

観測風を入力条件とした瀬戸内海における 2004 年台風時波浪の推定

畑田佳男¹・山口正隆²・大福 学³・野中浩一⁴

2004 年に瀬戸内海の近傍を通過し、沿岸部に甚大な被害をもたらした 6 台風を対象として、沿岸部や海上部の多くの地点で取得された観測風資料を空間補間することにより、地形の影響を含む海上風の平面分布を高精度で推定したのち、これを入力条件とする各台風時の浅海波浪推算を行い、複数地点の観測資料と比較した。波浪推算資料が沿岸部の多くの地点における観測資料とよく符合するという結果は、内海における波浪推算では地形の影響を受けた海上風を適正に評価することが最も重要であるという本研究の観点を支持する。したがって、観測風の空間補間による海上風分布の推定法は、波浪推算の精度を向上させるために有力な方法と言える。

1. 緒 言

2004 年に瀬戸内海に接近あるいは瀬戸内海を通過し、甚大な沿岸災害をもたらした複数の台風を対象として、高潮や波浪の再現計算がいくつか試みられている。しかし、これらの計算では、局地気象モデルを適用した一部の事例（橋本ら, 2005）を除いて、台風モデル法を主体として推定した海上風分布を用いているため、風が複雑な地形の影響を受ける瀬戸内海では高潮・波浪の推算精度は不足しがちである。一方、山口ら（2005）は台風 9119 号および 9918 号を対象として、観測風資料に対する空間補間により推定した瀬戸内海西部海域における海上風を入力条件とする浅海波浪推算（山口ら, 1984）を行い、複数地点の波浪観測資料とのよい対応を得ており、この結果に基づいて、波浪推算では海上風分布の適正な推定が最も重要な要素であることを示唆している。

そこで本研究では、2004 年に瀬戸内海の近傍を通過し、甚大な被害をもたらした 6 台風を対象として、沿岸部や海上部の多くの地点で取得された観測風資料を空間補間することにより、地形の影響を含む海上風の平面分布を瀬戸内海全域で推定したのち、これを入力条件とする各台風時の浅海波浪推算を行い、複数地点の観測資料との比較に基づいて、その精度を明らかにする。

2. 海上風の推定方法

（1）外洋における海上風推定

推算対象台風は図-1 に経路を示す 2004 年の 6, 10, 16, 18, 21, 23 号の 6 台風であり、経路からみて、① 6, 21, 23 号、② 16, 18 号、③ 10 号に分類される。

波浪推算は、外洋に当たる北西太平洋海域で発生・発達した波浪を瀬戸内海の太平洋側境界に入力条件として

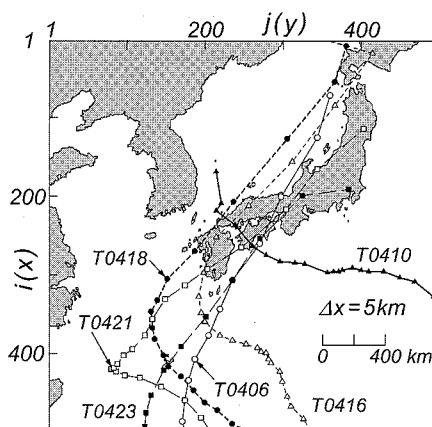


図-1 2004年の6台風の経路

与えて行うことから、海上風も北西太平洋と瀬戸内海の両海域で準備する。北西太平洋海域では、ECMWF (European Centre for Medium-range Weather Forecasts) から提供を受けた表面風解析資料 (ECMWF 風資料) に楕円型気圧分布を仮定する場合の台風モデル風 (山口ら, 2002) を組込んで作成した海上風資料を用いる。ECMWF 風資料は格子間隔 0.5° で 6 時間ごとに得られているので、これを 80 km 間隔の格子網上に 4 点双 1 次補間するとともに、時間についての線形補間によって 1 時間間隔の資料とする。ECMWF 風資料と台風モデル風資料の合成は山口ら (2002) の方法による。1 時間ごとの台風モデル風は、6 時間間隔の台風属性値に対する 1 時間間隔の線形補間値を用いて算出する。

（2）内海における海上風推定

瀬戸内海では、沿岸部および海上部に位置する 55~57 地点の風観測資料と瀬戸内海の各灘の中央部に設けた 17 仮想地点における補間風資料を入力値とする加重 1 次補間法 (塩野ら, 1986) の適用により、格子間隔 2 km の格子網上で海上風分布を 1 時間ごとに推定する。風観測地点は高度 7.7 m~216 m の間にあり、苅田、

