

日本近海の波と風の統計的性質

正員 辻 本 勝* 正員 石 田 茂 資*

Statistical Characteristics of Winds and Waves around Japan

by Masaru Tsujimoto, *Member* Shigesuke Ishida, *Member*

Summary

A database was newly constructed for the purpose of investigating winds and waves around Japan. The database is based on numerical forecast data for 10 years. The forecast data were composed of significant wave height, significant wave period, peak wave direction, mean wind speed and mean wind direction. They were calculated at intervals of two minutes in space and twelve hours in time.

In this paper, the statistical characteristics of the database are compared with several existing databases and their features are clarified in two sea areas, one is facing the Pacific Ocean and the other is in Japan Sea as a closed sea area. Using the advantage of high spatial resolution and a large number of data in the database, the detailed distributions of winds and waves in an average and in extreme conditions around Japan are also examined. In addition to the examination, evaluation of statistical characteristics among Japanese navigation areas is carried out.

1. 結 言

海洋の風と波の情報は、船舶運航の必要性から航海記録に記されるようになり、その後、気象、海象の予測や海洋の利用を目的に、船舶だけでなく、ブイ、人工衛星等により広く観測が行われ、収集、整理されるようになった。また、最近では地球環境問題の観点から気候の再解析が行われ、その評価のために必要となる過去の観測データの電子化も行われている。

これまでの船舶通報データは ICOADS¹⁾ (International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set) という形で 1784 年 4 月以降の各国の船舶通報データ約 1.85 億通が継続的に収集、整理されている。また、英国を中心に 1750-1850 年の約 28 万通の船舶通報データが CLIWOC²⁾ (CLImatological database for the World OCeans) という形で整理され、将来 ICOADS に格納される予定である。我が国でも、神戸海洋気象台が保有する神戸コレクションのうち ICOADS 未収録の 1889-1932 年の約 400 万通のデータも 2003 年にデジタル化³⁾ (KoMMeDS-NF) されている。

船舶関連分野では、気象、海象の情報は運航支援の他、耐

航性能、波浪荷重の長期予測といった安全性の観点から利用されており、船舶通報データ等を用いて気象、海象の統計データベースが各種作成されており、その内容が解説されている⁴⁾。

しかし、これらの統計データベースは 1 海域あたりの面積が大きく、日本近海について詳細な検討を行うことは困難であった。これは、船舶通報データにより多くの統計データベースが構築されており、統計的に十分なデータ数を確保させるため、海域を広くしなくてはならなかったことによる。

一方、近年波浪推算の精度が十分実用的なレベルに向上した。波浪推算値は等密度でデータが取得でき、船舶通報データのように航路に偏重したり、荒天避航の影響を受けることがないという特徴がある。

そこで、日本近海での気象、海象の詳細な検討を可能とすることを目的に、波浪推算データを基として統計データベースの構築を行った。これまでに 5 年間分のデータを用いて海象の評価を行った結果は公表されている⁵⁾が、海域区分が従来の統計データベースに従ったものであった。今回、10 年間分のデータにより統計的な信頼性を向上させるとともに、海域区分を緯度経度各 0.5 度間隔と詳細にして統計データベースを構築し、GUI 機能を付けて日本近海の波と風データベース⁶⁾として公開したので、そのデータベースの概要、他データベースとの比較検証及び本データベースを用いた気象、海象の評価結果について報告する。

* (独) 海上技術安全研究所

原稿受理 平成 17 年 9 月 26 日

2. 日本近海の波と風データベースの内容

日本近海の波と風データベースは波浪推算値を基に、気象、海象の数値データを発現頻度表の形でデータベース化したものである。

波浪推算値は、1日2回気象庁より緯度経度各6分（日本近海で9～11km程度）格子間隔で配信される日本沿岸波浪GPV（Grid Point Value）を基に、（財）日本気象協会が地形による遮蔽と局所的な風波を加味し、緯度経度各2分（日本近海で3～3.7km程度）の格子間隔に内挿したものである。

この波浪推算データは有義波高 H 、有義波周期 T 、卓越波向 χ 、平均風速 V_w 、平均風向 γ の5要素から構成され、領域は北緯20～50度、東経120～150度のFig.1に示す範囲である。

波浪推算値の精度は、沿岸波浪計による観測値との比較から、有義波高の12時間先予測値で相関係数が0.885～0.912であることが報告されている⁷⁾。

この波浪推算値を基に、緯度経度各0.5度間隔で統計データベースを作成した。使用した波浪推算データの期間は1994年2月1日～2004年1月31日（10年間、12時間間隔）である。波浪推算値を用いることにより、時間、空間に対し均等かつ高密度のデータベースが構築できる。このデータベースでは、波と風の5要素(H, T, χ, V_w, γ)から2要素を選んだ発現頻度表及び波の3要素(H, T, χ)の発現頻度表を月別にデータベース化している。発現頻度表では各要素を H : 0.5m, T : 1.0s, V_w : 2.5m/s, χ 及び γ : 30度に区分している。

