

水文量の不確定性の総合評価と その活用策

佐合 純造¹⁾

1) (財)リバーフロント整備センター技術普及部
(〒102-0082 東京都千代田区一番町8一番町FSビル)

水文量の不確定性が計画値や管理値にどの程度影響するのか総合的に示しておくことは水文量を河川計画や管理に活かしていく上で不可欠である。このため、水文データの誤差を地点雨量から流量までを共通の定義（相対誤差）を用いて個々に評価するとともに誤差伝播の法則を用いて水文量を総合的に評価した。その結果、雨量から流量まで誤差を一貫して考えた場合、流出計算から求められる流量値は約25%の誤差を有すること、誤差のもっとも大きな要因は流出率であり約19%であることが示された。さらに、水文量の不確定性を反映させるため計画洪水流量に信頼度を考慮すべきであることを提案した。

キーワード：不確定性、相対誤差、誤差伝播、水文データ、計画流量

I. はじめに

一般に観測や実験から得られる数値には必ず誤差が含まれており、できるだけ小さくすることはできるが、0にはできない。すなわち、観測値や実験値は大なり小なり、不確定性を有している。このことは水文量も例外ではない。このため、水文量を解析や利用する場合には不確定性を認識しつつ河川の計画や管理に利用する必要がある。

河川計画や管理で用いられる水文量は、雨量、水位、流量等であるが、直接観測されるものだけでなく、何回かの観測結果の代表値や複数の地点や種類の水文データから推算される場合もあり、その不確定さは様々である。たとえば、流出モデルで雨量から流量を求める場合、地点雨量の収集、流域雨量や有効雨量の推定、流出モデルによる流量算定等の各段階で誤差が発生し段階を経るごとに不確定さは増加するはずである。

既往の研究では雨量、流量など個別の各水文量の誤差や不確定性について扱ったものは多いが、一連のプロセスを通しての水文量の不確定性の評価はあまりなされていない。

各水文量の不確定性が計画値にどの程度影響しているのか定量的に示すことは、実務上、河川計画や管理の信頼性を確認するために不可欠である。また、

計画値の信頼性を定量的に示すことは一般住民への情報公開などアカウンタビリティの観点からも重要である。

河川に用いられている計画値の不確定性（または誤差）は、本来であれば個別の河川において様々な水文気象条件で1つ1つ検討する必要がある。

本論では既往の研究で得られている水文量の一般的な誤差値や統計法則を用いて計画値など水文解析で得られる水文量の誤差を推算する。この際、水文解析のプロセスの中で誤差の全体像を把握することを優先して、特別の条件下で発生する誤差は無視するとともに、各プロセスに必要な誤差の中で既往の研究で明らかにされていないものは、類似の事例を参考に仮定するなどして検討を進めることにする。

II. 水文量の不確定性とその評価

本稿では水文量の不確定性を誤差によって評価する。誤差は「真値」と「測定値」（または「推定値」）との差と定義されている。誤差には観測のたびにランダムにばらつく部分と一定の法則でばらつく部分があり、前者は偶然誤差（またはランダム誤差）と呼ばれ、後者は系統誤差と呼ばれる。偶然誤差は観測機器、その設置方法、データ読みとり、推定式の

精度等の要因によりランダムに生じるが、正規分布を適用して統計的に評価できる。一方、系統誤差は観測機器の調整不良や推定方法などからランダムには生じず、その評価は統計的に困難である。このため、本論では系統誤差はあらかじめ除外されているとして、誤差は全て偶然誤差として扱うことにする。

ところで、統計学の定義では、式 (1) で示すような「観測値」と「真値」との差を「真値」で割った値を「相対誤差」と呼んでいる。以下では「相対誤差」を「誤差」として議論を進める。

$$\varepsilon = (X-x)/X \tag{1}$$

ただし、 ε ：相対誤差、 X ：真値、 x ：観測値

相対誤差は%で表現されることも多い。なお、水文量では「真値」は不明であるため、特に指定しない限り「真値」は多数のデータから算定した平均値で代用されることが多い。質の良いデータが多数集まれば、その平均値は「真値」に近づく。誤差の範囲を「真値」をはさんで示せば、次のようになる。

$$(-\varepsilon X, +\varepsilon X) \tag{2}$$

誤差は正規分布に従うため、その標準偏差 (σ) と信頼度 ($1-\alpha$) から信頼区間 (両側) を求め、誤差の範囲を得ることができる。すなわち、

$$(-\sigma Z_\alpha, +\sigma Z_\alpha) \tag{3}$$

なお、 Z_α は標準正規分布する変数で、

確率誤差： $Z_\alpha=0.675$ ($1-\alpha=0.5$)

