大阪の等危険度線

近畿大学理工学部 中西祐啓
大阪大学工学部 室田 明
近畿大学理工学部 江藤剛治

1．等危険度線理論の概要

大阪の雨量について等危険度線を描く。等危険度線は一定の治水安全度を確保するに必要な排水施設容量 y_0 と貯留施設容量 z_0 の関係を表わす曲線である。等危険度線の式は次のとおりである。

$$z_0^u/z_0=\{(y_0^u-y_0)/y_0^u\}^s \tag{1}$$

この式は3個のパラメーターを含む。すなわち，y_0^u，z_0^u は所与の治水安全度に対応する排水施設容量，治水施設容量。s はハイドログラフ（ハイエトグラフ）の確率統計的特性，および貯留施設の水理構造によって定まるパラメーター。対象とする地点・水文量を指定すれば，貯留施設の水理構造のみによって定まる。すなわち，

$$s=s_\infty+(s_0-s_\infty)e^{-\sqrt{p}} \tag{2}$$

ここに，p は貯留施設の放流方式を貯留関数 $q=z'^p$ で表示したときの指数。z' は貯留量，q はそれに対する放流量。s_0 は pが 0のとき，すなわち一定量放流方式に対する s の値，s_∞ は sが∞のとき，すなわち全量カット方式に対するs の値。いまのところ次のような値が得られている。

洪水継続時間とピーク流量が独立のとき，　$s_0=3$，　$s_\infty=0.7$　(3)

洪水継続時間とピーク流量が線形従属のとき，　$s_0=2$，　$s_\infty=0.4$　(4)

都市河川では前者の値に近い値を採用してよいと考えている。

都市河川においては，雨についてただ一つの等危険度線の式を求めておき，これに適当な係数を乗じて，任意の規模，任意の放流方式（ただし自然調節型に限る）の貯留施設について治水安全度を評価する試みも示されている。この場合，s の値としては式(3) を採用する。次式により雨量換算貯留容量 z_{or}（mm単位）・排水容量 y_{or}（mm/hr 単位）を，もとの容量 z_0（m^3 単位）・y_0（m^3/sec単位）に変換する。

$$z_0=f\cdot A\cdot z_{or}\ ,\qquad y_0=1/3.6\cdot f_p\cdot A\cdot\beta\cdot y_{or} \tag{5}$$

ここに，Aは流域面積，f は流出率，f_p はピーク流出係数，βはＤＤ関係から与えられる係数。

以上より，雨の等危険度線を作るには，一雨雨量について，ピーク雨量と総雨量の確率分布が，それぞれ個別に求められていればよいことになる。あとは貯留施設の水理構造から pの値，p からs の値が求まる。また水文解析で常用される流域面積，ピーク流出係数，流出率，ＤＤ関係等を用いて，雨量単位で表わされた諸量を流量単位に変換する。

以上を，大阪管区気象台観測の時間雨量資料（1900～1983年，6～10月）に適用する。

Masanori NAKANISHI, Akira MUROTA and Takeharu ETOH

2．問題点

実際に大阪の（雨の）等危険度線を作るにあたって，次のような大きな問題が生じた。

① 1957年 6月に極端に大きな雨が降っている。たとえば24時間総雨量は 284mmであるが，これををガンベル分布で評価すると数100 年～数1000年確率の雨となる。近傍の他の観測所でも同程度の雨が観測されているので観測の誤りではない。実際にそのような雨が降っているにもかかわらず，総雨量の評価にガンベル分布を採用して等危険度線を描くと，そのような大雨が生起する可能性はまず無いということになる。

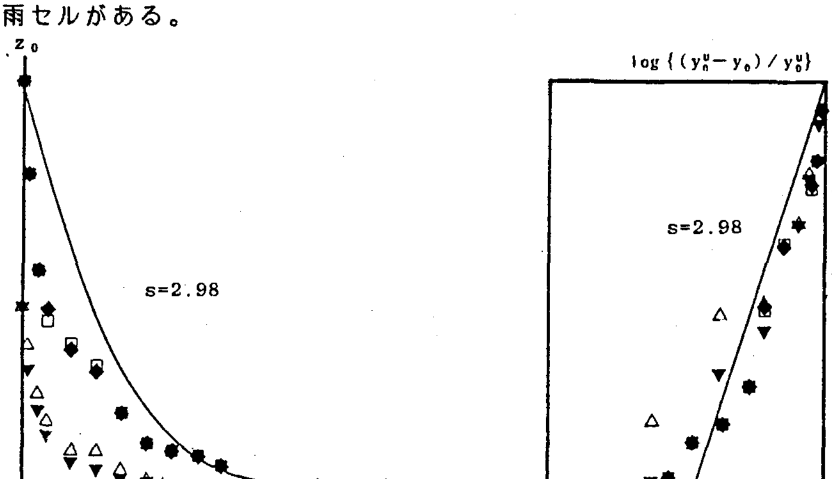
② 一雨をどう定義するか。とくに 1 mm/hr 以下，あるいはたかだか 2～3 mm/hr の弱い雨がポツポツと降るというような状態をどう取り扱うか。

