

姫川の確率洪水流量について

高 瀬 信 忠

ON THE FLOOD FLOWS EXPECTED IN THE HIME RIVER

By *Nobutada* TAKASE

Synopsis

The Hime river is one of the most ruined torrential rivers in Japan. The basin area and length of the river channel are 722 km² and 60 km respectively. People said that it was visited by a great flood in 1912, but no data on the flood were recorded. The hydrologic data were not collected before 1954, so only a few recent data can be available to analysis the expected flood of the river.

In this paper, firstly the author estimated the annual maximum two days amount rainfalls in the basin and considered the consequence of the above rainfalls with the aid of the time series theory. Secondly, he calculated the expected flood hydrographs by transforming the rainfalls into the discharges through the run-off function proposed by him and considered briefly a method of calculation of the expected flood in a river having only a few hydrologic data.

1. 緒 言

姫川には、明治45年に大洪水があったといわれているが、流量資料が得られているのは昭和30年以降であって、時間雨量記録と水位記録が若干ある河川の部類に属する。ここでは、これらの資料を有効に使ってこの河川の計画高水流量決定のための一指標としたい。

姫川は Fig. 1 に示すように、長野県青木湖の北方に源を発し、西は白馬連峰、東は中部山岳に源をもつ大小29河川を合流しながら北流して新潟県に入り日本海に注ぐ、流域面積 722 km²、流路延長 60 km 程度の中河川であり、また河口より上流 11.0 km 地点までは、ほぼ勾配 1/110、下流の糸魚川市付近でも河床砂礫の平均粒径が 10~15 cm 程度の急流荒廃河川である。そして平地部のほとんどは河口から 11.0 km 上流までの間にあり、山地部 99%、水路部 0.7%、平地部 0.3% という特殊な河川であって、建設省で検討中の改修計画もこの下流 11 km 区域を対象としている。

この地帯はいわゆるフォッサマグナの最北部に属し、中央構造線が通る断層地帯にあるため古くより地じり、山崩れによる災害が絶えず、その対策に悩まされてきている。

現存する昭和30年以降の記録によれば、大前地点で昭和34年9月出水時の 1,120 m³/sec が既往最大、上流姫六発電所取水えん堤における昭和11年以降の記録によってもこの出水が既往最大で、えん堤地点で 970 m³/sec となっている。それ以前については不明である。

この流域における雨量および水位流量観測所は Fig. 1 に示すとおりである。

解析対象地点としては、要改修区間最上流端の大前地点（流域面積 635 km²）およびそれより下流の支川のうち流域面積の最も大きい根知川栗山地点（流域面積 46.0 km²）の2地点を選ぶ。

