

海象情報数値データベースを利用した 瀬戸内海の波浪特性解析

ANALYSIS OF WAVE CHARACTERISTICS
IN THE SETO INLAND SEA
BY USING WAVE HINDCASTING DATA BASE

橋本典明¹・児玉充由²・三谷正人³・友田伸明⁴・松本英雄⁵・松藤絵理子⁶
Noriaki HASHIMOTO, Michiyoshi KODAMA, Masato MITANI, Nobuaki TOMODA,
Hideo MATSUMOTO, and Eriko MATSUFUJI

¹フェロー 工博 九州大学大学院工学研究院環境都市部門 (〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1)

²九州大学大学院工学府海洋システム工学専攻 (〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1)

³工修 国土交通省 中国地方整備局 広島港湾空港技術調査事務所

⁴国土交通省 中国地方整備局 広島港湾空港技術調査事務所

⁵正会員 工修 国土交通省 中国地方整備局 広島港湾空港技術調査事務所
(〒730-0029 広島市中区三川町 2-10 愛媛ビル 6F)

⁶学修 (財)日本気象協会 首都圏支社調査部 (〒170-6055 東京都豊島区東池袋 3-1-1)

Coastal waves in the Seto Inland Sea were hindcasted using a third generation wave model, WAM. In this paper, we examined the accuracy of the hindcasted wave data in the sea by comparing the measured wave data, and discussed the usefulness of the hindcasted data for practical applications. In addition, we investigated the statistical characteristics of waves in the sea by using a wave hindcasting database and discussed a few examples for utilizing the database.

key Words: Seto Inland Sea, third generation wave model, WAM, wave database

1. はじめに

高度経済成長に伴い、内海や内湾の水質汚染が進行した。また、海洋開発により、海岸・港湾における自然海浜・干潟が数多く消失したため自浄能力が低下し水質汚染に拍車をかけた。今後は、従来の保全型施策の充実に加え、失われた自然環境の再生・創造により、良好な海岸・港湾環境を形成し、海域環境の改善を図る必要がある。環境保全・修復・創造施策は、地域の特性に応じて推進していくことが肝要である。干潟や藻場の存在には、その環境に作用する流れ・土砂供給・運搬量などに加え、波浪が重要な要素となる。特に、干潟や藻場の適地選定には、高波浪時だけでなく常時の波浪統計量を面的に把握することが重要となる。

また、2004年は過去最多の台風が上陸し、高波や高潮により全国の沿岸施設が大きな被害を受けた。沿岸部における防災施策においても、過去の波浪出現頻度等の面情報は、有益な情報となる。

橋本ら¹⁾は、第三世代波浪モデルにより、瀬戸内海の内海象情報数値データベースを作成した。このデータベースは、面的な常時波浪情報を容易に利用できる環境を提供するものである。本研究では、藻場、干潟等の再生や

創造、防災計画の策定などに役立てるため、本データベースを改良したシステムにより瀬戸内海の波浪特性を解析した。対象年は、2000年、2002年、および2004年の3カ年とした。

2. 計算条件

(1) 海上風推算

本研究では、中西²⁾によって開発された局地気象モデル (ANEMOS) により、局地風の再現計算を行った。初期値及び境界値は、気象庁配信のGPVデータを用いた。局地気象モデルにより3kmの格子間隔で推算された風を、マスコンモデルにより1.5km格子に内挿し、波浪モデルの入力風として用いた。

(2) 波浪推算

橋本ら³⁾、川口ら^{4),5)}が改良を加えた第三世代波浪推算モデルWAMを用い、波浪を推算した。広領域と中領域を設け、ネスティングを実施することにより、豊予海峡や鳴戸海峡からの進入波を考慮した。領域図を図-1に、瀬戸内海、広島湾、周防灘および備後灘の領域の詳細を図-2に示す。また、計算条件を表-1に示す。備後灘、広島湾、

および周防灘領域では、複雑な地形を適切に考慮するため、格子間隔を30秒とし、方向分割数を36成分とした。低波浪の出現頻度が高い備後灘と広島湾については、低波浪時の推算精度を向上させるため、周波数の分割数を42成分とし周波数帯の上限を高周波側に拡張した。

