

降雨災害対策における超過確率年の例と問題点

木下 武雄*

国立防災科学技術センター

Examples of Return Periods of Rainfall for Disaster Countermeasures

By

Takeo Kinoshita

National Research Center for Disaster Prevention, Japan

Abstract

Return periods of rainfall for disaster countermeasures in Japan are summarized in this paper. The return period of rainfall is generally considered as an adequate index for safety design due to long observational periods of rainfall and to independence from human effects. The design rainfall for disaster countermeasures can be determined by a probability analysis with the given return period. Examples in various fields are listed as follows.

(a) River improvement works for flood control

The class A rivers:	100~200 years,
Urban rivers:	50 years,
Common rivers:	10~50 years.

(b) Design flood for a dam

Maximum of $\left\{ \begin{array}{l} \text{---}200\text{-year return period} \\ \text{---}the\ observed\ maximum \end{array} \right.$ for spillway of a concrete dam

The same as above $\times 1.2$ for spillway of a fill dam.

(c) Tailing dams for mining

An ordinary drainage: 100 years,
and an emergency drainage: Maximum of $\left\{ \begin{array}{l} \text{---}200\text{ years} \\ \text{---}the\ observed\ maximum. \end{array} \right.$

(d) Drainage systems of roads

	Road surface Bank slope	Culvert Important drainage
A	3 years	more than 10 years
B	2	7 years
C	1	5

* 第1研究部

where

Design traffic per day	Express way Autobahn	National route	Prefectural route	City, town, village route
more than 10,000	A	A	A	A
10,000~4,000	A	A, B	A, B	A, B
4,000~ 500	A, B	B	B	B, C
less than 500	—	—	C	C

(e) Retarding reservoirs for new town projects

The reservoir capacities are determined as increments of runoff volume due to new town projects under the condition of 30-year return period for temporary reservoirs and 50-year return period for permanent reservoirs.

(f) Sewerage system

For sewerage systems, 5~10-year return periods are used in principle. In addition, the author makes a few comments on the actual procedures of the probability analysis.

1. ま え が き

降雨によって引き起こされる災害は、これまで河川において発生する洪水が主たるものであったが、最近では社会の発展により、降雨が引き起こす問題の範囲も広がって、河川の洪水だけにとどまらなくなって来た。

この場合、降雨のどのような性質で災害対策を考えるべきかは議論の多いところで、一雨雨量をとることが適切か、雨量強度かは対象によりけりで貯水池の洪水調節容量の決定の場合は前者がより重要であるし、貯水池よりの放流施設の能力については後者がより重要である。また、単に何 mm/時という数字が適切か、あるいは既往最大とか何番目といった順序づけが必要かという議論もあろう。何mm/時という数字は対策工事の設計に必要であるが、九州の50mm/時と北海道の50mm/時とでその起こり方、従ってその降雨の引き起こす影響の大きさに著しい相違があるので、影響度という見方で全国統一をしたい場合には、それぞれの地域での降雨の発生のしかたを考慮して、何年に1回の割合で起こるのかという表し方をする方法がある。普通、確率降雨などと呼ばれているもので、この数字だけで何に使えるわけのものではないが横並びに色々な対象・対策を評価するには便利なものである。これを用いて降雨に関する各種の防災構造物がどのように考えられ、設計されているかを手許にある2、3の材料のみで行きたい。このような確率の手法には幾つもの疑問点があり、それらについては後述するが、防災構造物の位置づけという意見でそれらを列挙するわけである。

2. 確率降雨

確率降雨を考えるに当って、対象とする降雨の継続時間と何年に1回という割合との二つ

の要素を決めなければならない。

継続時間は対象の時定数と一致すべきであって、大流域なら長く小流域なら短くとる。降雨からさらに流量にして対策を作る場合、合理式を用いるならば同式で用いられる洪水の到達時間がこれに相当する。これが決まれば、その時間内の降雨のデータを十分長い統計期間にわたって収集する。

