琉球大学学術リポジトリ

中小流域河川の洪水流出(農業工学科)

メタデータ	言語:
	出版者: 琉球大学農学部
	公開日: 2008-02-14
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 東郷, 成蔵, Togo, Seizo
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/4429

中小流域河川の洪水流出

東　郷　成　蔵*

Seizo TOGO : Flood run-off from a small basin

I はしがき

河川の流出を対象とした解析に，単位図法，流出関数法，貯留関数法，水理学的方法などあり，いずれも河川のハイドログラフ究明を主体とし，洪水流出はそのピーク時流出として解析されている。

河川のハイドログラフが流域における雨水の遅滞特性の総合的現象にほかならないとすれば，流域の各部の雨水がその到達距離に応じて，ある時間的おくれをもって流集するものと考えられる。洪水流出量がそれら流集の最大値であるとすれば，中小流域河川についてまず第1に流域の降雨状況，すなわち降雨の時間的，地域的分布状況の変化が洪水流出に影響する。次に第2としてそれら流域降雨の到達時間，すなわち河道における洪水の流下速度と調節作用による遅滞現象が洪水流出解析に考慮されねばならない。本稿はこれらの事項を考察して洪水流出の解析を試みたもので，計算例として源河川（沖縄県名護市）の洪水量を計算してみた。

II 洪水流出の解析

1　降雨継続時間と洪水流出時限

全流域を降雨の到達時間別に区分して，最遠地より順次A，B，C，D，E，の5分区に分割されたとすれば

A……5～4時間到達分区
B……4～3　〃
C……3～2　〃
D……2～1　〃
E……1～0　〃

をあらわす。さらにこの流域符号に末尾字1，2，3，4，5，を附して各分区の時間別降雨量をあらわすものとすれば

A_1 … A流域に0～1時限に降った雨量
A_2 … 〃　1～2　〃
A_3 … 〃　2～3　〃
A_4 … 〃　3～4　〃
A_5 … 〃　4～5　〃

B，C，D，以下同様とする。

今一連の継続降雨（継続時間を仮に10時間とする）について横軸に到達時間，縦軸に流域分区の時

* 琉球大学農学部農業工学科
琉球大学農学部学術報告　20:137～144 (1973)

限別降雨量の枠を設けると（図1），ある時限の流出降雨量はこの縦軸枠の累積であらわされる。ピーク時流出は全流域枠の参加する時限であるから，図において第5時限～第10時限までの枠が最大枠数となり，その時限内においてはいずれの時限も枠数は同一の5個である。

Amount of rainfall

A					A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}	
B				B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7	B_8	B_9	B_{10}		
C			C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}			
D		D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	D_8	D_9	D_{10}				
E	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_7	E_8	E_9	E_{10}					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Reach time limit

Fig. 1. Amount of rainfall

図　1. 流域降雨量

このことは，(1) 洪水流出は流域最遠地よりの到達時より始まり，継続降雨の終局時までの間に出現し (2) この時間内においてはいずれの時限においても洪水流出量は同一であることがわかる。換言すれば洪水流出となるに必要な継続降雨の時間数は流域最遠地よりの到達時間と一致，これ以上の降雨継続時間は洪水流出量には影響なく，ただ持続時間の延長となってあらわれる。連続降雨についてはその継続時間の短い程単位時間当りの雨量強度は大きくなる。ある河川の最大洪水量を推定するときの連続降雨の継続時間数は全流域の流集する最短時間であり，流域最遠地よりの到達時間に他ならない。この場合では，連続降雨10時間の内，単位時間当りの強度の最も大きい連続5時間雨量の降雨状況が洪水流出の対象となる。再び表1に戻って符号の末尾字1～5までを対象とし，6以上を削除すれば洪水流出の対象となる降雨量は第5時限において出現し，その総量Sは