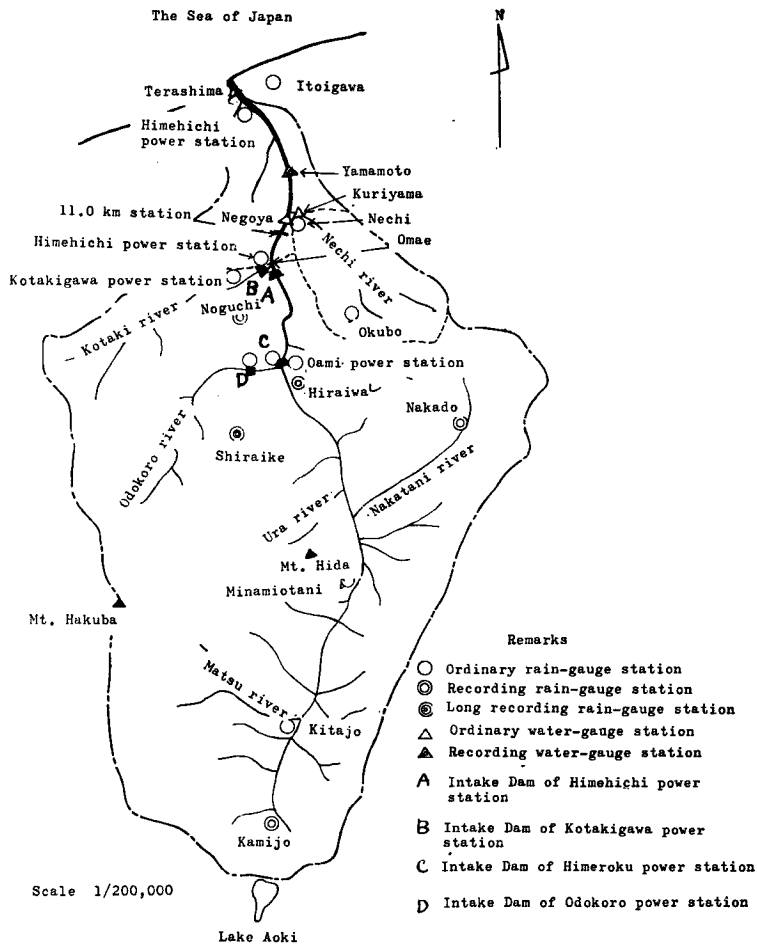


Fig. 1 Basin plan of the Hime river

つぎに降雨資料については、北城の大正10年以降が量も古く、ついで南小谷の昭和9年、糸魚川の昭和10年、大網発電所の昭和13年、これ以外の観測所は昭和25年度以降である。統計解析では、できるだけ長期間の資料が必要であるので、上記4観測所を対象とし、ティーセン法によって流域平均雨量を計算した。流量資料は、流域内にある気象庁および建設省所管のものを用いた。

解析対象洪水としては、大前地点で昭和30年度以降のピーク流量 $900 \text{ m}^3/\text{sec}$ 以上の3洪水を選定するが、その中でも最大の No.5 洪水に重点をおいた。

2. 降雨解析

2.1. 流域平均年最大連続雨量の推算

確率洪水ハイドログラフの推定には雨量の確率を求めて、その確率雨量を流量に変換する方法が一般に行なわれている。この場合、解析対象洪水時の時間雨量とそのハイドログラフを対応させて検討するわけであるが、Fig. 2 からわかるとおり、一連雨量の継続時間は No.5 洪水を除いて40時間以内であるので、総雨量としては年最大40時間雨量を考えれば十分である。このためには長時間の自記雨量記録が必要となる

が、自記記録の得られている期間が短いから無理である。一方、一連雨量の全体に対するその90%の雨量をみると No.5 と No.7 を除いて24時間以内にあり、年最大2日連続雨量ならば少なくとも年最大40時間雨量の90%以上がこれに含まれると考えてよい。そこで年最大2日連続雨量の確率計算を行ない、同雨量を時間雨量に変換することにした。

流域雨量の確率計算においては、できるだけ長期間の流域雨量を基礎としなければならないが、ここでは比較的統計年数の長い北城、南小谷、糸魚川、大網発電所の4観測の資料を用いることにする。この4観測所は Fig. 1 からわかるとおり、位置的にも比較的よく流域を代表しているものとみられる。だが、その記録年数はまちまちであるのでつぎのようにして求めた。

まず流域をティーセン法によって分割すると、その支配面積比率は Table 1 のようになるので、大前地点における流域平均雨量はこれを用いて推定した。なお、4観測所のうち最も新しい大網発電所の記録の外挿は、これと各地点の年最大2日雨量との相関解析により行なった。

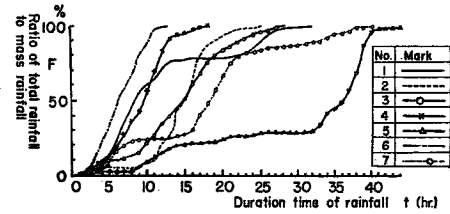


Fig. 2 Mass curves of rainfall

つぎに、支川根知川栗山地点における流域平均雨量は、ティーセン法によると大網発電所と糸魚川の雨量によって求められるが、糸魚川の占める比率はわずかに5.2%であるので、大網発電所のそれで代表させることにした。