通常、その降雨データの年最大値の頻度分布をとる。それを適当な確率密度関数 $f(x)$ にあてはめて、ある値 x を越える確率を $q(x)$ とおくと

$$q(x) = \int_x^{\infty} f(u) du$$

となって $q(x)$ を x の超過確率と呼ぶ。ただし、 f の変数として x の代わりに u を用いた。この x を越える割合が T 年に 1 回と期待される時、この T 年をリターンペリオド（確率年）、 x を T 年確率降雨と呼ぶ。以上は土木学会水理公式集による表現に拠った。

上記の考え方から

$$T = 1/q(x)$$

である。

これはあくまで降雨を確率現象としてみるという仮定に基づいているので、確率という考察なしに T 年間隔でそのような降雨が起こることを主張しているわけではないが若干の混乱があるようである。この点に関し菅原（1979）は＜水文雑話Ⅱ＞100年洪水において興味ある例を載せている。降雨に周期性とか長期傾向があれば話は別でこの件は目下調査中である。確率を前提としているのだから100年確率降雨が3年続けて発生しても驚いてはいけないわけである。

それでは具体的な確率降雨の例をみていこう。

3. 河川の洪水を防ぐための計画における確率降雨

「洪水防御計画は、河川の洪水による災害を防止又は軽減するため、計画基準点において計画の基本となる洪水のハイドログラフ（以下基本高水という）を設定し、この基本高水に対してこの計画の目的とする洪水防御効果が確保されるよう策定するものとする。」と建設省河川砂防技術基準（案）計画編に定めている。さらに次のように定めている。「基本高水を設定する方法としては種々の手法があるが、一般には計画降雨を定め、これにより求めることを標準とする。計画降雨は、計画基準点ごと（略）に定める。」「計画降雨は、降雨量、降雨量の時間分布及び降雨量の地域分布の3つの要素で表わすものとする。」

「計画の規模は一般には計画降雨の降雨量の年超過確率で評価するものとし、その決定に当たっては河川の重要度を重視するとともに、既往洪水による被害の実態、経済効果等を総合的に考慮して定めるものとする。」

この河川砂防技術基準でわかるように、河川の計画には流量が必要であるが、超過確率を

表 1 河川の重要度と計画の規模

河川の重要度	計画の規模 (計画降雨の降雨量の超過確率年)*
A 級	200 以上
B 級	100~200
C 級	50~100
D 級	10~ 50
E 級	10 以下

*年超過確率の逆数

表 2 1級水系の超過確率年

超過確率年	水 系 名
200年	利根川, 荒川 (東京・埼玉), 多摩川, 庄内川, 木曾川, 淀川, 大和川, 太田川
150年	石狩川, 十勝川, 北上川, 名取川, 阿武隈川, 雄物川, 最上川, 鶴見川, 相模川, 阿賀野川, 信濃川, 常願寺川, 神通川, 庄川, 狩野川, 富士川, 安倍川, 大井川, 天竜川, 豊川, 矢作川, 鈴鹿川, 加古川, 紀の川, 九頭竜川, 斐伊川, 吉井川, 旭川, 高梁川, 芦田川, 吉野川, 重信川, 遠賀川, 筑後川, 白川, 緑川, 大分川, 大淀川
100年	天益川, 渚滑川, 湧別川, 常呂川, 網走川, 留萌川, 尻別川, 後志利別川, 鶴川, 沙流川, 釧路川, 岩木川, 高瀬川, 馬淵川, 鳴瀬川, 米代川, 子吉川, 赤川, 久慈川, 那珂川, 荒川 (新潟・山形), 関川, 姫川, 黒部川, 小矢部川, 手取川, 梯川, 菊川, 雲出川, 櫛田川, 宮川, 山良川, 円山川, 揖保川, 新宮川, 北川, 千代川, 天神川, 日野川, 江の川, 高津川, 小瀬川, 佐波川, 那賀川, 土器川, 肱川, 物部川, 仁淀川, 渡川, 山回川, 矢部川, 松浦川, 六角川, 嘉瀬川, 本明川, 菊地川, 球磨川, 大野川, 番匠川, 五ヶ瀬川, 小丸川, 川内川, 肝属川

