

日本海における気象擾乱別年最大波高の母分布と 確率波高の標本分布の推定

Estimation of Parent Distribution of Storm-Type-Separated Annual Maximum Wave Height and Sample Distribution of Return Wave Height on the Japan Sea

山口正隆*・野中浩一**・大福 学**・畑田佳男*

Masataka YAMAGUCHI*, Hirokazu NONAKA**, Manabu OHFUKU** and Yoshio HATADA*

A massive sample of typhoon- or cyclone low-generated wave heights over 10,000 years on the Japan Sea is produced using a Monte Carlo simulation model and a parent distribution of the storm-type-separated or storm-free type annual maximum (AM) wave height is estimated based on the extreme value analysis and its statistical composition. The main findings are that the parent distribution of storm-type-separated AM wave height is well approximated by either the Weibull distribution or the Gumbel distribution and that the parent distribution of storm-free type AM wave height is strongly affected by that of predominant storm-type-separated AM wave height. Next, 200 sets of a 50 size sample are made from the storm-type-separated AM wave height sample of 10,000 size and an extreme value analysis is conducted for each sample of 50 size in the known or unknown shape parameter case. Other findings in each of the typhoon and cyclone low cases are that identification of the parent distribution may lead to a reduction of confidence interval of the return wave height and that a sample distribution of return wave height is better approximated by the Weibull distribution rather than the normal distribution in detailed aspects.

Key Words : Japan Sea, typhoons, cyclone lows, Monte-Carlo simulation, annual maximum wave height, parent distribution, return wave height, sample distribution

1. 緒 言

年最大波高など波高の極値が属する母分布の特定は、統計的に安定した確率波高の推定を可能にすると考えられる。しかし、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ので、標本の大きさが小さい観測資料や既往気象擾乱に対する推算資料を用いても、その特定は現実的には難しい。これに対して、野中ら^{[1], [2]}や山口ら^{[3], [4]}は、野中ら^[5]および山口ら^[3]によりそれぞれ開発された、「異常気象擾乱（台風あるいは低気圧）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」を利用して、北西太平洋領域

*愛媛大学大学院理工学研究科生産環境工学専攻

Engineering for Production and Environment, Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

**愛媛大学工学部環境建設工学科

Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Ehime University

における台風時には20,000年、北西太平洋領域における低気圧時や日本海における台風時と低気圧時にはそれぞれ10,000年の期間について異常気象擾乱時波浪のモンテカルロシミュレーションを実施し、台風または低気圧という気象擾乱別あるいは成因別に波高極値の大標本資料を作成した。そして各海域における成因別年最大波高の母分布の特定と成因別確率波高の推定、成因別年最大波高の極値統計解析結果の確率的合成に基づく全気象擾乱時確率波高および母分布の推定、さらに気象擾乱別確率波高の標本分布特性についての考察を行うとともに、既往台風時および低気圧時の年最大波高資料に対するそれぞれの極値統計解析結果（確率波高や確率波高比）との比較から、モンテカルロシミュレーションに基づく波高極値の推定結果の妥当性を検証した。しかし日本海を対象とする場合、台風あるいは低気圧に伴う年最大波高の母分布の特定や確率波高の標本分布の検討およびこれらの相互関係の考察にやや一貫性を欠き、内容も十分整理されていないと考えられる。

そこで、本論文では日本海における台風時および低気圧時の年最大波高について、その母分布や確率波高の標本分布を検討した結果^{[2], [3], [6]}を改めて総括する。

2. 波高極値の推定システムの概要

本システム^{[3], [5]}は、①台風属性または低気圧属性の確率的発生モデル、②海上風推算モデル、③波浪推算モデルおよび④極値統計解析モデル、から成り立ち、台風および低気圧に対して別々に波高極値の推定システムを構成する。計算はいずれも次の手順に従う。

- ① 気象擾乱（台風、低気圧）の確率的発生モデルにより、1ケースの気象擾乱に対する属性の6時間間隔時系列資料を得たのち、時間に関する線形補間によって30分ごとの資料とする。
- ② 各気象擾乱に対して仮定した楕円型気圧分布に対応する傾度風と気象擾乱の移動に伴う場の風をベクトル合成したのち、海面における摩擦抵抗の影響を考慮するための係数を乗じるとともに、気象擾乱中心への吹込み角を考慮して30分ごとの海上風に変換する。
- ③ 海上風分布を逐次入力条件とする波浪推算を行って、1つの気象擾乱期間中の波高の時系列資料を得たのち、これから気象擾乱別最大波高資料を抽出する。
- ④ ①～③の計算を1年間に発生した気象擾乱について繰り返し、年別最大波高資料を求め、ついで、指定年数相当分同様の演算を行って全対象期間における格子点別年最大波高資料を作成する。
- ⑤ 台風時あるいは低気圧時年最大波高資料に対して、候補確率分布であるGumbel分布あるいは形状母数($k=0.5\sim 10.0$)を27種類に固定したWeibull分布の尺度母数 A と位置母数 B の推定を最小2乗法、最適分布の選択を最大相関係数基準、確率波高の標準偏差の推定をjackknife法による極値統計解析モデルを適用し、最適分布および指定再現期間に相当する確率波高とその標準偏差（信頼区間）を推定する。解析で使用する年最大波高資料は、計算に含まれない気象擾乱に伴う波高の寄与を除外するために、限界波高 $H_c \geq 1\text{ m}$ のものに限定する。
- ⑥ 台風および低気圧に対して別個に推定した最適分布および確率波高の標準偏差を、それぞれ確率的に結合することにより、台風および低気圧に伴う合成確率波高と合成標準偏差、すなわち全気象擾乱時確率波高とその標準偏差を推定する。なお、シミュレーションケースにおける確率波高の標準偏差は非常に小さいので、今回の検討対象としない。

