

## 降雨から確率洪水流量を推定する方法について

准員 上山 惟 康\*

ON THE METHOD OF ESTIMATING PROBABLE FLOOD  
DISCHARGES USING RAINFALL DATA.

(JSCE July 1951)

Koreyasu Ueyama, C. E. Assoc. Member.

**Synopsis** In this paper, the writer explained synthetically the methods of estimating the probable flood discharges using rainfall data, and proposed a strict method considering rainfall distribution in a large watershed by the division of its area and also some approximate methods to be used for rivers in Japan, most of which have not complete rainfall data.

Applying this strict method to the Ishikari river, it has been confirmed to be very useful in estimating probable flood discharges from rainfall in order to plan the river projects rationally, based on the idea of statistical economies.

**要旨** 本文では降雨記録から確率洪水流量を求める方法について総合的に考察し、次いで降雨の地域的分布を地域分割法によつて克服する厳密推定法並びに資料不備の多数の本邦河川に適用さるべき近似推定法を提案した。これによつて、流量自体より求める場合の母集団の統計的不健全性を是正し、どのような河川でも降雨記録が存在する限り、洪水流量の確率を求め得ることを明らかにした。これらは計画洪水流量を経済効果とにらみ合せて決定する場合、又は貯水池の有効容量を合理的に決定する場合など、治水、利水の諸計画を樹立する際に必要な流量の確率計算に広く利用せられるものと考えられる。

## 1. 前書き

治水計画を合理化するためには、計画洪水流量を治水工事の経済効果とにらみあわせて決定することが望ましい。このためには流量の頻度を確率統計論的に考察する必要があるが、最近こうした研究が特に重要視せられるようになった。

一般に確率論の対象になる事象はあくまで偶然事象でなければならないが、流量自体は林相や河相の人為的変動によつて左右されるので、流量の母集団に直ちに統計を適用することは、厳密性を欠いている。また本邦河川資料としては、長期にわたる正確な流量記録を有することは極めて限られた数河川に過ぎないので、この面からしても、流量の源であつて現在までのところ充分偶然事象とみなしてよい降雨にまでさかのぼつて確率統計論<sup>1), 2)</sup>を適用し、これに合理的な流出条件をあてはめて流量に換算していく方が、より本質的であるといふことができる。こうして降雨から出発して流量の頻度を求めようとする場合、一般に次の2

方法が考えられる。

(1) 地域的降雨分布の影響を無視できる場合  
300 km<sup>2</sup> 程度以下の小流域では、数個の観測所の年最大流域平均雨量を母集団として降雨の超過確率を求め、それを直ちに流量の超過確率とみなしても大差がない。小支川や都市下水の計画などでは、この方法によつて既に注目すべき成果<sup>3), 4)</sup>があげられている。この場合は流域平均雨量の算出に注意すれば充分であつて、統計的にはとりたてゝ問題とすべきものはないようである。

(2) 地域的降雨分布の影響を無視できない場合  
流域が大きくなるにつれて、降雨の地域的分布が出水に大きい影響を与えるので、これを統計的にどう処理するかが問題となる。これについては石原、岩井両教授によつて地域分割法<sup>5)</sup>が提案され、この分野に大きい寄与をされているが、統計的厳密性を欠くうらみがあるので、両教授の示唆に基づき更に訂正を加えて次の新方法を提案し、一例として石狩川への適用を試みたのである。

## 2. 著者の推定法

(1) 厳密法 流域を地形、風向、林相などを考えて数個分割して第Ⅰ、第Ⅱ、第Ⅲ……流域と名付け、各分流域に属する観測所の平均雨量を求め、これらをA, B, C……として各分流域の番号に対応せしめる。今A>B, C, ……なる降雨を第Ⅰ型、B>A, C, ……なる降雨を第Ⅱ型、C>A, B, ……なる降雨を第Ⅲ型などとすれば、すべての降雨はいずれかの降雨型に分類されることになる。