Table 1 Area ratios obtained by Thiesen's method

Station	Area ratio
Kitajo	29.0%
Minamiotani	29.5
Oami power station	41.5
Total	100.0

2.2. 確率2日雨量

このようにして求めた流域平均年最大2日連続雨量について確率計算をする前に、その時系列特性を検討

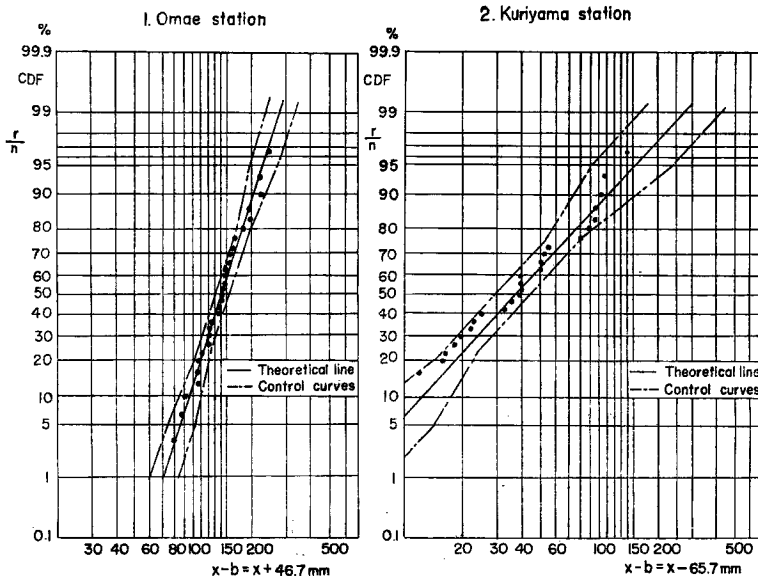


Fig. 3 Inspection of conformity

した。まず、資料の統計期間昭和9年より38年までの30年間を、それぞれ10年ごとの3群にわけ、それぞれの対数変換系列について平均値、分散の検定をすると、いずれも有意な差はみうけられず、定常性を仮定でき、またこの系列について、コレログラムを求めるといずれも純偶発性とみなしてよいことが分った。

確率計算法については現在いくつかの方法が利用されているが、ここでは、著者の方法¹⁾によって計算した結果、Fig. 3を得た。

2.3. 解析対象洪水に対する流域平均時間雨量の推定

ここに、出水解析に必要な流域平均時間雨量をティーセン法によって求めると Fig. 4 のようになる。なお、流域平均時間雨量による9時～翌日9時までの合計雨量は、前述のようにしてティーセン法によって求めた流域平均日雨量に等しくなるように各時間雨量に修正を加えた。

