

日本近海の波と風データベース

辻本 勝*, 石田 茂資**

Statistical Database of Winds and Waves around Japan

by

Masaru TSUJIMOTO and Shigesuke ISHIDA

Abstract

A statistical database of winds and waves around Japan based on 10-year numerical forecast data is developed. The database is comprised of statistics of sea areas of 0.5 degrees of longitude and latitude on significant wave height, significant wave period, peak wave direction, mean wind speed and mean wind direction at 10m above sea surface. These data are calculated at intervals of two minutes in space and twelve hours in time.

The database has a feature that the division of sea area is fine and the three-component scatter diagrams of waves, i.e. significant wave height-significant wave period-peak wave direction, are implemented.

In this paper, the specification of the database and graphical user interface are explained. The result of validation study with several existing databases and statistical characteristics around Japan is also described.

* 流体設計系, ** 洋上再生エネルギー開発系

原稿受付 平成28年1月29日

審査日 平成28年2月24日

目 次

1. まえがき	44
2. 日本近海の波と風データベース	44
2.1 波浪推算データのデータベース化	44
2.2 データベースの検証	45
2.2.1 各種データベースとの比較検証	45
2.2.2 航行区域の気象海象評価	48
2.3 表示プログラムの開発	50
3. 日本近海の波と風の統計的性質	51
3.1 波と風の平均値の空間分布	51
3.2 長期分布推定による年間最大値の推定	51
4. まとめ	53
参考文献	53

1. まえがき

海洋の波と風の情報は、船舶の運航上の必要性から航海記録に記されるようになり、その後、気象海象の数値予測とそれに基づく安全運航、効率運航、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。当所は前身の船舶技術研究所時代から、気象海象に関する長期統計を作成し、広く一般の利用に供している^{1), 2), 3), 4)}。

このような観測値から作成された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、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、近年では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への偏重や荒天避航の影響を受け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、10年間分の波浪推算データを使用して統計的な信頼性を向上させた波と風データベースを構築した。本データベースについては、一般向けに海域区分を緯度経度各2度間隔としたものをホームページ上で無償公開している。また、より詳細な検討が可能なように海域区分を緯度経度各0.5度間隔とし、GUI機能を付けたものを日本近海の波と風データベース⁵⁾として2005年から公開している。以下では本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紹介する。

2. 日本近海の波と風データベース

2.1 波浪推算データのデータベース化

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、（一財）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）の格子間隔に内挿計算したものである。

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要素から構成されている。風速と風向は海面上10mにおける10分間平均値である。データ領域は北緯20～50度、

東経120～150度の図1に白抜きで示す範囲である。図1には、沿海区域を赤線、限定近海貨物船の航行可能な区域を黒線で示す。

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⁶⁾。

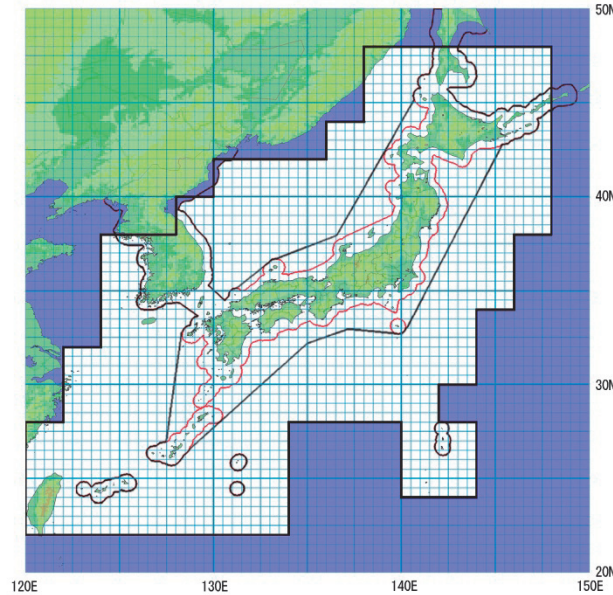


図1 海域区分(沿海区域：赤線，限定近海貨物船の航行可能な区域：黒線)

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10種類の発現頻度表及び波の3要素（ H, T, χ ）の発現頻度表を、全期間，季節別及び月別にデータベース化している。