表-1 計算条件

	広領域	中領域	瀬戸内海領域
格子数	81×61	61×37	251×111
格子間隔	30分(約50km)	10分(約17km)	1分(約1.7km)
計算時間間隔	20分	10分	1分
周波数分割数	35成分		
	$f(1) \times 1.10^{(i-1)}$ ($f(1) = 0.04177248$)		
周期成分	約24秒~0.9秒		
方向分割数	16成分		

	備後灘領域	広島湾領域	周防灘領域
格子数	205×73	73×61	157×37
格子間隔	30秒(約0.85km)		
計算時間間隔	30秒		
周波数分割数	42成分		35成分
	$f(1) \times 1.10^{(i-1)}$ ($f(1) = 0.04177248$)		
周期成分	約24秒~0.4秒	約24秒~0.9秒	
方向分割数	36成分		

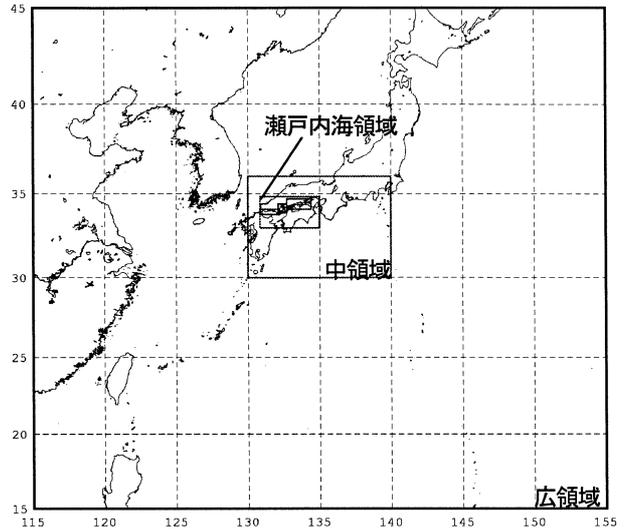


図-1 計算領域

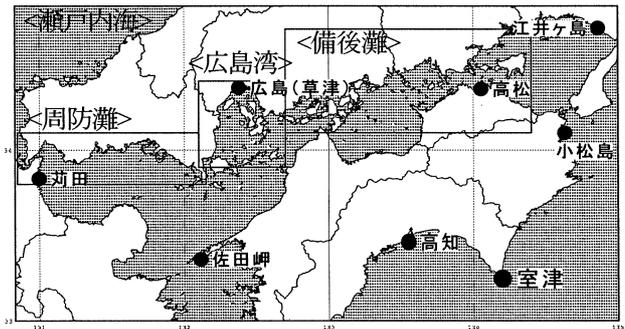


図-2 計算領域(瀬戸内海, 広島湾, 周防灘, 備後灘)

