

東シナ海における台風時年最大波高の母分布の特定と 確率波高推定値の精度向上

Identification of Parent Distribution of Typhoon-Generated Maximum Wave Heights in the East China Sea and Resulting Improvement of Reliability of Return Wave Height

山口正隆¹・野中浩一²・畑田佳男³

Masataka YAMAGUCHI, Hirokazu NONAKA and Yoshio HATADA

A sample of typhoon-generated annual maximum wave height (TG-AMWH) of 10,000 years is produced for the East China Sea using a Monte-Carlo simulation model. Then, an extreme value analysis of this very large sample of TG-AMWH yields an estimate of the parent distribution of the TG-AMWH which is expressed as a Weibull distribution for nearly the entire sea. Next, a similar extreme value analysis is separately conducted for each of 200 sample sets, each with a size of 50. The investigation, based on a sample of return wave height with a size of 200 leads to the conclusion that the identification of the parent distribution of the TG-AMWH may significantly decrease the confidence interval of the return wave height. Also, this may be true of the historical typhoon case.

1. 緒 言

波高極値に対する母集団の特定は統計的に安定した確率波高の評価を可能にすると期待されるが、このためには波高極値の非常に大きい標本を必要とする。野中ら(2003)や山口ら(2004)は「台風および低気圧の確率的発生モデルを利用した波高極値の推定システム」を用いて、北西太平洋領域の台風時および低気圧時年最大波高の母分布や確率波高の標本分布を検討した。しかし、北西太平洋領域を対象とした波浪計算は 80 km 格子網での深海モデルに困っていることから、広大な浅海域を有する東シナ海では適正な推定値を与えようと言えない。

そこで、格子間隔を 40 km として地形解像度を上げた東シナ海領域を対象とした 10,000 年間のシミュレーション台風に対する浅海波浪計算に基づいて台風時年最大波高の大標本を作成し、年最大波高の母分布と確率波高の標本分布を調べる。また、年最大波高の母分布の利用が既往台風時年最大波高資料の解析において確率波高の信頼性の向上に寄与するか否かを検討する。

2. 台風時波高極値の推定システムの概要

本システムは、①楕円型気圧分布を仮定する拡張型季節別確率的台風モデル(野中ら, 2000)、②場の移動に伴う風と傾度風をベクトル合成し、適当な補正を施す海上風推算モデル、③第 2 世代に属する浅海波浪推算モデル(山口ら, 1984)、④候補分布を Gumbel 分布と 27 種

類の形状母数をもつ Weibull 分布、母数推定を最小 2 乗法、最適分布の選択を最大相関係数基準、確率波高の分散の推定を jackknife 法による極値統計解析モデル(Yamaguchi・Hatada, 1997)、から成る。

システムの計算手順はつぎのようである。すなわち、確率的台風モデルにより格子間隔 80 km の北西太平洋領域で 6 時間ごとに発生した 10,000 年間約 78,000 ケースのうち、対象領域の高波に寄与する可能性をもつ約 40,000 ケースの台風に対する浅海波浪計算を図-1 に示す格子間隔 40 km、格子分割数 72×36 の東シナ海格子網で 30 分ごとに行う。台風属性資料は格子間隔 40 km

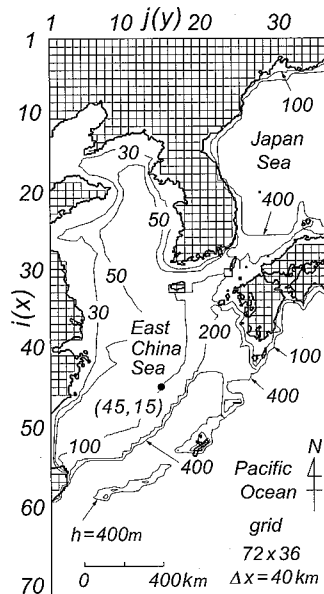


図-1 波浪計算格子網

1 正会員 工博 愛媛大学大学院理工学研究科教授
2 正会員 博(工) 愛媛大学工学部契約職員
3 正会員 博(工) 愛媛大学大学院理工学研究科講師

の東シナ海格子網に30分ごとに線形補間する。波浪計算には、0.04～0.50 Hzを不等分割した21個の周波数データ、0～360°を20°で等分割した19個の方向データを用い、外洋開境界ではパラメトリックな関係による方向スペクトルの値を流入方向に与え、また流出方向に完全伝播条件を課す。陸地境界では方向スペクトルの値を0とする。

