

瀬戸内海西部海域における高潮・波高の極値の推定

山口正隆* ・畑田佳男**・野中浩一***
大福学****・小出健太郎*****

瀬戸内海西部海域においては、高潮および波高の極値に及ぼす台風の影響が圧倒的に大きいことから、本研究では、過去 51 年間の既往台風および 500 年間のシミュレーション台風を対象とした高潮・波浪推算とこれから得たそれぞれの台風時年最大値資料に対する極値統計解析に基づいて、再現期間 50~1000 年の確率高潮偏差および確率波高を推定した。そして、両資料に基づく確率高潮偏差や確率波高の空間分布は全般的によく符合することや、内海域の確率高潮偏差は中央部の海域から西方の周防灘奥部や北東方向の安芸灘奥部に向けて増大し、逆に確率波高は漸減すること、およびとくに 1000 年確率高潮偏差の最大値は 300 cm を優に越えることを示した。

1. 緒 言

瀬戸内海西部海域沿岸は台風 9119 号や台風 9918 号に伴う強風・高潮・高波により甚大な被害を受けたことから、両台風時の海象特性に関して数多くの研究事例が報告されている。しかし、当該海域における海象要素の極値に関する系統的な検討はほとんど行われていない。

瀬戸内海西部海域においては、海象要素の極値に及ぼす台風の影響が圧倒的に大きい。そこで本研究では、過去 51 年間の既往台風や 500 年間のシミュレーション台風を対象として、台風モデル法に基づく気圧・海上風を入力条件とする高潮推算や波浪推算を行い、これから得たそれぞれの台風時年最大値資料に対する極値統計解析に基づいて、当該海域における確率高潮偏差および確率波高とそれらの変動域を推定する。

2. 海上風推算の方法

2.1 台風モデル法

海上風の推定には、いわゆる台風モデル法（佐藤・合田, 1972）を適用する。台風モデル法では、Myers 式のような円型気圧分布式を用いるのが通例である。しかし、台風の北上による勢力の減衰に伴い、台風内気圧分布は円型分布から台風の進行方向に長軸をもつ楕円状分布に変化する傾向にあるので、ここでは Myers 式を一般化した楕円型気圧分布式を用いる。この場合、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、楕円長軸の全体座標系 X 軸に対する傾斜角 θ および台風半径比 b/a の計 6 つの変量により代表される。

計算にあたっては、既往気象資料あるいはモンテカルロシミュレーションより求めた、6 時間ごとの台風の中心位置など 6 つの台風属性資料を外洋では 1 時間（波浪推算）ごとに、瀬戸内海西部海域では 15 分（高潮推算）

または 20 分（波浪推算）ごとに線形補間して入力条件とする。高潮推算における海上風の計算では、観測資料を再現しうる高潮偏差を得るという目的から、藤井・光田 (1987) による supergradient wind の仮定を用いる。

2.2 既往台風資料

1948~1998 年の 51 年間に発生した勢力の強い 454 ケースの台風に対して、個別に 6 時間間隔で与えた台風の中心位置資料を調べ、瀬戸内海西部海域に影響を及ぼしたとみなされる 110 ケースの台風を計算対象とする。

2.3 シミュレーション台風資料

シミュレーションに使用する確率的台風モデルは、楕円型気圧分布の仮定に基づく台風属性資料を季節別に解析して作成した季節別モデル（野中ら, 2000）であり、格子間隔 80 km の北西太平洋領域で 500 年間の台風属性資料を作成する。推算対象台風数は 500 年間の発生台風約 3900 ケースのうち、890 ケースである。

3. 高潮・波浪推算および極値統計解析の方法

3.1 高潮推算の方法

高潮推算には、水深方向に積分した連続方程式および運動方程式を差分法で解く一層モデルを使用する。計算対象領域は、図-1 に示すように、格子間隔を 2.5 km とする瀬戸内海西部海域であり、黒丸印を記入した竹原~波止浜の間および佐伯~柏崎の間の格子点と下関に相当する外洋境界に沿った格子点で、気圧低下に伴う静力学的水位変化を計算するとともに、台風モデル法による気圧分布と海上風分布を与える。高潮推算の時間間隔は 45 秒であり、気圧および海上風はその入力時間間隔に相当する 15 分の間一定とする。

