

播磨灘および燧灘における台風6118号時波高の特異性の検討

野中浩一*・山口正隆**・畑田佳男***・大福 学****

播磨灘および燧灘における過去57年間の既往台風に対する波浪推算から得た台風時年最大波高資料を種々の観点から再解析するとともに、新たに1,000年間のシミュレーション台風時年最大波高資料を解析することにより、当該海域における確率波高の特徴や台風6118号時最大波高の特異性を検討した。この結果、台風6118号時最大波高は播磨灘四国側海域で再現期間数百年以上の確率波高に相当し、しかもその値が突出することから、確率波高推定値の信頼性がかなり低いことや、燧灘の四国側海域では近年まれな高波をもたらした台風0310号に伴う最大波高が台風時年最大波高資料に加わることに、確率波高推定値の信頼性が向上することを明らかにした。

1. 緒 言

瀬戸内海のような狭い海域においても沿岸災害をもたらす外力として波浪は無視しえず、しかもここでは台風時波浪が卓越するという観点から、山口ら (2004) は 1948~2002 年の 55 年間の既往台風資料を入力条件とした、瀬戸内海東部の播磨灘と中央部の燧灘における波浪推算資料の極値統計解析に基づいて、台風時確率波高を推定した。この結果によると、それぞれの灘中央部から香川県の沿岸あるいは愛媛県の沿岸では台風6118号 (第2室戸台風) 時の最大波高が卓越した第1位波高をとるために、最適分布の適合度が不足し、確率波高推定値の信頼区間もかなり広いものになった。

本研究では、両灘において別々に、1948~2004年の57年間の既往台風時年最大波高資料を種々の観点 (異常値検定, 第1位値削除解析, 経路別解析, 相関係数最大化解析) から再解析するとともに、新たに確率的台風モデルを用いて作成した1,000年間のシミュレーション台風時年最大波高資料を解析することによって、確率波高の特徴や台風6118号時最大波高の特異性を検討する。

2. 確率波高の推定方法

(1) 海上風推算の方法

海上風の計算には、台風内気圧分布を楕円型分布で近似して求められる中心対称傾度風と、台風の進行に伴う場の風をベクトル合成する拡張型台風モデル法 (野中ら, 2000) を用いる。既往台風の場合には天気図等から、シミュレーション台風の場合には拡張型季節別確率的台風モデル (野中ら, 2000) により得た、6時間間隔の台風属性資料 (台風中心位置, 中心気圧, 台風半径, 楕円長・短軸方向台風半径比および楕円長軸傾斜角) の15分

間隔線形補間値を入力条件として、海上風を求める。海上風への変換にあたっては、緯度によって決まる吹込み角を考慮するとともに、傾度風に supergradient 風への変換係数 (山口ら, 2004) を、場の風の風速に0.6を乗じる。

(2) 波浪推算の方法

播磨灘および燧灘に対する計算領域は、格子間隔 $\Delta x = 2 \text{ km}$ でそれぞれ南北方向49, 東西方向74および南北方向37, 東西方向43に分割した領域である。播磨灘は鳴門海峡と明石海峡から流入する波浪を評価するため、大阪湾・紀伊水道の一部を含むように拡張している。

波浪推算には、碎波変形を段波モデル (Battjes・Janssen, 1978; 山口ら, 1990) で近似した第2世代の格子点浅海波浪推算モデル (山口ら, 1984) を適用する。計算時間間隔は3分, 海上風の入力時間間隔は15分である。推算対象台風は、播磨灘あるいは燧灘に有意な波高を生起したと考えられる、1948~2004年の57年間302ケース, および確率的台風モデルによる1,000年間856ケースである。

(3) 極値統計解析の方法

極値統計解析には、格子点別に求めた台風時年最大波高資料に、母数推定を線形最小2乗法によるモデル (Yamaguchi・Hatada, 1997) を適用する。本モデルは、候補分布を Gumbel 分布, 形状母数 $k = 0.5 \sim 10$ の 27 種類の Weibull 分布および形状母数 $k = 2.5 \sim 40$ の 20 種類の FT-II 型分布の合計 48 種類とし、各資料への非超過確率の割当てを合田 (1990) のプロットング公式, 最適分布の選択を最大相関係数基準, 標準偏差の推定を jackknife 法, 異常値の棄却検定を Weibull 分布では $k = 0.5, 2.5, 3.0$, FT-II 型分布では $k = 15, 20$ を加えることにより形状母数の範囲を拡大した合田 (1990) の方法による。解析では、1) 下限 censoring 値 0.5 m (シミュレーション台風時資料では 2 m) を標準固定条件として、2) 第1位波高を削除する方法、3) 台風経路別に解析したのち、両者の合成確率値を得る層別化手法 (合

