

東シナ海における台風時波浪の極値の推定

野中浩一*・山口正隆**・畑田佳男***・大福 学****

1. 緒 言

わが国周辺海域のうち、東シナ海は南東部から北西部の黄海に向けて水深が減少する広大な浅海域を有することから、波浪推算に基づいて波浪の極値を推定する場合、水深変化の影響を考慮する必要がある。また東シナ海における最大級の波浪は台風時に生起するが、台風の勢力は南方洋上の発達期に比べて減衰するとともに、台風内気圧分布も同心円分布から台風進行方向に伸びた楕円状分布に変化する傾向にある。

そこで本研究では、過去 51 年の間に生起した勢力の強い 315 ケースの台風や、確率的台風モデルによる 500 年間約 2600 ケースのシミュレーション台風に対して、台風内気圧分布を通常の円型分布のみならず楕円型分布で近似した場合の台風モデル風を入力条件とする格子点浅海モデル (山口ら, 1984) による波浪推算を東シナ海で実施する。そしてこれから得られる波浪資料の極値統計解析に基づいて、東シナ海における台風時波浪の極値を推定するとともに、波浪の極値に及ぼす水深変化、気圧分布モデルおよび台風のモデル化の影響を検討する。

2. 海上風および波浪の推算方法

2.1 気圧分布モデル

本研究で用いる楕円型気圧分布は次式で表される。

$$p = p_c + (p_\infty - p_c) \exp \left[- \left\{ \left(\frac{x}{a} \right)^2 + \left(\frac{y}{b} \right)^2 \right\}^{-1/2} \right] \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 p_c : 中心気圧、 p_∞ : 遠方場気圧、 x, y : 楕円長・短軸方向の局所座標系、 a, b : 長・短軸方向台風半径、である。遠方場気圧 p_∞ は台風資料の解析によれば各台風で 1013 hPa に近い値をとることから、一定値 1013 hPa とする。この結果、全体座標系 (X, Y) を導入すると、台風属性は中心位置 (X_c, Y_c)、中心気圧 p_c 、平均台風半径 $R (= (a+b)/2)$ のほか、全体座標系の X 軸に対する楕円長軸傾斜角 θ および台風半径比 b/a の計 6 つの変量

によって代表される。式 (1) において $a=b$ とすれば、円型気圧分布を与える Myers 式に帰着する。

2.2 台風資料

(1) 既往台風資料

1948~1998 年の 51 年の間に北西太平洋上で発生した勢力の強い 450 ケースの台風のうち、東シナ海で高波浪を発生した可能性のある 315 ケースの台風に対して上述の 6 つの変量よりなる台風属性資料を 6 時間ごとに整備する。

(2) シミュレーション台風資料

6 つの台風属性変量に対するモンテカルロシミュレーションでは、拡張型季節別確率的台風モデル (野中ら, 2000) を使用する。シミュレーションに基づく台風属性資料は 80 km を 1 単位として 34×35 に分割した北西太平洋領域で 6 時間ごとに得られる。シミュレーション期間 500 年における台風は約 3900 ケースであり、このうち東シナ海の波浪に影響する約 2600 ケースを波浪推算対象とする。

2.3 海上風推算モデル

海上風推算には傾度風と台風の移動に伴う場の風をベクトル合成する、一般化した台風モデル法 (野中ら, 2000) を用い、海上風への変換係数を 0.6 とする。海上風は 6 時間間隔の既往台風属性資料あるいはシミュレーション台風属性資料を 30 分ごとに線形補間することにより計算する。

2.4 波浪推算モデル

使用するモデルは第 2 世代に属する格子点浅海モデル (山口ら, 1984) であり、水深を無限大にとれば、shoaling, 屈折, 底面摩擦の各項が消失して格子点深海モデルに帰着する。計算格子網は東シナ海全域および日本海、北西太平洋の一部を含む海域を格子間隔 $\Delta x = 40$ km で 72×36 に分割したものである。図-1 は計算格子網と等深線分布を示す。東シナ海では北西部の黄海に向かうほど水深が小さくなり、水深 50 m 以下の浅海域も広範に分布する。海上風入力時間間隔および波計算時間間隔は 30 分である。台風時年最大波高資料は、各台風に対する波浪推算時系列資料より格子点別最大波高資料を得たのち、既往台風ケースでは 51 年間、シミュレーション台風ケー