次にある降雨型に属する降雨のうちで、代表観測所雨量(例えば第Ⅰ型におけるA)の年最大のものを各年1個ずつ抽出すると表—1を得る。これは第Ⅰ型に

\* 京都大学助手, 工学部土木工学教室

表一 第Ⅰ型降雨における観測雨量 (mm/day)  
Observed amounts in the  
rainfalls of the 1st. type

生起年月日	A	B	C	……
大正 1.8.10	200	180	150	……
〃 2.7.30	120	90	100	……
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
昭和23.9.7	150	100	120	……
〃 24.8.8	80	30	30	……

ついて範例的に掲げたもので、Aを中心としているから、これに統計々算を行つてAの確率雨量を求め、同時にAと夫々B, C, ……との相関々係を明らかにし、これら両者を結合してある超過確率に対応する各分流域の雨量を決定してゆく。次いで合理的方法によつて、雨量を流量に換算すると、各降雨型ごとに流量の超過確率が定まるわけであつて、表一の第Ⅰ型降雨については表二の如く計算される。

表二によると、第Ⅰ型降雨による出水では、洪水流量 4 000 m<sup>3</sup>/sec をこす確率は 0.02, すなわち 50 年に 1 度, 5 000 m<sup>3</sup>/sec をこす確率は 0.01, すなわち 100 年に 1 度ということになる。これは定められた超過確率に対応する降雨分布より洪水流量を換算して行つたものであるが、全く逆に先に流量を定め、しか

表二 第Ⅰ型降雨における超過確率雨量  
(mm/day) 並びに流量 (m<sup>3</sup>/sec)

The above-mentioned probable  
rainfalls and flood discharges in  
the rainfalls of the 1st. type

超過確率	洪水年	A	B	C	……	流量
0.010 00	100	300	220	200	……	5 000
0.014 29	70	280	210	190	……	4 400
0.020 00	50	262	202	183	……	4 000
0.033 33	30	243	191	173	……	3 800

る後にかゝる流量を起すような降雨分布を試算的に求め、その超過確率を計算することも出来る。今この原理にもとづいて、各降雨型毎にそれぞれ一定値 4 000 m<sup>3</sup>/sec の洪水流量をもたらず降雨分布とその超過確率を求めたものが表三である。これによると

表三 各降雨型における洪水流量 4 000 m<sup>3</sup>/sec の超過確率

The above-mentioned  
probability of flood discharge 4 000 m<sup>3</sup>/sec in the  
rainfalls of each types

降雨型	超過確率	洪水年
第Ⅰ型	0.020 00	50
Ⅱ	0.011 11	90
Ⅲ	0.008 33	120
⋮	⋮	⋮
計	0.042 55	23.5

第Ⅰ型は、第Ⅱ、第Ⅲ型などよりも洪水を起しやすいたことがわかる。これはその他の洪水流量についても同様に求めることが出来る。

かくして各降雨型毎に洪水流量の超過確率が求められたが、一般に必要なとされるのは降雨型とは全く無関係な最大洪水流量の確率である。さて各降雨型は前述のような抽出法によつて分類される限り、相互に独立事象とみなせるから、かゝる独立事象により惹起される流量もまた相互に独立事象であつて、降雨型が異なればたとえ最大流量は同じでも、洪水曲線全体では当然質的に相違するわけである。よつて洪水流量 4 000 m<sup>3</sup>/sec の超過確率は加法の法則によつて表三の右欄に示すように各降雨型の超過確率を合計して得られる 0.042 55 であり、洪水年になおして 23.5 年という結論が得られる。

(2) 近似法—I 厳密法において説明した表一の抽出は実際には非常な手間を要するので、本法においては各代表観測所における年最大雨量をもつて表一の資料にかえる。しかる時には同一の降雨分布が数個の降雨型に重複して抽出利用される場合が一部に生ずるので、各降雨型を完全な独立事象とみなすことが出来なくなり、表三におけるような確率の加法を適用することは厳密性を欠くことになる。しかし多くの場合測候所において年最大雨量は抽出されているし、また実際抽出も極めて容易であるから、迅速に統計々算に移行することが出来る。かつまた求めた結果も厳密法と比較して同一超過確率に対して降雨量が大、すなわち一定流量に対しては洪水年は幾分小さくなる傾向がある。これは治水計画としては安全側に入るから、近似法として本法を用いてもよい。

