

工学ジャーナル 第 9 巻

目 次

指定投稿論文

SDP 風資料に基づく内湾・内海の海上風分布の特性	山口 正隆・大福 学 野中 浩一・畑田 佳男	1
SDP 風資料に基づく内湾・内海の海上風分布を用いた 45 年間の波浪推算システム - 関東沿岸海域の場合 -	山口 正隆・畑田 佳男 大福 学・野中 浩一	14
SDP 風資料に基づく内湾・内海の海上風分布を用いた 45 年間の波浪推算システム - 伊勢湾の場合 -	山口 正隆・畑田 佳男 大福 学・野中 浩一	27
SDP 風資料に基づく内湾・内海の海上風分布を用いた 45 年間の波浪推算システム - 瀬戸内海の場合 -	山口 正隆・畑田・佳男 大福 学・野中 浩一	40

投稿規程等

愛媛大学工学部工学ジャーナル論文投稿規程	56
工学ジャーナル論文申込書	58
著作権委譲書	59
愛媛大学工学部工学ジャーナル論文投稿規程第 7 に定める投稿料等経費について	60
愛媛大学工学部工学ジャーナル論文執筆規程	61
工学ジャーナル投稿原稿の見本	63

March 2010
Ehime University
Faculty of Engineering

Annual Journal of Engineering vol. 9

CONTENTS

Selected Papers

Sea Wind Distributions on the Inner Bay Areas and Inland Sea of Japan Estimated Using SDP Wind Data	Masataka YAMAGUCHI Manabu OHFUKU Hirokazu NONAKA and Yoshio HATADA	1
A 45-Year Wave Hindcast System Driven by SDP Wind Data-Based Sea Wind Distributions on the Inner Bay Areas and Inland Sea of Japan - the Kanto Sea Area Case -	Masataka YAMAGUCHI Yoshio HATADA Manabu OHFUKU and Hirokazu NONAKA	14
A 45-Year Wave Hindcast System Driven by SDP Wind Data-Based Sea Wind Distributions on the Inner Bay Areas and Inland Sea of Japan - Ise Bay Case -	Masataka YAMAGUCHI Yoshio HATADA Manabu OHFUKU and Hirokazu NONAKA	27
A 45-Year Wave Hindcast System Driven by SDP Wind Data-Based Sea Wind Distributions on the Inner Bay Areas and Inland Sea of Japan -the Seto Inland Sea Case-	Masataka YAMAGUCHI Yoshio HATADA Manabu OHFUKU and Hirokazu NONAKA	40

SDP 風資料に基づく内湾・内海の海上風分布の特性

Sea Wind Distributions on the Inner Bay Areas and Inland Sea of Japan Estimated Using SDP Wind Data

山口正隆*・大福 学**・野中浩一**・畑田佳男*

Masataka YAMAGUCHI*, Manabu OHFUKU**,
Hirokazu NONAKA** and Yoshio HATADA*

This study investigates the climatologic and extreme statistics of sea wind distributions on the Kanto Sea Area, Ise Bay and the Seto Inland Sea, using a data set of hourly winds on the concerned areas over a period of 45 years from 1961 to 2005. It was made from the SDP (Surface Data Point) wind data measured at on-land branches of the Japanese Meteorological Agency around the sea areas. The findings are as follows. 1) Wind data estimated at the sea stations are in reasonable agreement with the measurements regarding not only hourly data of wind speed and wind direction but also the climatologic and extreme statistics of wind speed. 2) The NW direction-dominant wind field in winter and the S direction-dominant wind field in summer accompanied by local sea-dependent variation are realized from the data analyses in each of the 3 sea areas. 3) An insignificant difference is detected among the 3 sets of the spatial distribution of every 15-year portion averaged wind speed within the 45-year period. 4) The spatial distribution of 50-year return wind speed is in qualitative agreement with that of the measurement-based return wind speed in the 3 sea areas, but in a quantitative sense, the degree of agreement is local sea-dependent due to a difference of the year period in collected data.

Key Words : sea wind distribution, SDP wind data, wind climate, return wind speed, Kanto Sea Area, Ise Bay, Seto Inland Sea

1. 緒 言

わが国の内湾・内海における波浪をできるだけ長期にわたり適切に推定するために、山口ら^[1]はわが国の代表的内湾・内海である関東沿岸海域、伊勢湾、瀬戸内海を対象として、これらの海域を囲む気象庁気象官署で取得された時日別値風観測資料（Surface Data Point；SDP 風資料）を主に用いて1時間ごとの10 m 高度海上風分布を1961～2005年の45年間にわたり推定した。そして、沿岸部や海上部で1980年代以降に取得された風観測資料との比較によってその精度を明らかにするとともに、海上風分布の気候学的特性を検討した。しかし山口ら^[1]の研究では紙数の都合上、方法論の説明が中心

*愛媛大学大学院理工学研究科（工学系）生産環境工学専攻

Engineering for Production and Environment, Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

**愛媛大学工学部環境建設工学科

Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Ehime University

原稿受理 平成21年10月5日

となり、その特性の検討事例を限定せざるを得なかったことから、本報告では海上風分布の特性について、より詳細な検討結果を提示する。

2. 海上風分布資料の作成方法の概要

2.1 対象海域と風資料地点

海上風分布の作成対象とする内湾・内海は Fig. 1 に示すように、①駿河湾、相模湾、東京湾とその沖合海域からなる関東沿岸海域、②伊勢湾、③豊後水道から周防灘、伊予灘、燧灘や播磨灘、大阪湾を経て紀伊水道に至る瀬戸内海、の3海域である。これらの海域ではこれを囲む多くの気象庁気象官署が存在し、ここで取得された1961年以降のSDP風資料が電子データとして公表されている。Fig. 2は格子間隔2kmで表した対象3海域にあるSDP風観測地点(図中の×印、豊後水道に位置する佐田岬灯台と土佐

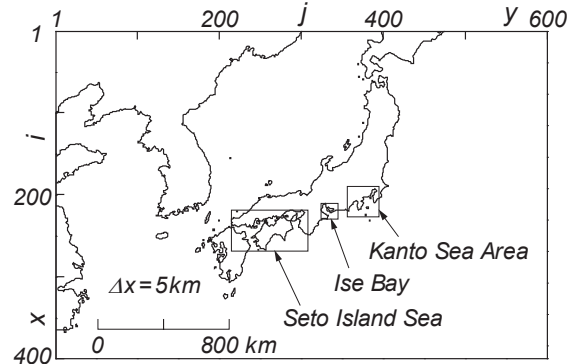


Fig.1 Sea areas constructing data sets of wind distribution.

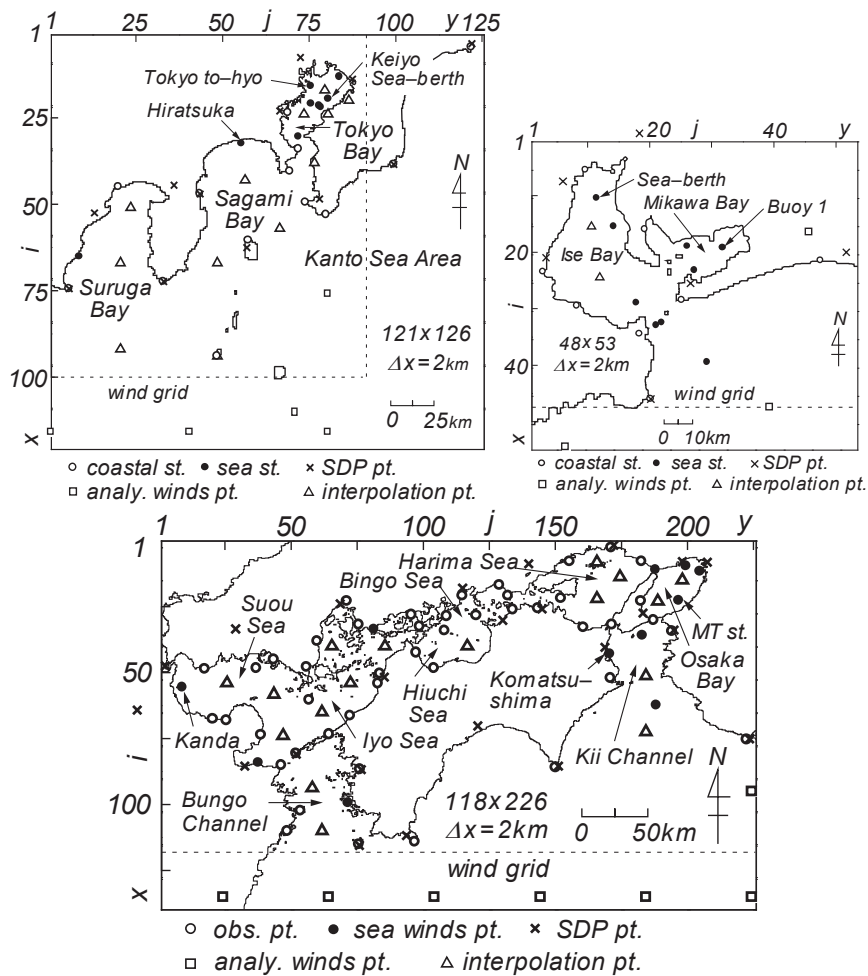


Fig. 2 Location of points where wind data are given on the concerned sea areas for estimating sea wind distribution.

沖ノ島灯台および志摩半島南東端の大王崎灯台を追加), 沿岸部 (○印) と海上部 (●印) の風観測地点および仮想地点 (△印) と表面風再解析資料 (NCEP 風資料) 入力地点の位置を表す。SDP 風資料の地点数は関東沿岸海域で 12, 伊勢湾で 6, 瀬戸内海で 23 である。NCEP 風資料は NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction /National Center for Atmospheric Research) より提供を受けた表面風再解析値資料 (6 時間間隔, 空間解像度約 1.9°) に台風モデル法による風を組込んで格子間隔 80 km で 1 時間ごとに再作成した 10 m 高度海上風資料 (畑田ら^[2]) を指す。

2.2 海上風分布の作成方法

本研究の方法^[1]は, ①SDP 風資料を用いて 3 海域の沿岸部と海上部の風観測地点における観測値相当風を推定する過程, ②観測値相当風から海上風分布を推定する過程, よりなる。①では, まず 3 時間間隔 (1990 年以前) あるいは 1 時間間隔 (1991 年以降) の SDP 風資料に SDP 日最大風資料 (起時は不明) を取込んで, 1 時間間隔の SDP 風資料としたのち, これらと外洋境界上に設けた複数地点における 1 時間間隔の NCEP 風資料に対する加重 1 次補間法^[3]の適用によって沿岸部と海上部の風観測地点における風を計算する。ついで, 計算風速と観測風速について時別値の相関および上位 1/20, 1/10, 1/3, 1/2, 下位 1/3, 全体の平均値の相関を 2 段階で順番に考慮して, 計算風速を観測値相当風速に変換する。風向については計算風向と観測風向の相関が高いので, 計算風向をそのまま観測値相当風向とする。②では, 山口ら^[4]の海上風分布推定法を用いる。すなわち, 地形状況を考慮して経験的に決めた係数 (1.0~1.3) を乗じて海上風に換算した観測値相当風 (計算風) 資料と NCEP 風資料に加重 1 次補間法^[3]を適用して推定した仮想地点における海上風速を, 経験的係数(1.05~1.2) の乗算によって増幅したのち, これを加えた 3 種類の風資料に再度加重 1 次補間法^[3]を適用して, 格子間隔 2 km で 10 m 高度海上風を 1 時間ごとに計算し, それらのデータセットを作成する。計算の過程では, 10 m 高度風に変換するために 1/7 乗則を適用する。海上風分布の作図領域は各図中の 'wind grid' 線より上側の海域 (瀬戸内海および伊勢湾), あるいは上側かつ西側の海域 (関東沿岸海域) である。

3. 計算風の精度の検討

3.1 時別風速

山口ら^[1]は 2. で述べた方法に従って求めた 3 海域における計算風の精度を累年の風速・風向および月別の各種平均風速に対する誤差指標によって包括的に検討している。しかし紙数の制約のため, その内容はかなり概括的なものになっていることから, ここでは 3 海域で 15 年以上にわたり観測風が得られている海上部観測地点を対象として, 計算風の精度を検討した結果を述べる。対象地点は関東沿岸海域では東京灯標, 京葉シーバース, 平塚, 伊勢湾では三河湾内のブイ 1, 伊勢湾内のシーバース, 瀬戸内海では紀伊水道北部の小松島, 大阪湾内の MT 局, 周防灘の荇田, の 8 箇所である。なお, 山口ら^[1]が示したように, 計算風向と観測風向はいずれの地点でも全体としてよく符合することから, ここでは議論の対象としない。

Fig. 3 は全観測期間に対する計算風速 U_{cal} と観測風速 U_{obs} の散布図を 3 海域における 8 海上部観測地点について示す。計算風速の高度はそれぞれの観測高度 (z m) に相当する。図中には相関係数 ρ_U , 原点を通る相関直線の勾配値 a_{0U} , 2 乗平均平方根誤差 σ_U (m/s) を与える。計算風速はいずれの地点でも観測風速と全般的にかなりよく対応する。誤差指標でみると, 相関係数 ρ_U は 0.67~0.82 と比較的幅広く分布し, ブイ 1 ($\rho_U=0.82$), 東京灯標(0.80) で相対的に大きく, MT 局 (0.69), 荇田 (0.67) で相対的に小さい。つまり, 東京湾内の地点, 三河湾内のブイ地点および紀伊水道北部の小松島で相関が高く, 相模湾沿岸の平塚や大阪湾内の MT 局, 瀬戸内海西部の周防灘にある荇田で低い。沿岸地形が複雑である瀬戸内海では, 全体として計算風速と観測風速の相関が低い傾向にある。勾配値 a_{0U} は

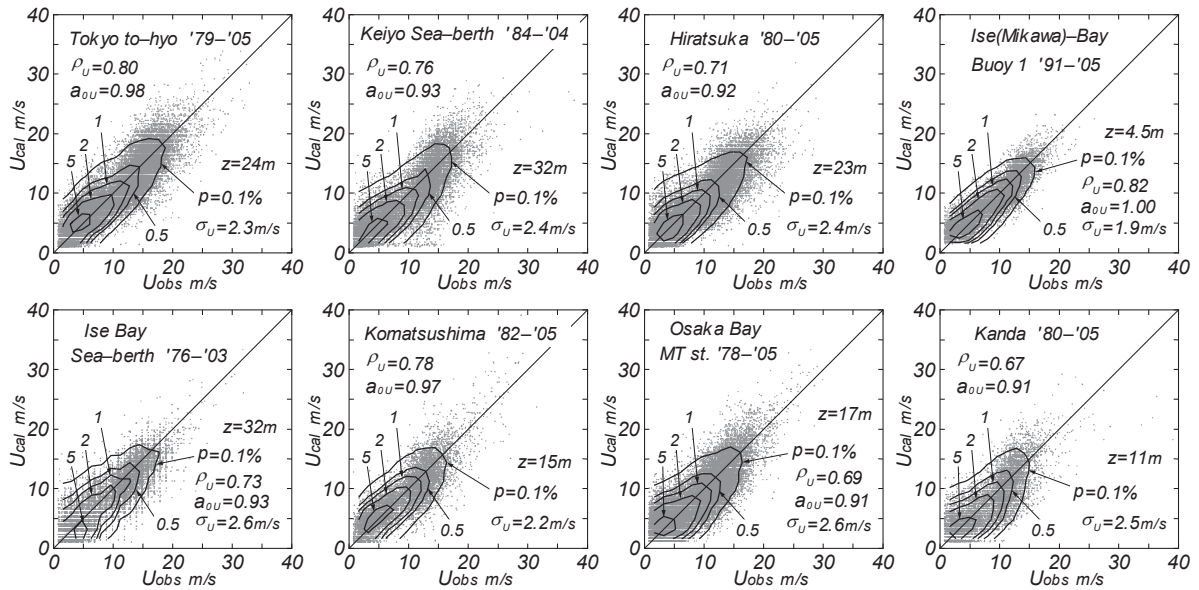


Fig. 3 Scatter diagram between measurements and estimates for wind speed.

ブイ 1 ($a_{ou}=1.00$), 小松島 (0.98), 東京灯標 (0.95) を除いて 0.91~0.93 をとり, 全般的に計算風速 U_{cal} が観測風速 U_{obs} より若干小さい傾向を示す。また 2 乗平均平方根風速誤差 σ_U はブイ 1 ($\sigma_U=1.9$ m/s) や小松島 (2.2 m/s) を除いて, 2.4~2.6 m/s である。8 海上部観測地点の累年平均風速の概略値は 5~6 m/s であるから, これと比べて 2 乗平均平方根誤差はブイ 1 や小松島ではかなり小さく, 他の地点でも有意な程度に小さいと言える。

3.2 風速統計量

Fig. 4 は観測高度における計算風速と観測風速の同時刻資料より得た上位 1/10, 1/3 および全体の風速資料の平均値 ($U_{1/10}$, $U_{1/3}$, \bar{U}) と全体の風速資料の標準偏差 U_σ の経月変化を東京灯標について示す。これによると, 1 年を周期として複雑な変動を繰り返す各風速統計量の挙動に関して, 計算風速資料と観測風速資料に基づく結果はよく対応するように見える。しかし, その挙動は必ずしも明確

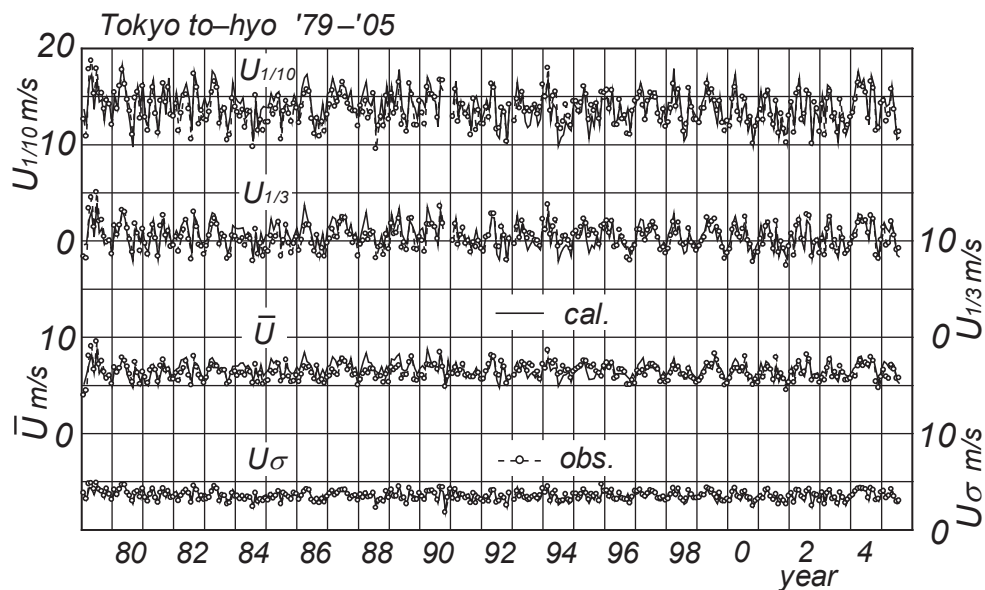


Fig. 4 Interannual variation of monthly-averaged wind speed statistics (Tokyo to-hyo).

でないことから、両者の対応関係をより明解にみるために、1/3 最大平均風速 $U_{1/3}$ の月別値について、計算結果と観測結果の散布図を示したのが Fig. 5 である。図中には月別平均統計量に対する誤差指標として、相関係数 $\rho(U_{1/3})$ と原点を通る相関直線の勾配値 $a_0(U_{1/3})$ を与える。他の風速統計量についても同様の図の作成が可能であるが、Fig. 5 でこれを代表させる。

相関係数 $\rho(U_{1/3})$ は 0.67~0.96 とかなり幅広く分布し、ブイ 1 ($\rho(U_{1/3})=0.96$) と伊勢湾シーバース (0.93) で 1 に近く、平塚 (0.81), 京葉シーバース (0.79) でも 0.8 前後をとる一方、東京灯標 (0.73), 大阪湾 MT 局 (0.72), 小松島(0.69), 荻田(0.67) でやや小さい。勾配値 $a_0(U_{1/3})$ は 0.98~1.02 でほぼ 1 を与えることから、平均的な対応はかなりよい。つまり、個々のデータ値が完全相関を表す 45° 直線のまわりを多少の幅をもってばらつくとしても、全体として平均的挙動でみれば、計算結果と観測結果はよく符合する。月別の平均統計量でも、両者の対応は伊勢湾や関東沿岸海域の観測地点でよく、瀬戸内海の観測地点で相対的にやや低い。

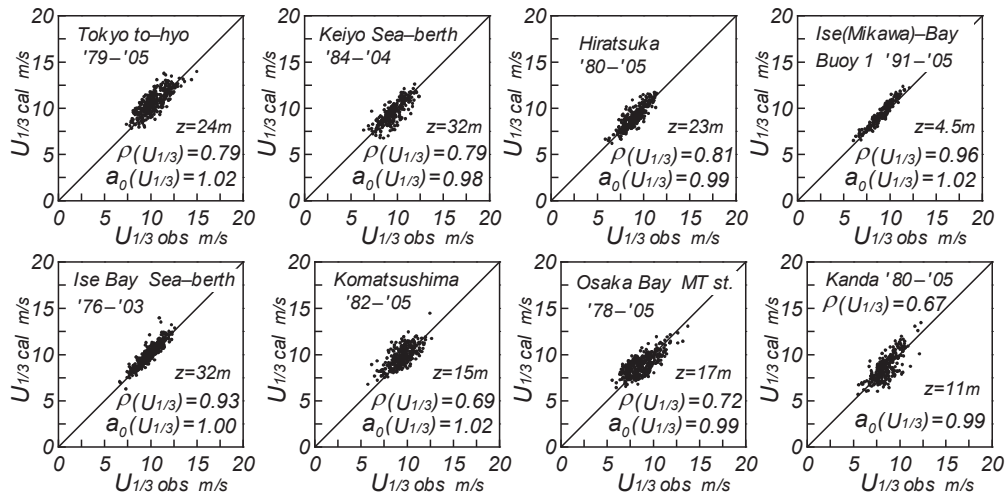


Fig. 5 Scatter diagram between measurements and estimates for monthly-averaged wind speed statistics.

