

京都大学防災研究所 正員 石原 安雄
同 上 正員 ○友杉 邦雄

2. ピーク流量の条件付確率分布の評価 ここでいうピーク流量の条件付確率分布とは、ある適当な期間 T (流域特性に関係する)の雨量 R_T が与えられたときに生じ得るピーク流量 Q の確率分布のことである。

があること、および y の条件付確率分布はデータから推定できることを出発点とするものである。 $T_{mp} = (y R_T / B)^{1/b}$ ----- (1). さらに、 y は T 時間降雨に関する t ($= t_{mp}$) 時間連続最大雨量配分率、 B および b は流域固有の定数で、 $t_{mp} = B (y R_T)^{b-1}$ ----- (2)

なる関係がある。なお、 Q_p (m/s) は、流域面積を A (km²) とすれば、 r_{mp} (mm/hr) とつぎの直線関係、 $Q_p = \frac{1}{3.6} r_{mp} A$ ----- (3) がある。そこで、 R_T と r_{mp} の条件付確率密度

関数をそれぞれ、 $h_1(R_T|r_{mp})$, $h_2(r_{mp}|R_T)$, 周辺密度関数を $g_1(R_T)$, $g_2(r_{mp})$ とすると、所要の h_2 は、 $h_2(r_{mp}|R_T) = g_2(r_{mp}) \cdot h_1(R_T|r_{mp}) / g_1(R_T)$ ----- (4)。また、 h_1 は y の条件付確率密度関数を $f_m(y|t)$ とすると、(1)式の関係よりつぎのように表わせる。

図-1 y の経験分布

$$h_1(R_T/r_m) = f_T(y/t) \left| \frac{\partial y}{\partial R_T} \right| = f_T(y/t) \frac{B \cdot r_m^p}{R_T^2} \dots\dots\dots (5).$$

ータから推定できれば、(4)、(5)式から h_2 を求めることができる。なお、ここで g_2 がデータ不足のため推定できない場合は、 $g_1(R_T) = \int_{R_{mp1}}^{R_T} h_1(R_T | R_T) \cdot g_2(R_T) dR_T$ ----- (6) なる Fredholm 型第 1 種の積分方程式を解く問題となる。これは一般にむずかしく、試算法によらずを得ない。つぎに試算法による数値例を示しておく。

(b) 数値例 ; 計算条件は、流域特性については、由良川大野ダム上流域 ($A = 350 \text{ km}^2$) の値を参考として、 $p = 0.6$, $B = 17.7 \text{ mm} \cdot \text{hr}^{0.6}$ を選び、この場合、 $T = 12 \text{ hr}$ 程度が適当

であるので、降雨特性については、 y の条件付確率分布として図-1に示す利0.2-
根川上流域における12時間降雨に関するもの、12時間雨量 R_{12} (mm) の周辺分
布として、前橋市における毎年最大値が適合したつぎのような Gumbel 分布

$$G_1(R_{12}) = \exp\{-\exp(-0.0245 R_{12} + 1.6852)\} \text{ ----- (7) を用いることにした。}$$

ここで行った試算法は、要するに、未知の g_2 も Gumbel 分布となると仮定 0.1 して、その未知パラメータを最小自乗法的な考え方で推定する方法である。

図-2は(5)式によって h_1 を求める際に必要な $f_{\pi}(y|t)$ の、 t が整数でない場合のものを推定するために図-1から求めたものである。図-3は(5)式によって得られた h_2 の離散値の例であり、離散区間のとり方は図中に示されている (R_{tm} は $t_{cp} \times r_{mp}$ のことで、 r_{mp} の替りにこれを等間隔にとった)。これを用いて試算法に

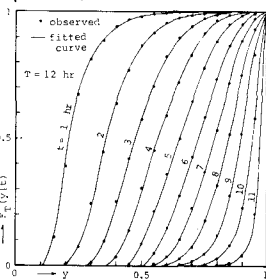


図-1 Yの経験分布

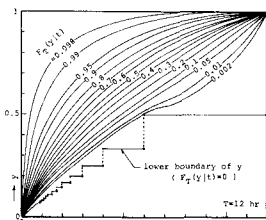
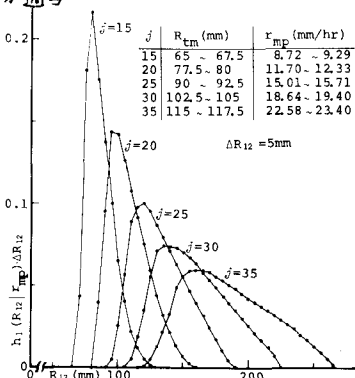


図-2 y と t の関係



15-3 $h_1(R_{12}|r_{mb})$ の例 (j: 区間番号)

よって得られた $G_2(r_{mp})$ の推定値は、 $G_2(r_{mp}) = \exp\{-\exp(-0.1916 r_{mp} + 1.4138)\}$ ----- (8) となり、同時に得られた所要の $h_2(r_{mp}|R_p)$ の離散値の例は図-4に示す。