(3) 近似法—Ⅱ 前述の(1), (2)は共に各観測所に長期にわたる記録が存在する場合にのみ適用することが出来る。しかし本邦における降雨記録はまだまだ不備であつて、大多数の河川ではたとえ観測所の数は多くても、観測精度高くかつ長期の記録を有する観測所は一つあるかないかである。かゝる場合には最も良好な観測所の記録から年最大雨量を抽出してこれのみに統計々算を行い、他の観測所はそれと同一日時に生起した雨量を抽出し、これらの相関々係より各超過確率に応ずる降雨分布を知るのである。

本法によれば、代表観測所が多雨帯に属する場合は安全側に、寡雨帯にあれば危険側に入る。このため後者に属している場合は上記の方法によらずに、ある雨量以上のすべての降雨分布にもとづいて相関々係を吟味する方が良い結果をうる。

このように本法によつて求めた確率流量の精度は、

専ら観測所間の相関々係の精度によつて左右されることになるから、資料の抽出に当つては慎重な考慮が払われねばならない。

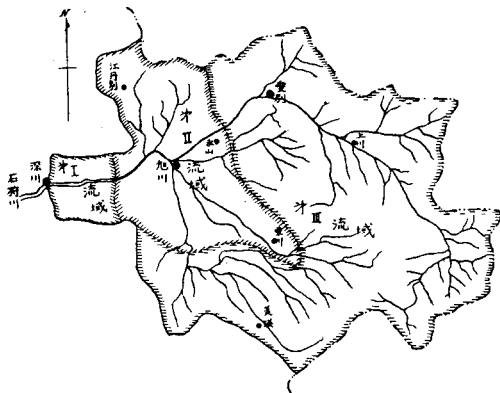
3. 石狩川への適用

(1) 概説 石狩川の中流部 深川地先(流域面積 3 617.2 km<sup>2</sup>)は長期にわたる流量記録を欠いているので、上記の厳密法にもとづいて雨量より流量の起過確率を推定した。用いた降雨記録は大正5年以降昭和22年に至る31ヶ年の日雨量である。

(2) 確率雨量の推定 深川より上流にある雨量観測所は深川, 旭川, 愛別, 江丹別, 永山, 上川, 東川, 美瑛の8ヶ所であるが、長期記録を有するのは前3者に過ぎない。よつて図-1のように流域を深川, 旭川, 愛別の支配面積によつて3個に分割し、降雨記録をそ

図-1 石狩川流域分割図

Figure of divided basins of Ishikari River



れぞれ第I, 第II, 第III型の3降雨型に分類した。以下第II型, すなわち旭川>深川, 愛別の場合を中心として説明を進める。他の第I, 第III型でも同様に計算を行えばよい。

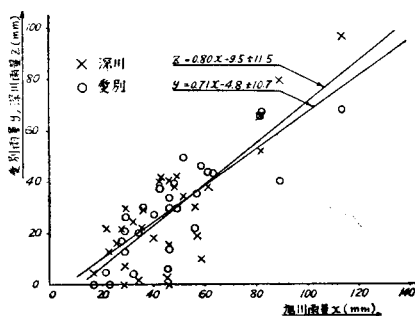
表-4 第II型降雨における観測雨量 (mm/day)  
Observed amounts in the rainfalls of the 2nd. type

生起年月日	旭川	愛別	深川
大正 5. 6.16	40.7	27.0	18.0
" 6. 6.29	26.2	14.4	15.8
⋮	⋮	⋮	⋮
昭和 20.10.31	46.6	29.8	40.5
" 21.7.22	63.9	43.1	欠