このデータベースでは波の3要素の同時発現確率 $p(H, T, \chi)$ が利用でき、これまで船体応答の長期予測法で近似的に使用してきた(1)式に代わり(2)式が使用できる。このことが長期予測値に及ぼす影響については著者等によりすでに検討が行われている⁸⁾。

$$p(H, T, \chi) \approx p(H, T)p(\chi) \quad (1)$$

$$p(H, T, \chi) = p(H, T|\chi)p(\chi) \quad (2)$$

ここで、 $p(H, T)$ は H と T の同時発現確率、 $p(\chi)$ は χ の発現確率、 $p(H, T|\chi)$ は χ に関する H と T の条件付き同時発現確率である。

3. データベースの比較検証

3.1 各種データベースの内容

これまでに統計データベース間の比較検証は Guedes Soares⁹⁾、土岐¹⁰⁾、新開・万¹¹⁾、崔・平山¹²⁾により行われて

おり、いずれも無視できない差があることが報告されている。

ここでは、日本近海で利用が可能な気象、海象の統計データベースを用いて超過確率の比較を行い、各データベースの検証を行った。日本近海の波と風データベース（以下、WWJAPAN）の他、使用した統計データベースの概要を以下に記す。

(1) 船舶通報データを基に再構築したデータベース

船舶通報データを基に関数モデルによりデータを再構築し、有義波高—平均波周期、平均風速の発現頻度表を構築した、PC Global Wave Statistics¹³⁾（以下、GWS）及びデータソースが異なるもののGWSと同じ手法を用い、有義波高—平均波周期の発現頻度表を構築したWave Statistics for the Northwest Pacific Ocean Areas¹⁴⁾（以下、WSNPOA）を用いる。

なお、このPC Global Wave StatisticsはMS DOS上で動作し、書籍版に比べ確率表示の桁数が多いものであり、桁落ちの影響を考慮する必要がない。

(2) 船舶通報データによるデータベース

船舶通報データにより目視波高—目視波周期の発現頻度表を構築した、STATISTICAL DIAGRAMS ON THE WINDS AND WAVES ON THE NORTH PACIFIC OCEAN¹⁵⁾（以下、WWNPO I）、WINDS AND WAVES OF THE NORTH PACIFIC OCEAN¹⁶⁾（以下、WWNPO II）及び北太平洋の波と風¹⁷⁾に収録の船舶通報データによるもの（以下、WWNPO III(SR)）を用いる。

このうち、WWNPO I及びWWNPO IIIは平均風速の発現頻度表も利用できる。

(3) 波浪追算データによるデータベース

波浪追算データにより有義波高—有義波周期、平均風速の発現頻度表を構築した、北太平洋の波と風¹⁷⁾に収録の波浪追算データによるもの（以下、WWNPO III(HC)）及びEuropean Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)が実施した波浪追算データERA-40から有義波高—平均波周期の発現頻度表を構築したGLOBAL WAVE CLIMATOLOGY ATLAS¹⁸⁾（以下、GWCA）を用いる。

ただし、GWCAは人工衛星搭載のマイクロ波高度計データにより有義波高のバイアス修正をしたデータセットにより構築されたものを使用する。

(4) 人工衛星データによるデータベース

これらに加え、有義波高の超過確率には、人工衛星搭載のマイクロ波高度計データから有義波高の発現頻度表を構築した、Wave Height of World Oceans¹⁹⁾（以下、HWO）も使用する。

対象とする海域は、これらのデータベースのうち最も広く

区分される GWS におけるものを用い、GWS29 海域（太平洋側）及び GWS18 海域（日本海）に相当するものを用いた。これら海域区分を Fig.1 に、相当海域とデータ数を Table1, 2 に示す。船舶通報データの件数は GWS18 海域では GWS29 海域に比べ 1/4 程度と少ないことが分かる。

GWCA の海域区分は緯度経度各 9 度であり、GWS18 海域に対しては三陸東方海域を含む等、海域が若干相違するので、他データベースとの比較では注意が必要である。また、GWS29 海域に対しては GWCA の海域区分との一致が悪い

Table 1 Area definitions of databases at GWS29.

GWS29	Area	Number of Data
WWJAPAN	#29	555,001,000
GWS	#29	722,672
WSNPOA	NW11, NW17, NW18, NW19	428,730
WWNPO I	#6, #10, #11, #12	20,631
WWNPO II	E05N, E05S, E08,	134,508
WWNPO III (SR)	E09N, E09S,	164,498
WWNPO III (HC)	E10N, E10S	144,628
HWO	#29	54,456

Table 2 Area definitions of databases at GWS18.

GWS18	Area	Number of Data
WWJAPAN	#18	524,288,914
GWS	#18	171,089
WSNPOA	J1, J2	78,718
WWNPO II	E02N, E02S	30,937
WWNPO III (SR)		21,666
WWNPO III (HC)		78,888
HWO	#18	106,645
GWCA	#18W, #18E	2,325,974

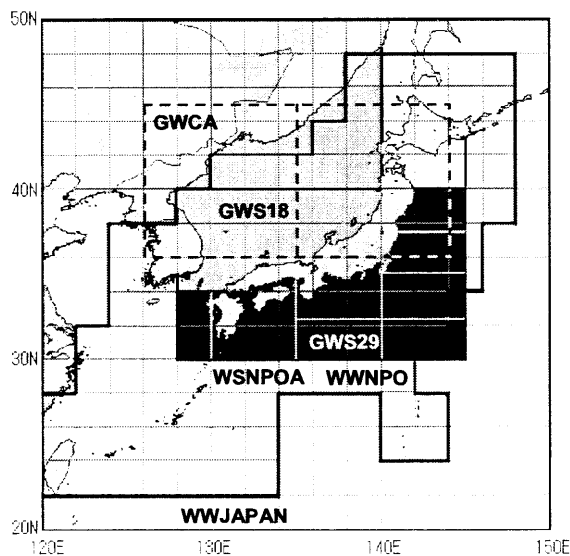


Fig.1 Area divisions.