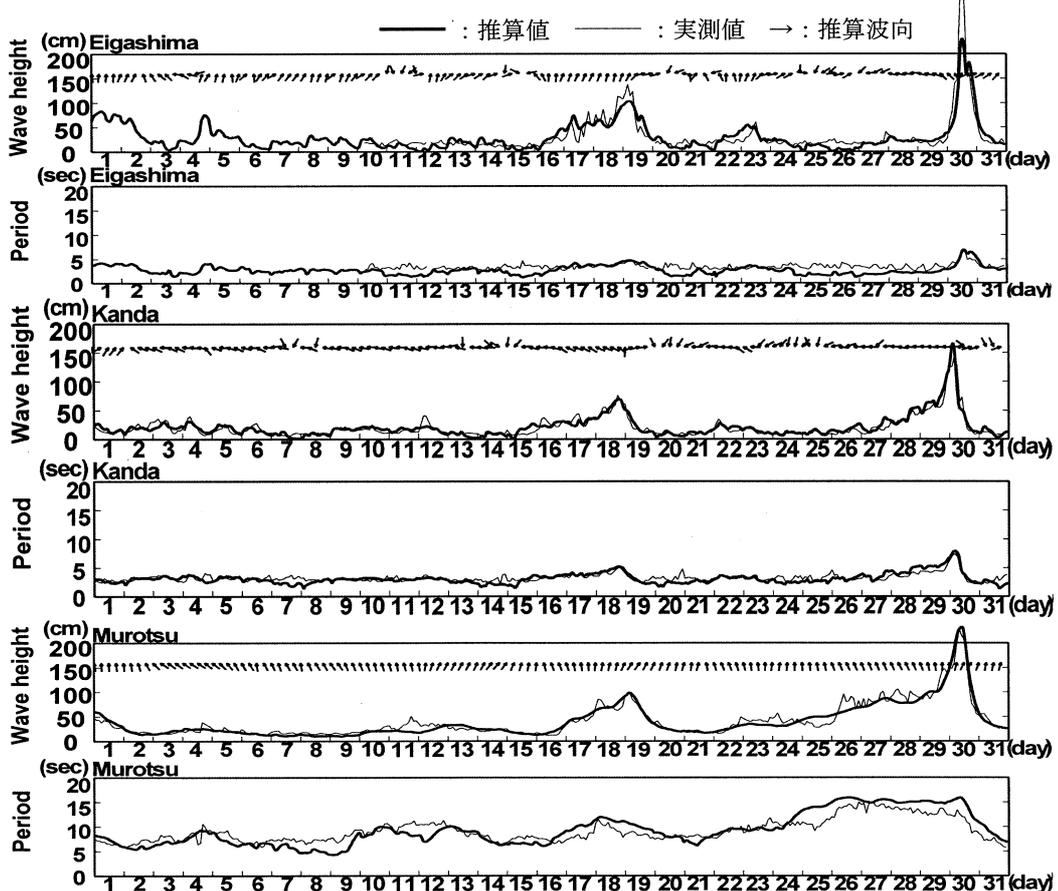


図-3 波浪推算結果と実測値の比較図(2004年8月, UTC)

3. 精度検証

実測値との比較による検証は、図-2 に黒丸で示す8地点で行った。ここでは、江井ヶ島、荇田、および室津の比較結果を示す。

図-3 は、2004年8月の波浪推算結果と実測値の比較図である。波高、周期とも、推算値は実測値の変動を概ね再現している。しかし、台風0416号通過時(8月30日)の江井ヶ島の波高のように、過小評価となる事例もある。

また、図-4 に全対象期間(3年間)の実測値と推算値の散布図、表-2(1)および(2)に相関解析結果を示す。

波高については、相関係数は0.76~0.91であり、精度良く推算されていると言える。回帰係数は0.93~1.26であり、外洋に面する室津では、推算値が低く、内海に位置する江井ヶ島と荇田では、推算値が1~2割高い。

周期については、江井ヶ島と荇田では、相関係数はそれぞれ0.17、0.32であり高い相関は得られていない。しかしながら、経時変化を比較すると(図-3)、荇田では周期の長さ、変化傾向ともに概ね実測値を再現していることがわかる。また、江井ヶ島では、高波浪時については推算値と実測値は良く一致しているが、低波浪時には推算値の周期が短い傾向にあることがわかる。室津では、相

関係数は比較的高く0.59である。回帰係数は、3地点とも1.0より小さく、周期は過小評価の傾向がある。

以上の結果から、波浪推算結果は実測値を概ね再現できており、実用に耐えうる精度を有しているといえる。しかし、台風時に波高が過小評価となる場合があることや周期の過小評価など課題は残されており、使用の際には、推算値の特性を十分に把握した上で、使用目的に応じ補正等を検討する必要がある。

表-2(1) 波高の相関解析結果

観測点	相関係数	回帰式 計算値=a×実測値	RMS誤差
江井ヶ島	0.76	Y=1.26X	0.16
荇田	0.82	Y=1.17X	0.14
室津	0.91	Y=0.93X	0.30

表-2(2) 周期の相関解析結果

観測点	相関係数	回帰式 計算値=a×実測値	RMS誤差
江井ヶ島	0.17	Y=0.71X	1.44
荇田	0.32	Y=0.95X	0.71
室津	0.59	Y=0.83X	2.42

4. 波浪特性の解析

(1) 頻度分布

図-5 は、3年間(2000、2002、2004年)を対象として波高および周期の出現頻度を比較した図である(□:推算値、●:実測値)。波高については、3地点とも分布の形状は、概ね一致している。周期に関しては、荇田では、分布形状は概ね一致しているが、江井ヶ島と室津では、推算値は実測値より短い階級に分布している。

(2) 月平均値

図-6(1)および(2)は、実測値と推算値の月平均値と標準偏差をプロットしたものである。

波高に関しては、江井ヶ島と荇田では冬季と春季に過大評価の傾向が強く、1月~4月および12月は、推算値の平均が0.1~0.2m程度高い。室津では、6月を除き過小評価の傾向にあり、推算値の平均は0.05~0.1m程度低い。