3.2 波浪推算の方法

波浪推算には、1 点浅海モデル（山口ら, 1987）および格子点浅海モデル（山口ら, 1984）を使用する。波浪推算は、まず 1 点浅海モデルにより格子間隔 5 km で 673×673 に分割した北西太平洋領域の豊後水道境界線上 6 地点で別々に行い、各地点における方向スペクトルを記憶させる。時間間隔は 1 時間である。つぎに、瀬戸

* 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
*** 学生会員 工修 愛媛大学大学院理工学研究科生産工学専攻
**** 愛媛大学技官 工学部環境建設工学科
***** 学生会員 愛媛大学大学院理工学研究科環境建設工学専攻

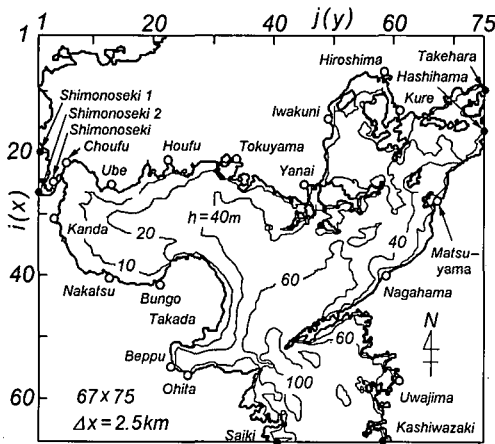


図-1 瀬戸内海西部海域における高潮推算領域

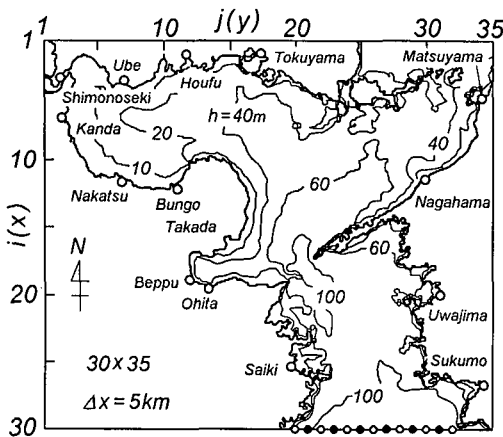


図-2 瀬戸内海西部海域における波浪推算領域

内海西部海域では、これを流入境界条件として、20分ごとに得た台風モデル風条件のもとに格子点浅海モデルによる波浪推算を時間間隔4分で行う。図-2は格子間隔5kmで30×35に分割した瀬戸内海西部海域を示す。図中下端の黒丸が10km間隔で設けた方向スペクトルの入力境界点を、白丸がこれらの線形補間より得た方向スペクトルを入力する境界点を表す。

3.3 極値統計解析の方法

各格子点ごとの台風別最大高潮偏差・波高資料からそれぞれ得た台風時年最大値資料に対する極値統計解析では、形状母数 $k=0.5\sim 10.0$ の27種類をとるWeibull分布およびGumbel分布の計28種類を候補分布として、母数推定を線形最小2乗法、最適分布の選択を最大相関係数基準、再現確率統計量の分散(標準偏差)の推定をjackknife法によるYamaguchi・Hatada (1997)のモデルを用いる。