波浪計算から得た10,000年間の台風時年最大波高資料は10,000年間1組の大標本および50年間200組の小標本セットとして、確率波高とその標準偏差をそれぞれ推定する。50年200組の小標本に対する解析は、候補分布の形状母数を大標本資料から得た最適分布の形状母数に固定する場合（既知母分布ケース；fixed shape parameter case）と、最適分布を最大相関係数基準に従って選択する場合（未知母分布ケース；variable shape parameter case）とする。また、大きさ200の確率波高資料の標本分布を近似するために、極値統計解析モデルを准用して最適分布を求める。

本システムにおいて確率的台風モデルを既往台風の属性資料に変えれば、既往台風時波高極値の推定システムが得られる。ここでは、1948～1998年の51年間に生起し、対象海域に接近したか、あるいは対象海域を通過した315ケースの台風の属性資料（山口ら、2006）を用いる。

3. 東シナ海における台風時波高極値の特性

(1) 年最大波高の母分布

図-2は10,000年間の台風時年最大波高資料に基づく50年確率波高 H_{50} 、最適分布として選択されたWeibull

分布の形状母数 k （Gumbel分布の場合 G で表記）および合田（2002）の裾長さパラメータ γ_{50} （ $=H_{50}/H_{10}$ ； H_{10} ：10年確率波高）の空間分布を示す。これらの諸量（ H_{50} 、 k 、 γ_{50} ）は最適分布として選択されたWeibull分布（3母数分布）あるいはGumbel分布（2母数分布）の特性を完全に記述する。波高は南方海域の16mを最大として、W方向、NW方向に向けて減少し、山東半島近海で6m以下になる。形状母数は沖縄本島付近の4から周囲に向けて1.4に減少し、裾長さパラメータは1.2から1.5に増大する。なお、確率波高の標準偏差は最大で0.07mと小さい。

図-3は51年間の既往台風時年最大波高資料に基づく50年確率波高 H_{50} とその標準偏差 $H_{\sigma 50}$ および裾長さパラメータ γ_{50} の空間分布を示す。既往台風時資料の場合標本の大きさが小さいことから、確率波高や裾長さパラメータは10,000年のシミュレーション資料に基づいて得られた結果（図-2）より大きい空間変動を伴う。しかし、南西端の海域の波高など細部の相違を除けば、波高に関して両者の空間分布は全般的によく類似する。標準偏差は大部分の海域で0.5～1mの範囲にあって、シミュレーション台風時の最大値0.07mよりはるかに大きい。また、裾長さパラメータの空間分布も平均的に符合すると言える。ただし、シミュレーション台風ケースでは、東シナ海中央部における12m域が狭く日本海の10m域が広い点など、両者に若干の相違も見出される。

(2) 確率波高の変動特性

図-4は東シナ海のほぼ中央部の1地点で50年200組の標本より得た50年確率波高 H_{50} およびこれに係わる統計量（平均値 $\bar{H}_{50}$ 、標準偏差 $H_{\sigma 50}$ 、skewness α_{50} およ

