川(全流域)の値から求めた洪水比流量曲線および式を図10に示した。これらの図から、ここで提示した各曲線は、すべて約 1,000km² 以下では Creager 曲線よりも著しく適合性のよいことがわかる。その中でも図8の千代川、図10の2つの曲線は、1,000km² 以上まで含めた非常に広範囲の流域面積に対し、きわめてよく実測値を包絡している。とりわけ図10の4流域の値から得られた(8)式で表現される曲線はもっとも適合性がすぐれ、

表4 Horton 式の α, β の値

流域名	降雨継続時間 (hr)	α	β	適合度 $F(\%)$
江の川上流域	1	0.000236	1.625	9.5
	3	0.0007215	1.025	0.8
	6	0.000003	2.148	2.3
	12	0.000002	2.067	0.6
	1~12	0.0000055	1.716	13.4
斐伊川	1	0.000007	2.007	2.9
	3	0.033729	0.404	1.7
	6	0.0691577	0.329	1.8
	12	0.0022149	0.771	1.5
	1~12	0.0013576	0.876	11.7
天神川	1	0.0575086	0.442	1.3
	3	0.0000758	1.440	2.8
	6	0.0025430	0.845	0.2
	12	0.0061878	0.765	0.3
	1~12	0.0028799	0.873	14.1
千代川	1	0.0000746	1.133	2.6
	3	0.0002028	1.011	0.3
	6	0.0000420	1.242	1.5
	12	0.0000008	1.806	0.6
	1~12	0.0000268	1.299	1.8
4流域	1	0.0000008	1.955	3.8
	3	0.0352693	0.317	1.7
	6	0.0011476	0.762	2.4
	12	0.0258123	0.331	2.1
	1~12	0.0009672	0.841	5.1
江の川全流域	1	0.0074523	0.578	3.3
	3	0.0004575	0.867	0.5
	6	0.0018675	0.679	1.2
	12	0.0008160	0.730	0.9
	1~12	0.0015132	0.713	9.7