* 正会員 博(工) 愛媛大学契約職員工学部環境建設工学科
** 正会員 工博 愛媛大学教授工学部環境建設工学科
*** 正会員 博(工) 愛媛大学講師工学部環境建設工学科
**** 愛媛大学技術専門職員工学部環境建設工学科

田, 1990; 泉宮, 2000), 4) 格子点別に下限 censoring 値を0~2 m まで0.25 m ごとに変えて相関係数が最大になる censoring 条件に対する結果を採用する方法(相関係数最大化解析), を検討する。

3. 播磨灘および燧灘における台風6118号時最大波高

台風6118号は1961年9月6日マーシャル諸島東部で発生し, 沖の鳥島南方, 奄美大島を経て16日に室戸岬に上陸後, 四国東部から淡路島近くを NNE~NE 方向に進行して, 日本海に達した。播磨灘および燧灘の波浪に影響を及ぼした時点(9月15日21時~16日15時)の台風の移動速度は40~60 km/h, 中心気圧は920~940 hPa, 台風半径は約100 km である。

図-1 は播磨灘および燧灘における台風6118号時最大波高の空間分布を示す。当該海域の東側を NNE~NE 方向に通過した台風6118号の経路を反映して, 最大波高は両海域において北側から南側に向けて増大しており, 播磨灘では4.5~4.8 m 域が, 燧灘では3~3.5 m 域が四国沿岸から沖合海域(四国側海域)に見出される。台風6118号時最大波高は両灘の四国側海域でそれぞれ過去57年間の第1位波高をとり, しかも播磨灘では第2位波高より2 m, 燧灘では0.6 m 上まわり, とくに前者で突出した値を示す。

ついで, 各灘における台風6118号時最大波高の生起可

能性をみるために, 複数の風速・風向条件のもとに一樣風を吹送させた場合の波浪推算を行った。図-2 は風向 NNE, 風速35 m/s のもとでの播磨灘における最大波高分布を示す。これによると, 3時間程度の一様風の吹送により, 4.75 m 波高域が四国側海域に広く形成されており, 播磨灘における図-1 と類似することから, 図-2 における最大波高の状況は現実的であると言える。したがって, 台風6118号時の四国側海域における最大波高は NNE 方向の強風の吹送によると考えられる。実際, 台風6118号時に大阪では風速33.3 m/s を観測していることから, 播磨灘における海上風35 m/s は十分に生じ得た値と推測される。一方, 燧灘では, 風向 NNE, 風速25 m/s の一様風により, 台風6118号時最大波高より若干大きい波浪場が形成される。

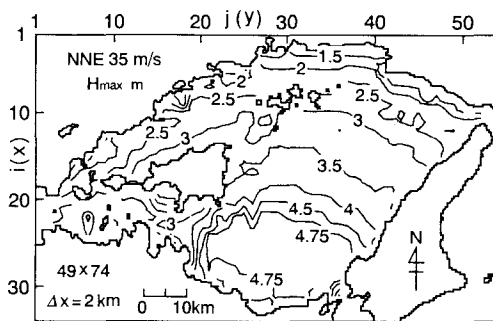


図-2 播磨灘における一様風時最大波高

4. 播磨灘および燧灘における台風時確率波高

(1) 確率波高と異常値棄却検定

図-3 は下限 censoring 値を0.5 m とした場合の50年確率波高 H_{50} とその標準偏差 $H_{\sigma 50}$ を播磨灘と燧灘について示す。確率波高は四国側海域においてそれぞれ3.5 m および3 m, 中国側海域において, 4 m および3.5~4 m をとる。一方, 標準偏差は四国側海域について0.3~0.5 m および0.15~0.2 m, 中国側海域で両灘とも約0.2 m である。播磨灘の四国側海域で, このように標準偏差がかなり大きいのは台風6118号時最大波高が過去57年間の第2位波高を2 m 上まわる第1位波高をとるためであり, 確率波高推定値の信頼性が低くなっている。同様の傾向は燧灘の四国側海域でも見出されるが, 台風6118号につぐ異常波高を生起した台風0310号など2003~2004年の台風に伴う最大波高を解析に含めることによって, その程度は緩和されている。