また、発現頻度表では各要素をそれぞれ、有義波高は0.5m区分，有義波周期は1.0s区分，平均風速は2.5m/s区分，卓越波向及び平均風向は30度区分としている。

これまで波浪長期データベースで波の3要素の同時発現確率 $p(H, T, \chi)$ が利用できるものではなく、代わりに船体応答の長期予測法では、波向の発現確率（ $p(\chi)$ ）が波高，波周期の同時発現確率（ $p(H, T)$ ）と独立と仮定する(2.1)式に示す関係を使用してきた。本データベースでは初めて本格的に波の3要素の同時発現確率を利用することができ、(2.2)式で示す関係を使用することも特徴である。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検討が行われている⁷⁾。

$$p(H, T, \chi) \approx p(H, T)p(\chi) \quad (2.1)$$

$$p(H, T, \chi) = p(H, T|\chi)p(\chi) \quad (2.2)$$

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

2.2 データベースの検証

2.2.1 各種データベースとの比較検証

これまでに各種統計データベース間の比較検証はGuedes Soares⁸⁾，土岐⁹⁾，新開・万¹⁰⁾，崔・平山¹¹⁾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。本データベースについても日本近海で利用が

可能な気象、海象の統計データベースを用いて比較、検証を行っている¹²⁾。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十分多く、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 OCEAN¹⁾（以下、WWNPO I）、WINDS AND WAVES OF THE NORTH PACIFIC OCEAN²⁾（以下、WWNPO II）及び北太平洋の波と風³⁾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³⁾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 ATLAS¹⁵⁾（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

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 Oceans⁴⁾（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。これら海域区分を図2に、相当海域とデータ数を表1と表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、ここでは目視波高と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、総じて波周期と呼ぶ。

表1 GWS29（太平洋側）に相当する海域区分とデータ数

データベース	海域区分	データ数
WWJAPAN	GWS29 相当	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

表2 GWS18（日本海側）に相当する海域区分とデータ数

データベース	海域区分	データ数
WWJAPAN	GWS18 相当	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

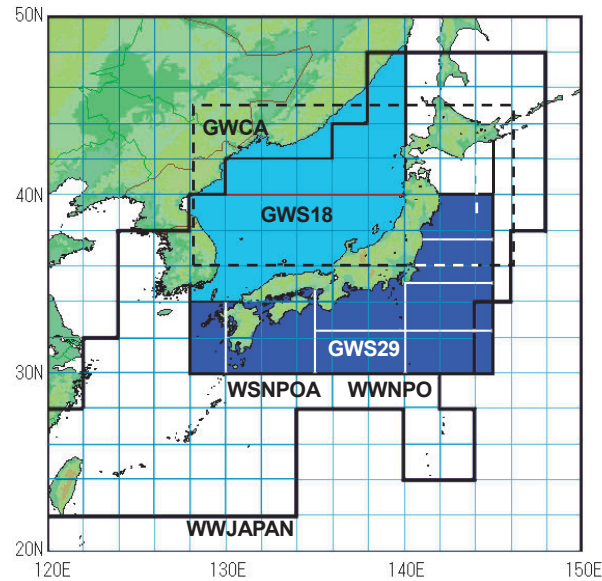


図2 各データベースの海域区分

データベース間の比較は(2.3)式に示す超過確率 (Q) により行った. ここで, $p(t)$ は事象 t の発現確率である.

$$Q(x) = 1 - \int_0^x p(t) dt \quad (2.3)$$

比較の結果, 図3から図8に示すとおり太平洋側に比べ日本海側では, 使用するデータベースにより波高の超過確率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側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.

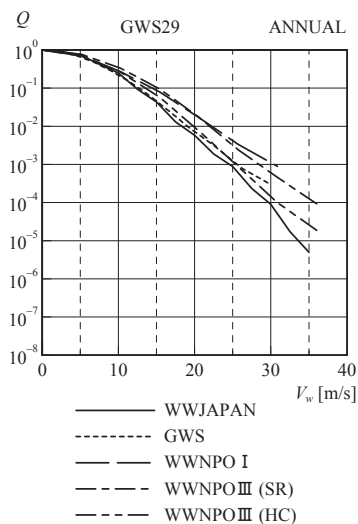


図3 平均風速の超過確率 (GWS29)