注 1. 水系内の最大値で分類した。

2. 予定として作業中 (河川審議会に上提予定) 分も含む

決めて降雨を決めて流量を求めるという手法が用いられている。これはこれまで計画洪水流量として概念的な数値が与えられたり既往最大の洪水流量を用いたりしていたものを上記の手法で評価してみてどんな超過確率になっているかを水系・河川ごとに知り、それらを横並びにして相互に超過確率を揃えて行くものである。このように降雨から求めるのは、流量は人為的影響で変りやすいため、人為要素と別個に決められる量としての降雨が採り上げられたこと、及び降雨データの期間が相当に長いためである。

河川の重要度はA~Eの5段階に分かれ、計画の規模は降雨量の超過確率年で表1のように表わす。1級河川の主要区間においてはA~B、1級河川のその他の区間及び2級河川においては、都市河川はC、一般河川は重要度に応じてDあるいはEが採用されている例が多い。

では具体的に超過確率年と河川とがどうなっているかは表2を参照されたい。1級河川として政令で定められた109水系に関し水系内の最も大きい超過確率年で分類してある。なお正式には河川審議会にまだ審議されていない分もあり、予定を含むと理解されたい。これによると大都市に直接影響を持つ大河川の8水系が200年、大河川及び都市に直接影響を持つ

38水系が150年となっている。

4. ダム設計洪水流量における確率

河川管理施設等構造令によれば、「ダム直上流の地点において200年につき1回の割合で発生するものと予想される洪水の流量、当該地点において発生した最大の洪水の流量又は当該ダムに係る流域と水象もしくは気象が類似する流域のそれぞれにおいて発生した最大の洪水に係る水象若しくは気象の観測の結果に照らして当該地点に発生するおそれがあると認められる洪水の流量のうちいずれか大きい流量（フィルダムにあっては、当該流量の1.2倍の流量）」をダム設計洪水流量という。ダムの洪水吐きはダム設計洪水流量以下の流水を安全に流下できる構造物とする。

同構造令のほかに、建設省河川砂防技術基準（案）計画編で洪水吐設計流量を「確率的に100年に1回起こると推定される洪水流量、又は既往最大洪水流量のいずれか大きい方の流量」として、洪水吐は洪水吐設計流量に余裕を考慮した流量を設計最高水位以下で流下させるものとし、この余裕とはコンクリートダムにあっては洪水吐設計流量の1.2倍、フィルダムにあってはそれの更に1.2倍としている。100年確率の1.2倍はほぼ200年確率に近いと考えられることから、河川管理施設等構造令と同基準（案）とはほぼ消息が合っていると見えよう。

5. 捨石鉱さい堆積場建設のための確率雨量

捨石鉱さいたい積場建設基準及び解説は通商産業省立地公害局が昭和48年9月4日付で、昭和29年から用いられていた同名の基準を改正したものである。標題通りに鉱山の捨石や鉱さいを溪谷などに設けたたい積場にたい積させて行く時の建設基準で、この中の排水施設について述べる。

「たい積場には、原則として、場外水排除施設、場内水排除施設及び非常排水路を設けなければならない。」場外水とは沢水、山腹水その他の堆積場外よりの水であり、場内水とは堆積物の含有水、雨水、湧水その他堆積場内の水である。

「場外水排除施設並びに場内水排除施設の通水能力を決定するための、沢及び山腹等の降雨による流出量は、次の各号によって定めるものとする。

一、通常の場合においては、少くとも100年に1回起こると考えられる最大流出量をとること。（以下計算方法の指定——略）」

「捨石、鉱さいたい積場については、沢水排水路、山腹水路等の故障により、場外水がたい積場内に流入した場合を考慮し、非常排水路を設けなければならない。非常排水路は、次の各号により設けるものとする。

一、非常排水路は、原則として専用の排水路とすること。（中略）

表 3 道路区分による選定基準

道路の種類別 計画交通量(台/日)	高速自動車国道および自動車専用道路	一般国道	都道府県道	市町村道
10,000以上	A	A	A	A
10,000~4,000	A	A, B	A, B	A, B
4,000~ 500	A, B	B	B	B, C
500 未満	—	—	C	C