表-4は表-1と同一条件で第II型について抽出した観測雨量である。今旭川の雨量を横軸にとつて図示すると図-2のような相関図がえられ、明瞭に正の相関が成立していることが認められる。よつて旭川, 愛

図-2 旭川雨量と愛別, 深川雨量との相関々係

Correlation between the rainfall at Asahikawa and its at Aibezu & Fukagawa



別, 深川の雨量をそれぞれ  $x_1, y_1, z_1$  とすれば,  $x$  の上の  $y, z$  の回帰直線は次の式で与えられる。

$$y = 0.71x - 4.8 \pm 10.7$$

$$z = 0.80x - 9.5 \pm 11.5$$

次に表-4における旭川の雨量を統計的に処理して確率雨量が求まれば, これを上式の  $x$  に代入して愛別, 深川の雨量が推定出来る。このようにして第II型降雨の確率雨量を推定してゆく。

さて出水期間が1日以内の小河川は別として, 一般には洪水は1日だけの降雨によつて起る場合は殆んど稀であつて, 数日にわたる連続降雨によつて惹起されるのが普通である。確率日雨量は主体降雨として洪水流量に最も大きな影響を与えるものではあるが, 前後に降る副降雨もまた無視出来ない影響力を有する。以下連続雨量の求め方について簡単に述べる。

先ず考えられる方法は, 確率2日雨量より確率日雨量を差引いて連続2日降雨における副降雨量を求め, 順次これを拡大してゆくことである。しかしこの方法によると, 抽出した降雨の母集団が相互に不連続であり, また求めた結果も主体降雨を中心として前後に对称に副降雨が無限に続くという不合理を生ずる。よつて連続の条件より次のように改める。すなわち表-4で抽出した最大日雨量を中心として, その前後の雨量をこれに合算し, 前期2日, 前期3日雨量, 後期2日, 後期3日雨量などとし, これらの各母集団より確率前期2日, 前期3日雨量, 確率後期2日, 後期3日雨量等を求めておく。しかる時は確率日雨量の前日の雨量は, 確率前期2日雨量より確率日雨量を差引いたものであり, 前々日の雨量は確率前期3日雨量より確率前期2日雨量を差引いたものである。他の日の雨量も同様にして求められる。かゝる副降雨は数日にして一旦0に収斂し, 更に数日経過して後ある値をとる。これは観測所における降雨の継続状態を推定するのに

便利な方法であるが、確率洪水流量を求めるためには0になる迄の数日にわたる連続雨量を採用すれば充分である。

上記の方法を旭川に適用すると、主体降雨の前後3日目は0に近いので無視し、連続雨量の継続日数を総計5日間とした。各超過確率に対する各日の雨量は表一5に示す。3日目の雨量が確率日雨量すなわち主体降雨であり、他の雨量に比して著しく大きいことがわかる。

かくして表一5と上記の回帰直線の方程式とを結合して第II型降雨における流域の降雨分布が推定される。1例として超過確率0.01の場合の降雨分布を表一6に示す。他の降雨型においても同様に推定することが出来る。

表一5 旭川における確率連続降雨量 (mm/day)  
Probable continuous rainfalls  
at Asahikawa

洪水年	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	計
100	31.3	5.4	122.8	42.8	0	202.3
70	27.7	5.9	115.4	38.7	0	187.7
50	24.5	5.3	108.5	35.0	0.2	173.5
30	19.9	6.8	98.2	29.8	0.7	155.4
20	16.5	7.0	90.2	26.8	0.9	141.4

表一6 超過確率0.01なる第II型降雨量  
(mm/day)  
Rainfalls of the 2nd. type whose  
above-mentioned probability is 0.01.

