

愛媛大学工学部 正員○山口正隆 愛媛大学工学部 大福 学
日本建設コンサルタント 前川隆海 愛媛大学大学院 学生員 松木太郎

1. はじめに：高潮などの極値統計解析において最も重要な点はできるだけ長期の連続した（年最大）観測資料を得ることである。しかし、連続記録が得られるのは最近の数十年であり、それ以前では、既往最大値など巨大台風時の記録に限られることが多い。こうした欠落を伴う資料はcensored dataとみなせることから、censoringの影響を含めた尤度関数の最大化による方法（最尤法）によって解析可能となるが、高潮などの極値統計分野ではこの方法の適用性は全く検討されていない。そこで、本研究では母集団分布をGumbel分布、Weibull分布、形状母数(k)固定型Weibull分布、GEV分布、形状母数(b)固定型GEV分布に指定した場合に、censoringの影響を含めた広範な条件下でのモンテカルロシミュレーション結果の解析に基づいて、再現確率量のbiasおよび分散推定値に及ぼすcensoringの影響を詳細に検討することにより、censoringの影響を考慮した場合の最尤法、bias補正法および分散推定法であるjackknife法および分散推定法である情報行列法の適用性を明らかにする。また、欠落を伴う高潮偏差などの観測資料にcensoringを考慮した最尤法に基づく極値統計解析モデルを適用して、それらの再現確率統計量と標準偏差を推定するとともに、censoringを考慮しない解析結果との比較から極値統計解析結果に及ぼすcensoringの影響を考察する。

2. モンテカルロシミュレーションに基づく検討：censoringはcensoring基準値が固定され、censoringを受ける個数がランダムである第1種censoringと、censoring基準値がランダムで資料数が固定される第2種censoringに、またcensoring基準値によって上限、下限、上下限censoringに分類される。つまり、censoringは第1種上限・下限・上下限censoringと第2種上限・下限・上下限censoringの6種類に分けられるので、それぞれの資料に対してモンテカルロシミュレーションを実施する。シミュレーション方法はつぎのようである。(i)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N個の標本を作成し、第1種censoringの場合には指定censoring値 x_L 以下あるいは上限censoring値 x_U 以上の資料を別個にまたは同時に削除した第1種下限・上限・上下限censoring資料を、第2種censoringの場合には指定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。(ii)最尤法による母数の推定と各種適合度指標および再現確率統計量とbias ΔH の計算、jackknife法によるbias補正後のbias ΔH と分散 σ^2 の計算ならびに観測情報行列法による分散 σ_{om}^2 の演算を行う。(iii)同じ手順をM(=5000)回繰り返す、(ii)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。(iv)資料年数をN=10~1000の間の10通りの場合に以上の計算を繰り返す。シミュレーションはcensoring値条件(x_L, x_U)やcensoring比 μ を適宜変えて行い、Weibull分布およびGEV分布の場合には形状母数を変化させる。図-1はGumbel分布の第1種censoringケースに対して、再現期間100年の再現確率統計量の真値で無次元化したbias(ΔH 、 ΔH_j)、 $\widetilde{Var}^{1/2}$ および $\widetilde{Var}^{1/2}$ で無次元化した標準偏差推定値($\widetilde{\sigma}_j$ 、 $\widetilde{\sigma}_{om}$)に対する%表示値と資料年数Nとの関係を示したものであり、つぎの特徴が見出される。(i)bias ΔH は上下限、上限、下限、censoringなし、の順に小さいし、資料年数の増加とともにほぼ消失する。また、jackknife法によるbias補正後のbias ΔH_j は資料年数が小さい場合でもほぼ0になる。(ii) $\widetilde{Var}^{1/2}$ は資料数が少なく、censoringの割合が高いほど大きい。(iii)jackknife法、観測情報行列法はいずれのケースについても標準偏差を適切に評価する。他の分布およびcensoring条件に対しても同様の検討を加えた。

3. 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図-2に示すように、1911年~1996年の86年間相当分であるが、このうち1948年以前38年間では巨大台風に伴う4ケースの異常高潮偏差資料しか明らかでない。しかもこの中に観測期間中の既往最大値(220cm)および第2位最大値(190cm)が

含まれており、最も低い値でも103cmである。そこで、東京における年最大高潮偏差資料は観測年数86年、資料数49個、欠落資料数38個、下限censoring値103cmの第1種下限censoring資料とみなして、censoringの影響を考慮した場合および無視した場合（資料数が観測年数に等しいとする）の極値統計解析を行った。表-1はその結果をまとめたものである。候補分布はGumbel分布、GEV分布、形状母数固定型GEV分布である。資料分布が正側に長く裾を引くため、Weibull分布の最尤解は得られない。この表によると、最大対数尤度MLL（適合度）が最大で分散が最小（有効性）である分布は形状母数固定型GEV分布であり、100年確率高潮偏差とその標準偏差はjackknife法による補正結果によれば、 249 ± 24 cmと推定される。またcensoringの影響を考慮しない場合には、観測年数を短く評価しているので、確率高潮偏差は過大な値をとる。第1位の値を欠測した年最大風速資料や観測期間中の特定年の資料が得られていない年最大波高資料に対しても同様の解析を行った。

