

# 基本高水流量の算出過程に関する検討と 合理的決定方法の考察

CONSIDERATIONS ABOUT DECISION PROCESS AND  
RATIONAL DECISION OF DESIGN FLOOD DISCHARGE

佐藤 裕和<sup>1</sup>・大熊 孝<sup>2</sup>  
SATO Hirokazu, OKUMA Takashi

<sup>1</sup>東京大学大学院博士課程 新領域創成科学研究科社会文化環境学専攻

<sup>2</sup>新潟大学教授 工学部建設学科

Recently, there are many arguments about design flood discharge from environmental and economic points of view at the scene of flood control planning in Japan. In this paper, we made problems of the design flood discharge clear, especially quantitative relation of return-period between annual maximum rainfall and discharge by simulating. As a practical sample, we examined the case of the A River in Japan and got similar results by comparison with the simulation. Design flood discharge has been determined by specialist of the river engineering, but now many citizens are being involved in the arguments. So we also considered how the design flood discharge will be treated in the future.

**Key Words:** *design flood discharge, measure of return-period by using annual maximum rainfalls and discharges, rational decision of design flood discharge, needs of flood control*

## 1. はじめに

基本高水流量は、洪水防御計画の基本となるモデルハイドログラフ（基本高水）のピーク流量を指し、治水計画を策定したり、計画に変更を加えたりする場合、最初に検討される治水計画上最も基本的かつ重要な要素のひとつである。治水に関連するハード対策は、基本高水流量の大きさに基づき立案されるため、この値が治水規模を規定するものであると換言できる。

近年、治水計画を検討する多くの場面で、この基本高水流量を介し、治水の安全度と環境面およびコスト面との対立を中心とした議論が活発化してきている。従来より基本高水流量の算出は、河川工学に精通する専門家に委ねられてきたが、近年のこうした議論は、事業の対象となる流域の住民をはじめとした一般市民を巻き込んだ形でなされていることが特徴的である。

その端は1990年代初頭の石狩川水系の千歳川放水路建設計画に発しており、以降長野県の「脱ダム問題」をはじめ、一級・二級河川を問わずその議論が全国展開を見せている。

こうした議論の中でしばしば争点になってきたのが、

実績降雨の引き伸ばし率や引き伸ばし方法、カバー率の選択などである。2005年に改訂された「河川砂防技術基準」ではいくつかの改良点が見られたものの、基本高水流量の算出に関する議論は絶えない現状がある。

著名な事例には、利根川上流域の八ツ場ダム計画、倉渕ダム計画、吉野川第十堰の可動堰化、球磨川水系の川辺川ダム計画などが挙げられ、その枚挙に暇がない。

そこで、本研究では基本高水流量の算出過程が潜在的に抱える問題点とその原因を整理することを第一の目的とする。その一助として、モデル流域を用いたシミュレーションを行い、降雨および洪水のピーク流量から100年確率の基本高水流量を算出する場合の定量的な関係性を示した。また、得られた成果から、より合理的な基本高水流量の採択をどのようにしていくべきかについての検討を行うことを第二の目的とする。

## 2. 基本高水流量の考え方

基本高水流量は、「建設省河川砂防技術基準（案）」（昭和51年）に則って決められてきた。同基準（案）は、平成17年11月「国土交通省河川砂防技術基準」と名称を

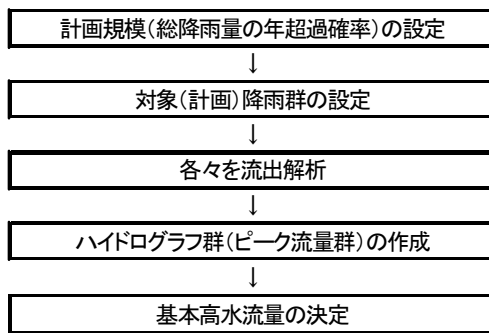


図-1 一般的な基本高水流量の算出方法

表-1 基本高水流量（候補）の算出例

河川名	地点名	最小値	最大値	最大値と最小値の差	最大値と最小値の比
石狩川	石狩川大橋	11,400	18,000	6,600	1.58
浅川	千曲川合流点	226	440	214	1.95
利根川	八斗島	8,718	24,341	15,623	2.79
烏川	君が代橋	1,276	2,789	1,513	2.19
吉野川	岩津	11,000	24,000	13,000	2.18

