

愛媛大学大学院 学生員○眞鍋 晶
愛媛大学工学部 正員 畑田 佳男

愛媛大学工学部 正員 山口 正隆

1.はじめに：欠落を伴う censored data に対する極値統計解析において，PWM(確率加重積率)法を用いることが可能であるが，高潮などの極値統計分野では，この方法の適用性は検討されていない。そこで本研究では，母集団分布を Gumbel 分布，Weibull 分布，GEV 分布に固定し，広範な条件下で行ったモンテカルロシミュレーション結果の解析に基づいて，PWM 法の精度を考察する。また，これを欠落を伴う高潮偏差などの観測資料に適用して，再現確率統計量と標準偏差を推定し，MLM および LSM に基づく結果との比較を行う。

2.確率分布と母数・分散推定法：Gumbel 分布，Weibull 分布および GEV 分布の非超過確率 $F(x)$ はそれぞれ次式で表される。 $F(x)=\exp[-\exp\{-(x-B)/A\}]$; $-\infty < x < \infty \cdots (1)$ $F(x)=1-\exp[-\{(x-B)/A\}^k]$; $B < x < \infty \cdots (2)$ $F(x)=\exp[-\{1+(x-B)/kA\}^k]$; $k < 0: -\infty < x < B-kA$, $k > 0: B-kA < x < \infty \cdots (3)$ ここに x : 確率変数， A : 尺度母数， B : 位置母数， k : 形状母数，である。PWM 法は式(4)の理論 PWM

$$M_{p,r,s} = \int [x(F)]^p F^r (1-F)^s dF \quad (4)$$

と式(5)で表される標本 PWM が等しいとして母数を求める。

$$M_j = \begin{cases} \sum_{i=1}^N (x_i / N) \{(i-1)/(N-1)\} \{(i-2)/(N-2)\} \cdots \{(i-j)/(N-j)\} & ; j \geq 1 \\ \sum_{i=1}^N x_i / N & ; j = 0 \end{cases} \quad (5)$$

再現確率統計量の分散推定法として，censored data に対しても jackknife 法を用いる。PWM 法は現段階では第 2 種 censored data にのみ適用可能である。

3.モンテカルロシミュレーションに基づく精度の検討：(1)シミュレーションの方法，①母数を指定した確率分布に一樣乱数を与えて，資料年数に相当する K 個の標本を作成し，censoring 比 μ に応じてその相当する下限 r 個，上限 s 個，上下限 $r+s$ 個を削除した第 2 種下限・上限・上下限 censoring 資料を抽出する。②PWM 法による母数の推定および再現確率統計量と $\text{bias} \Delta H$ の計算，jackknife 法による分散 σ^2_j の計算を行う。③同じ手順を $M(=10000)$ 回繰り返し，②の諸量の平均値および再現確率統計量の分散 Var を求める。④資料年数を $K=10 \sim 100$ の間の 10 通りとして以上の

計算を繰り返す。シミュレーションは censoring 比 μ を適宜変えて行う。(2)シミュレーション結果の考察：図-1 は第 2 種下限 censoring 資料の解析に Gumbel 分布，形状母数固定型 Weibull 分布および形状母数固定型 GEV 分布を適用した場合の誤差統計量，すなわち相関係数 ρ ，再現期間 100 年に対して再現確率統計量の真値 H_{tr} で無次元化した $\text{bias} \Delta \tilde{H}$ と標準偏差 $\tilde{\text{Var}}^{1/2}$ ，および $\text{Var}^{1/2}$ で無次元化した標準偏差推定値 $\tilde{\sigma}_j$ の % 値と資料年数 K との関係を示したものである。いずれの分布においても各統計

