

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

DEVELOPMENT OF WAVE HINDCASTING DATABASE FOR SETO INLAND
SEA BY USING MESOSCALE METEOROLOGICAL MODEL
AND THIRD GENERATION WAVE MODEL

橋本典明¹・松本英雄²・川口浩二³・松藤絵理子⁴・松浦邦明⁵
Noriaki HASHIMOTO, Hideo MATSUMOTO, Koji KAWAGUCHI,
Eriko MATSUFUJI, and Kuniaki MATSUURA

¹ 正会員 工博 独立行政法人 港湾空港技術研究所 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1)

² 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)

³ 正会員 工修 国土交通省 近畿地方整備局 神戸港湾空港技術調査事務所
(〒651-0082 兵庫県神戸市中央区小野浜町 7-30)

⁴ 学修 財団法人日本気象協会 首都圏支社調査部 (〒170-6055 東京都豊島区東池袋 3-1-1)

⁵ 水修 財団法人日本気象協会 首都圏支社調査部 (〒170-6055 東京都豊島区東池袋 3-1-1)

A mesoscale meteorological model, ANEMOS, was applied for wind hindcasting around the Seto inland sea area throughout the year of 2000. Then, coastal waves around the area were hindcasted using a third generation wave model, WAM. In this paper, we examined the accuracy of the hindcasted wind data as well as wave data in the Seto inland sea area by comparing the measured wind and wave data, and discussed the usefulness of the hindcasted data for practical applications. In addition, we introduced a wave hindcasting database equipped with a convenient graphical user interface.

Key Words: Seto inland sea, third generation wave model, WAM, wave database

1. はじめに

内湾域や内海の保全および計画的な開発や利用のためには、静穏時を含む常時の海上風や波浪等の自然条件を海域毎に把握しておく必要がある。しかし、波浪観測はこれまで主として防災面に重点が置かれて整備が進められてきたため、外洋に面した地域に比べて内湾域や内海ではその整備が進んでいないのが現状である。特に瀬戸内海は我が国最大の内海であるが、常時波浪を観測している地点は非常に少ない。また、島嶼により海域が複雑に分割されているため、波浪観測地点の観測値から周辺地域の波浪を推定することは一般に難しい。そこで、本研究では、局地気象モデルによる海上風推算と第三世代波浪推算モデルによる波浪推算を瀬戸内海および広島湾に適用し、それらの推算精度を評価するとともに、2000年の1年間を対象として、観測値の代替として利用可能な海上風と波浪のデータベースを構築した。

2. 局地気象モデルによる海上風の推算

本研究では、中西¹⁾によって開発された局地気象モデル (ANEMOS) により、南北を山脈で挟まれた複雑な地形を有する瀬戸内海を対象として局地風の再現計算を行った。ANEMOS の概要を表-1 に、本研究の計算対象領域を図-1 に示す。

ANEMOS の特徴は、運動方程式と熱力学方程式によって風と気温の3次元計算が可能であること、大気境界層による乱流輸送を考慮していること、計算対象地点と時刻から太陽高度と日射量を計算し土地利用を考慮した地面温度予報過程により気温の日変化を計算できること、水蒸気保存式と凝結・降水過程により湿度変化と降水量を計算できること、ネスティングにより広領域の計算結果を受け継ぎ段階的に細かく計算できることなどである。初期値及び境界値は、気象庁配信のGPVデータを用いた。

表-1 局地気象モデルの計算条件

項目	内容
水平座標系	直交座標系
鉛直座標系	Z*座標系(地形に沿って鉛直座標をスケールリング)
乱流モデル	Mellor-Yamadaレベル2.5
計算領域	438km×225km×5200m
計算格子数	146×75×18=197,100点
水平格子間隔	3km
最小格子間隔	$\Delta z_{min}=20m$
時間増分	$\Delta t=20sec$
側面境界	RSM地上・上層GPVデータのネスティング
植生	各メッシュの土地利用を面積比率で設定
標高データ	国土数値情報50mメッシュデータ
地表面境界値	国土数値情報100mメッシュデータ
その他	推算結果をマスコンモデルで内挿(1.5kmメッシュ)後、線形内挿(1分メッシュ)