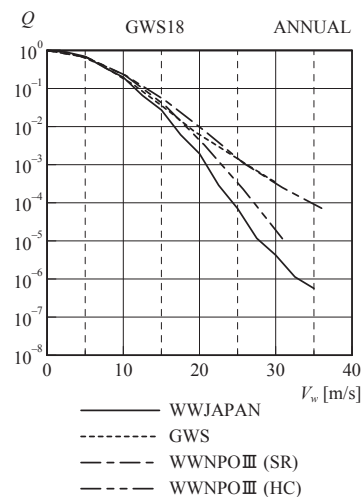


図4 平均風速の超過確率 (GWS18)

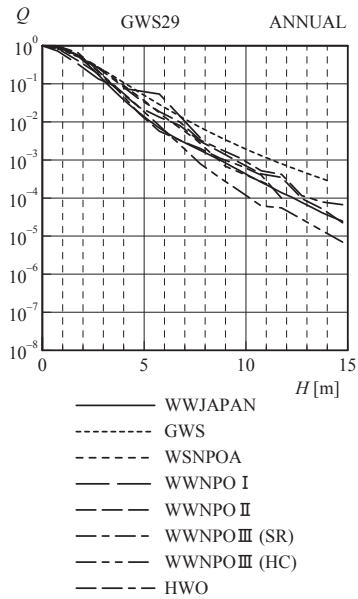


図5 波高の超過確率 (GWS29)

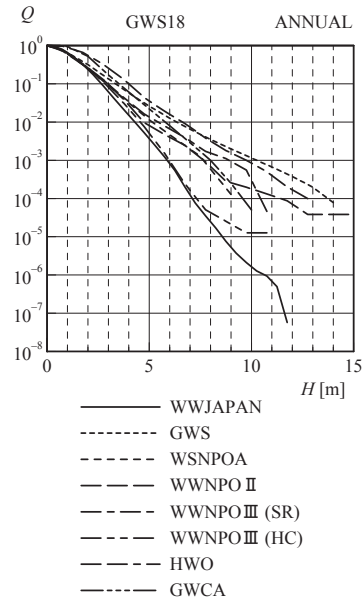


図6 波高の超過確率 (GWS18)

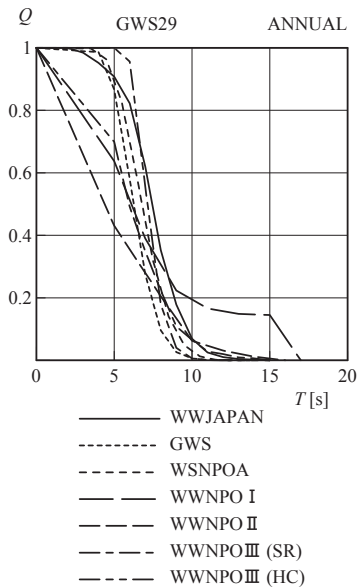


図7 波周期の超過確率 (GWS29)

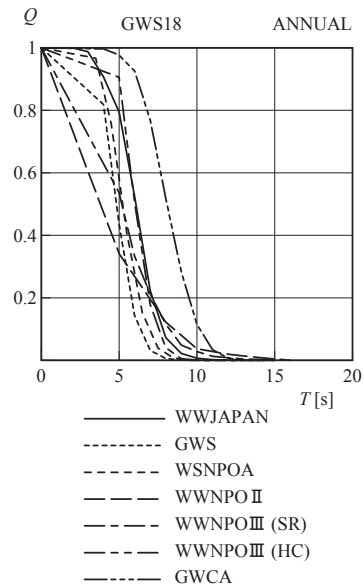


図8 波周期の超過確率 (GWS18)

2.2.2 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航行船舶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可能な区域（図1）、沿海区域（図1）、瀬戸内海（領海法施行令による）（図9）、平水区域（東京湾、陸奥湾、七尾湾、鹿児島湾）（図10）における気象、海象の評価を行った。

各海域における平均風速、有義波高の超過確率を図11、図12にそれぞれ示す。なお、北太平洋の値はWWNPO III(SR)によるものである。

図11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。図12に示す有義波高の超過確率から、限定近海貨物船の航行可能な区域、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（図9の斜線部）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（図12）。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ことが分かる（図11）。このことから、紀伊水道以南の海域ではうねりの影響が大きいことが分かる。