3. 日本海における年最大波高の母分布

3.1 計算条件

(1) 台風ケース^[2]

日本海における波浪推算領域は、同じ格子間隔で日本海に対する地形解像度を向上させるために、 X 軸

を N 方向より 45° 反時計方向に回転させた座標系で与え、そこに格子間隔 40km, 格子分割数 24×53 の計算格子網 (後出の Fig. 1 を参照) を設ける。波浪推算は格子点深海モデルを用いて実施する。周波数データの個数は $0.045 \sim 0.50\text{Hz}$ を不等分割した 20 個, 方向データの個数は $0 \sim 360^\circ$ を $\Delta\theta = 20^\circ$ で等分割した 19 個, 波計算時間間隔は 30 分である。波浪推算の計算領域は Y 軸方向に 9 ~ 53 の範囲とする。境界条件は陸地境界で方向スペクトルの値を 0 として与える。また, 開境界にあたる朝鮮海峡・対馬海峡では, 格子間隔 5 km で分割した北西太平洋大領域において朝鮮海峡・対馬海峡の 40 km 間隔格子点に相当する 5 地点で 1 点浅海モデルによる波浪推算を格子点深海モデルの場合と同じ条件のもとに行い, その計算結果を流入境界条件とする。一方, 開境界の流出方向では, 方向スペクトルがそのまま伝播するとする。

海上風は, 6 時間間隔の台風属性資料に対する 30 分間隔の線形補間値を台風モデルへの入力条件として求める。計算対象台風は, 10,000 年間 52,197 ケースのシミュレーション台風および 1948 ~ 1998 年の 51 年間 314 ケースの既往台風 (いずれも 6 時間間隔の属性資料) である。

(2) 低気圧ケース^[3]

波浪推算は, (1) で述べた計算格子網で格子点深海モデル^[1]により行う。ただし, 計算領域は Y 軸方向に 1 ~ 53 の範囲とする。低気圧の場合には, 計算対象領域をできるだけ広くとるとともに, 西側境界において局所風速・風向を入力変数としたパラメトリック関係式から計算される方向スペクトルを流入境界条件として与える。また, 流出方向には方向スペクトルの完全流出条件を課する。低気圧時や季節風時の日本海における波高の極値は NW ~ N 方向の強風によって生じるので, 西側境界領域の影響は小さいと考えられる。周波数データの個数は $0.05 \sim 0.70\text{ Hz}$ を不等分割した 20 個, 方向データの個数は $0 \sim 360^\circ$ を $\Delta\theta = 20^\circ$ で等分割した 19 個, 波計算時間間隔は 30 分である。

低気圧に伴う海上風の計算においても, 6 時間間隔の低気圧属性資料の 30 分間隔線形補間値を使用する。計算対象低気圧は, 確率的低気圧モデルによって発生した 10,000 年間約 350,000 ケースのシミュレーション低気圧, および 1979 ~ 1998 年の 20 年間に生じた 194 ケースの既往低気圧である。後者の場合, 海上風は格子間隔 40 km の格子網上に再作成した 6 時間間隔の ECMWF 表面風再解析・解析資料を 30 分ごとに線形補間して得る。

3.2 年最大波高の母分布

(1) 台風時年最大波高

Fig. 1 は日本海における 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 $H_{0.50}$ および 50 年確率波高 H_{50} と 10 年確率波高 H_{10} の比で定義される合田^[7]の裾長さパラメータ γ_{50} ($=H_{50}/H_{10}$) の空間分布^[6]を示す。裾長さパラメータは Weibull 分布では形状母数のほか, 尺度母数 A と位置母数 B に依存するけれども, 後 2 者への依存性は弱い。これは形状母数をもたない Gumbel 分布についても同様である。また, 図中の黒丸は 1 点浅海モデルによる流入境界条件の入力地点を表す。50 年確率波高は, 日本海中央部で NE-SW 方向に伸びる 10 m 域を中心として, 沿岸部の 6 m 域に向けて四方に減少するけれども, 台風の進行方向を反映し, 北海道南部西側海域にも 9 m 域が現れる。確率波高の標準偏差は 9 m 以上の波高域で 0.5 ~ 1 m, 7 m 波高域で 0.5 m をとる。裾長さパラメータは日本沿岸の 1.2 から大陸側に向けて 1.4 に増加する。

Fig. 2 は 10,000 年 1 組のシミュレーション台風時年最大波高資料に対する極値統計解析から得た 50 年確率波高 H_{50} , 最適分布である Weibull 分布の形状母数 k および裾長さパラメータ γ_{50} の空間分布を示す。確率波高の標準偏差は 0.05 m 以下である。50 年確率波高は, NE-SW 方向を長軸として楕円状に分布する日本海中央部の 10 m 域から沿岸部の 6 ~ 7 m 域に向けて減少する。形状母数 k は日本側から日本海中央部にかけて尖った分布を与える 5 をとり, 大陸側に向かって減少し大陸沿岸で 2 を与える。裾長さパラメータは日本側で 1.2 の値をとり, 大陸側に向かって増加して 1.35 の値を与える。すなわち, 台風時年最大波高の母分布は Weibull 分布で近似されるが, その形状母数は強い空間依存性をもつ。

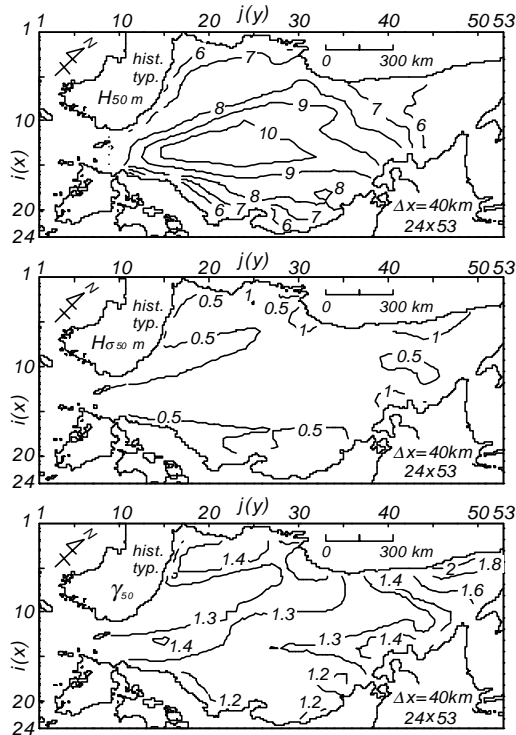


Fig. 1 Return wave height, standard deviation and spread parameter (historical typhoons).