(流量単位:m<sup>3</sup>/s)

表-2 基本高水流量採択の違いによる定性的な関係

採択する基本高水流量	相対的な治水安全度	ハード対策(河川改修)			
		規模	流域環境への影響	費用	遂行の可能性
過大	安全	大	大	高	低
最適	適	適	↑	適	↑
過小	危険	小	小	安	高

新基準においては、カバー率の概念が排除され、今後は候補の中から最大値を選ぶこととなったが、これはカバー率100%に相当するものである。

### 3. 基本高水流量の算出に関する問題点

先述のとおり、基本高水流量の算出は本来流量確率手法によるべきものである。仮にこれを最適なものとするれば、設定した治水目標に対しては、これとの大小を比較して過大・過小な基本高水流量を定義できる。この概念から得られる定性的な関係を示す(表-2)。

この相対関係の中で特に重要視すべき点を挙げれば、適切な基本高水流量の設定は、ハード面での治水安全度の妥協点を示すばかりなく、河川改修に伴う流域環境改悪の妥協点も同時に示すことのできる唯一の客観的根拠となることである。現行の基本高水流量の算出方法では、得られた基本高水流量が最適なものとなっているかの保障がされていない。特に、カバー率は従来、100%かそれに近いものが一律的に選ばれてきた。こうした一律的な選択の仕方が、本来の流量確率手法による値とどのような関係性があるのか不明であることが問題点である。今後はカバー率の概念がなくなったものの、既往の治水計画の多くがこの概念に基づいている。

治水計画の遂行可能性に関して、設定された基本高水流量に対して、計画から長い年月を経ても、計画が達成できずに頓挫してしまう問題が見受けられる。いくつか例示すれば、千歳川放水路や利根川放水路、利根川上流

変え最新の改訂がなされた。今後、前者を「旧基準」、後者を「新基準」と呼ぶこととする。

これらの基準によれば、「基本高水は、そのハイドログラフで代表される規模の洪水の起こりやすさ、つまり生起確率によって評価…」<sup>1)</sup>と解説されている。流出は気象条件や地形条件などによる総合的な現象であり、ここに述べられているように、基本高水流量は本来ピーク流量の年超過確率から決定されるものである(以後、流量確率手法と呼称)。しかしながら、我が国では実績流量のデータが少ない理由などから、通常、総降雨量(24時間雨量、日雨量、2日連続雨量、3日連続雨量)の年超過確率から流出解析を経て基本高水流量が算出されている(以後、降雨確率手法と呼称)。現時点で流量確率手法によって基本高水流量が算出されている事例はなく、国土交通省の直轄管理下にある一級河川では、降雨確率手法による値の検証に流量確率手法が用いられている<sup>2)</sup>。標準的な基本高水流量算出のフローを示す(図-1)。

対象(計画)降雨の時間分布は、実績降雨を計画降雨まで引き伸ばして複数作成される。この引き伸ばしの割合を引き伸ばし率と呼び、通常これが2倍程度以下のものが計画降雨の対象とされてきた。しかしながら、新基準においてはこの2倍程度以下という目安が排除され、引き伸ばしの上限の目安がなくなったため、より多くの時間降雨のパターンが検討可能となった。なお、引き伸ばしにより時間降雨量が異常となるものなどは棄却される。次いで、この降雨群をそれぞれ流出解析し、ハイドログラフ群(ピーク流量群)を得る。これらが基本高水流量の候補となるのであるが、これらの値は大きな幅を持つことが指摘できる。事例の一部を示す(表-1)。