* 学生会員 工修 愛媛大学大学院理工学研究科
** 正 会 員 工博 愛媛大学教授 工学部環境建設工学科
*** 正 会 員 工修 愛媛大学助手 工学部環境建設工学科
**** 愛媛大学技官 工学部環境建設工学科

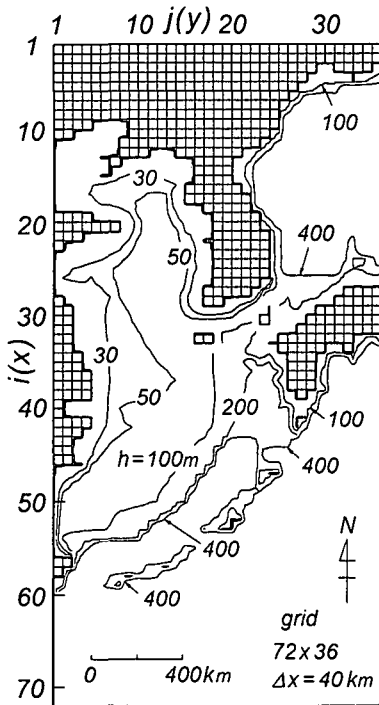


図-1 東シナ海における計算格子網と等深線分布

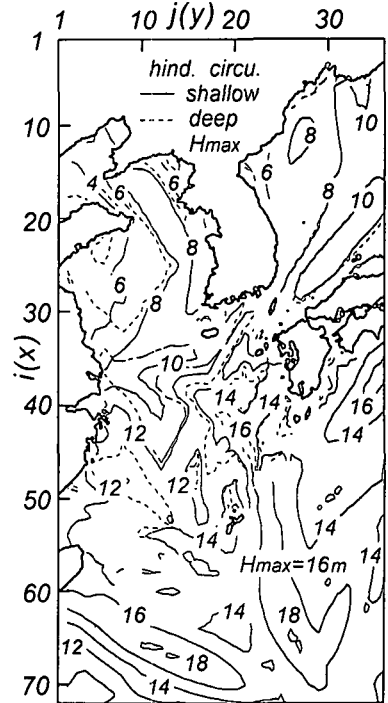


図-2 既往台風時最大波高に及ぼす水深の影響

スでは500年間について格子点別に求める。

2.5 極値統計解析モデル

極値統計解析には、候補分布の母数推定を最小2乗法に基づくYamaguchiら(1997)の拡張型モデルを適用する。すなわち、既往台風ケースでは波高1m以上、シミュレーション台風ケースでは波高2m以上の年最大波高資料に対してGumbel分布と27種類の形状母数($k=0.5\sim10.0$)をもつWeibull分布を候補分布とし、最適分布やこれに基づく確率波高とその標準偏差を格子点別に算出する。

3. 東シナ海における波高の極値

3.1 既往台風に伴う波高の極値

図-2は円型気圧分布を仮定した場合の51年間315ケースの台風別最大波高資料より求めた既往最大波高を浅海波と深海波の場合に示す。浅海波の場合、18m以上の波高域が沖縄本島南東海域や南西海域にみられる。沖縄列島より南東側の太平洋海域では16m域が広がり、四国沖でも16m域が出現する。東シナ海では南東部海域の14mから北西部の黄海に向けて8~6mに小さくなり、韓国西側海域では8m域が広がる。九州西岸では14m域が広範囲に分布し、日本海では九州・中国地方沖合の海域でNE方向に伸びる10m域が出現する。ただし、波浪推算における地形解像度が低いため、対馬・朝鮮海峡から過剰なエネルギーが流入するので、日本海の