③ 一雨の定義の仕方によっては，式(1) が，実測降雨資料から作った等危険度線に合わない。たとえばかりに，記録上 0 mm/hrの雨（降雨はあったが微弱なため定量不可能な雨，現在では 0.5 mm/hr未満の雨）も降雨と見なし，24時間無降雨が続くと別の一雨と見なして等危険度線を描いたものを図－１に示している。（降雨換算）排水容量が小さい所では，実測値から得られる貯留容量は，式(1) に比べてより急激に立ち上がることがわかる。

3．降雨場の特性とその考慮

以下これらの問題の原因の究明・対処の方法等について述べる。

降雨のレーダー観測等，最近の研究により，降雨場はかなりはっきりした階層的な構造を持つことが明らかになってきた。背景となるシノプティック・スケールの弱い雨量の降雨場の中に，比較的雨の強い領域であるメソ・スケール（あるいはミクロ・メソ・スケール）の降雨場がある。幅数 10km ，長さ100 ～300km の降雨バンド等はその代表例である。その中に降雨クラスターや，さらに非常に強い対流が発達する直径数 km ，寿命 10 分オーダーの降雨セルがある。



□;T=200(PDS), ◆;T=200(AMS), △;T=2(PDS), ▼;T=2(AMS)

図－１　雨による等危険度線

注1) 実線：式(1),ただし， y_0 ，Z_0 等は y_{or} ，Z_{cr} 等

注2) PDS,AMS：それぞれ全資料，年最大値資料を用いて描いたもの，T は確率年

等危険度線の理論的背景である一雨降雨の確率模型は，継続時間 1～10数時間程度の降雨群を対象とし，降雨波形としては三角形波形を仮定して構築されている。大体ミクロ・メソ・スケール程度の降雨群を解析対象としていると考えてよい。たとえばあまり小さい降雨までを含めると三角形波形の仮定が成り立たなくなり，問題点③のような問題が生じる。またシノプティック・スケールの弱い降雨場の雨量と，より小スケールの強い降雨域の雨量の確率的特性とは明らかに異なる。このことを考慮すれば，①の問題に対しても，説得力のある説明がつく可能性もある。さらに弱い降雨を無視すれば，②の問題は自動的に片付く可能性が高い。以上の考察より，ある閾値以下の小さい雨を無視して再度統計解析を行うと同時に，一雨総雨量については，理論的な考察により，新たな確率分布関数を導き，これを用いて確率評価を行った。

閾値の選びかたに任意性が残る。ここでは主として工学的な見地から，次の基準で閾値を決めることにした。「洪水到達時間内の平均降雨強度を確率評価し，その計画規模相当値の５％とする。」 都市河川では，到達時間は１時間程度である。計画規模は 10 年確率規模程度である。よってここでは閾値として， 10 年確率時間雨量の５％を採用する。

４．総雨量の確率分布

著者らは総雨量の確率分布として「平方根Ｋ分布」を提案した。これは次のような仮定のもとに導かれた確率分布である。

① 一雨降雨の継続時間とピーク雨量は独立。② いずれかは指数分布に他方はガンマ分布に従う。③ 総雨量は両者の積（の1/2 ）に比例。

これらはいずれもあまり無理のない仮定である。

平方根Ｋ分布で変数が大きい場合を考え，分布関数中の第２種変型ベッセル関数に漸近展開公式を適用すると，ある程度総雨量が大きい場合の総雨量の確率密度関数は次の簡単な式で表わされることがわかる。

$$f(X) = \beta/2 \exp(-\sqrt{\beta\lambda}) \qquad (6)$$

式形よりこれを平方根指数分布とよぶことにする。

一方，ある期間内の生起回数がポアソン分布に従い，一回生起したときの確率密度関数，分布関数が $H(x)$ で表わされる現象の，その期間内の最大値の確率分布関数は次式で表わされる。

$$F(x) = \exp[-\lambda \exp\{1-H(x)\}] \qquad (7)$$

たとえば一回生起したときの確率分布が指数分布に従うときは，最大値分布は次のガンベル分布に従う。

$$F(x) = \exp\{-\lambda \exp(-\beta x)\} \qquad (x \geq 0 \text{のとき}) \qquad (8)$$