こうした幅のある値の中からどれを基本高水流量とするか、旧基準においてはカバー率という概念が用いられてきた。カバー率は、採択値が他の候補の値をどの程度充足するかを示し、例えば、候補の中から最大値を選べばカバー率100%となる。 $C'$  : カバー率,  $N$  : 候補数,  $i$  : 大きさの順位とすれば以下のように定式化できる。

$$C' = 100 \frac{N+1-i}{N} (\%) \quad (1)$$

ダム群，信濃川上流ダム群などである。社会的な情勢によるところも大きいとはいえ，こうした実情は計画上の治水安全度ばかりが高められた状態であり，高いカバー率の値を一時的に選択してきたことが原因のひとつに挙げられる。また，流域の現実的な治水ニーズが十分に把握されず，こうしたニーズが治水計画の根幹を担う基本高水流量の決定に反映されてこなかったことにも起因していると考えられる。これに付随して，平成14年に中止された信濃川水系の清津川ダム建設計画問題のように，長い間整備計画の可否に翻弄され続ける流域住民の疲弊も顕在化している。

#### 4. モデル流域を用いた検討

本研究では，降雨確率手法および流量確率手法に基づいた場合の基本高水流量の大きさに，定量的にどのような関係性があるのか，30ケースのモデル流域を設定し，シミュレーションを行い検討した。計画規模は100年確率を前提とした。1ケースが持つ要素としては，流域面積，流域地表条件，降雨，流出解析および統計解析のパラメータなどであり，筆者らの恣意性が極力働かないよう随所に一樣乱数を利用した。以下に各要素作成のための手順などを示す。

##### (1) 降雨

降雨は全て流域平均降雨とし，連続30年間の年最大日雨量データから100年確率の日雨量 $R^{100}$  (mm/d) を求める状態を想定する。ここで連続30年間としたのは，長期観測データを用いた場合，統計解析に耐えうる最低限の観測期間が30年程度であるとされる理由による。確率分布はGumbel分布に従うものとし，Weibull式の持つ超過確率から30点を選び，各年の日最大雨量 $R_i$  ( $i: 1 \sim 30$ ) とした。また，それらの時間降雨 $r_j$  ( $j: 1 \sim 24$ ) は，合計値が各々の $R_i$ になるように一樣乱数を与え決定した。時間降雨の作成に一樣乱数を用いるのは必ずしも現実的な降雨パターンとなっているとは限らないが，今回は初歩的な検討ということで筆者らの恣意性を排除する程度のものである理由によるものであり，今後さらに検討を加える。 $r_j$ の範囲は0~134 (mm/d) となった。Gumbel分布は， $F(x)$ ：確率分布関数， $x$ ：確率変数， $a, x_0$ ：定数とすれば以下で与えられる。

$$F(x) = \exp[-\exp\{-a(x - x_0)\}] \quad (2)$$

$a, x_0$ は，引き伸ばし率2倍以下の降雨数が10~15になるように一樣乱数から決め，また， $x=R^{100}$ に100~400 (mm/d) の範囲で一樣乱数を与え分布形を定める。引き伸ばしは旧基準の原則に従い，引き伸ばし率2倍を超える降雨は棄却し，引き伸ばし後の時間降雨量異常による棄却判定は行わないものとした。

表-3 洪水到達時間式の土地利用係数<sup>5)</sup>

地表条件	土地利用係数,C
山地・丘陵地	250~350 ≒ 290
放牧草地	140~200
ゴルフ場	120~150 ≒ 140
粗造成宅地・造成農地	80~120 ≒ 100
運動場	70~90 ≒ 80
市街地	60~80 ≒ 70

