

## 可能最大値を導入した水文頻度解析 Hydrological Frequency Analysis Using Probable Maximum Values

○寶 馨

○Kaoru TAKARA

This presentation reports recent results of hydrological frequency analysis using probable maximum values based on daily precipitations during 113 years (1901-2013) at 51 observatories operated by the Japan Meteorological Agency (JMA). The bootstrap resampling corrects the bias of  $T$ -year daily precipitations estimated by a non-parametric method using the empirical distribution. The parametric method using the Gumbel distribution tends to underestimate 100-year precipitation. The merits and demerits of the method are discussed.

### 1. はじめに

2011年3月の東日本大震災における津波が設計規模をはるかに上回るものであったことから、いわゆる「レベル2」(すなわち、計画超過外力)やの可能最大の津波に関する議論が活発化した。米国では大震災直前の2009年に原子力発電所に対する可能最大津波を取り扱った報告書<sup>1)</sup>が出ている。

我が国の河川計画の分野における計画超過外力に関する議論は、河川審議会<sup>2)</sup>によって1987年(約30年前)になされており、高規格堤防(スーパー堤防)などの考え方が提示され、主要河川の一部ですでに実施されている。

筆者は、可能最大降水量(PMP)や可能最大洪水(PMF)の推定とその水文頻度解析への応用を提唱してきた<sup>3-8)</sup>。また、計画年数を越えるような年数の観測データが蓄積してきたことから、確率分布を用いるパラメトリックな方法から、確率分布に依存しないノンパラメトリックな方法(順序統計学的方法あるいは経験分布による方法)への移行も提案している<sup>9-10)</sup>。

本研究では、可能最大降水量とノンパラメトリック法を組み合わせた水文頻度解析手法を紹介し、得られる確率水文量の特徴を明らかにする。

### 2. 方法

#### (1) 気象データ

石原・仲江川<sup>11)</sup>は、寶<sup>9)</sup>の方法を気象官署51地点の日降水量データに適用している。ここでも同じ51地点を用いるが、解析対象期間を最近まで延ばし、1901年~2013年の113年間のデータを用いる。各地点において年最大日降水量系列を求める。

#### (2) 100年確率雨量の推定

**Step-1:** 極値データを確率紙にプロットする。横軸には日雨量、縦軸には非超過確率をとる。年最大日雨量のデータ系列を値が小さい順( $x_1 \leq x_2$

$\leq \dots \leq x_n; n=113$ )に並び替え、プロットする。プロットする。分布に依存しないため、単純な普通目盛(横軸は水文量、縦軸は0から1の非超過確率で普通目盛とする)を考える。

**Step-2:** 分布関数の上限、すなわち $F(x)=1$ の位置にPMPの値をプロットする。

**Step-3:** 各プロット点を順順に直線でつないでいく。これがいわゆる経験分布である。

**Step-4:** 非超過確率 $1-1/T$ (再現期間 $T$ 年)に相当する確率水文量の値を線形内挿により求める[方法Aとする]。

**Step-5:** ブートストラップ法を用いて確率水文量の偏りを補正する[方法Bとする]。

**Step-6:** こうして得られた確率水文量と、パラメトリックな方法(Gumbel分布を用いる)とを比較する[最小二乗法、L積率法(PWM法)による推定をそれぞれ方法C、方法Dとする]。

**Step-7:** 200~500年確率などの推定値についてその推定精度を同様に比較する。

### 3. 結果と考察

51地点すべてにおいて求めた100年確率日雨量を表1に示す。これから以下のことが言える。

方法Aで推定された100年確率日雨量は総じて最も大きい値を与える。方法Aの場合、最大(第1位)のデータと2番目に大きい(第2位)データの間で100年確率水文量を求めることになることに留意されたい。一方、方法Bのブートストラップ法を用いると方法Aで得た確率水文量を常に下回る。元の極値データセットから繰り返しを許して抽出する標本サイズ $n=113$ 個の3000組のブートストラップ標本を作成する際に最大の値を持つものが2個以上選ばれない時に100年確率水文量小さく評価されるのである。こうして、113個のデータすべてを1度だけ用いて推定する方法を

表1 推定された100年確率日雨量の比較  
(気象官署51地点, 1901年~2013年)