また平方根指数分布に従うときは，次の平方根指数型最大値分布に従う。

$$F(x) = \exp\{-\lambda(1+\sqrt{\beta x})\exp(-\sqrt{\beta x})\} \qquad (9)$$

５．実測資料への適用

ガンベル分布のあてはめより、10年確率１時間雨量は 49.4mm である。よって閾値は 2.47mm/hr となる。それ以下の雨はすべて 0 mm とする。ただし等危険度線を描くとき

は，計算上得られた図を，排水容量の正方向に 2.47mm だけ平行移動する。

得られた年最大値の例を表－１に示す。ここに z_6 ， z_{12}は， 0 mm の降雨が 6，12，時間継続すれば別の一雨降雨と見なしたときの一雨の年最大値を意味する。これよりわかるように，上記のようなデータ処理を施せば， z_6 ， z_{12} はほぼ等しく，かつ24時間総雨量の年最大値とほとんど完全に一致する。すなわち一雨の定義にあまり影響されない安定した一雨の年最大値系列が得られる。

表－１　雨量の年最大値系列（抜粋，単位：mm）

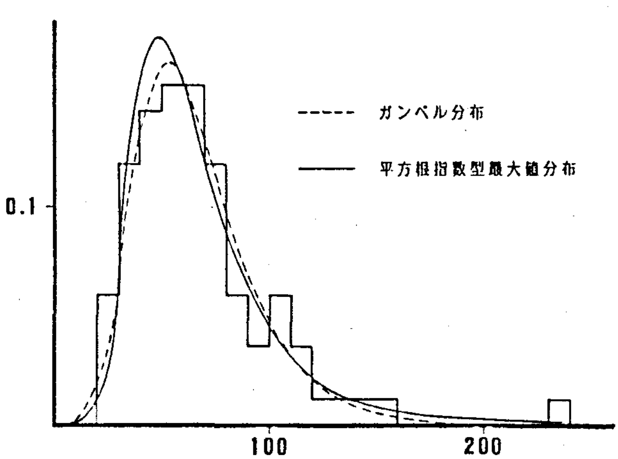
西暦	z_6	z_{12}	z_{24}	24時間雨量
1951	64.4	64.4	64.4	64.4
1952	120.0	120.0	120.0	119.7
1953	107.9	107.9	107.9	107.7
1954	102.9	108.3	123.4	106.9
1955	31.4	33.1	33.1	33.1
1956	106.9	106.9	106.9	65.5
1957	237.2	237.2	237.2	237.0
1958	28.0	36.0	36.0	28.8
1959	130.9	130.9	130.9	110.0
1960	52.6	52.6	80.9	56.0

これにガンベル分布と平方根指数型最大値分布をあてはめ，比較したものを表－２，図－２に示す。これよりわかるように平方根指数分布の方が尤度が高い。相対平均尤度差で 2.83 %高い。ただし総雨量が小さい所ではみかけ上ガンベル分布の方がよくあい，大きいところでは平方根指数型最大値分布の方がよくあっているようにみえる。1957年の24時間総雨量は， 2.47mm 以下を 0 mm とした系列では 237 mm となる。これを得られたガンベル分布と平方根指数型最大値分布で確率評価すると，それぞれ 3610 年に一回，380 年に一回の降雨規模となる。前者はとても納得しがたい値であるが，後者では84年間の資料の中に一度だけ生起する確率は約 1/4.5となりそれほど無理の無い値であることがわかる。

このようにある閾値以下の雨を無降雨と見なすことにより，先述の種々の問題点をおおむね解決することができる。最終的に得られた等危険度線等については当日紹介する。

表－２　ガンベル分布と平方根指数型最大値分布との比較

	λ	β	平均尤度	相対平均尤度差
平方根指数型	49.6	0.6530	0.00912	―――
ガンベル分布	11.1	0.0447	0.00886	2.83%



図－２　ガンベル分布と平方根指数型最大値分布との比較

表－３　上位データに対応する超過確率

順　位	１　位	２　位	３　位
mm/hr	237.0	155.4	143.4
平方根指数型	.00270	.02338	.03332
ガンベル分布	.00026	.01014	.01734
確　率　紙*)	.00595	.01786	.02976

*)　ハーゼン・プロットによる
　　プロッティング・ポジション