$$S = (A_1 + B_2 + C_3 + D_4 + E_5)$$

となる。

2　流域降雨量と河川流量との関係

流域降雨全量が河川流出量となることはない。その間の損失量を前もって控除した有効雨量を基本にして河川のハイドログラフを作成するが，洪水流出という時間的に限定された流出に対してはその必要はない。上述の如く洪水流出となる降雨は連続降雨中のある特定の時間継続降雨であり，従って先行降雨の関係で損失の主体と目される，蒸発，浸透，流域の植生またはくぼ地における貯留等は洪水流出に関する限り無視することができる。つまり降雨量＝流出量として考察しても大差ないが，なおここに必要にして欠くことのできない事項は洪水の経時的遅滞現象である。自然流域に降った雨水は最初は小さい水みち（Rill）から細流（Gully），溪流，河川と流集を重ねて洪水流出となる。このような傾斜地流域の流出は河道の連続と見なされるからその流速は地形の特性を充分ふまえて，開水路の流速公式が適用できる。流域が平坦地であるときは降雨の流出頭初から貯留による遅滞現象があらわれる。平坦地はコウ配がないから，ある単位時間に降った雨量は地内貯留量と，その貯留によってできる貯留水深の3/2乗に比例した流出量に分つことができる。流域の地形，面積，越流口の構造等により著しい差異はあるが，平坦地では降雨量中相当量が初期貯留量となって遅滞する。この遅滞量は貯水池の洪水調節作用と同様にして流域個々について求めなければならない。平坦地流域の初期降雨量の内貯留量となった部分は，次期において再び次期降雨量と合算して流出する。この場合の遅滞作用の解析計算はさらに複雑

となるが，概して初期降雨量の流出歩合をα（$\alpha<1$）とすれば，次期においてはα^2，3期に到っては，α^3の如く等比級数的に減少し，2次以上の高次数は無視できるから，平担地流域における降雨量の流出は頭初期においてのみその流出歩合を考慮すればよいことになる。このことは極めて緩やかな傾斜地流域について適用できるが一般の傾斜地域には遅滞現象はない。平担地流域降雨量と貯留量との関係を水理解析してみると，(図2)

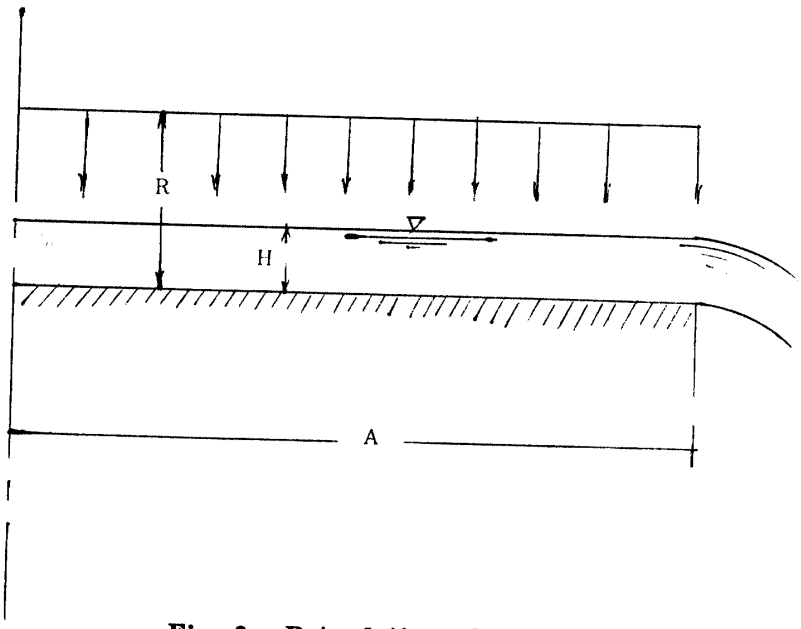

Fig. 2. Retardation of rainfall
図 2. 遅滞現象

A…流域面積（m^2）
ℓ…流出口幅（m）
C…流出口係数C＝3600 毎時間
C＝1800 毎30分間
C＝1200 毎20分間
C＝ 600 毎10分間
H…貯留水深（m）
R…降雨量 （m）