4. まとめ：本研究で得られた結果はつぎのようである。(i) Gumbel分布の場合、censoringの有無によらず再現確率統計量はjackknife法に基づくbias補正值、その標準偏差は観測情報行列法およびjackknife法に基づく推定値によって精度よく与えられる。また、同様の特性は形状母数固定型Weibull分布および形状母数固定型GEV分布についても見出される。(ii) 3母数Weibull分布やGEV分布の場合には、censoringの有無によらず、資料年数が小さいほど再現確率統計量および標準偏差は必ずしも適切に評価されない傾向にある。これらの推定精度を確保するためには、資料年数は50年以上であることが望ましい。(iii)censoringの影響を考慮しない極値解析は、第1位資料が欠落している場合（風速資料）には、再現確率統計量を過小評価する。また、最上位に位置しない少数の資料が欠落している場合（波高資料）

には、censoringの影響をほとんど受けない推定値を与えるが、多数の資料が欠落している場合（高潮資料）には、再現確率統計量を過大評価する。したがって、欠落を伴う年最大値資料の極値解析にあたっては、censoringの影響を考慮することが肝要である。

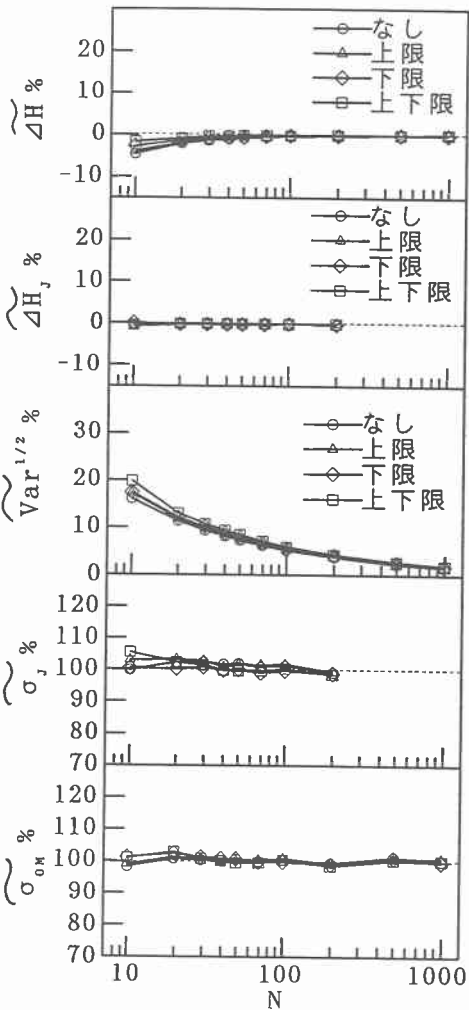


図-1

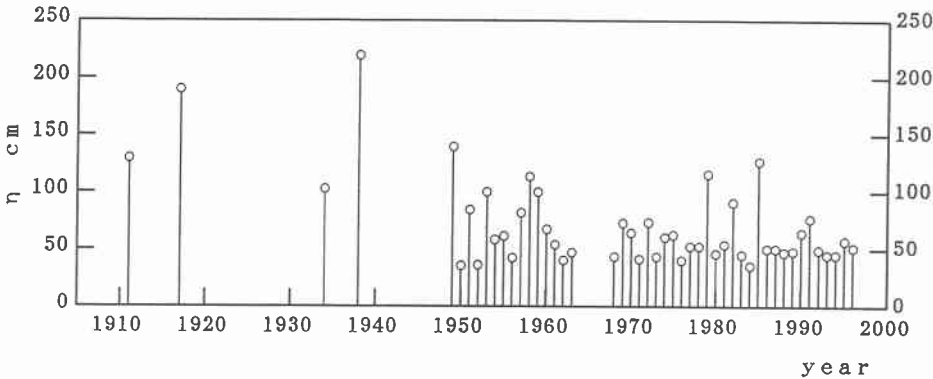


図-2

表-1

	Gumbel	GEV	GEV2	GEV2*
MLL	185.15	192.96	192.96	0.019
b		-0.397	-0.397	-0.515
η_{100} cm	144	225	225	341
σ_{OM} cm	10	62	25	49
η_{100} cm	154	280	249	343
σ_j cm	15	49	24	48

* non-censoring