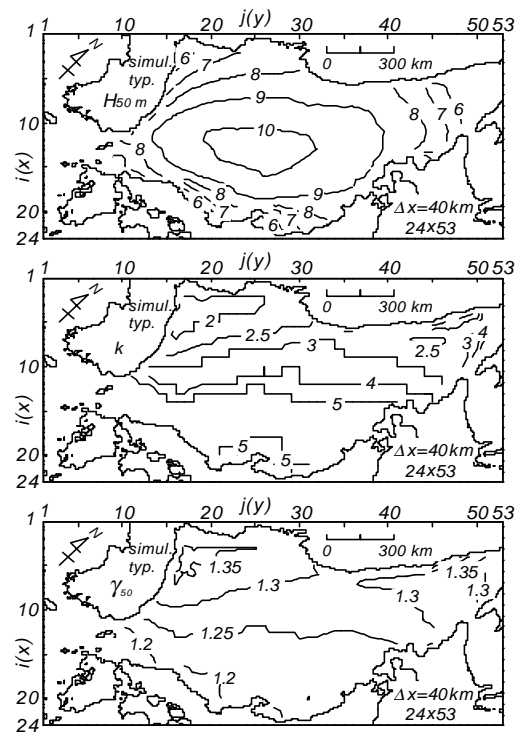


Fig. 2 Return wave height, shape parameter and spread parameter (simulated typhoons).

Fig. 1 と Fig. 2 の結果を比べると、既往台風時資料の場合には資料期間が短いために、個々の台風の影響が強く反映される結果、確率波高の空間変化がやや著しいけれども、日本海中央部の 10 m 域を中心として沿岸部の 6 m 域に向けて波高が減少するという挙動は全般的によく符合する。すなわち、日本海中央部における 10 m 波高域の位置や形状はかなり類似し、日本沿岸部においても同程度の波高の空間変化を与える。同様に、裾長さパラメータの空間分布も、多少の数値の差は別にして、類似した挙動を示す。

(2) 低気圧時年最大波高

Fig. 3 は 20 年間 194 ケースの既往低気圧に対する年最大波高資料の極値統計解析から得た 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^[6]を示す。50 年確率波高は日本海中央部および日本沿岸東北部で 10 m を越え、それぞれの海域を中心に周囲に向けて減少する。沿岸部における 50 年確率波高は大陸側で 6 m であるのに対し、朝鮮半島東岸で 8 m、北海道北部や九州北部を除く日本沿岸で 9~10 m をとり、大陸側に比べてかなり大きい。50 年確率波高の標準偏差は広い海域で 0.5~1 m の範囲にあるが、確率波高が大きい海域では 1 m となり、朝鮮半島東岸では 1.5 m に達することから、これらの海域における確率波高推定値の統計的信頼性は相対的に低い。裾長さパラメータは多くの海域で 1.2 を示し、朝鮮半島東岸で 1.3 を与える。

Fig. 4 は 10,000 年 1 組のシミュレーション低気圧時資料に基づいて推定した 50 年確率波高 H_{50} 、最適分布の形状母数 k (G は Gumbel 分布) および裾長さパラメータ γ_{50} の空間分布を示す。確率波高の標準偏差の最大値は 0.04 m である。50 年確率波高は日本海西部海域にあたる朝鮮半島東岸の 6 m から東部海域にあたる日本沿岸東北部の 9 m に向けて増加する。こうした挙動は既往低気圧時資料に基づく結果と定性的に符合する。しかし、シミュレーション低気圧時資料に基づく 50 年確率波高の空間分布には、既往低気圧時資料に基づく結果に現れる日本海中央部の 10 m 域を中心とするもう一方の高波高域が見出されない。これは確率的低気圧モデルを 6 時間間隔の低気圧属性資料を用いて定式化したことによるのかもしれない。すなわち、低気圧の移動速度を考慮すると、6 時間という時間間隔は日本海の空間スケールに比べて粗す

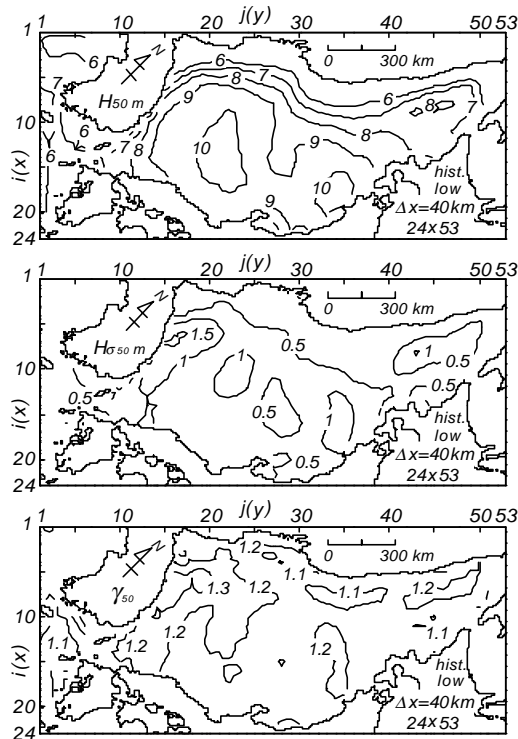


Fig. 3 Return wave height, standard deviation and spread parameter (historical cyclone lows).