1 正会員 博(工) 愛媛大学大学院理工学研究科講師
2 正会員 工博 愛媛大学大学院理工学研究科教授
3 愛媛大学技術専門職員
4 正会員 博(工) 愛媛大学契約職員

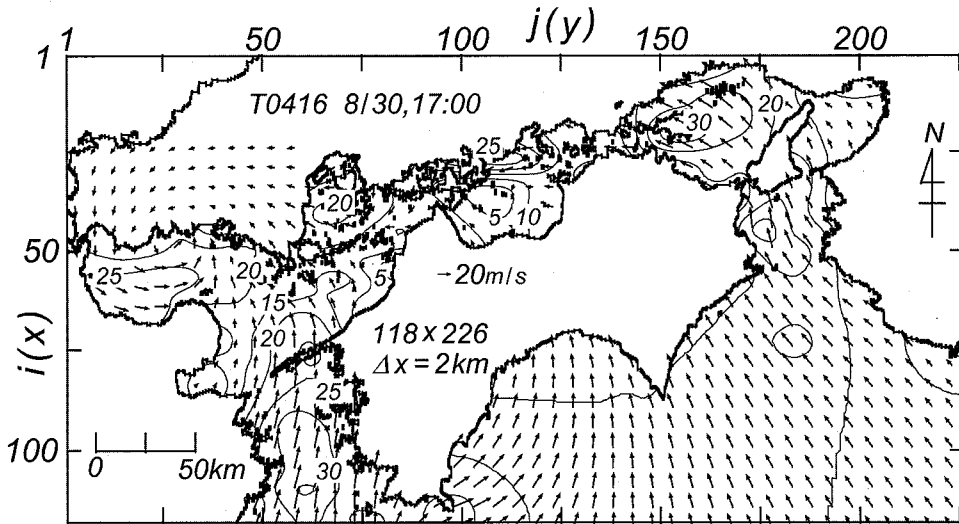


図-2 海上風分布の推定結果の一例 (台風0416号)

神戸、大阪、MT局、小松島、由良瀬戸、白浜の7地点を除き、陸上部に位置する。しかし、海峡に架かる橋上や海上の孤島上の灯台、海に突き出た岬の先端や海岸部に位置し、したがってほぼ海上風観測地点とみなしうる地点が大部分を占める。海上風は、観測風速を1/7乗則によって10m高度風速に変換したのち、地形の状況に応じた係数(1~1.35)を乗じて求める。風向に対する補正は行わない。また、仮想地点における風速は観測風資料に対する加重1次補間によって得た値に累年平均風速を考慮して経験的に決定した係数を乗じて最終の補間値とする。これは海上部で強風が吹送する特徴を再現するためである。

図-2は瀬戸内海全域の海上風の推定結果の1例を台風0416号時に示す。台風の中心が周防灘の山口県沿岸に位置するこの時点では、防府付近に中心位置をもつ反時計回りで東西方向にやや伸びた渦状の風分布がみられる。また、風の場合は豊後水道、周防灘や播磨灘、紀伊水道などの海域でそれぞれ地形の影響による局所的な強弱を伴いながら、全体として反時計回りの変化を与える。

3. 波浪推算の方法

波浪推算は外洋と瀬戸内海の2段階で別々に行う。まず、瀬戸内海に入射する外洋波浪を評価するために、格子間隔5kmの北西太平洋領域に格子間隔0.5kmの瀬戸内海領域を組込んだ2段階高地形解像度格子網(図-3)において、1点浅海モデル(山口ら, 1987)により豊後水道境界地点あるいは紀伊水道境界地点の方向スペクトルを1時間間隔で地点別に求める。図-3には、波浪推算資料と観測資料の比較例を与える潮岬(水深55m)、室津(27m)、細島(48m)の位置も示してい