ため使用しない。また、GWS18 海域における WWNPO I データは観測数が 1,000 未満であって統計的に不十分であるので使用しなかった。

なお、ここでは目視波高、有義波高は同じとし、区別せず波高と呼び、目視波周期、平均波周期、有義波周期もそれぞれ同じとし、波周期と呼ぶ。

3.2 超過確率による検証

GWS29, GWS18 海域における平均風速、波高、波周期の超過確率を Fig.2～7 に示す。

超過確率 Q は事象 t の発現確率 $p(t)$ を用いて (3) 式で示される。

$$Q(x) = 1 - \int_0^x p(t) dt \quad (3)$$

Fig.2～7 から全体的な傾向を見ると、GWS18 海域（日本海）の方がデータベース間のばらつきが大きいことが分かる。この理由の一つに、3.1 節で述べた GWS の関数モデルや波浪追算のモデルにおいて、閉鎖海域の影響の取り入れ方に差異があることが挙げられる。なお、太平洋側の GWS29 海域でも波周期 (Fig.4) ではばらつきが大きい、これについては後に述べる。

海域毎に詳しく見ると、GWS29 海域では、同一超過確率に対する平均風速は WWNPO I、WWNPO III (SR) が他より大きい、他はほぼ同等の傾向を示している。また、同一超過確率に対する波高は GWS が大きく、WWNPO III (HC) が小さい、他はほぼ同等の傾向を示していると言える。波周期の超過確率から、船舶通報データ（WWNPO I、WWNPO II 及び WWNPO III (SR)）では波周期 5s での超過確率が小さいことが分かる。これは、いずれも目視波周期 0～5s を 1 つの傾度区分として解析しているためであり、波周期 5s 以下での解像度が不足していることが分かる。ただし、船体応答の長期予測を行う場合、一般の外航船ではこのような小さな波周期では応答が小さく、解像度が不足している影響は小さい。また、Fig.4 から、WWNPO I では目視波周期 15～17s の発現確率が大きく、他と超過確率の分布形状が異なっている。これは、観測誤差、通報誤差の影響と考えられる。

GWS18 海域では、同一超過確率に対する平均風速は WWJAPAN、WWNPO III (HC) が他に比べ小さいこと、同一超過確率に対する波高は GWS が他に比べ大きく、WWNPO III (HC)、WWJAPAN は小さいことが分かる。この理由としては、先に述べたことその他、平均風速が小さく評価されているため、それにより推算、追算される波高が小さく評価されることが挙げられる。また、定性的には、GWS18 海域は周囲

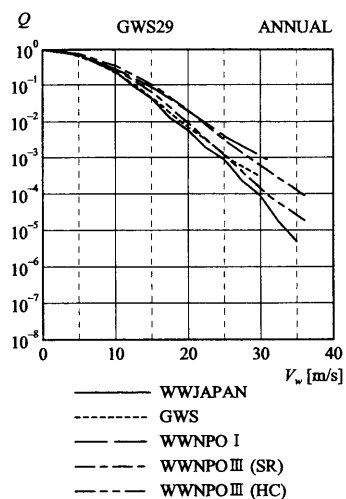


Fig.2 Excess probabilities of mean wind speed in GWS29.

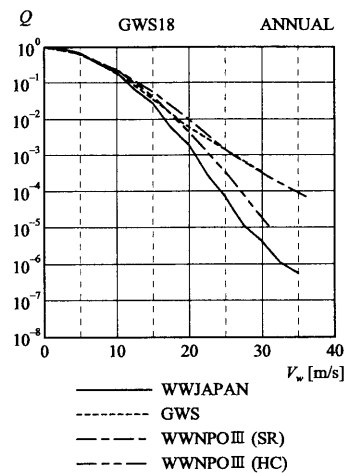


Fig.5 Excess probabilities of mean wind speed in GWS18.

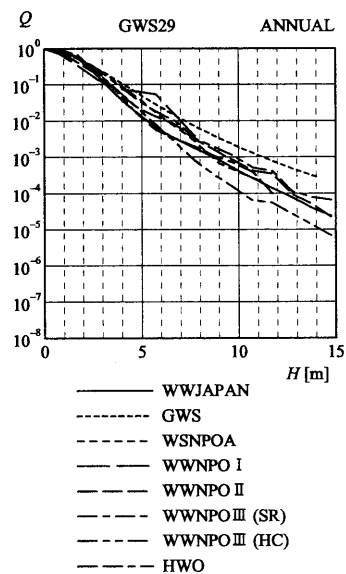


Fig.3 Excess probabilities of significant wave height in GWS29.