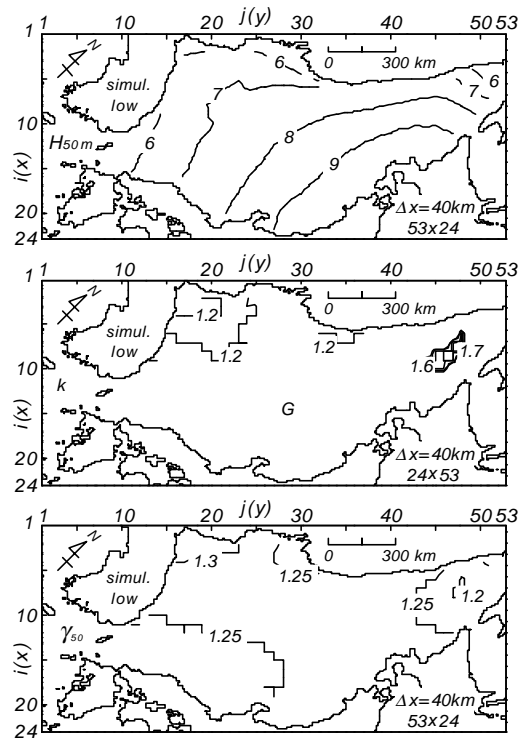


Fig. 4 Return wave height, shape parameter and spread parameter (simulated cyclone lows).

ざるために、確率的低気圧モデルは日本海における低気圧の急激な発達を必ずしも適正に再現していない可能性がある。形状母数については、Gumbel 分布が最適分布となる海域がほとんどを占める。つまり、低気圧時年最大波高の母分布は日本海のはほぼ全域で Gumbel 分布により表される。裾長さパラメータは、北部海域の 1.2~1.25 から朝鮮半島北部海域の 1.3 に向けて若干増加する。この挙動は既往低気圧時の結果と定性的にも、またある程度定量的にも符合する。台風時確率波高の裾長さパラメータと比較すると、再現期間に伴う確率波高の増加量は日本側では低気圧時に、大陸側では台風時にやや大きいことがわかる。

(3) 全気象擾乱時年最大波高

Fig. 5は既往台風時および低気圧時資料に基づく極値解析の結果を確率的に合成した全気象擾乱時50年確率波高と標準偏差および裾長さパラメータの空間分布^[6]を示す。日本海では台風時50年確率波高と低気圧時50年確率波高が拮抗することから、全気象擾乱時50年確率波高はいずれの気象擾乱別50年確率波高よりも増加する。すなわち、気象擾乱別50年確率波高では認められない11m波高域が新たに出現するとともに、10m波高域や9m波高域も拡大し、9m波高域が日本海の半分以上の海域を占める。また、8m波高域は大陸側沿岸域や北海道北方海域を除く日本海全域を覆っていると言っても過言でない。一方、全気象擾乱時標準偏差は気象擾乱別標準偏差の大きい方の値を越えないので、その局所的变化は小さくなり、確率波高推定値の統計的信頼性が向上する。裾長さパラメータはその値が小さい日本側で増加し、その値が大きい大陸側で減少することから、結果として空間変化が相対的に少なくなる。

つぎに、Fig. 6はシミュレーション台風時および低気圧時資料に基づく極値解析結果の合成から得た全気象擾乱時50年確率波高、形状母数、裾長さパラメータの空間分布を表す。確率波高の標準偏差は0.05m以下であるので、図を提示していない。形状母数の値は次式^[7]で定義されるξより逆算して求める。

$$\xi = (\gamma_{100} - 1) / (\gamma_{50} - 1) \quad (1)$$

ここに、 γ_{100} は100年・10年確率波高比である。式(1)は年最大波高資料の場合 Weibull 分布に対して

$$\xi = (2^{1/k} - 1) / (1.69897^{1/k} - 1) \cdot 0.12370k^{-1.08673} + 1.30777 \quad (2)$$

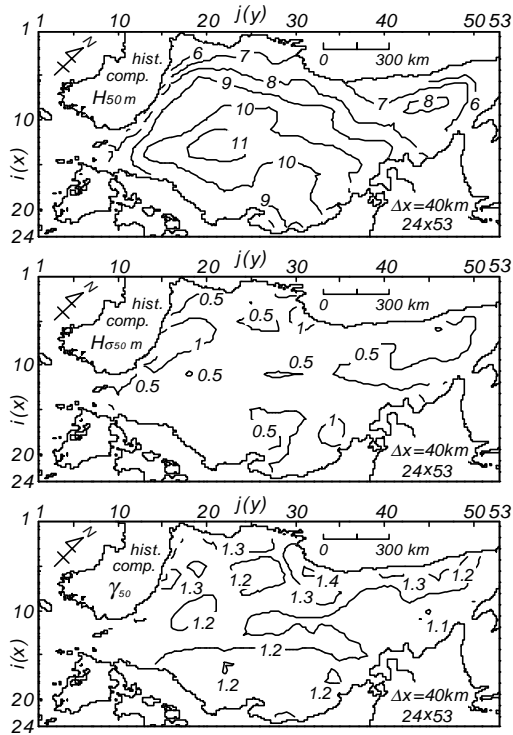


Fig. 5 Compounded results for return wave height, standard deviation and spread parameter (historical storms).