とすれば

$$AR = C\ell H^{3/2} + AH$$

$$R = \frac{C\ell}{A} H^{3/2} + H = \left(\frac{C\ell}{A} H^{1/2} + 1\right) H$$

$$\frac{H}{R} = \frac{1}{\left(\frac{C\ell}{A} H^{1/2} + 1\right)}$$

$\frac{H}{R}$は降雨量に対する貯留量の割合であり，これをφとすば，φは遅滞率，$1-\varphi=f$は流出率をあらわす。この式でわかるように，流出率f，または遅滞率φは流域面積A，流出口幅ℓ，降雨量R，によっ変化するから流域個々について異なった値をとり，括一的に平坦地の流出歩合を決めることは妥当でない。今流域面積100（m^2）流出口幅 0.25（m）の場合の流出歩合と降雨量（mm/h）の関係をグラフで例示すると，（図3）の如くなり，また降雨量45（mm/h），流出口幅0.25（m）として流出歩合と流域面積（ha）の関係をグラフで例示すると（図4）の如くなる。

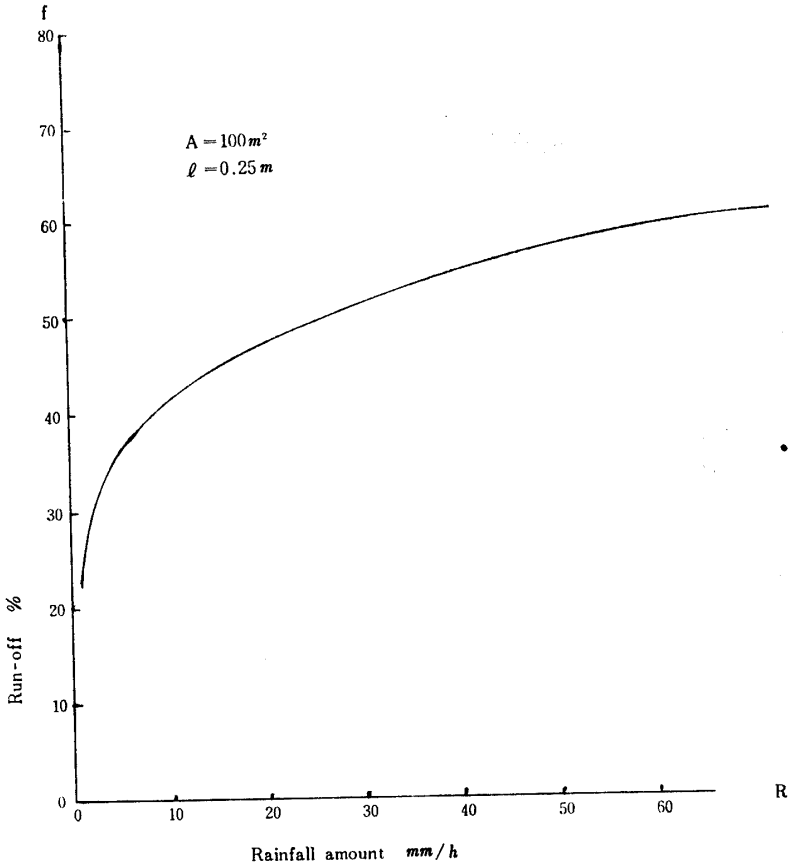

Fig. 3. f—R Diagram
図 3. f—R 図表

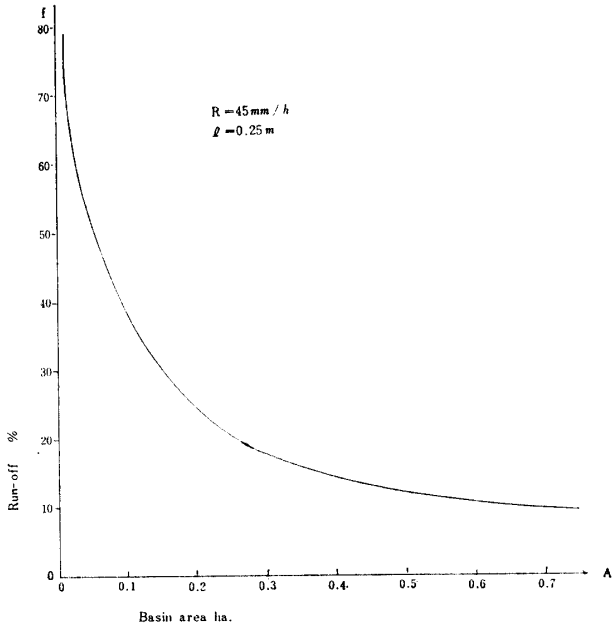

Fig. 4. f—A Diagram
図 4. f—A 図表

3. 洪水流出の確率

洪水流出となる流域降雨の継続時間，ならびに洪水の出現時限が流域最遠地よりの到達時間と一致し，なおかつそれら流域の時間別降雨量の合計値が最大となるような流域分区別降雨量の組合せは

$$S = (A_1 + B_2 + C_3 + D_4 + E_5)$$

であることは第II節（1）において述べた。Sが最大であるためにはそれを構成するA_1，B_2，C_3，D_4，E_5の各々の値が最大でなければならない。今これを確率上から解析してみると，A流域については5時間継続降雨A_1，A_2，A_3，A_4，A_5のうちA_1が最大となる確率は1/5である。B流域以下同様であるから次の如く各々の確率が求められる。

A_1が最大となる確率……1/5
B_2 〃 ……1/5
C_3 〃 ……1/5
D_4 〃 ……1/5
E_5 〃 ……1/5

従って $S=(A_1+B_2+C_3+D_4+E_5)$ が最大となる確率は $(1/5 \times 1/5 \times 1/5 \times 1/5 \times 1/5)=(1/5)^5=\frac{1}{3125}$ となる。この確率値は各流域とも5時間継続降雨の内第1位時間雨量を適用した場合であって現実の河川については殆んど全くありえない。確率値も極めて小さく0に近い。5時間継続降雨の内第2位時間雨量以上が出現する場合とすれば