播磨灘の四国側海域における50年確率波高の変動係数は6~15%, 台風6118号時最大波高の再現期間は250~1,000年, 燧灘の四国側海域における50年確率波高の変動係数は4~6%, 台風6118号時最大波高の再現期

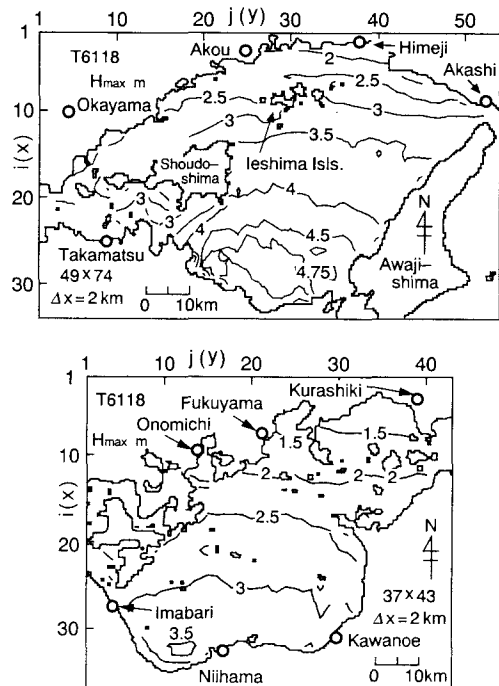


図-1 播磨灘と燧灘における台風6118号時最大波高

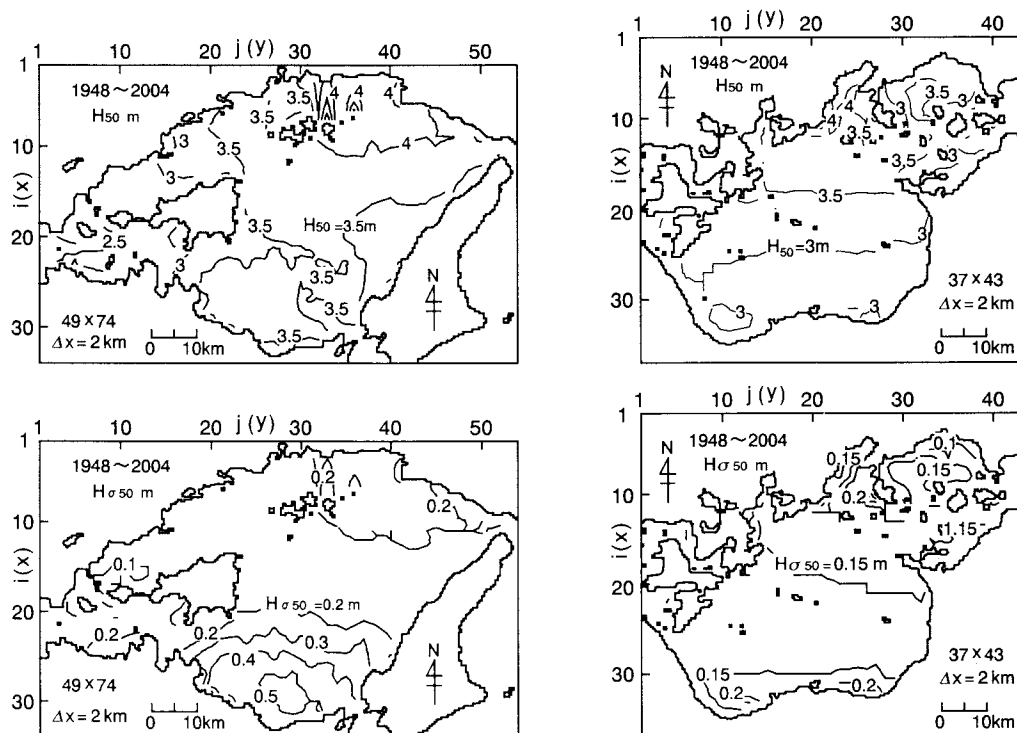


図-3 播磨灘および燧灘における50年確率波高と標準偏差

間は200~500年と評価されることから、燧灘よりも播磨灘において確率波高推定値の信頼性が不足していることや、台風6118号が播磨灘の四国側海域にきわめて異常な高波を生起していることがわかる。