(観測値又は推算値の50%が収まる範囲)

平均誤差： $Z_\alpha=1$ ($1-\alpha=0.68$)

(同じく68%が収まる範囲)

最確誤差： $Z_\alpha=2.58$ ($1-\alpha=0.99$)

(同じく99%が収まる範囲)

と各々呼んでいる (図-1参照)。

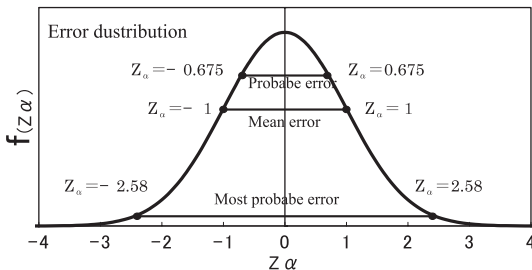


図-1 誤差の種類
Fig. 1 Category of error.

これらの表示方法のうち、統計学で最もよく使われているのが「平均誤差」であり、以下では「平均誤差」を誤差として議論を進めることにする。なお、式 (2)、式 (3) を比較することにより、式 (4) が得られる。

$$\varepsilon X = Z_\alpha \sigma \tag{4}$$

平均誤差は、 $Z_\alpha=1$ であることから、 $\varepsilon = \sigma/X$ となり、 ε は変動係数と一致する。

なお、既往の水文量の誤差に関する研究の中には誤差について明確な定義を示していないものもある。これについては以下では平均誤差と考えて議論を進めることにする。

Ⅲ. 誤差の伝播及び結合

水文量は直接観測されるだけでなく、いくつかの観測値から推定される場合も多い。たとえば、流域雨量などは多くの地点雨量値から推定される。推定式から求められる場合、元の水文量から伝播及び結合の法則に従って誤差が伝わる (吉澤, 1989)。たとえば、2つの観測値から別の水文量を推定する場合、元の水文量の誤差と推定された値の誤差の関係では、 $Z = \Psi(X, Y)$ のとき、 X, Y の分散 σ_X^2, σ_Y^2 は式 (5) のように Z の母分散 σ_Z^2 に伝播される。

$$\sigma_Z^2 = \left(\frac{\partial \Psi}{\partial X}\right)^2 \sigma_X^2 + \left(\frac{\partial \Psi}{\partial Y}\right)^2 \sigma_Y^2 \tag{5}$$

上記の関係が成立する条件は、 X と Y が独立で、テーラー展開が $(X-x), (Y-y)$ の1次の項までで十分近似ができることであり、 X, Y の分布形には関係しない。たとえば、

① $Z = aX + bY$ の場合

$$\sigma_Z^2 = a^2 \sigma_X^2 + b^2 \sigma_Y^2 \tag{6}$$

② $Z = aXY$ の場合

$$\frac{\sigma_Z^2}{m_Z^2} = \frac{\sigma_X^2}{m_X^2} + \frac{\sigma_Y^2}{m_Y^2} \tag{7}$$

③ $Z = aX^b$ の場合

$$\frac{\sigma_Z^2}{m_Z^2} = \frac{b^2 \sigma_X^2}{m_X^2} \tag{8}$$

ただし、 m_X, m_Y, m_Z はそれぞれ、 X, Y, Z の母平均である。

また、モデルにも実現象との間に誤差があるはずで、たとえば流出モデルを用いて推定する場合、モデルで用いる推定式 Ψ 自身が誤差(ε_Ψ)を有していれば、全体の誤差(ε)は、式(6)、(7)、(8)から得られるZの誤差と ε_Ψ を結合して式(9)で求められる。

$$\varepsilon^2 = \left(\frac{\sigma_Z}{m_Z}\right)^2 + \varepsilon_\Psi^2 \quad (9)$$