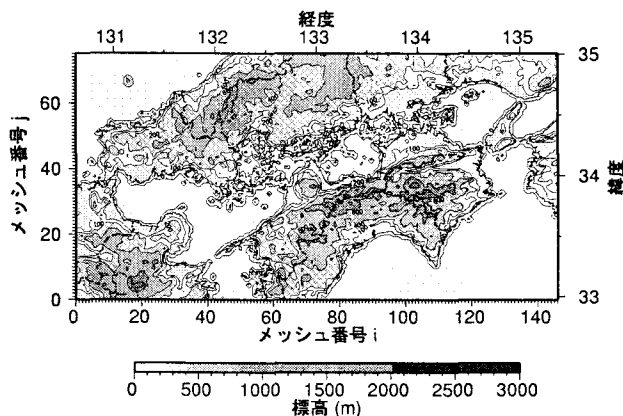


図-1 局地気象モデルの計算領域

図-2 は、2000 年 2 月について推算風と実測風を比較した図で、上段が下関、中段が草津、下段が姫路の時系列図である。まず、風向(図上部の矢印、

太矢印が推算風向、細矢印が実測風向)について見ると、両者はほぼ一致しており、弱風時に風向がやや異なるものの、推算風向は観測風向を概ね再現している。また、風速については、各地点とも風速の変動を非常に良く再現している。ただし、下関では強風時に実測風より高く推算しているが、これは本研究の計算メッシュでは下関付近の複雑な地形を十分に表現できていないためだと考えられる。

以上のように、ANEMOS による推算風の再現性は概して高く、内海における波浪推算の入力データとして十分な精度を有していると考えられる。

3. 第三世代波浪推算モデルWAMによる波浪推算

(1) 計算条件

橋本ら²⁾、川口ら^{3) 4)}は第三世代波浪推算モデルWAMに改良を加えたモデル(拡張WAM)を東京湾に適用し、内湾域においても実用可能な精度を有することを確認した。本研究でも、拡張WAMを用い瀬戸内海を対象として波浪推算を行った。計算条件を表-2に示す。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。図-3に瀬戸内海領域と広島湾領域の領域図を示す。

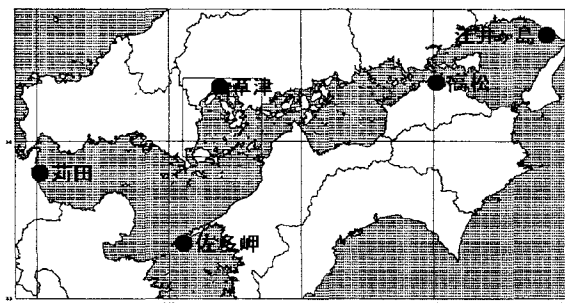


図-3 計算領域(瀬戸内海、広島湾)