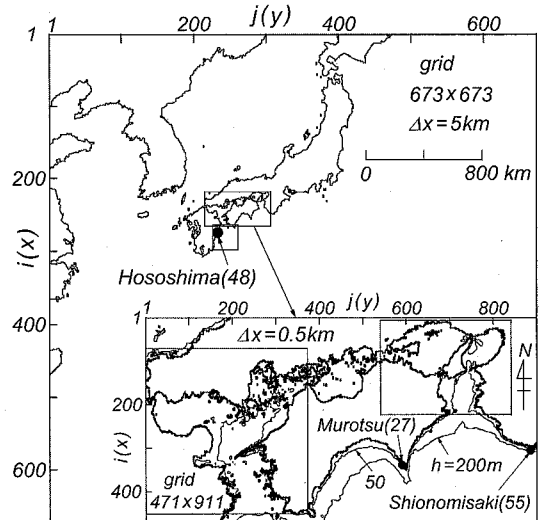


図-3 北西太平洋における波浪推算用格子網

る。細島における波浪推算では、格子間隔1kmの日向灘領域を別途組込んだ2段階格子網を使用する。計算に用いる周波数データは0.047~1Hzを不等分割した20個、方向データは0~360°を20°で等分割した19個である。計算期間は、遠方から到達するうねり性波浪を評価するために、瀬戸内海における計算開始時点より少なくとも1週間前から、瀬戸内海における計算終了時点までとする。

ついで、瀬戸内海における波浪推算は、観測資料が取得されている①西部海域(安芸灘・周防灘・伊予灘・豊後水道)、②東部海域(播磨灘・大阪湾・紀伊水道)で別々に行う。観測資料が得られない中部海域(燧灘・水島灘)は推算対象としない。図-4は格子間隔1kmの西

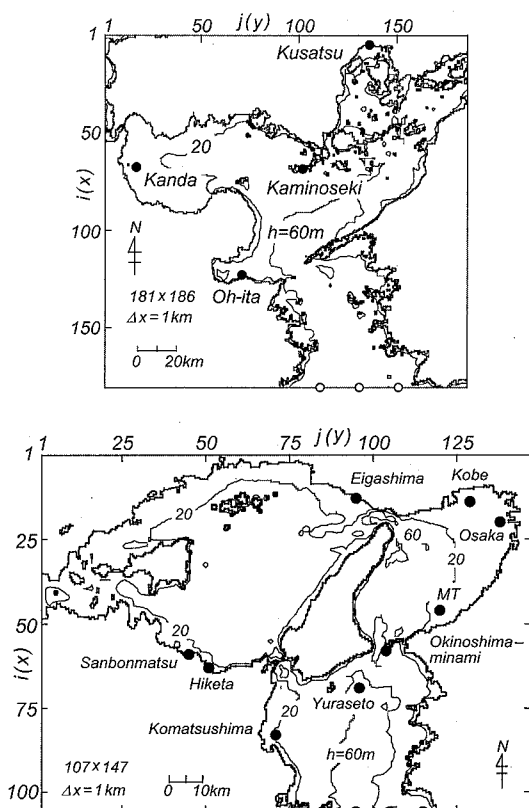


図-4 内海における波浪推算領域（西部海域，東部海域）

部海域と東部海域および波浪観測地点の位置を示す。図において，各海域の南端境界線上に白丸で示す地点は外洋から内海へ伝播する波浪の方向スペクトルを計算する格子点であり，豊後水道では20 km 間隔，紀伊水道では10 km 間隔で設けている。これらの入力格子点の間に位置する格子点には，入力格子点における方向スペクトル値を線形補間することにより，また入力格子点と陸地格子点の間の格子点には最寄りの入力格子点の方向スペクトル値をそれぞれ与える。波浪観測地点とその水深は，荏田 (9 m)，大分 (14 m)，上関 (29 m)，草津 (10.5 m)，江井ヶ島 (10.5 m)，三本松 (7 m)，引田 (11.5 m)，神戸 (17 m)，大阪 (13.2 m)，MT 局 (20.8 m)，由良瀬戸 (65 m)，沖の島南 (36 m)，小松島 (21.5 m) であり，観測地点は東部海域で多い。

波浪推算では，それぞれの海域の境界上格子点で1時間ごとの方向スペクトルを1分間隔で線形補間して与えるとともに，観測風資料より求めた格子間隔2 km の格子網上における海上風条件のもとに格子点浅海モデル (山口ら，1984) を用いて，台風の影響が強い2～3日間を対象に波浪推算を行う。波浪推算の時間間隔は1分，海上風の入力時間間隔は20分であり，海上風の1時間間隔資料を時間に関して20分ごとに線形補間，空間に