このように、本データベースを使用することにより海域の特性を評価することができる。

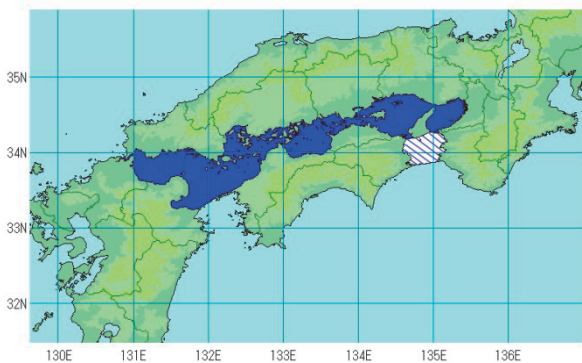


図9 瀬戸内海

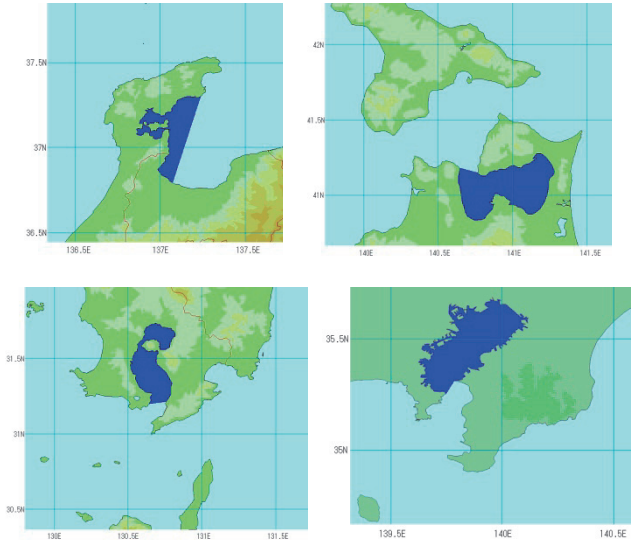


図10 平水区域（左上：七尾湾，右上：陸奥湾，左下：鹿児島湾，右下：東京湾）

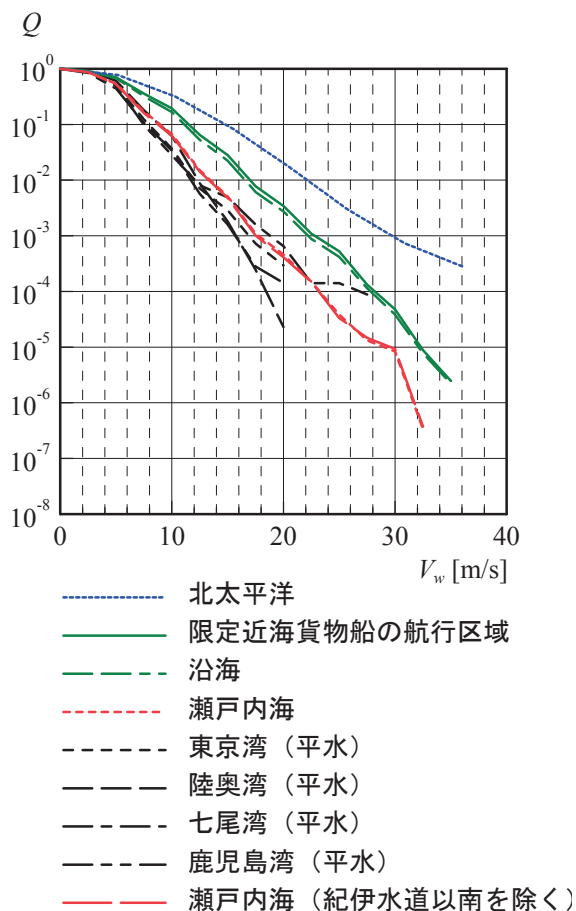


図11 平均風速の超過確率

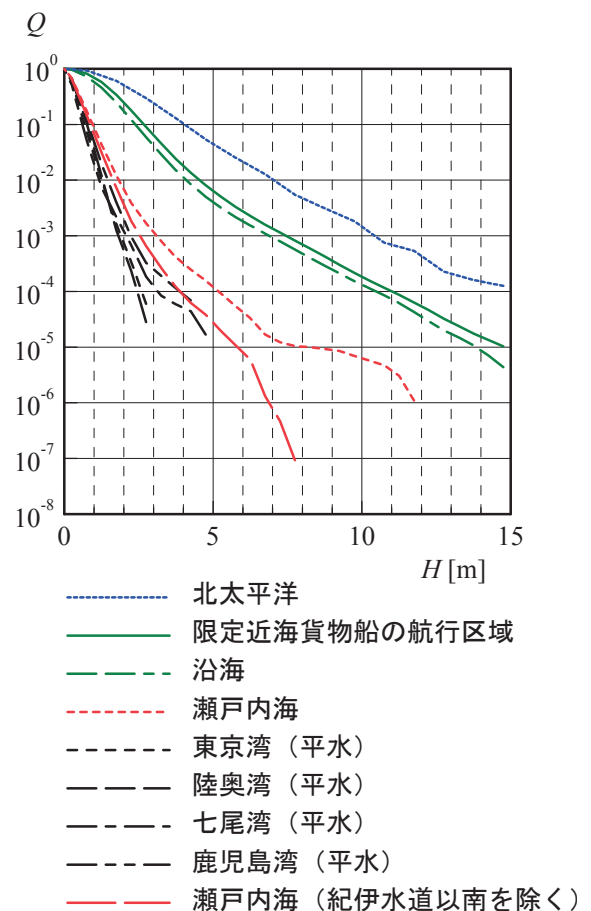


図12 有義波高の超過確率

2.3 表示プログラムの開発

日本近海の波と風データベースを一般に利用いただくため GUI 機能を付与し表示プログラムを作成した。

表示プログラムは、Microsoft 社の Excel にて動作し、Excel 基本機能により容易に表計算、作図が行えるようになる。

動作に必要な環境を表 3 に示し、表示プログラムのトップ画面を図 13 に示し、出力例を図 14 に示す。

表 3 動作に必要な環境

項目	必要な環境
本体	CD-ROM ドライブを装備したパーソナルコンピュータ
OS	Microsoft Windows 2000/XP/Vista/7/8/8.1/10 (32 ビット/64 ビット版)
ソフトウェア	Microsoft EXCEL 2000/2003/2007/2010/2013/2016
ハードディスク	4.5GB 以上の空き容量が必要