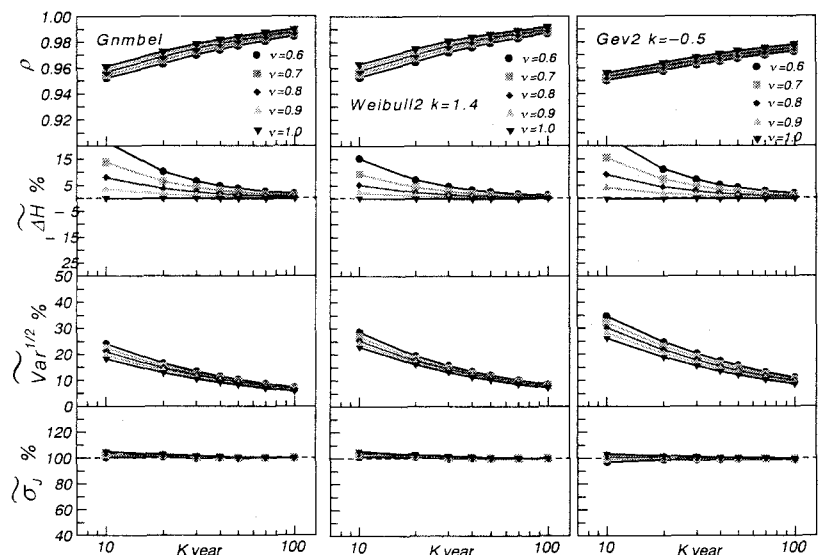


図-1 第 2 種 censoring 資料に対する誤差

量は同じ挙動を示す。すなわち相関係数 ρ は資料年数 K および資料採択比 $\nu (=1-\mu)$ が小さいほど小さくなり、適合度が低下する。逆に, bias は K および ν が小さいほど大きい値をとり, 誤差の増大を示唆するが, 同時に, データの変動特性を表す $\tilde{\text{var}}^{1/2}$ も増加する。ただし, 資料年数や資料採択比に伴う各統計量の挙動は分布ごとに異なり, たとえば GEV 分布の場合, 相関係数の変化は小さいが, bias および $\tilde{\text{var}}^{1/2}$ の変化は相対的に大きい。また, jackknife 法の分散(標準偏差)に対する推定精度は分布の種類, 資料年数, 資料採択比によらずきわめて高い。要するに, PWM 法の適用は資料採択比が大きい場合に限られる。

4. 現地観測資料への適用: 今回入手した東京における年最大高潮偏差資料は 1911~2002 年の 92 年間相当分であるが, このうち 1948 年以前の 38 年間では巨大台風に伴う 4 ケースの異常高潮偏差しか明らかでない。

しかもこの中に, 観測期間中の既往最大値(1938 年の 220cm)および第 2 位最大値(1917 年の 190cm)が含まれており, 最も低い値でも 103cm である。解析は下限 censoring 値を 40cm(N は有効資料数)に設定して行う。表-1 は極値統計解析結果の一覧であり, MLM, LSM による推定値も与えられる。100 年確率高潮偏差 η_{100} とその標準偏差 $\sigma_{\eta_{100}}$ は $208 \pm 28\text{cm}$ と推定される。この値は MLM と LSM による値の中間を占める。(2) 風速資料: 解析対象は志摩半島先端に位置する大王崎灯台(風速計の海拔高度 37.2m)で得られた 1953~1986 年の 34 年間の年最大風速資料である。このうち, 観測期間中の最大風速(第 1 位風速)は周辺の風速資料から明らかなように, 台風 5915 号(伊勢湾台風)によって生起したと推定されるが, 欠則となっているので, ここでは第 1 位資料を欠いた資料として解析を行う。表-2 は極値統計解析結果の一

表-1 東京における年最大高潮偏差資料に対する解析結果

data	N	k	ρ	η_{100}	$\sigma_{\eta_{100}}$
PWM	51	W0.7	0.9949	208	28
MLM		F2.5	0.9908	236	27
LSM	51	W0.8	0.9947	197	28

表-2 大王崎における年最大風速資料に対する解析結果

data	K	k	ρ	U_{100}	$\sigma_{\eta_{100}}$
censored	34	W1.4	0.9967	42.9	2.6
uncensored	33	W1.6	0.9963	39.5	2.3
MLM	34	W1.5		42.7	2.9
LSM	34	W1.4	0.9966	42.7	3.6

表-3 油津における年最大波高資料に対する解析結果

data	K	k	ρ	H_{50}	$\sigma_{H_{50}}$
censored	16	F2.5	0.9758	11.8	1.9
uncensored	15	F2.5	0.9771	11.8	1.9
MLM	16	G		10.7	1.2
LSM	16	W1.0	0.9725	10.8	1.8

覧であり, 第 1 位資料を無視した解析結果および MLM, LSM による結果も与えられる。100 年確率風速 U_{100} とその標準偏差 $\sigma_{\eta_{100}}$ の推定値は $42.9 \pm 2.6\text{m/s}$ である。確率風速は, MLM および LSM とほぼ同じであるが, 標準偏差は最も小さい。また, 第 1 位資料を無視すると, 確率風速と標準偏差ともにより小さい値をとる。(3) 波高資料: これは宮崎県油津港の水深約 50m 地点において 1975~1990 年の 16 年間にわたり得られた年最大波高資料であるが, 1984 年の波高記録は取得されていない。観測期間中の最大波高は台風 8013 号に伴う 10.34m であり, 一方, 1984 年の年最大波高は周辺海域における観測記録から, 年最大波高の最小値(1985 年の 4.57m)より低いと推定されるので, 最下位資料を欠く資料として解析を行う。表-3 は極値統計解析結果の一覧である。最下位資料を無視した結果および MLM, LSM による解析結果も与えられる。PWM 法ではいずれも 50 年確率波高 H_{50} と標準偏差 $\sigma_{H_{50}}$ は $11.8 \pm 1.9\text{m}$ と推定される。第 1 位波高が突出した値をとるため, 標準偏差そのものの値もかなり大きい。また MLM および LSM は 1m 小さい確率波高をとっている。

5. まとめ: シミュレーション結果によれば, PWM 法は, 資料年数が長い場合でも, censoring 比が大きくなると再現確率統計量を過大評価する傾向にあることが示唆されるので, その適用に注意が必要である。