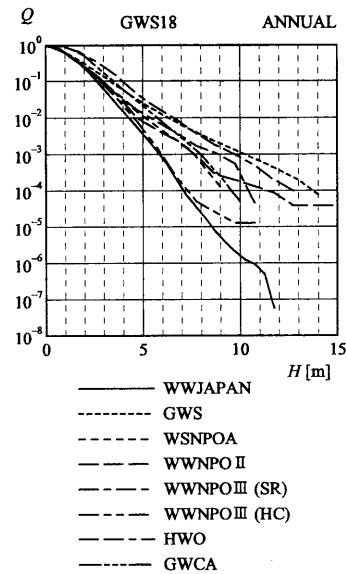


Fig.6 Excess probabilities of significant wave height in GWS18.

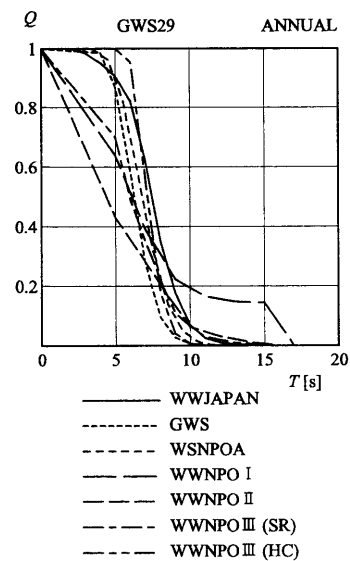


Fig.4 Excess probabilities of significant wave period in GWS29.

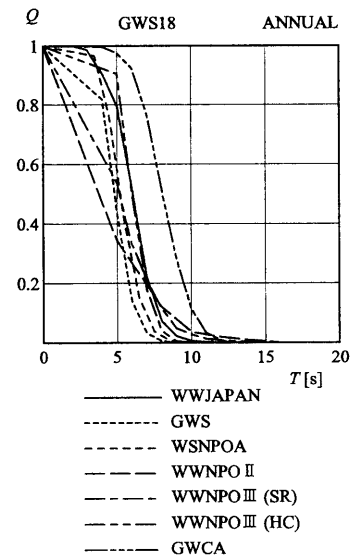


Fig.7 Excess probabilities of significant wave period in GWS18.

を閉鎖されている日本海であり、波を発達させる吹送距離が限定されること、南方からうねりが伝播してこないことから、GWS29 海域に比べ、同一超過確率を与える波高は小さい。波周期については、Fig.7 から、GWCA は日本海における波周期を他に比べて一律に大きく推定していることが分かる。この超過確率の形状が Fig.4 に示す太平洋側の他データベースによる形状に近いことから、GWCA では日本海における波周期を上手く表現していないことが分かる。

Fig.5, 6 に示す通り、GWS18 海域では GWS29 海域に比べ、各データベースが示す平均風速、波高の超過確率がよりばらついている。各データベース間で、それぞれデータ種別、収集期間、観測位置が異なることを考えると、これらの絶対的な評価は困難であるが、先に述べたとおり、閉鎖海域の影響の取り入れ方にそれぞれ差異があり、それが太平洋側に比べ超過確率がばらついている一因となっている。

このことから、特に日本海のような閉鎖海域ではデータベースの特徴を捉えて利用することが重要である。

3.3 船体応答長期予測による比較検討

統計データベースは、主に船体応答の長期予測法²⁰⁾の入力として用いられる。ここでは、各種統計データベースに対する長期予測結果の比較検討を行う。

本来は複数の船種、船型、応答の種類について計算し、検討するべきであるが、参考文献^{9)~12)}でも同様のことが調べられていることから、今回は一例として、1 軸コンテナ船 (SR108 船型、垂線間長 $L_{pp}=175\text{m}$ 、幅 $B=25.4\text{m}$)、フルード数 $F_n=0.275$ について、船体応答を船体中央部の縦曲げモーメント M_v として調べる。この周波数振幅応答関数を Fig.8 に示す。ここで、 λ : 波長、 ζ_a : 波振幅、 ρ : 海水密

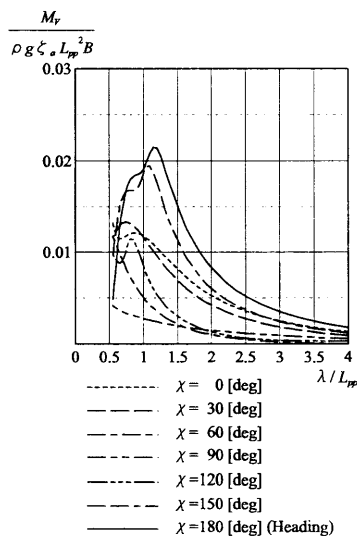


Fig.8 Response amplitude operators of vertical bending moment ($F_n=0.275$).