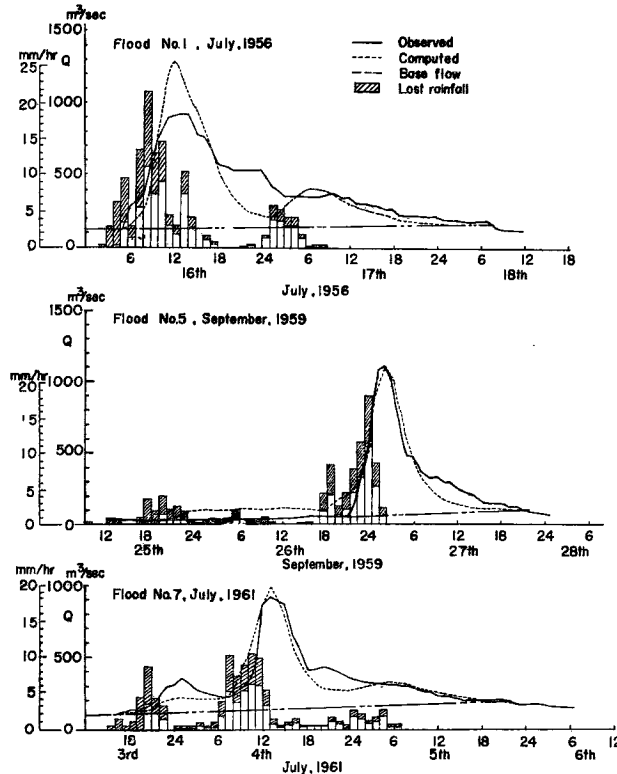


Fig. 4 Hydrographs of floods used in analysis and applications of the unit graph

3. 出水解析

現今の出水解析法には、単位図法、貯留法および水理学的方法の三つの主流があるが、ここでは工学上最も適用性が広く、かつ、有用な方法であると考えられている単位図法、とくに著者の提案した流出関数法を採用する。

3.1. ハイドログラフとその基底流量の分離

解析対象地点の大前地点における各出水時のハイドログラフは Fig. 4 に示すとおりである。こうしたハイドログラフを解析して流出関数を求めるには、まず基底流量を分離する必要がある。現今この分離方法についてはいろいろな論議があり、なお定説はないが、いずれも洪水ピークに重点をおく限り大差はない。

ここでは、ハイドログラフを直接流出と地下水流出とに分離することにし、2番目の折曲点で中間流出が終ったと考えて、流量の立上り点によりこの点までを直線で結び、これより下の部分を基底流量として分離する方法を用いた。

3.2. 損失雨量の分離

出水解析には有効雨量の時間的分布を指定する必要がある。これについては Horton の浸透能の概念を準用した石原³⁾の注目すべき研究もあるが、資料がある程度多くないと適用できないので、ここでは累加損失量と累加雨量との間に一義的な関係が存在するという考え方を採用し Fig. 5 を得た。Fig. 5 の曲線は各洪水資料から求めた平均的なものであるが、推定した単位図の実際洪水資料に対する適合度を調べる場合にもこの曲線を用いた。これは、われわれの必要なのは各時間ごとの損失雨量であり、各資料を通る曲線を洪水ごとに推定することは、それぞれに個人的誤差が非常に入り易く、したがって一つの平均的な曲線を用いることより、平均的な意味で誤差が相殺されるであろうと考えたものである。支川根知川栗山地点においては流量資料が得られないが、本川筋と支川根知川筋の流域特性が類似していることから、Fig. 5 をそのまま用いることにした。なお、Fig. 5 の推定に当っては一連総雨量 133.2 mm 以上の値はなく、これより大きい部分の外挿が問題となる。物部の示した流出係数をも勘定し、かつ Fig. 5 の資料から推定される一連総雨量（または累加雨量 R ）100~150 mm 部分の勾配を重点的にみて、その勾配に近い直線をそのまま延長することにした。

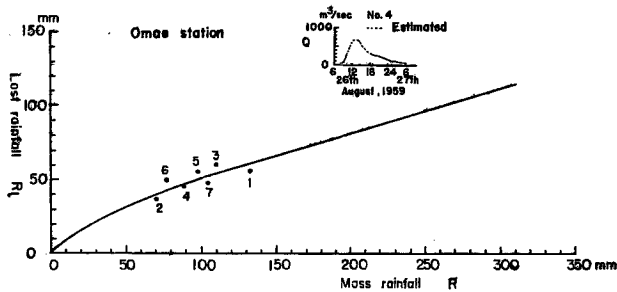


Fig. 5 Relation between mass rainfall and lost rainfall

3.3. 単位図の作成

(1) 支川根知川栗山地点における単位図の推定

この地点では流量記録が得られていないので、ここでは石原らの総合単位図による方法⁴⁾を用いることにした。この方法は一種の地帯分割法に属するものであり、流域特性の指標により単位図を推定するもので、この方法によって推定した単位図を Fig. 6 に示す。

(2) 本川大前地点における単位図の推定

ここでは、試算的に解析対象3洪水に最もよく適合すると思われる単位図を理論的に導かれる著者の流出関数により推定した。なお、単位図法の欠点といわれる非線形性の問題については、降雨強度によって単位図を変えることによってその効果を考慮する。