IV. 雨量の誤差

1. 地点雨量の誤差

地点雨量は通常の地上設置型の雨量計からの観測値である。地点雨量の誤差は「雨量計の計器としての誤差」と「周辺地上物や風の影響による誤差」に分けられる。

1) 計器としての誤差

計器としての誤差のうち、偶然誤差の要因としては受水口の大きさや転倒マスの大きさが考えられる。

① 受水口の大きさ

我が国では直径20 cmの受水口のもものが統一して使用されている。20 cm程度の直径のものを使用していれば理論的には誤差は1%以下である(川畑, 1961)。竹内らの現地での実測例でも同様の結果を得ている(竹内, 江川, 1961)。このため、受水口の大きさによる誤差は雨量全体の誤差の中では小さく、この誤差は考慮しないことにする。

② 転倒マスの大きさ

転倒マスによる誤差は降雨初期及び終期に転倒マスに残る雨量の影響や、マス転倒中での雨量の捕捉誤差である。前者については雨量が大きくなれば無視できる。後者については反対に大きくなり、降雨強度50 mm/h以上で1%、100 mm/hで3%程度の誤差である(吉野, 1987)。なお、気象庁が行っている検定でも3%以内(20 mm以上の場合)としている(気象庁, 2002)。

2) 周辺地上物や風の影響による誤差

雨滴の落下中に周辺地物に妨げられたり、気流の変化により雨量計で観測される雨量値が変動する。河川砂防技術基準などによれば、雨量計を設置する場所は空気流線の変化が少ない「周りの地物の4倍以上離れ、おおむね「10 m以上」開放された土地が望まれている(建設省水文研究会, 1985)。しかし、土地の制約上、「10 m以上」開放できる条件を満たすような観測所はほとんどなく、なんらかの誤差が生

じていると考えられる。

1つは雨量計そのものによって周辺の気流が乱れるもので、地上から30 cmの高さに設置した雨量計の例では、約8%の誤差があるとされている(岡本, 1982)。

以上から、地点雨量の誤差は少なく見積もっても雨量計本体から生じる誤差は1~3%程度、雨量計周辺の地物による誤差は大きな障害物がなくても8%程度あり、総合すれば10%程度の誤差が考えられる。

3) 流域雨量の誤差

地点雨量から流域の面積雨量を求めるための流域全体の雨量計配置をどのようにするかが重要である。このため、流域に複数の地点雨量を設置して、地点雨量をその地区の代表雨量として面積雨量を求める。

面積雨量(r_m)の誤差(ε_{r_m})は「推定方法の単純化等によって生じる誤差」と「地点雨量(r_i)の誤差の伝播」が合算されたものとなり、式(10)から求められる。

$$\varepsilon_{r_m}^2 = (\text{流域雨量推定による誤差})^2 + (\text{地点雨量の誤差})^2 \quad (10)$$

流域雨量推定方法については通常、複数の地点雨量から得られて、たとえば、式(11)のような関係が考えられる。

$$r_m = \sum_i^n \alpha_i r_i \quad (11)$$

α_i は、i地点の雨量 r_i が流域雨量に寄与する「支配率」で、設置位置の立地性から総合的に決められる。ティーセン法の場合は α_i は支配面積の比率によって決められる。

また、観測点数と誤差の関係について以下の確率的研究がある。すなわち、雨量観測所数(n)と推定流域雨量の誤差の関係は式(12)で求められる(橋本・佐藤, 1974)。

$$\varepsilon_{r_m} n^{0.5} / C_v \geq Z_\alpha \quad (12)$$

ただし、 ε_{r_m} は推定値の誤差、 C_v は地点雨量の面的バラツキ(変動係数)、 Z_α は規準化された正規分布値、 $1-\alpha$ は信頼度で0.95とすれば、

式(13)の C_v は雨量にはよらず、流域面積の増加とともに増大する関係があるとされている。これより、 ε_{r_m} を定めて、流域面積~雨量観測所数を求めることができる(橋本・佐藤, 1974)。