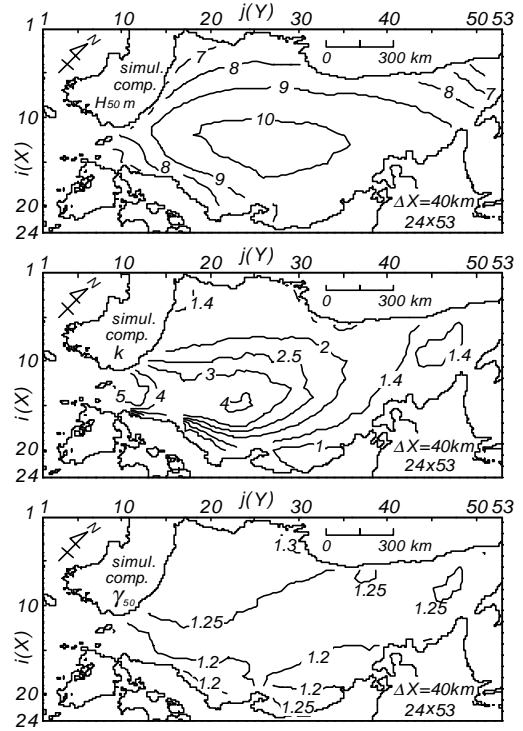


Fig. 6 Compounded results for return wave height, shape parameter and spread parameter (simulated storms).

と表される^[1]。上式の 1.30777 は $k \rightarrow \infty$ に対する漸近値である。Gumbel 分布の場合には $\xi = 1.42276$ になることを考慮すると、式(2)の限界を $k \geq 0.93502$ とするのが Gumbel 分布を等価最適分布に組み入れるうえで都合がよい。これによると、シミュレーション低気圧時資料では、既往低気圧時資料に基づく結果にみられる日本海中央部における 50 年確率波高の 10 m 域が再現されないが、シミュレーション台風時 50 年確率波高は日本海中央部の 10 m 域を中心として四方に向けて減少する分布を示し、日本海中央部では低気圧時 50 年確率波高より大きい値をとる。そのため、シミュレーション全気象擾乱時 50 年確率波高も既往全気象擾乱時 50 年確率波高と同様に、日本海中央部における 10 m 域を最大波高域として周囲の沿岸部に向けて減少する空間変化を与える。等価形状母数は日本海の中央部から西南部にかけて、3~5 と西南部ほど大きい値をとり、そこから三方に向けて 1.4 に減少する。裾長さパラメータは日本側の 1.2 から大陸側の 1.3 に向けて増大する。この分布形状は台風時と低気圧時の裾長さパラメータの分布形状を合成したようなものになっているが、空間的な変動範囲は小さい。

既往全気象擾乱時 50 年確率波高と比べると、シミュレーション全気象擾乱時 50 年確率波高は高波高域で小さい値を、低波高域で大きい値を与える。しかも資料数が多いことから、その空間変化は滑らかである。しかし、両者の空間分布の状況はかなり類似する。また、いずれの裾長さパラメータも日本側の 1.2 から大陸側の一部にみられる 1.3 に向けて増加するという特徴をもつ。

4. 確率波高の標本分布の特性

4.1 解析の方法

ここでは、10,000 年 1 組の台風時あるいは低気圧時年最大波高の大標本をそれぞれ 50 年 200 組の小標本に分けたのち、各小標本に本研究の極値統計解析モデルを適用して確率波高を求める。そしてこのように

して得た 200 組の確率波高の小標本を用いて確率波高統計量（平均値 \bar{H}_r ，標準偏差 $H_{\sigma,r}$ ，skewness α_r ，kurtosis β_r ； r ：再現期間）を算出する。各小標本に対する解析は候補分布を 10,000 年 1 組の大標本から得た形状母数をもつ Weibull 分布または Gumbel 分布に固定する場合（既知母分布ケースあるいは fixed shape parameter (FSP) case）と候補分布の中から最大相関係数基準に従って最適分布を選択する場合（未知母分布ケースあるいは variable shape parameter (VSP) case）にそれぞれ実施する。また、大きさ 200 の 50 年および 100 年確率波高資料の標本分布を近似するために、上記の極値統計解析モデルを准用して最適分布を求めたのち、確率波高統計量の比較に基づいてその近似度を調べる。

4.2 台風時確率波高

Fig. 7 は 200 組の 50 年確率波高標本より求めた平均値 \bar{H}_{50} と標準偏差 $H_{\sigma,50}$ および skewness α_{50} の空間分布を既知母分布と未知母分布の場合について示す。既知母分布の場合、平均 50 年確率波高は 10,000 年 1 組の資料として求めた 50 年確率波高 (Fig. 2) とほぼ一致する。さて、平均 50 年確率波高は既知母分布より未知母分布の場合にやや大きい、空間分布の形状は変わらない。波高の標準偏差は既知母分布の場合、日本沿岸の 0.3 m から大陸側の 0.7 m，未知母分布の場合 0.4 m から 1.0 m をとり、既知母分布の場合に小さい。すなわち、台風時年最大波高の母分布の特定は確率波高の統計的信頼性の向上をもたらす。skewness α_{50} は局所的に著しい空間変化を伴うが、既知母分布の場合、その値は正規分布に相当する 0 に近い値をとる。kurtosis β_{50} (図省略) も正規分布に相当する 3 を中心とした空間変化を示すが、その値は既知母分布より未知母分布の場合にやや大きい。要するに、確率波高の標本分布はほぼ正規分布に従うが、より詳細には非対称性を伴い、その度合は未知母分布の場合にやや強い。