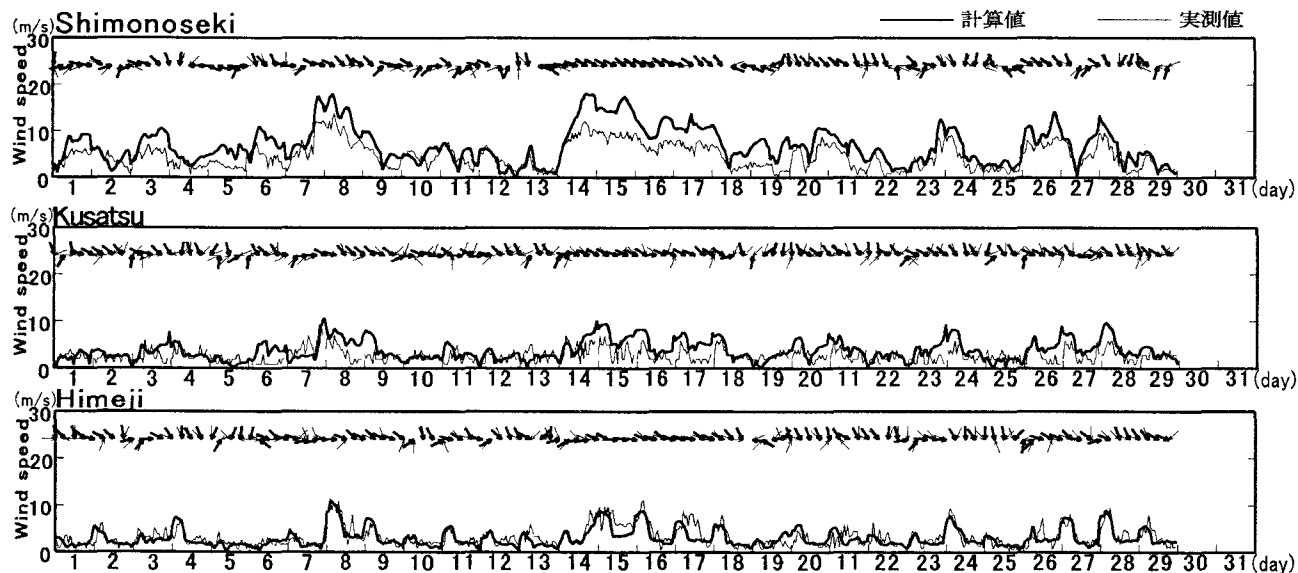


図-2 局地気象モデルによる推算風と観測風の比較(2000年2月)

入力風は、広領域及び中領域については ECMWF の 0.5 度メッシュ客観解析データ、瀬戸内海領域、及び広島湾領域については前述の局地気象モデルによる推算結果を用いた。

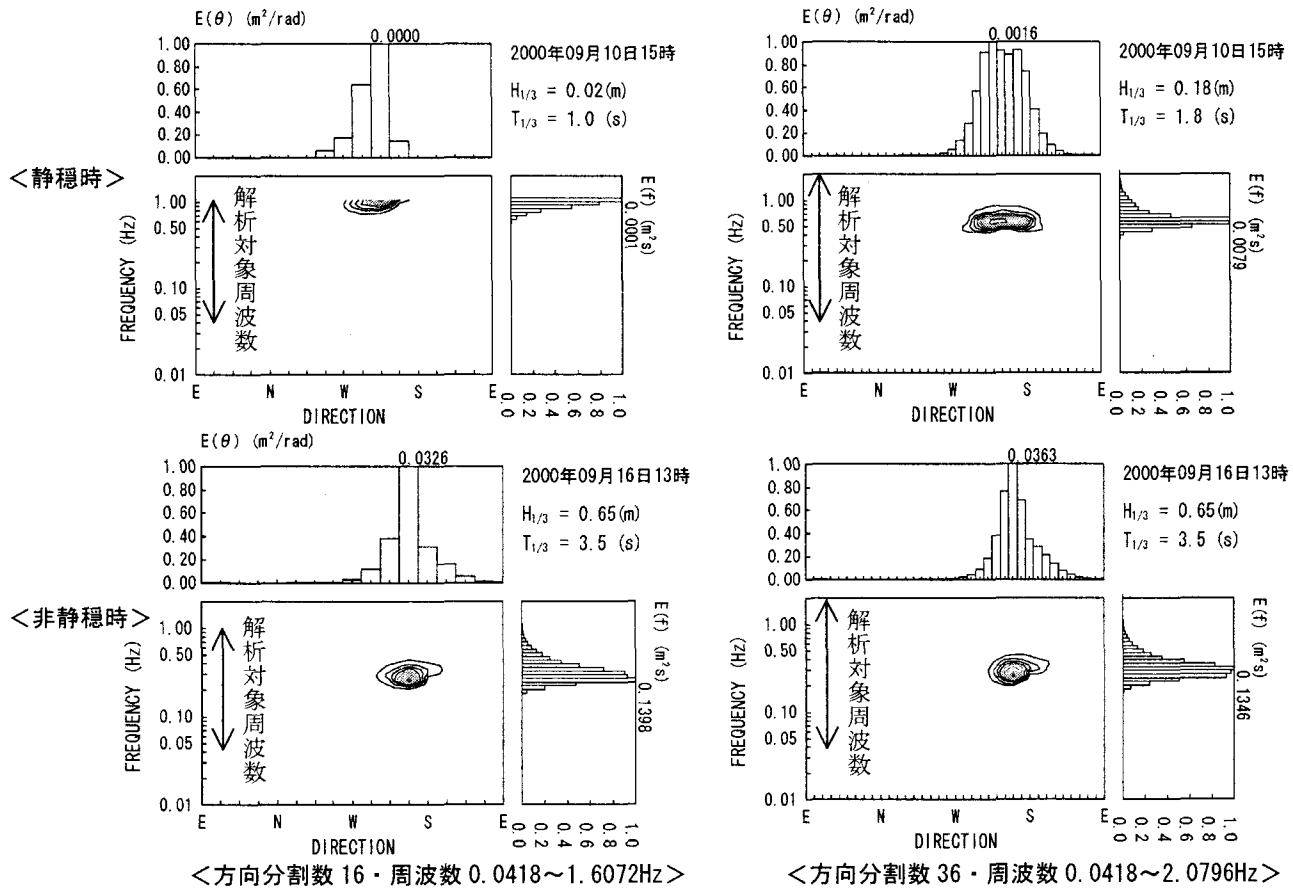
大小の島嶼が散在し特に地形が複雑な海域である広島湾については、格子間隔を小さくし(30 秒メッシュ)、方向分割数を他領域より細かく 36 成分とした。さらに、低波浪時の推算精度を向上させるため、周波数の分割数を増やして周波数帯の上限を 1.0672 Hz から 2.0796Hz に変更し、周波数帯を高周波側へ拡張した。図-4 に、方向分割の細分化と周波数帯の