周期に関しては、荇田では推算値と実測値の平均値は、ほぼ一致している。江井ヶ島と室津では、夏季を除き過小評価の傾向にあり、推算値の平均値は、1~2秒短い。

波高の標準偏差は、3地点とも台風の時期(夏季と秋季)に大きい傾向がある。江井ヶ島では、冬季も標準偏差が大きいが、冬型の気圧配置により卓越する西寄りの風の影響で、高波浪になることが多いことが原因と考えられる。実測値と推算値の標準偏差は、同様の变化傾向を示している。

周期の標準偏差は、波高と同様の傾向を示している。

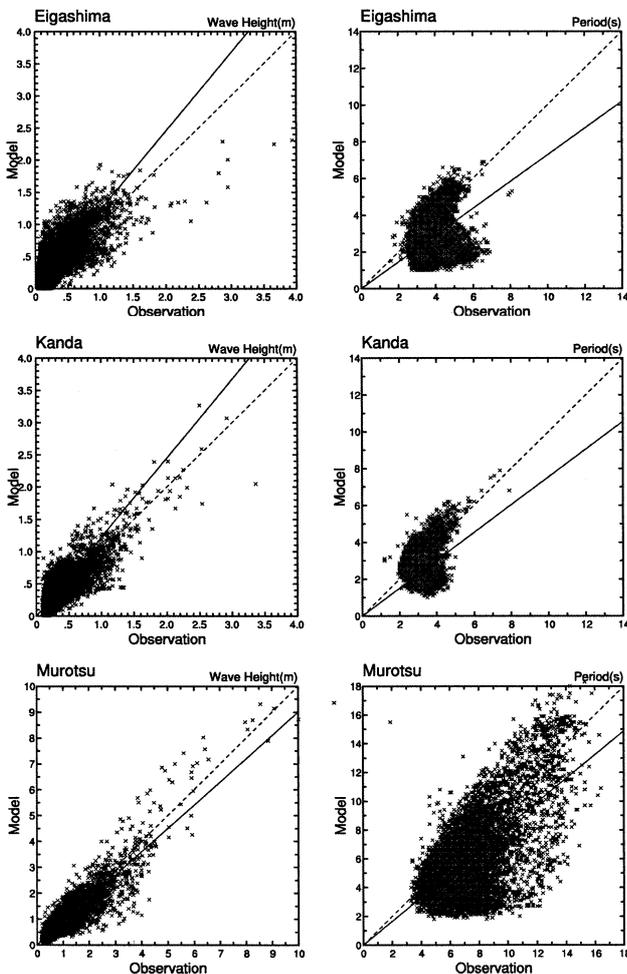


図-4 実測値と推算値の散布図

(対象期間: 2000, 2002, 2004年、実線は回帰直線)