註 $F(\%)$ は観測値と計算値の相対誤差である。

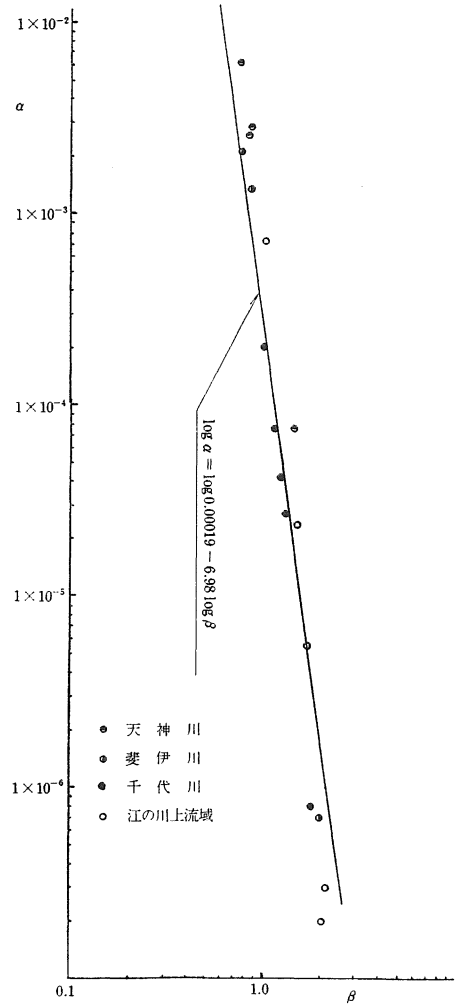


図5 Horton 式 α, β の関係図

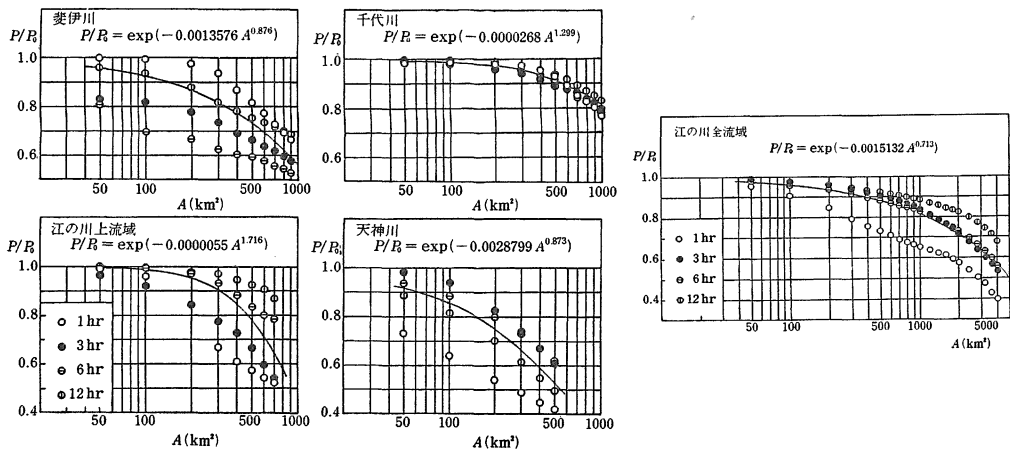


図6 各流域の DA 関係図

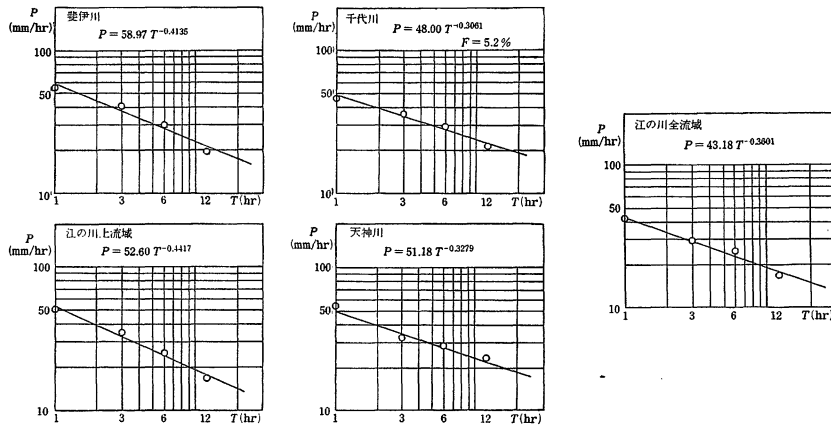


図7 各流域の DD 関係図

山陰地方を代表する洪水比流量曲線にふさわしいといえる。

$$q = 14.9A^{-0.0860} \exp(-0.0011A^{0.341}) \dots\dots\dots(8)$$

8. おわりに

前報に続いて山陰地方を代表する洪水比流量曲線式を模索するため、島根、鳥取両県から4つの対象流域を選定し、それぞれの流域における DD, DA 特性を調べた。さらにこれら4流域から山陰地方を代表する DAD 特性値を選定し、洪水比流量曲線式を推定したところ、きわめて良好な結果が得られたことは上述のとおりである。とくに千代川流域における54年10月の洪水量は、同流域ではとびはなれた既往最大を記録し、これに対応する豪雨記録が使用できる幸運に恵まれた。しかもこの豪雨記録が、本研究の目指した洪水比流量曲線式の決定に大きく寄与したことを付言しておきたい。また江の川、斐伊川の2流域を対象として得られた前報の結果よりも、2つの流域を追加して4流域を対象にすることによって、当初予期した以上の成果が得られたことは大へんな喜びである。

最後に本研究に使用した水文資料の大部分は、中国地建管内の多くの工事事務所の協力の下に収集できたこと、また当時本学の学生であった坂根篤、坂口洋介、川原一虎の諸君の資料収集、整理に協力があつたこと、お

表5 洪水比流量曲線式に用いた各定数

流域名	$P/P_0 = \exp(-\alpha A^\beta)$		$P_0 = at - c$	
	α	β	a	c
江の川上流域	0.0000055	1.716	52.60	0.4417
斐伊川	0.0013576	0.876	58.97	0.4135
天神川	0.0028799	0.873	51.18	0.3279
千代川	0.0000268	1.299	48.00	0.3061
4流域	0.0009672	0.841	56.54	0.3439
江の川全流域	0.0015132	0.713	43.18	0.3601

よび本研究は54年度文部省科学研究費による成果の一部であることを付記して謝意を表する。

参考文献

1. 田中礼次郎：山陰地方の中小河川洪水の極値に関する研究，島根大農研報13：124-133，1979。
2. 角屋睦・永井明博：洪水比流量曲線へのアプローチ，京大防災研年報22，B-2：195-206，1979。
3. 田中礼次郎・角屋睦：降雨強度式に関する研究，農業土木学会論文集83，1-8，1979。
4. 角屋睦・福島暎：中小河川の洪水到達時間，京大防災研年報19，B-2：143-152，1976。

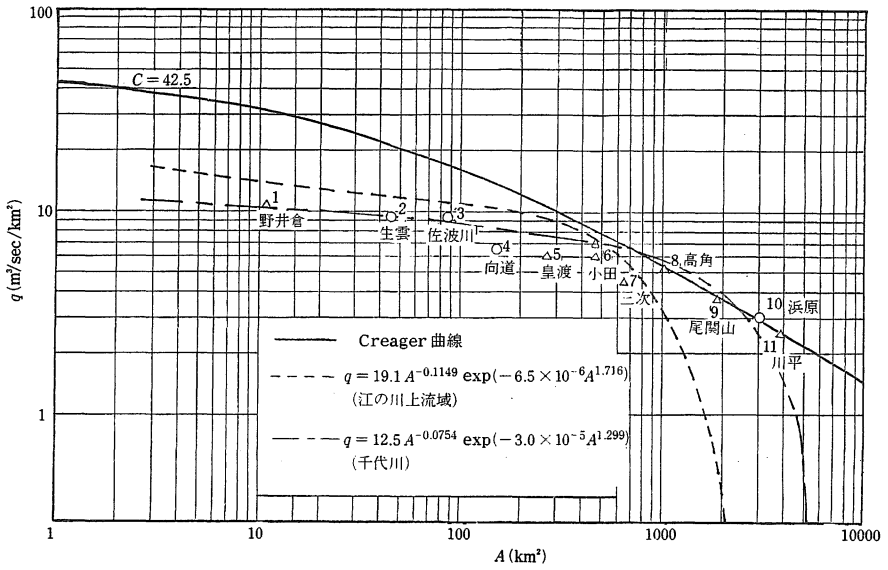


図8 洪水比流量曲線 (江の川上流域, 千代川)