拡張を行う前後のスペクトル解析図の例を静穏時（上段）と非静穏時（下段）について示す。非静穏時では、前後で大きな差異は見られない。しかし、静穏時では、両者の波浪の発達レベルに顕著な差が見られる。周波数帯を拡張する前は、設定された周波数帯外（1.0672Hz より高周波数側）で発生した波が適切に計算されていないために、波の発達過程の計算にも影響が出ていると考えられる。

以上のことから、風が弱く低波浪の出現が多い海域での常時波浪推算では、高周波数帯を適切に拡張して計算することが重要であることが確認された。

表-2 WAM の計算条件

	広領域	中領域	瀬戸内海領域	広島湾領域
計算範囲	N 15~45	N 30~36	N 33~34.8	N 33.9~34.4
	E 115~155	E 130~140	E 130.8~135	E 132.1~132.7
格子数	81×61	61×37	251×111	73×61
格子間隔	30分 (約50km)	10分 (約16km)	1分 (約1.6km)	30秒 (約0.8km)
計算時間間隔	20分	10分	1分	30秒
周波数分割数	35成分			42成分
	$f(1) \times 1.10^{(i-1)}$ ($f(1) = 0.04177248$)			
周期成分	約24秒~0.9秒			約24秒~0.5秒
方向分割数	16成分			36成分



(2) 推算結果

図-5は、2000年2月の波浪推算結果と実測値の比較図である。実測値との比較は図-3に黒丸で示す5地点で行ったが、草津と高松の実測値にはノイズが多く含まれていたため、ここでは、江井ヶ島、荻田、佐多岬との比較結果を示す。また、図-6に2000年1年間の実測値と推算値の散布図、表-3(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0.68～0.81と比較的高かった。回帰係数は、1.1～1.2であり、推算値の方がやや高かった。瀬戸内海領域では、浅海変形も考慮に入れた波浪推算を行っているが、格子間隔は1分である。比較に用いている推算値は、観測地点の値ではなく、直近の格子点の値であるため、格子間隔1分では観測地点付近の詳細な浅海変形の影響が考慮できていない可能性がある。このことが、観測データと比較して高めに推算される原因のひとつと考えられる。