関して4点双1次補間して1 km 格子網上で得た海上風を20分の間一定として波浪推算を進める。周波数データと方向データは外洋の場合と同じである。

4. 波浪推算結果の考察

(1) 外洋における推算結果の検討

内海における波浪推算に際して，流入境界条件として与えた1点浅海モデルによる推算波浪の精度を検証するため，外洋に面した沿岸波浪観測地点のうち，各海域の境界近くに位置する細島および室津，潮岬における推算波浪と観測波浪の時系列に関する比較例を図-5に示す。台風0416号時の細島や台風0418号時の室津のように比較対象地点が台風経路から少し離れた場合ほど波浪はなだらかな経時変化を示し，台風0423号時の潮岬のように，比較対象地点が台風経路近くに位置する場合には台風の接近・通過に伴い波浪は急増減する。波浪推算では1週間の助走期間をとっているため，うねり性波浪の伝播や台風の接近と通過に伴う波高の増大と減少に関して，推算結果は観測結果に比較的よく追従する。

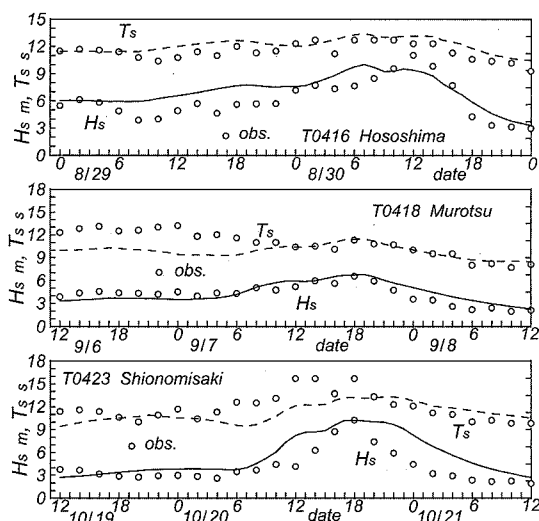


図-5 外洋沿岸観測地点における波浪時系列の比較

(2) 内海における推算結果の台風別検討

図-6は東部海域に属する播磨灘の北岸（兵庫県側）に位置する江井ヶ島と南岸（香川県側）に位置する三本松における波浪時系列の比較を台風0416号時と台風0423号時について示す。日本海をNE方向に進行した台風0416号時にはS寄りの風が卓越することから，波浪は兵庫県沿岸の江井ヶ島で大きく香川県沿岸の三本松で小さい。一方，室戸岬西側から大阪へNE方向に進行した台風0423号時にはいずれの地点も台風左半円に入り，N寄りの風が卓越することから，波浪は江井ヶ島

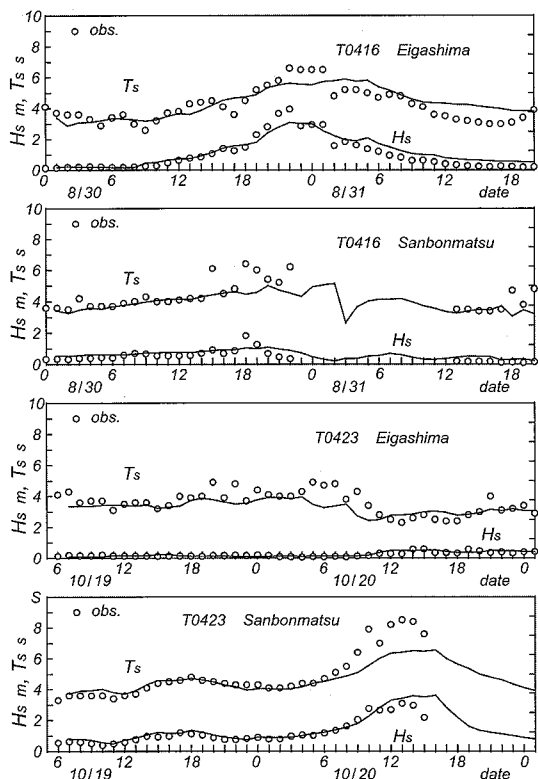


図-6 内海沿岸観測地点における波浪時系列の比較(1)