我が国では、雨量計は河川管理上、50 km²~70 km²/1ヶ所程度配置されており、上記の理論及び実地観測結果(竹内・江川・神谷, 1960)から判断して、流域雨量の推定に起因する誤差は通常10%程度と考えられる。したがって、流域雨量の誤差(ε_m)は式(10)に上述から得られた数値を適用して式(14)のように14%と算定される。

$$\begin{aligned} \varepsilon_m^2 &= (0.1)^2 + (0.1)^2 \\ &= 0.02 = (0.14)^2 \end{aligned} \quad (14)$$

V. 水位の誤差

水位観測には普通観測と自記観測がある。重要な観測地点では自記記録が優先されている。このため、ここでは自記観測による誤差について考察する。

水位の誤差(ε_H)は計器から生じる誤差と自記記録の読みとり時の誤差がある。

計器による誤差は計器の種類や測定幅によって異なる。竹内は、フロート式水位計の場合、誤差の要因として①フロート・ラグ、②平衡錘の水没、③ワイヤーの移動によるフロート吃水変化をあげており、それぞれ、①1.79 cm、②0.62 cm、③0.25~0.27 cm/mの具体的な誤差の値を示している(竹内, 1981)。しかし、近年、計器の性能向上が図られており、誤差を0.1%程度(測定幅10 mで±1 cm)であるとしている(たとえば、横河電子機器(株))。

また、読みとりに関する誤差は、出水時には短周期の波浪が生じており、通常はこれを一定時間平均したものを読みとり値としている。この平滑化の誤差、特に水位が急変化する場合は誤差が生じる。しかし、これらの誤差は条件によって違いが大きいためその評価は難しい。このため、今回はこれらの誤差は考慮せず0と考える。

以上より、水位の誤差(ε_H)は「計器の誤差+波浪除去に伴う誤差」であり、計器の誤差を0.1%、波浪除去に伴う誤差を0とすれば、約0.1%となる。

VI. 流量の誤差

流量値には直接観測した値、水位流量曲線(H-Q曲線)で水位データから求めた値、流出モデルで雨量データから求めた値等がある。また、求め方によって誤差も様々である。これらの誤差の大きさについて考察する。

1. 流量観測による流量の誤差

洪水時の流量は式(15)で求められる。

$$\begin{aligned} \text{洪水流量}(Q) &= \text{平均流速}(V) \\ &\quad \times \text{河道断面積}(A) \end{aligned} \quad (15)$$

洪水流量の誤差(ε_Q)は前述の式(7)から式(16)のように求められる。

$$\varepsilon_Q^2 = (\sigma_Q / \bar{Q})^2 = (\sigma_V / \bar{V})^2 + (\sigma_A / \bar{A})^2 \quad (16)$$

まず、洪水時の流量であるが、通常、浮子によって観測する。浮子による流速測定は浮子を一定距離流して、その間の流下時間を測って求めるが、洪水時の悪条件のため時間測定に誤差が出やすい。また、平均流速は浮子の長さによって定められている更正係数を掛けて求める。

浮子による流量観測の誤差評価についての検討例はほとんど見あたらない。このため、低水時に適用される流速計観測の誤差評価の結果を準用することにする。すなわち、竹内等は水深方向で6割水深の流速を平均流速として扱うことによる誤差が2%、川幅方向を1/10ずつに分割することによって生じる誤差が3%としている(竹内, 1996)。これらから流速計観測の誤差(ε_V)は式(17)のように3.6%と算定される。

$$\begin{aligned} \varepsilon_V^2 &= (0.02)^2 + (0.03)^2 \\ &= 0.0013 = (0.036)^2 \end{aligned} \quad (17)$$

実際は上記より観測条件によっては、これ以上の誤差が生じる可能性があるが、式(17)の結果を適用する。

次に河道断面であるが、河道断面は洪水中に河床変動するが、洪水中は断面測定が困難なため、洪水前後の断面のうち、大きい方の値をとって洪水中の断面とすることになっている。しかし、洪水最盛期には、洪水前後よりかなり河床が掘れていることが多く、竹内によれば、洪水前後の測量断面に較べ10%程度の断面変化があるとしている(竹内, 1996)。このため、河道断面の流量値に与える誤差は10%とする。