周期については、佐多岬では、相関係数は0.67と比較的高かった。荻田、江井ヶ島では、相関係数はそれぞれ0.31、0.11と低い。しかしながら、経時変化を比較すると、荻田では周期の長さ、変化傾向ともに概ね観測データを再現していることがわかる。また、江井ヶ島では、高波浪時には推算データと観測データ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。

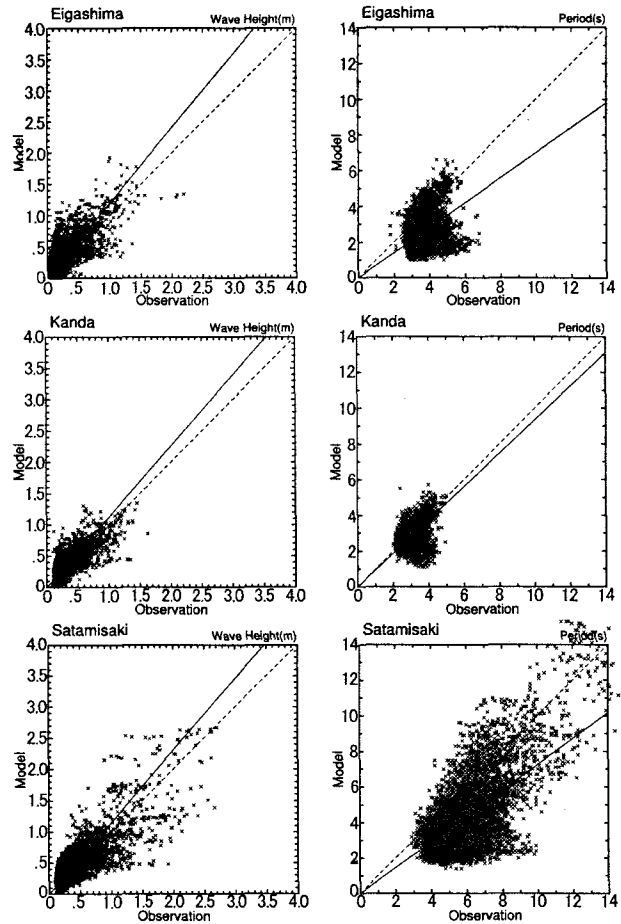


図-6 実測値と推算値の散布図

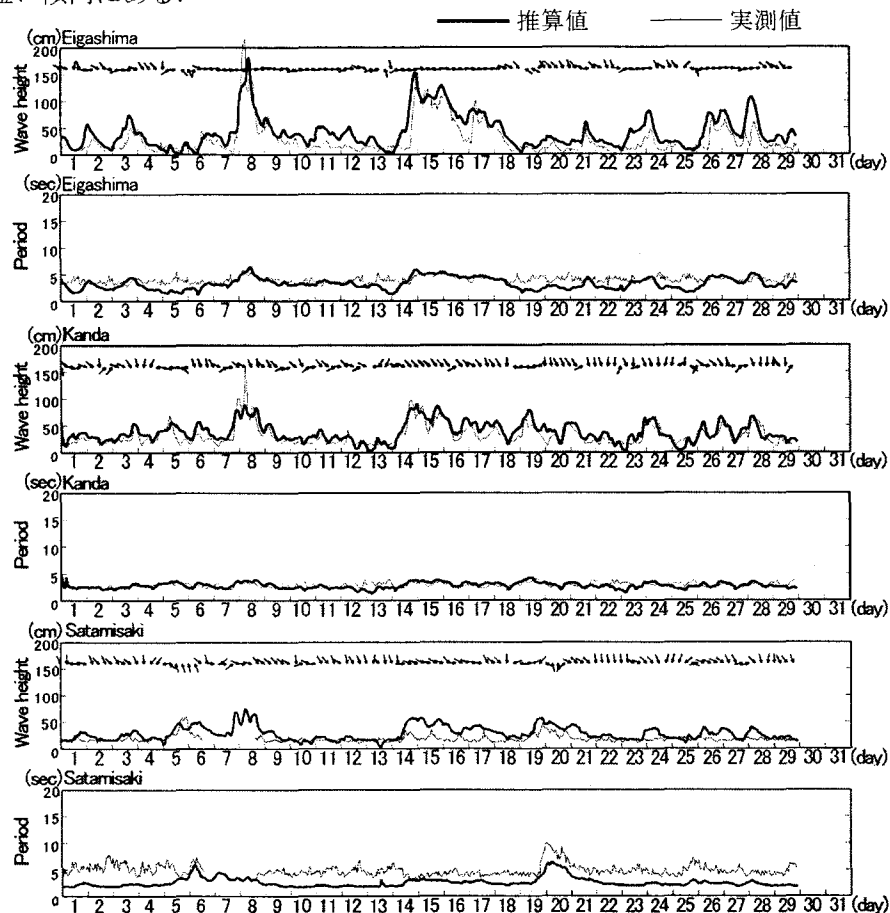


図-5 波浪推算結果と実測値の比較図(2000年2月)

表-3(1) 波高の相関解析結果

観測点	相関係数	回帰係数 計算値=a×観測値
江井ヶ島	0.68	Y=1.20X
佐田岬	0.81	Y=1.15X
荻田	0.78	Y=1.12X

表-3(2) 周期の相関解析結果

観測点	相関係数	回帰係数 計算値=a×観測値
江井ヶ島	0.11	Y=0.70X
佐田岬	0.67	Y=0.73X
荻田	0.31	Y=0.93X

4. 海象情報数値データベースの構築

局地気象モデル及び第三世代波浪推算モデルによる推算結果は、実測値の変動をよく再現しており、低波浪時、高波浪時ともに精度の高い推算結果が得られた。そこで、これらの推算結果を用い、瀬戸内海全域及び広島湾を対象とした常時波浪（2000年1年間）のデータベースと波浪推算図化処理システムを構築した。表-4に図化処理システムの機能一覧、図-7(1)～(5)に表示例を示す。本システムは、任意の期間のデータを、時系列図、方向スペクトル図、波高周期の出現頻度表（図）および平面分布図など、図化して表示することができる。