つぎに、観測高度における年別の各種平均風速の経年変化について推算結果と観測結果の比較を東京灯標、平塚、伊勢湾シーバース、大阪湾 MT 局の 4 地点で示したのが Fig. 6 である。1/10 最大平均

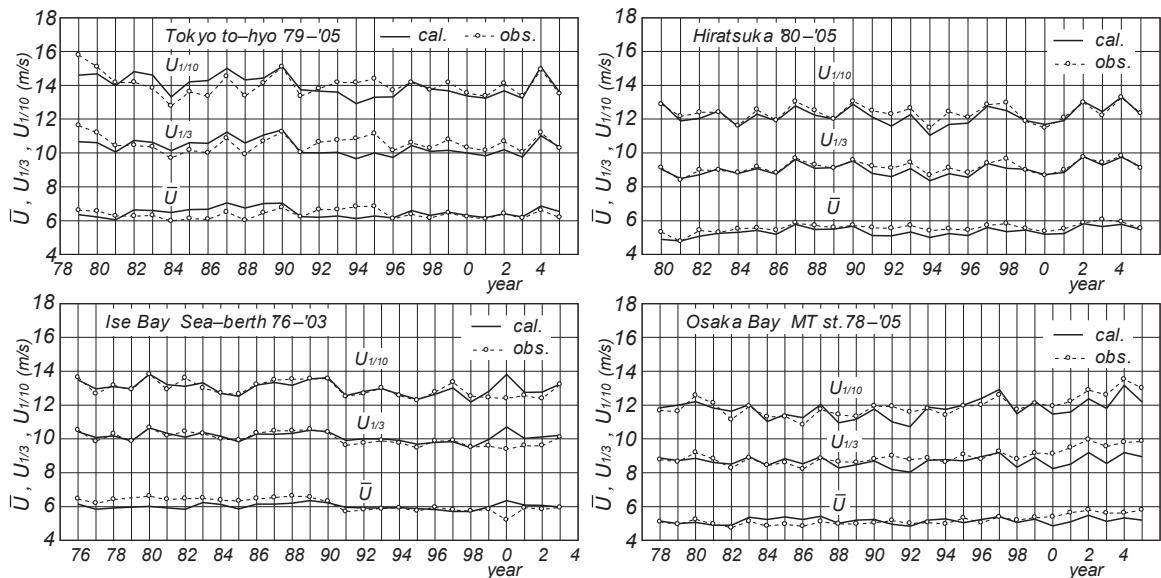


Fig. 6 Interannual variation of yearly-averaged wind speed statistics.

風速 $U_{1/10}$ や平均風速 \bar{U} は 1/3 最大平均風速 $U_{1/3}$ とおおむね類似した挙動を与えることから、1/3 最大平均風速 $U_{1/3}$ で各平均統計量の挙動を代表させる。地点別にみると、東京灯標では、計算結果は東京や千葉における SDP 風速資料の特徴を反映して、1987~1990 年で大きく 1991~2003 年で小さい値をとり、比較的大きい経年変動を伴う。計算結果は長期間の変動に対して観測結果とある程度類似した年別変化を与えるけれども、1992~1995 年や 1979 年で観測結果よりやや乖離している。平塚では、計算結果と観測結果は 1991~1998 年で若干の隔たりを生じるけれども、おおむね符合しており、いずれの結果も一定値をとる傾向を与える。伊勢湾シーバースでも、2002 年に推算結果と観測結果の間に相違がある点を除くと、両者はよく符合する。ここでの 1/3 最大平均風速はとくに観測結果について全体的に減少傾向を示す。大阪湾 MT 局では、計算結果は 1999 年以前で観測結果とおおむねよく対応するが、2000 年以降では観測結果と比べて 1 m/s 近く小さい値をとる。このため、計算結果はほとんど増加傾向を与えないのに対して、観測結果は有意な増加傾向を示す。

以上のように、計算風速資料を求めた風観測地点は、1/3 最大平均風速の年別値に関して計算結果と観測結果がよく対応する地点と乖離を生じる地点に分かれ、結果的に地点間で統一性を欠くことから、ここでは 45 年間の計算風速資料に基づく風速の傾向変動の検討を差し控える。

3.3 確率風速

Table 1 は 20 年間以上の観測資料が得られる海上部観測地点の東京灯標、平塚、伊勢湾シーバース、大阪湾 MT 局、荻田の 5 箇所について、1961~2005 年の 45 年間の計算風速資料から得た極大 (POT) 風速資料および観測資料の期間に相当する極大 (POT) 風速資料に Yamaguchi・Hatada^[5]の極値統計解析モデルを適用して推定した 50 年確率風速 U_{50} とその標準偏差 $U_{50\sigma}$ などを示す。表中の記号は YS: 最初の 2 桁 (19) を除く資料開始年, YE: 最初の 2 桁 (20) を除く資料最終年, K: 資料年数, N: 資料数, N_T : 事象 (資料) 総数, U_{\max} : 第 1 位風速, W: Weibull 分布, k : 最適分布として選択された Weibull 分布の形状母数, ρ : 相関係数, である。解析は $N_T=N$ として行っている。表中には、観測風資料に対する解析結果^[6]を各欄の第 1 行に与えている。風速はいずれの場合も 1/7 乗則によって 10 m 高度風速に変換している。また、荻田における観測資料は 1 年相当分の資料を欠いているが、その値

Table 1 Estimates of 50-year return wind speed and its standard deviation at each of 5 stations.

station		YS	YE	K yrs.	N	N_T	U_{\max} m/s	k	ρ	U_{50} m/s	$U_{50\sigma}$ m/s
Tokyo to-hyo	obs. POT	70	04	35	346	346	30.9	W1.0	0.9971	31.6	0.8
	SDP POT	70	04	35	70	70	28.3	W1.4	0.9798	30.0	0.8
	SDP POT	61	05	45	90	90	30.9	W1.2	0.9865	31.6	0.9
Hiratsuka	obs. POT	80	05	26	122	122	26.0	W1.1	0.9916	27.6	0.8
	SDP POT	80	05	26	52	52	28.1	W0.9	0.9936	27.7	1.7
	SDP POT	61	05	45	90	90	28.1	W1.0	0.9980	27.4	0.9
Ise Bay Sea-berth	obs. POT	76	03	28	100	100	26.5	W0.8	0.9866	28.0	1.7
	SDP POT	76	03	28	56	56	29.8	W1.0	0.9794	31.5	1.8
	SDP POT	61	05	45	90	90	32.6	W1.1	0.9892	33.0	1.5
Osaka Bay MT st.	obs. POT	79	05	27	141	141	27.8	W1.2	0.9952	29.5	1.0
	SDP POT	79	05	27	54	54	37.5	W0.9	0.9902	37.8	2.8
	SDP POT	61	05	45	90	90	42.3	W0.8	0.9929	40.8	2.9
Kanda	obs. POT	81	06	26	180	180	32.6	W0.8	0.9935	32.6	2.4
	SDP POT	81	05	25	50	50	33.8	W1.1	0.9812	35.3	2.0
	SDP POT	61	05	45	90	90	33.8	W1.0	0.9790	34.6	1.6

は不明であることから、これらの年の資料は観測資料から得られた POT 資料より小さいと仮定する下限 censoring 条件のもとで解析を行っている。

表によると、観測期間を合致させた計算風速資料に基づく確率風速 U_{50} は観測風速資料に基づく値と比べて平塚、東京灯標であまり相違を伴わず、荻田、伊勢湾シーバースでやや大きい程度である。これは資料の種類によっても第1位風速 U_{max} がそれほど異ならない特徴を反映する。一方、大阪湾 MT 局では計算風速資料に基づく確率風速がかなり大きい。これは計算風速資料における第1位風速が観測風速資料における第1位風速よりかなり大きいためである。また、標準偏差 U_{50} は計算風速資料に基づく場合に平塚と大阪湾 MT 局で2倍以上大きい反面、荻田で小さく、東京灯標と伊勢湾シーバースで同程度の値をとる。ついで、45年間の資料に基づく50年確率風速は資料期間がより短い観測資料相当期間の資料に基づく値と比べて、東京灯標、平塚、荻田でほとんど変わらず、大阪湾 MT 局で大きい。これは計算風速資料に台風6118号(第2室戸台風)など1960年代の異常台風に伴う最大級の強風資料が含まれるためである。同様に伊勢湾シーバースでも、より大きい50年確率風速の推定値を与えるけれども、40 m/s 前後の強風が生じた台風5915号(伊勢湾台風)時の風速資料を追加するならば、50年確率風速の推定値はさらに大きくなる。

以上のように、資料期間の拡大によっても第1位風速がそれほど大きくなりえない地点では50年確率風速の推定値もあまり変化しないが、第1位風速などの上位値が大きく更新される地点では、50年確率風速の推定値も劇的に増大することから、確率風速などの極値事象の解析においては、できるだけ長期間の資料の利用が必須であることが示唆される。

4. 海上風分布資料の特性

4.1 異常気象擾乱時の海上風分布

Fig. 7は1979年10月19日11時の10m高度海上風分布を3海域について示す。当該時点は台風7920号が和歌山県白浜付近に上陸した時点(9時40分頃)の約1時間半後にあたり、台風中心は名古屋市付近にある。台風7920号は南方洋上で中心気圧が870hPaに低下した超大型で異常な勢力をもつ台風であり、白浜付近から本州をNE方向に縦断している。台風の進行に合わせて図を右から左へ順にみると、瀬戸内海では風向場は台風通過後のN~W寄りをとっている。風速 U は西部海域で10~20 m/s, 中部海域で10~15 m/s, 東部海域で15~20 m/s を与え、とくに大阪湾の北西部から播磨灘の北東部で強い。伊勢湾では風向はS~SSW, 風速は15~25 m/s であり、伊勢湾口から三河湾で25 m/s を越える。関東沿岸海域では台風中心が到達していないことから、風向はSSW~SSE をとり、風速は15~20 m/s である。東京湾では風向SSW, 風速20 m/s 前後の比較的強い風の間になっている。このように、SDP風資料に基づいて推定した海上風分布は強風時においても合理的挙動を示すとと言える。

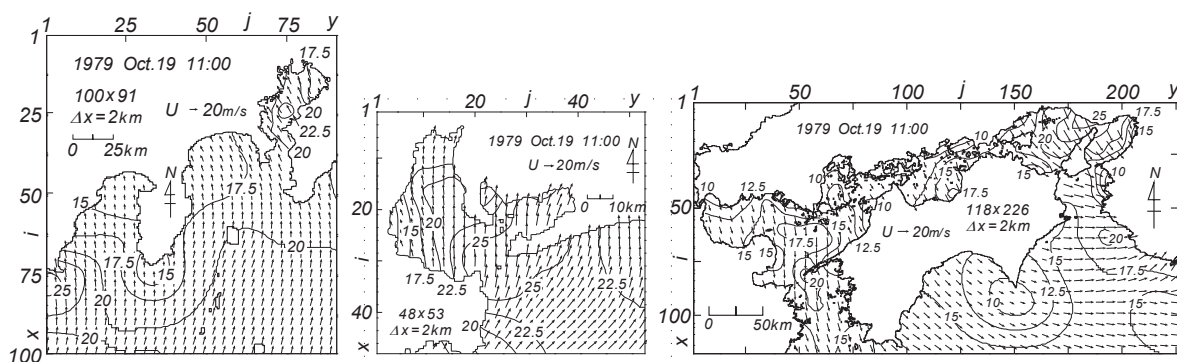


Fig. 7 An example of estimated sea wind distribution.

4.2 海上風分布の気候学的特性

山口ら^[4]はSDP風資料を用いて推定した3海域における45年間の10m高度海上風分布資料を用いて、その累年平均値の空間分布および年別平均風速の累年較差の空間分布の特徴を議論している。ここでは、季節別平均風やその累年較差の空間分布および年代別の累年平均風の空間分布の特徴をみる。

Fig. 8は3海域における45年間の季節別平均風速と風向を冬季(12~2月)と夏季(6~8月)について示す。冬季をみると、関東沿岸海域では駿河湾のWNW方向の風を除いて、NW方向の風となっており、風速は沿岸部の4~5m/sから外海の7.5m/sに向けてSE方向に増大する。この挙動は伊勢湾においてより明瞭であり、領域全体で風向NWをとりつつ、風速が湾奥の5m/sから湾外の10m/sに向けてSE方向に大きくなる。瀬戸内海でも全体として風向NWの場となっており、風速も領域の北側(本州側)沿岸部の4~5m/sから南東側(四国側, 和歌山県側)沿岸部の6m/sに向けてSE方向に増大し、外海では7m/sを越える。それぞれの南側外洋境界付近では風向はNW方向をとり、風速は四国西部沖合の6m/sから紀伊半島沖合の7m/s, 伊勢湾の湾外沖合で10m/s, 関東沿岸海域沖合で7.5m/sに変化する。つまり、若狭湾から伊勢湾にかけて風の通り道になる伊勢湾の湾外沖合で風速が他の沖合海域より大きい特徴が明らかである。

夏季には、いずれの海域でもS寄りの風向場が形成されるが、細部においてはそれぞれの地形特性に応じて相違が生じる。風速は関東沿岸海域のうち外海で5m/s, 東京湾内で4.5~6m/s, 駿河湾内で4~4.5m/sをとり、東京湾内で大きい。相模湾や駿河湾では風速は夏季より冬季に大きいものに対して、東京湾内では風速は冬季と夏季あまり異ならないのが特徴的である。伊勢湾では風速は湾外の6.5m/sから湾奥の4m/sへと小さくなり、風向も湾外のS方向から湾奥のSSE方向に若干傾く。風速は湾奥では冬季よりやや小さい程度であるが、湾外に向うほど冬季に比べて小さくなる。瀬戸内海では複雑な周辺地形によって風場が強く影響を受け、しかも風速が小さいことから、風向の場は小海域ごとにかなり異なる。すなわち、風向は大阪湾でSW方向, 播磨灘でSE方向, 周防灘でE方向, 伊予灘東部から燧灘にかけてSW~W方向をとる。風速も大阪湾内では湾口から湾奥に向けて、周防灘では東側海域から西側の灘奥に向けて4m/sから5m/sに増大する, 伊予灘から燧灘を経て播磨灘では、

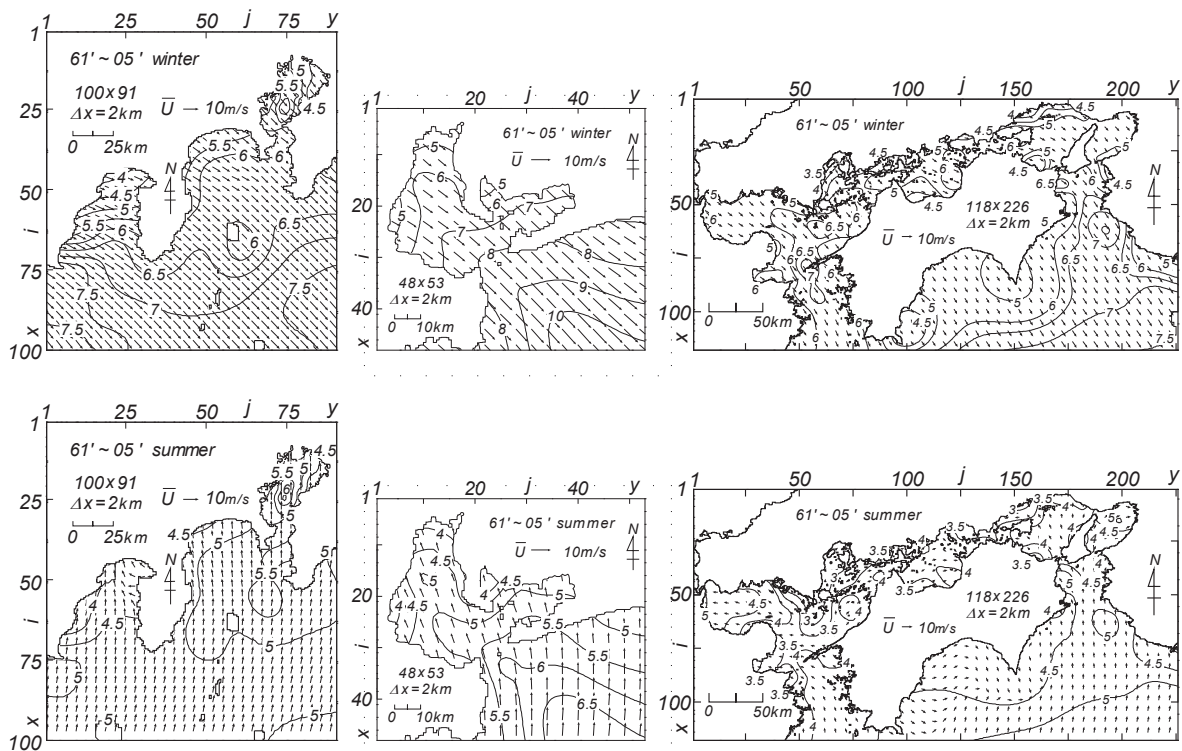


Fig. 8 Spatial distribution of season-averaged wind speed (winter and summer).

風速は 3.5～4 m/s の範囲にあり、小海域ごとにあまり変化しない。また外海では、風速は豊後水道で 4～4.5 m/s、紀伊水道で 4.5～5 m/s をとり、冬季と同様に豊後水道より紀伊水道で風速が大きい。

なお、風向の場が N 寄り (NW～NE) をとるといふ特徴は関東沿岸海域の春季 (3～5 月) を除き、3 海域ともに秋季 (9 月～11 月) や春季 (3～5 月) にも出現するけれども、関東沿岸海域の春季には風向は外海で W 方向、駿河湾、相模湾、東京湾でおおむね SW 方向をとるのが特徴的である。春季における外海での W～WSW 方向の風の場合は伊勢湾の湾外でもみられる。

Fig. 9 は各年の季節別平均風速の累年較差 (その最大値と最小値の差) を累年季節別平均風速で除した値 $\Delta\bar{U}$ (%値、ここではこれを単に累年較差と呼ぶ) を 3 海域について示す。累年較差の 1/2 が年ごとの季節別平均風速の、累年季節別平均風速からの最大変動範囲におおむね相当する。冬季において、関東沿岸海域では累年較差は大体 12～18 % の範囲にあり、東京湾で小さく駿河湾で大きい。平均風速は東京湾で大きく駿河湾で小さいことから、無次元量である累年較差にこの特徴が現われる。伊勢湾では、累年較差は 10～14 % と空間的にあまり変化しないが、湾外で小さく湾内で大きいし、W 方向に向けて大きくなる。瀬戸内海では、累年較差は 6～24 % と広い変動範囲をもつ。最大値は燧灘を中心とする瀬戸内海中央部海域に出現し、その西側の伊予灘や東側の播磨灘で 12 % とやや低下する。また累年較差は豊後水道から伊予灘で 12 % から 10 % に、伊予灘から周防灘で 10 % から 6 % に減少する一方、紀伊水道で 6～8 %、大阪湾で湾口の 8 % から湾奥の 10 % に増大する。これらの挙動は平均風速と反対の挙動を与える。たとえば、平均風速の小さい燧灘では他の海域と同程度の累年較差の絶対値が無次元化によって増幅されるため、累年較差の無次元値 $\Delta\bar{U}$ は大きい値をとる。

夏季において、累年較差は関東沿岸海域のうち外海から東京湾内で 6～10 %、相模湾と駿河湾で 4～6 % をとり、外海と東京湾で大きい。伊勢湾では、三河湾周辺で 3～4 %、湾外で 7～8 %、伊勢湾西岸で 7 % をとる。このように、三河湾周辺海域では累年較差が他の小海域より小さい特徴がみられる。瀬戸内海では、累年較差は 6～14 % であり、小海域ごとに大きい変化を伴う。燧灘などの中央部海域ではその値は冬季と異なって 8 % と、瀬戸内海における夏季の累年較差の平均値程度の値をとる、

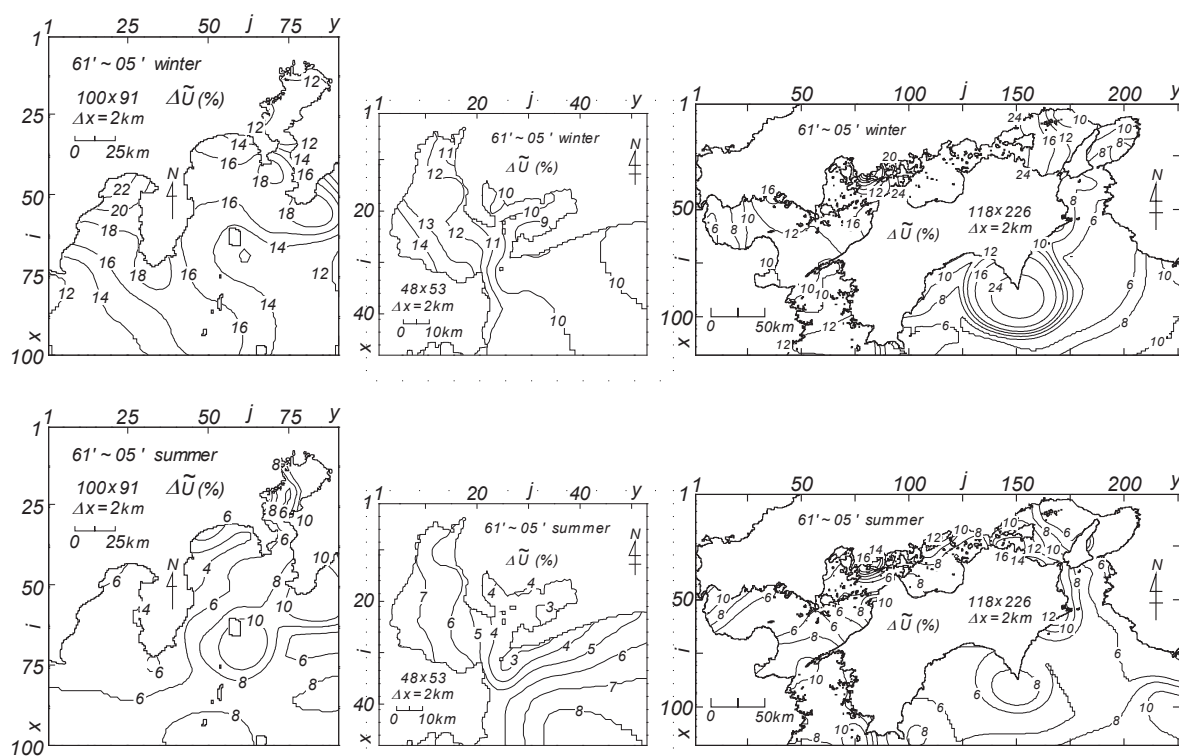


Fig. 9 Spatial distribution of interannual range of season-averaged wind speed (winter and summer).