A_1の確率……2/5
B_2 〃 ……2/5
C_3 〃 ……2/5
D_4 〃 ……2/5
E_5 〃 ……2/5

従って $S=(A_1+B_2+C_3+D_4+E_5)$ の確率は $(2/5\times2/5\times2/5\times2/5\times2/5)=\frac{32}{3125}\fallingdotseq\frac{1}{100}$ 同様にして第3位時間雨量以上が出現する場合は $(3/5\times3/5\times3/5\times3/5\times3/5)=\frac{243}{3125}\fallingdotseq\frac{1}{13}$ 第4位時間雨量以上が出現する場合は $(4/5\times4/5\times4/5\times4/5\times4/5)=\frac{1024}{3125}\fallingdotseq\frac{1}{3}$ 第5位時間雨量以上が出現する場合は $(5/5\times5/5\times5/5\times5/5\times5/5)=1$ これらの確率値を表記して（表1）を得る。

Table 1. Value of probability

表 1. 確率値

Ranking of rainfall amount	Value of probability	Approximate value of probability
1	$(1/5)^5=\frac{1}{3125}$	0
2	$(2/5)^5=\frac{32}{3125}$	$\frac{1}{100}$
3	$(3/5)^5=\frac{243}{3125}$	$\frac{1}{13}$
4	$(4/5)^5=\frac{1024}{3215}$	$\frac{1}{3}$
5	$(5/5)^5=1$	1

表１でいう確率は各流域の時間別降雨量の順位が重積する確率いわゆる数学的確率値であって，通称河川洪水量推定に適用されるところの50～100年確率降雨量の確率の意ではない。また流域各分区の状態についても面積，形状等を異にして確率値計算において必ずしも同一条件（equally likely）とはいえないが，わが国台風時における雨域の広さは数百平方粁乃至数千平方粁と称されているから，これらと比較対称して時間別に区割された中小流域河川の各分区を同一条件と見なして確率値を求めたものである。この表でわかるように同一の５時間継続降雨について，その洪水流出となる確率は適用する時間雨量の順位によって著しく変っている。この確率値からみて適用時間雨量の順位は３～４位が妥当であり２位以上は最大洪水に該当するものと考察される。