Fig. 8 は大きさ 200 の 50 年および 100 年確率波高標本に対する Weibull 分布あるいは Gumbel 分布のあてはめから得た最適分布の形状母数の空間分布を既知母分布および未知母分布の場合にそれぞれ示す。図中の数値は Weibull 分布の形状母数 k_{50} ， k_{100} ，G は Gumbel 分布を表す。既知母分布の場合、形状母数は再現期間に依存しないので、再現期間 50 年に対する値 k_{50} のみを与えている。まず既知母分布の場合、広い範囲にわたり形状母数は 3～4 をとり、沿岸部で局所的に 2 を与える。未知母分布の場合には、既知母分布の場合と比べて形状母数は小さくなり、正側に長く裾を引く Gumbel 分布の領域も出現する。再現期間が 100 年になると、形状母数の値が全体的に一層減少するとともに、Gumbel 分布をとる海域が大幅に拡大する。以上の結果は、日本海中央部など確率波高が相対的に大きい海域ほど、また既知母分布より未知母分布の場合に、さらに再現期間が増加するほど、確率波高の標本分布が幅の広い形状をとり、確率波高の変動幅が拡大する特徴を表す。逆に言えば、上記の結果は波高極値の母分布の特定が確率波高の統計的信頼性の向上に寄与することを反映する。

Fig. 9 は未知母分布の場合の 50 年確率波高資料にあてはめた最適分布 (cal.) および資料値 (data) からそれぞれ求めた標準偏差 $H_{\sigma,50}$ ，skewness α_{50} ，kurtosis β_{50} を空間分布として示したものである。skewness および kurtosis を表す図中の数値は Fig. 8 の各最適分布に対応する理論値である。Fig. 7 の α_{50} における等値線の数値もこれに合わせている。さて、理論値と資料値の差は、低次積率に相当する統計量ほど小さく、1 次積率に相当する 50 年確率波高 (図省略) はほぼ一致する。逆に、高次積率に相当する統計量ほど両者の差は顕在化するが、50 年確率波高資料の場合、kurtosis についても両者はある程度符合する。以上は未知母分布の場合に対する結果である。既知母分布の場合には、理論値と計算値の一致度は一層向上する。

4.3 低気圧時確率波高

Fig. 10 は 200 組の 50 年確率波高資料より求めた平均値と標準偏差の空間分布を既知母分布と未知母分布の場合に示す。既知母分布の場合の平均 50 年確率波高は 10,000 年 1 組の資料として求めた 50 年確率波高 (Fig. 4) とほぼ一致する。一方、未知母分布の場合には平均 50 年確率波高はやや大きくなるが、朝鮮半島の北部沿岸から北海道・東北沿岸に向けて増加する挙動は変わらない。波高の標準偏差は既知母分布

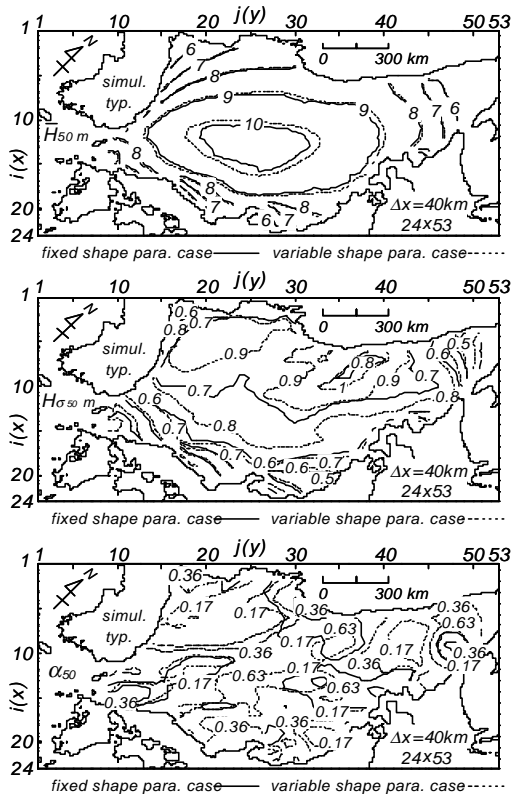


Fig. 7 Mean, standard deviation and skewness of 50-year return wave height sample in FSP or VSP case (simulated typhoons).

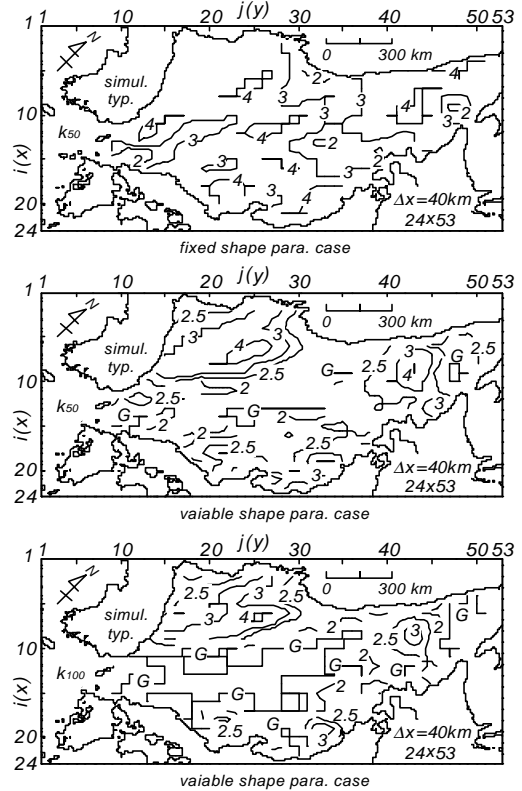


Fig. 8 Shape parameter of Weibull distribution or Gumbel distribution fitted to 50-year return wave height sample in FSP or VSP case (simulated typhoons).