著者の流出関数は流出現象が単位降雨に基づく単位流出量の累計であるという従来の単位図の仮定に従うものとし、そして単位流出量の推定にはその関数形を支配している二つの

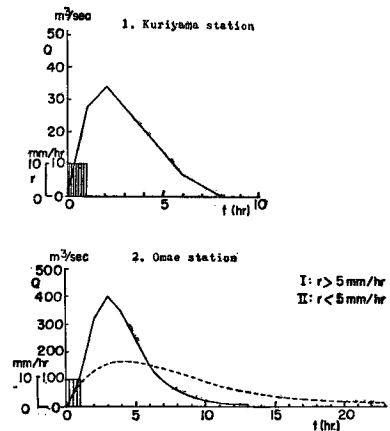


Fig. 6 Unit graphs used

係数 n および α を降雨条件によって変化させるもので、その基礎式はつぎのように表わされる⁹⁾。

$$Q = at^n e^{-at} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 Q は流出量、 t は時間、 n および α は係数で、 a は Q の単位として m^3/sec 、雨量強度 r の単位として mm/hr を用いると、 $a = 0.2778 \alpha^{n+1} / \Gamma(n+1)$ で表わされる。

解析対象および参考洪水を調べ、これらの有効雨量と直接流出量とを対応して検討したところ、雨量強度 $r = 5 mm/hr$ で単位図を変えなければよい適合度が得られないことがわかったので、二つにわけて解析した。

a) $r > 5 mm/hr$ の単位図：単位ピーク流出量を解析対象最大洪水 No. 5 のピーク流量に最もよく適合するよう、幾何学的方法⁹⁾によって、近似的に計算してみると、 $Q_m = 390 m^3/sec$ 、 t_m は同洪水資料より 3 hr となる。なお、単位雨量は $r = 10 mm/hr$ としており、著者の方法によって n および α を決定し、第 2 変曲点以後を修正して単位図を求めると、つぎようになる。

$$\left. \begin{aligned} Q &= 294.0 t^3 e^{-t} \\ t &= 5 \text{ hr 以後に対して, } Q = 27.5 e^{-0.51(t-4.78)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

b) $r < 5 mm/hr$ の単位図：同じように計算して、単位図として次の式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} Q &= 55.1 t e^{-0.25t} \\ t &= 8 \text{ hr 以後に対して, } Q = 12.0 e^{-0.17(t-8)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

以上のようにして求めた単位図は、Fig. 6 に示すとおりである。

こうして求めた大前地点における単位図を解析対象洪水時の有効雨量に対応させてハイドログラフを求め、基底流量を加えて実測値と比較すると Fig. 4 のようである。これより最大洪水の No.5 および No.7 に対してはよく適合しているものとみることができ、No.1 に対しては余りよくない。これは調査の結果、No.1 の洪水においては上流で小規模ながら数多くの地入り崩壊が起こって河川をせき止めたことがわかっており、それが大きく原因しているように考えられるので、ここでは以上のようにして求めた単位図で十分であると考えた。

4. 確率洪水ハイドログラフの推定

4.1. 洪水時累加雨量曲線とその推定

確率洪水の推定には、まずその雨量の時間的配分を行なわなければならない。この場合の降雨波形としては、流域内の降雨特性を解析して原因別にいくつかの形にわけるのが合理的であるが、それだけの十分な資料もなく、ここでは止むを得ず、既往最大解析対象洪水の No. 5 に合わせ、その降雨波形に対応して各確率の計画降雨を配分し計画対象降雨とした。なお、こうして求めた有効時間雨量の最大は 100 年確率において大前地点で 30.1 mm、支川根知川栗山地点で 50.0 mm となった。

4.2. 確率雨量値の時間的配分

すでに得られた確率雨量推定値を前述の計画降雨対象波形に合わせて時間的配分を行ない、それぞれの各確率年に対して時間雨量を計算した。50 年確率について計算した 1 例を Fig. 7 に示してある。