これらより流量の誤差は上記の2つの誤差を重ねて、式(18)のように11%と算定される。

$$\begin{aligned} \varepsilon_Q^2 &= (0.1)^2 + (0.036)^2 \\ &= 0.00113 = (0.11)^2 \end{aligned} \quad (18)$$

2. 水位流量曲線から求める流量の誤差

一定時間間隔の流量は直接測らず、一定時間間隔の水位から水位流量 (H-Q) 曲線によって求める。水位流量曲線は、通常、式 (19) で表される。

$$Q = a(H+b)^2 \quad (19)$$

水位流量曲線自身の誤差は、竹内によれば年間4本の水位流量曲線で流量を求めた場合、10 % の誤差に収まる推定流量は83 % であるとしている (竹内, 1996)。誤差分布が正規分布に従うとすると、このとき、 $1-\alpha=0.83$ であるので $Z_\alpha=1.37$ となる (図-1 参照)。誤差10 % ($Z_\alpha=1.37$) を平均誤差 ($Z_\alpha=1$) に換算するためには、 $Z \sim \epsilon$ を単純に線形と仮定して、 $0.1 \times 1/1.37$ から約7 % (ϵ_{H-Q}) となる。なお、水位と流量が1対1の関係が成り立たない場合や河床変動の著しい箇所では、誤差はさらに大きくなる。

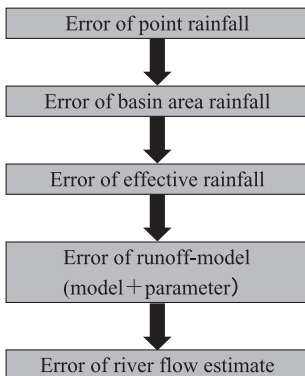
水位流量曲線から得られる流量の誤差 (ϵ_q) は、直接観測した流量の誤差 (ϵ_Q)、水位流量曲線 (式 (19)) に式 (8) を適用して得られる誤差、及び水位流量曲線自身の誤差 (ϵ_{H-Q}) を重ねて、式 (20) のように13 % と算定される。

$$\begin{aligned} \epsilon_q^2 &= (\epsilon_Q)^2 + 2^2 (\epsilon_H)^2 + (\epsilon_{H-Q})^2 \\ &= (0.11)^2 + 2^2 (0.001)^2 + (0.07)^2 \\ &= 0.0170 = (0.13)^2 \end{aligned} \quad (20)$$

3. 流出解析から得られる流量の誤差

降雨量から流量を求める過程とそれに伴う誤差伝播のプロセスを表-1に示す。誤差は表-1の各過程で生じて、これらは伝播して算定流量の誤差として

表-1 雨量から流量算定までの誤差伝播プロセス
Table 1 Error propagation process with river flow estimation by runoff-model.



累積される。

1) 流出率及び有効雨量の誤差

流出モデルの入力値である有効雨量 (r_{me}) は、通常、式 (21) のように求められる。

$$r_{me} = f \times r \quad (21)$$

ただし、 f は流出率で河川砂防技術基準等では、 f は流域の土地利用別に定められており、それぞれの値に10~20 %の幅をもっている。

ここでは、単純化して降雨量に関わらず一定として $f=R/Q$ と考える (R は総雨量、 Q は総流出量)。総流出量 Q の誤差は上記の $H-Q$ 曲線から求めた流量の誤差は式 (20) より0.13、総雨量 R の誤差は式 (14) より0.14とすると、 f の誤差は式 (7) から得られる式 (22) のように19 % と算定される。

$$\begin{aligned} \epsilon_f^2 &= (\sigma_f / \bar{f})^2 = (\sigma_R / \bar{R})^2 + (\sigma_Q / \bar{Q})^2 \\ &= (0.14)^2 + (0.13)^2 \\ &= 0.0365 = (0.19)^2 \end{aligned} \quad (22)$$