4. 高潮の極値

4.1 既往台風資料に基づく確率高潮偏差

図-3は50年・100年確率高潮偏差とそれらの標準偏差の平面分布を示す。推算結果のうち、豊後水道における高潮偏差は静力学的水位変化のみを考慮した開境界条件の影響を強く受けているので、以下の検討から除外する。さて、50年確率高潮偏差 ξ_{50} は豊予海峡付近の75cmから佐田岬と国東半島の間の海域で100cmに増加する。また、周防灘では西に向けて、伊予灘から安芸灘にかけては北東方向に増大し、周防灘西部、とくに宇部西部の山口県沿岸や、安芸灘奥部の広島湾において200cm以上に達する。水深が小さいこれらの海域では、E～S方向の強風による吹寄せの効果を強く受けるので、高潮偏差、したがって確率高潮偏差が他の海域より大きい。50年確率高潮偏差の標準偏差 $\sigma_{\xi_{50}}$ は4～20cm、変動係数は6～10%である。

100年確率高潮偏差 ξ_{100} と標準偏差 $\sigma_{\xi_{100}}$ は内海において再現期間50年に対する値よりそれぞれ5～25cmおよび1～9cm、比率にして7.5～10%および10～13%大きい。平面分布のパターンは再現期間50年の場合と類似する。松山における100年確率高潮偏差と標準偏差は観測資料(山口ら, 1997)では 166 ± 28 cm、推算資料では 185 ± 17 cmであるから、後者の確率値が若干大きいものの、変動域を含めれば両者は比較的良好に符合すると云える。

4.2 シミュレーション台風資料に基づく確率高潮偏差

図-4は500年間のシミュレーション台風資料より得た50年・100年・1000年確率高潮偏差および1000年・100年確率高潮偏差比の平面分布を示す。標準偏差は再現期間1000年に対しても最大で15cmと小さいので、図を提示していない。50年確率高潮偏差 ξ_{50} は内海中央部の125cmから周防灘では西に向けて、伊予灘・安芸灘では北東方向に増大し、周防灘西部、および伊予灘に隣接する安芸灘奥部の広島湾では200cmを超える。また、平面分布のパターンは既往台風資料に基づく結果とよく符合するけれども、絶対値は内海域で既往台風資料に基づく値より10～15cm、比率では7.5～15%大きい。100年確率高潮偏差 ξ_{100} も絶対値で10～20cm、比率で7.5～20%大きい以外、同様の特徴を示す。

再現期間が100年から1000年に拡大した場合、確率高潮偏差は周防灘西部や広島湾で60～80cm、比率にして25～35%、伊予灘で50～70cmおよび30～40%、佐田岬と国東半島の間の海域で25～40cmおよび25～30%増大しており、浅い海域における増加量が多い。すなわち、再現期間1000年でみれば、確率高潮偏差は内海域全