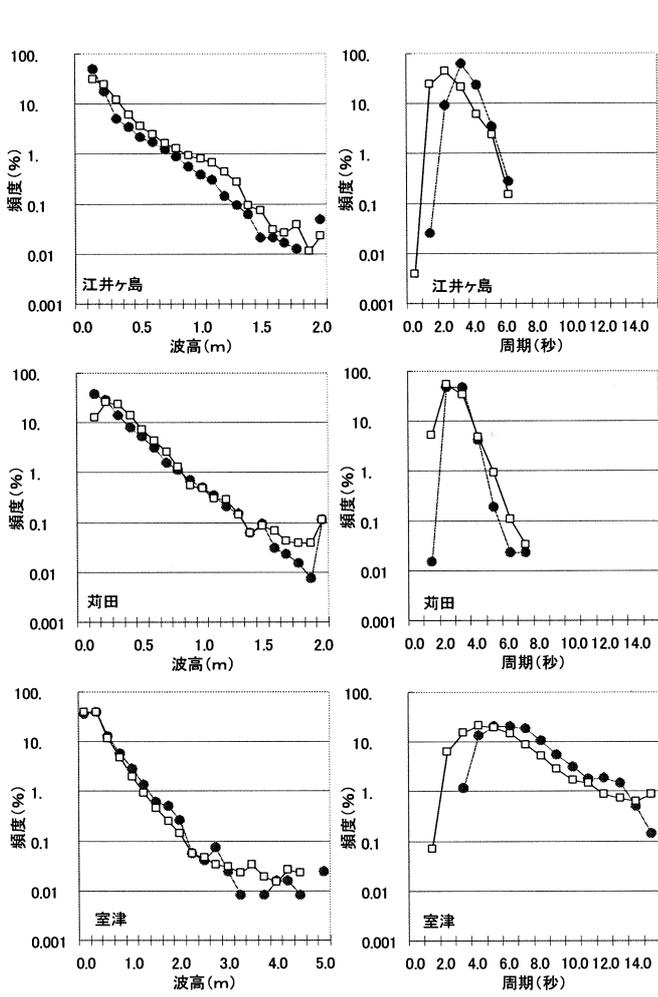


図-5 実測値と推算値の出現頻度
 (●: 実測値 □: 推算値、
 対象期間: 2000, 2002, 2004 年)

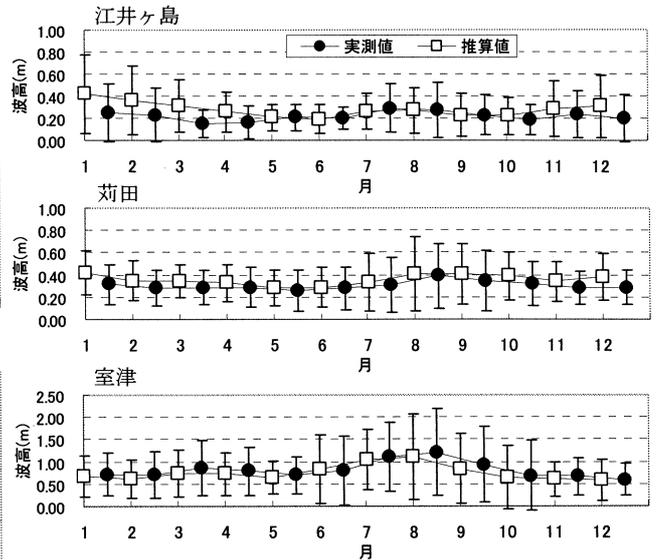


図-6(1) 実測値と推算値の月平均値と標準偏差 (波高)

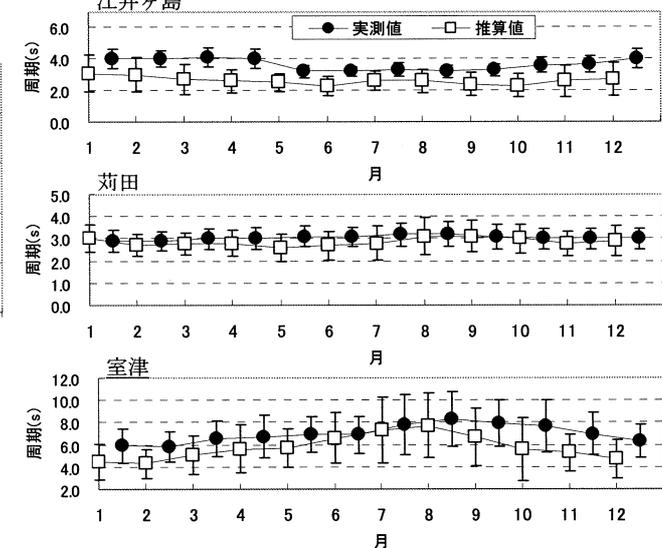


図-6(2) 実測値と推算値の月平均値標準偏差 (周期)

対象期間: 2000, 2002, 2004 年

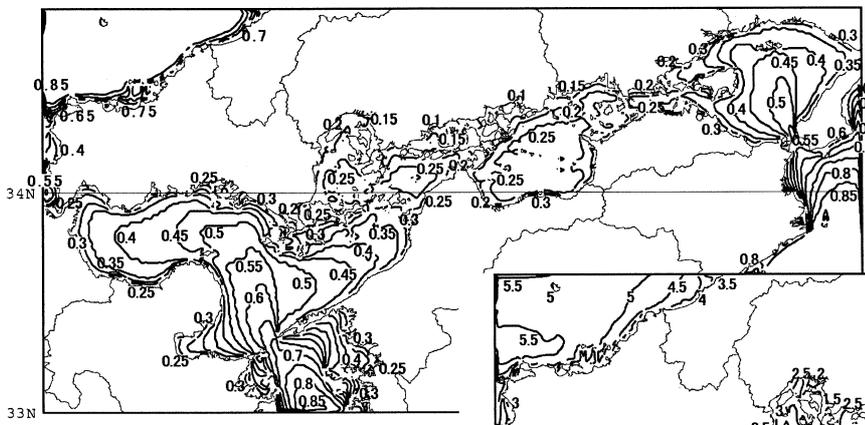


図-7(1) 瀬戸内海の平均有義波高分布 (単位: m)