4.3. 確率洪水ハイドログラフの推定

上述の各確率年に対する計画対象時間雨量に Fig. 5 を考慮した上で Fig. 6 の単位

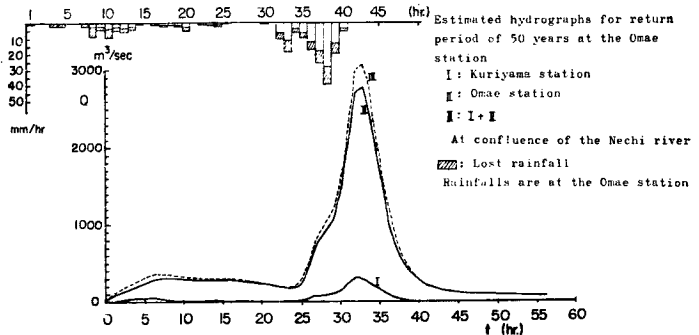


Fig. 7 Hydrographs computed of expected flood

図を適用し、最後に基底流量を加えると確率洪水ハイドログラフを求めることができる。Fig. 7 に50年確率洪水の推定結果を示したが、その他30, 80および100年確率のそれらを推定し、その最大流量を示すとTable 2のとおりである。

Table 2 Maximum discharges of expected floods in m³/sec

Return period	Main river	Kuriyama (tributary)		After confluence
	Omae	Max. discharge	Combined discharge	
30	2,570	270	260	2,830
50	2,780	320	300	3,080
80	2,960	360	340	3,300
100	3,070	380	360	3,430

なお、栗山地点から根知川と本川合流点までは1.4 km、大前地点から3.6 kmで2.2 kmの差はあるが、同合流点下流においては時差を考えずに合成した。基底流量は解析時に流量を分離した要領によって加えなければならないのであるが、確率洪水における第2の折曲点をどのようにして推定するか問題がある。ここでは解析をできるだけ単純化する意味において、大前地点におけるNo.5洪水の基底流量が52 m³/sec、豊水量が70 m³/secであることを考慮し、基底流量は一律に70 m³/secを、支川根知川栗山地点においてはその流域比によって算出される5 m³/secを加えた。

5. 結 語

本文は合理的な河川計画、とくに治水計画を樹立する上において重要な計画高水流量決定のための確率洪水流量の推定について、実用的な立場から北陸河川の姫川を対象として研究したものである。

この河川は決して水文資料のよく整備されている河川とはいえず、したがって以上において解析検討した事項は、わが国の多くの河川に広く適応性をもつものと考えられる。ただ損失雨量ないし降雨波形の推定になお批判されるべき問題を残していることを卒直に認めざるを得ない。これについては大方の御教示が得られれば幸である。

最後に本研究に際し有益な御教示を受けた京都大学石原藤次郎教授および角屋睦教授、資料の収集および解析に当って全面的な御援助を受けた建設省北陸地方建設局の担当者各位、とくに天田高白技官（現建設省土木研究所）に対して、深甚の謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 石原藤次郎, 高瀬信忠: 対数正規分布とその積率による解法, 土木学会論文集, 第47号, 1957, pp.18—23.
- 2) 高瀬信忠: 対数正規分布に関する順序統計学的考察, 土木学会論文集, 第47号, 1957, pp.24—29.
- 3) 石原藤次郎, 田中要三, 金丸昭治: わが国における単位図の特性について, 土木学会誌, 第41巻, 第3号, 1956, pp.102—107.
- 4) 土木学会: 水理公式集, 昭和38年増補改訂版, 1963, p.35.
- 5) 石原藤次郎, 高瀬信忠: 流出関数による由良川洪水の解析, 土木学会論文集, 第57号, 1958, pp.1—6.
- 6) 石原藤次郎, 金丸昭治, 中川博次: わが国河川の総合単位図の研究, 京都大学防災研究所創立5周年記念論文集, 1956, pp.181—190.