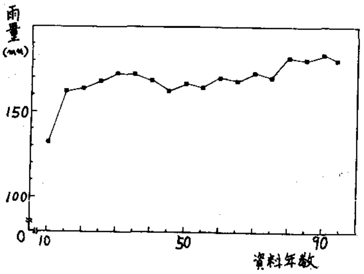
II－312　水文量発生の評価

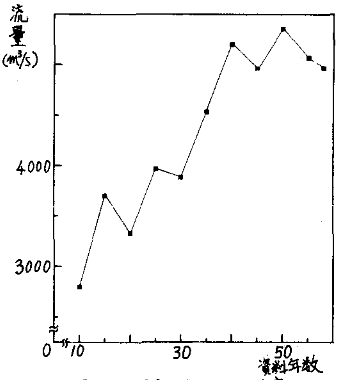
金沢大学　工学部　正会員　高瀬　信忠
○金沢大学　大学院　学生員　小川　正宏

1 はじめに：　わが国は世界有数の多雨地帯に属し，しかもその降雨が短時間に集中するという地理的にも気象的にも極めて災害を受けやすい条件の下にある。本報告は，まず最初に，統計資料年数による確率雨量の変化を考察し，次に，豪雨が発生するまでの時間を確率的に検討し，豪雨の危険性または安全性の評価について論じたものである。

2 統計資料年数による確率雨量の変化：　観測開始年から10年，15年，20年，…と5年づつ増して区切り，それぞれの資料区分についてThomas法とHazen法により確率計算した結果，2つの方法の平均値を図－1，2に示してある。これを見ると，雨量の方は全体的に変動は小さいが，流量の方は資料年数を増加させると大きく変動する。これは，河川流域の開発による人為的な影響が加わっているためと思われる。表－1はn年分のデータにより求まる雨量値と，全年データにより求まる雨量値の比を示したものである。



図－1　金沢市：100年確率



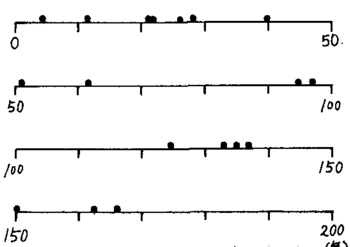
図－2　黒部川：100年確率

表－1　雨量資料数と推定雨量比の関係

資料年数	10		15		20		25		30		35	
再現期間(年)	10	100	10	100	10	100	10	100	10	100	10	100
金沢市	0.80	0.74	0.93	0.90	0.93	0.91	0.96	0.93	0.97	0.96	0.97	0.95
	40		45		50		55		60		65	
	10	100	10	100	10	100	10	100	10	100	10	100
	0.95	0.93	0.93	0.90	0.95	0.92	0.93	0.91	0.96	0.94	0.95	0.93
	70		75		80		85		90			
	10	100	10	100	10	100	10	100	10	100		
	0.97	0.96	0.96	0.94	1.01	1.01	1.00	1.00	1.01	1.02		

3 豪雨発生時間による安全性の評価

3－1 災害の集中性：　豪雨，洪水などの災害は，かなり接近した期間に引き続いて起こる場合が案外ある。例えば，10年に1回の割合で起こる災害について，1つの災害が起き，次の災害が起こるまでの期間を，電子計算機で乱数発生させてみると[1]，図－3のようになる。これからわかるように，長い期間起こらない場合もあれば，割合短期間に起こる場合もあるが，これは理論的にもいえる。ある年に災害が発生する確率をPとするとき，ある年にこの災害が起きて，その後$(n+1)$年目に起こる確率は$(1-P)^n P$である。すなわち，災害の起きるまでの期間の確率は，指数的に小さくなるので，短期間の方が起こる確率は大きいことになる。



図－3　乱数発生による災害の生起

3－2 安全性の評価：　ここでは，豪雨の生起過程がポアソン過程に従うと仮定する。この仮定の下では，個々の豪雨発生間隔の分布は指数分布に従うことが知られている。そして指数分布の確率密度関数の式は次式で表わされる[2]。

$$f_1(t)=\lambda e^{-\lambda t}\ ,\quad E_1(t)=1/\lambda\ ,\quad V_1(t)=1/\lambda^2 \qquad \text{——(1)}$$