図-4は候補分布に対する棄却検定結果を播磨灘の各格子点について示す。図中の○印はDOL基準およびREC基準により棄却されない地点、●印はいずれかの基準により棄却される地点を表す。候補分布は小豆島の北側海域や岡山県沿岸から兵庫県の一部の沿岸、さらに淡路島西南部の沿岸域で棄却されるが、台風6118号時最大波高が突出した第1位波高をとる四国側海域では必ずしも棄却されない。しかし、50年確率波高の標準偏差0.4 m以上、変動係数10%以上をとるこれらの海域では、極値統計解析における相関係数は0.98以下となって最適分布の適合度は高くない。燧灘では候補分布は広島県や岡山県の沿岸部および愛媛県の今治沖などを除く大部分の海域で棄却されないし、台風6118号時波高の影響が強い四国側海域でも相関係数は0.994前後をとり、適合度はかなり高い。

(2) 第1位値削除解析に基づく確率波高

播磨灘の四国側海域でとくに突出した値をとる第1位波高は、ここでの確率波高推定値の信頼区間を増加させることから、各格子点における台風時最大波高資料の標本において第1位値のプロットングポジションを保

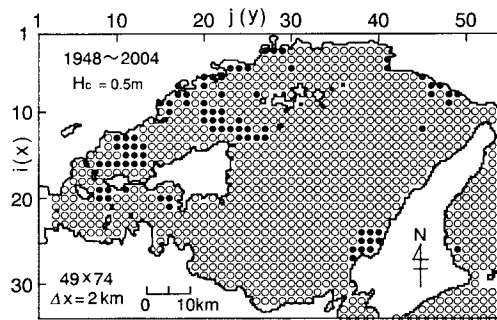


図-4 播磨灘における異常値の棄却検定結果

持したまま、第1位値を削除した場合の解析を行う。図-5は播磨灘における50年確率波高 H_{50} とその標準偏差 $H_{\sigma 50}$ を示す。灘中央部より北側の海域では、50年確率波高と標準偏差はともに標準条件で得た図-3の結果とあまり変わらない。一方、灘中央部より南側の四国側海域では、50年確率波高および標準偏差はそれぞれ最大0.8 mおよび0.4 m程度減少する。燧灘でも同様の傾向がみられるが、四国側海域において第1位波高が播磨灘ほど突出した値をとらないことから、確率波高も若干小さくなる程度である。また、第1位値削除解析では候補分布の適合度が向上するが、候補分布が棄却される海域が拡大する。

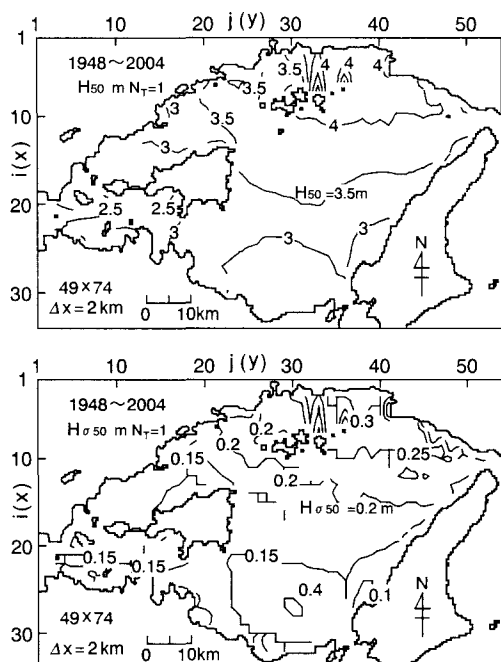


図-5 播磨灘における50年確率波高と標準偏差
(第1位値削除解析)