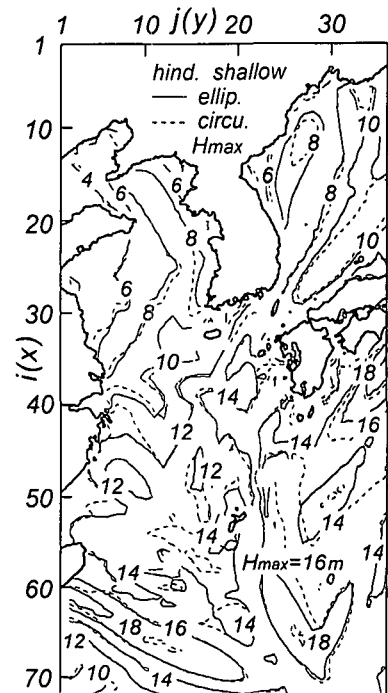


図-3 既往台風時最大波高に及ぼす気圧分布モデルの影響

波浪はやや過大評価される可能性が高い。深海波の場合、水深の大きい太平洋側の波高分布は浅海波の場合と同じであるが、浅海域が広がる東シナ海では浅海波の場合に

比べて波高が大きい。その波高差は東シナ海の広範な海域で0.5~1mであるが、水深の小さい東シナ海中央部から中国沿岸にかけて1~3mに達する。また、東シナ海側からの波浪が伝播・発達する日本海の水深は大きいので、その差は0.5m以下である。

図-3は楕円型および円型気圧分布を仮定した場合の既往最大波高の平面分布を浅海波の場合に示す。両者は全般的に類似した分布を与えるが、気圧分布の楕円化の進行に伴い、台湾南東海域における18m域の出現位置の移動、沖縄本島南方海域における16m域の縮小、四国沖海域における18m域の出現、韓国西側海域における8m域の拡大、日本海における10m域のN方向への拡大と8m域の拡大などの相違が見出される。

東シナ海の各海域に既往最大波高をもたらした台風は、太平洋側では台風5909号、5307号、5606号、6911号、6118号（第2室戸台風）、東シナ海中央部では台風7709号（沖永良部台風）、5914号（宮古島台風）、8712号、9119号、韓国西側海域では台風4806号、7207号、対馬海峡から日本海では台風5914号、8712号、九州西岸では南部で台風9119号、中部で8712号、北部で5914号である。図-4は上記11台風のうち台風4806号、7709号、9119号、6118号時の最大波高を楕円型気圧分布を仮定した場合の浅海波について示す。太平洋海域をN~NE方向に進行した台風6118号時には、沖縄南東海域で16m域が、四国沖海域で18m域が現れる。東シナ海をNE方向に進行した台風9119号時には、九州西岸に向けて14m域が伸びている。また太平洋海域をN方向、東シナ海をNNW方向に進行した台風7709号時には、沖縄本島北東海域に16m域が、沖縄本島東側海域から東シナ海中央

部に広範な14m域がみられる。朝鮮半島をNNE~NE方向に横断した4806号時には、韓国西側海域に8m域が伸びる。

図-5は楕円型および円型気圧分布を仮定した場合の51年間格子点別年最大波高資料に対する極値統計解析から得た100年確率波高 H_{100} と両者の確率波高差 ΔH_{100} および確率波高の標準偏差 $\sigma_{H_{100}}$ の平面分布を浅海波について示す。楕円型気圧分布を仮定した場合、100年確率波高は、南方海域や沖縄本島東側海域のみならず四国沖海域で16mに達するが、東シナ海では台湾から沖縄本島、九州沖合に至る海域で14mをとり、そこから北西方向の黄海に向けて8mに減少し、山東半島近海で6m以下になる。対馬海峡から日本海では10m域がNE方向に広がり、ごく一部の海域に12m域もみられる。気圧分布の仮定の相違による波高差は広範な海域で ± 0.5 m以下と小さいが、韓国南西海域で0.5~1m、九州南東海域から四国沖海域で1~2m、日本海の一部で1mを超える。確率波高の標準偏差は大部分の海域で1m以下であるが、確率波高14m以上の海域や日本海のうち中国地方沖合の海域では1mを越え、とくに四国沖海域では1.5m以上になる。一方、円型気圧分布を仮定した場合には、確率波高のみならず標準偏差もやや小さい値をとる傾向にある。