表-4 図化処理システム機能一覧

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	波高、周期、波向	—
スペクトル図	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

今後データを蓄積していくことにより、本データベースは、以下に示すような利用が可能である。

- ・港湾荷役等の稼働率を算定するための波浪情報
- ・設計沖波を算定するための波浪情報
- ・港湾構造物の安全性の検討
- ・環境保全のための波浪情報
- ・汀線変化予測を行うための波浪情報

港湾計画においては、静穏度解析による港湾荷役等の稼働率算定、設計沖波算定のための高波高事例の抽出等に利用できるほか、港湾構造物の安全性の検討に用いることができる。近年、港湾構造物の安全性の検討に限界状態設計法が取り入れられ、その安全性の検討は、終局限界状態、使用限界状態および疲労限界状態について行うこととされている。このうち疲労限界状態の検討には、供用期間に來襲す

る全ての波浪に対する波高と周期の頻度表が必要となるため、波浪観測データが必要不可欠である。しかし、波浪観測データの観測期間が短かったり、対象地点近傍に波浪観測点がない場合、上記検討は困難になる。波浪推算を実施して得られたスペクトルのデータベースを用いて水位変動をシミュレートし、そのデータをゼロアップクロス法で解析することで供用期間中に來襲する全ての個々波に対する波高と周期の結合頻度表を作成することができる。