むしろ播磨灘南西部で10~14%と大きい。豊後水道から伊予灘，周防灘に至る瀬戸内海西部海域と紀伊水道を比べると，累年較差は西部海域でやや大きい。

以上のように，累年較差の無次元値は平均風速の小さい夏季よりも平均風速の大きい冬季に相対的に大きい変動を伴うことがわかる。

さらに，1961~2005年の45年間に1961~1975年，1976~1990年，1991~2005年の各15年間に分けて，それぞれの年代別累年平均風速と風向の空間分布を3海域について示したのがFig. 10である。まず関東沿岸海域では，3つの年代いずれにおいても風速は東京湾内の沿岸部で5 m/s，中心部で6 m/sをとり，他の海域では沿岸部の4~5 m/sから外海の6 m/sに向けてSE方向に増加する。45年間にわたる累年平均風速分布^[4]と比べても，その差は1961~1975年の15年間の累年平均風速の場合に最大で0.2 m/s（東京湾の湾口付近）を与えるにすぎず，また各年代間の累年平均風速の差も最大で0.3 m/sであるから，年代間の平均風速の差は小さい。風向についても，1961~1975年の年代と他の2つの年代で伊豆大島を中心とする海域において相違がみられる以外，他の海域では3つの年代の間で類似する。伊勢湾では，いずれの年代においても風向は海域全体でNW方向をとり，風速は湾奥の5 m/sから湾外の8 m/sに向けてSE方向に増大する。45年間の平均風速との差の最大値は1961~1975年の

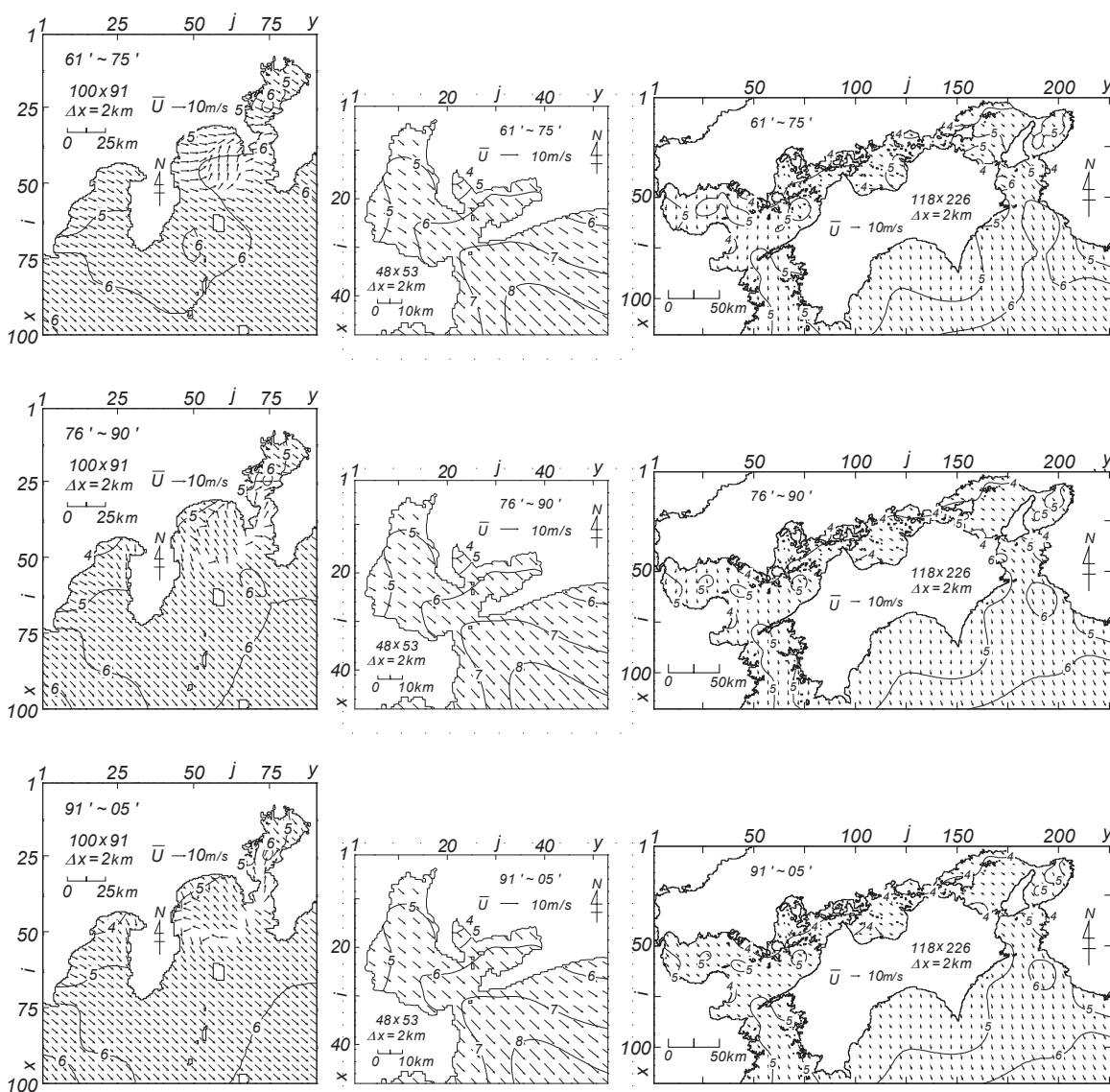


Fig. 10 Spatial distribution of interannually-averaged wind speed in 3 year-portions.

年代で湾外において 0.1 m/s に達するに過ぎず、また各年代間の平均風速の差も 0.2 m/s を最大とすることから、それぞれの差は関東沿岸海域の場合より一層小さい。瀬戸内海では、3 年代ともに風速は内海域で 4～5 m/s、豊後水道で 5～5.5 m/s、紀伊水道で 5 m/s から 6 m/s となっており、内海部より外海で、外海では豊後水道より紀伊水道で大きい。風向は N～NW をとり、小海域ごとに多少変化する。45 年間の累年平均風速の空間分布^[1]と比べても、両者の差の最大値は 1961～1975 年代に備後灘で 0.3 m/s、宍灘から播磨灘の南部で 0.2 m/s を生じるに過ぎず、また各年代間の差もせいぜい播磨灘南西部の 0.4 m/s である。したがって、3 年代ともにほとんど変らない風速の空間分布を与える。風向は N～NW をとり、小海域ごとに多少変化するが、年代ごとの挙動はよく似ている。しかし、1991～2005 年の年代の風向は周防灘から伊予灘西部および豊後水道にかけて NW から N に変化するのに対して、他の 2 つの年代の風向はほぼ N をとる点でかなり相違する。

要するに、15 年を単位とする平均風速の年代間の差は関東沿岸海域で 0.3 m/s、伊勢湾で 0.2 m/s、瀬戸内海で 0.4 m/s を限度としており、平均風速の年代間の差は小さい。また、風向に関する年代間の差も伊豆大島周辺海域（1961～1975 年）や瀬戸内海西部海域（周防灘，伊予灘西部，豊後水道）（1991～2005 年）でみられる程度であり、全般的に小さい。

4.3 確率風速の空間分布

3 海域における 1 時間ごとの 10 m 高度風速資料から、基準風速を年別最大値の最小値として各ストームごとのピーク風速を取り出し、極大（POT）風速資料を作成した。ついで、この POT 資料に Yamaguchi・Hatada^[5]のモデルを適用して、確率風速とその標準偏差の推定を行った。解析において必要となる資料総数 N_T を POT 資料数 N の 2 倍としている。Fig. 11 は 3 海域について 50 年確率風速 U_{50} とその変動係数 $\tilde{U}_{50\sigma}$ （50 年確率風速の標準偏差 $U_{50\sigma}$ を 50 年確率風速 U_{50} で除した値の % 値）の空間分布を示す。関東沿岸海域では、50 年確率風速 U_{50} は 25～35 m/s と幅広く分布する。このうち、東京

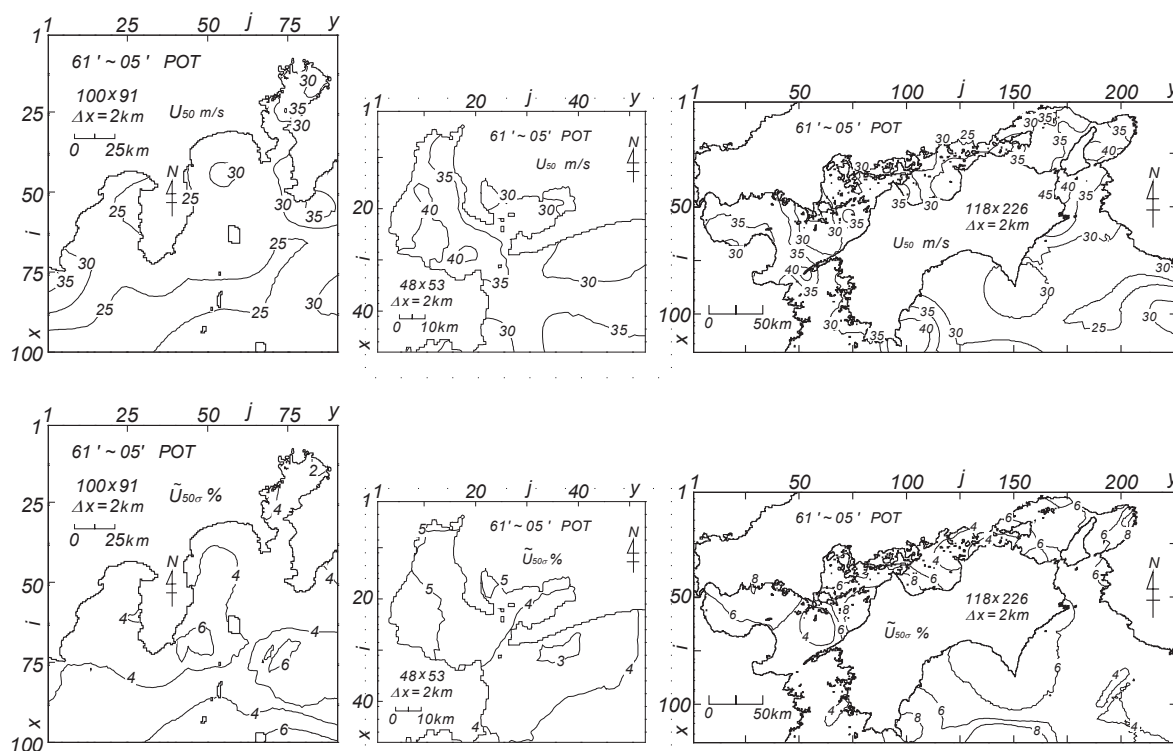


Fig. 11 Spatial distribution of 50-year return wind speed and its coefficient of variation.

湾で U_{50} は 30~35 m/s, 相模湾で 25~30 m/s, 駿河湾で 25~30 m/s であるから, 東京湾でやや大きい。また沖合海域では, U_{50} が 25 m/s 以下の海域もみられるが, これは外洋境界近くで入力条件として与えた NCEP 風資料の風速が過小評価されていることに起因する。 U_{50} の変動係数 $\tilde{U}_{50\sigma}$ は 2~6% の範囲にあり, 東京湾で 2~4% と小さい。

伊勢湾では, U_{50} は 30~40 m/s と幅広い値をとり, 渥美半島沿岸部の 30 m/s 以下の値や三河湾湾奥の 30 m/s から伊勢湾西岸の 40 m/s に向けて W 方向に, また渥美半島沿岸部の 30 m/s 以下の値から湾外沖合の 35 m/s に向けて S 方向に大きくなる。しかし, 今回の POT 資料には台風 5915 号 (伊勢湾台風) 時の異常風速が含まれないことから, 伊勢湾では確率風速が低めに評価されている可能性も十分にある。変動係数は 3~5% であり, 渥美半島沿岸部の 3% から同心円上に増加し, 伊勢湾の西岸で 5%, 湾外の沖合で 4% を越える。

瀬戸内海では, U_{50} は 25~40 m/s の値をとるが, 紀伊水道南部では時空間解像度の低い NCEP 風資料を主体として海上風分布が推定されていることから, 確率風速は過小評価されている。小海域別では U_{50} は内海部の大阪湾で 35~40 m/s, 播磨灘で 30~35 m/s, 燧灘で 25~35 m/s, 広島湾, 伊予灘, 周防灘で 30~40 m/s であり, とくに大阪湾および瀬戸内海西部海域の佐田岬から山口県沿岸に向けた伊予灘西部と周防灘東部の海域で 35~40 m/s と大きい。一方, 外海部にあたる豊後水道で 30~35 m/s, 紀伊水道で 25~40 m/s であり, 大阪湾に続く紀伊水道の北部で 35~40 m/s と大きい。また, 紀伊水道の南部では上述のように, 入力資料の過小評価によって U_{50} は 30 m/s 以下となっている。変動係数 $\tilde{U}_{50\sigma}$ は大部分の海域で 4~8% であり, 伊予灘東部から燧灘西部にかけて 8% を越える。

これらの結果を観測風資料を用いて推定した結果^[4]と比べると, 関東沿岸海域 (26 年間の観測風資料) では, U_{50} の空間分布は定性的のみならず定量的にもかなりよく符合する。伊勢湾 (9 年間の観測風資料) では, 両者は定性的に類似した分布を与えるものの, 資料期間が長い SDP 風資料を基礎とする本研究による 50 年確率風速が約 5 m/s 大きい。瀬戸内海 (23 年間の観測風資料) では, 瀬戸内海西部海域や燧灘で両者は同程度の値を与える一方, 大阪湾・紀伊水道と播磨灘で本研究による 50 年確率風速が 5 m/s 以上大きい値を生じる。これは SDP 風資料を基礎とする本研究の資料には 1960 年代の異常台風 (台風 6118 号, 6420 号, 6523 号など) に伴う最大級の風速が含まれるためである。

5. 結 語

本研究では 45 年間 (1961~2005 年) の SDP 風資料に基づいて推定した関東沿岸海域, 伊勢湾, 瀬戸内海の 3 海域における 1 時間ごとの海上風分布資料を解析して, つぎの知見を得た。

- 1) SDP 風資料に基づく計算風資料は 3 海域にある複数の海上部観測地点において, 風向のみならず風速の時別値および月別値に関して観測風資料に基づく結果とよく符合する結果を与えるが, 複雑な地形状況にある瀬戸内海ではその対応はやや低下する傾向にある。また確率風速に関しては, 計算風資料に基づく値が観測風資料に基づく値とよく符合する地点や, やや大きい値を与える地点, および大阪湾 MT 局のように, 過大な値を与える地点に分かれ, 両者の対応は検討対象地点ごとに異なる。
- 2) 3 海域における冬季および夏季の平均風速場はそれぞれ NW 方向および S 方向の風の場合という各季節特有の空間分布を与えるが, 風速および風向の場の細部においては小海域ごとに異なる。また季節別平均風速で除した無次元量では, 平均風速の大きい冬季の累年較差が平均風速の小さい夏季の累年較差より大きい。その値はおおむね冬季で 12% 以下, 夏季で 8% 以下である。
- 3) 15 年間の平均値でみれば, 45 年間の SDP 風資料に基づく海上風分布資料はその 3 年代の間でほとんど差異を示さない。
- 4) 3 海域における 50 年確率風速の空間分布は, より短い期間の観測風資料に基づいて推定した結

果とそれぞれ定性的には符合するけれども、絶対値は観測資料期間以前に最大級の異常風速が生じた伊勢湾や大阪湾・紀伊水道などにおいて観測風資料に基づく推定値より大きい値をとり、観測期間中の最大風速を上まわる異常風速がほとんど生起していない関東沿岸海域や瀬戸内海西部海域のような海域では同程度の値を与える。

5) SDP 風資料に基づいて推定した3海域における45年間の海上風分布資料は比較的高い信頼性をもつことが観測風資料に基づく結果との良好な対応から言える。

参 考 文 献

- [1] 山口正隆・大福 学・野中浩一・畑田佳男・日野幹雄：SDP 風資料を用いた内湾・内海における45年間の海上風分布データセットの作成，海岸工学論文集，第56巻，2009（印刷中）。
- [2] 畑田佳男・山口正隆・大福 学・高橋秀典：表面風再解析資料を用いた波浪の長期推算システムの適用性の向上，海岸工学論文集，第52巻，pp.141-145，2005。
- [3] 塩野清治・弘海原 清・升本真二：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)ー加重一次補間法，情報地質(10)，pp. 65-78，1985。
- [4] 山口正隆・大福 学・日野幹雄・野中浩一・畑田佳男：内海・内湾における風候と確率風速の評価，水工学論文集，第53巻，pp.1477-1482，2009。
- [5] Yamaguchi, M. and Y. Hatada : An extremal analysis system and its application to the estimation of extremes of meteorological and oceanographic elements around the coasts of Japan, Proc. WAVES97, Vol.2, pp.932-946, 1997.
- [6] 山口正隆・大福 学・野中浩一・畑田佳男：内湾・内海における観測資料を用いた確率風速と確率波高の推定，工学ジャーナル（愛媛大学工学部），第8巻，pp.118-128，2009。

SDP 風資料に基づく内湾・内海の海上風分布を用いた

45年間の波浪推算システム - 関東沿岸海域の場合 -

A 45-Year Wave Hindcast System Driven by SDP Wind Data-Based Sea Wind Distributions on the Inner Bay Areas and Inland Sea of Japan - the Kanto Sea Area Case -

山口正隆*・畑田佳男*・大福 学**・野中浩一**

Masataka YAMAGUCHI*, Yoshio HATADA*,
Manabu OHFUKU** and Hirokazu NONAKA**

A 45-year wave hindcast system is applied to investigate the ability to reproduce the long-term wave conditions at each of the measurement stations in the Kanto Sea Area consisting of Tokyo Bay, Sagami Bay, Suruga Bay and their offshore areas. The system is driven by hourly sea wind distributions evaluated using both the NCEP/NCAR reanalysis surface wind data archive in the open ocean and the SDP wind data acquired around the domestic Kanto Sea Area. Comparison between the hindcasts- and measurements-based wave data in each bay area gives the following findings. 1) The system yields reasonable estimates for individual significant wave height and period and the resulting wave statistics over 26 years to the longest period. 2) In a mean sense, ability of the system to be used for wave estimation is comparable to that of a system in which the measurements-based sea wind distributions are provided in the domestic sea area. 3) Two statistical tests detect hardly any statistically-significant trend for various means of annual wave height data hindcasted over a 45-year period at each of the representative measurement stations.

Key Words : 45-year wave hindcast system, SDP wind data, NCEP/NCAR wind data, backward ray tracing wave model, Kanto Sea Area, wave climate

1. 緒 言

外洋と接続する内湾・内海における波浪を高い精度で推定するためには、外洋から伝播する波浪のみならず、局所風に伴う波浪を生起する、周辺地形の影響を受けた海上風の場を時間を追って適正に評価する必要がある。そのため、山口ら^[1]は対象海域の沿岸部と海上部の観測地点で取得された風観測資料に対して空間補間法を適用するという手法によって、わが国の代表的内湾・内海である関東沿

*愛媛大学大学院理工学研究科（工学系）生産環境工学専攻

Engineering for Production and Environment, Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

**愛媛大学工学部環境建設工学科

Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Ehime University

原稿受理 平成 21 年 10 月 5 日

岸海域（東京湾，相模湾，駿河湾とその沖合の海域），伊勢湾（三河湾を含む），瀬戸内海全域（豊後水道から内海部を経て紀伊水道に至る海域）における1時間ごとの海上風分布を推定したのち，山口ら^{[2], [3], [4]}および日野ら^[5]はこの海上風分布を内湾・内海における入力条件とする長期波浪推算システムを構築し，波浪観測資料との多面的な比較に基づいてその精度を検証してきた。その期間は入手しえた風観測資料の制約のために，関東沿岸海域で26年（1979～2004年），伊勢湾で9年（1995～2003年），瀬戸内海で23年（1983～2005年）を限度としたが，長期にわたる波浪特性を検討するためには，波浪推算の精度をあまり損うことなしに対象期間をできるだけ延長することが望ましい。

こうした観点から，山口ら^{[6], [7]}は電子データとして公表されている，対象海域周辺の気象庁気象官署における1961年以降の時日別値および日最大風資料（Surface Data Point ; SDP 風資料と言う）と，これに比べて期間の短い，対象海域の沿岸部および海上部における風観測資料との相関関係を利用して，上記3海域における1時間ごとの海上風分布を1961～2005年の45年間にわたり求めるとともに，その精度や特性を明らかにした。そして，山口ら^[8]はこの海上風分布を内湾・内海における入力条件とする45年間の波浪推算を東京湾内外の波浪観測地点で実施し，その適用性を明らかにしたが，紙数の制約のため，詳細な検討結果を記載できなかった。

そこで本報告では，東京湾，相模湾，駿河湾とその沖合海域からなる関東沿岸海域の3小海域の波浪観測地点において上述の長期波浪推算を実施し，観測資料との詳細な比較に基づいてその精度を検討した結果を包括的に提示する。

2. 波浪推算システムの内容

2.1 海上風分布資料

波浪推算には，2種類の海上風分布資料を用いる。1つは外洋における海上風分布資料である。これは，アメリカ合衆国のNCEP/NCAR（National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research）より提供を受けた空間解像度約 1.9° ，時間間隔6時間の10 m 高度表面風再解析資料より空間に関する4点双1次補間と時間に関する線形補間によって北西太平洋に設けた格子間隔80 km の格子網上で得た1時間間隔の海上風分布資料に，楕円型気圧分布の仮定に基づく1時間間隔の台風モデル風を組込んで作成した1時間間隔の10 m 高度海上風分布資料^[9]である。期間は1948～2007年の60年に達する。ここでは，これをNCEP 風資料と言う。他の1つは関東沿岸海域におけるSDP 風資料とNCEP 風資料を用いて格子間隔2 km の格子網上で作成した1時間間隔の10 m 高度海上風分布資料^{[6], [7]}である。期間は1961～2005年の45年となっている。

2.2 波浪推算の条件

波浪推算は山口ら^[10]の1点浅海モデルを用いて対象地点別を実施する。波浪推算の領域はFig. 1に示す格子間隔5 km の北西太平洋大領域に組込んだ格子間隔1 km の関東沿岸海域と，関東沿岸海域に組込んだ格子間隔0.1 km の波浪推算（観測）地点周辺小領域および東京湾からなる3段階地形解像度格子網である。Fig. 1の下側の図は相模湾の平塚および駿河湾の清水を含む格子間隔0.1 km の小領域を示す。また図には，波浪推算（観測）地点名とその括弧内に水深を与える。波浪推算においては，対象地点に到達する各成分波に対する波向線上に設けた波計算点が関東沿岸海域にある場合および海域の外にある場合に，それぞれ関東沿岸海域および外洋における海上風の格子点値に4点双1次補間式を適用して，波計算点における海上風を計算する。用いる周波数成分と個数は $f=0.04\sim 1$ Hz を不等分割した27個，方向成分と個数は $0\sim 360^\circ$ の全方向を 10° で等分割した37個である。波浪推算の時間間隔は東京湾内外の6波浪推算（観測）地点（東京灯標，千葉観測塔，東京湾央，第2海堡，アシカ島，浜金谷）で10分，相模湾と駿河湾内外の9波浪推算（観測）地点（波浮，平塚，石廊崎，御前

崎, 旧御前崎, 駿河海洋, 久能, 清水, 田子浦) で 30 分であり, 風は 1 時間の間不変とする。波浪推算の期間は 1961~2005 年の 45 年である。

以上のように外洋では NCEP 風資料, 関東沿岸海域では SDP 風資料に基づく海上風分布を入力条件として 1 点浅海モデルにより得た波浪推算資料を NCEP-SDP 波資料と言う。また比較のために, 外洋では NCEP 風資料, 関東沿岸海域では観測風資料に基づく海上風分布を入力条件として 1 点浅海モデルにより得た最長 26 年間の波浪推算資料 (NCEP-obs 波資料) [3], [4], [5] を利用する。

3. 東京湾における波浪推算結果の考察

3.1 累年波高

東京湾では, 湾内の東京灯標, 千葉観測塔, 東京湾央, 第 2 海堡と湾外のアシカ島, 浜金谷の計 6 地点で数年以上の波浪観測資料が 1 時間 (前半の 3 地点) あるいは 2 時間 (後半の 3 地点) の間隔で得られている。このうち, 浜金谷の観測地点は 1991 年以降廃止されており, また東京湾央における波浪観測期間も 1995 年前後の 4 年未満である。東京湾央における波浪観測資料のうち, 有義波周期 (T_s) は他の観測地点のものと同程度の値を与えるのに対して, 有義波高 (H_s) は他の観測地点における観測波高や本研究における推算波高と比べてかなり過大な値を示す。この原因は不明であるけれども, ここでは推算波高との対応を考慮して決めた係数 1.25 で観測波高を除した波高を改めて観測波高とみなすことにする。さらに, 内湾における観測周期は適正な値を与えないケースが多いため, ここでは検証対象としない。

Fig. 2 は全観測資料期間における波高に対する推算値 (NCEP-SDP 波資料) と観測値の散布図および等出現率線を 6 地点について示し, 図中には, 誤差指標である相関係数 ρ_H , 原点を通る相直線の

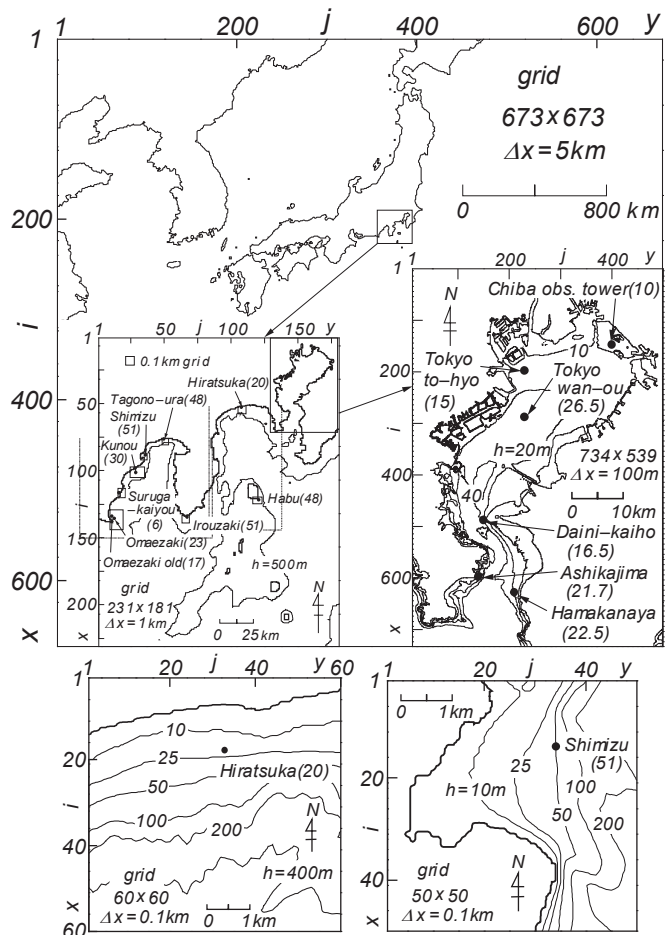


Fig. 1 A nested grid used in wave hindcasting and location of wave measurement stations (Kanto Sea Area).