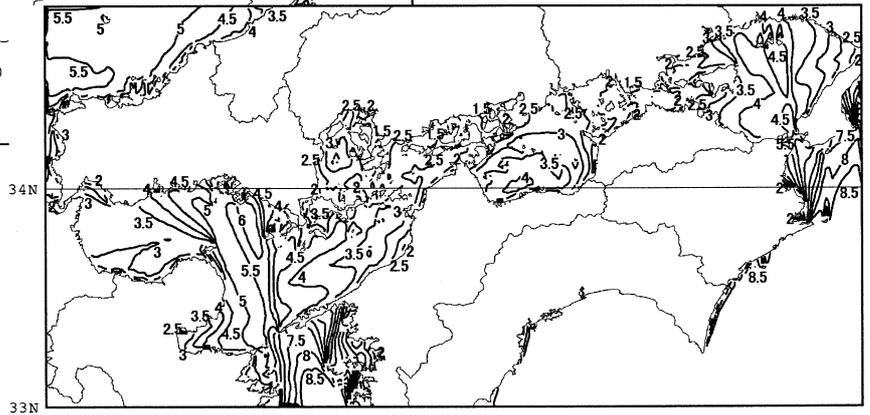


図-7(2) 瀬戸内海の最大有義波高分布 (単位: m)

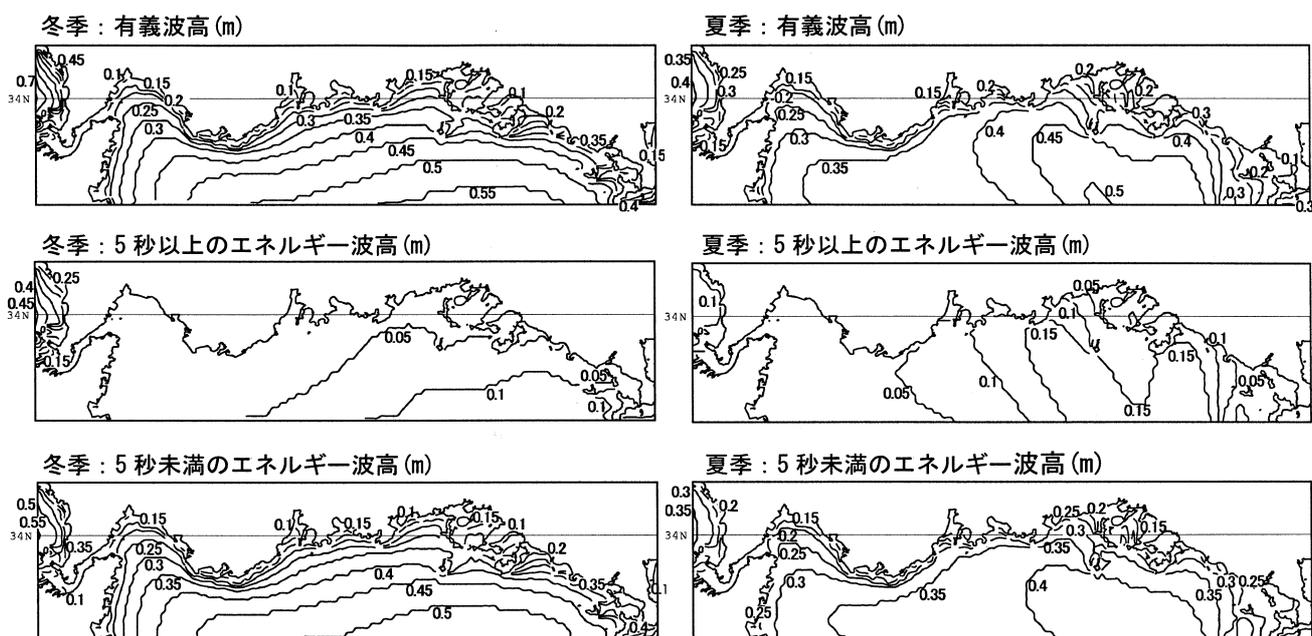


図-8 周防灘領域の周期帯別波高分布 (統計期間：2000, 2002, 2004 年)