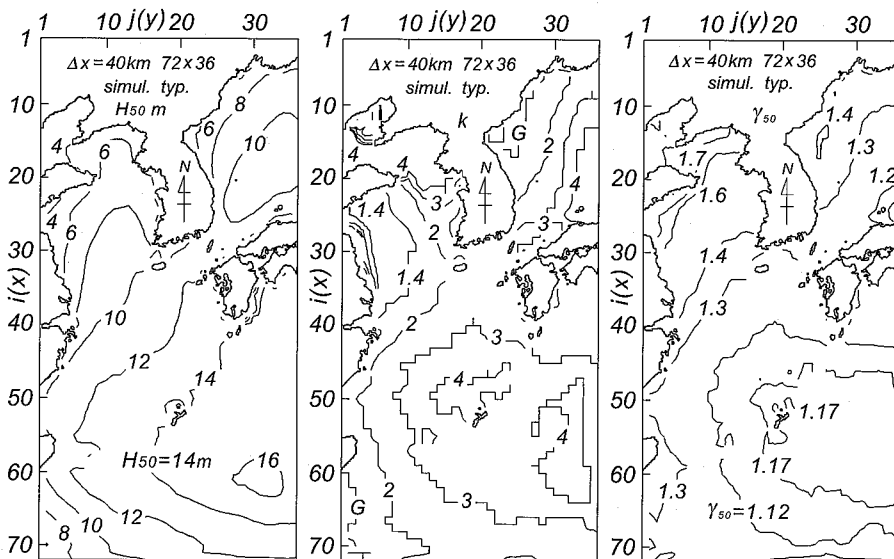


図-2 確率波高、形状母数および裾長さパラメータ（シミュレーション台風資料）

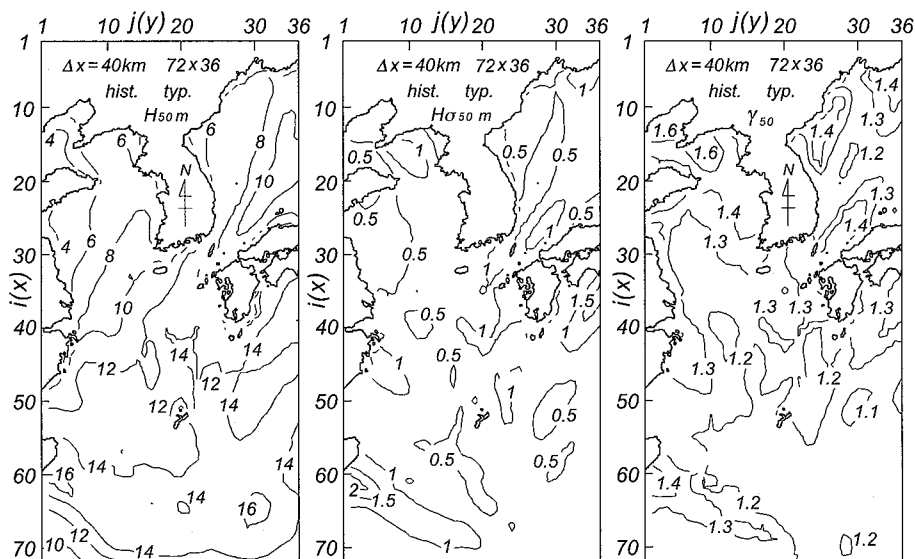


図-3 確率波高、標準偏差および裾長さパラメータ（既往台風資料）

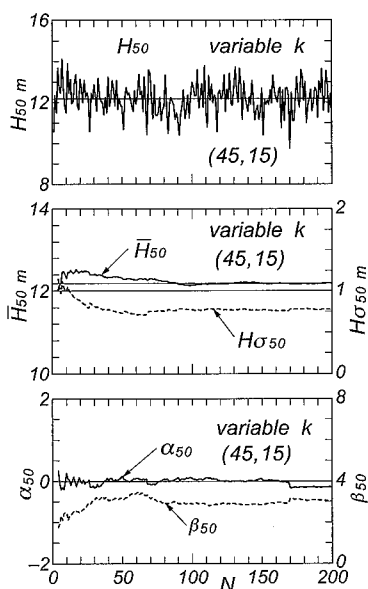


図-4 確率波高標本の大きさに伴う確率波高統計量の変化

び kurtosis β_{50}) と標本数 N の関係を未知母分布ケースについて示す。この例から、①各確率波高統計量は標本数 N の増加とともに変動を減少させて、標本数が 200 程度ではば一定の値に漸近すること、② skewness α_{50} および kurtosis β_{50} はそれぞれ 0 および 3 に近い値をとるので、確率波高の標本分布は正規分布に近い特性をもつこと、が示唆される。

