降雨および無降雨の継続時間に関する確率論的考察

京都大学防災研究所　正員　石原 安雄
同　正員　○友杉 邦雄

1. はしがき　本報告は，多雨期の時間雨量資料[1]について，とくに降雨および無降雨の継続時間に着目し，まずこれらの評価の基本となる一降雨の定義について若干の考察を加えたのち，それらの統計的特性を解析・検討したものであり，降雨時系列のシミュレーションモデルを構成する際，あるいはダム操作に際して一つの示唆となろう。

2. 一降雨の定義について　いわゆる"一連降雨"はしばしば間歇的であり，数分～十数時間の無降雨時間が介在しており，こうした場合，無降雨時間がいくら以上であれば，その前後の降雨を統計的に別のものとして扱えるかということが問題である。この点についての一つの客観的方法として，Grace と Eagleson[2] は夏期降雨の10分単位の記録についてその列位(rank)相関係数を判定の規準としている。その結果130分以上無降雨が続けば，その前後の降雨は統計的に独立とみなせるとして，降雨・無降雨の確率分布を調らべ，それらが共にWeibull分布に従うことを示し，興味深い。ここに，Weibull分布とはその分布関数が次式で表わされるものである。　$F(x)=1-\exp\{-(\frac{x-a}{b})^c\}$ …………(1)

ところで，ここで解析の対象とするのは1時間単位の記録であって，Grace らと同じ方法をとることに無理を感じ，また一降雨の定義を変えるとどのようになるかということに興味があったので，ここでは一降雨の定義を限定しないでそれらの分布を調べることにした。ただし，参考のためにつぎのような確率　$P_{e\tau}(t,r)=(t-\tau+1)\binom{r-1}{t-\tau-1}\Big/\binom{t+r-1}{r}$ ……(2)
を考えてみた。これは一列に並んだ t コの箱(時間単位)に r コのボール(雨量単位)をランダムに配分するとき，連続するちょうど τ コの箱のみが"空"(無降雨)となる確率である。表－1はこの数値例であるが，たとえば時間単位として1時間，雨量単位としてその中で観測可能な0.01mm程度とすれば，$r=5\times10^3$ ($\approx 50^{mm}$)，$t=10$ (hr) のとき $\tau=2$(hr) となる確率は 2.6×10^{-5} という小さな値となり，この無降雨時間 $\tau=2$ (hr) の前後の降雨は別の配分過程による降雨と考える方が妥当であろうということである。この考え方によると無降雨時間の下限はせいぜい1時間程度と判定される。もちろん降雨の時間配分過程は pure random ではないが，1時間単位の場合はランダムに近い[3]ので，この判定法もある程度有効であろう。

3. 降雨資料の概要　解析の対象とした資料は利根川八斗島上流域における昭和11～34年の38洪水時のものであり，資料数を多くするため，35地点の記録をまとめて一つの標本集合とした。この点かなり問題であるが，今回は同地域における平均的な降雨・無降雨の継続時間の分布特性をみるという意味である程度ゆるされよう。

表－1　$P_{e\tau}(t,r)$ の例

t	τ \ r	5×10^2	10^3	5×10^3	10^4	2×10^4
5	1	3.9×10^{-2}	2.0×10^{-2}	4.0×10^{-3}	2.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}
	2	1.9×10^{-4}	4.7×10^{-5}	1.9×10^{-6}	4.8×10^{-7}	1.2×10^{-7}
10	1	1.5×10^{-1}	8.3×10^{-2}	1.8×10^{-2}	8.9×10^{-3}	4.5×10^{-3}
	2	2.2×10^{-3}	6.0×10^{-4}	2.6×10^{-5}	6.4×10^{-6}	1.6×10^{-6}
15	1	2.9×10^{-1}	1.7×10^{-1}	4.0×10^{-2}	2.1×10^{-2}	1.0×10^{-2}
	2	7.1×10^{-3}	2.1×10^{-3}	9.8×10^{-5}	2.5×10^{-5}	6.3×10^{-6}
20	1	3.8×10^{-1}	2.7×10^{-1}	7.1×10^{-2}	3.7×10^{-2}	1.9×10^{-2}
	2	1.3×10^{-2}	4.6×10^{-3}	2.4×10^{-4}	6.3×10^{-5}	1.6×10^{-5}

4. 解析結果と考察　図－1は一降雨の定義の差による降雨継続時間の超過確率分布の差異を示すとともに，そのWeibull分布との適合性を示したものである。$\tau=1$，2 hr の場合は非常によく合っているが，$\tau=3$ hr では適合度は低下し，4，6 hr になる

とさらに低下する。

図-2は無降雨継続時間の超過確率分布の一降雨の定義の差による差異を示したものであり，いずれもWeibull分布はもちろん，名のついた分布には適合しない。ただ，$\tau=1\,hr$の場合について，$t_{z1}>42\,hr$を除外してみると同図に示すように，Weibull分布にほぼ適合する。