で小さく三本松で大きい。推算波浪時系列は観測波浪時系列と比較的良好に符合するが、ピーク波高時付近に関して台風 0416 号時に江井ヶ島で推算結果が観測結果より小さく、逆に台風 0423 号時に三本松で推算結果が観測結果よりやや大きい。江井ヶ島でのピーク時近傍における推算波高の過小評価は、最強風時以降で風が欠測となっているため、異常波高をもたらした 30 m/s を越える強風が海上風分布の推定結果において適正に再現されていないことによると推測される。また、最強風時近傍の播磨灘・大阪湾北部の風向は図-2 に示したように SSE~SE 方向であるから、波浪推算では淡路島の影響によって波浪の発達が制御されるのに対して、現実には大阪湾北部から播磨灘北部に向けての波浪の発達が想像される。この差が低めの推算波高を生じた可能性もある。また、三本松におけるピーク付近の推算結果と観測結果の乖離は香川県側海域における風速の過大評価によるものかもしれないが、波高に比べて周期が長い観測結果の特徴からみて、観測結果の精度が不足している可能性も示唆される。

図-7 は西部海域に位置する荻田 (台風 0416 号) および東部海域に位置する大阪 (台風 0418 号) と小松島 (台風 0423 号) における波浪時系列の比較を示す。内海発生波が卓越する荻田や大阪のみならず外洋波浪の影響

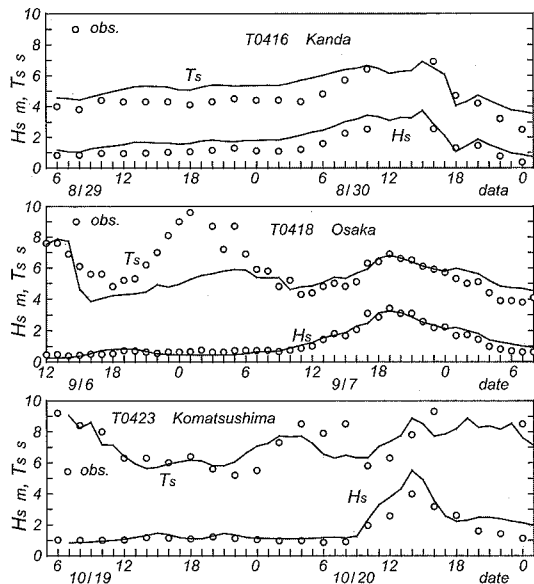


図-7 内海沿岸観測地点における波浪時系列の比較(2)

が大きい小松島においても、推算波浪は観測波浪とかなりよく符合し、とくに海上風観測地点が 3 地点と多い大阪湾における波浪時系列の再現精度は全般的に高い。しかし、台風 0418 号時の大阪のように、台風接近前に推算周期が観測周期より短い時点がある。内海における波浪推算で使用する境界条件を作成するために、外洋における波浪推算の期間を台風接近時の 1 週間前としていることから、外洋波浪の計算期間の不足をこの隔たりの原因とみなしがたい。考える要因として、紀伊水道から大阪湾へ伝播するうねりの評価に関係する友ヶ島水道周辺の地形に対する解像度の不足、あるいは長周期のうねりを含む波浪状況において全周波数についてのスペクトルの積率で平均周期を計算する方法の適否などが挙げられよう。

図-8 は各観測地点における 6 台風時の最大波高の推算

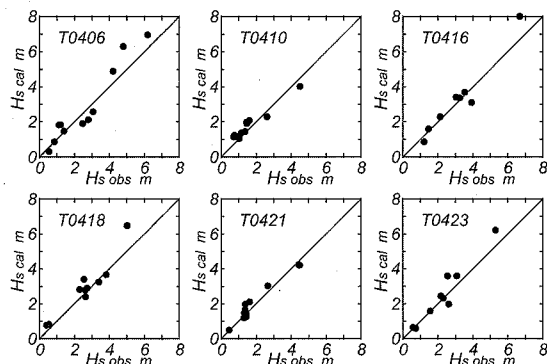


図-8 最大波高の台風別比較

結果と観測結果の対応を台風ごとに示す。台風 0416 号と 0418 号は日本海を NE 方向に進行したこと、台風右半円に入った瀬戸内海のいずれの観測地点においても S 寄りの風の影響を受けて波浪が発達する。台風 0406 号、0421 号、0423 号は四国南部あるいは沖合から大阪方面へ NW 方向に進行していることから、観測地点の多くは台風左半円あるいは台風中心付近に入り、波浪はおおむね N 寄りの強風の影響を受けて発達している。台風 0410 号は四国南部から山口県東部に向けて NW 方向に進行していることから、東部海域は台風右半円に、西部海域の周防灘や別府湾は左半円に入っている。このように、多様な台風経路にもかかわらず、最大波高に対する推算結果は小波高から大波高のケースに至るまで各台風時において観測結果とおおむねよく対応する。