5. 波浪分布

(1) 瀬戸内海の波高分布

図-7(1)および(2)は、瀬戸内海領域の平均有義波高と最大有義波高の波高分布である。平均有義波高は、対象期間3年間の有義波高を平均したものである。最大有義波高は、対象期間3年間で生じた最大の有義波高であり、生じた時刻は同一ではないが、各海域でどの程度の高波が生じたかを示すものである。

備後灘、燧灘の海域では、平均有義波高は海域内で大きな差はないが、最大有義波高では、海域の南部で波高が高い。この海域の南には1800m級の四国山地があり、北は福山平野など比較的開けていることから、強風時の風場が局地的に地形の影響を受けている結果であると推察される。

周防灘、伊予灘、播磨灘は、外洋からのうねりの進入の影響が大きく、最大有義波高、平均有義波高ともに、波高分布が海峡との位置関係により特徴付けられている。

平均有義波高の分布により、平均的な波浪の場を面的に把握でき、また、最大有義波高の分布により、高波浪が生じやすい海域を具体的に特定できる。これらの結果は、台風や低気圧などの気象擾乱が通過する際の局地的な風場、岬や散在する島嶼などの複雑な地形を考慮した上で算定されたものであり、局所的な波浪の情報を提供するものである。

(2) 周防灘の周期帯別波浪分布特性

図-8は、周防灘における冬季(1, 2, 12月)と夏季(6~8月)の周期帯別波高分布である。エネルギー波高は、周期5秒以上、5秒未満のそれぞれの周期帯のエネルギーから換算したものである。

冬季は、領域の南部の波高が高く北部が低い分布とな

っている。これは、季節風(北西寄りの風)に対して、南部の海域は吹走距離が長いためであると考えられる。周防灘西部では、周期5秒以上の波浪は解析されず、周期5秒未満の波浪が卓越している。

夏季は、領域の東部の波高が高く、西部が低い分布となっている。これは、季節風(南寄りの風)に対して、東部の海域は吹走距離が長いためであると考えられる。また、豊予海峡から進入してくるうねりも、一因であろう。冬季と同様、周防灘西部では、周期5秒以上の波浪は解析されず、周期5秒未満の波浪が卓越している。

このように、周期帯別の波高分布により、各海域の波浪の特徴を波高・周期の両面から捉えることができる。周期帯別の情報は、港湾や浮体構造物の計画・設計等に有益な情報となる。

6. 本データベースの代表性について

本データベースを使用するにあたって、今回対象とした期間の代表性を確認しておく必要がある。波浪の統計値は、3年以上のデータで平均すると、期間による差が小さくなることが経験的にわかっており、3年間のデータを蓄積することによって、代表性を確保した。しかし、3年間は最低限の期間であり、機会をみて、より多くのデータを蓄積したい。

なお、本研究で対象とした年(2000, 2002, 2004年)について、F分布棄却検定法を用いた異常年検定を行い、異常年でないことを確認した。検定には、長期の実測値を有する観測地点荊田の年平均有義波高を用い、近年10年間(1994~2004年、検定の対象年を除く)を比較年とし検定を行った。比較年と対象年に有意な差はないと仮説を立て、検定を実施した結果を表-3に示す。各年の平均有義波高は、棄却限界の上下限内であり、上記

の仮説は採択される。すなわち、比較年と対象年に有意な差はなく、対象年は異常年ではないことが確認できる。

表-3 苧田の実測値による異常年検定結果

対象年		2000年	2002年	2004年
年平均有義波高		30.2cm	31.3cm	29.8cm
棄却限界 (危険率5%)	上限	28.2cm	28.3cm	28.3cm
	下限	32.7cm	32.4cm	32.7cm