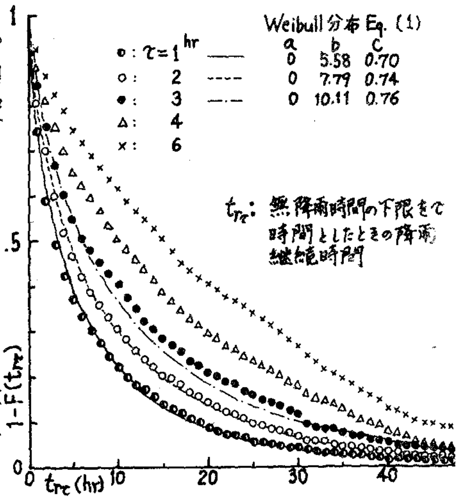

図-1 降雨継続時間の超過確率分布

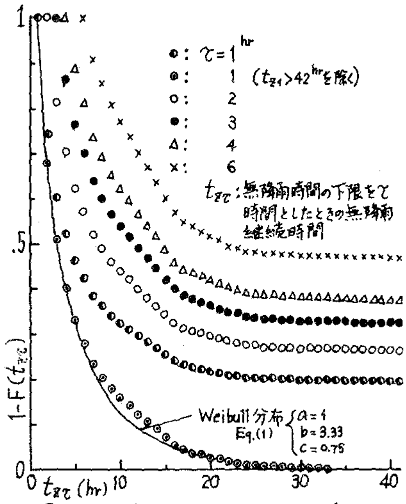

図-2 無降雨継続時間の超過確率分布

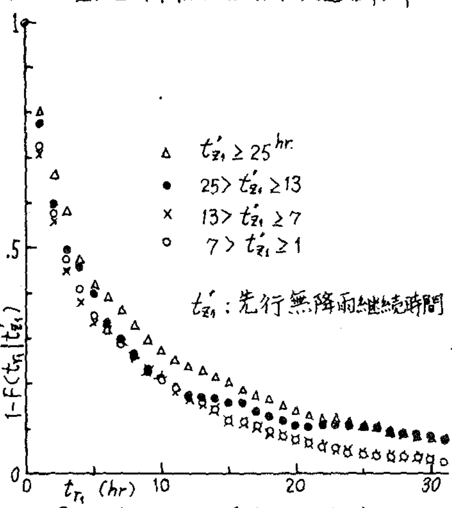

図-3 降雨継続時間の条件付超過確率分布

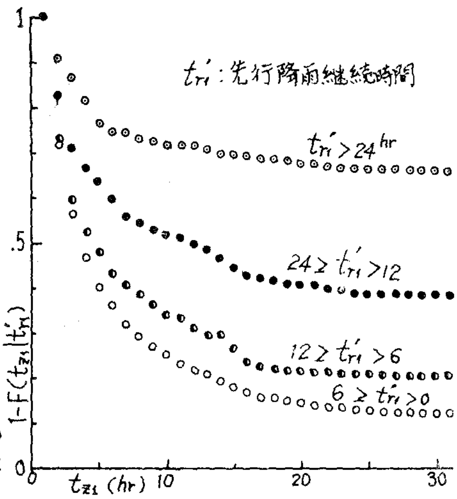

図-4 無降雨継続時間の条件付超過確率分布

Weibull分布に適合することがその一降雨の定義の正当性を保証するものではなかろうが，とにかく名のついた分布に適合することは解析的取り扱いを容易にするという点で優れている。たとえば，降雨継続時間がWeibull分布(1)式に従うなら，降雨がすでにt時間降り続いた場合，その後さらにs時間以上降り続く確率は $P(s|t)=\exp\{-(\frac{t+s-a}{b})^c+(\frac{t-a}{b})^c\}$ ……(3) として評価できる。この式で$c<1$を考慮すれば，同じsに対してもtが大きいほど$P(s|t)$は大となり，一つの興味深い特性といえる。

最後に，図-3と図-4についてであるが，前者は先行する無降雨継続時間の長さが，つぎに起る降雨継続時間の分布にどのような影響があるかを$\tau=1\,hr$について示したものであり，後者はその逆の場合のものである。傾向は同様であるが，後者の場合の方がはるかに大きい影響があることがわかる。こうした点については，降雨時系列の従来のシミュレーションモデルに取り入れられていないようであり，注目に値する結果といえよう。

参考文献 1) 建設省利根川統管編；利根川上流洪水調節計画解析検討報告書，雨量資料編I，昭和42年3月.
2) Grace, R.A. & P.S. Eagleson ; The synthesis of short-time increment rainfall sequences, Hydro. Labo. Report, No.91, Dep. of civil Eng., MIT, May, 1966.
3) 石原安雄・友杉邦雄；降雨の時間配分に関する確率論的考察，京大防災研年報，第14号B，昭和46年4月.