度、 g : 重力加速度である。

船体応答の短期予測では、周波数スペクトラムに ISSC スペクトラム、方向分布関数にコサイン 2 乗型分布を使用し、長期予測では、主波向は全方向一様に分布するとして計算している。

GWS29 海域と GWS18 海域での長期予測結果を Fig.9, 10 に示す。Fig.9 より、GWS29 海域では、WSNPOA 及び WWNPO I の結果が他と傾向が異なること、そして他よりも縦曲げモーメントを小さく推定していることが分かる。Fig.10 より、GWS18 海域では、使用データにより長期予測値がばらついていること、そして WSNPOA 及び WWJAPAN の結果が最小となっていることが分かる。

これまでに、発現確率のフォーマットが船体応答の長期予

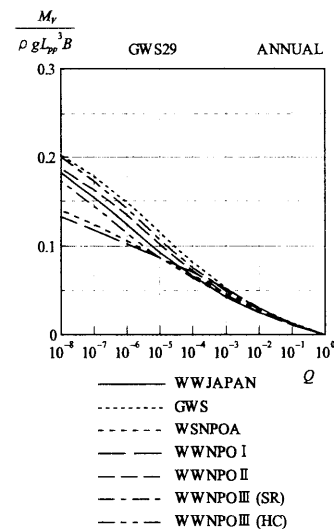


Fig.9 Long term predictions of vertical bending moment at midship in GWS29.

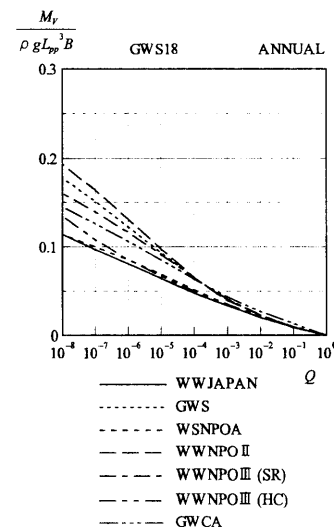


Fig.10 Long term predictions of vertical bending moment at midship in GWS18.

測値に及ぼす影響が調べられ、表示桁数が少ない場合、その船体応答長期予測値は小さく推定することが示されている¹⁾。今回使用したデータベースの中では、WSNPOAのみ確率表示が3桁に丸められており、これがGWS29及びGWS18海域でWSNPOAによる長期予測値が小さく推定される理由と考えられる。次に、WWNPO IはTable1に示す通りデータ数が約2万件と少ないこと、また、Fig.4に示す通り波周期の分布形状が他データベースと大きく異なっていることから、これらにより長期予測値を小さく推定したと考えられる。GWS18海域でWWJAPANによる長期予測値が小さく推定される理由は、Fig.6に示す通り、他データベースに比べ同一超過確率を与える波高が小さく推定されているためである。

一方、GWS18海域での長期予測結果で、WWNPO IIを使

用したものが最大となっているが、Fig.6に示す同一超過確率に対する波高はWWNPO IIが最大となっていないことから、これは、波周期の頻度区分が6区分と他のデータベースの11区分以上に比べ粗く、波周期5s以下の観測が多いことによるものと考えられる。

4. 日本近海の波と風データベースによる気象海象評価

4.1 等値線による気象海象評価

日本近海の波と風データベースを用いて平均的傾向、荒れた状態での傾向を空間分布を作成することにより知ることができる。

平均風速及び有義波高について通年平均値の等値線をFig.11, 12に示す。

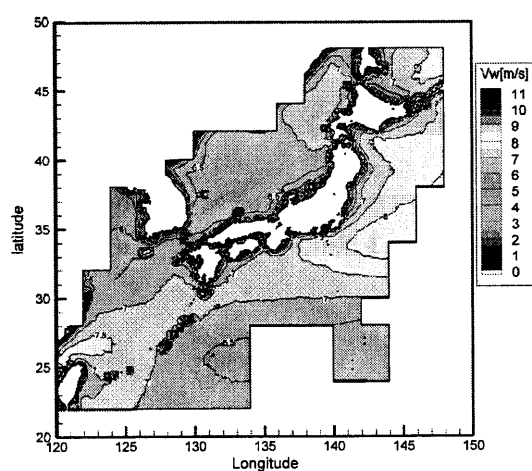


Fig.11 Contours of annual mean of mean wind speed.

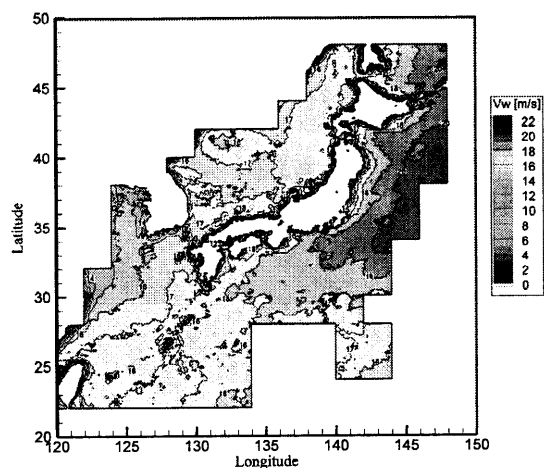


Fig.13 Contours of mean wind speed at excess probability 10^{-2} (annual).