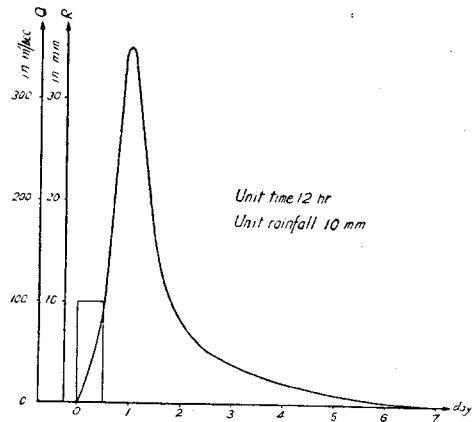
日 時	旭 川	愛 別	深 川
1日目	31.3	17.4	15.5
2 "	5.4	0	0
3 "	122.8	82.4	88.7
4 "	42.8	25.6	24.7
5 "	0	0	0
計	202.3	125.4	128.9

これによると、第I型は下流程多雨で上流に行くにつれて寡雨となり、第II型は表一6からもわかるように中流部の上川平野を代表する旭川が最大で、下流部平野を代表する深川と、山地を代表する愛別とは略々等しい。第III型では、上流部大雪山系を含む愛別が最大で、下流に行く程雨量が減ずる。また各降雨型の雨量を比較すると、常識のように山地に近づく程降雨量は増加しており、第III型>第II型>第I型の順になっている。このようにして流域の降雨を量的に、また質的に明確に把握することが出来る。

(3) 雨量の流量への換算 雨量を流量に換算する

のに、従来のような経験式によることなく、単位図<sup>6)</sup>を用いて合理的に計算を進めた。深川地先において、単位時間12hr、単位雨量10mmの場合について求めた単位図を図一3に示す。単位図の適合性を既往洪水数例について調べてみると、最大流量において±100m<sup>3</sup>/sec程度の喰違いを認めるに過ぎない。これは基底流量と大差ないので、この程度の誤差は許容さるべきものとする。

図一3 石狩川深川地先における単位図  
Unit-graph for the Ishikari  
River at Fukagawa



(4) 流量の超過確率 表一6の例のように、既に求められた各降雨型、各超過確率毎の推定雨量に、単位図を適用して流出曲線を描くことが出来る。表一7に3000m<sup>3</sup>/secの超過確率を示す。これによつて、3000m<sup>3</sup>/secの超過確率は0.049 043、すなわち20.4年に1度という結論がえられた。

表一7 3000m<sup>3</sup>/secの超過確率  
The above-mentioned  
probability of the flood  
discharge 3 000 m<sup>3</sup>/sec

降雨型	超過確率	洪水年
第I型	0.006 662	150.1
II	0.013 227	75.6
III	0.029 154	34.3
計	0.049 043	20.4

4. 上の各方法の吟味

大流域において、降雨分布を考慮した場合の確率雨量を推定する上記の各方法は、実用性を重視したため理論的には些少の欠点を有するので、本節において一括して論じておきたい。

(a) 降雨より求めた確率が流量の確率に置換出来るのは、抽出せる降雨に基づく流量が年最大になっている場合に限られる。また年最大雨量が必ずしも年最大流量を起すとは断定出来ない。この2点から、厳密法、近似法において年最大雨量を抽出し、これによつて流

量の確率を求めたのは理論的には正しくない。しかしながら、この欠点を克服するためには流域全体について日雨量のみでなく数日にわたる連続雨量による流量の変動と、その時の流出条件の良否とをにらみ合せて、その降雨による純粹の流出量を算定しなければならない。これは流量の実測値より判断出来るものでなく、単位図等によつて計算する以外に道がないから、非常に面倒である。

実際にはかかる場合は比較的少く、また最大流量との喰違いもわずかである。かつまた、かかる降雨は中央値以下の小降雨標本に生じ易いので、計画洪水量の対象となる超過確率にさしたる影響を及ぼさない。このような見解から本文においては実用性を考慮して年最大雨量を抽出することにした。