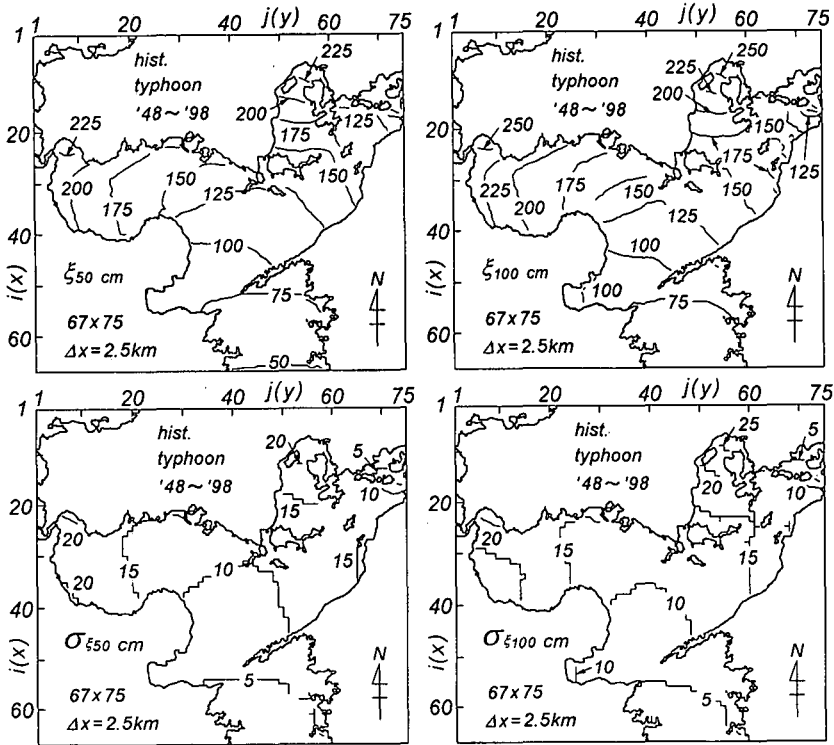


図-3 既往台風資料に基づく50年・100年確率高潮偏差とそれぞれの標準偏差

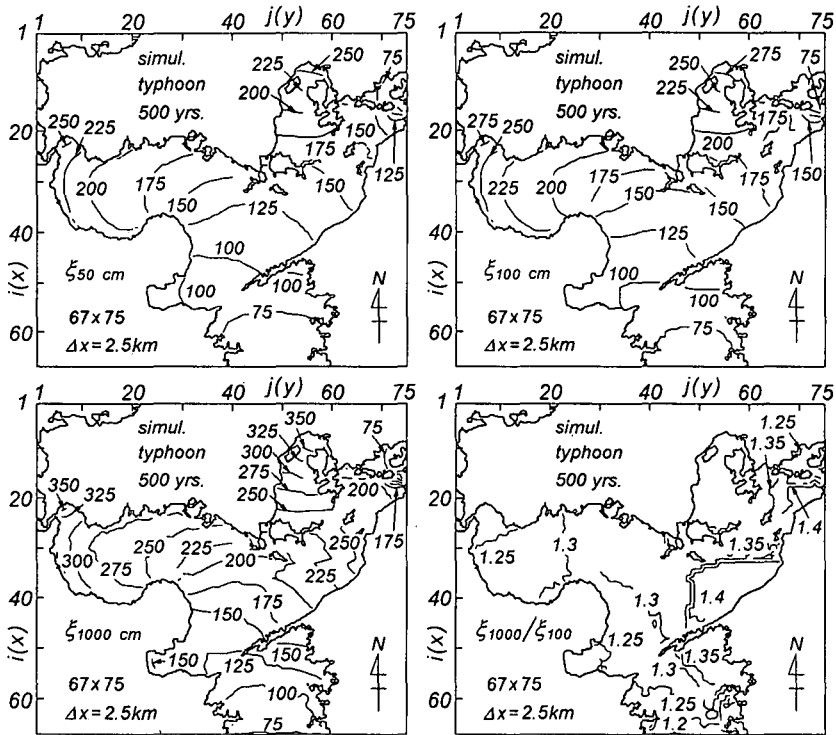


図-4 シミュレーション台風資料に基づく50年・100年・1000年確率高潮偏差と1000年・100年確率高潮偏差比

域で150~200 cmを超え、周防灘西部および広島湾では300 cm以上、それぞれの奥部では350 cmをとる。また、伊予灘東部の松山周辺小海域でも250 cmを上まわる。計算における地形解像度が高くないことから、これらの結果は、とくに広島湾において過大評価されている可能性がある。

5. 波高の極値

5.1 既往台風資料に基づく確率波高

図-5は50年・100年確率波高とそれぞれの標準偏差の平面分布を示す。50年確率波高 H_{50} は、豊後水道では境界付近の12 mから豊予海峡付近の8 mに減少し、さらに豊予海峡から中国地方沿岸の山口県徳山付近に至る細長い小海域で6 m域を形成する。他の内海域では、外洋からの波浪が佐賀関半島、国東半島、佐田岬半島などによって遮蔽されるとともに、内海風による風波の影響が強くなることから、50年確率波高は5 m以下である。個々の内海域をみると、50年確率波高は周防灘で2.5~5 m、伊予灘で3.5~4.5 mをとり、NあるいはNE方向にあたる山口県沿岸や防予諸島に向けて増大する。別府湾でも、50年確率波高は3~4 mとなっている。50年確率波高の標準偏差 σ_{H50} は、豊後水道で0.6~0.8 m、豊予海峡から徳山付近に至る海域で0.3~0.4 m、周防灘、伊予灘、別府湾で0.2 mを与え、変動係数は4~6%である。