7. 海象情報数値データベースの改良

橋本ら¹⁾が構築した海象情報数値データベースに平面分布図およびスペクトル図のアニメーション機能と有義波年統計表示を加え、機能の向上を図った。本データベースは、大量の波浪推算データを容易に使用できる環境を提供するものである。現在の機能一覧を表-4に示す。

図-9に、今回追加した有義波年統計画面の表示例を示す。月最大有義波の起時や波浪諸元、月平均有義波等を領域内の任意の地点について表示することができる。また、アニメーション機能により、平面分布や方向スペクトルの時間変化を容易に把握することが可能となった。

表-4 データベースシステム機能一覧

(は、今回追加した機能)

表示項目	表示要素	出力ポイント
時系列図	波高, 周期, 波向	任意の地点
平面分布図 (アニメーション機能)	波高, 周期, 波向 (任意期間の 平均値表示)	—
スペクトル図 (アニメーション機能)	方向・周波数 スペクトル	スペクトルデータ 出力地点
頻度分布 (表, 図)	波高, 周期	任意の地点
有義波年統計	波高, 周期, 波向	任意の地点

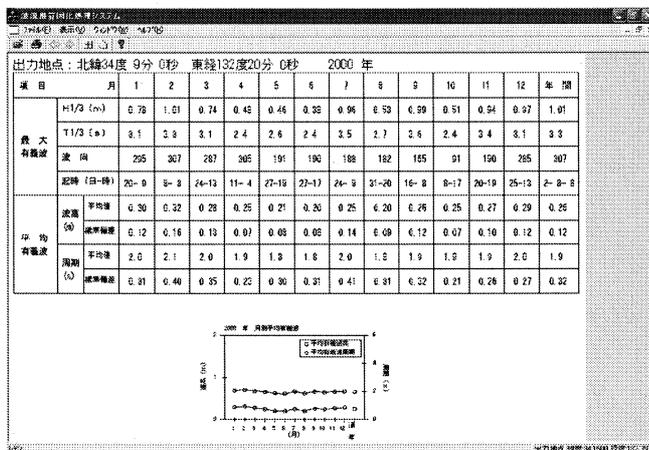


図-9 有義波年統計画面の表示例

8. おわりに

以上の検討結果から、本データベースは、風や波浪の観測値の代替として実用上十分に利用可能であると考えられる。ただし、台風時の波浪の過小評価、および周期の過小評価など、課題は残されており、波浪推算値の特性を十分に把握した上で利用すべきである。

本データベースの利用により、現在の波浪観測体制では得られない面的な気象海象情報を把握することができる。このような解析結果を用いれば、静穏な海域を効率よく探すことができる。例えば、アマモ場の造成には実生株が発芽し生長する冬季の波浪条件が重要であることがわかっており(鳥谷ら⁶⁾)、本データベースから得られる波浪の統計結果は、アマモ場造成の適地選定に役立てることができる。

また、最大有義波高分布から高波浪が生じやすい海域を特定でき、防災施策に利用できる。さらに、周期別波向別のスペクトル情報は、浮体など周期の情報が重要となる構造物や限界状態設計法などにも活用することができる。このように、波浪推算による常時波浪データには様々な活用法が考えられ、沿岸における施策計画への利用が期待される。

参考文献

- 橋本典明・松本英雄・川口浩二・松藤絵理子・松浦邦明：局地気象モデルと第三世代波浪推算法による瀬戸内海を対象とした海象情報数値データベースの構築，海洋開発論文集，第20巻，pp. 839-844，2004
- 中西幹朗：霧の内部構造と予報に関する数値的研究，東京大学大学院理学系研究科学学位論文，pp. 138，1999
- 橋本典明，杉本彰，川口浩二，宇都宮好博：局地気象モデルと第三世代波浪推算モデルの内湾波浪推算への適用，海岸工学論文集，第49巻，pp. 201-205，2002
- 川口浩二，橋本典明，杉本彰：内湾域における波浪推算精度向上を目的とした第三世代波浪推算モデル WAM の改良，海岸工学論文集，第50巻，pp. 191-195，2003
- 川口浩二，杉本彰，橋本典明：第三世代波浪推算モデルの内湾波浪推算への適用性，港湾空港技術研究所資料，No. 1061，pp. 53，2003
- 鳥谷学，河本武，中瀬浩太，月館真理雄：アマモ実生株の生残条件に関する研究，海岸工学論文集，第50巻，pp. 1096-1100，20