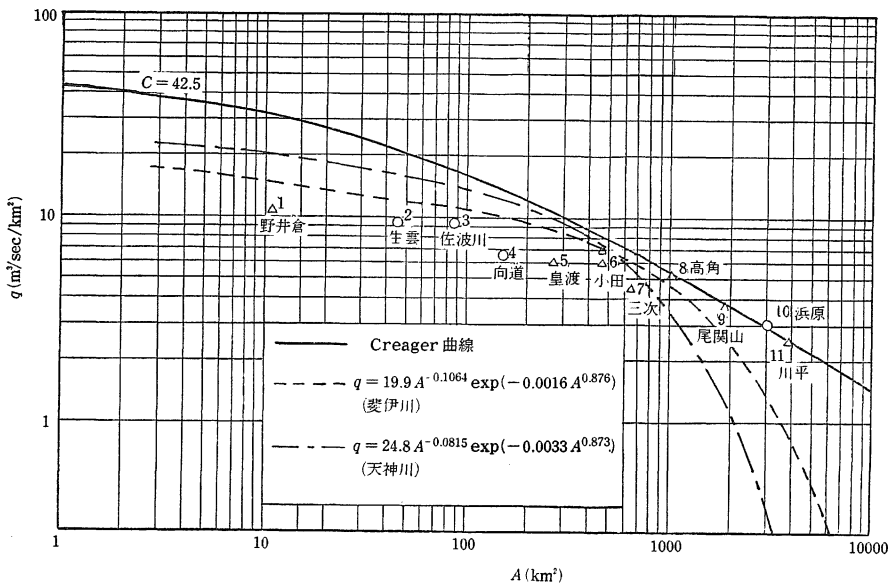


図9 洪水比流量曲線 (斐伊川, 天神川)

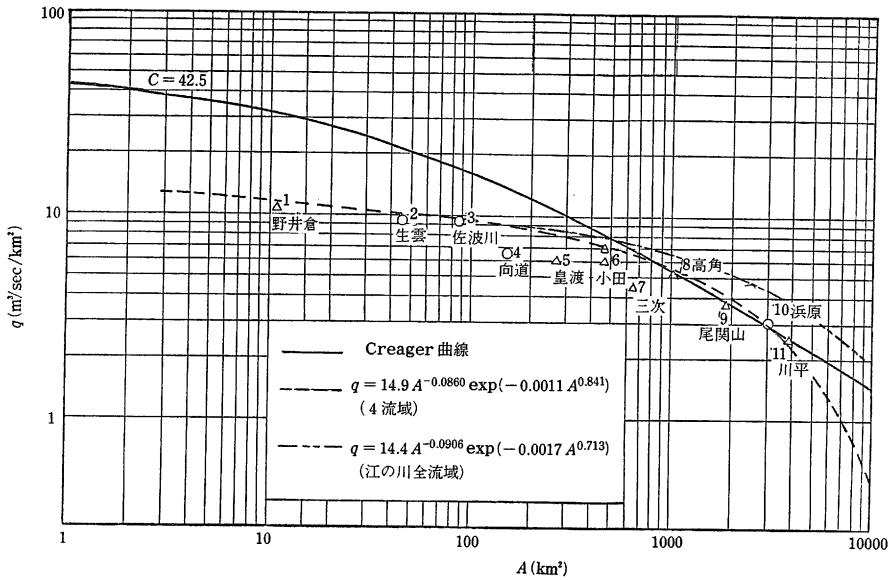


図10 洪水比流量曲線 (4 流域, 江の川全流域)

Summary

The circumstance of occurrence of record heavy rainstorms alarms that the spillway capacity to insure the safety of a dam must be based on an intelligent study of all the available data as to great floods and heavy rainfalls in not a specific river watershed but a wide area under the same meteorological conditions. The enveloping curve of flood peak discharges at many stations with different drainage areas under the same meteorological conditions would give a solution for this problem.

This study aims to develop the equation of the enveloping curve rationally in Sanin Region considering the *DAD* characteristics of heavy rainfalls and the concentration time of flood runoff.

The Gonokawa, Hi, Tenjin and Sendai river basins have been chosen as the objective basin. The record of heavy rainfall observed at several points covered a river basin have been investigated to disclose the *DAD* characteristics of the basin. The *DAD* equation is then combined with the equation of the time of flood concentration to find a rational form of the equation for flood peaks. Finally, the equation for flood peaks is modified to express a curve enveloping record flood peaks in m³/sec/km². The formula for enveloping curve has shown good fitness to record flood peaks in Sanin Region.