100年確率波高 H_{100} は50年確率波高 H_{50} と比べて、外洋の波浪が直接入射する豊後水道で最大0.9 m、内海域で最大0.5 m、波高比にして4~7%増加するが、平面分布の形状は相互に類似する。また、伊予灘における100年確率波高 H_{100} は5 mを越えない。100年確率波高の標準偏差 σ_{H100} も再現期間50年の場合と比べて豊後水道で最大8 cm、内海で1~4 cm、比率では5~10%増加する。

5.2 シミュレーション台風資料に基づく確率波高

図-6は50年・100年・1000年確率波高および1000年・100年確率波高比の平面分布を表す。確率波高の標準偏差は再現期間1000年に対して豊後水道で最大0.4 m、豊予海峡以北の内海域で最大0.2 mと、既往台風資料に基づく結果よりかなり小さい。シミュレーション台風資料および既往台風資料より得た50年確率波高 H_{50} を比べると、シミュレーション台風資料による結果が0.5 m大きい周防灘南側の大分県沿岸や、別府湾内を除いて、大部分の海域で両者の差は0.2 mより小さく、比率では5%以下である。したがって、平面分布は相互によく符合する。こうした特徴は100年確率波高 H_{100} の場合にも同様にみられる。

1000年確率波高 H_{1000} は豊後水道では南側の14 mから豊予海峡の10 mに減少し、豊予海峡から山口県徳山付近に向けてそのまま8 m域を形成している。また、周防灘では3.5~6 mを、伊予灘では4~5.5 mを、別府湾