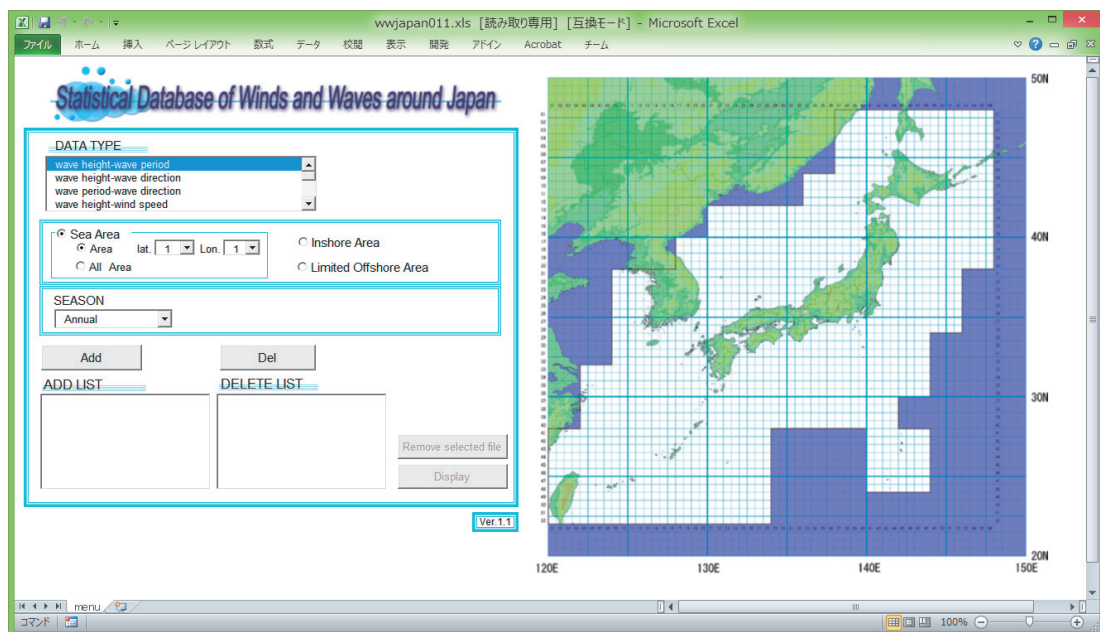


図 13 表示プログラム画面

AREA: ALL AREA																	
ANNUAL (10YEARS)																	
WAVE HEIGHT	MEAN OF WAVE HEIGHT					MEAN OF WAVE PERIOD					MEAN OF WAVE HEIGHT OF MEAN OF WAVE PERIOD OF AT WAVE DIRECTION					TOTAL	
	1.80 [m]					6.72 [s]					1.89 [m]					30.00 [deg.]	
	8.50 [s]																
HEIGHT [m]	0-	1-	2-	3-	4-	5-	6-	7-	8-	9-	10-	11-	12-	13-	14-	TOTAL	
14.75-																1,320	
14.25-																1,433	
13.75-																1,953	
13.25-																2,591	
12.75-																2,742	
12.25-																3,850	
11.75-																6,830	
11.25-																9,890	
10.75-																11,507	
10.25-																13,000	
9.75-																16,145	
9.25-																21,747	
8.75-																32,194	
8.25-																42,012	
7.75-																47,931	
7.25-																70,599	
6.75-																105,710	
6.25-																155,815	
5.75-																242,052	
5.25-																405,274	
4.75-																759,144	
4.25-																1,326,967	
3.75-																3,310,303	
3.25-																7,363,055	
2.75-																15,118,846	
2.25-																26,246,784	
1.75-																37,423,003	
1.25-																38,183,325	
0.75-																29,801,454	
0.25-																15,586,303	
0-																1,225,911	
TOTAL	5,942	19,766	619,220	167,824	136,465	104,022	71,222	47,892	30,197	18,090	10,672	5,151	2,421	1,180,817	448,485	177,543,443	

図 14 出力例（有義波高—有義波周期の条件付き同時発現頻度）

3. 日本近海の波と風の統計的性質

3.1 波と風の平均値の空間分布

本データベースを使用し作成した平均風速と有義波高の通年平均値及び 10^{-2} 超過確率となる値の等値線図を図15から図18に示す。例えば図18から、沖縄南東海域は有義波高の 10^{-2} 超過確率値が6m程度と通年平均に比べて高く荒れやすい海域であることが分かる。これは台風の影響と考えられる。このように空間分布から日本近海の波と風の状況を把握することが可能である。