3. 洪水ハイドログラフの形状仮定と一定率調節方式における判定規準

(a)形状の仮定; R_T と Q_p が与えられた場合のハイドログラフの概略の形状として、図-5に示すような三角形を仮定する。ここに、 t_{pc} (hr) は (2), (3) 式より、 $t_{pc} = B \left(\frac{3.6 Q_p}{A} \right)^{1/4}$ ----- (9), また t_b (hr) はこのハイドログラフの Volume が $R_T \cdot A$ に等しいとして、 $t_b = \frac{2 R_T A}{3.6 Q_p}$ ----- (10) である。これに、一定率調節方式を適用すると同図の太い実線のようになり、調節率 c はつぎのように表わせる。 $c = \frac{Q_p - Q_0}{Q_p - Q_0}$ ----- (11)。ここに、 Q_p は調節後のピーク流量、 Q_0 は調節開始流量である。またこのときダムに貯留される Volume V_s (m³) は (9), (10) 式を考慮して、つぎのようになることがわかる。

$$V_s = 1800(1-c) \left(1 - \frac{Q_0}{Q_p}\right)^2 \left\{ \frac{2(1-c) R_T A}{3.6} + c B \left(\frac{A}{3.6} \right)^{1/4} Q_p \right\} \text{ ----- (12)}$$

(b)判定規準; いまあるダムで、洪水の直前または初期に、 R_T が予測された場合を考える。その時点のダムの空容量を V_a (m³) とすれば、図-5に示すような所期の一定率調節ができるためには、 $V_a \geq V_s$ でなければならず、その限界条件は (12) 式より、 $V_a = V_s(c, Q_0, Q_p, R_T)$ ----- (13) と表わせる。この限界線は R_T - Q_p 平面上に V_a, c, Q_0 をパラメータとして描ける。

また、ダム下流の許容限界流量を Q_{pcr} とすれば、この一定率調節によって洪水を安全に流下せしめる条件 $Q_p \leq Q_{pcr}$ の限界線は (11) 式を考慮して、(13) 式より、 $V_a = V_s(Q_0, Q_p, R_T)$ ----- (14) と表わせ、これは V_a と Q_0 をパラメータとして R_T - Q_p 平面上に描ける。

任意の予測雨量 R_T に対して、 Q_p が上記のような限界線を越える確率は、2. に示した h_2 によって評価でき、そのときの V_a に応じて c または Q_0 を変更したり、退避命令等を発する際の定量的な判定基準となろう。

(c)数値例; 図-6は $p=0.6$, $B=17.7 \text{ mm}^{-0.4} \text{ hr}^{0.6}$, $A=360 \text{ km}^2$, $Q_{pcr}=1200 \text{ m}^3/\text{s}$, ダムの有効貯水容量を $20 \times 10^6 \text{ m}^3$ 程度とした場合、繁雑さを避けるため $Q_0=0$ として、 V_a および c の変化による上記の限界線を R_{12} - Q_p 平面上に描いたものである。太い破線群は $V_a=15 \times 10^6 \text{ m}^3$ の場合の c の変化による (13) 式の限界線、細い2点鎖線は $c=0.5$ として V_a が変化した場合の (13) 式の限界線、3本の太い実線は V_a の変化による (14) 式の限界線である。なお、太い一点鎖線は $V_a=20 \times 10^6 \text{ m}^3$ のとき、理想的なピークカット ($c=0, Q_0=Q_{pcr}$) をする場合の (14) 式に対応する。ここで、12時間雨量が、たとえば $R_{12}=100 \sim 150 \text{ mm}$ と予測され、その範囲で一樣な確率分布をするとした場合、2. で得た h_2 を用いて上記の限界線を越える洪水群が起る確率が計算される。たとえば、(14) 式のものについて、 $V_a=10, 15, 20 (\times 10^6 \text{ m}^3)$ に対して、それぞれ、0.143, 0.034, 0.004 と算定された。また、理想的なピークカットの場合は 10^{-4} 以下の order となった。なお、図中の $1-G_2(Q_p)$ は、この場合の予測雨量に基づく、予測される Q_p の超過確率であり、参考のために示した。

4. あとがき 以上を示したのとは一つの方法論であって、その基礎となる諸事項には検討の余地があることはいうまでもない。また、ここでは予測雨量が正しいとして示したが、もしその精度の評価がなされれば、それをこの方法に容易に組み入れられよう。また、この方法論は、ダムによる治水計画等の計画問題にも有効になろう。

参考文献 1) 石原友杉: 雨量の確率分布より最大流量の確率分布を推定する方法について、第28回年講、II-59, 昭. 48. 10.

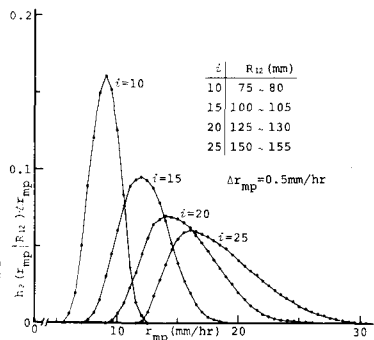


図-4 $h_2(r_{mp}|R_{12})$ の例 (c : 調節率)

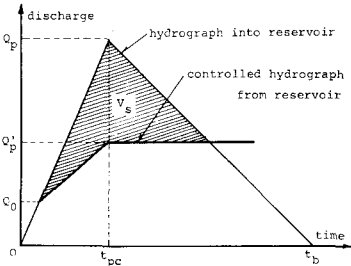


図-5 仮定ハイドログラフと一定率調節

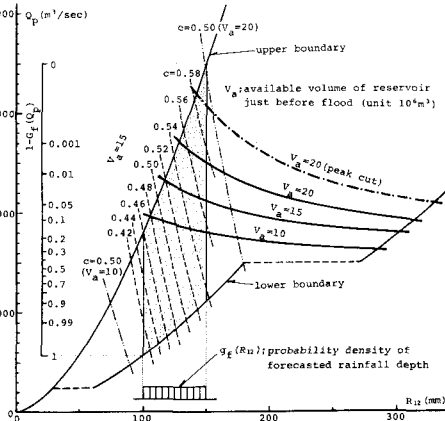


図-6 限界線と洪水群の分布範囲