図-5 は大きさ 200 の 50 年確率波高標本より得た標準偏差 $H_{\sigma 50}$ と大きさ 200 の裾長さパラメータ標本の平均

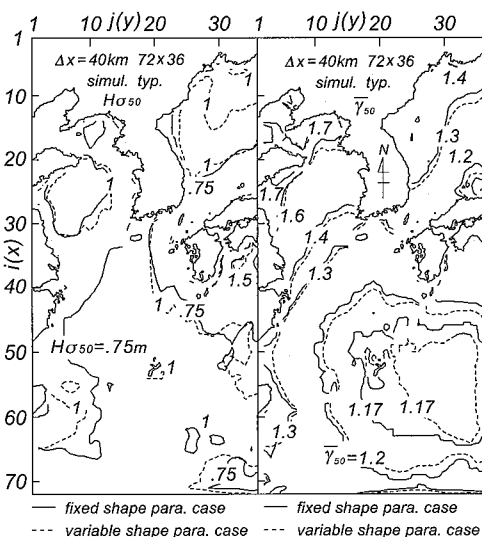


図-5 確率波高標本に基づく統計量

値 $\bar{\gamma}_{50}$ の空間分布を既知母分布ケースと未知母分布ケースについて同時に示す。これから、つぎの特徴を指摘できる。①標準偏差は既知母分布ケースで 0.75 ~ 1 m を、未知母分布ケースで 1 ~ 1.5 m をとり、未知母分布ケースで最大 0.5 m 程度大きい。すなわち、母分布を既知とみなすことによって、確率波高推定値の信頼性が向上する。②裾長さパラメータは両ケースでほとんど差を示さないが、既知母分布ケースでわずかに小さい。なお、既知母分布ケースにおける確率波高の平均値が全海域で未知母分布ケースよりやや小さい。また、前者は

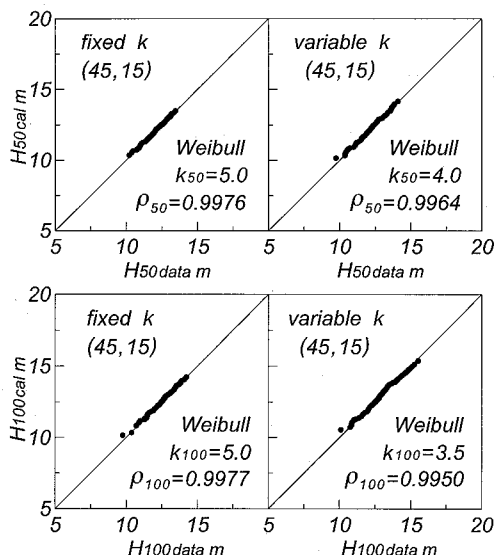


図-6 確率波高標本に対する Q-Q プロット

10,000 年 1 組の標本から求めた 50 年確率波高とほぼ一致する。

ついで、図-6 は前出の地点における大きさ 200 の 50 年および 100 年確率波高標本に対する最適分布の当てはめ結果を、最適分布から得た計算値 (cal) と資料値 (data) の間の Q-Q プロットとして示す。これらの図は、①確率波高標本は Weibull 分布によって高い精度で近似されること、②既知母分布ケースでは最適分布の形状母数、すなわち確率波高の標本分布の形状は再現期間に依存しないが、未知母分布ケースでは再現期間が長いとき形状母数は小さい値を取り、分布形状は広くなることを表す。

図-7 はそれぞれ既知母分布ケースと未知母分布ケースにおける大きさ 200 の 50 年確率波高標本に対して最適分布として得た Weibull 分布の形状母数 k_{50} の空間分布を示す。図中の G は Gumbel 分布を表す。既知母分布ケースでは、形状母数 k_{50} は東シナ海および南方海域のほぼ全域で 3 ~ 5、日本海で 3 を与えることから、50 年確率波高標本はかなり尖った形状の分布で近似される。未知母分布ケースでは、東シナ海および南方海域で形状母数 3 ~ 4 の海域が広範に分布し、日本海の中央部で Gumbel 分布をとり、沿岸部で形状母数が 2 ~ 3 を示す。再現期間 100 年の場合、図-6 でみたように、既知母分布ケースでは形状母数は変化しないが、未知母分布ケースでは形状母数がより小さい値を与え、Gumbel 分布をとる海域も拡大する。要するに、既知母分布ケースに比べて、未知母分布ケースの場合に分布形状がやや平坦になり、確率波高標本の変動幅が大きくなる。