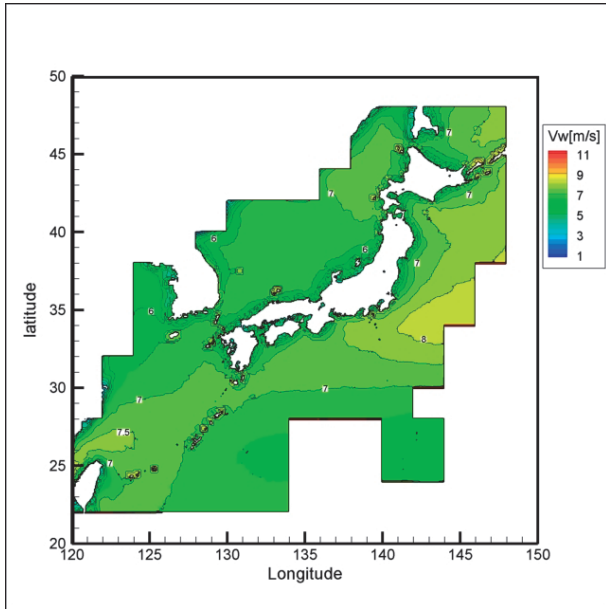


図15 平均風速の通年平均値

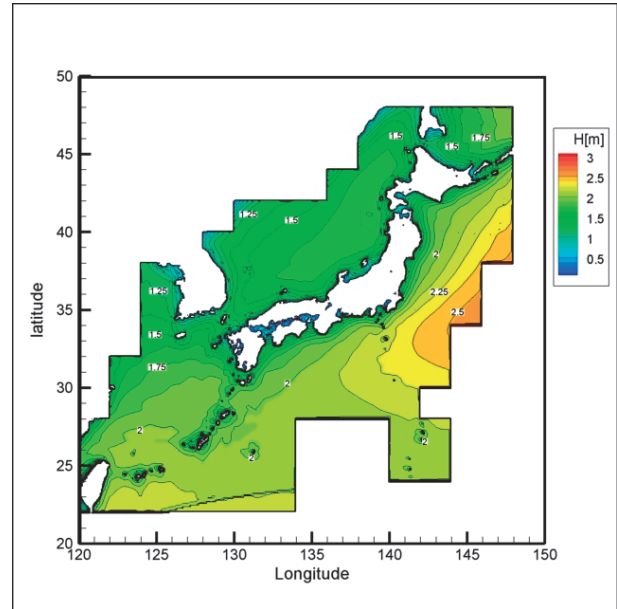


図16 有義波高の通年平均値

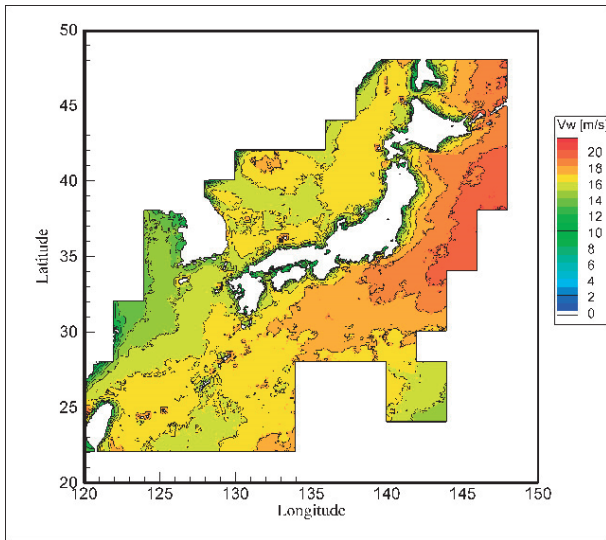


図17 平均風速の 10^{-2} 超過確率値

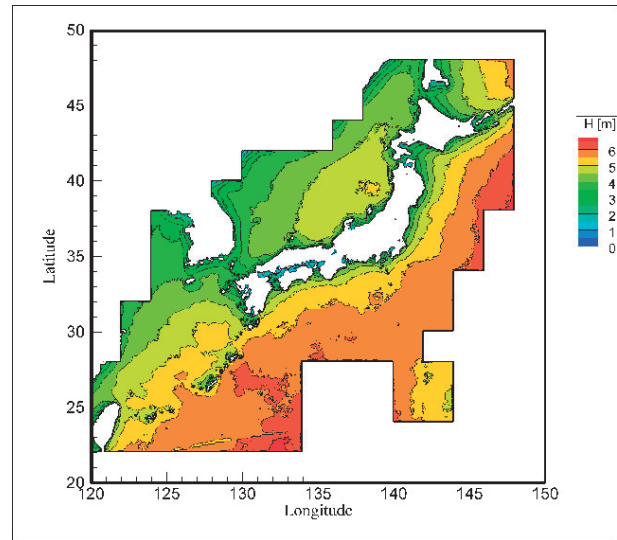


図18 有義波高の 10^{-2} 超過確率値

3.2 長期分布推定による年間最大値の推定

長期分布推定による年最大値推定を行った。解析した海域を図19に示し、再現期間(R)に対する平均風速、有義波高を図20, 21に示す。ここで、年最大値の推定に用いた長期分布(P)は、(3.1)式に示す Fisher Tippet Type I 型分布、(3.2)式に示す3パラメータのワイブル分布（ただし、 $k=0.75, 1.0, 1.4, 2.0$ ）とし、プロットイング・ポジション公式はそれぞれ Gringorten の式、合田の式を用い、これらから最も適合するものを選んでいく¹⁶⁾。

$$P(x) = \exp\left\{-\exp\left(-\frac{x-B}{A}\right)\right\} \quad (3.1)$$

$$P(x) = 1 - \exp\left\{-\frac{(x-B)^k}{A}\right\} \quad (3.2)$$

平均風速については Weibull 分布 ($k=0.75$, $A=1.04$ m/s, $B=23.3$ m/s) に適合し, 有義波高については FT-I 型分布 ($A=0.602$ m, $B=6.45$ m) に適合した. 10 年間のデータではあるが, 長期分布推定の例を示した.