単位 (mm) 地点	順序統計学的方法 (A)	ブートストラップ法 (B)	Gumbel 分布	
			最小二乗法 (C)	PWM 法 (D)
旭川	175.1	170.9	162.6	154.4
網走	140.9	134.3	125.8	120.7
札幌	174.9	171.4	169.1	164.3
帯広	167.2	161.7	166.2	165.9
根室	179.9	175.5	178.8	175.9
寿都	188.9	181.7	161.8	148.8
秋田	181.4	172.0	166.6	164.0
宮古	277.5	273.4	284.0	278.8
山形	209.1	197.2	179.3	169.1
石巻	192.6	186.7	178.0	174.1
福島	166.8	166.2	185.4	182.6
伏木	199.3	196.7	202.6	197.7
長野	119.2	117.9	124.2	123.3
宇都宮	216.3	211.3	224.8	224.5
福井	199.3	195.3	194.1	190.3
高山	261.0	246.5	226.5	210.9
松本	154.4	149.3	156.1	152.4
前橋	298.1	275.6	240.5	221.7
熊谷	296.7	288.7	286.8	278.1
水戸	259.3	249.9	245.5	237.9
敦賀	197.1	194.9	216.0	216.1
岐阜	251.1	244.2	242.2	237.6
名古屋	316.0	304.0	269.4	241.5
飯田	264.3	258.2	233.1	217.7
甲府	237.1	234.1	247.6	241.6
津	353.2	346.4	326.9	309.9
浜松	325.0	317.2	299.2	284.3
東京	322.1	308.0	292.7	284.4
横浜	277.2	272.4	289.1	288.3
境	262.2	254.4	250.0	246.2
浜田	361.0	343.1	302.3	266.4
京都	284.9	269.1	242.5	226.7
彦根	187.9	184.6	191.2	189.8
下関	298.9	280.1	257.1	247.7
呉	217.1	213.1	218.4	216.4
神戸	293.3	283.3	258.1	240.7
大阪	214.8	207.9	194.0	188.2
和歌山	323.0	311.7	289.2	272.7
福岡	287.5	279.1	275.4	269.8
大分	427.9	400.3	377.7	362.9
長崎	414.7	397.4	368.1	347.6
熊本	444.0	428.5	397.1	378.0
鹿児島	314.3	300.3	306.1	305.6
宮崎	507.6	439.3	454.7	425.6
松山	204.5	200.0	200.9	197.5
多度津	192.2	189.2	195.5	191.9
高知	573.2	521.7	452.3	409.0
徳島	445.4	419.2	371.6	345.0
名瀬	582.2	562.1	544.6	525.8
石垣島	344.1	337.5	359.7	361.0
那覇	449.0	438.1	419.0	405.2

ブートストラップ法で補正し、過大評価を回避することができる。

方法Aや方法BがGumbel分布を用いる方法(方法Cや方法D)による100年確率水文量を下回ることがある(宮古, 福島, 伏木, 長野, 松本, 敦賀, 甲府, 横浜, 彦根, 呉, 石垣島)。これは、Gumbel確率紙上で言えば、Gumbel分布の直線が、経験分布の折れ線より右側に位置するときと相当する。

ノンパラメトリック法(経験分布)に加えてPMPを導入することのメリットは、Step-7において発揮される。その具体例は、講演時に示す。

なお、数値計算には、小野翔輝君の手を煩わせた。ここに記して謝意を表する次第である。

#### 参考文献

- 1) U.S.NRC (2009): Tsunami Hazard Assessment at Nuclear Power Plant Sites in the United States of America, Final Report, NUREG/CR-6966.
- 2) 河川審議会 (1987): 超過洪水対策及びその推進方策について(答申), 昭和62年3月.
- 3) Takara, K. and Loebis, J. (1996) Frequency Analysis Introducing Probable Maximum Hydrologic Events: Preliminary studies in Japan and Indonesia. *Proc. of International Symposium on Comparative Research on Hydrology and Water Resources in Southeast Asia and the Pacific*. Yogyakarta, Indonesia, 18-22 November 1996, Indonesian National Committee for UNESCO-IHP, pp. 67-76.
- 4) Takara, K. and K. Tosa (1999) Storm and Flood Frequency Analysis Using PMP/PMF Estimates, *Proc. of International Conference on Floods and Droughts*, Nanjing, China 18-20 October 1999, Chinese National Committee for UNESCO-IHP, pp. 7-17.
- 5) 宝馨・土佐香織 (1999): 両側有界分布の水文頻度解析への応用, 水工学論文集, 土木学会, 第43巻, pp. 121-126.
- 6) 宝馨・土佐香織 (2001): 小標本への両側有界分布の適用について, 水工学論文集, 土木学会, 第45巻, pp. 187-192.
- 7) 荒川英誠・寶馨 (2008): レーダー・アメダス解析雨量を用いた地域別最大雨量の評価, 河川技術論文集, 土木学会, 第14巻, pp. 181-186.
- 8) 荒川英誠・寶馨 (2013): 可能最大降水量の推定と2011年紀伊半島水害, 水工学論文集土木学会, 第57巻, pp. 277-282.
- 9) 寶馨 (2005): 大標本時代の水文頻度解析手法-リターンペリオドを超えるようなサイズの標本に対する極値データ解析, 京都大学防災研究所年報, 49B, pp. 7-12.
- 10) 宝馨・小林健一郎 (2009): 標本サイズと水文頻度解析, 水工学論文集, 土木学会, 第53巻, 2001, pp. 205-210.
- 11) 石原幸司・仲江川敏之 (2008): 全国51地点におけるノンパラメトリック手法を用いた確率降水量の算出, 水文・水資源学会誌, 第21巻, 第6号, pp. 459-463, 2008.