(3) 内海における推算結果の地点別検討

図-9 は 6 台風時における最大波高の推算結果と観測結果の比較を観測地点ごとに表す。データ数は最大 6 個であるが、最大波高を欠測しているケースを比較対象としないので、荊田、三本松、小松島ではデータ数が 3~4 と少なくなっている。観測地点に到達する波浪の発達に寄与する海域の特性はきわめて多様である。すなわち、西部海域のうち周防灘西端に位置する荊田は E 方向に、別府湾にある大分は NE 方向に、狭い広島湾内にある草津は S 方向にそれぞれ開いている。東部海域のうち、大阪湾奥の神戸や大阪は S 方向寄りに、中央部東側の MT 局は W 方向を中心としてほぼ全方向に、紀伊水道内徳島沿岸の小松島は E~S 方向に開いている。このように、波浪の発達・伝播に対して多様な状況下にあるにもかかわらず、いずれの観測地点においても最大波高に対する推算結果は広い範囲で変化する観測結果に

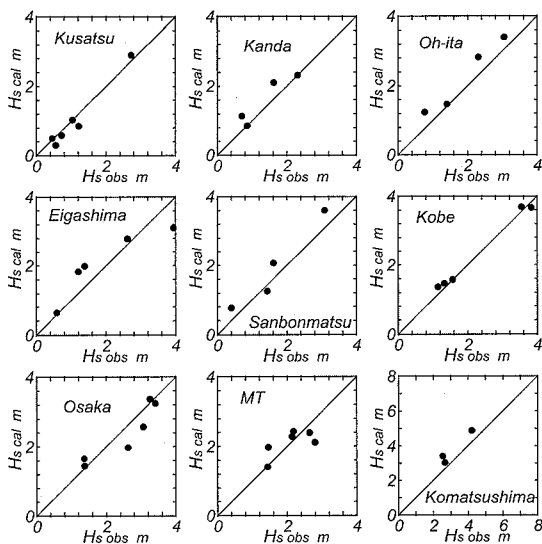


図-9 最大波高の地点別比較

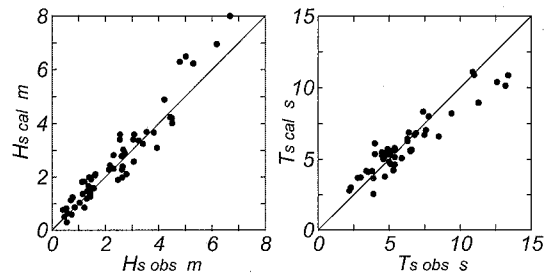


図-10 全観測地点の台風別最大波高および周期の比較

近い値を与えることから、最大波高に対する推算精度は多様な地形および台風条件下でもかなり高い。

図-10 は全観測地点における 6 台風時の最大波高と相当する周期についての散布図を表す。内海における波高に対する推算資料と観測資料はよく符合するが、外洋から伝播する波浪に対応する高波高や長周期波浪の場合に、ややばらつきを伴う。このような相違は別にして、全体として波浪推算結果の精度はかなり高い。

5. 結 語

本研究では、2004 年の 6 台風時の瀬戸内海を対象として観測風資料の空間補間により推定した海上風分布を入力条件とする浅海波浪推算が、多様な台風経路条件のもとに沿岸部の多くの地点で得られた観測波浪の最大値のみならず時系列を全体としてかなりよく再現することを示した。この結果は内海における波浪推算においては地形の影響を受ける海上風の空間分布を適正に推定することが最重要課題であるという本研究の観点を支持する。

最後に、風および波浪観測資料を提供戴いた多数の関係各機関に謝意を表するとともに、NOWPHAS による波浪観測資料を用いたことを付記する。

参 考 文 献

- 塩野清治・弘原海 清・升本真二(1985)：パソコンで不規則に分布するデータを格子点データに変換してコンターマップを作成する方法(1)－加重一次補間法－，情報地質(10)，pp. 65-78.
- 橋本典明・鈴山勝之・永井紀彦(2005)：2004 年に発生した台風に伴う高波の推算，港研資料，No.1102，46p.
- 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・野中浩一・大福 学(2002)：台風モデル風の埋込みによる 51 年波浪推算システムの改良，海岸工学論文集，第 49 巻，pp. 206-210.
- 山口正隆・畑田佳男・大福 学・野中浩一(2005)：台風 9119 号および 9918 号時の瀬戸内海西部海域における異常波浪の推定，水工学論文集，第 49 巻，pp. 1321-1326.