図-8 は既知母分布ケースと未知母分布ケースにおけ

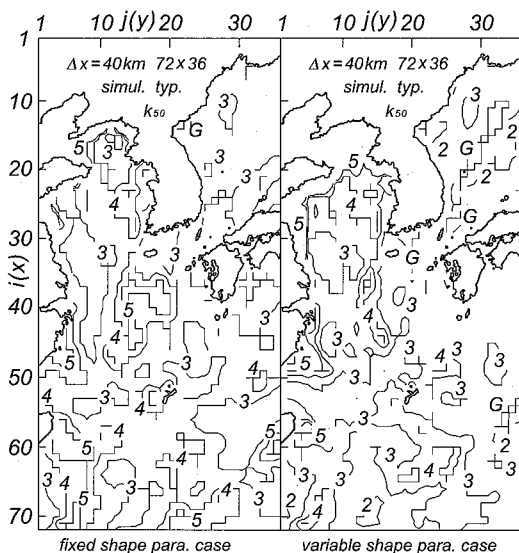


図-7 確率波高標本にあてはめた Weibull 分布の形状母数

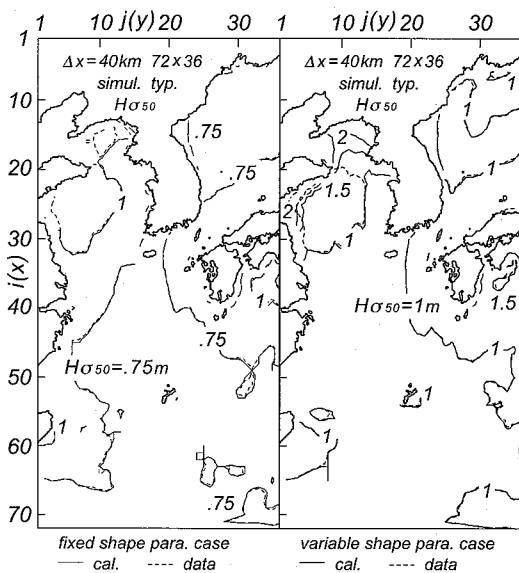


図-8 確率波高標本の標準偏差の比較

る 50 年確率波高の標準偏差 H_{50} に対する計算値 (cal.) と標本値 (data) の比較を示す。両者はいずれの場合にも大部分の海域ではほぼ符合する。確率密度関数の低次モーメントで定義される平均値の場合、両者の一致度はより高い。また、図-9 は既知母分布ケースにおける 50 年確率波高の skewness に対する計算値と標本値の差 ($\alpha_{50\text{cal}} - \alpha_{50\text{data}}$) および kurtosis の比 $\beta_{50\text{cal}} / \beta_{50\text{data}}$ の空間分布を示す。skewness α_{50} について計算値と資料値の差はあまりなく、kurtosis β_{50} についても大部分の海域で計算値と資料値の差は $\pm 10 \sim 20\%$ 以内で