ところで，構造物が機能している期間，すなわち，耐用期間内に発生する豪雨の回数は1回だけとは限らず，複

数回の豪雨の生起も問題になる。豪雨がk回発生するまでの時間間隔はガンマ分布に従うことが知られている。[2]
すなわち

$$f_k(t)=\frac{(\lambda t)^{k-1}}{(k-1)!}\lambda e^{-\lambda t},\quad E_k(t)=k/\lambda,\quad V_k(t)=k/\lambda^2 \qquad \text{——}(2)$$

と表わされる。そして，式(1)，(2)を発生時間tで積分すれば，豪雨発生時間による確率的評価をすることができる。いま，$\lambda=\frac{A}{100}$（A：100年当りの豪雨発生件数，λ：1年当りの豪雨発生件数）とおくと，あるAに対して，時間tの間に豪雨が発生する確率，および時間tの間に豪雨が発生しない確率がそれぞれ式(3)，(4)で示される。

$$F_1(t)=\int_0^t f_1(t)\,dt=1-e^{-\frac{A}{100}t} \qquad \text{——}(3)$$

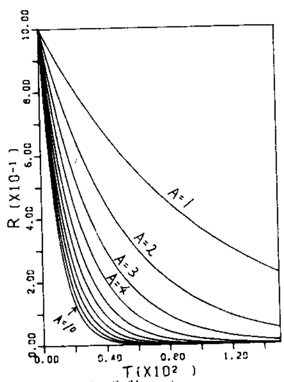
$$R_1(t)=1-F_1(t)=e^{-\frac{A}{100}t} \qquad \text{——}(4)$$

同様に，時間tの間にk件の豪雨が発生する確率，および時間tの間にk件の豪雨が発生しない確率として式(5)，(6)が得られる。

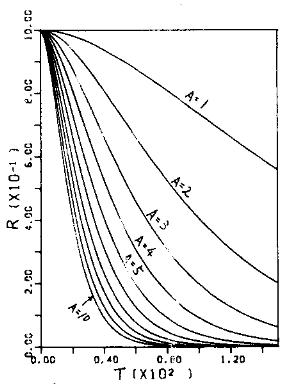
$$F_k(t)=\int_0^t f_k(t)\,dt=1-\sum_{i=0}^{k-1}\frac{(\frac{A}{100}t)^i}{i!}e^{-\frac{A}{100}t} \qquad \text{——}(5)$$

$$R_k(t)=1-F_k(t)=\sum_{i=0}^{k-1}\frac{(\frac{A}{100}t)^i}{i!}e^{-\frac{A}{100}t} \qquad \text{——}(6)$$

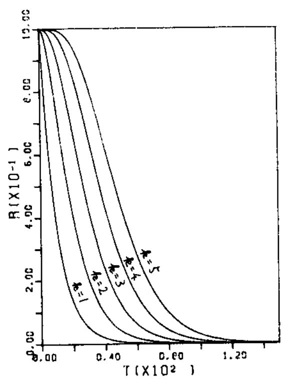
図－4，5は豪雨件数をそれぞれ$k=1$，$k=2$としてA＝1～10の範囲で変化させ，t＝0～150年まで求めた結果を示した。また図－6はA＝10としてk＝1～5の範囲で変化させ，t＝0～150年まで求めた結果を示した。これらの図に示されるように，任意の豪雨件数とAの組合せに対して，豪雨発生時間の確率値が求められるので，豪雨の発生した時間がわかると，そのときの確率値を下に安全性の評価ができる。



図－4 指数分布



図－5 ガンマ分布（k=2）



図－6 ガンマ分布（A=10）

4 おわりに：

豪雨，洪水などの災害は1度起き，再びこの災害が起こるまでの期間が短い場合もあるので，任意のAと豪雨件数の組合せに対して豪雨発生期間の確率値を求め，この値を下に安全性の評価をして防災対策を行う必要があるように思われる。

《参考文献》 (1)大地羊三：コンピュータによる土木工学演習，森北出版，1973
(2)伊藤学・亀田弘行訳：土木・建築のための確率・統計の基礎，丸善，1977