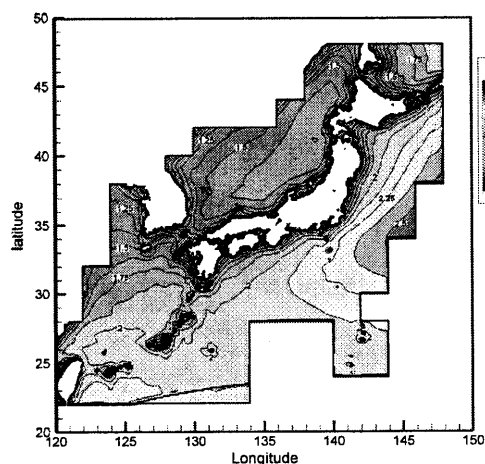


Fig.12 Contours of annual mean of significant wave height.

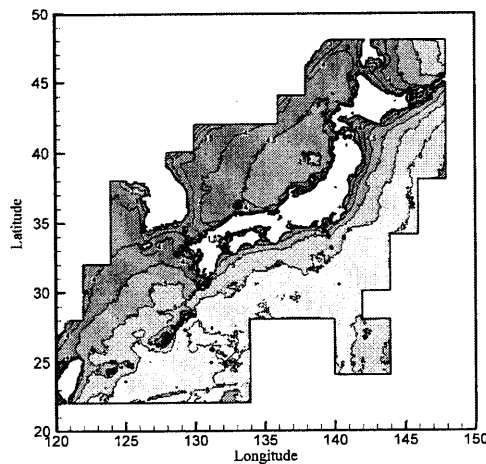


Fig.14 Contours of significant wave height at excess probability 10^{-2} (annual).

Fig.11 から、平均風速の通年平均値は、房総半島東方海域で 8m/s を超え大きいこと、日本海では北海道西方で約 7m/s 、東シナ海では台湾北方海域で約 7.5m/s の空間的ピークを有することが分かる。Fig.12 から、有義波高の通年平均値は、房総半島東方海域で 2.5m 程度と沖合に行くに従い大きくなること、日本海では津軽海峡西部で約 1.75m のピークが存在することが分かる。なお、有義波高の平均的傾向は、第三世代モデル WAM による波浪追算でも調べられており、同等の結果が示されている²¹⁾。

次に、気象、海象の荒れやすさの状態は、超過確率 Q を用いて表すことができる。超過確率 $Q=10^{-2}$ となる平均風速及び有義波高の値を各地点で求め、その等値線をそれぞれ Fig.13, 14 に示す。

Fig.13 から、三陸東方から房総半島東方にかけて平均風速 20m/s 程度の強風海域が広がっていることが分かる。これは冬季季節風によりこの海域の風速が大きくなることから、その影響と考えられる。

Fig.14 から、沖縄南東海域が荒れやすい海域であり有義波高 6m 程度であることが分かる。これは台風の影響と考えられる。

4.2 航行区域の気象海象評価

航行海域の気象、海象を把握することは内航船の安全性を評価するために重要である。そこで、限定近海貨物船の航行区域(Fig.15)、沿海区域(Fig.15)、瀬戸内海(領海法施行令による)(Fig.16)、平水区域(東京湾、陸奥湾、七尾湾、鹿児島湾)(Fig.17)における気象、海象の評価を行った。なお、限定近海貨物船の航行区域は Fig.15 白抜き部で日本を囲む外側の線内、沿海区域はその内側に示す線内で解析を行った。

各海域における平均風速、有義波高の超過確率を Fig.18, Fig.19 に示す。なお、北太平洋の値は WWNPOIII(SR)によるものである。

Fig.18 に示す平均風速の超過確率から、瀬戸内海は平水区域と超過確率の特性は同等であることが分かる。

Fig.19 に示す有義波高の超過確率から、限定近海貨物船の航行区域、沿海区域に対し、平水区域は同一超過確率に対する有義波高が小さいこと、平水区域間ではほぼ同等の特性を表すことが分かる。また、瀬戸内海は平水区域に対して、同一超過確率に対する有義波高の値が大きく、その値は超過確率の減少と共に沿海区域での値に近づくことが分かる。

そこで、瀬戸内海から有義波高が高いと考えられる紀伊水道以南の海域を除き解析を行った。その結果、この海域の超過確率は平水区域と同等の特性を示した。一方、瀬戸内海から紀伊水道以南を除く場合と除かない場合とで平均風速の超過確率の差は殆ど生じない。

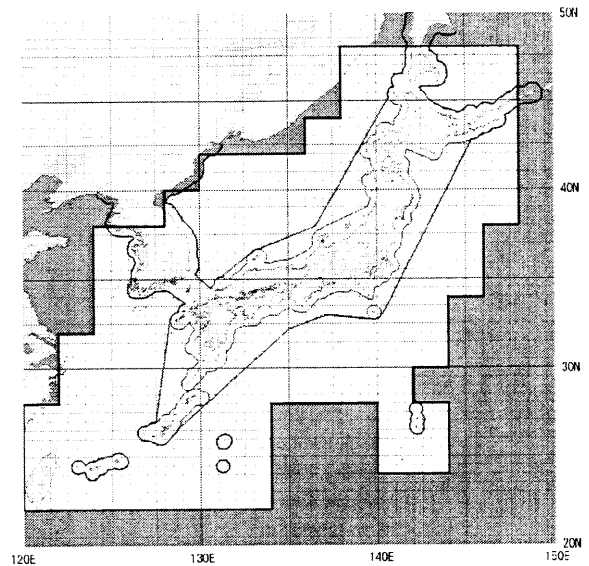


Fig.15 Area definition (enclosed with outer line; limited offshore area, and inner line; inshore area).