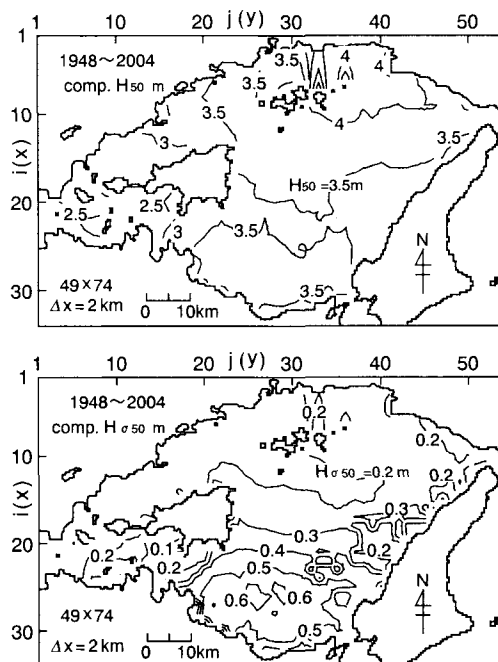


図-6 播磨灘における合成50年確率波高と合成標準偏差

(3) 台風経路別解析に基づく確率波高

台風時年最大波高資料の等質化を行って確率波高推定値の精度の向上をはかるために、台風経路を淡路島南北方向軸（播磨灘）あるいは瀬戸大橋軸（燧灘）より東側と西側に分けて別々に得た台風時年最大波高資料に対して極値統計解析を行い、最適分布と確率波高および標準偏差を得たのち、合成確率波高（合田，1990）と合成標準偏差（泉宮，2000）を求める層別化手法を適用する。各海域における西側・東側経路台風ケース数はそれぞれ約140および160である。

図-6は経路別解析から得た播磨灘における合成50年確率波高 H_{50} と合成50年標準偏差 $H_{\sigma 50}$ を示す。標準条件とした図-3と比べると、50年確率波高は全体としてあまり変わらず、四国側海域でやや若干増加する程度であるが、標準偏差は播磨灘中央部より四国側海域にかけて0.15 m 以上の上昇を示すことから、層別化手法の有効性が認められない。すなわち、台風6118号時最大波高が経路別分類を行わない場合に比べて東側経路台風時年最大波高資料の中で一段と突出した第1位値をとるために、確率波高の標準偏差がさらに大きくなり、この特性が合成標準偏差に反映されたと考えられる。燧灘でも、合成確率波高のみならず合成標準偏差が四国側海域でわずかに大きくなるので、層別化解析法の目的は必ずしも達成されない。

(4) 相関係数最大化解析に基づく確率波高

図-7は最適分布の相関係数が最大となる下限 censoring 値のもとでの播磨灘における50年確率波高 H_{50} とその標準偏差 $H_{\sigma 50}$ を示す。確率波高は標準条件のもとでの図-3とほぼ同じ空間分布を与え、最大でも四国沿岸で0.5 m 小さいにすぎない。しかし、標準偏差は本研究で注目する四国側海域で最大0.25 m 大きくなる。したがって、相関係数が標準条件の場合に比べて大きくなるのは当然としても、この方法の有用性は認められない。また、台風6118号時最大波高の播磨灘四国側海域における再現期間は200～500年と評価される。燧灘においても、播磨灘の場合と同様の特徴が認められるが、その程度は弱い。

(5) 既往台風時確率波高に対する考察のまとめ

以上の考察によると、(2)の結果では適合度は向上するが、確率波高と標準偏差がともに小さくなり、(3)の結果では確率波高はあまり変化しないが、標準偏差がかえって増大し、(4)の結果では、第1位値資料を含めて適合度が向上し、また候補分布が棄却されない海域が若干拡大するが、確率波高は少し減少し、標準偏差はやや増加する、ということになる。

(6) シミュレーション台風時確率波高

異常波高の生起可能性をみるために、確率的台風モデルにより作成した1,000年間のシミュレーション台風に対する波浪推算から得た台風時年最大波高資料を用いて、極値統計解析を行った。図-8は播磨灘および燧灘にお