流域面積の小さい河川では地域的に均一降雨量が適用される。この場合の各分区の降雨量は

$A_1=ar_1$	$B_1=br_1$	$C_1=cr_1$	$D_1=dr_1$	$E_1=er_1$
$A_2=ar_2$	$B_2=br_2$	$C_2=cr_2$	$D_2=dr_2$	$E_2=er_2$
$A_3=ar_3$	$B_3=br_3$	$C_3=cr_3$	$D_3=dr_3$	$E_3=er_3$
$A_4=ra_4$	$B_4=br_4$	$C_4=cr_4$	$D_4=dr_4$	$E_4=er_4$
$A_5=ra_5$	$B_5=br_5$	$C_5=cr_5$	$D_5=dr_5$	$E_5=er_5$

a，b，c，d，e……A，B，C，D，E，の面積

r_1，r_2，r_3，r_4，r_5……時間別降雨量

従って洪水流出の対象となる降雨量の総量Sは

$$S=(A_1+B_2+C_3+D_4+E_5)$$
$$=ar_1+br_2+cr_3+dr_4+er_5$$

また各分区面積a，b，c，d，eの平均をA_0，平均A_0よりの偏差をそれぞれΔa，Δb，Δc，Δd，Δeとし，時間別降雨量r_1，r_2，r_3，r_4，r_5の平均をR_0，R_0よりの偏差をそれぞれΔr_1，Δr_2，Δr_3，Δr_4，Δr_5とすれば

$$ar_1=(A_0+\Delta a)(R_0+\Delta r_1)$$
$$=A_0R_0+A_0\Delta r_1+R_0\Delta a+\Delta a\Delta r_1$$
$$br_2=(A_0+\Delta b)(R_0+\Delta r_2)$$
$$=A_0R_0+A_0\Delta r_2+R_0\Delta b+\Delta b\Delta r_2$$
$$cr_3=(A_0+\Delta c)(R_0+\Delta r_3)$$
$$=A_0R_0+A_0\Delta r_3+R_0\Delta c+\Delta c\Delta r_3$$
$$dr_4=(A_0+\Delta d)(R_0+\Delta r_4)$$
$$=A_0R_0+A_0\Delta r_4+R_0\Delta d+\Delta d\Delta r_4$$
$$er_5=(A_0+\Delta e)(R_0+\Delta r_5)$$
$$=A_0R_0+A_0\Delta r_5+R_0\Delta e+\Delta e\Delta r_5$$

辺々加えて

$$S=5A_0R_0+A_0(\Delta r_1+\Delta r_2+\Delta r_3+\Delta r_4+\Delta r_5)$$
$$+R_0(\Delta a+\Delta b+\Delta c+\Delta d+\Delta e)$$
$$+\Delta a\Delta r_1+\Delta b\Delta r_2+\Delta c\Delta r_3+\Delta d\Delta r_4+\Delta e\Delta r_5$$

偏差の和は０であるから

$$S=5A_0R_0+\Delta a\Delta r_1+\Delta b\Delta r_2+\Delta c\Delta r_3+\Delta d\Delta r_4+\Delta e\Delta r_5$$

流域の全面積をA，流域の全降雨量をRとすれば

$$S=A\frac{R}{5}+(\Delta a\Delta r_1+\Delta b\Delta r_2+\Delta c\Delta r_3+\Delta d\Delta r_4+\Delta e\Delta r_5)$$

これらの式の右辺第１項は流域各分区の平均面積と平均降雨量をあらわし，第２項以下カッコ内は各分区のそれら平均量からの偏差量をあらしている。中小流域河川の洪水量を求めるとき，その流域降雨量は本式を適用することによってさらにその地域的特性を加味することができる。本式を一般化し分区数をｎとすれば

$$S = nA_0R_0 + \Delta a\Delta r_1 + \Delta b\Delta r_2 + \cdots\cdots + \Delta n\Delta r_n$$
$$= nA_0R_0 + \Sigma\Delta n\Delta r_n$$