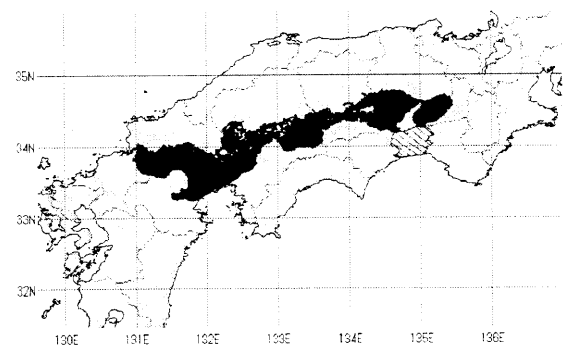


Fig.16 Seto Inland Sea (black and hatching part) and Kii Channel (hatching part).

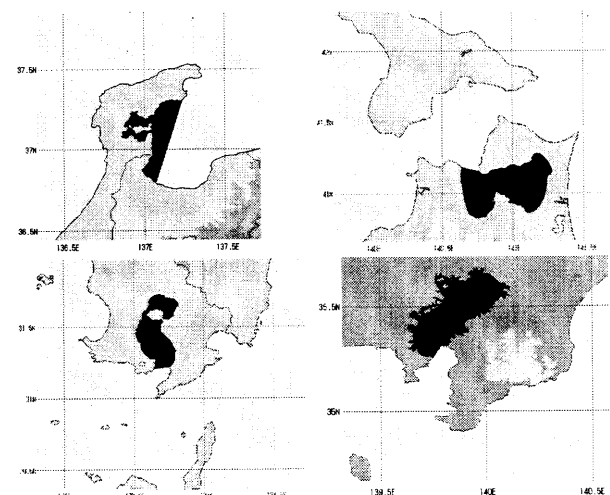


Fig.17 Smooth water areas (black part: upper left; Nanao Bay, lower left; Kagoshima Bay, upper right; Mutsu Bay, and lower right; Tokyo Bay).

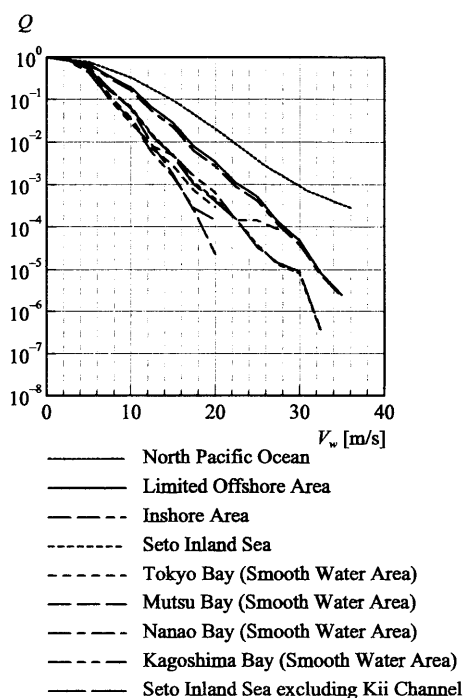


Fig.18 Excess probabilities of mean wind speed.

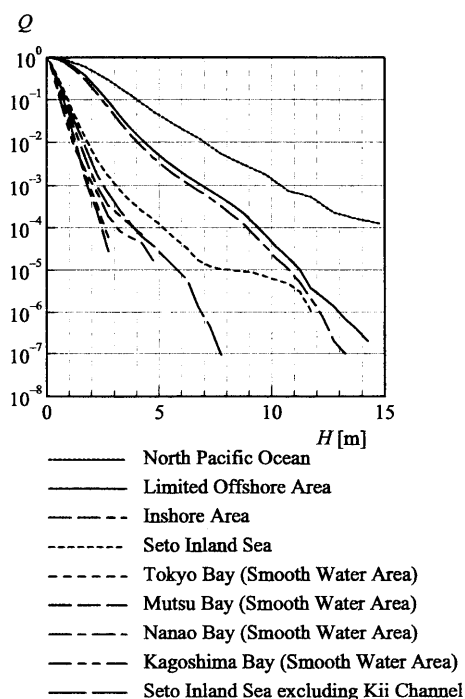


Fig.19 Excess probabilities of significant wave height.