表 4 排水施設別採用降雨確率年の標準

分 類	排水の程度	降 雨 確 率 年	
		(イ)	(ロ)
A	高 い	3 年	10 年 以 上
B	一 般 的	2 年	7 年
C	低 い	1 年	5 年

注) (イ)は路面や小規模なり面など、一般の道路排水施設に適用する。

(ロ)は長大な自然斜面から流出する水を排除する道路横断排水施設など、重要な排水施設に適用する。

四. 200年に1回あると考えられる最大降水量から算出した全集水区域の流出を安全に排除しうる能力を有すること。この場合200年に1回の降水量が既往最大観測値より少ない場合には、既往最大観測値により、また流出の算定については本節第12項第二号第三号及び第四号によること」

ここで注目すべきは二つの排水路を設けること、それらは超過確率100年及び200年であること、流出の推算方法はここでは省略したが、合理式によることを示している。

この種の堆積場は昭和45年の調べで全国に622箇所あり、うち226箇所は休廃止鉱山のもの、他に16箇所の計画がある。かん止堤の高さが15m以上のものが188、15m以下のもの450となっている。

なお昭和48年の改正の要点は、沢水排水路、山腹排水路の超過確率年が50年を100年に、非常排水路のそれが100年を200年に変更したことである。

6. 道路排水工における確率

道路排水工指針においては、「道路に影響を与える水は、主として降雨であるから、いかなる強い降雨の場合でも完全に排水することが望ましいが、これを完全に実施することは経済的に得策とはいえない。したがって、道路の安全を保持し維持するために必要な排水能力、また交通の安全を確保する程度は、計画道路の重要度および道路隣接地の状況を十分考慮して選定するとともに、箇箇の排水施設についても排水の目的、排水施設の立地条件、計画流量を超過する流量が生じた場合に予想される損害の程度、経済性を考慮して排水の規模を決定しなければならない。」参考として排水施設の計画基準の日安として、道路区分によ

る選定基準を表3に、排水施設別の採用降雨確率年の標準を表4に示した。

この指針にはこの他に「路面排水など流達時間が極めて短かく、かつ側こうますのように数多くの設計をしなければならない場合には表(略)に示す標準降雨強度を用いてもよい。これは(略)3年確率の10分間降雨強度全国図から作成されたものである。」

これでわかる通り、河川・ダム等に比べれば超過確率年はずっと短かく、1～10年の程度である。路面排水などは短時間の現象であり、もし排水不能になっても短時間の後回復する性格のものであり、他の要因による交通渋滞の発生頻度を考えればこの程度なら忍容できる範囲と解されている。

7. 宅地開発に伴う洪水を防ぐ調整池

日本住宅公団は河川協会に委託して、大規模宅地開発に伴う調整池技術基準(案)を昭和46年7月に、防災調節池技術基準(案)を昭和49年3月にまとめた。

前者は「大規模な宅地開発に伴い、ダムによる調整池を築造する場合で、調整池の存置を暫定的な期間にわたるものとする場合」に適用される。高さは15m未満である。宅地造成の期間は普通2～8年程度の場合が多く、下流の河川が未改修の場合、種々の事情から改修が10年程度の期間を要している場合が多いので暫定期間としては、ほぼ10年程度と想定した。

洪水調節容量の算定方法は二つ示されているが、いずれも洪水の規模が年超過確率で1/30の洪水に対して宅地開発後の洪水のピーク流量を開発前のピーク流量まで調節するような方法を示している。30年とは上記の10年に、これに下流のトラブル対策としての増分を考慮しさらに宅地造成により地方公共団体の財政状況が好転するまでの期間(10年～20年程度か)以上に計画規模をとると考えたために決ったものである。