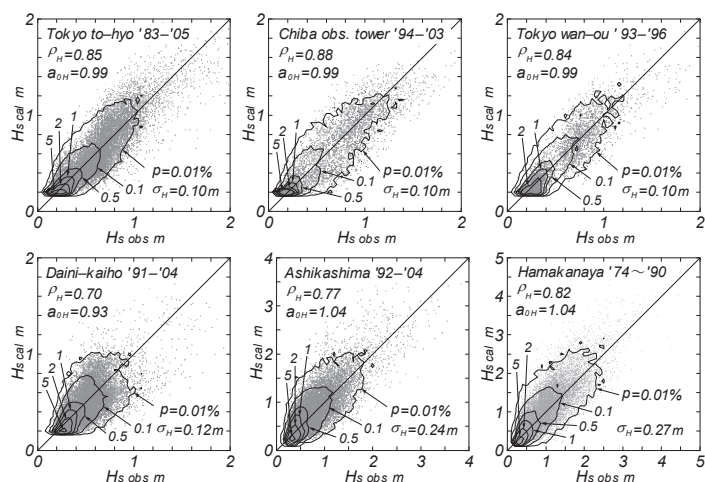


Fig. 2 Scatter diagram between hindcasts and measurements for wave height (Tokyo Bay Area).

勾配値 a_{0H} , 2乗平均平方根波高誤差 σ_H を記載している。それぞれの地点で推算値と観測値は平均的に比較的良好に符合するが、湾内の波浪と湾外の波浪の入射を受け、複雑な波浪状況にある第2海堡では資料値の原点を通る 45° 直線まわりのばらつきが大きい。誤差指標でみると、相関係数 ρ_H は第2海堡の 0.70 とアシカ島の 0.77 を除いて 0.8 より大きく、勾配値 a_{0H} も第2海堡の 0.93 を除いて湾内3地点で 0.99, 湾外2地点で 1.04 であるから、とくに湾内地点で推算値と観測値が平均的にほぼ符合することや、湾外地点でも若干の過大評価傾向を示すものの、両者が比較的良好に対応することを示す。2乗平均平方根波高誤差 σ_H は湾内3地点で 0.10 m, 第2海堡で 0.12 m, 湾外地点で 0.24 m, 0.27 m となっており、これを平均波高 H_{sm} で除した変動係数は、湾外地点で湾内地点より 30% 大きい値をとる。

Fig. 3 は2種類の推算資料 (NCEP-SDP 波資料, NCEP-obs 波資料) と観測資料に基づく波高資料の上位 1/10, 1/3 の平均値 H_{s10} , H_{s3} および全波高資料の平均値 H_{sm} と標準偏差 $H_{s\sigma}$ (図の縦軸では $H_{s\dots}$ と表し、波高統計量と言う) および誤差指標 ρ_H , a_{0H} , σ_H を6地点について示す。各波高統計量に関して、いずれの推算結果もおおむね観測結果とよく符合するけれども、NCEP-obs 波資料が NCEP-SDP 波資料と比べて観測結果に近い値を与える傾向にある。いずれにしても、SDP 風資料に基づく海上風分布を入力条件とする波浪推算 (NCEP-SDP 波資料) の精度は一般的に良好であるが、内湾発生波浪が支配的な湾内地点でかなり高い反面、外洋からの波浪が伝播する湾外地点では相対的に若干低く、波浪状況が複雑な第2海堡でもその傾向がみられる。

3.2 月別波高統計量

Fig. 4 は第2海堡における月別波高統計量 (H_{s10} , H_{s3} , H_{sm} , $H_{s\sigma}$) の経月変化を推算結果 (NCEP-SDP 波資料) と観測結果について示す。東京湾の内外境目に位置し、湾内と湾外の両方向から波浪の入射を受けて複雑な波浪状況を呈する第2海堡においても、各波高統計量に関して推算結果は観測結果によく追従して変化するようにみえるけれども、両者の対応関係の細部は明確でない。

Fig. 5 は推算資料 (NCEP-SDP 波資料) と観測資料より得た月別 1/3 最大波高 H_{s3} に対する散布図を6地点について示す。図中には誤差指標である相関係数 $\rho(H_{s3})$ と原点を通る

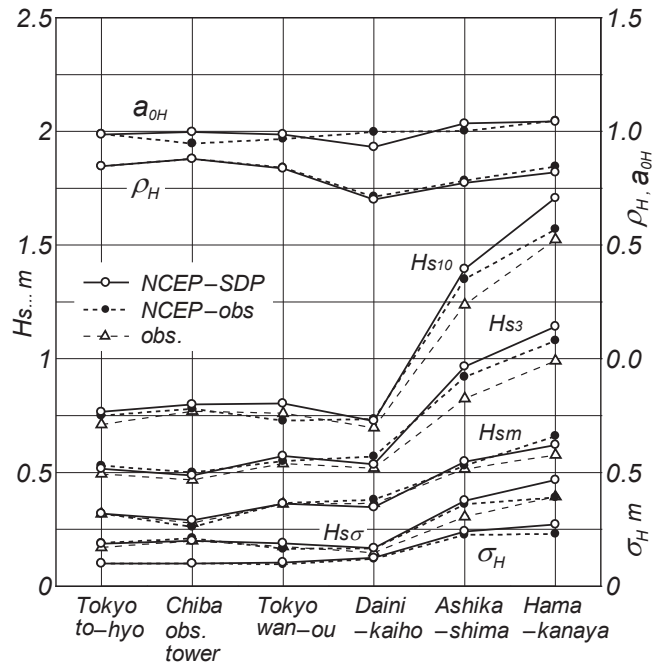


Fig. 3 Hindcasts- and measurements-based whole year means of wave height data and error indices of wave height statistics (Tokyo Bay Area).

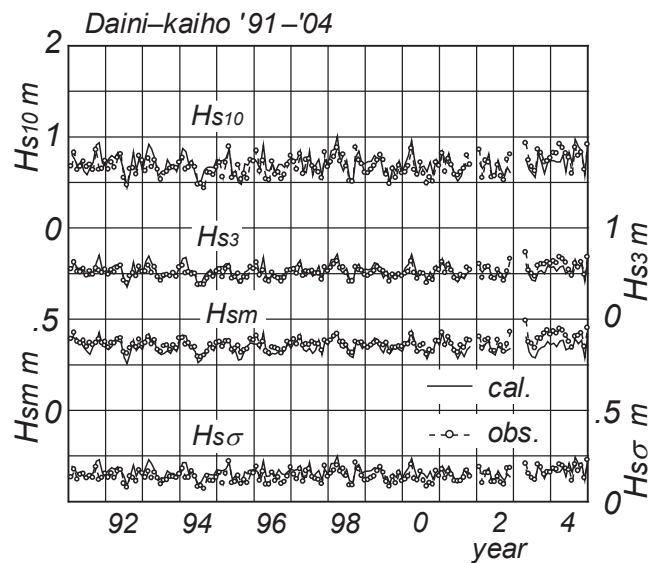


Fig. 4 Interannual variation of monthly-averaged wave height statistics (Daini-kaiho in Tokyo Bay Area).

相関直線の勾配値 $a_0(H_{s3})$ を与える。これによると、湾外のアシカ島や浜金谷では資料値は 45° 直線より上側でやや大きくばらついてプロットされるけれども、他の4地点では資料値が 45° 直線のまわりの比較的狭い範囲に集まることから、月別 1/3 最大波高に対する推算結果と観測結果の対応は比較的よい。誤差指標のうち相関係数 $\rho(H_{s3})$ は 0.56~0.91 と広い範囲にあり、湾外のアシカ島 (相関係数 0.62) と浜金谷 (0.56) で小さく、東京湾央 (0.66)、第2海堡 (0.68) でもそれほど大きくないが、湾内の東京灯標 (0.91) と千葉観測塔 (0.85) では大きい。勾配値 $a_0(H_{s3})$ は 1.03~1.11 の範囲にあって、湾外地点で 1.11、第2海堡を含めて湾内地点で 1.03~1.05 であるから、推算結果は観測結果と比べて湾外地点で 10% 程度大きく、湾内地点でやや大きいことを表す。

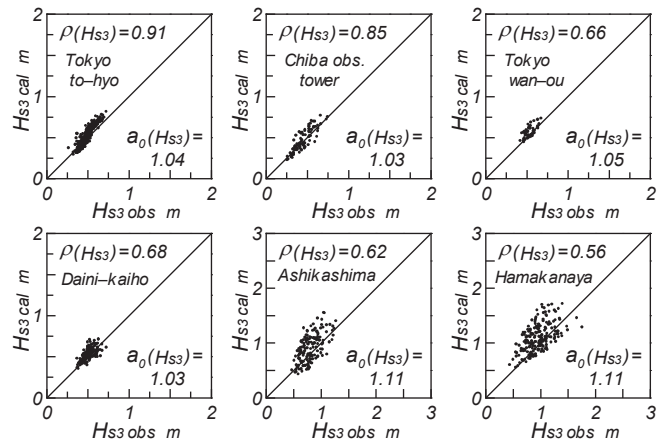


Fig. 5 Scatter diagram between hindcasts- and measurements-based highest 1/3 means of monthly wave height data (Tokyo Bay Area).

Fig. 6 は2種類の推算資料 (NCEP-SDP 波資料, NCEP-obs 波資料) と観測資料より得た月別波高統計量 (H_{s10} , H_{s3} , H_{sm} , $H_{s\sigma}$) に対する誤差指標を6地点に対して与える。各波高統計量について推算結果 (NCEP-SDP 波資料) と観測結果の対応は湾内地点で高く、湾外地点でやや低い挙動、すなわち湾外地点に向うほど相関係数が小さくなり、勾配値が1より大きくなる傾向がうかがえる。また、NCEP-obs 波資料はとくに湾外地点において本研究で得た NCEP-SDP 波資料よりやや高い精度をもつこともうかがえる。

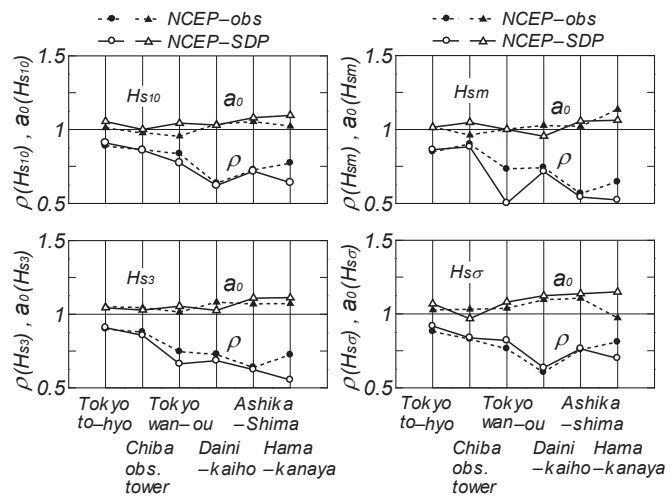


Fig. 6 Error indices of monthly-averaged wave heights (Tokyo Bay Area).

以上の検討結果を要約すると、SDP 風資料に基づく海上風分布を入力条件とする波浪推算の精度は観測風資料に基づく海上風分布を入力条件とする波浪推算の精度に多少及ばないとしても、予想以上に高いと判断できる。

4. 相模湾における波浪推算結果の考察

4.1 累年波高・周期

相模湾の湾奥部に位置する波浪観測地点は平塚の1地点のみである。湾口部とは言えないが、相模湾に繋がる伊豆大島および伊豆半島の先端に波浪観測地点としてそれぞれ波浮および石廊崎が存在することから、これら3地点について波浪推算の精度を検討する。観測資料の期間は平塚で1979~2005年の27年、石廊崎で1977~2005年の29年、波浮で1976~2005年の30年で3地点ともかなり長い。

時間間隔は平塚、波浮で2時間、石廊崎で3時間である。

Fig. 7 は波高および周期に対する推算値 (NCEP-SDP 波資料) と観測値の散布図ならびに等出現率線を3地点について示す。波高および周期に対する資料値は 45° 直線のまわりに幅広く分布するが、楕円状等値線の長軸方向が示唆するように、推算値と観測値の平均的な対応は悪くない。これを誤差指標でみると、波高について、相関係数 ρ_H は $0.70\sim 0.76$ 、勾配値 a_{0H} は $0.92\sim 1.05$ である。また2乗平均平方根波高誤差 σ_H は外洋に開いた地点で 0.52 m と 0.54 m 、湾奥部の平塚で 0.30 m 、3地点の変動係数は 0.4 前後である。これらの数値から推算値と観測値の相関

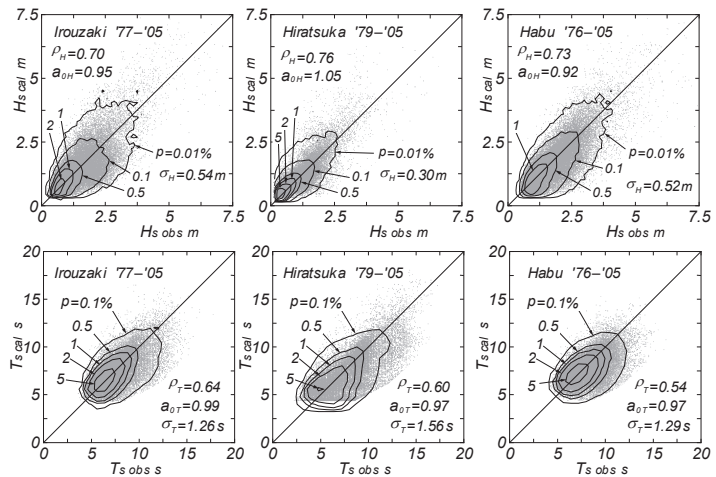


Fig. 7 Scatter diagram between hindcasts and measurements for wave height and that for wave period (Sagami Bay Area).

は十分高いと言えず、勾配値も1よりやや離れるけれども、推算値は観測値とある程度の対応を与えることが示唆される。誤差指標によれば、3地点のうち平塚における波浪推算の精度が他の地点よりやや高い。石廊崎や波浮では、冬季のW寄りの局所風に伴う風波に対する推算精度があまり高くはないことから、相関係数 ρ_H や勾配値 a_{0H} が示唆するように、全資料期間における推算精度も低下する。周期について、相関係数 ρ_T は $0.54\sim 0.64$ で波高の場合より 0.1 小さいが、勾配値 a_{0T} は $0.97\sim 0.99$ を与える。2乗平均平方根周期誤差 σ_T は $1.3\sim 1.6\text{ s}$ 、変動係数は 0.2 前後である。推算周期と観測周期は平均的に対応するけれども、個々の資料値の 45° 直線からのばらつきが小さくないことが示唆される。

Fig. 8 は2種類の推算資料 (NCEP-SDP 波資料, NCEP-obs 波資料) と観測資料に基づく各種波高・周期統計量および誤差指標を3地点について示す。両ケースの推算結果は外洋波浪が直接入射する波浮と石廊崎における波高・周期統計量に対して観測結果とよく符合する。一方、湾奥部に位置する平塚では両ケースの推算結果は波高統計量に対して観測結果より過大な値を与える反面、周期統計量に対しては観測結果とほぼ合致する。相模湾周辺3地点では、SDP 風資料に基づく海上風分布を入力条件とする波浪推算 (NCEP-SDP 波資料) の精度は観測風資料に基づく海上風分布を入力条件とする波浪推算 (NCEP-obs 波資料) の精度と同程度であることが、観測資料より得た波高・周期統計量との比較のみならず誤差指標 (ρ_H , ρ_T , a_{0H} , a_{0T} , σ_H , σ_T) によって示唆される。

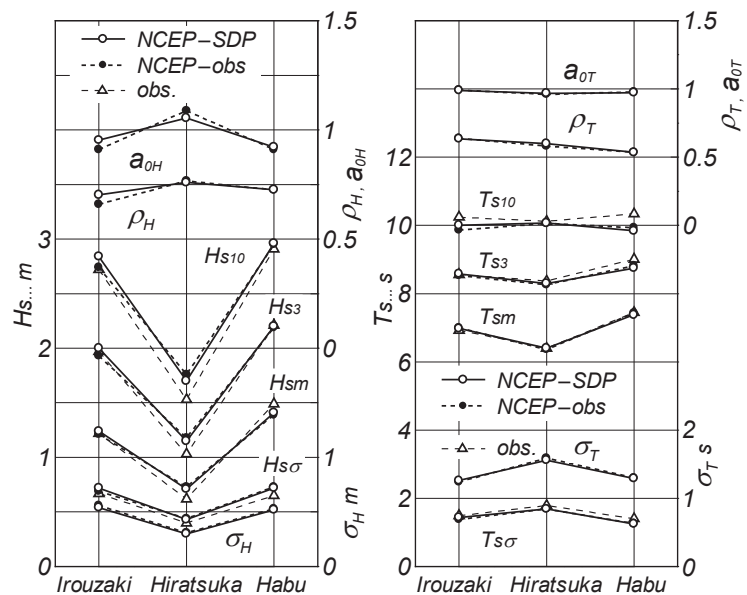


Fig. 8 Hindcasts- and measurements-based whole year means of wave height/period data and error indices of wave height/period statistics (Sagami Bay Area).

4.2 月別波高・周期統計量

Fig. 9 は推算資料 (NCEP-SDP 波資料) と観測資料に基づく各種月別波高統計量の経月変化を平塚について示す。資料値が錯綜しているため、両者の対応は明確でないが、推算結果と観測結果の乖離はあまり目立たないことから、推算結果は観測結果と比較的よく符合するように見える。

Fig. 10 は月別 1/3 最大波高 H_{s3} と月別 1/3 最大周期 T_{s3} について推算結果 (NCEP-SDP 波資料) と観測結果の散布図を与え、図中には

誤差指標を記載する。1/3 最大周期 T_{s3} は有義波周期 (T_s) 資料の上位 1/3 の平均値に相当する。これによると、1/3 最大波高資料に関して資料値の 45° 直線のまわりのばらつきがとくに石廊崎で大きい。平塚では資料値が 45° 直線よりやや上側にプロットされている傾向にあるが、ばらつきは小さい。波浮では資料値は 45° 直線のまわりに集まっている。これらの特性は誤差指標に反映されており、相関係数 $\rho(H_{s3})$ は平塚で 0.74、波浮で 0.71 とある程度以上の大きさをもつものに対して、石廊崎では 0.46 と小さい。勾配値 $a_0(H_{s3})$ は石廊崎と波浮ではほぼ 1.0 であるのに対して、平塚で 1.10 とやや大きい。1/3 最大周期に関して、いずれの地点でも資料値は 45° 直線のまわりにある程度のばらつきをもってプロットされるが、石廊崎と波浮では長周期資料に対して推算結果は観測結果より小さい傾向を示す。誤差指標のうち、相関係数 $\rho(T_{s3})$ は 0.71~0.84 とある程度以上の相関を与えるし、勾配値 $a_0(T_{s3})$ も 0.97~1.00 と 1 に近いことから、推算結果と観測結果の対応は比較的良好と推察される。

Fig. 11 は 2 種類の推算資料 (NCEP-SDP 波資料, NCEP-obs 波資料) に基づく各種月別波高・周期統計量に対する誤差指標を 3 地点について示す。本研究で得た NCEP-SDP 波資料のうち波高について、相関係数は石廊崎における H_{s3} と H_{sm} および波浮における H_{sm} に対する値を除いて、0.7 より大きいことから、推算結果と観測結果の相関は一定程度以上に高い。しかし、石廊崎では H_{s3} 、波浮では H_{sm} に対して相関係数は 0.45 前後と小さいし、石廊崎での H_{sm} に対して相関係数は 0.19 と非常に小さく、事実上無相関を示す。勾配値は 0.93~1.14 に分布し、1 より大きいケースが多いことから、推算結果が観測結果よりやや大きい傾向を、とくに平塚において示唆する。周期に関しては、相関係数は平塚の T_{s3} (相関係数 0.61) と波浮の $T_{s\alpha}$ (0.51) を除いて 0.7 以上の値を与えることから、推算結果と観測結果の相関は比較的高い。勾配値も $T_{s\alpha}$ に対する値を除いて 0.96~1.0 の値をとるから、推算結果と観測結果は平均的によく対応する。また、NCEP-obs 波資料は各波高・周期統計量に対して NCEP-SDP 波資

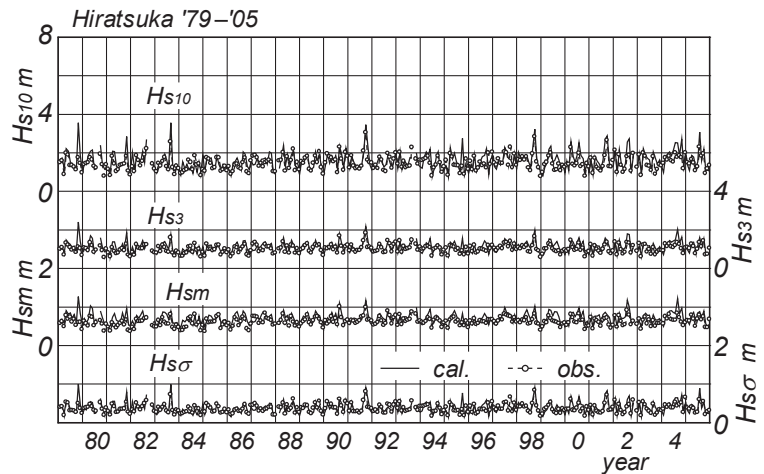


Fig. 9 Interannual variation of monthly-averaged wave height/period statistics (Hiratsuka in Sagami Bay Area).