3.2 シミュレーション台風に伴う波高の極値

図-6は楕円型および円型気圧分布を仮定した場合のシミュレーション台風に対する浅海波浪推算資料に基づいて推定した100年および1000年確率波高 H_{100} 、 H_{1000} と最適分布の形状母数 k （楕円型気圧分布のみ、 G はGumbel分布）の平面分布を示す。楕円型気圧分布を仮定

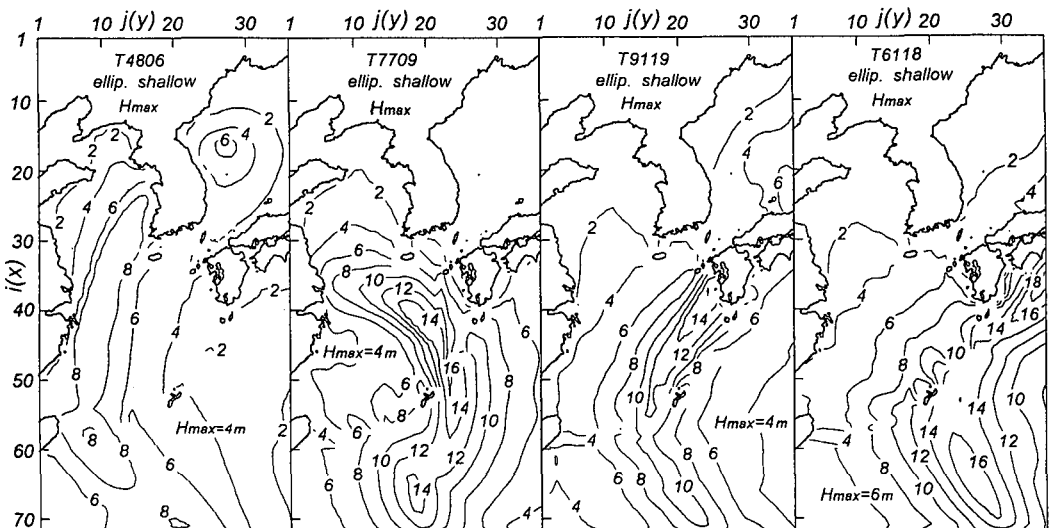


図-4 既往台風に伴う最大波高の例

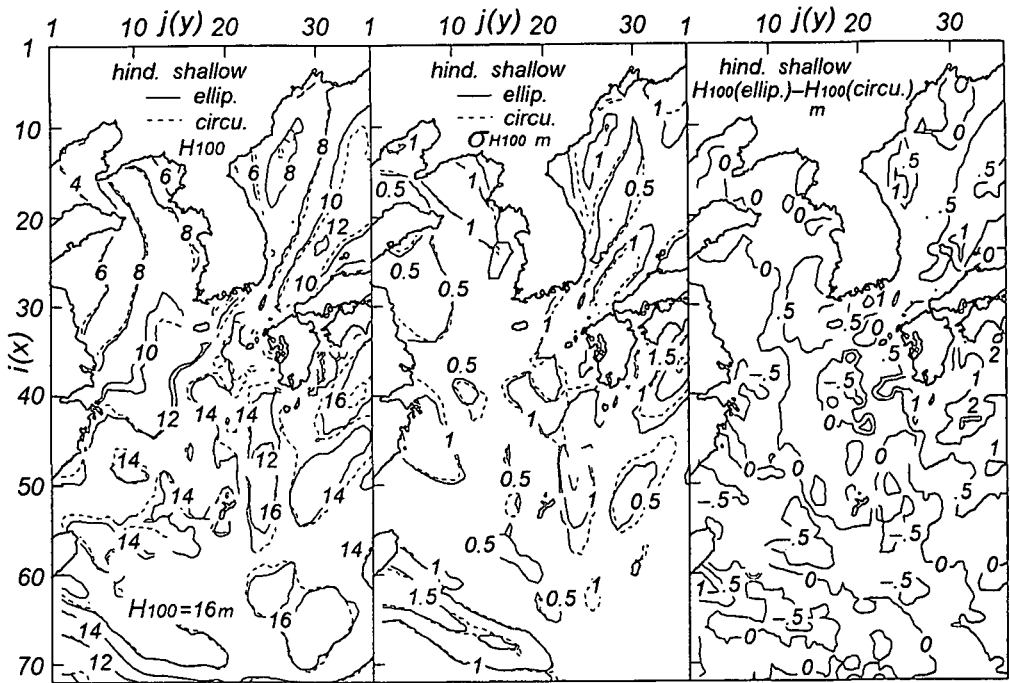


図-5 既往台風に対する100年確率波高と標準偏差

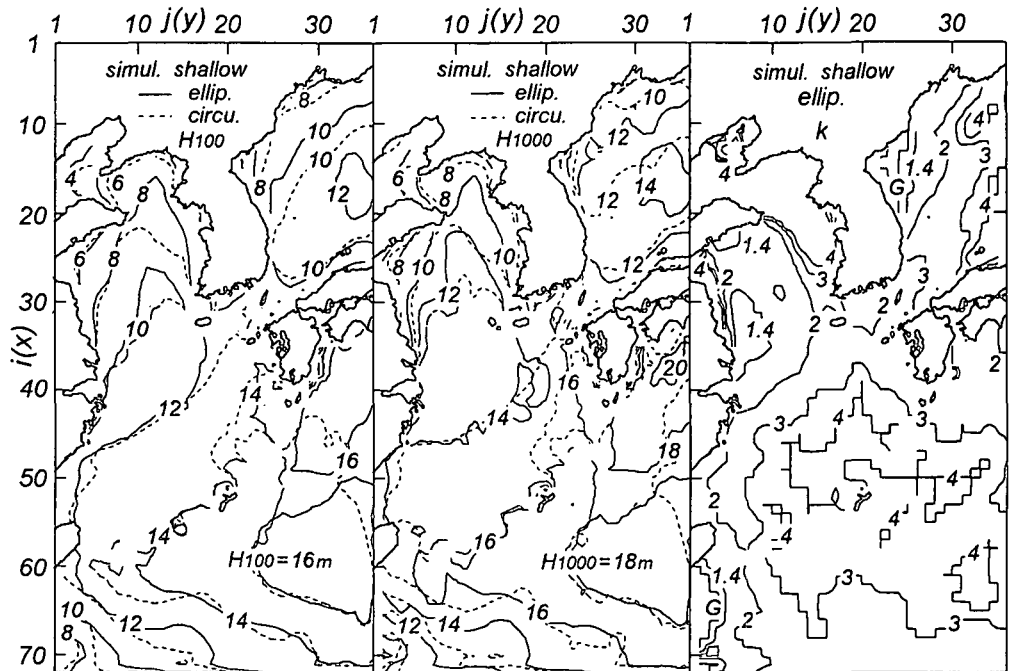


図-6 シミュレーション台風に対する100年および1000年確率波高と形状母数

した場合、100年確率波高は沖縄本島南東海域からほぼ九州南東海域や四国沖にかけて広範に出現する16m域を中心として、周辺海域に向けて次第に減少する分布を

示す。東シナ海では、沖縄列島から九州西岸南部にかけて14mの等値線が伸び、北西方向に向けて東シナ海中央部で12m、韓国南海域から西側海域で10~8mにな

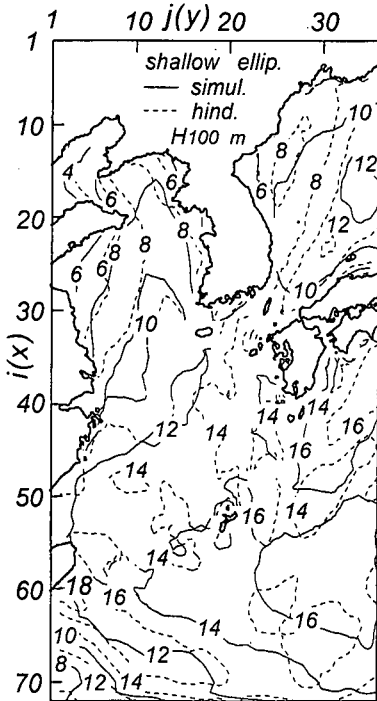


図-7 100年確率波高に及ぼす台風資料の影響