環境保全においては、干潟や藻場等の浅海域に対する外力条件を把握するために利用できる。干潟や藻場等の浅海域は、生物の育成・生息の場であり、良好な水環境形成に重要な役割を果たしている。しかし、沿岸部の埋立てや浚渫などにより浅海域が広範囲にわたって消失している。現存している干潟や藻場を保全するとともに、これらを新たに創出する必要がある。近年、干潟や藻場等の浅海域に対する波浪の重要性が着目されており、鳥谷ら⁵⁾は、アマモ実生株の流出メカニズムとその条件を示し、アマモ実生株の成長期にあたる冬期の波浪統計量から地形変化量を算定することによって、アマモ場適地の評価を行うことが重要であることを示した。柿木ら⁶⁾は、干潟の地形変化と気象海象の関係を調査し、波浪と浸食に大きな関係があることを確認した。小澤ら⁷⁾は、浅場、干潟域の潮流シミュレーションに波浪場を考慮することの有意性を示した。時空間的に連続した波浪データを用いることによって、上述の干潟や藻場造成の適地選定の際の外力条件を提供できる。

本データベースは、常時波浪推算データを容易に使用することができる環境を提供するものである。時系列図（図-7(2)）は特定気象擾乱時の波浪特性把握や極値の抽出、頻度表・図（図-7(3)）は波浪統計量の算定、スペクトル図（図-7(4)）は波浪の周波数特性及び方向特性の把握や個々波の算定、平面分布図（図-7(5)）は海域特性把握等に利用できる。

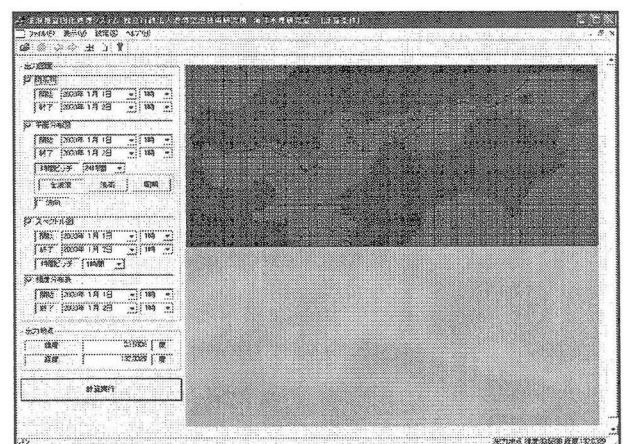


図-7(1) 図化処理システムの表示例（設定画面）

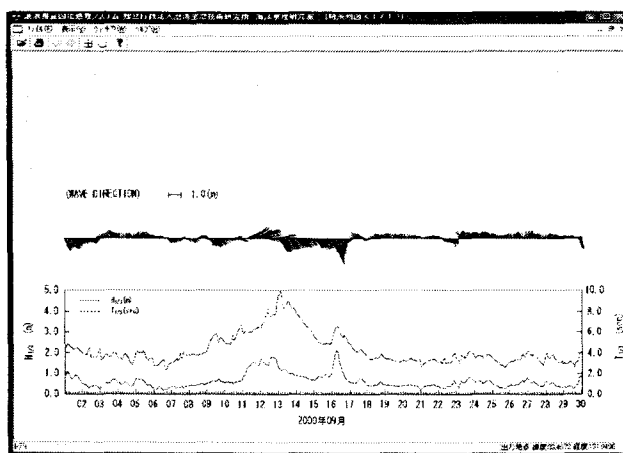


図-7(2) 図化処理システムの表示例 (時系列図)

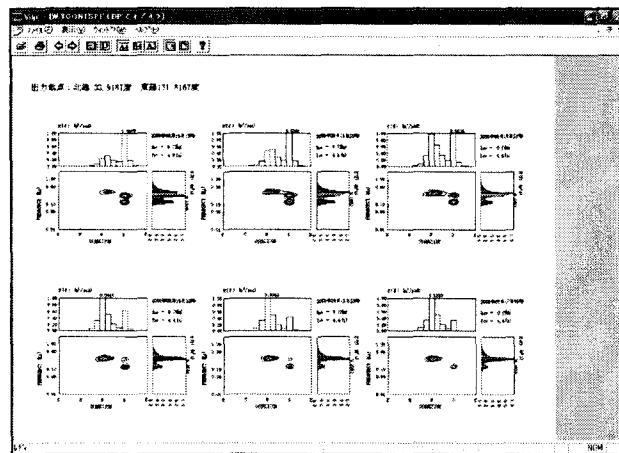


図-7(4) 図化処理システムの表示例 (スペクトル図)