流出率は直接測定が困難であり、雨量と流量の両方の誤差が伝播するため大きな誤差を生じる。地点雨量と面積雨量の関係、降雨の浸透機構、複雑な流出メカニズムの解明の難しさから、流出率が「誤差のしわ寄せ」的存在であると考えられる。上記の結果から有効雨量の誤差は式 (14) と式 (22) を用いて、式 (23) のように約24 % と算定される。

$$\begin{aligned} \epsilon_{r_{me}}^2 &= (\sigma_{r_{me}} / \bar{r}_{me})^2 = (\sigma_{r_m} / \bar{r}_m)^2 + (\sigma_f / \bar{f})^2 \\ &= 0.02 + 0.0365 \\ &= 0.0565 = (0.238)^2 \end{aligned} \quad (23)$$

2) 流出モデルの誤差

流出モデルを用いて、ある流域について降雨量から流量を推定する場合、

- ① 入力データの誤差
- ② 現実の流域を単純化して、物理現象をモデルにすることによる誤差

の2つの要因から生じると考えられる。また、これらを合わせた誤差は上記から、 $①^2+②^2$ で求められる。

①の入力データの誤差は雨量 (有効雨量) の誤差である。②は、たとえば、線形モデルか非線形モデルか、パラメータの数や値等も誤差に影響する。ここではよく用いられている貯留関数モデルを想定する。流出モデルを定量的に比較した研究は数少な

い。永井は実測雨量と実測流量をいずれも誤差のない真値と仮定して貯留関数法を最適同定した結果、貯留関数法の誤差は概ね9%であることを示している(永井, 1983)。これを②の誤差とみなすことにする。以上より、①²+②²、すなわち、流出解析から求める流量の誤差は式(24)で算定される。

$$\begin{aligned} & (\text{有効雨量の誤差})^2 + (\text{貯留関数モデルの誤差})^2 \\ & = (0.238)^2 + (0.09)^2 \quad (24) \\ & = 0.0646 = (0.25)^2 \end{aligned}$$

すなわち、雨量から流量まで誤差を一貫して考えた場合、流出計算から求められる流量値は約25%の誤差(不確実性)を有することが示された。

また、地点雨量観測から流量推定まで各プロセスでの誤差を図-2に示す。これによれば、降雨から流出モデルを用いた一連の流量推定においては流出率に起因する誤差(不確実性)が最大となることがわかる。

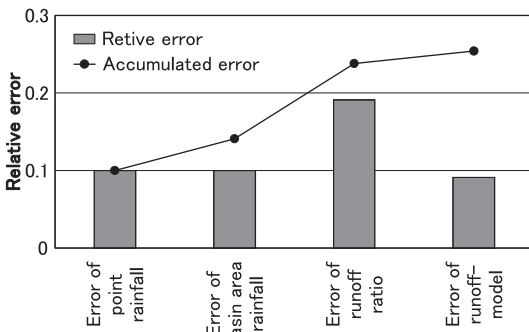


図-2 雨量から流量算定までの誤差と伝播
Fig.2 Error and propagation with river flow estimation by runoff-model.

3) 流量の推定方法の違いによる誤差

流量の推定方法による誤差の違いを図-3に示す。同図のように推定方法で誤差に差異が生じており、流出モデルによって求める場合には誤差は約25%となり、直接観測値(誤差11%)や水位流量(H-Q)曲線から求める場合(誤差13%)に比較して2倍近い誤差となった。

なお、上記の各誤差値はあくまで既往研究の成果から推算したものであり、あくまで各水文量の誤差の全般的な傾向を示すものであり、また、特殊な条件での誤差は含まないことは言うまでもない。

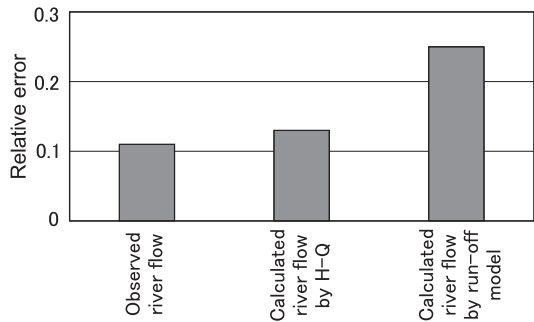


図-3 流量算定の方法と誤差の比較
Fig. 3 Error and river flow approximation process.