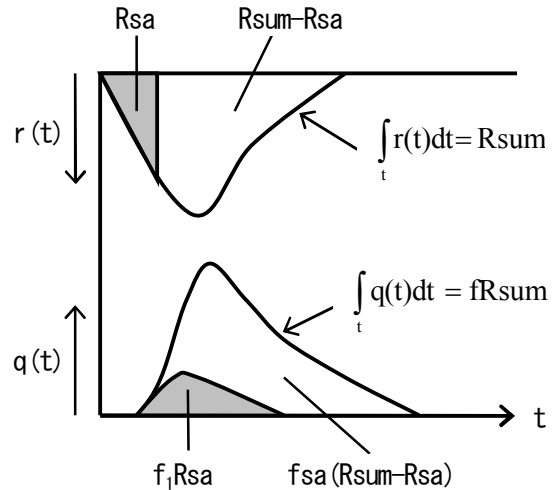


図-2 飽和雨量と各流出率の関係

##### (2) 流出解析

流出解析は広く適用されている貯留関数法を用い，(1)で作成されたそれぞれの降雨に対して行った。 $K, P$ ：定数， $T_1$ ：遅れ時間， $r_e$ ：有効降雨強度， $S_1$ ：見かけの貯留高， $Q$ ：直接流出高とすれば，貯留関数法の基礎式は以下で与えられる。

$$S_1 = KQ^P, \quad \frac{dS_1}{dt} = r_e - Q, \quad Q_1 = Q(t + T_1) \quad (3)$$

ここで，実用上十分満足の得られるとされる $P=0.6$ を与え， $K$ に関しては $P=p=0.6$ に対する表面流モデル定数からの推定式<sup>3)</sup>と土地利用係数から与えた。

$$K = 2.5k A^{0.24} \quad (4)$$

ここに， $p, k$ ：表面流モデルの斜面流定数， $A$ ：流域面積で，中小流域を対象に50~1,000 $km^2$ の範囲で一樣乱数から与える。 $P=p=0.6$ に対する $k$ は $C$ ：洪水到達時間式の土地利用係数(表-3)から以下で与えられる<sup>4)</sup>。

$$k = \frac{C}{255} \sim \frac{C}{190} = \frac{C}{N} \quad (5)$$

この $C$ および $N$ に対して， $C=60 \sim 350$ の範囲で， $N=190 \sim 255$ の範囲で一樣乱数を与えた。

有効降雨強度 $r_e$ に関する一次流出率 $f_1$ は0.4~0.7の範

囲で一様乱数を与え、飽和流出率 $f_{sa}$ は全て1.0とした。

飽和雨量 $R_{sa}$ は、総降雨量と総流出量に対する流出率を $f$ としたとき、 $f$ と $f_1$ および $f_{sa}$ との関係性(図-2)から得られる次式から推定した。

$$R_{sa} = \frac{f - f_{sa}}{f_1 - f_{sa}} R_{sum} \quad (6)$$

実際の洪水現象における飽和雨量は、総降雨量や降雨の継続時間、前期降雨の長短など、洪水の形態や規模によって異なるが、ここでは1ケースの飽和雨量を、実例を参考に複数の $R_{sa}$ の平均値から代表させた。したがって、本研究の条件下において上式は以下のように表現される。

$$R_{sa} = \frac{1-f}{1-f_1} \cdot \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{30} R_i \quad (7)$$

流出率 $f$ は、土地利用係数 $C$ (表-3)の大小関係に基づき、比例関係 $f = \alpha C + \beta$  ( $\alpha, \beta$ :定数)を当てはめて概算した。 $f$ の最大値を0.9、最小値を0.6として、表-3の最大値 $C=350$ のとき $f=0.6$ 、最小値 $C=60$ のとき $f=0.9$ であるとすれば $\alpha$ と $\beta$ が求まる。これをまとめると次式のようになる。

$$f = \frac{3}{2900}(930 - C) \quad (8)$$

ここで得られる $f$ について、一様乱数から与えた $f_1$ との関係が $f_1 > f$ となる矛盾を発生する可能性があるが、ここでの $f$ は $R_{sa}$ を設定するための概算値であり、調整などは行わないものとした。

なお、今回はピーク流量に関する情報が得られれば十分なため、遅れ時間は全て $T_1 = 0$ として扱った。また、この流出解析で得られたピーク流量が、年最大流量を表現しているものとし、流出に影響を与えるような流域改変などは考慮しないものとした。

### (3) 統計解析

100年確率のピーク流量 $Q_p^{100}$ は、(2)の流出解析で得られた各々のピーク流量値 $Q_{pi}$  ( $i: 1 \sim 30$ )に対して統計解析を行い算出する。

