

# 「水文統計ユーティリティの開発」

社会システム事業部 技術開発部 開発1課

笠崎 伸一郎

## 1. はじめに

2000年9月10日から東海地方を襲った秋雨前線は、名古屋市および愛知県を中心に甚大な被害を与えた。都市機能の麻痺についても大きな教訓を与えたと言ってよい。都市型水害への防災対策が叫ばれる中、関係諸機関では様々な調査・研究を行い、対策を模索している。そのような研究機関のひとつに(財)国土技術研究センター(JICE)様がある。弊社はJICE様が行っている水害対策研究の一助となる様々な計算システムの作成に多年にわたり参加させて頂いている。本稿ではその中の一かつである「水文統計ユーティリティ」の開発事例を紹介したいと思う。

## 2. 水文統計とは

前述の東海豪雨において、名古屋気象台の記録では、1時間降水量は最大で93mm/hrであり、日最大雨量は9月11日に428mmを記録している。これらはともに名古屋気象台の1891年から1998年にわたる108年間の記録の第1位である。また、総降水量は継続時間82時間に対して562mmに達した。名古屋気象台での既往の記録は京都大学の牛山氏によって整理されており、108年間の上位5位までを表2-1に示す(<http://www.disaster-i.net/>)。第1位の記録は、時間雨量においては92mm/hrであり、日雨量では240mmである。昨

年の東海豪雨では、時間降水量は108年間に観測された最高値とほとんど同じであったが、日雨量は既往最大値の1.8倍に達しており、飛びぬけて大きな規模の降雨であったことがうかがえる。

表 2-1 名古屋気象台の既往豪雨記録

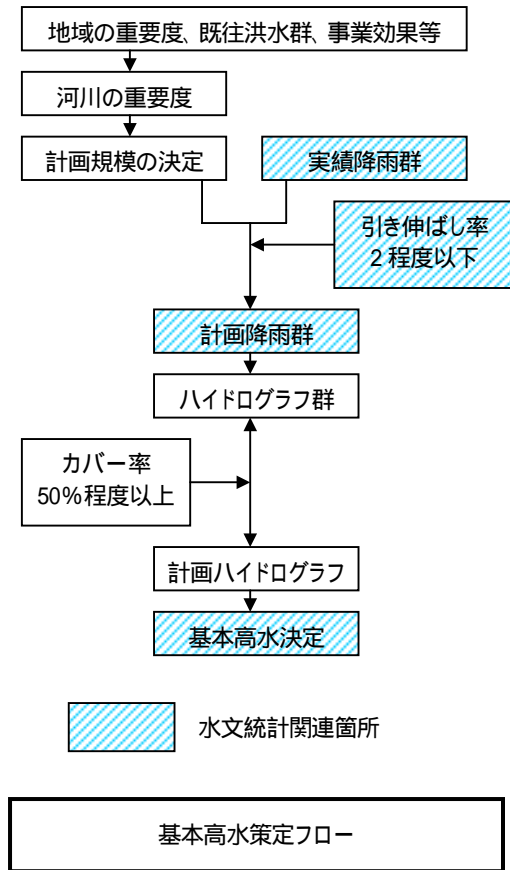
名古屋、1時間降水量 1891-1998	mm
1919年07月18日	92.0
1971年09月26日	82.0
1945年09月11日	76.0
1987年09月25日	75.0
1909年09月01日	74.1

名古屋、日降水量 1891-1998	mm
1896年09月09日	240.1
1991年09月19日	217.5
1896年09月08日	213.2
1971年08月30日	202.0
1940年06月17日	183.5

水文統計は既往の水文量である雨量や流量を元に統計的手法を用いてその生起確率を求めるものである。

国や自治体などの河川管理者が行う河川計画の一部である高水計画策定には水文統計計算は必須であり、降雨の生起確率計算は、高水計画策定を行うための第一歩となる最も重要なデータといえる。各地域で必要とされている治水安全度を確保

するためには、まず水系基準地点の計画規模に応じた確率雨量を求め、これをもとに流出解析計算により基本高水、計画高水が策定される。河川事業の随所に供せられる。一方、確率流量はこれら高水計画の妥当性を評価するための資料として使用される。



### 3. 機能、特徴

#### 3.1. 確率分布モデルの種類

水文統計ユーティリティは全 16 種の確率分布モデルを備えている。

毎年値 (13 種類)	
1.	指数分布
2.	グンベル分布
3.	平方根指数型最大値分布
4.	一般化極値分布
5.	対数ピアソン III 型分布(実数空間法)
6.	対数ピアソン III 型分布(対数空間法)
7.	岩井法
8.	石原・高瀬法
9.	対数正規分布 3 母数クォンタイル法
10.	対数正規分布 3 母数(Slade II)
11.	対数正規分布 2 母数(Slade I, L 積率法)
12.	対数正規分布 2 母数(Slade I, L 積率法)
13.	対数正規分布 4 母数(Slade IV, 積率法)