の場合 0.4~0.7 m, 未知母分布の場合 0.6~0.9 m の範囲にあり, 既知母分布の場合に小さい。skewness α_{50} は大陸側で大きく日本側に向けて, また日本側では北海道などの北部で小さい。この空間分布は既知母分布と未知母分布の場合で類似するが, その値は既知母分布の場合に小さい。

Fig. 11 は 50 年および 100 年確率波高資料に対するあてはめより求めた最適分布の形状母数を空間分布として既知母分布の場合と未知母分布の場合に示す。既知母分布の場合, 最適分布は再現期間に依存しない。確率波高標本の分布は形状母数 2 以上の Weibull 分布で近似され, 北海道沿岸とその沖合海域で相対的に大きい値をとる。未知母分布の場合, 50 年確率波高標本ではロシア・北朝鮮海域における Gumbel 分布の出現に加えて形状母数の値も小さくなる。また 100 年確率波高標本では, 正側に長く裾を引く Gumbel 分布をとる海域が大幅に拡大する。すなわち, 未知母分布の場合, 確率波高の標本分布は日本海中央部など確率波高が相対的に小さい海域ほど, また再現期間が増加するほど, 幅の広い形状をとり, 確率波高の変動幅が拡大する。

Fig. 12 は未知母分布の場合に 50 年確率波高資料にあてはめた最適分布 (cal.) および資料値 (data) からそれぞれ求めた標準偏差 $H_{\sigma 50}$, skewness α_{50} , kurtosis β_{50} を空間分布として示す。2 次積率に相当する確率波高の標準偏差に対して, 理論値は資料値にかなり近い値を与える。3 次積率に相当する skewness については, 大きい値を与える海域で両者に差がみられるが, 他の海域ではおおむね符合する。4 次積率から求められる kurtosis についても, 理論値と資料値は比較的近い値をとる。既知母分布の場合 (図省略) には, 高次積率で計算される統計量 (kurtosis, ついで skewness) についても理論値と資料値の一致度は未知母分布の場合より高くなる。要するに, 低気圧の場合にも年最大波高の母分布の特定が確率波高の統計的信頼性の向上をもたらすことが確認される。

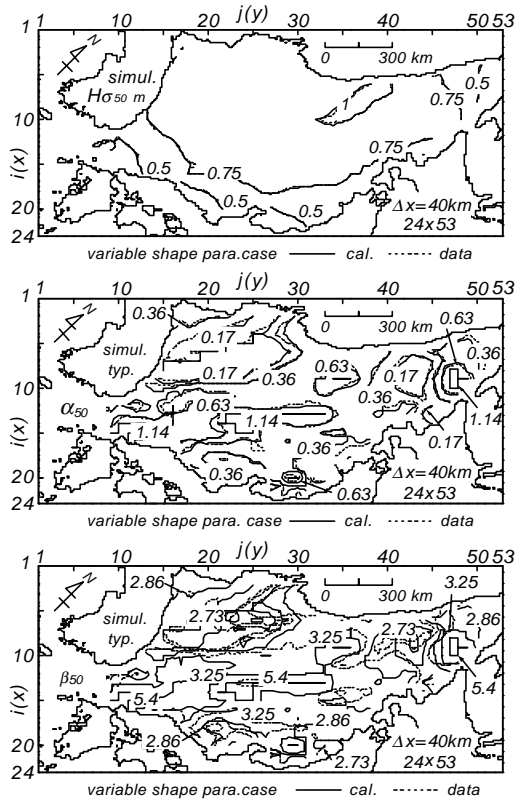


Fig. 9 Comparison between sample statistics of 50-year return wave height and calculated statistics in VSP case (simulated typhoons).

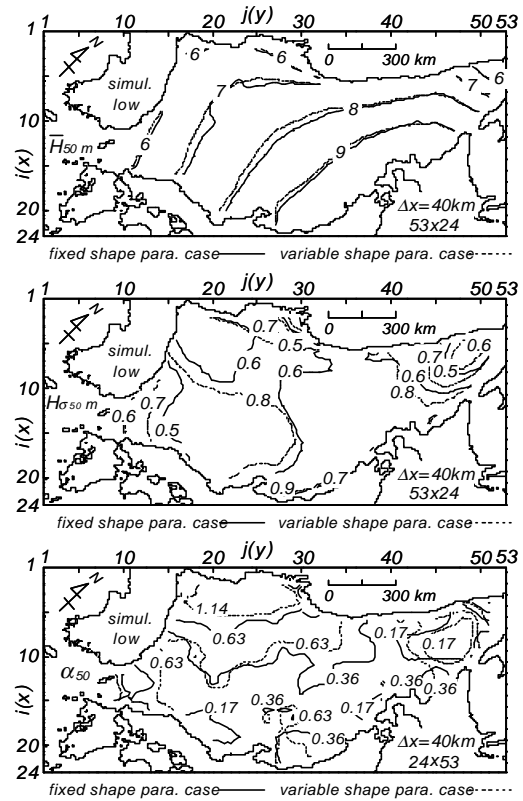


Fig. 10 Mean, standard deviation and skewness of 50-year return wave height sample in FSP or VSP case (simulated cyclone lows).

5. 結 語

本研究では、日本海における超長期の台風時・低気圧時シミュレーション波浪資料から求めた気象擾乱別年最大波高資料に対する極値統計解析結果の考察に基づいて、つぎの知見を得た。

- ① シミュレーション台風時年最大波高資料から推定した50年確率波高は、既往台風時年最大波高資料に基づく結果と定性的のみならず定量的にもかなりの程度で符合する。これはシミュレーション低気圧時年最大波高資料に基づく結果についても言えるが、既往低気圧時年最大波高資料に基づく結果に見出される日本海中央部の高波高部がシミュレーション低気圧時資料では再現されない。
- ② 台風時年最大波高の母分布はWeibull分布で近似される。その形状母数は強い空間依存性をもち、日本近海の5から大陸沿岸の2以下に減少する。一方、低気圧時年最大波高の母分布は日本海の広い海域においてGumbel分布で表される。
- ③ 裾長さパラメータは形状母数とほぼ連動して緩やかに変化し、形状母数の増加とともに減少する。
- ④ 台風時・低気圧時資料に対する解析結果を合成して推定した全気象擾乱時年最大波高の母分布は各海域における台風時および低気圧時確率波高相互の大小関係を反映した特徴をもつ。すなわち、形状母数は日本海の中央部から西南部にかけて3から5をとり、そこから三方に向けて1.0~1.4に減少する。
- ⑤ 台風、低気圧によらず、年最大波高の母分布の特定は確率波高推定値の統計的信頼性の向上に繋がる。
- ⑥ 台風時あるいは低気圧時確率波高資料の標本分布は粗い近似では正規分布で表されるが、詳細にはWeibull分布やGumbel分布のような非対称分布によって近似される。また、母分布を未知とする場合には、母分布を既知とする場合より、また再現期間が長いほど、Weibull分布の形状母数が小さくなるとともに、標本分布がGumbel分布で近似される傾向が促進され、確率波高推定値の統計的変動が増大する。