統計解析は、指数分布、Gumbel分布、対数Pearson分布(対数空間法)など、国土交通省が実際に用いている確率分布形のうちの12種類を適用し、適合度の判定には標準最小二乗基準(SLSC)を用いた。プロットはいくつかのケースをサンプリングして種々試した結果、適合度が高かったHazen公式で統一した。

統計解析後、SLSCが0.04以下となる確率分布形以外は全て棄却し、この基準を満たさないケースについては、0.05以下まで緩和した。全体的には指数分布、一般化極値分布、対数Pearson分布(対数空間法)、岩井法、3母数

(相当)カバー率 (%)

132.4%

125.8%

最大値による

103.5%

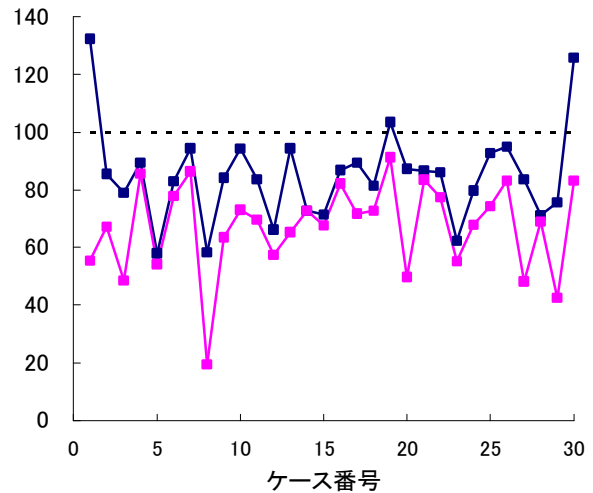


図-3 確率分布形の最大値および最小値の持つカバー率

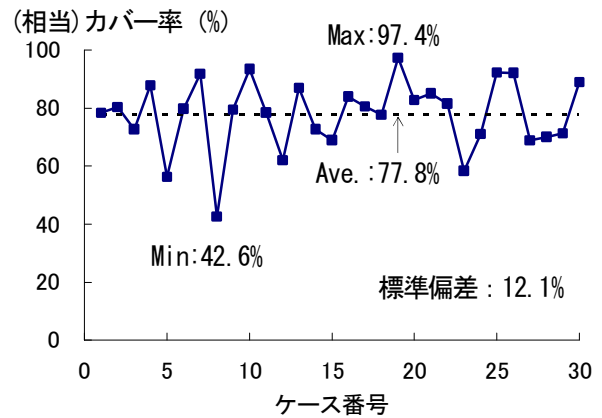


図-4 重みつき平均による代表値 $Q_{pa}^{100}$ の持つカバー率

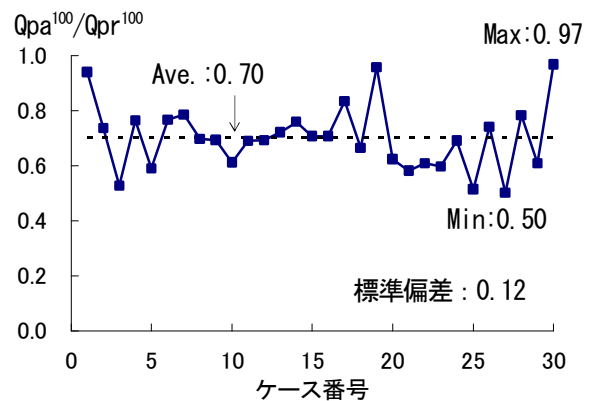


図-5 重みつき平均による代表値 $Q_{pa}^{100}$ と降雨確率手法による最大値 $Q_{pr}^{100}$ の比

対数正規分布(Quantile法)が比較的良いSLSCを示した。また、代表的な極値分布であるGumbel分布、平方根指数型最大値分布、対数Pearson分布(実数空間法)については比較的悪いSLSCを示した。