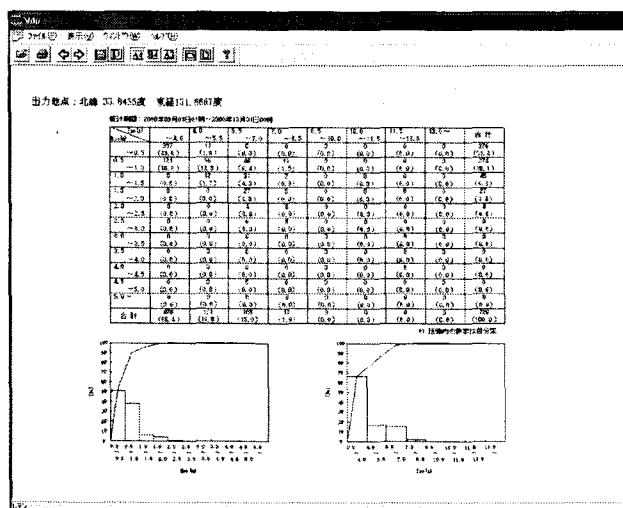


図-7(3) 図化処理システムの表示例 (頻度表・図)

5. おわりに

局地気象モデルおよび拡張 WAM により得られた波浪推算結果は、観測値をほぼ再現しており、瀬戸内海においても実用可能な精度を有することが確認された。これは、風向・風速、波浪の常時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、本研究で用いた波浪推算法によって常時の気象・海象を対象とした数値データベースを経済的に構築できる。そこで、本研究では、得られた推算データをデータベース化し、図化処理システムを構築して、その利用の効率化を図った。

本研究で得られた成果を活用すれば、将来的には内海・内湾域を対象とした総合的な環境データベースを構築することが可能になろう。すなわち、本研究で紹介したのと同様な局地気象と波浪の推算を実施・蓄積し、さらに海面水温、海霧、海洋構造（水温、塩分）、潮流等のデータを付加することにより、瀬戸内海、広島湾の保全と効率的な利用に資することができる海象情報数値データベースの構築が可能になろう。

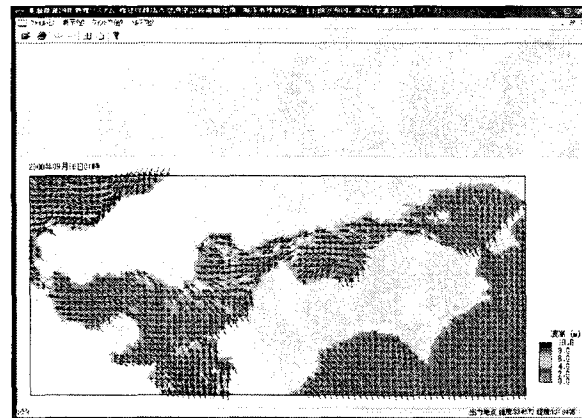


図-7(5) 図化処理システムの表示例 (平面分布図)

参考文献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 鳥谷学，河本武，中瀬浩太，月舘真理雄：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, 2003
- 6) 柿木哲哉，木下栄一郎，滝川清，山田文彦，外村隆臣：平均水面の季節変動が干潟地形に及ぼす影響，海岸工学論文集，第 50 巻，pp. 471-475, 2003
- 7) 小澤宏樹，増田光一，大塚文和，居駒知樹：浅場・干潟域における波浪場を考慮した潮流シミュレーションに関する研究，海岸工学論文集，第 50 巻，pp. 396-400, 2003