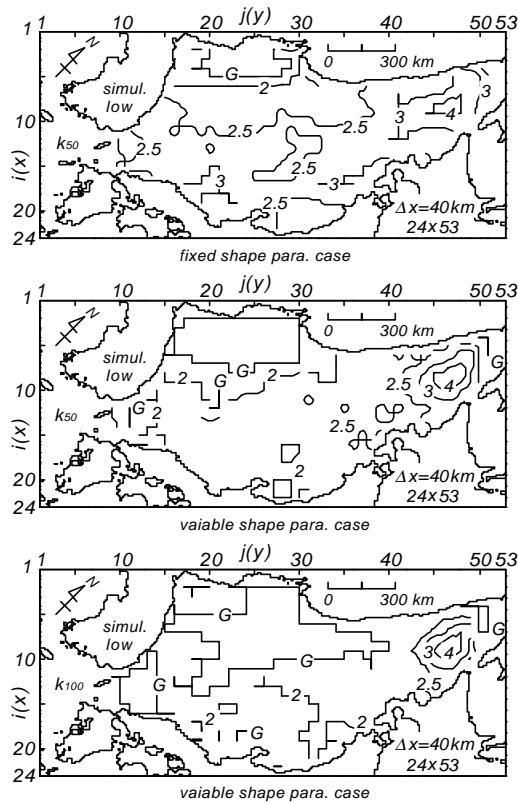


Fig. 11 Shape parameter of Weibull distribution or Gumbel distribution fitted to 50-year return wave height sample in FSP or VSP case (simulated cyclone lows).

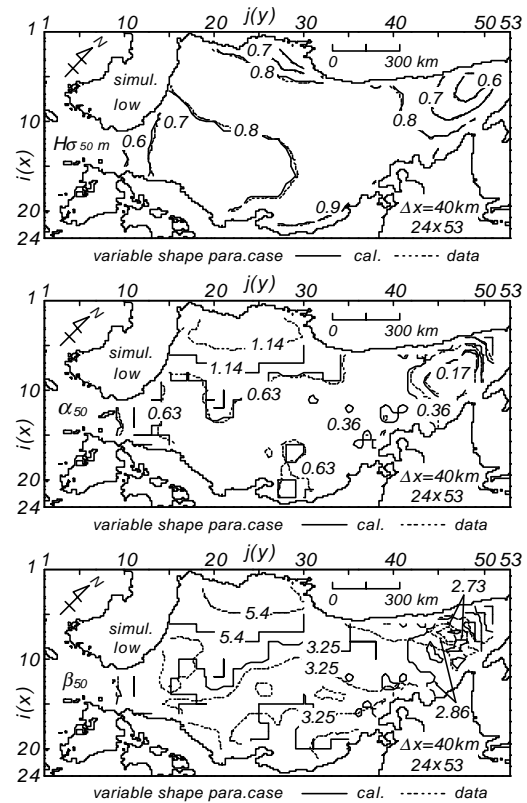


Fig. 12 Comparison between sample statistics of 50-year return wave height and calculated statistics in VSP case (simulated cyclone lows).

参考文献

- [1] 野中浩一・山口正隆・畑田佳男・大福 学：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.216-220，2003.
- [2] 野中浩一・山口正隆・畑田佳男・大福 学：確率的台風モデルを利用した波高極値の推定システムの日本海における適用性，海岸工学論文集，第49巻，pp.176-180，2002.
- [3] 山口正隆・畑田佳男・野中浩一・羽間義晃：確率的低気圧モデルに基づく波高の極値推算システムの適用性，海岸工学論文集，第46巻，pp.251-255，1999.
- [4] 山口正隆・野中浩一・大福学・畑田佳男：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.181-185，2004.
- [5] 野中浩一・山口正隆・畑田佳男・伊藤吉孝：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.271-275，2000.
- [6] 山口正隆・野中浩一・畑田佳男・大福 学：わが国周辺海域における波高の極値の推定，愛媛大学 工学ジャーナル，第5巻，pp.153-162，2006(CD-ROM).
- [7] 合田良実：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.171-175，2002.

- [8] Yamaguchi, M. and Y. Hatada: An extremal analysis system and its application to the estimation of extremes of meteorological and oceanographic elements around the coasts of Japan, Proc. WAVES97, Vol.2, pp.932-946, 1997.
- [9] 合田良實：港湾構造物の耐波設計－波浪工学への序説－，鹿島出版会，333p, 1990.
- [10] 泉宮尊司：設計波の合理的な設定法，2000年度(第36回)水工学に関する夏期研修会講義集，Bコース，土木学会海岸工学委員会・水理委員会，pp.B3-1～20，2000.
- [11] 山口正隆・畑田佳男・細野浩司・日野幹雄: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.123-127，1984.
- [12] 山口正隆・畑田佳男・宇都宮好博：一地点を対象とした浅海波浪推算モデルとその適用性，土木学会論文集，第381号/II-7，pp.151-160，1987.