### (4) 結果および考察

ピーク流量の統計解析およびSLSCによる確率分布形の棄却判定後残った分布形について、その最大値と最小値の持つ $Qp^{100}$ が、旧基準におけるカバー率とどのような関係性があるかを算出した。 $Qp^{100}$ が該当するカバー率がない場合、 $Qp^{100}$ の収まる両隣のカバー率と流量を比例対応させ、相当カバー率と定義して求めた。

この結果、カバー率が100%以上となったケースは、分布形の最大値を用いた場合3ケース、最小値を用いた場合には見られなかった。また、最大値を用いた場合にはカバー率が60%程度のものがいくつかあり、最小値を用いた場合には40%程度のものが複数、20%程度を示すものも見られた(図-3)。なお、最大値を用いた場合の平均カバー率は約85%、最小値を用いた場合には約67%であった。

また、複数の確率分布形が当てはまる $Qp^{100}$ について、平均的にどの程度の値になるのかを検証した。ただし、SLSCの値が小さい分布形ほど重みが大いものとし、次式によるSLSCの逆数を乗じた重み付き平均を用いた。このときの $Qp^{100}$ を $Qpa^{100}$ とし、式中の( )内にある添字は確率計算手法を表す。なお、今回の検討では $Qpa^{100}$ の算出に算術平均法を用いても、大きな差異は見られなかった。

$$Qpd^{100} = \frac{Qp_{(EXP)}^{100} / SLSC_{(EXP)} + \dots + Qp_{(GEV)}^{100} / SLSC_{(GEV)}}{1 / SLSC_{(EXP)} + \dots + 1 / SLSC_{(GEV)}} \quad (9)$$

$Qpa^{100}$ を用い、上記と同様にカバー率を求めた結果、カバー率100%を超えるケースはなく、平均78%程度であった(図-4)。

今後はカバー率の概念が排除されたため、降雨確率手法による最大値を $Qpr^{100}$ とした場合の、 $Qpa^{100}$ との比を取ったものを示す(図-5)。新基準においては引き伸ばし率によるその結果、この比が1を超えるケースはなく、平均的には降雨確率手法による最大値の7割程度であることが示された。

ここでの検討より、SLSCで確率分布形を選定した後、最大値のピーク流量を用いてもカバー率は100%を超えたものは30ケース中3ケースにとどまった。平均的に見た場合、カバー率100%を超えるものはなく、 $Qpa^{100}$ と $Qpr^{100}$ の比においても1以上となるものはなかった。また、今回の検討結果から、引き伸ばしによる降雨確率手法と流量確率手法により算出される「〇〇年確率の洪水」のピーク流量を比較すると、ケースによってバラツキあることが示され、基本高水流量を巡る議論が長引いている場合には、再検討をしてみる余地があるといえる。

流量確率手法に基づいて基本高水流量を検討する場合の決定フロー図を、「河川砂防技術基準」に示されている決定フロー図<sup>9)</sup>になぞらえて示す(図-6)。

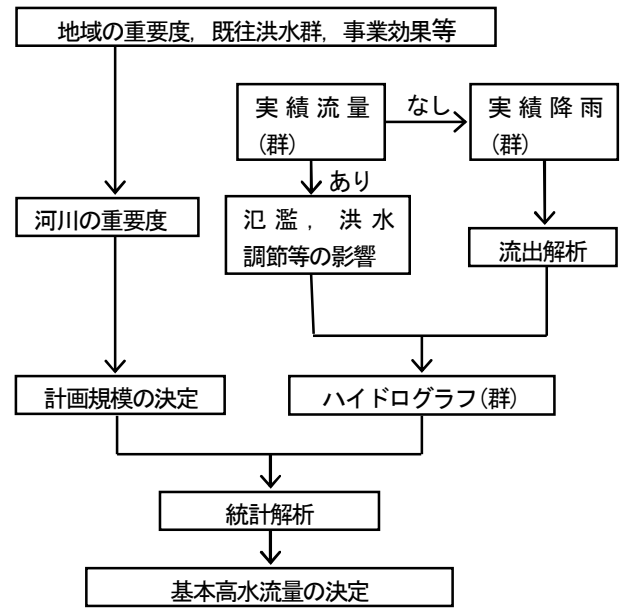


図-6 流量確率手法に基づく場合の基本高水流量の決定フロー図

## 5. A川の事例

A川は上流域が山地河川、中・下流域流が都市河川の様相を呈する一級河川で、流路延長17km、流域面積68km<sup>2</sup>を有する。治水基準点における治水目標は、100年確率で130mm/dの降雨に対して450 m<sup>3</sup>/s(カバー率100%)の基本高水流量が設定されている。本研究では、実例としてA川の基本高水流量が流量確率手法によればどの程度になるか検討を行った。