る。日本海では10 m域が広範に分布し、領域東端付近にあたる日本海中央部では12 m域も出現する。円型気圧分布を仮定した場合と比べると、南方海域における波高差は ± 0.5 m以下であるが、四国沖海域、韓国済州島東側海域、韓国西側海域の一部、日本海中央部などで楕円型気圧分布を仮定した場合に波高は1 m以上大きくなり、四国沖海域では2 m近くに達する。1000年確率波高は対象領域全体で100年確率波高に比べて約2 m増加することから、その分布は100年確率波高の場合と類似する。すなわち、楕円型気圧分布を仮定した場合18 m域が沖縄本島東側海域から九州南東海域、四国沖海域にかけて出現し、四国沖海域に20 m域が見出されるし、東シナ海では、南東部海域の16 mから北西部における黄海の10 mに減少する。また日本海では12 m域が広範に分布し、14 m域も出現する。円型気圧分布を仮定した場合も同様の空間分布を与えるが、四国沖海域の20 m域や日本海中央部の14 m域は出現しない。

形状母数 k の空間分布をみると、沖縄本島周辺海域を中心とする広範な領域で $k=4$ をとり、そこから外側に向けて $k=2$ まで小さくなるが、韓国西側海域では、形状母数は1.4程度にまでさらに減少し、北部海域では形状

母数が5以上に急増する。また、日本海では西側海域から東側海域に向けて形状母数は1.4から3以上に増加する。

図-7は楕円型気圧分布を仮定した場合のシミュレーション台風資料および既往台風資料に基づく100年確率波高の平面分布を浅海波について示す。シミュレーション台風ケースでは100年確率波高は500年間の資料に基づいて得られるので、その空間変化は既往台風ケースよりかなり滑らかである。両者を比べると、シミュレーション結果では九州西岸における14 m域がより狭く、日本海の10 m域がより広い点や、確率的台風モデルの作成において台風資料が除外されている南東端の海域で波高が小さい点など細部において相違が見出される。しかし、沖縄南東海域から九州南東海域、四国沖海域にかけての16 m域、東シナ海で南東部海域の14 mから中国沿岸～韓国済州島付近の12 mを経て北西部の黄海における8～6 mに減少する挙動、日本海に広がる10 m域や一部海域に出現する12 m域など、両者の結果は全般的な空間分布について比較的良好に符合する。

4. 結 語

本研究で得られた知見はつぎのようである。

① 浅海域が広がる東シナ海では、水深の影響の有無により波高極値の推定値に有意な差を生じることから、波浪推算には浅海モデルの適用が望ましい。

② 楕円型および円型気圧分布を仮定した場合の100年確率波高の差は大部分の海域で無視しうるが、四国沖海域など一部の海域で有意な値をとる。

③ 長期の再現期間に対する確率波高の推定に際し、確率的台風モデルを利用した波高極値の推定法を適用することも必要であると考えられる。

参 考 文 献

- 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.
- 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測モデルについて, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 123-127.
- 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 Conf., Vol. 2, pp. 932-946.