非毎年値(3 種類)	
1.	指数分布
2.	一般化パレート分布
3.	一般化パレート分布(指数分布)

#### 3.2. 算出項目の種類

水文統計ユーティリティは確率水文学量の算出はもちろん、確率分布モデル選定の助けとなるように各種の統計量も算出される。リサンプリングによる推定値と推定誤差、標準最小二乗規準をはじめとする各種の適合度評価関数、およびアウトライヤ判定値も算出される。

1.	確率水文学量
2.	JackKnife 推定値・推定誤差 BootStrap 推定値・推定誤差
3.	SLSC(標準最小二乗規準) 相関係数(X-COR,P-COR) 対数尤度 pAIC(AIC:赤池情報量基準)
4.	アウトライヤ判定値 K

### 3.3. 確率紙(グラフ)の種類

確率水流量を簡略に推定する場合には実績流量を各確率分布形に対応する確率紙にプロットすることにより確率年、確率水流量を目視で読み取ることができるように、4種の確率紙を表示することができる。

1.	対数正規確率紙
2.	正規確率紙
3.	グンベル確率紙
4.	指数確率紙

### 3.4. 帳票出力

計算結果を Microsoft Excel に定型出力することができる。このことにより計算結果の二次的な加工に利用することもできる。

計算結果出力書式 1



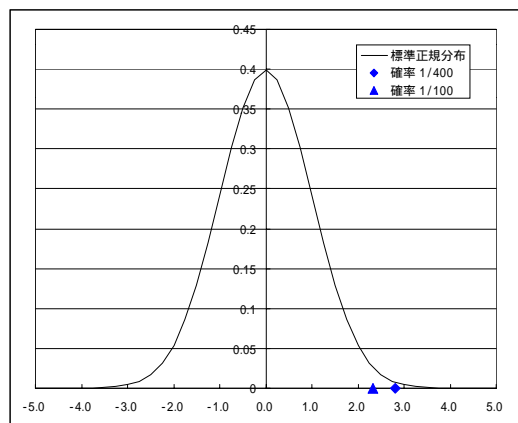
計算結果出力書式 2



### 3.5. 計算精度

前述のように確率水流量は高水計画において重要なファクターであり、最終的には河川事業計画の基本データのひとつになるため、厳密な精度を要求される。一般に雨量・流量の計算に求められる計算精度は「雨量データに対して小数第1位(0.1[mm/h])」、「流量データに対して1の位(1[m<sup>3</sup>/s])」までであるため、水文統計ユーティリティに関してもこの精度で信頼できる結果を算出できるように最適化が施されている。

水文統計で議論される生起確率は100年から400年に一度に発生する降雨量について議論されることが多いため、確率密度グラフで見ると遙か右端での精度が大変重視される。



正規標準分布における確率 1/100 と 1/400 の位置

水文統計ユーティリティ以前に、JICE 様では田中茂信氏(現 豊橋工事事務所)を中心としてその前身ともいえる「水文統計プログラム」を既に開発済みである。この「水文統計プログラム」は大手建設コンサルタント 10 数社を対象とした計算結果の比較と、十分な計算アルゴリズムの検証が

既に完了している。水文統計ユーティリティは「水文統計プログラム」をもとにより一層の普及と操作性向上のために言語移植を行ったものであるため、「水文統計プログラム」の持つ計算精度を維持しつつ、さらにその後もテストケースとして 6 河川(番匠川、本名川、白川、多摩川、狩野川、庄内川)の雨量・流量データおよび乱数データを用いて計算精度の検証を完了している。

### 3.6. 計算スピード

数値計算の精度を上げる要は近似式を使用した計算や数値解の算出においてどれだけの精度を確保するかにある。

水文統計計算は対象としている計算が確率統計であるため積分関数およびその逆関数が多く使用されている。近似式の精度を上げるためには近似式中の定数項の精度を上げればよいが、数値解を得るためには反復計算を行う必要があり、高速なアルゴリズムを用いるとしても、精度を上げるためには計算の手間も増えるためスピードを犠牲にすることは免れないことになる。

特にリサンプリングを行うときは通常の水文学量算出プロセスを数千から数万回にわたって行うため、水文学量算出 1 回あたりの計算時間にストレスのないレスポンスが得られたとしても全体として 10 分以上かかってしまうことがある。