(b) 連続雨量を求める際、副降雨の降雨型を無視して主体降雨の降雨型に準ずることにしたが、厳密には各降雨型を組合わせて出来る別個の降雨型を形成しているわけである。理想的にはかかる降雨型によつて分類すべきであるが、副降雨は主体降雨に比して比較的少いのと、安全側に計算される関係上、煩雑な分類は行わず上記の簡単な方法を提案した。

(c) 降雨を流量に換算して行く場合についても、多くの吟味すべき点が含まれている。石狩川への適用においては単位図法によつたが、簡単に敘述するに止めた。かかる水文図については、近く一連の報文として詳細に論ずる予定であるから、こゝでの吟味は省略することにしたい。

## 5. 後書き

本文では降雨記録から確率洪水流量を求める方法について總括的に考察し、次いで降雨の地域的分布を地域分割法によつて克服する厳密推定法並びに資料不備の多数の本邦河川に適用すべき近似推定法を提案し

た。これらは理論的には些少の欠点のあることは本文で述べた通りであるが、適用の結果略々妥当な結論がえられた。すなわち石狩川では計画洪水流量  $3\ 600\text{m}^3/\text{sec}$  は既往の大出水記録よりみて 30 年程度であるから、 $3\ 000\text{m}^3/\text{sec}$  の 20.4 年は妥当なものと考えてよからう。また千代川に適用した文献<sup>5)</sup> について統計計算の不備を改めて計算し直すと、降雨より求めたもの 21.2 年、水位より求めたもの 20.6 年でよく合致することを確かめることが出来た。

かくしてどのような河川でも降雨記録が存在する限り、洪水流量の確率を求めることが可能となつた。本方法が治水、利水の諸計画の合理的樹立に役立てば幸いである。本研究の一部は文部省科学試験研究費によつて行つたもので、終始御指導を賜つた石原、岩井両教授、並びに実際計算を手伝つて下さつた荒井勇司、伊藤和幸の学生諸君に深甚なる謝意を表する。また資料整備について絶大な御協力をいただいた北海道庁河川課、石狩川治水事業所並びに札幌、旭川両測候所当局に深く感謝する次第である。

## 参考文献

- 1) 岩井重久: “水文学に於ける非対称分布について”, 土木学会論文集 1, 2 号合併号 (昭.22).
- 2) 岩井重久: “スレード型分布の非対称性の吟味及び 2, 3 の新解法”, 土木学会論文集, 4 号 (昭.24)
- 3) 中安米蔵: “治水計画における洪水流量について”, (昭.25).
- 4) 岩井重久: “確率降雨曲線とその下水計画への応用”, 水道協会雑誌, 195 号 (昭.24).
- 5) 石原藤次郎, 岩井重久: “水文統計学上よりみた本邦河川計画の合理化について”, 土木学会誌, 第 34 巻第 4 号 (昭.24).
- 6) L. K. Sherman: “Streamflow from Rainfall by Unit-Graph Method”, E. N. R., p 591, 1932. (昭. 26.1.19)

## 新刊紹介

田中寅男著 下水道工学 森北出版株式会社刊  
昭 26.6.15 発行 A 5 判 403 頁 定価 700 円

本書は計画、設計、施行、ポンプ場、汚水処理、下水道の維持管理、私設下水道及び下水法規の各章とその索引からなる。本書の著者は東京都下水課在職中夫等各方面の直接の責任者として歴任して来たもので多年に渉る同氏の造詣は必ずやこの一巻の中に網羅されていることと思われる。早く欧米諸都市の下水道をつぶさに視察、研究した著書は「我国に於ては完全な下水道を

持つている都市は一つとしてない」と云い、東京の旧市部ですら之を完成するには猶10年或いはそれ以上を要する見込であるし、まして他の中小都市の現状を欧米のそれ等に比較すると確かに半世紀後れている」と云つている。将来に幾多の問題と仕事を残している下水道を学修せられる人々は本書によつて下水道工学の全体に涉つてその要諦を知るべく又既に下水道事業に従事せられる諸士もその問題のよつて来たる所以を明らかにして研究の基礎とせられる上に有用と信じます。  
(岩崎富久)