後者は「宅地開発等に伴い、恒久的な施設として、堰高の低いダム(高さ15m未満)による調節池(防災調節池という)を築造する場合」に用いられる。「防災調節池計画の雨量規模は、下流河道改修の規模に拘らず、年超過確率1/50の雨量を下廻らないものとする。」恒久調節池の趣旨は、ほぼ河川の代替物を意図したものであり、処理対象洪水も、河川が対象とするものと同等のものでなければならない。その意味から本基準は超過確率1/50をえらんだ。

両者とも確率で雨量を求め、ピーク流量は合理式で求めている。調整池・防災調節池の容量は流出波形によって決まるので、両者とも降雨強度と継続時間との関係曲線が必要である。これは任意の継続時間に対し、 T 年確率降雨になっているような降雨強度の関係曲線である。前者では全体の体積に主眼をおき、後者では流量の波形を求めている。ダムとしては自然放流で洪水を調節する点は両者共通である。

8. 下水道計画における超過確率

下水道による雨水排除計画には合流式と分流式とがあるが下水道施設設計指針と解説の計

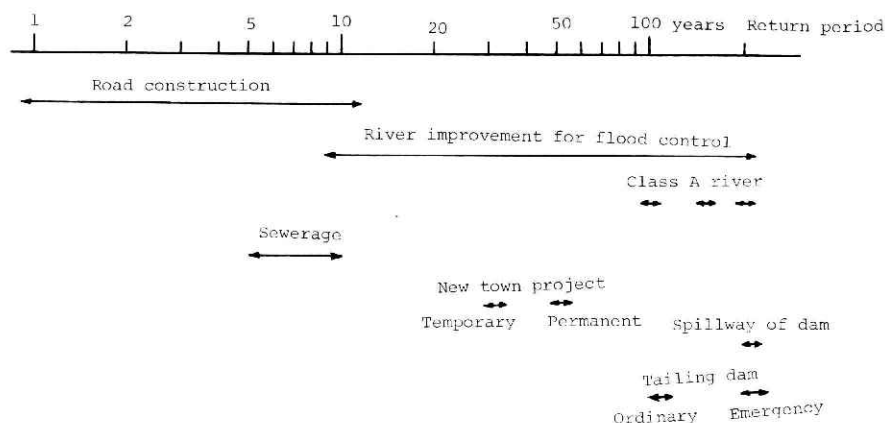


Fig. 1 The figure shows examples of return periods of rainfall for disaster countermeasures

両雨水量の項において、「最大計画雨水流出量の算定は、原則として合理式によるものとする」とした上で、「確率年は、原則として5～10年とする」と記してある。現在の日本においては下水道の普及が大へん望まれている折でもあり、5年という小さすぎるようにも見られるが、5年で実施されている部分も多いということである。

9. ま と め

以上の例をまとめると図1のようになる。それぞれの基準等で実情に合わせて微妙な言いまわしの差があるのを一括して単純な図化をしているので、その点をご容赦ありたい。超過確率年の大きい方から言うと、ダム洪水吐、捨石鉱さい堆積場、重要河川が約200年、河川が100年から10年で、ここに宅地造成に伴う防災調節池（恒久）が50年、調整池（暫定）が30年、道路が色々あるが10年から1年で、下水道が5年ぐらいとなっている。

これでそれぞれの構造物の防災システムとしての能力がランク付けられたと見るのは若干早計であろう。なぜならこれらは設計等の基準で、たとえその通り作られたとしても管理が悪ければ、例えばよく見かけるが流木等がひっかかっていたら、すべてが無になることもありうる。さらにこの図を見るに当たって、費用負担がどのようになされていて、国民的な規模でみた時何が望まれているかを考えに入れなくてはならない面もある。

10. 問 題 点

このような2, 3の例によってわかる通り、問題点は数多くある。

(ア) 降雨の継続時間を例えば2時間35分ととるべきことが流域の形状から決まったとしても、具体的にどのような手法で過去のデータから2時間35分の降雨を拾い出すか？ 実作業として不可能とは言わないが現実的ではない。それで、1時間とか1日とかきりのいい時間の降雨から任意時間の降雨を求める式が提案されてはいるが、式の形や係数のちがいが全国