こうした計算負荷の高い部分はアルゴリズムの工夫と、より高速に実行できるプログラム言語に移植することで対処し、初期の水文統計ユーティリティに比べ飛躍的に計算速度を向上させた。

確率分布モデル	高速化状況-計算時間平均(ms)		
	改修前	改修後	改修後 / 改修前
SQRTET	2041	1117	55%
LogP3	1160	90	8%
LP3Rs	428	1522	355%
IshiTaka	38	30	79%
LN2PM	36	26	72%
LN2LM	32	24	75%
Iwai	30	26	87%
LN3Q	30	28	93%
GP	30	20	67%
LN3PM	28	26	92%
Exp	28	22	79%
LExp	28	22	79%
GPExp	26	24	92%
Gumbel	24	24	100%
GEV	24	22	92%

\*) 同一のハードウェアを使用して確率水文学量を算出することを 5 回試行した平均時間を示している。

\*) 表中で LP3RS はスピードは低下したが、精度は向上している。

### 3.7. 計算エラー処理

水文統計計算は高度な数学関数を多用し、なおかつ扱っているデータの範囲もクリティカルであるため、実のところ、計算エラーが頻繁に発生する。計算エラーの根本的な究明は学問に委ね、水文統計ユーティリティでは計算エラーは起こるものとして対処している。

#### 3.7.1. エラーの原因

典型的なエラーの原因は下記の 3 つである。

divided by 0

over flow

対数の引数に負数を渡す

これはあくまでも直接原因であって、こうした

エラーを発生させている本質的な原因は別にある。計算対象としている実績降雨データがエラーが発生している確率分布モデルに対し、あまりに適合性がよくなかったり、確率分布モデルやその同定解法的前提条件を満たしていなかったりすることが本質的な原因と考えられる。しかしながら、計算する以前に各実績降雨データに対して、ある確率分布モデルが適合しにくいことを判定する方法はすべての確率分布モデルに対して考えられているわけではない。また、確率分布モデルやその同定解法を適用する際的前提条件は確率統計に精通していたとしても導き出すことは非常に高度な問題であり、こうした課題については現在も研究が続けられている。

### 3.7.2. システムとしての安定性

水文統計ユーティリティは複数の実績降雨データセットを連続で計算したり、リサンプリングを行ったりすることがあるため、システムの実行時間が数時間に及ぶことがしばしばある。そのため、実行途中でエラーが発生したからといって逐一ユーザの判断を仰ぐようなインタフェイスではなく、エラーが発生した場合にはエラーログを画面とログファイルに出力し、計算を続行する仕組みを備えている。

さらに予期しない計算エラーが発生した場合でもアプリケーションがダウンしてしまうことのないような処置を施してある。

また、このエラーログはエラーの原因を探る際の重要な手がかりを与えてくれたり、水文統計計算手法に対する新たな問題提起をしてくれる。



## 4. おわりに

水文統計ユーティリティの今後の課題としては「離散標本評価」が挙げられている。洪水ピーク水位やピーク流量などの最大事象の記録は、連続する系統的記録よりもはるかに古い時代のものが存在する場合がある。この場合には履歴補正を行うことによりいくつかの確率分布モデルを適用できるようになる。

## 5. 謝辞

水文統計ユーティリティの開発は(財)国土技術研究センター様が行う研究開発の一部であり、この開発に参加する機会を頂いていることに厚く感謝いたします。

(財)国土技術研究センター 湧川勝己氏、(財)国土技術研究センター 佐古俊介氏には水文統計ユーティリティの開発にあたりご指導、ご監修を頂きました。豊橋工事事務所 田中茂信氏は水文統計計算の標準化およびプログラム化を最初に行い、後に弊社に技術的アドバイスを頂きました。これらの方々に厚く感謝の意を表します。

## 6. 参考文献

- 1) 予防時報「東海豪雨を通して現代の都市型水害を考える」, 玉井信行, 日本損害保険協会, 2001
- 2) 改定新版 建設省河川砂防技術基準(案)同解説 計画編・調査編, 建設省河川局監修 日本河川協会編, 山海堂, 1997
- 3) 二訂 建設省河川砂防技術基準(案)同解説 計画編・調査編, 建設省河川局監修 日本河川協会編, 山海堂, 1995
- 4) 応用水文統計学, 岩井重久・石黒政儀共著, 森北出版株式会社, 1970
- 5) 河川水文学, 高瀬信忠, 森北出版株式会社, 1978
- 6) 水文・水質ハンドブック, 水文・水資源学会, 朝倉書店, 1997