これらから、瀬戸内海から紀伊水道以南を除いた海域では平水区域と同等の有義波高、平均風速の特性を示すことが分かる。また、瀬戸内海の紀伊水道以南の海域では、瀬戸内海の他の海域とは有義波高の超過確率の特性が異なるが、風速の特性が同じことから、これはうねりの影響であることが分かる。

5. 結 言

10 年間分の詳細な波浪推算値を基に、新たに日本近海の波と風データベースを構築し、日本近海の波と風の統計的性質について以下の検討を行い、本データベースの有効性を示した。

- (1) 日本近海の波と風データベースと、これまでに公表されている他データベースとの比較を波高、波周期、風速の超過確率及び SR108 船型（フルード数 $F_n=0.275$ ）の船体中央部縦曲げモーメントの長期予測により行った。太平洋側に比べ日本海では、使用するデータベースにより波高の超過確率及び長期予測値のばらつきが大きいことが明らかとなった。各データベースで、それぞれデータ種別、収集期間、観測位置が異なるため、絶対的な評価は困難であるが、閉鎖海域の影響の取り入れ方にそれぞれ差異があり、それが太平洋側に比べ日本海での波高の超過確率がばらついている一因となっている。このことから、特に日本海のような閉鎖海域ではデータベースの特徴を捉えて利用することが重要である。
- (2) 日本近海の気象、海象の平均的な傾向、比較的荒れた状態の傾向を調べた。その結果、平均風速は房総半島東方海域で大きく、日本海では北海道西方、東シナ海では台湾北方海域でピークを有すること、三陸東方から房総半島東方強風海域が広がっていること、有義波高は、房総半島東方で大きく、日本海では津軽海峡西部に有義波高のピークが存在すること、沖縄南東海域は荒れやすい海域であることが明らかとなった。
- (3) 航行区域における気象、海象を超過確率により評価した。特に、瀬戸内海の紀伊水道南部ではうねりの影響により瀬戸内海の他の海域とは海象の特性が異なることが明らかとなった。

参 考 文 献

- 1) <http://www.cdc.noaa.gov/coads/>
- 2) <http://www.ucm.es/info/cliwoc/>
- 3) Japan Weather Association, The Kobe Collection Maritime Meteorological Data Sets funded by the Nippon Foundation, CD-ROM, 2003.
- 4) 石田茂資, 小川剛孝: 波浪データベースの整備状況, 日本造船学会誌, 第 831 号, 1998, pp.3-10.
- 5) 小川剛孝, 田口晴邦, 石田茂資, 渡辺巖, 沢田博史, 辻本勝, 南真紀子: 合理的な乾舷設定法に関する研究, 船舶技術研究所報告, 第 37 巻第 6 号, 2000, pp.28-49, pp.73-97.
- 6) http://www.nmri.go.jp/wwjapan/namikaze_main.html

- 7) 日本気象協会：沿岸局地波浪予測手法の研究開発報告書，平成 6 年度事業，1995，pp.167-176, pp.217-230.
- 8) 辻本勝，小川剛孝：波高一波周期一波向の 3 相関統計データと船体応答長期予測法への適用について，関西造船協会論文集，第 236 号，2001，pp.199-209.
- 9) Guedes Soares, C.: On the Definition of Rule Requirements for Wave Induced Vertical Bending Moments, Marine Structures, 9, 1996, pp.409-425.
- 10) 土岐直二：設計海象の設定法に関する研究，西部造船会々報，第 89 号，1995，pp.191-208.
- 11) 新開明二，万順涛：北太平洋の波浪統計データの利用と長期予測，西部造船会々報，第 90 号，1995，pp.127-136.
- 12) 崔龍虎，平山次清：長期波浪データベース間の相互関係－波浪データベースの統合に向けて－，日本造船学会論文集，第 188 号，2000，pp.239-250.
- 13) PC Global Wave Statistics, British Maritime Technology Limited, 1988.
- 14) Fang, Z., Jin, C. and Miao, Q.: Wave Statistics for the Northwest Pacific Ocean Areas, National Defence Industry Press, 1996 (in Chinese).
- 15) Yamanouchi, Y. and Ogawa, A.: STATISTICAL DIAGRAMS ON THE WINDS AND WAVES ON THE NORTH PACIFIC OCEAN, Papers of Ship Research Institute, Supplement No.2, 1970.
- 16) Takaishi, Y., Matsumoto, T. and Ohmatsu, S.: WINDS AND WAVES OF THE NORTH PACIFIC OCEAN (1964-1973), Papers of Ship Research Institute, Supplement No.3, 1980.
- 17) 渡辺巖，富田宏，谷澤克治：北太平洋の波と風(1974～1988)，船舶技術研究所報告，別冊第 14 号，1992.
- 18) Caires, S., Sterl, A., Komen, G. and Swail, V.: GLOBAL WAVE CLIMATOLOGY ATLAS, <http://www.knmi.nl/wave-atlas>
- 19) Ogawa, Y., Ozmen, G. and Watanabe, I.: The Statistical Characteristics of Wave Height Data Measured by an Altimeter Loaded on the Satellite, GEOSAT, Papers of Ship Research Institute, Vol.34, No.4, Technical Report, 1997, pp.1-14, http://www.nmri.go.jp/wavedb/world_wave/NmriWorldWaveViewerApplet1.html
- 20) 福田淳一：船体応答の統計的予測，耐航性に関するシンポジウム，日本造船学会，1969，pp.99-119.
- 21) Kawaguchi, K. and Hashimoto, N.: Characteristics of Ocean Waves around Japan Based on WAM Wave Hindcasting Data, Proc. of 13th ISOPE, 2003, pp 189-195.