なお、本研究においてA川を取り上げたのは、手元に検討に耐えうるだけのデータが存在した理由によるもので、シミュレーションと実例との比較を目的としており、A川の治水計画に関しての是非を論ずる意図を持たないことを注記しておく。

当該河川の治水基準点では流量観測が行われていないため、流出解析により治水基準点における各年の最大流量を代用させた。A川の治水計画では流出解析に貯留関数法が用いられており、本研究でも同様の手法で流出解析を行った。計算に必要なパラメータなどは公表のものに準じた。対象降雨は65年分あったが、その時間降雨は引き伸ばしに使用された10年間分以外は不明であったため、残りの55年分は安全側に配慮し、10降雨の中で最も降雨の時間集中度が高い降雨パターンを参考に、引き伸ばしあるいは縮めて各年の時間降雨を作成した。

流出解析後のピーク流量のプロットにはWeibull式を用い、シミュレーションと同様な12種類の確率計算を行い、適合度の判定にもSLSCを用いた。SLSCの値は全体的に悪く、目視確認とSLSCの値が最も小さかった指数分布法(SLSC=0.041)から得た $Qp^{100}=356.39$

m<sup>3</sup>/s（基底流量を含む）を代表値とした。このときの相当カバー率は77.8%となり、シミュレーションによる平均値78%に近い値を得た。また、降雨確率手法による最大値（440.06 m<sup>3</sup>/s）との比は0.81となり、シミュレーションによる平均値0.7よりも若干大きな値を得た。

ただし、今回は実績降雨の時間分布を用いた検証を行わず、非現実的な時間降雨パターンを作成している可能性があり、実績降雨を入手次第再検討する予定である。

また、参考までに近年の事例として、平成16年10月の台風23号によるA川での出水状況について検討を加える。このとき、現在のA川流域の代表観測所であるB降雨観測所では119mm/d（ここで1日は9時～翌日の9時）の降雨が観測され、A川中流にあるC水位観測所で44 m<sup>3</sup>/sのピーク流量が観測された。このときの出水に対する一連の時間降雨を用いた貯留関数法と、比流量による流出解析を行った結果、C水位観測所におけるピーク流量は約97 m<sup>3</sup>/sとなった。貯留関数法に限らず、今後は流出解析に用いるパラメータの設定も、土地利用の変化などを踏まえて、詳細に議論がなされるべきであると考えられる。

## 6. 今後の基本高水流量のあり方

基本高水流量の決定に関して、どのような過程を経たとしても、決定された基本高水流量に基づく治水計画が数十年経過しても遂行できなければ、当該河川のハード的な治水安全度は長期間低い状態に置かれたままとなる。

戦後の国土復興時や高度経済成長時のように、治水に関する河川改修や流域開発が積極的に行い得る社会情勢下においては、基本高水流量がその治水目標として有効に働いてきたといえるが、計画が遂行できない状況下にある河川では、治水に関するハード的な対策は飽和状態に達しており、基本高水流量が治水目標としての機能を果たしていないものと指摘できる。特に、現在のように環境や公共事業のコストに対して敏感な社会情勢下では、設定された基本高水流量を満足できる治水計画が遂行される可能性はますます低くなるものと予見される。

また、治水計画が達成しにくい別の要因として、治水に関する流域住民の民意（治水ニーズ）が必ずしも十分に反映されていない現状が指摘できる。特に、基本高水流量は現在、専門家のみで構成される「河川整備基本方針」で決定されている。ところが、本稿冒頭でも述べたとおり、基本高水流量の概念は専門家の領域から一般市民層にまで浸透し、理解が深まってきている。