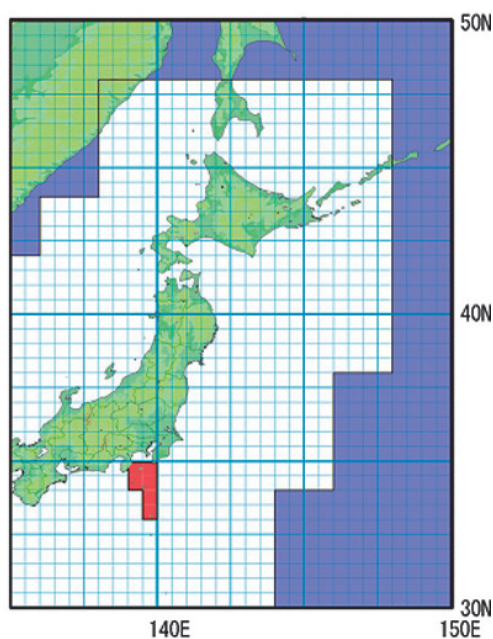


図 19 伊豆諸島海域

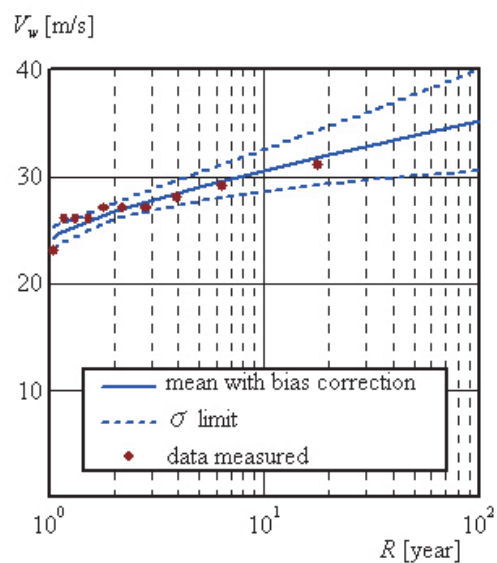


図 20 再現期間に対する平均風速

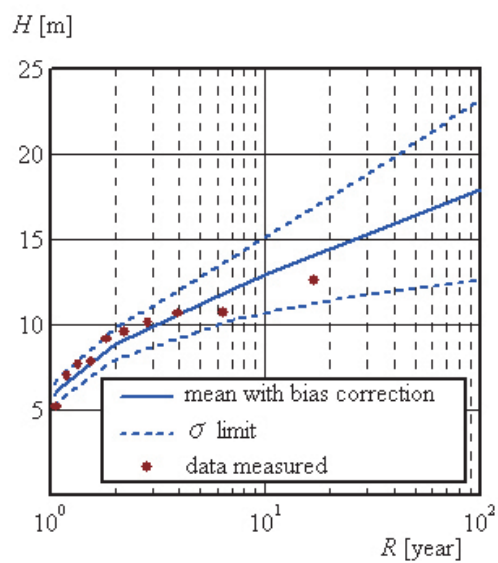


図 21 再現期間に対する有義波高

4. まとめ

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上の検討を行い、本データベースの有効性を示した。

本データベースは2005年4月の公開から11年経過するが、平成28年1月現在、利用社数は39にのぼり、海洋開発関係、造船会社、船用機器メーカー、気象関係、航空関係、電力会社、保険会社、国等公共機関と幅広い分野で利用されている。

参考文献

- 1) 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) .
- 2) 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) .
- 3) 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) .
- 4) 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.
- 5) http://www.nmri.go.jp/wwjapan/namikaze_main.html
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) Guedes Soares, C.: On the Definition of Rule Requirements for Wave Induced Vertical Bending Moments, Marine Structures, 9, 1996, pp.409-425.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 崔龍虎, 平山次清: 長期波浪データベース間の相互関係ー波浪データベースの統合に向けてー, 日本造船学会論文集, 第188号, 2000, pp.239-250.
- 12) 辻本勝, 石田茂資: 日本近海の波と風の統計的性質, 日本船舶海洋工学会論文集, 第2号 (2005), pp.19-27.
- 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) Caires, S., Sterl, A., Komen, G. and Swail, V.: GLOBAL WAVE CLIMATOLOGY ATLAS, http://www.knmi.nl/wave_atlas
- 16) Tsujimoto, M., and Ishida, S.: Statistical Characteristics of Winds and Waves around Japan, Proc. of ISOPE2005, Vol.3, pp.108-115(2005)