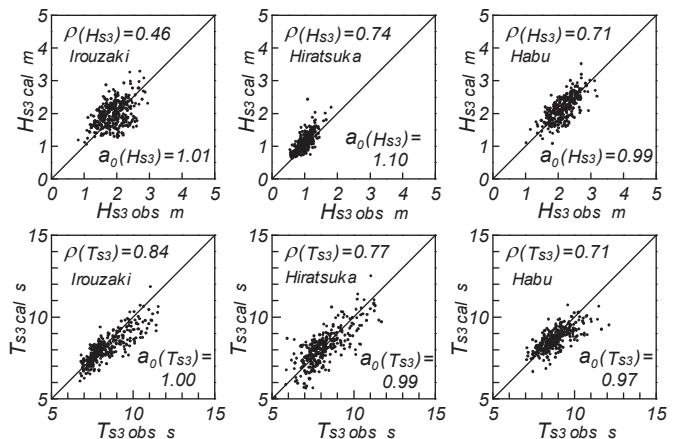


Fig. 10 Scatter diagram between hindcasts-and measurements-based highest 1/3 means of monthly wave height/period data (Sagami Bay Area).

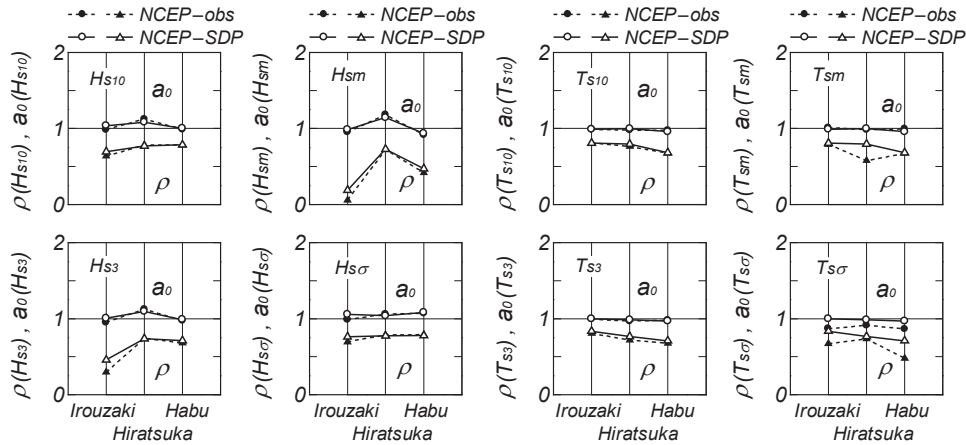


Fig. 11 Error indices of monthly-averaged wave heights/periods (Sagami Bay Area).

料よりやや小さい相関係数を与えるとともに、とくに $T_{s\sigma}$ に対してより小さい勾配値を生じる。

以上のように、各種波高・周期統計量に対して推算結果 (NCEP-SDP 波資料) は、相模湾の湾奥部に位置する平塚で波高について若干の大きめの評価傾向を与えるものの、全体として観測結果と比較的よく符合すると言える。また、本研究で得た NCEP-SDP 波資料は NCEP-obs 波資料と比べてやや高い精度をもつことが、波高・周期統計量に関する観測結果との比較および誤差指標から支持される。しかし、この理由は明らかでない。

5. 駿河湾における波浪推算結果の考察

5.1 累年波高・周期

Fig. 1 に示すように、駿河湾の西岸では湾口部の御前崎から湾奥部の田子浦に至る 6 地点において数年以上の波浪観測資料の入手が可能であり、旧御前崎 (観測期間は 1988～1997 年) を除いて平均波向を含む波浪観測が現在でも継続されている。ここでは、これら 6 地点における平均波向を含む波浪推算資料 (NCEP-SDP 波資料) と観測資料の比較を行う。観測期間は 4～10 年、時間間隔は 2 時間である。

Fig. 12 は波高および周期に対する推算値 (NCEP-SDP 波資料) と観測値の散布図ならびに等出現率線を 6 地点で示す。まず波高に関して、いずれの地点でも資料値は 45° 直線のまわりにある程度集まっていることから、推算資料と観測資料の対

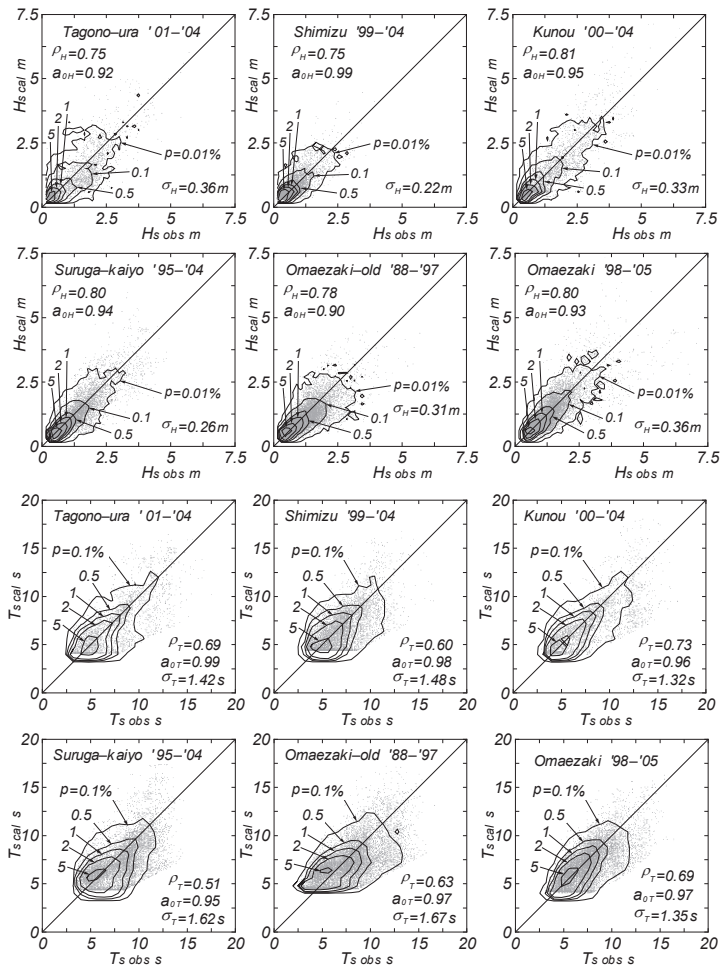


Fig. 12 Scatter diagram between hindcasts and measurements for wave height and that for wave period (Suruga Bay).

応は良好である。これを誤差指標でみると、相関係数 ρ_H は0.75~0.81の範囲にあり、いずれの地点でも0.75より大きいことから、比較的高い相関を表す。勾配値 a_{0H} は0.90~0.99で推算値が観測値より若干小さい傾向を示唆する。2乗平均平方根波高誤差 σ_H も0.22~0.36mをとり、変動係数は田子浦の0.5を除いて0.4前後でそれぞれ同程度の値を与える。ついで周期に関して、資料値は45°直線のまわりにプロットされるが、より広い資料値のばらつきのために、丸みを帯びた等値線を与える。相関係数 ρ_T は0.51~0.73で波高の場合より0.1以上小さいが、周期資料の変動幅(4~12s)が狭い特性を考慮すると、相関はかなり高いと考えられる。勾配値 a_{0T} は0.95~0.99と1よりやや小さい程度で、推算値は観測値と平均的に対応することを表す。2乗平均平方根周期誤差 σ_T は1.3~1.7s、変動係数は0.21~0.25であるから、変動係数は波高の場合より小さいけれども、周期資料の変動幅(4~12s)を考慮すると、推算周期と観測周期の対応の度合は波高の場合より低いと推察される。

Fig. 13は2種類の推算資料(NCEP-SDP波資料, NCEP-obs波資料)と観測資料に基づく各種波高・周期統計量および誤差指標を6地点について示す。波高統計量に関して、NCEP-SDP波資料に基づく結果はいずれの地点でも観測結果とよく符合するが、旧御前崎では多少の過小評価となっている。周期統計量に関して、同様の挙動がみられる。また、NCEP-obs波資料も観測結果との関係においてNCEP-SDP波資料と同程度の対応を与えるが、波高に関する相関係数については若干大きい値を生じる。

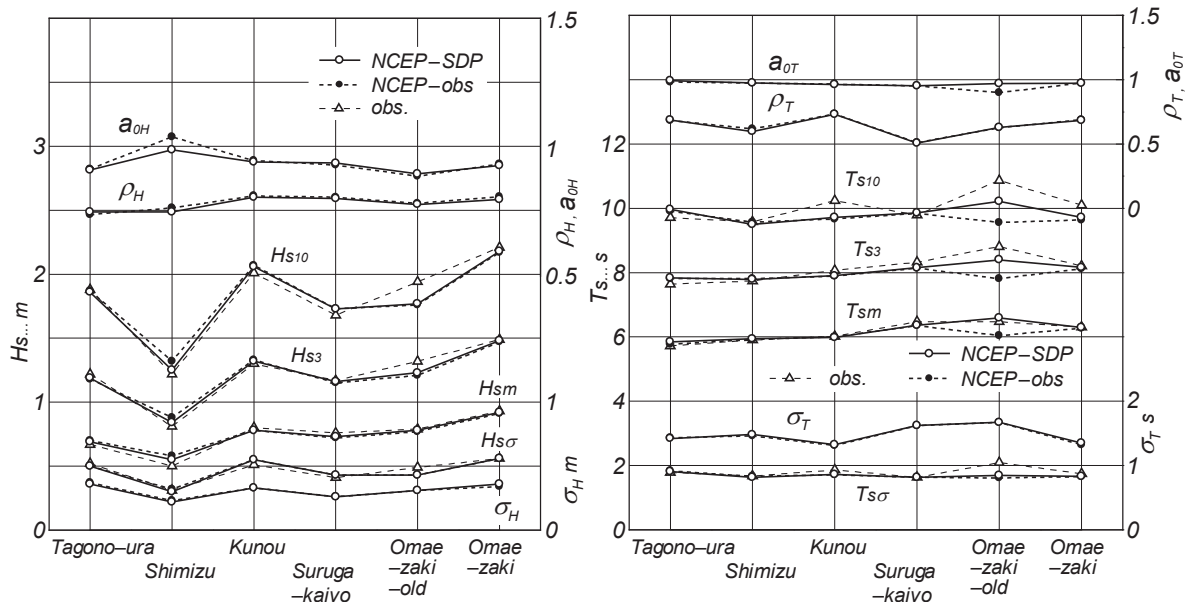


Fig. 13 Hindcasts- and measurements-based whole year means of wave height/ period data and error indices of wave height/period statistics (Suruga Bay).

Fig. 14は推算資料および観測資料から得た波高1m以上の平均波向の累年方向別出現率を5地点で示す。旧御前崎では平均波向の観測資料が得られていない。平均波向の出現率の形状に関して、湾口部の御前崎から湾内北西部の清水に至る4地点で推算結果は観測結果とよく符合するが、湾奥部の田子浦では推算結果が観測結果より反時計回りに1方位ずれる。この隔たりはすでに観測風資料に基づく海上風分布を入力条件とする波浪推算結果^[3]において見出されている。波浪に関する田子浦の地理的条件を考慮すると、観測資料に1方位相当分の誤差が含まれる可能性^[3]がこの原因として推察されている。

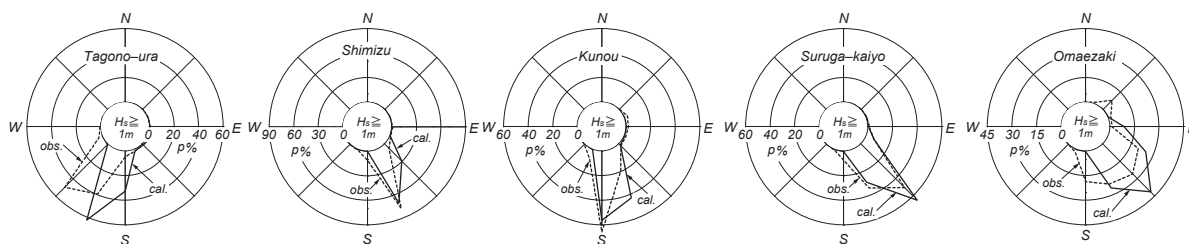


Fig. 14 Hindcasts- and measurements-based whole year direction-grouped occurrence rates of high waves.

5.2 月別波高・周期統計量

Fig. 15 は推算資料 (NCEP-SDP 波資料) および観測資料に基づく各種月別波高統計量の経月変化を久能で示す。推算結果は観測結果によく追従する変化を与えることから、この場合の推算精度は高いことが分かる。

Fig. 16 は月別 1/3 最大波高 H_{s3} と月別 1/3 最大周期 T_{s3} についてそれぞれの推算結果 (NCEP-SDP 波資料) と観測結果の散布図を表す。波高に関して、資料値は 45° 直線のまわりに集まってプロットされており、推算結果と観測結果の対応は良好である。しかし、旧御前崎では資料値の 45° 直線まわりのばらつきが相対的に大きく、資料値は高波高部で 45° 直線の下側にプロットされる傾向にある。誤差指標のうち、相関係数 $\rho(H_{s3})$ は田子浦の 0.71 を除いて 0.83~0.90、勾配値 $a_0(H_{s3})$ は旧御前崎の 0.92 を除いて 0.96~1.03 であるから、全体として推算結果が観測結果とよく符合することを示唆する。ついで周期に関して、波高の場合ほどでないにしても資料値は 45° 直線に沿ってプロットされており、推算結果と観測結果の対応はかなりよい。しかし、旧御前崎では資料値のばらつきと 45° 直線より下側へのプロットがやや目立つ。相関係数 $\rho(T_{s3})$ は 0.68~0.90 と幅広く分布するが、勾配値 $a_0(T_{s3})$ は 0.95~1.02 の範囲にあるから、推算結果と観測結果は多少の相違を伴うもの

と観測結果は多少の相違を伴うもの

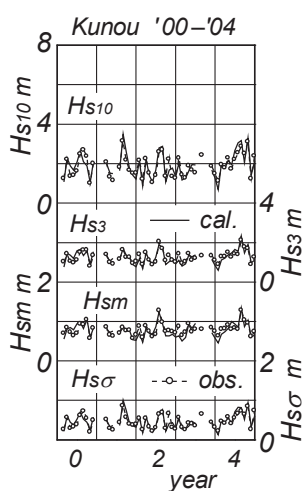
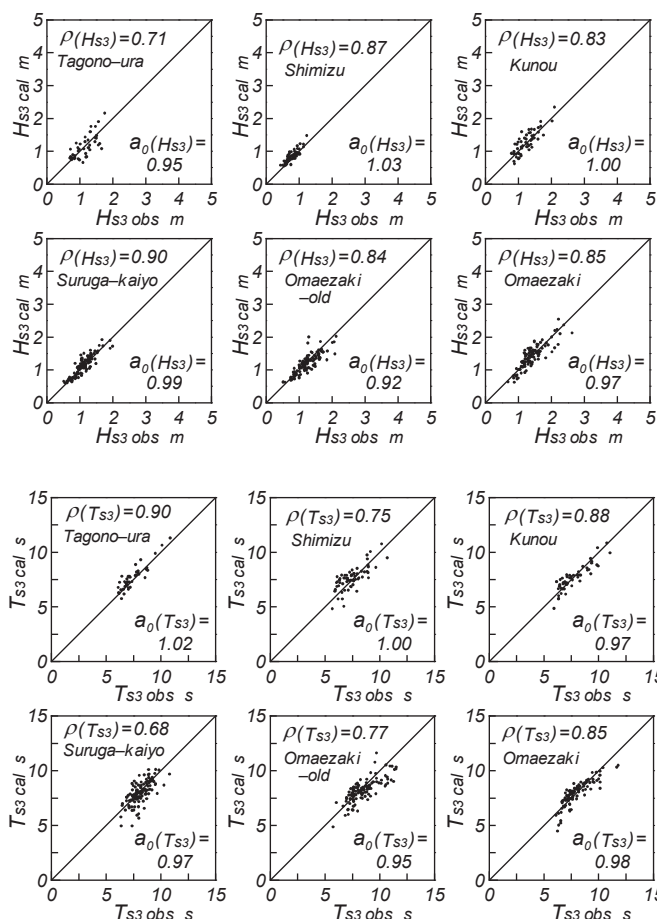


Fig. 15 Interannual variation of monthly-averaged wave height statistics (Kunou in Suruga Bay).

Fig. 16 Scatter diagram between hindcasts- and measurements-based highest 1/3 means of monthly wave height/period data (Suruga Bay).

の、その平均的な対応は悪くない。

さらに、Fig. 17 は2種類の波浪推算資料（NCEP-SDP 波資料，NCEP-obs 波資料）に基づく各種月別波高・周期統計量に対する誤差指標を6地点について与える。まずNCEP-SDP 波資料に基づく波高統計量に関して、旧御前崎では勾配値は $a_0(H_{sm})$ を除いて1より小さく、推算結果が観測結果を下回る傾向にある。また田子浦では各波高統計量について相関係数が他の地点におけるものより小さいことから、湾奥部地点での波浪推算の精度がやや低い傾向が示唆される。しかし、全体を通してみると、各波高統計量について相関係数は0.75以上をとり、勾配値は1前後の値を与えることから、駿河湾西岸の湾口部から湾奥部に位置する各観測地点における波浪推算の精度は比較的高いと言える。また誤差指標でみれば、NCEP-obs 波資料は本研究のNCEP-SDP 波資料と同程度か若干高い精度をもつと推察される。つぎにNCEP-SDP 波資料に基づく周期統計量に関して、相関係数は0.7より大きく、勾配値も1前後の値をとるから、全体として両者の対応は悪くない。ただし、推算結果は旧御前崎で観測結果よりやや小さい値を与える。また、NCEP-obs 波資料はNCEP-SDP 波資料よりわずかに高い精度をもつように見えるが、周期の標準偏差については逆の傾向を示す。

以上のように、SDP 風資料に基づく海上風分布を入力条件とする波浪推算（NCEP-SDP 波資料）は駿河湾西岸の湾口部から湾奥部に至る6地点の波浪観測資料から得られる波高・周期の特別値のみならず、波高・周期・波向の気候学的特性を精度よく再現すると言える。その精度は、観測風資料に基づく海上風分布を入力条件とする波浪推算（NCEP-obs 波資料）と同程度かやや低い程度である。前者の対象期間が45年と後者の26年の2倍近くであることを考慮すると、本研究の波浪推算システムは長期波浪の推定において有用と言えよう。

6. 波高の長期変動

関東沿岸海域の代表的波浪観測地点における1961～2005年の1時間間隔の波浪推算資料（NCEP-SDP 波資料）より得た年別1/3最大波高 H_{s3} の経年変化を示したのが Fig. 18 である。図中には観測資料に基づく年別1/3最大波高も与える。その観測期間は推算資料によるものより短い、測

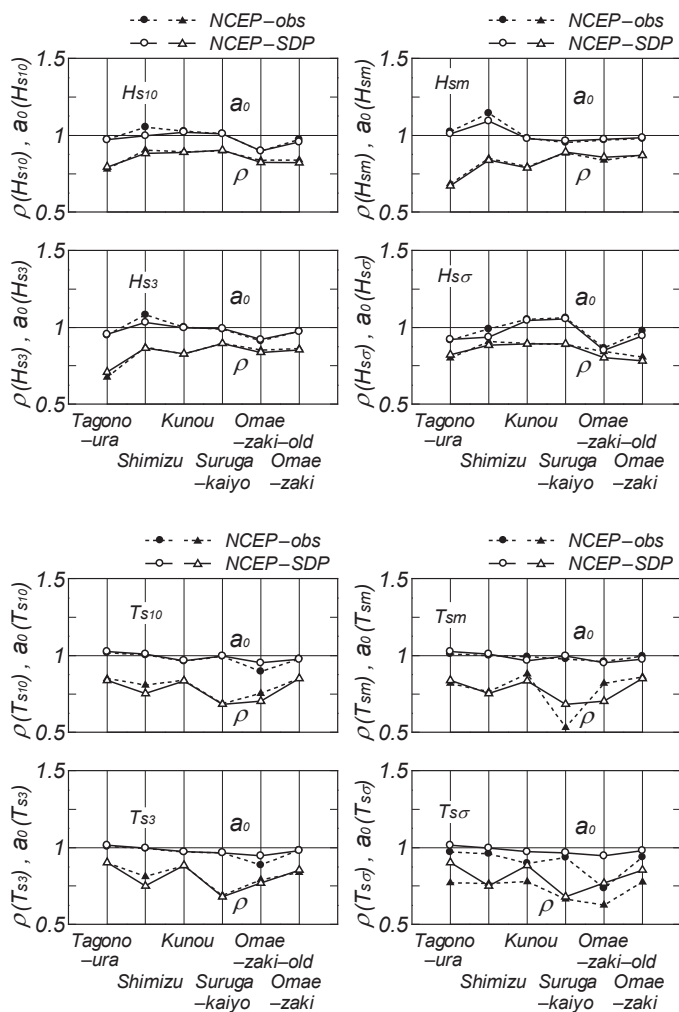


Fig. 17 Error indices of monthly-averaged wave heights/periods (Suruga Bay).