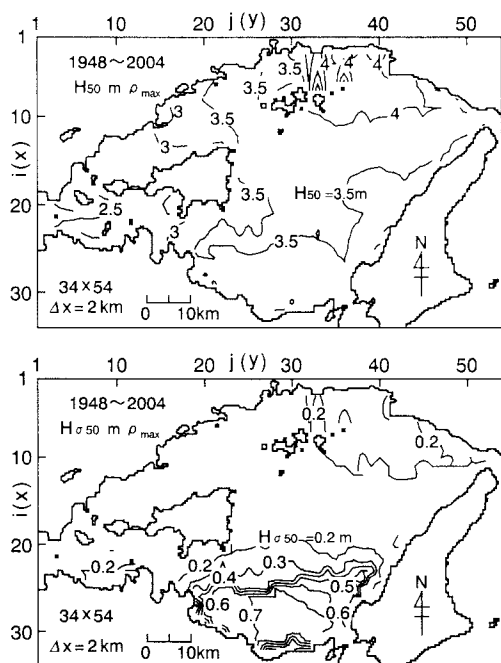


図-7 播磨灘における50年確率波高と標準偏差
(相関係数最大化解析)

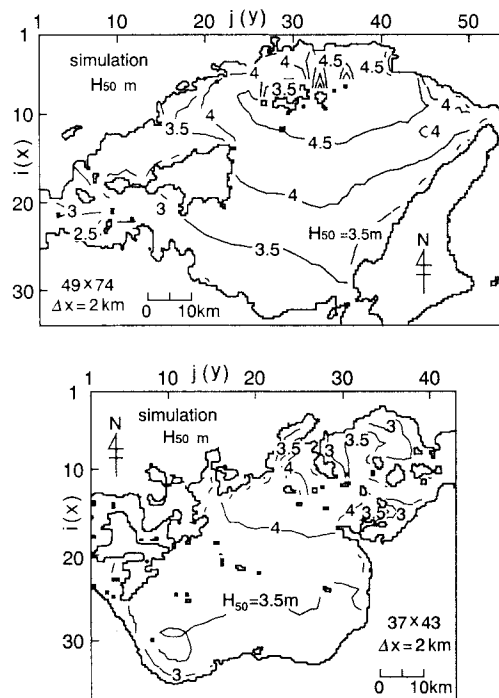


図-8 播磨灘および燧灘における50年確率波高
(シミュレーション台風時資料)

ける50年確率波高の空間分布を示す。標準偏差は0.1 m以下であるので、図を掲載していない。確率波高は、四国側海域では播磨灘、燧灘とも3～3.5 m、中国側海域では播磨灘で4～4.5 m、燧灘で3～3.5 mの値をとる。既往台風資料による結果を与えた図-3と比べて播磨灘の家島周辺海域で最大0.8 m、燧灘の新居浜沖海域で最大0.6 mの差があるけれども、分布状況はほぼ符合する。1,000年確率波高は播磨灘でおおむね4.5～6.5 m、燧灘で3.5～5.5 mの範囲にある。また、シミュレーション台風時資料に対して得た最適分布を母分布とすれば、台風6118号時最大波高の再現期間は播磨灘の四国側海域で500～3,000年と評価されることから、台風6118号時がいかに巨大波高をもたらしたかが理解される。

5. 結 語

台風6118号は播磨灘および燧灘のうち、とりわけ播磨灘の四国側海域に再現期間数百年以上の異常波高を生起し、これが四国側海域で既往台風時最大波高資料のうちの突出した第1位値をとることから、確率波高推定値の精度の低下をもたらしていることを既往台風時最大波高資料の再解析やシミュレーション台風時最大波高資料に対する新たな解析から明示した。また、シミュレーション台風時最大波高資料に対する解析結果によっても、台風6118号は播磨灘の四国側海域で1,000年確率

波高を上まわる異常波高をもたらしたと推定される。

参 考 文 献

- 台田良實(1990): 港湾構造物の耐波設計-波浪工学への序説-, 鹿島出版会, 333p.
- 野中浩一・山口正隆・畑田佳男・伊藤吉孝(2000): 拡張型確率の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.
- 泉官尊司(2000): 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.
- 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・西岡賢二・田中浩二(1990): 構造物が存在する場合の不規則波に伴う海浜流の数値モデル, 海岸工学論文集, 第37巻, pp. 205-209.
- 山口正隆・野中浩一・畑田佳男・大福 学・増田真滋(2004): 燧灘および播磨灘における台風時波高の極値の推定, 海岸工学論文集, 第51巻(1), pp. 171-175.
- Battjes, J.A. and J. P. F. M. Janssen(1978): Energy loss and setup due to breaking of random waves, Proc. 16th ICCE, Vol. 1, pp. 569-589.
- 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.