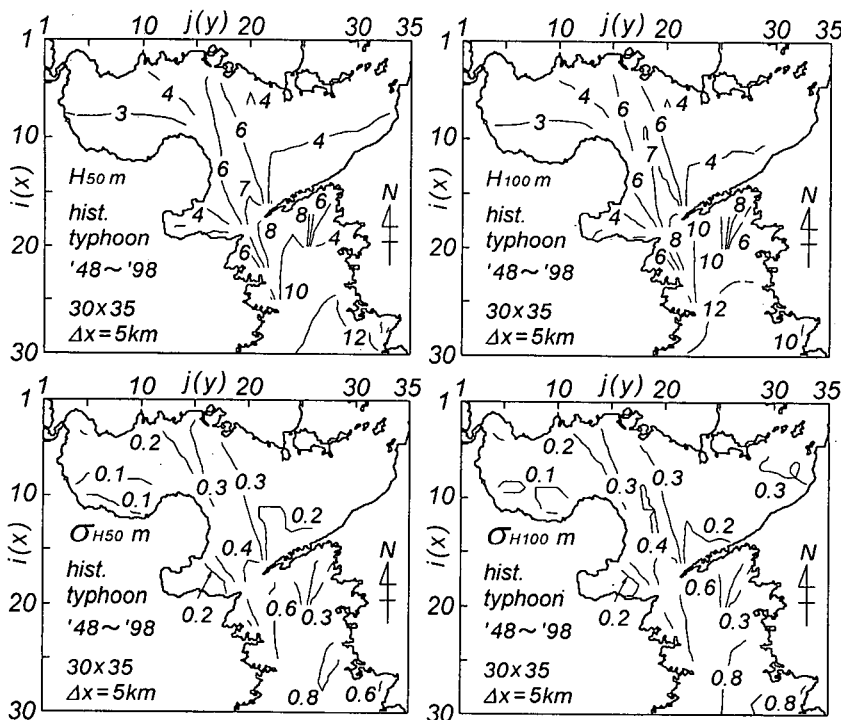


図-5 既往台風資料に基づく50年・100年確率波高とそれぞれの標準偏差

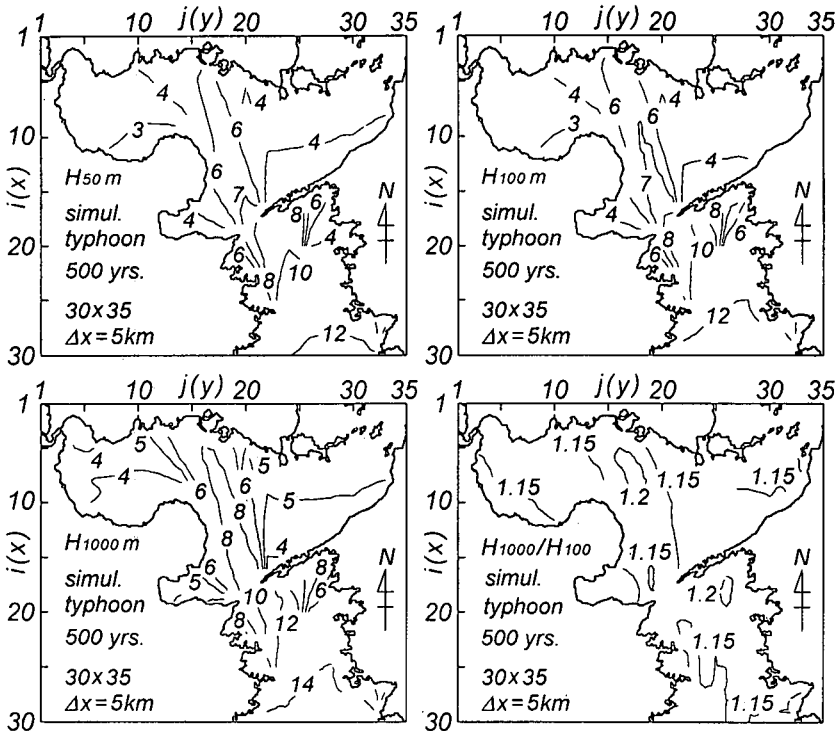


図-6 シミュレーション台風資料に基づく50年・100年・1000年確率波高と1000年・100年確率波高比

では4～6mをとる。再現期間が100年から1000年へと10倍に拡大する場合、確率波高は豊後水道で2m弱、また豊予海峡から山口県徳山付近に至る海域で1.2m程度増加する。一方、周防灘や伊予灘、別府湾における確率波高の増加量は0.5～0.75mにとどまる。増加比率は15～20%である。

6. 結 語

本研究では、瀬戸内海西部海域において、シミュレーション台風資料に基づく確率高潮偏差や確率波高の空間変化は既往台風資料に基づくそれぞれの結果と全般的によく符合することや、内海部の確率高潮偏差は豊予海峡～山口県徳山付近に至る中央部から西側の周防灘湾奥部や北東側の安芸灘奥部に向けて増大する一方、確率波高は逆の変化傾向をとることを示した。しかし、高潮・波浪推算における地形解像度が不足していることや、海上風は周辺地形の影響を含まない台風モデル法に依っていることから、今回の推定値は概略値とみるのが妥当であ

ると考えられる。

参 考 文 献

- 佐藤昭二・合田良實 (1972): 海岸・港湾, わかりやすい土木講座 17, 彰国社, pp. 104-106.
- 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 (1), pp. 271-275.
- 藤井 健・光田 寧 (1987): 台風の確率モデルによる強風のシミュレーション, 日本風工学会誌, 第28号, pp. 1-12.
- 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・畑田佳男・宇都宮好博 (1987): 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.
- 山口正隆・畑田佳男・大福 学 (1997): わが国沿岸における気象・海象要素の極値の推定, 自然災害科学 J. JSNDS, 15-4, pp. 303-314.
- 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. WAVES97, Vol. 2, pp. 932-946.