得率も必ずしも 100 %に達しないので、1年間の全資料を用いて年別 1/3 最大波高を計算する推算資料の場合と資料数が異なる。しかし、観測資料の年別測得率はほとんどの年で高いことから、全推算資料に基づく結果は観測値が得られている時点の推算資料に基づく結果と有意な相違をほぼ生じないし、年変化の傾向は実質的に影響を受けない。推算結果は東京灯標ではほとんどすべての年で観測結果とよく符合する。浜金谷では推算結果が観測結果よりやや大きい値を与えるが、経年変化の傾向は類似する。波浮や石廊崎では、推算結果は観測結果との大小関係を年ごと、あるいは年代ごとに変化させるけれども、平均的傾向としては観測結果と比較的よく符合する。平塚では推算結果が観測結果より大きいけれども、平均的変化の傾向に関して観測結果とある程度対応する。観測資料の期間が 10 年以下と短い駿河湾西岸の御前崎、久能、田子浦でも推算結果と観測結果は比較的よく符合する。

51 年間の推算資料 (NCEP-SDP 波資料) より得た各波高統計量 (H_{s10} , H_{s3} , H_{sm}) に直線 $y=at+b$ (t : 年次) をあてはめ、その勾配値 a に対する片側 t 検定を有意水準 5 %で実施し、統計的に有意な増加傾向を傾向変動指標 $L=1$, 減少傾向を $L=-1$, 増加・減少傾向なしの場合を $L=0$ で表す。また鈴木^[11] によるトレンド示数 I_t を求める。有意水準を 5 %とする場合、 $I_t > 1.65$: 統計的に有意な増加傾向, $I_t < -1.65$: 減少傾向, $|I_t| < 1.65$: 増加・減少傾向なし、と傾向変動の有無を判定する。

Table 1 は傾向変動の判別結果の一覧を東京灯標から田子浦に至る 8 地点で与える。表中の Δa は有意水準 5 %に対応する勾配値の変動範囲を表す。これによると、各波高統計量に対してほぼ全地点で $L=0$, $|I_t| < 1.65$ を与え、 $L=-1$, $I_t < -1.65$ をとるのは H_{s10} に対して東京灯標の 1 地点にすぎない。このことは関東沿岸海域の沿岸部に広く分布する波浪観測地点における 1961~2005 年の 45 年間の波浪推算資料より得た各種平均波高資料に統計的に有意な増加・減少傾向が検出されないことを示唆する。

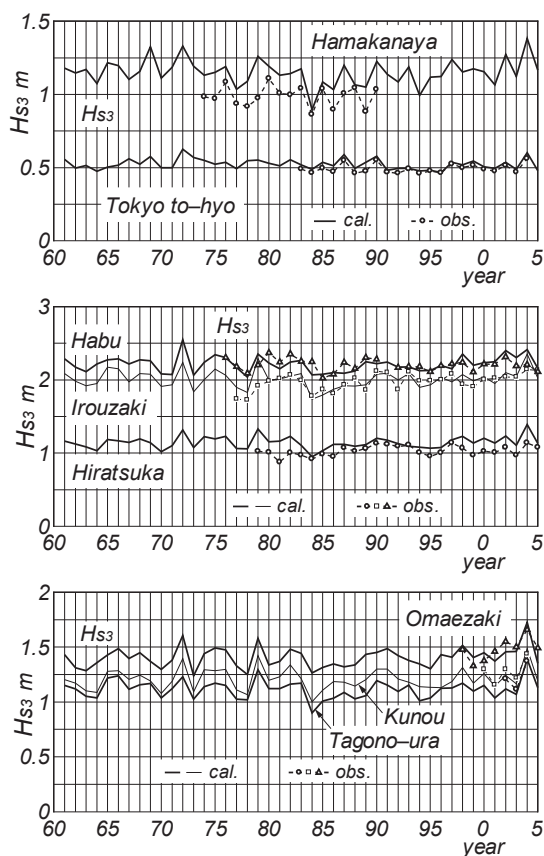


Fig. 18 Yearly variation of hindcasts- and measurements-based highest 1/3 means of annual wave height data (Kanto Sea Area).

Table 1 Trend analyses for hindcasts-based means of annual wave height data (Kanto Sea Area).

location	statistics	a cm	Δa cm	L	I_t
Tokyo to-hyo	H_{sm}	0.007	0.028	0	-0.10
	H_{s3}	-0.046	0.070	0	-1.49
	H_{s10}	-0.265	0.138	-1	-2.95
Hamakanaya	H_{sm}	-0.055	0.084	0	-1.21
	H_{s3}	-0.024	0.172	0	-0.47
	H_{s10}	-0.059	0.259	0	-0.61
Hiratsuka	H_{sm}	0.035	0.074	0	0.37
	H_{s3}	0.073	0.162	0	0.59
	H_{s10}	0.183	0.314	0	1.06
Habu	H_{sm}	0.012	0.120	0	0.08
	H_{s3}	0.044	0.207	0	0.49
	H_{s10}	0.210	0.387	0	1.02
Irouzaki	H_{sm}	-0.001	0.112	0	0.20
	H_{s3}	0.033	0.240	0	0.18
	H_{s10}	0.219	0.487	0	0.57
Omaezaki	H_{sm}	0.068	0.086	0	1.27
	H_{s3}	0.147	0.182	0	1.29
	H_{s10}	0.266	0.369	0	1.02
Kunou	H_{sm}	0.016	0.081	0	-0.12
	H_{s3}	0.070	0.188	0	0.27
	H_{s10}	0.221	0.370	0	0.94
Tagono-ura	H_{sm}	-0.031	0.070	0	-0.94
	H_{s3}	-0.012	0.166	0	-0.41
	H_{s10}	0.083	0.327	0	0.20

7. 結 語

外洋では NCEP 風資料, 内湾・内海では SDP 風資料より推定した海上風分布を入力条件とする 1 点浅海モデルによる 45 年間 (1961~2005 年) の波浪推算システムを関東沿岸海域における多数の波浪観測地点を対象とした波浪推算に適用し, 観測資料との比較に基づいてその精度が比較的高いこと, およびその結果として, 本システムは波高の長期変動や傾向変動の解析に有用であることを明らかにした。得られた知見の細部はつぎのようにまとめられる。

- 1) 本システムの精度は局所風による波浪が卓越する東京湾内の観測地点でかなり高いのに対し, 外洋から伝播する波浪の影響が大きい湾外の観測地点でやや低い。
- 2) 相模湾の内外でも本システムの精度は湾外部より湾奥部でやや良好であるが, 全般的には東京湾内外や駿河湾西岸における推算精度に比べて高くない。
- 3) 外洋からの波浪が入射する駿河湾のうち, 西岸の湾口部から湾奥部に位置する波浪観測地点で, 本システムの精度は波高, 周期のみならず平均波向に対して比較的良好である。したがって, 本システムは駿河湾西岸に沿う長期の波浪特性を適正に評価することを可能にする。
- 4) 本システムは内湾・内海では観測風資料に基づく海上風分布を入力条件とする波浪推算システムと全般的に同程度の精度をもつが, 小海域別にみれば若干高い精度を与えるケースと若干低い精度を示すケースに分かれる。
- 5) 関東沿岸海域の 8 波浪観測地点において 45 年間の波浪推算より得た各種年別平均波高に対する解析からは, いずれの地点でも統計的に有意な傾向変動は検出されない。

参 考 文 献

- [1] 山口正隆・大福 学・日野幹雄・野中浩一・畑田佳男：内海・内湾における風候と確率風速の評価, 水工学論文集, 第 53 卷, pp.1477-1482, 2009.
- [2] 山口正隆・日野幹雄・大福 学・畑田佳男・野中浩一：内湾・内海における波浪の長期推算システムの構築—瀬戸内海の場合—, 海岸工学論文集, 第 54 卷, pp.106-110, 2007.
- [3] 山口正隆・日野幹雄・畑田佳男・大福 学・野中浩一：駿河湾西岸における長期波浪推算, 海洋開発論文集, 第 24 卷, pp.903-908, 2008.
- [4] 山口正隆・日野幹雄・畑田佳男・大福 学・野中浩一：長期波浪推算の精度に及ぼす海上風分布資料および地形解像度の影響, 海洋開発論文集, 第 25 卷, pp.873-878, 2009.
- [5] 日野幹雄・山口正隆・畑田佳男・大福 学・野中浩一：東京湾における長期の波浪特性の推定, 水工学論文集, 第 52 卷, pp. 1351-1356, 2008.
- [6] 山口正隆・大福 学・野中浩一・畑田佳男・日野幹雄：SDP 風資料を用いた内湾・内海における 45 年間の海上風分布データセットの作成, 海岸工学論文集, 第 56 卷, 2009 (印刷中) .
- [7] 山口正隆・大福 学・野中浩一・畑田佳男：SDP 風資料に基づく内湾・内海の海上風分布の特性, 工学ジャーナル (愛媛大学工学部), 第 9 卷, 2010 (投稿中) .
- [8] 山口正隆・畑田佳男・大福 学・野中浩一・日野幹雄：SDP 風資料を用いた内湾・内海における 45 年間の波浪推算システム—東京湾の場合—, 海岸工学論文集, 第 56 卷, 2009(印刷中).
- [9] 畑田佳男・山口正隆・大福 学・高橋秀典：表面風再解析資料を用いた波浪の長期推算システムの適用性の向上, 海岸工学論文集, 第 52 卷, pp.141-145, 2005.
- [10] 山口正隆・畑田佳男・宇都宮好博：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, 1987.
- [11] 鈴木栄一：気象統計学(第 5 版), 地人書館, 314p, 1975.

SDP 風資料に基づく内湾・内海の海上風分布を用いた

45年間の波浪推算システム -伊勢湾の場合-

A 45-Year Wave Hindcast System Driven by SDP Wind Data-Based Sea Wind Distributions on the Inner Bay Areas and Inland Sea of Japan - Ise Bay Case -

山口正隆*・畑田佳男*・大福 学**・野中浩一**

Masataka YAMAGUCHI*, Yoshio HATADA*,
Manabu OHFUKU** and Hirokazu NONAKA**

A 45-year wave computation on a nested grid with high space resolution is conducted at each of the measurement stations deployed in the outer and inner areas of Ise Bay, using a wave hindcast system which is driven by the SDP (Surface Data Point) land winds-based sea wind distributions in Ise Bay area and the NCEP/NCAR reanalysis surface wind distributions in the open ocean. Comparison with the wave measurements leads us to the following findings. 1) At 3 buoys in the outer area of Ise Bay, the system indicates a high ability to reproduce not only the time variations of wave height and period but also the yearly or monthly period-averaged wave statistics as well as our preceding system which is driven by the measurements-based sea wind distributions in Ise Bay. 2) At the measurement stations in Ise Bay, the present system yields relatively reasonable estimates for the long-term wave characteristics and may be usable for evaluating a long-year variation of wave height, although the accuracy is slightly less comparable to that of the preceding system. Another finding is that a statistically significant trend is nearly detectable in the annually-averaged wave height over the period of the past 45 years.

Key Words : 45-year wave hindcast system, SDP wind data, NCEP/NCAR wind data, backward ray tracing wave model, Ise Bay, wave climate

1. 緒 言

わが国の内湾・内海の任意地点において、できるだけ長期間の波浪を適正に評価することを目的として、山口ら^{[1], [2]}は気象庁気象官署における時日別値・日最大風資料 (Surface Data Point ; SDP 風資料) を用いて 1961~2005 年の 45 年間にわたる海上風分布のデータセットを関東沿岸海域、伊勢湾、

*愛媛大学大学院理工学研究科 (工学系) 生産環境工学専攻

Engineering for Production and Environment, Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

**愛媛大学工学部環境建設工学科

Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Ehime University

原稿受理 平成 21 年 10 月 5 日

瀬戸内海で作成するとともに、外洋では NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction /National Center for Atmospheric Research) による表面風再解析資料などから再編集した海上風分布、内湾・内海では SDP 風資料から推定した海上風分布を入力条件とする、1 点浅海モデル^[3]による 45 年間の波浪推算システム^[4]を構築した。そして本システムによって得た、東京湾を含む関東沿岸海域に位置する多くの沿岸波浪観測地点における波浪推算資料と観測資料との比較に基づいて、その精度を明らかにした^{[4], [5]}。

ここでは、本システムを伊勢湾内外の波浪観測地点における長期の波浪推算に適用し、波浪の特別値や各種平均値に関して推算結果と観測結果の比較に基づいて本システムの適用性の検証を一層推進するとともに、波浪推算資料を用いて波高の傾向変動の特性を調べる。伊勢湾においては多くの海上部観測地点で得られた海上風観測資料とそこで推定した SDP 風資料との高い相関を利用して比較的精度の高い海上風分布が推定されていること、および狭い湾域にもかかわらず湾外と湾内の多くの地点で数年以上の波浪観測資料が得られていることから、これらの観測資料を利用することによって、本システムの精度の詳細な検討が可能になる。

2. 長期波浪推算システムの概要

2.1 海上風分布資料

波浪推算では、外洋と伊勢湾の 2 段階で海上風分布を与える。外洋における海上風分布は NCEP/NCAR より提供を受けた 10 m 高度表面風再解析資料 (空間解像度約 1.9° , 時間間隔 6 時間) を北西太平洋に設けた格子間隔 80 km の格子網に双 1 次補間したのち 1 時間ごとに線形補間した各格子点値に、楕円型気圧分布を仮定して得た 1 時間間隔の台風モデル風の 80 km 間隔格子点値を埋込んで作成している。ここではこれを NCEP 海上風分布資料と言う。伊勢湾における海上風分布は伊勢湾周辺の気象庁気象官署で取得された SDP 風資料に対する空間補間から推定した伊勢湾の沿岸部および海上部観測地点における計算風とこれらの地点における観測風との相関を 2 段階で考慮して求めた観測値相当風に、空間補間法を 2 段階で適用して格子間隔 2 km の格子網上で 1 時間ごとに作成している。ここではこれを SDP 海上風分布資料と言う。伊勢湾の内外では多数の地点で海上風観測資料が得られており、しかも SDP 風資料から推定した観測値相当風と観測風の相関がかなり高いことから、これらを用いて推定した海上風分布の精度も良好であると推察される。NCEP 海上風分布資料の期間は 1948~2007 年の 60 年、SDP 海上風分布資料の開始年は SDP 風資料が電子データとして公表されている 1961 年以降であり、ここでは 1961~2005 年の 45 年間を資料期間とする。したがって、波浪推算に使用しうる海上風分布資料の期間は 1961~2005 年の 45 年である。

2.2 波浪推算の方法

波浪推算は、推算精度の検証において多くの実績をもち、高地形解像度計算を効率的に行える 1 点浅海モデル^[3]による。使用する領域は Fig. 1 に示すように、北西太平洋に設けた格子間隔 5 km の大領域格子網に伊勢湾周辺海域に設けた格子間隔 0.1 km の小領域格子網を組込んだ 2 段階高地形解像度格子網である。波浪推算では、波浪推算地点に到達する各成分波の波向線上に設けた波計算点における風をその位置に応じて、格子間隔 80 km の大領域格子網あるいは格子間隔 2 km の伊勢湾内外小領域格子網 (Fig. 1 における小枠の範囲) における風格子点値に 4 点双 1 次補間式を適用して算出し、この風に伴う波浪の発達・減衰・伝播計算によって、波浪推算地点における全周波数・方向成分に対する方向スペクトルを得る。波浪推算の対象地点は伊勢湾外のブイ A (水深 92 m)、ブイ B (40 m)、ブイ C (40 m) と、伊勢湾内のブイ D (35 m)、浜田 (20 m)、MT 局 (8 m)、伊勢湾地点 (27 m)、シーバース (26 m)、四日市 (8 m)、城南 (13 m) の 10 地点であり、最短 4 年間、最長 26 年間の波浪

観測資料が2時間ごとに取得されている。このほか、Fig. 1において×印で示す三河湾のブイ1も波高の長期変動を調べるための波浪推算対象地点とする。波浪推算で用いる周波数成分の数はブイA、ブイB、ブイCで0.04~0.5 Hzを不等分割した23個、それ以外の地点で0.05~1 Hzを不等分割した27個、方向成分の数は0~360°を10°で等分割した37個である。

波浪推算の期間は1961~2005年の45年であり、波浪推算の時間間隔を伊勢湾外の推算(観測)地点(ブイA、ブイB、ブイC)で30分、それ以外の伊勢湾内の推算(観測)地点で10分とし、風は海上風分布資料の入力時間間隔である1時間の間、不変とする。さらに、外洋ではNCEP海上風分布資料のかわりにECMWF(European Centre for Medium-range Weather Forecasts)から提

供を受けた表面風解析/再解析資料を用い、台風モデル風との合成により北西太平洋に設けた80 km格子網で1時間ごとに作成したECMWF海上風分布資料、伊勢湾では沿岸部と海上部の観測風資料より作成した1時間ごとの海上風分布資料を入力条件として1点浅海モデルにより波浪観測地点ごとに波浪推算を最長9年間行った山口ら^[6]の結果も比較のために用いる。

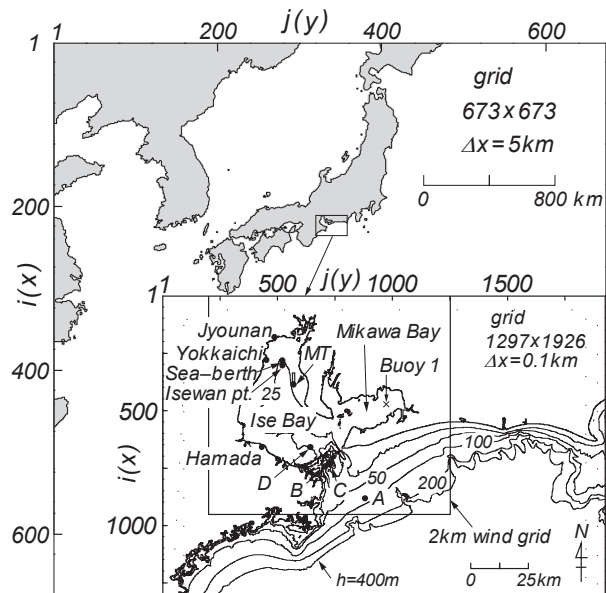


Fig. 1 A nested grid used in wave hindcasting and location of wave measurement stations in outer and inner areas of Ise Bay.

3. 伊勢湾の湾口周辺における波浪推算結果の考察

3.1 累年波高・周期

Fig. 1でみるように、伊勢湾湾口部外側の沖合にブイA(水深90 m)、湾口部外側にブイB(40 m)とブイC(40 m)、湾口部内側にブイD(35 m)が設置されており、それぞれ数年間以上の波高・周期観測資料が2時間ごとに取得されている。このうち、ブイB(観測期間1995年1月~1999年8月)とブイC(1999年9月~2002年10月)の位置は近接しているが、観測期間は重複しない。

Fig. 2は(有義)波高 H_s と(有義波)周期 T_s の1ヶ月間の時系列に対する推算結果と観測結果の比較事例を湾口部外側沖合のブイAと湾口部内側のブイDで示す。ブイAでは、2003年8月8~9日

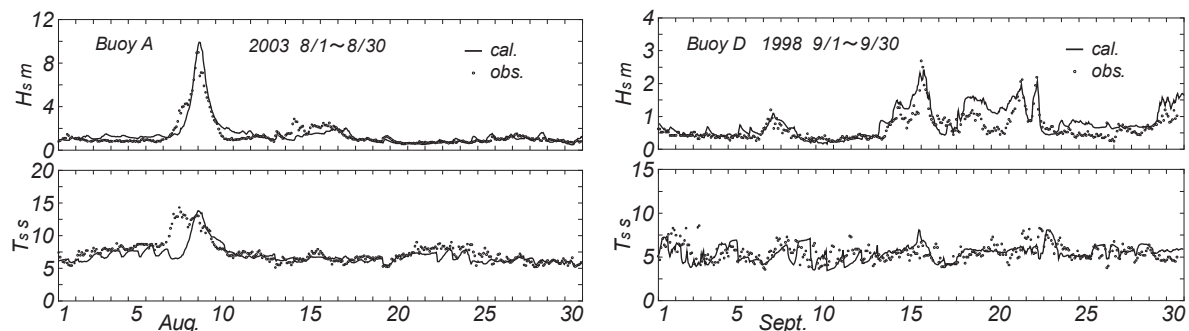


Fig. 2 Time variations of wave height and period based on hindcasts and measurements at Buoy A and Buoy D around entrance of Ise Bay.

の台風 0310 号に伴う波高・周期の急増・急減やその他の平穏期間における波浪状況に関して、推算結果と観測結果の対応はかなり良好である。しかし、8月8日の波高急増開始時において観測周期が推算周期より大きい値を与える。これが当該時刻におけるうねり性波浪を再現していない波浪推算の不具合によるものか、観測誤差によるものかは明らかでないが、観測周期の急激な増加の傾向からみて後者の可能性が高いと考えられる。ついでブイ D では、波高は1ヶ月の間に増減を繰り返し、周期はそれほど大きい変動を伴わないという挙動に関して、推算結果は細かな凹凸を除き観測結果とよく符合するが、波高の大きい時点で推算波高が観測波高よりやや大きい傾向にある。このように、波高・周期時系列に関して推算結果と観測結果の間に多少の齟齬が見出されるけれども、全体として両者は比較的良好に対応すると言える。

Fig. 3 は全観測資料期間の波高および周期に関する推算値と観測値の散布図ならびに等出現率線を4ブイで示す。波高に関して各資料値は原点を通る45°直線のまわりにある程度のばらつきを伴いながら集まっていることから、推算値は観測値と比較的良好に対応することが分かる。しかし、湾口部内側のブイ D では、等出現率線が丸みを帯びていることから明らかなように、他のブイに比べて両者の対応の程度が低い。ブイ D は外洋からの波浪の伝播と湾内発生波浪の影響を受け、しかも伊勢湾湾口部は非常に複雑な地形状況にあることから、波浪推算の精度の確保は湾口部外側のブイに比べて容易でない。周期に関して推算値と観測値の平均的対応は悪くないが、波高の場合より一層丸みを帯びた等出現率線の形状からも明らかなように、推算値と観測値の対応は波高の場合に及ばない。これは、周期そのものが波高ほど変化の幅をもたないため、推算結果と観測結果の相違が現われやすいことにもよる。

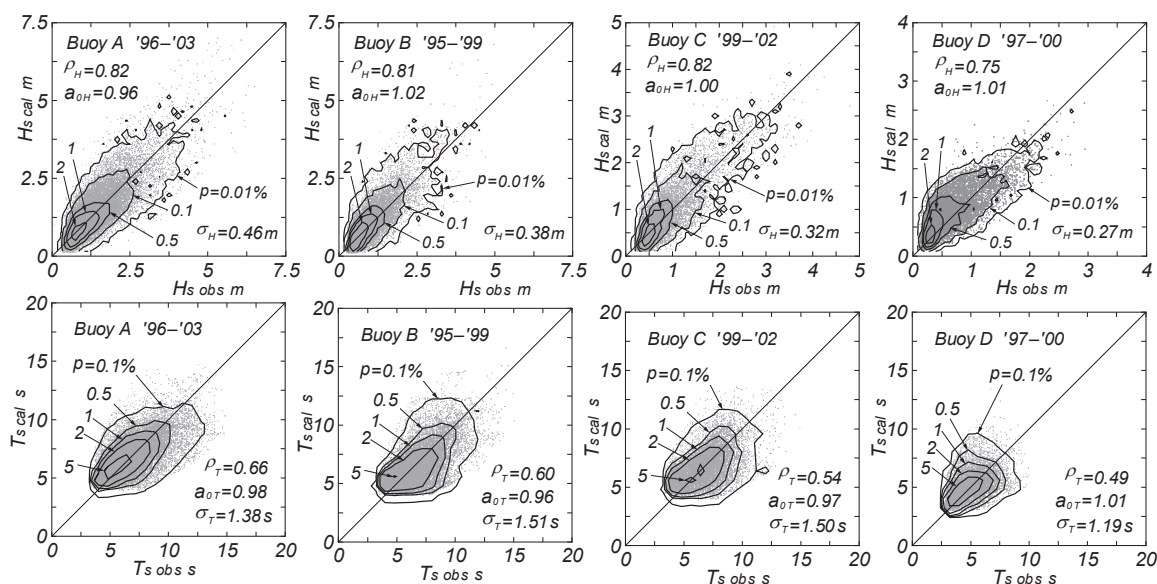


Fig. 3 Scatter diagram between hindcasts and measurements for wave height at 4 buoys around entrance of Ise Bay and that for wave period.