となる。

III む す び

この洪水流出解析は，流域降雨の時間的，地域的分布の変化状況を基礎として河川の洪水量を求めたが，洪水量にその出現確率と適用時間雨量ならびにその順位を明確に併記することができ，河川計画洪水量を推定するに合理性と妥当性を推進することができた。河川計画洪水量の決定については，その一部Ⅲ３において解析したがなお今後とも検討を要するものと考察される。この解析に使用した時限は１時間を単位とした。従って洪水流出の単位も立方米／時で（便ぎ3600秒で除して立方米／秒であらわすが）なければならない。流域が狭少で最遠地からの到達時間が小さいものについては，適ぎ単位時限を30分～10分に縮小するが，洪水流出の単位も立方米／30分～10分となりより正確になる。また小さい流域で１地点雨量で支配しうるような河川の洪水量算定公式として誘導した

$$S = nA_0R_0 + \Delta a\Delta r_1 + \Delta b\Delta r_2 + \cdots\cdots + \Delta n\Delta r_n$$
$$= nA_0R_0 + \Sigma\Delta n\Delta r_n$$

S……洪水量

n……分区数

A_0……分区面積a, b, c, ……nの算術平均値

R_0……時間別降雨量 r_1, r_2, r_3……rnの算術平均値

Δa, Δb, Δc, ……Δn……分区面積 a, b, c, ……nの平均A_0よりの偏差

Δr_1, Δr_2, Δr_3……Δr_n……時間別降雨量 r_1, r_2, r_3, ……r_nの平均R_0よりの偏差

この式は最近内地各地に頻発する集中豪雨による山地渓流の異状洪水（鉄砲水）に適用できる。計算例として沖縄県名護市源河川の洪水量を求めてみたのが次の如くなった。

河川名　源河川

所在地　沖縄県名護市

流域面積　16.24km^2

流路延長　9.3km

到達時間　100min

分区の数　5

降雨量（連続100min最大降雨量）72㎜

同上生起日時

1972. 7. 22.

5:20～5:40……	4 ㎜/20min	順位 5
5:40～6:00……	8	4
6:00～6:20……	17	3
6:20～6:40……	17	2
6:40～7:00……	26	1

洪水量 192,900 $m^3/20min$ (160.75m^3/s)
この計算法を(表2)に掲げる。また同じくこの洪水量計算を確率値による推定洪水量として求めると，(表3) の如くなり確率値⅕の洪水量に一致することがわかった。

Table 2. Calculation of flood run-off
表 2. 洪水量の計算

Division area		variation		rainfall amount		variation	
a	3020000	Δa	−228000	r_1	0.004	Δr_1	−0.0104
b	5850000	Δb	2612000	r_2	0.008	Δr_2	−0.0064
c	4820000	Δc	1572000	r_3	0.017	Δr_3	0.0026
d	1560000	Δd	−1688000	r_4	0.017	Δr_4	0.0026
e	980000	Δe	−2268000	r_5	0.026	Δr_5	0.0116
Σ	16240000	Σ	000000	Σ	0.072	Σ	0.0000
A_0	3248,000			R_0	0.0144		

Δa Δr_1	2,371.2	A_0R_0	46,771.2
Δb Δr_2	−16,716.8	$5A_0R_0$	233,856
Δc Δr_3	4,087.2	S	192,900
Δd Δr_4	− 4,388.8		(160.75)
Δe Δr_5	−26,308.8		
Σ	−40,956.0		

Table 3. Flood run-off amount Genka River
表 3. 源河川 洪水量

Rainfall amount	Rainfall ranking	Flood run-off amount		Probability
26 *	1	422,240**	351.8***	0
17	2	276,080	230.0	1/100
17	3	276,080	230.0	1/13
8	4	129,920	108.2	1/3
4	5	64,960	54.1	1

* $mm/20min$
** $m^3/20min$
*** m^3/s

Summary

In computing the flood run-off from a small basin, we must consider the hourly variation of rainfall amount in that basin. The author has analized and computed the flood discharge of the Genka River, Okinawa Island, Ryukyus.