Ⅶ. 治水計画への反映について

これまでの議論を踏まえて、治水計画での不確実性の反映について検討する。

現在、治水計画では各河川の重要度など総合的に判断して計画規模を定めてこれに相当する基本高水や計画流量を求めている。この際、流量データにくらべて降雨データのほうが古くから蓄積されていることが多いため、計画規模に相当する降雨量を求めてこれを入力値として流出モデルを用いて基本高水(波形)やピーク流量を求めることが多い。この場合、計画値は一つの波形またはピーク流量値として求めるため、解析の前提となるデータやモデルの不確実性(誤差)は考慮されていない。

このため、計画に使用する流量値に不確実性を考慮するとすれば、信頼度によって幅を持たせた値とすることが一つの方法として考えられる。

たとえば、t年確率の雨量から貯留関数法などの流出モデルを用いて一般的な方法で求められる平均的な流量値をQtとする。従来はこれを計画流量としている。

不確実性を考慮した計画流量を求めるためには、「Qt ± εQt」のように幅を持たせれば、水文データ、流出モデルの不確実性(誤差)によって計画流量が変動することになる。

治水計画では洪水を対象とするため、+側の不確実性のみを考えて平均誤差での評価から信頼度を84%(両側であれば68%であるが片側(+))のみのため)とすれば、式(24)からε=0.25となるので不確実性を考慮した計画流量は、

$$Qt + 0.25Qt (1 - \alpha/2) = 0.84Qt \quad (25)$$

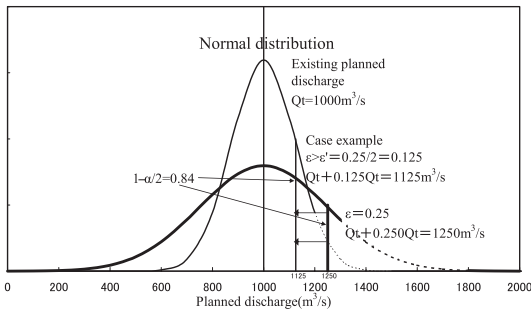


図-4 不確定性を考慮した計画流量
Fig. 4 Planned discharge on based uncertainty.

たとえば、図-4のように Q_t が $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ の場合には、信頼度84%で $1250 \text{ m}^3/\text{s}$ ($=1000+250$)となる。すなわち、通常の計画流量が $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ の場合、84%の信頼度を確保することによって計画流量は $1250 \text{ m}^3/\text{s}$ となる。この値は通常の計画流量よりも $250 \text{ m}^3/\text{s}$ 大きくなり、過大ではないかとの意見が出るかもしれない。しかし、各水流量の観測誤差や流出モデルの誤差などが小さくなれば、 ϵ は小さくなり信頼度による幅が小さくなるため、不確定性を考慮した計画値も下がることを念頭におく必要がある。図-4には ϵ が $1/2$ になった場合を示す。

今回は $(1-\alpha/2=0.84)$ の信頼度で検討を行ったが、信頼度をいくらに設定するかは各種リスク比較や経済性を踏まえて決定すべきである。

以上のように、計画値に不確定性を考慮することにより、精度の高い継続的な水文データが必要となり、河川施設の合理的な規模設定や配置計画が可能となるはずである。特にこれまで水文機器開発や手法の改善による精度向上による寄与が不明確であったが、精度向上の効果が適正な計画規模の設定につながるため、観測精度の向上のための技術開発や手法の改善にインセンティブが働き、投資や研究も進みやすくなると考えられる。

なお、計画流量の不確定性は、①実績の水流量及び流出モデル等から生じる誤差、②確率計算による誤差、に分類される。本稿では①による誤差を対象にして検討してきたが、②の不確定性も評価すべきであるが、今回は②の影響を無視して扱った。本来の計画値の不確定性は今回の結果よりさらに大きいものになることが推察される。このため、今後は①と②を合わせた不確定性の評価が必要である。