推算結果と観測結果の対応を誤差指標でみれば、まず波高に関して相関係数 ρ_H は0.75~0.82であり、ブイ D ($\rho_H=0.75$)を除いて0.8を越えることから、各資料値の直線まわりのばらつきが少ない特性が相関係数の値に現われている。勾配値 a_{0H} は0.96~1.02であり、平均的な対応はよい。2乗平均平方根波高誤差 σ_H は0.27~0.46 m、これを全観測資料期間の平均(有義)波高 H_{sm} で除した変動係数は0.36~0.40であるから、各ブイの間で差異はあまりない。周期に関して相関係数 ρ_T は0.49~0.66であり、散布図とその等出現率線でみたように、ブイ D ($\rho_T=0.49$)で小さいし、他のブイでもそれほど大きく

ない。勾配値 a_{0T} は 0.96~1.01 であるから、推算結果と観測結果の平均的な対応はよい。2乗平均平方根周期誤差 σ_T は 1.2~1.5 s であるが、変動係数は 0.21~0.24 で、その差は小さい。以上のように、誤差指標によっても、波高に関して推算結果と観測結果の対応は良好であるが、複雑な波浪状況や地理的状况にある湾口部内側のブイ D で両者の対応がやや低下すること、周期に関して推算結果と観測結果の対応は波高の場合ほどよくないにしても、ある程度良好であること、およびブイ D でその対応がやや低下することが表される。

Fig. 4 は波高資料および周期資料のそれぞれ上位 1/10 と 1/3 の平均値 (H_{s10} , H_{s3} , T_{s10} , T_{s3}) および全資料の平均値 (H_{sm} , T_{sm}) とその標準偏差 ($H_{s\sigma}$, $T_{s\sigma}$) に関する推算結果 (NCEP-SDP) と観測結果の比較ならびに誤差指標を 4 ブイについて示す。図中には、外洋で ECMWF 海上風分布、伊勢湾で観測風資料に基づく海上風分布を入力条件とする山口ら^[6]の推算結果 (ECMWF-obs) も比較のために与える。まず波高では、ブイ B とブイ C における H_{s10} , H_{s3} , $H_{s\sigma}$ やブイ D における H_{sm} について推算結果 (NCEP-SDP) が観測結果よりやや大きいけれども、推算結果は観測結果に比較的近い値を与える。周期では、ブイ A における T_{s10} や $T_{s\sigma}$ についてやや相違があるものの、推算結果と観測結果の対応は全般的によい。ついで山口ら^[6]の推算結果に基づく各種平均波高・周期はブイ C における各種平均波高・周期を除いて、本システムによる推算結果に対する優越性をほとんど示さないが、誤差指標のうち相関係数 (ρ_H , ρ_T) と 2乗平均平方根誤差 (σ_H , σ_T) は山口ら^[6]の推算結果の精度が本研究の推算結果の精度より若干高いことを示唆する。

3.2 月別波高・周期統計量

推算結果と観測結果の対応をより詳しくみるために、標準偏差を含む月別の各種平均波高・周期 (波高・周期統計量) について両者の比較を行う。Fig. 5 は月別の各種平均値の経月変化についての比較をブイ C で与える。波高・周期の各種平均値が 1 年に 2~3 回のピークをとりながら変化する挙動に関して推算結果は観測結果とよく符合する。

Fig. 6 は月別の 1/3 最大波高 H_{s3} と 1/3 最大周期 T_{s3} について推算結果と観測結果の散布図を 4 ブイで示す。まず波高に関して、伊勢湾湾口部外側のブイ A, ブイ B, ブイ C では

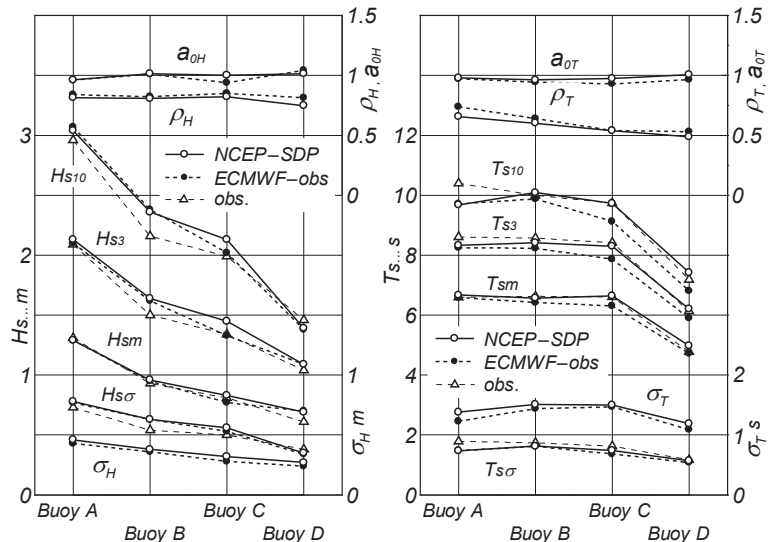


Fig. 4 Hindcasts- and measurements-based whole year means of wave height/period data and error indices of wave height/period statistics at 4 buoys around entrance of Ise Bay.

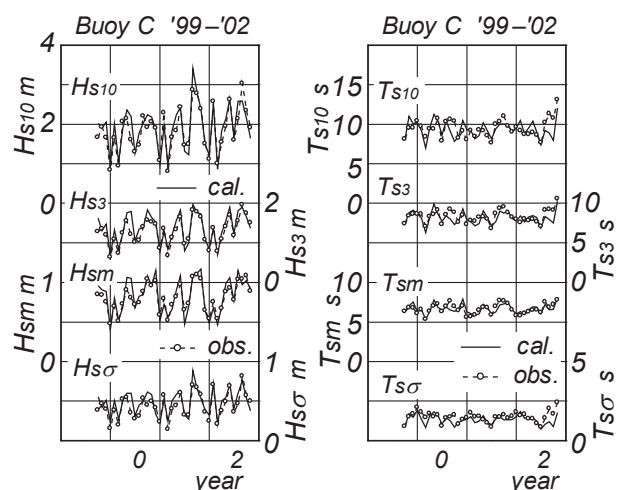


Fig. 5 Interannual variation of monthly-averaged wave height/period statistics at Buoy C around entrance of Ise Bay.

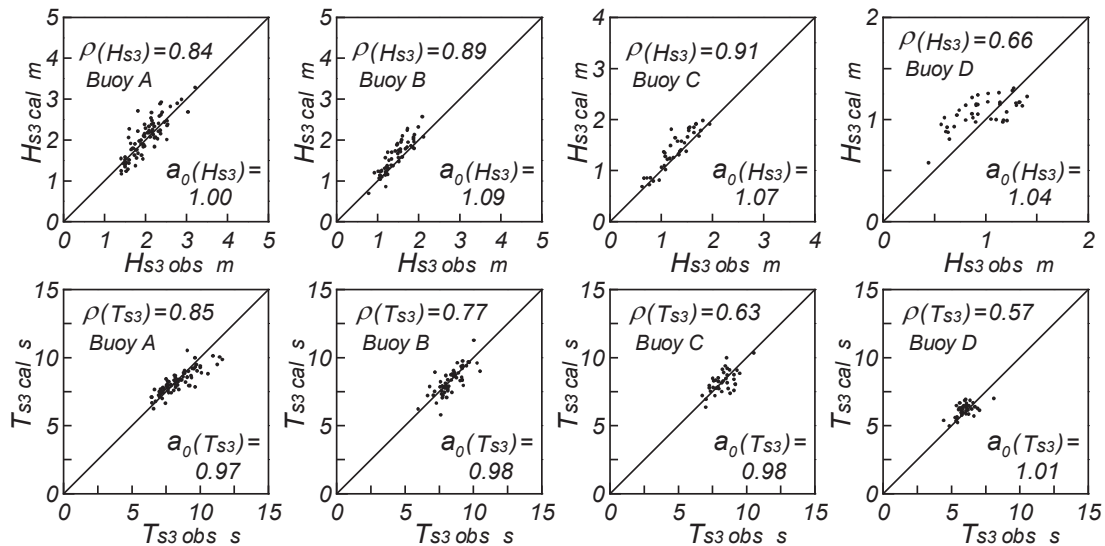


Fig. 6 Scatter diagram between hindcasts- and measurements-based highest 1/3 means of monthly wave height/period data at 4 buoys around entrance of Ise Bay.

資料値は 45° 直線のまわりに集中しており、 45° 直線からの隔たりも小さいことから、推算値と観測値はかなりよく符合することがわかる。湾口部内側のブイ D では資料値は 45° 直線のまわりに集まるものの、そのばらつきは小さくないことから、推算値と観測値の対応が上記の 3 ブイの場合ほどよくないことが示唆される。誤差指標のうち相関係数 $\rho(H_{s3})$ は上記 3 ブイで $0.84 \sim 0.91$ であり、かなり高い相関を与えるのに対し、ブイ D では 0.66 と低くなっており、ブイ D で資料値がばらつくことを示唆する。また勾配値 $a_0(H_{s3})$ は $1.00 \sim 1.09$ であり、ブイ B とブイ C でやや大きい傾向を表す。つぎに周期に関して、各資料値は 45° 直線のまわりにある程度集中しており、推算値と観測値の比較的良好な対応を示すが、ブイ A では長周期資料に対して推算値が観測値より小さい。また、ブイ D では資料値の 45° 直線まわりのばらつきが若干大きく、推算値と観測値の対応が他のブイの場合に比べてやや劣る傾向が現われる。誤差指標のうち相関係数 $\rho(T_{s3})$ は $0.57 \sim 0.85$ の範囲にあり、ブイ A からブイ D の順に小さくなる。ブイ D の相関係数 (0.57) が最も小さい。勾配値 $a_0(T_{s3})$ は $0.97 \sim 1.01$ の範囲にあるから、推算値と観測値の平均的な対応は良好である。結局、相関係数 $\rho(T_{s3})$ の値から、ブイ D、ついでブイ C で資料値の相関直線まわりのばらつきがやや大きく、推算結果と観測結果の一致度が他のブイの場合より低い傾向がうかがえる。

Fig. 7 は本システムによる推算資料 (NCEP-SDP) に基づく月別の各種平均波高・周期に対する誤差指標を 4 ブイで示す。図には山口ら^[6]の結果 (ECMWF-obs) も与える。波高に関してブイ A、ブイ B、ブイ C では相関係数は $0.84 \sim 0.93$ の範囲にあることから、資料値の回帰直線まわりのばらつきが小さい特性が示唆される。しかしブイ D では、相関係数は各種平均波高に対して $0.56 \sim 0.76$ とやや小さくなっており、資料値の回帰直線まわりの相対的なばらつきが大きいことを表す。勾配値はブイ A で $0.99 \sim 1.04$ 、ブイ B で $1.04 \sim 1.15$ 、ブイ C で $1.03 \sim 1.08$ 、ブイ D で $0.94 \sim 1.11$ であるから、各種平均波高に対する推算値と観測値の平均的対応は悪くないが、ブイ B とブイ C で推算値が各種平均波高に対して観測値より大きい値を与える傾向にある。周期に関して、相関係数は $0.36 \sim 0.85$ と非常に幅広い範囲をとり、ブイ A からブイ D に向けて値が小さくなる。その減少の度合は長周期部を代表する T_{s10} や周期の変動幅を代表する $T_{s\sigma}$ の場合に著しいし、 T_{s10} や $T_{s\sigma}$ に関する相関係数の値そのものも T_{s3} や T_{sm} に対するものに比べて小さい。勾配値は $0.83 \sim 1.04$ の範囲にあるが、いずれのブイでもその値が小さい $T_{s\sigma}$ のケースを除けば、 $0.95 \sim 1.04$ の範囲になり、 $T_{s\sigma}$ を除く他の平均周期に対して推算値と観測値の

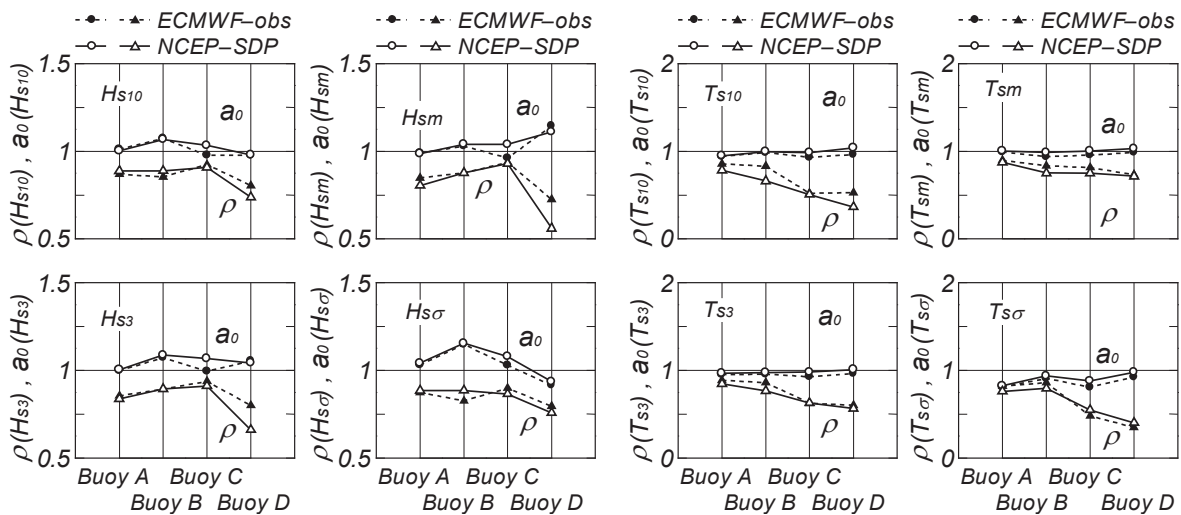


Fig. 7 Error indices of monthly-averaged wave heights/periods at 4 buoys around entrance of Ise Bay.

平均的対応は良好である。 $T_{s\sigma}$ について勾配値は4ブイで0.83~0.98の範囲、そのうち2ブイで0.9以下をとるので、推算値は観測値より若干小さい傾向にある。各種平均周期に関しては、ブイ間の勾配値の差は小さいが、ブイDで推算値が観測値よりやや大きい傾向にある。要するに、波高の場合に比べて相関係数は0.1以上小さいケースが多いけれども、 $T_{s\sigma}$ を除いて勾配値として1近くの値をとるケースが多いことから、推算結果と観測結果の対応はそれほど悪くない。また、山口ら^[6]の結果（ECMWF-obs）は本システムによる結果（NCEP-SDP）と比べて、各種平均波高のみならず各種平均周期に対しても、より大きい相関係数を与えるケースがかなり多い。勾配値については各種平均波高に対して両者の結果で値がそれほど異なるケースがほとんどを占めるが、各種平均周期に対して本システムによる結果が山口らの結果より1に近い値を与えるケースが目立つ。

以上のように、本システムは伊勢湾湾口部の外側から内側に至る4ブイにおける波高・周期の平均特性とブイ間のそれらの相違を比較的精度よく評価するけれども、湾口部内側のブイDでは複雑な波浪状況と地理的状況のため、精度の相対的な低下は否めない。また、伊勢湾内の海上風分布を観測風資料による山口ら^[6]のシステムの精度がとくに波高に関して本システムの精度を上まわるとは、ブイDでは本システムの場合ほどでないにしても、精度の相対的低下の傾向がうかがえる。

4. 伊勢湾内における波浪推算結果の考察

4.1 累年波高

ここでは伊勢湾内にある6波浪観測地点、すなわち浜田（水深26m）、MT局（8m）、伊勢湾地点（27m）、シーバース（26m）、四日市（8m）、城南（13m）について波浪推算資料と観測資料の比較を行う。使用する観測資料の期間は最短4年、最長26年、時間間隔は2時間である。伊勢湾でも他の海域と同様に、周期観測資料は適切な値を与えない時点がかなり多いが、浜田と四日市では、波高と周期の時系列の変化挙動からみて、ある程度適正な観測周期が取得されているようである。対象とする6波浪観測地点のうち浜田および四日市は外洋に向けて有意な方向幅のwave windowsをもつので、これらの地点では外洋からの波浪の影響も顕在化すると考えられる。

Fig. 8は浜田および四日市における1ヶ月間の波高・周期の時系列に対する推算結果と観測結果の比較を示す。いずれの地点でも、波高について推算結果は日々増減を繰り返す観測結果に追従し、絶対値としてもよく符合する。周期についても推算結果と観測結果の対応はある程度良好であるが、観測周期が観測波高に追従した変化を与えない特徴が多くの特典でみられることから、両者の対応は必

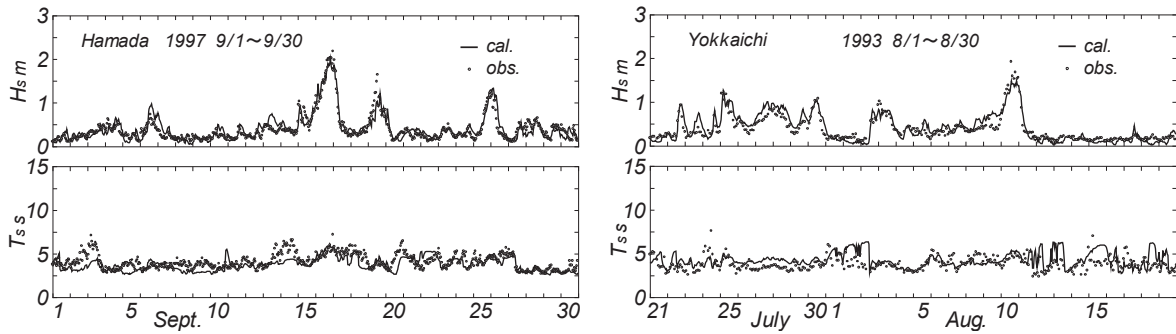


Fig. 8 Time variations of wave height and period based on hindcasts and measurements at Hamada and Yokkaichi stations in Ise Bay.

ずしも十分でない。以上のように、伊勢湾を含めてわが国の内湾・内海において超音波波高計などにより取得された観測周期は観測波高に対応して変化しないなど、不適切な挙動を与える場合が非常に多いことから、ここでも以下の比較対象を波高に限定する。

Fig. 9 は全観測資料期間の波高に対する推算値と観測値の散布図および等出現率線を6地点について示す。資料値はある程度の範囲で 45° 直線のまわりに分布することから、推算値と観測値の対応は悪くないが、資料値のばらつきの状況をみると、十分とは言えない。このうち、シーバースでは観測波高は0.1 m単位で与えられるため、等出現率線の幅が広がっている。また四日市では、資料値のばらつきの幅は他の地点のものより小さいものの、推算値は観測値と比べて低波高部で小さく、中間波高部で大きい傾向にある。誤差指標のうち、相関係数 ρ_H は5地点で0.74を上まわり、3地点でほぼ0.8を越えるから、相関は十分と言えないまでも悪くない。しかし、観測波高が0.1 m単位で与えられるシーバースでは、相関係数 ρ_H は0.72をとり、あまり大きくない。勾配値 a_{0H} は0.92~1.02であるから、平均的には推算値は観測値と対応するが、伊勢湾地点では勾配値 a_{0H} は0.92をとり、推算値が全体として観測値よりやや小さい傾向を示唆する。2乗平均平方根波高誤差 σ_H は0.11~0.15 m、全観測期間の平均波高 H_{sm} で除した変動係数は0.37~0.55である。 σ_H は絶対値として小さくても累年平均波高 H_{sm} と比べると意外に大きい。誤差指標によれば、全体として推算精度は比較的高いが、地点別で

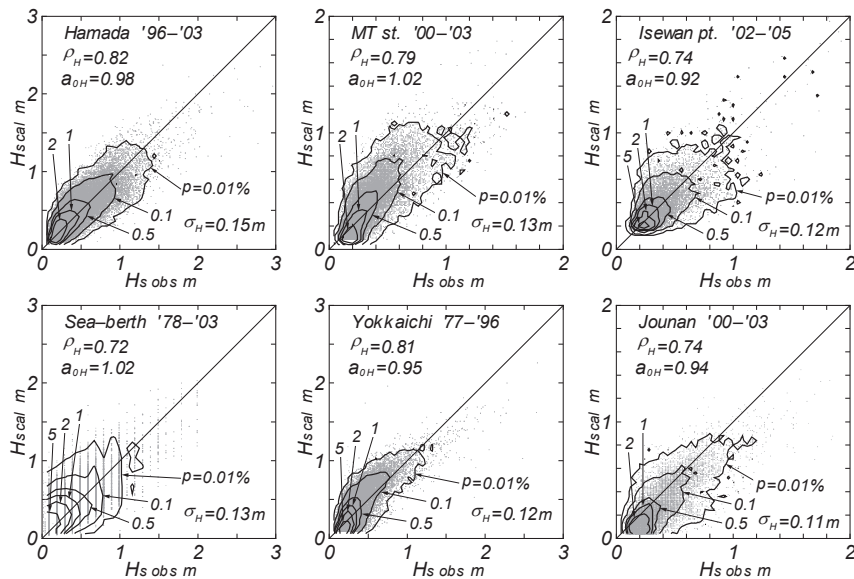


Fig. 9 Scatter diagram between hindcasts and measurements for wave height at 6 measurement stations in Ise Bay.