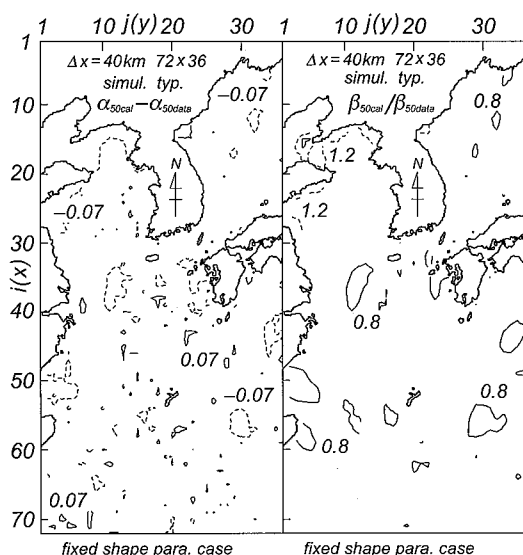


図-9 確率波高標本の skewness および kurtosis の比較

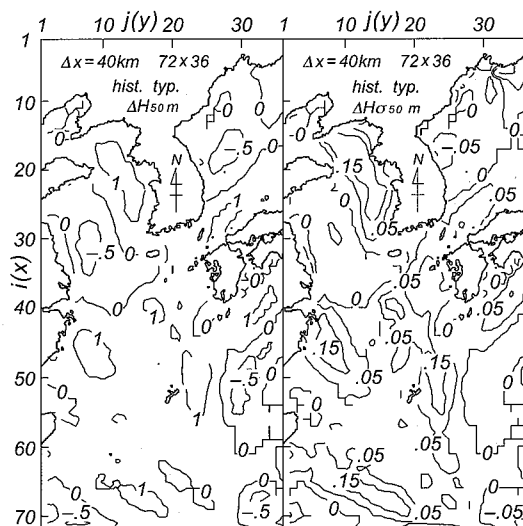


図-10 確率波高とその標準偏差に及ぼす母分布特定の影響

ある。したがって、高次モーメントの場合ほど一致度が若干低下するのは当然のこととして、最適分布はかなり高い精度で50年確率波高の標本分布を近似可以说える。未知母分布ケースの場合には既知母分布の場合より標本の変動性が大きいことから、一致の度合がやや低下する。

(3) 母分布の利用

図-10は既往台風時年最大波高資料に対する極値統計解析において候補分布の形状母数を最大相関係数基準によって選択する場合(図-3)およびシミュレーションよ

り得た最適分布の形状母数に固定した場合の確率波高とその標準偏差それぞれの差(ΔH_{50} , $\Delta H_{\sigma 50}$)を示す。母分布固定の場合にも確率波高があまり変わらず標準偏差が減少する海域($\Delta H_{\sigma 50} > 0$)が多いことから、極値統計解析において母分布を特定することの有意性が見出される。

4. 結 語

本研究で得た知見はつぎのようである。

- ①シミュレーション台風時年最大波高標本から推定した50年確率波高や裾長さパラメータの空間分布は、既往台風時年最大波高標本に基づく結果と定性的にも定量的にも比較的良好に符合する。
- ②台風時年最大波高の母分布はほぼWeibull分布で近似される。その形状母数は台風の来襲頻度を反映して、沖縄本島付近から周辺の海域に向けて減少し、逆に裾長さパラメータは形状母数と連動して緩やかに増大する。
- ③台風時確率波高の標本分布はWeibull分布でよく近似されるが、おおむね正規分布に近い形をとる。
- ④未知母分布ケースより既知母分布ケースにおいて確率波高の標準偏差が小さいという特徴は、年最大波高の母分布の特定が確率波高推定値の信頼性の向上に寄与することを示唆する。

参 考 文 献

- 合田良実(2002):設計波高に係わる極値統計分布の裾長さパラメータとその意義, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 171-175.
- 野中浩一・山口正隆・畑田佳男・伊藤吉孝(2000):拡張型確率的台風モデルを用いた波高の極値推定システム, 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 271-275.
- 野中浩一・山口正隆・畑田佳男・大福 学(2003):北西太平洋における気象要因別波高極値の母分布の推定, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 216-220.
- 山口正隆・畑田佳男・細野浩司・日野幹雄(1984):エネルギー平衡方程式に基づく浅海波浪の数値予知モデルについて, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 123-127.
- 山口正隆・野中浩一・大福 学・畑田佳男(2004):北西太平洋における気象擾乱別確率波高の標本分布の検討, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 181-185.
- 山口正隆・野中浩一・畑田佳男・大福 学(2006):わが国周辺海域における波高の極値の推定, 工学ジャーナル, 愛媛大学工学部, 第5巻, pp. 153-162(CD-ROM).
- Yamaguchi, M. and Y. Hatada(1997): An extremal analysis system and its application to the estimation of extremes of meteorological and oceanographic elements around the coasts of Japan, Proc. WAVES 97, Vol.2, pp. 932-946.