また、河川計画や管理の不確定性の要素には、水流量の不確定性以外に、堤防などの施設の物理的な

不確定性（施設の信頼性とも言い換えることもできる）の問題がある（近藤，2006）。これと本稿で検討した「計画値の不確定性」の両者が総合的に評価されることにより、不確定性を明確にした河川計画や管理が実現されると考えられる。

VIII. まとめ

本稿は水流量の不確定性についての既往の研究成果に基づいて、共通の定義（相対誤差）を用いて評価するとともに、水流量全体を見渡すことによって不確定性（誤差）がどこに含まれているのか、また、結果的に計画流量の不確定性がどの程度であるかを試算したものである。その結果、

1. 雨量から流量まで相対誤差で一貫して整理した場合、流出解析から得られる流量値は約25%の不確定性を有すること、また、不確定性のもっとも大きな要因は流出率であり約19%であることを示した。ただし、これらの結果は過去の研究で示されている値から多くの仮定を行いながら算定したものであり、再評価される可能性がある。たとえば、雨量、水位、流量等の一連の水文データについて統一した誤差評価できる観測やデータ管理を行い、効率的に水流量の精度向上を図っていくことが望まれる。
2. 不確定性のある水流量から求められる計画洪水流量などについて、不確定性を考慮するための考え方について提案した。現在、計画流量では不確定性について考慮されていないが、本稿で示した考え方はその方向性を示すものであり、今後の検討の参考になるであろう。

最後に本報の執筆に当たって中尾忠彦氏（（財）河川情報センター）から有益なアドバイスを頂いたことに感謝を表します。

参考文献

吉澤康和(1989)：新しい誤差論，共立出版，pp.157-168。
 川畑幸夫(1961)：水文気象学，地人書館，pp.36。
 竹内俊雄，江川太郎(1961)：雨量計受水部の口径の大きさの雨量に及ぼす影響について，土木研究所報告第109号-6，pp.3。
 竹内俊雄(1996)：河川応用水文学序説，河川情報センター，pp.189-197。
 竹内俊雄(1996)：河川応用水文学序説，河川情報センター，pp.202。
 吉野文雄(1987)：豪雨・洪水防災，白亜書房，pp.19。
 気象庁(2002)：気象業務法第9条の検定の対象となる気象測器の検定の合格基準を定める告示，平成14年気象庁告示第7号，pp.26-27。

建設省水文研究会(1985):水文観測,全日本建設技術協会, pp.32.
岡本芳美(1982):技術水文学,日刊工業新聞, pp.77.
橋本健・佐藤一郎(1974):面積雨量の精度と雨量観測所数,土木技術資料Vo.16, No.12, pp37.
竹内俊雄・江川太朗・神谷隆太郎(1960):山地流域における一雨
雨量の降雨分布について,土木研究所報告第106号, pp.12-15.
竹内俊雄(1981):水文観測用測器の歴史と現況, pp.39-40

横河電子機器(株):水研62型長期自記水位計解説資料,
<http://www.yokogawa.com/jp-ydk/ie/env/hyd/products/ydkie-en-water-w-021-ja.htm> (参照:2008/01/30)
永井明博(1983):流出モデルの最適同定法とその応用に関する研究,学位論文, pp.93.
近藤徹(2006):治水哲学の転換期,河川8月号, pp.6-8.
(受付:2008年2月1日,受理:2008年6月5日)

Integrated Evaluation of Uncertainty in Hydrological Data and Application in Flood Control Plan

Junzo SAGO ²⁾

¹⁾ Foundation for Riverfront Improvement and Restoration
(Ichibancho FS Building, 8, Ichiban-cho, Chiyoda-ku, Tokyo, Japan)

It is essential to examine uncertainty of hydrological value comprehensively for improving river planning and river management. Consequently, I estimated the error of each hydrological data and the propagation error using relative error as evaluation index. As a result, It was evaluated that discharge calculated from rain data has error of 25 %, and the biggest factor of the error is runoff ratio and the error is 19 %. In addition, It was recommended that reliability analysis should apply to flood control plan to reflect uncertainty of hydrological value.

Key words : uncertainty, relative error, error propagation, hydrological data, design discharge