的に統一しがたく、著しい外挿などでは隣接地点同志で大小関係が反転することもある。さらに、降雨継続時間が1日という時系列と、24時間という時系列とは単なる定義のちがいでいうに留らず、実質的に大きなちがいを持つので注意しなければならない。すなわち、前者は一般に統計年数が長いのに比べ後者は短い。また、前者は観測の目界が影響することがあり、しかも気象庁においては日界が幾通りもあるために注意を要する。

(イ) 確率密度関数として提唱されているものは幾通りもあり、どれがよいかは関数の分布にのるかのかのらないかの結果でした判定がつかない。従って今後も新しい確率密度関数の提案があるかも知れないし、隣接地点同志で異なる関数を用いなければならないこともありうる。通常、確率紙として市販されているものはその関数を仮定する限り、データは直線上にのるように作られているが、関数を積分して座標軸の変換をして直線化しているため、確率紙上で余程よい直線性があっても用心せねばならない。まして段がつくような場合は確率密度分布で表わせば2山、3山になってしまうであろう。木下(1974)参照。

しばしば極値においてとびはなれた値を示すことがあり、これを棄却検定する場合がある。このような極値は分布を合わせる精度の最も悪いところであり、しかもそのような区域で確率降雨の推算を行わねばならないという矛盾がある。たまたまあてはめて見た分布を金科玉条として実測値を棄却検定に付するか、観測誤差を含んでいようと実測値を重んじるかは人生観による別れ道であろう。このような場合に著者は後者を採るが、

(ウ) 短時間・高い頻度の場合、毎年最大の時系列でよいか？ 大平野に広がる水田の洪水対策の場合、3日雨量で100年に1度というような確率降雨を求めねばならない。このときは毎年の最大3日雨量を作り、これの年時系列から統計処理をする。大洪水が6月に起こっても9月に起こっても、6月と9月に起こってもどの道食糧危機には変りない。災害は1回と数えられる。しかし都市内の小さい排水路があふれて6月に浸水し建具をとりかえ、9月再び浸水したらこの年の災害は2回である。しかし毎年の最大雨量をとる限り、災害は1回としてしかとり上げられない。このように対象によっては毎年最大雨量のみをとり上げた確率分布で、低い超過確率年を推定することには無理がある。ちなみに、1876年より1975年までの東京(気象庁)の日雨量についてみると、毎年最大値の確率分布について最大は1958年の392.5mmであるが最小は1967年の43.0mmである。392.5mmは100年に1度の大雨と言えるだろうが、43.0mmは1年に1度の大雨と言えるか？ 否、この100年間に43.0mmの日雨量は688回起こっているから、1年に6.88回、おおよそ2月に1回の割合で起こっているわけである。2年確率として分布の中央値をみよう。50番が106.8mm、51番が106.3mmであるから106.5mmとする、つまりこれが2年確率であるが、上記100年の統計期間にこれより多い日雨量は688回起こっている。2年に1回より3年に2回というくらい起こっているわけである。毎年最大値で統計をとるか非毎年値で統計をとるかは具体的手法も含めてむずかしい問題である。

11. おわりに

一寸先は闇というのが現実ではあるが、過去のデータから何年ぐらいに1回の割合で起こるだろうと将来の現象を予想する。10年に1回なら人生のうち数度、30年に1回なら働き盛りのうちに1度、100年に1回のことならまず自分は係わらなくて済むと考えるのが人情だろう、果して実際の防災構造物はどんな割合で起こることを想定しているのだろうか。人間の期間の尺度と防災構造物の対象とする期間の尺度を確率で合わせてみた。ここにあげた基準等の幾件かはその策定のとき著者が参加させていただいたもので、その時確率のこと及びその考え方について色々指導いただいたことについて改めて感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 菅原正巳 (1979): <水文雑話Ⅱ>100年洪水, 水利科学No. 128 (第23巻 第3号).
- 2) 木下武雄 (1974): 洪水計算の考え方(I), 水利科学No.97 (第18巻第2号).

(1979年12月7日 原稿受理)