そこで、この河川整備基本方針で、洪水や治水事業によって利害が対立するような複数の流域住民の意見を徴収し、専門家や行政と共に議論していくことを提言する。住民の意見を反映させる場には「河川整備計画」があるが、この段階では基本高水流量は既に決定されているため、河川整備基本方針の段階から住民を参画させ、実際

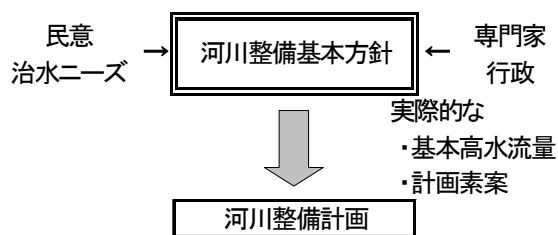


図-7 河川整備基本方針への民意反映の概念

的な治水ニーズを把握しておくことの意義は高いと考える。すなわち、従来のように確率論などから基本高水流量を先に決め、その後でハード対策を決めていくのではなく、ハード対策と基本高水流量とを同時に考えていくのである（図-7）。議論の結果、既定されている基本高水流量より、大きくなることも小さくなることも想定されるが、こうした方法によって流域住民と行政の間にコンセンサスが取れていれば、治水計画もスムーズに進展できるものと推測される。この中で専門家の重要な役割は、治水ニーズを中心に据えた様々なパターンの治水対策方法と、それらの効果の相違などを提示することである。

ところで、時間・空間的に集中する傾向にある最近の雨の降り方では、中小規模流域を中心に基本高水流量以上の流出による堤防溢水も見受けられる。また、基本高水流量がハード整備の目標である以上、これを満足し難い場合、超過洪水対策としての本格的なソフト対策が必要となってくるはずである。

ソフト対策に関する議論は、ハード整備の実現性がある段階に達しないと移行し難い性質があるため、上述のような議論でハード面でのコンセンサスが取れれば、ソフト対策の視点からもメリットのひとつになると考える。

## 7. おわりに

本研究により、基本高水流量の算出に関しての問題点を一部明らかにすることができ、様々なモデル流域を設定したシミュレーションから、基本高水流量の意味する「〇〇年確率の洪水」という視点においては、降雨確率手法と流量確率手法によるピーク流量の値には、ケースごとにバラツキがあることが示された。また、研究全体を通じて基本高水流量の決定に民意を反映させる必要性を感じ、今後の基本高水流量のあり方について考察を加えたことで、現状より合理的な基本高水流量の決定が可能になるものと期待される。

しかしながら、シミュレーションにおいて100年確率に限定した点、時間降雨の与え方に一様乱数を用いたことで非現実的な降雨パターンを形成したり、流出解析後ピーク比流量が30m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>を超えたものを含んでいた点に改善の余地を残し、また実際の治水計画を事例に詳細な検討を行っていない点は十分とはいえず、これらにつ

いては要検討課題として今後取り組む予定である。

**謝辞**：本稿は、筆者の一人である佐藤の修士論文（新潟大学大学院自然科学研究科前期課程）をまとめ直したものである。修士論文作成にあたっては、主査であった大熊の他、副査の杉山博信教授（自然科学研究科）および泉宮尊司教授（工学部）からの適切なお指導とご助言によるところが大きい。また、統計解析の一部に、(財)国土技術研究センターより無償配布されている「水文統計ユーティリティ」を使用させていただいた。ここに記して心より謝意を示す。

#### 参考文献

- 1) たとえば、国土交通省河川局監修，社団法人 日本河川協会編・発行，改訂新版 国土交通省河川砂防技術基準 同解説・計画編，p.28，山海堂，2005
- 2) 国土交通省河川局ホームページ  
<http://www.mlit.go.jp/river/gaiyou/seibi/index.html>
- 3) 永井昭博他，ダム管理の水文学，pp.39-42，森北出版株式会社，2003
- 4), 5) 同上，p.40
- 6) 前掲1)，p.34