はシーバースや城南で相対的にやや低いと言えるかもしれない。

Fig. 10 は推算資料 (NCEP-SDP) および観測資料より得た全観測資料期間の各種平均波高 (H_{s10} , H_{s3} , H_{sm} , $H_{s\sigma}$) ならびに誤差指標を 6 地点について示す。図中には山口ら^[6]の推算資料 (ECMWF-obs) による結果も与える。本システムによる H_{s10} や H_{s3} は浜田や伊勢湾地点を除く 4 地点で全体として観測資料によるものより若干大きい傾向にあるが、浜田や伊勢湾地点では各種平均波高について、あるいは他の 4 地点では H_{sm} や $H_{s\sigma}$ について両者の対応は比較的良好である。誤差指標の特徴はすでに上述している。また山口ら^[6]による結果 (ECMWF-obs) は、浜田と伊勢湾地点を除く 4 地点で各種平均波高に関して本システムによる結果 (NCEP-SDP) より観測結果に近い値を与える傾向にあり、相関係数 ρ_H および 2 乗平均平方根波高誤差 σ_H に関しても、より高い精度を示唆する。とくに、相関係数 ρ_H は山口ら^[6]の結果においてかなり大きい。しかし、本システムによる勾配値 a_{0H} は 6 地点すべてで山口らの結果^[6]より 1 に近い値をとることから、全体的な挙動に関しては本システムによる推算結果が観測結果に近い値を与えると推察される。要するに、SDP 風資料と沿岸部・海上部の観測風資料との相関を利用して求めた海上風分布を入力条件とする本システムの精度は比較的良好であるが、上記の観測風資料に基づく海上風分布を入力条件とする山口ら^[6]のシステムの精度に及ばないのは当然のことと言えよう。

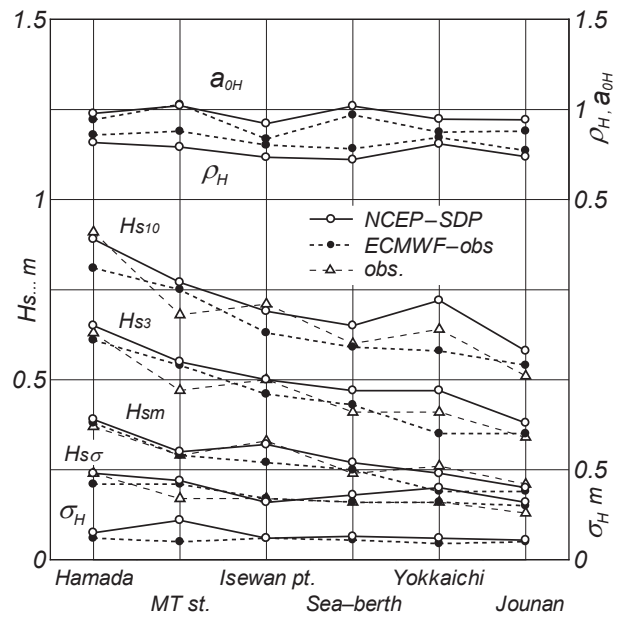


Fig. 10 Hindcasts- and measurements-based whole year means of wave height data and error indices of wave height statistics at 6 measurement stations in Ise Bay.

4.2 月別波高統計量

Fig. 11 は推算資料および観測資料に基づく月別の各種平均波高 (H_{s10} , H_{s3} , H_{sm} , $H_{s\sigma}$) の経月変化を浜田と四日市について示す。両地点において、推算結果はいずれの平均波高についても観測結果によく追従しており、両者の対応は良好である。

Fig. 12 は推算資料と観測資料に基づく 1/3 最大波高 H_{s3} の散布図を 6 地点について表す。資料値は 45° 直線のまわりか、あるいはやや上側にあまりばらつきを伴わずにプロットされることから、推算結果が観測結果と平均的に符合する地点 (浜田, 伊勢湾地点) と、推算結果が観測結果よりやや大きい地点 (MT 局, シーバース, 四日市, 城南) に分けられる。誤差指標で見れば、相関係数 $\rho(H_{s3})$ は MT 局, 四日市, 城南で $0.83 \sim 0.92$, シーバース, 伊勢湾地点, 浜田で $0.45 \sim 0.67$ であるから、後 3 地点では推算結果と観測結果の対応はあまりよいと言えない。勾配値 $a_0(H_{s3})$ は浜田で 1.02, 伊勢湾地点で 0.98 であるから、両者は平均的に対応するが、他の 4 地点では $1.09 \sim 1.15$ であるから、推算結果が観測結果よりやや大きい特徴を表す。観測資料の期間が 26 年に及ぶシーバースでは、相関係数と勾配値からみて、波高に対する推算精度はあまり高いと言えない。しかし、シーバースの波高観測資料は 0.1 m 間隔で与えられるという特性が波浪推算精度の評価において、どの程度影響するかは明らかでない。

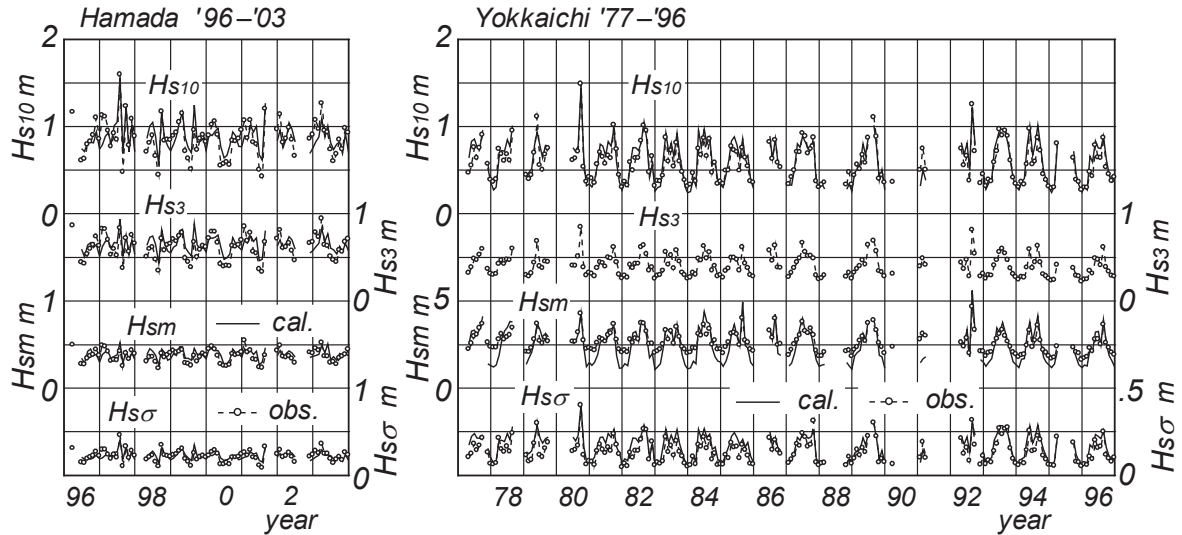


Fig. 11 Interannual variation of monthly-averaged wave height statistics at Hamada and Yokkaichi stations in Ise Bay.

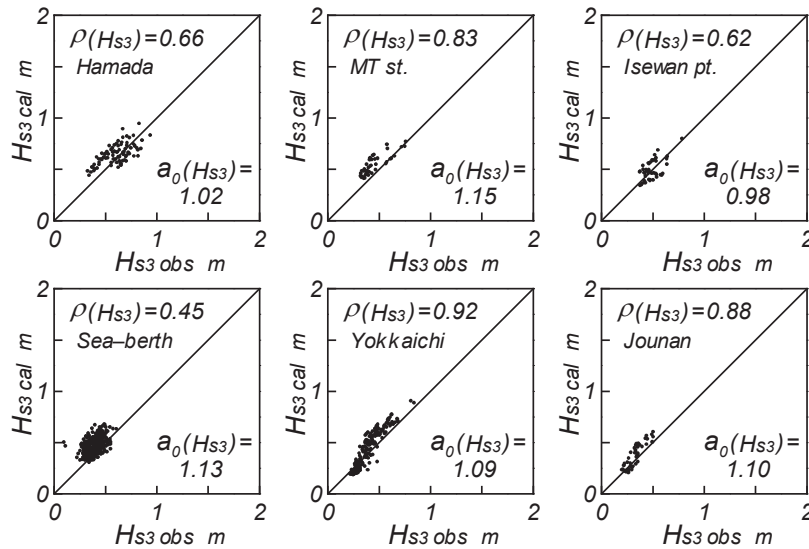


Fig. 12 Scatter diagram between hindcasts- and measurements-based highest 1/3 means of monthly wave height data at 6 measurement stations in Ise Bay.

Fig. 13 は本システムによる推算資料 (NCEP-SDP) に基づく月別の各種平均波高 (H_{s10} , H_{s3} , H_{sm} , $H_{s\sigma}$) に対する誤差指標を 6 地点で示す。図中には、山口ら^[6]の結果 (ECMWF-obs) も与える。まず相関係数は、MT 局、四日市、城南で各種平均波高に対して 0.8 より大きく、浜田、伊勢湾地点がこれにつぐ。とくに四日市では 0.9 を上まわる。しかし、シーバースでは各種平均波高に対して 0.41~0.65 と小さい。勾配値は浜田で 1 に近いが、伊勢湾地点で 1 よりやや小さい。残りの MT 局、シーバース、四日市、城南では、勾配値は各種平均波高に対しておおむね 10% 程度大きい、平均波高の種類によって 1 より小さいケースや 1.1 を上まわるケースもある。以上をまとめると、シーバースで各種平均波高に対する相関係数がやや小さい点を除けば、各観測地点における推算結果と観測結果は平均的にみて比較的良好に対応すると言える。また、観測風資料より推定した海上風分布を用いた山口ら^[6]の結果 (ECMWF-obs) は、各種平均波高について本システムによる結果 (NCEP-SDP) よりおおむね大き

い相関係数を与え、勾配値に対しても1に近い値を与える傾向を示すことから、本システムの精度は山口ら^[6]のシステムの精度に及ばない。しかし、本システムの推算期間（45年）は山口ら^[6]のシステムの推算期間（関東沿岸海域で26年、伊勢湾で9年、瀬戸内海で23年）を大きく越えることから、波浪の長期的状況の把握に大いに有用と考えられる。

5. 波高の長期変動

ここでは、45年間に及ぶ波浪推算に基づく年別の各種平均波高資料を活用して、それらの長期変動と傾向変動を調べる。

Fig. 14 は伊勢湾湾口の外側沖合にあるブイ A から伊勢湾湾奥の城南に至る6波浪観測地点において年別 1/3 最大波高 H_{s3} の経年変化を示す。図中には波浪観測資料に基づく年別 1/3 最大波高も与えるが、波浪推算資料の場合と異なり、必ずしも測得率が100%に相当するものになっていない。しかし、観測結果を測得率が高い年のものに限定していることから、推算結果との比較にある程度使用することは可能である。外洋波浪の入射を受けるブイ A では、推算資料に基づく年別 1/3 最大波高が1972年と2004年で高く、1973年と1978年で低い特徴を示す。また、推算結果は1996~2003年の観測結果ともよく符合する。ブイ B ではブイ A より小さい波高を与えるものの、経年変化の挙動はブイ A のものとよく似ている。しかし、推算結果は観測結果よりやや大きい。一方、伊勢湾湾口の内側に位置するが、外洋波浪の影響も大きいブイ D では、年別 1/3 最大波高は1977~1988年で他の年代よりやや低めの値をとるものの、その年別の変化はあまりみられない。観測結果も推算結果より低めの値をとるが、目立った年別変化を伴わない。伊勢湾内に位置し、湾内発生波浪の影響が湾奥に向うにつれて増大する浜田、四日市、城南でも、ブイ D と同様に、目立った年変化を伴わない波浪状況が経年的に続いている。この挙動は観測結果との年別の一致の程度を別にして、観測結果の経年変動と類似する。さらに浜田では、ブイ D と同様に1977~1988年で他の年代より年別 1/3 最大波高が相対的に低い特徴がみられる。

Table 1 は推算資料に基づく年別の各種平均波高 (H_{s10} , H_{s3} , H_{sm}) に対する傾向変動の解析結果の一覧を伊勢湾湾口の外側沖合にあるブイ A から伊勢湾湾奥の城南に至る9波浪観測地点と三河湾内のブイ1について示す。図中の a は年別値にあてはめた直線 ($y=at+b$; t : 暦年) の勾配値、 Δa は勾配値 a を0とする帰無仮説に対する有意水準5%の片側 t 検定で得られる勾配値の変動幅、 L : 傾向変動指標 ($L=\pm 1$; 統計的に有意な正または負の傾向変動あり, $L=0$: 傾向変動なし) および I_t : 鈴木^[7]のトレンド示数 ($|I_t|>1.65$; 有意水準5%で統計的に有意な正または負の傾向変動あり, $|I_t|<1.65$ 傾向変動なし) を与える。統計的に有意な傾向変動が認められる場合、これらの指標を太字で表す。この表に

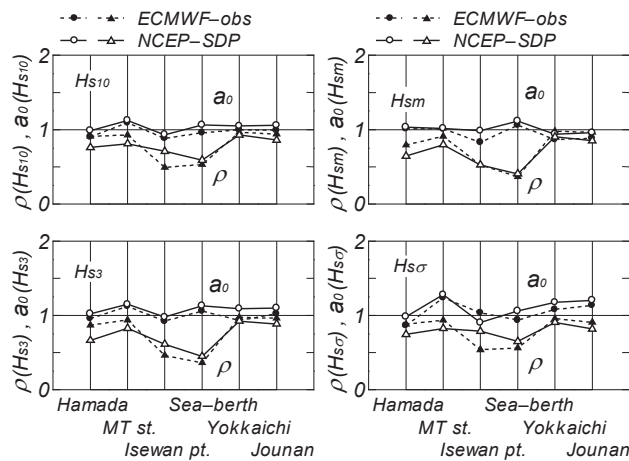


Fig. 13 Error indices of monthly-averaged wave heights at 6 measurement stations in Ise Bay.

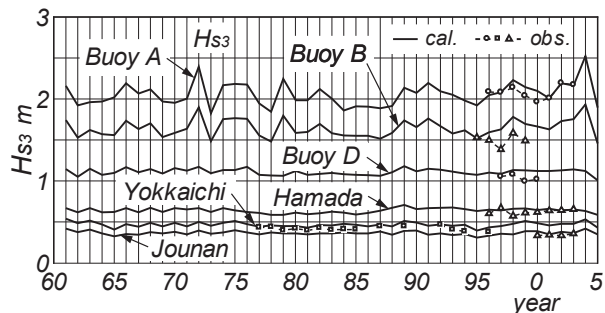


Fig. 14 Yearly variation of hindcasts- and measurements-based highest 1/3 means of annual wave height data at 6 measurement stations in outer and inner areas of Ise Bay.

Table 1 Trend analyses for hindcasts-based means of annual wave height data at 10 stations in outer and inner areas of Ise Bay.

location	statistics	a cm	Δa cm	L	I_t	location	statistics	a cm	Δa cm	L	I_t
Buoy A	H_{s10}	0.313	0.515	0	0.98	MT st.	H_{s10}	-0.099	0.065	-1	-2.31
	H_{s3}	0.182	0.277	0	1.04		H_{s3}	-0.049	0.036	-1	-2.17
	H_{sm}	0.093	0.138	0	1.06		H_{sm}	-0.001	0.019	0	-0.02
Buoy B	H_{s10}	0.074	0.422	0	0.35	Isewan pt.	H_{s10}	-0.047	0.073	0	-1.37
	H_{s3}	0.086	0.210	0	0.78		H_{s3}	-0.024	0.038	0	-1.13
	H_{sm}	0.081	0.110	0	1.27		H_{sm}	-0.007	0.017	0	-0.90
Buoy 1	H_{s10}	-0.050	0.057	0	-1.29	Sea-berth	H_{s10}	-0.072	0.078	0	-2.15
	H_{s3}	-0.013	0.036	0	-0.14		H_{s3}	-0.035	0.039	0	-1.64
	H_{sm}	0.013	0.024	0	1.29		H_{sm}	0.032	0.020	0	0.10
Buoy D	H_{s10}	-0.080	0.088	0	-1.08	Yokkaichi	H_{s10}	-0.053	0.093	0	-0.80
	H_{s3}	-0.018	0.066	0	-0.20		H_{s3}	-0.021	0.059	0	-0.27
	H_{sm}	0.032	0.046	0	1.51		H_{sm}	0.023	0.027	0	0.06
Hamada	H_{s10}	-0.054	0.095	0	-0.74	Jounan	H_{s10}	-0.051	0.084	0	-0.94
	H_{s3}	0.018	0.058	0	0.39		H_{s3}	-0.025	0.045	0	-0.98
	H_{sm}	0.041	0.031	1	2.03		H_{sm}	-0.005	0.020	0	-0.47

よれば、浜田における H_{sm} に対して正の傾向変動、MT 局における H_{s10} と H_{s3} に対して負の傾向変動が両指標により認められる。また、シーバースにおける H_{s10} に対して負の傾向変動がトレンド示数により検出される。これらを除くと、年別の各種平均波高に対して統計的に有意な傾向変動の存在は検出されない。

6. 結 語

本研究では、外洋で NCEP 風資料より得た海上風分布、伊勢湾で SDP 風資料より得た海上風分布を入力条件とする 45 年間の波浪推算システムの適用性を、外洋波浪の影響が大きい伊勢湾口内外の 4 ブイと内湾発生波浪の影響が大きい伊勢湾内の 6 波浪観測地点における波浪観測資料との比較に基づいて検証するとともに、波浪推算資料を用いて波高の傾向変動の特性を調べた。得られた結果はつぎのようである。

- (1) 本システムは伊勢湾湾口部外側の 3 ブイにおける波浪観測資料の挙動をよく再現し、その精度は観測風資料より得た海上風分布を入力条件とする山口ら^[6]のシステムの精度と遜色ない。しかし、伊勢湾湾口部内側のブイでは複雑な地理的状況と波浪状況のために、本システムの精度は山口ら^[6]のシステムと同様に、湾口部外側のブイの場合に比べてやや低下する。
- (2) 本システムは伊勢湾内の 6 地点における波高観測資料の特性を、時別値のみならず月別・年別の各種平均値について比較的よく再現する。その精度は山口ら^[6]のシステムの精度に及ばないが、波高の長期変動の検討に対する利用には十分耐えうるとみなされる。
- (3) 伊勢湾内外や三河湾の代表地点において、統計的に有意な波高の傾向変動はほぼ検出されない。とくに、伊勢湾口の周辺海域ではその特徴が明瞭である。

参 考 文 献

- [1] 山口正隆・大福 学・野中浩一・畑田佳男・日野幹雄：SDP 風資料を用いた内湾・内海における 45 年間の海上風分布データセットの作成，海岸工学論文集，第 56 巻，2009（印刷中）。

- [2] 山口正隆・大福 学・野中浩一・畑田佳男：SDP 風資料に基づく内湾・内海の海上風分布の特性，工学ジャーナル（愛媛大学工学部），第 9 卷，2010（投稿中）。
- [3] 山口正隆・畑田佳男・宇都宮好博：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.151-160，1987.
- [4] 山口正隆・畑田佳男・大福 学・野中浩一・日野幹雄：SDP 風資料を用いた内湾・内海における 45 年間の波浪推算システム—東京湾の場合—，海岸工学論文集，第 56 卷，2009(印刷中).
- [5] 山口正隆・畑田佳男・大福 学・野中浩一：SDP 風資料に基づく内湾・内海の海上風分布を用いた 45 年間の波浪推算システム—関東沿岸海域の場合—，工学ジャーナル(愛媛大学工学部)，第 9 卷，2010(投稿中).
- [6] 山口正隆・大福 学・日野幹雄・畑田佳男・森 正憲・野中浩一：内湾・内海における波浪の長期推算システムの構築—伊勢湾の場合—，海岸工学論文集，第 53 卷，pp.116-120，2006.
- [7] 鈴木栄一：気象統計学(第 5 版)，地人書館，314p.，1975.

SDP 風資料に基づく内湾・内海の海上風分布を用いた

45年間の波浪推算システム -瀬戸内海の場合-

A 45-Year Wave Hindcast System Driven by SDP Wind Data-Based Sea Wind Distributions on the Inner Bay Areas and Inland Sea of Japan -the Seto Inland Sea Case-

山口正隆*・畑田佳男*・大福 学**・野中浩一**

Masataka YAMAGUCHI*, Yoshio HATADA*,
Manabu OHFUKU** and Hirokazu NONAKA**

This paper presents the third case study for the application of a 45-year wave hindcast system, which is driven by the SDP (Surface Data Point) land winds-based sea wind distributions in the domestic sea areas and the NCEP/NCAR reanalysis surface wind distributions embedded with parametric typhoon model winds in the open ocean. Wave computation on a nested grid with high space resolution is conducted over the 45-year period from 1961 to 2005 at each of the measurement stations in the Kii and Bungo Channels and the inner sea areas of the Seto Inland Sea. Comparison with the measurements in the recent 3 to 28 years leads us to the following results: 1) The system yields rather accurate estimates for both time variations of wave height and wave period and their climatic statistics in the Kii and Bungo Channels connecting to the open ocean. 2) The system gives slightly less-accurate estimates for the long-term wave height conditions in the inner sea areas of the Seto Inland Sea due to the complicated geographical situations. Another finding is that a decreasing trend may be detected for each of the various mean values of annual wave height data in the inner sea areas of the Seto Inland Sea, different from the cases of the Kanto Sea Area and Ise Bay in the previous studies.

Key Words : 45-year wave hindcast system, SDP wind data, NCEP/NCAR wind data, backward ray tracing-based wave model, Seto Inland Sea, wave climate

1. 緒 言

瀬戸内海を対象とする1年間以上の波浪の推算研究は水谷ら^[1], 橋本ら^{[2], [3]}, 畑田ら^[4], 山口ら^{[5], [6], [7], [8]}により行われている。まず水谷ら^[1]は燧灘西部の今治で取得された観測風を補正した一様風の入力条件のもとに第3世代モデルのWAM^{[9], [10]}を用いて燧灘における10年間の波浪推算を行い、波

*愛媛大学大学院理工学研究科（工学系）生産環境工学専攻

Engineering for Production and Environment, Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

**愛媛大学工学部環境建設工学科

Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Ehime University

原稿受理 平成21年10月5日

浪観測資料との比較を行っているが、用いられた海上風分布が必ずしも適切でない。橋本ら^{[2], [3]}は局地気象モデル (ANEMOS) によって計算した海上風分布を入力条件として WAM^{[9], [10]}による高地形解像度波浪推算を、周防灘から播磨灘に至る瀬戸内海で 2000 年^[2], 2002 年^[3], 2004 年^[3]の各 1 年間について行い、波高観測資料との良好な対応を得ている。橋本ら^{[2], [3]}の研究は方法論的にも合理的であり、比較的高い推算精度を得ているが、対象期間が 1 年飛びの 3 年であることから、これらに基づいて波浪の長期特性を検討するには短すぎる。

畑田ら^[4]は ECMWF (European Centre for Medium-range Weather Forecasts) より提供を受けた表面風再解析/解析資料を再編集して得た風に、楕円型気圧分布の仮定に基づく台風モデルによる風を組込んで作成した海上風分布 (ECMWF 海上風分布) を入力条件として、1 点浅海モデル^[11]に基づく高地形解像度波浪推算を瀬戸内海の代表地点で実施し、観測資料との比較からその適用性を確認している。しかし、畑田ら^[4]の研究において推算期間は 24 年と長いものの、低地形解像度計算に基づく ECMWF 海上風分布資料を使用していることから、波浪推算の精度が若干低い点は否めない。ついで、山口ら^{[5], [6], [7]}は瀬戸内海の沿岸部と海上部で取得された観測風に対する空間補間によって、瀬戸内海における海上風分布^[12]を 23 年間 (1983~2005 年) にわたり 1 時間ごとに推定するとともに、瀬戸内海全域に位置する 20 箇所の波浪観測地点を対象として、外洋では ECMWF 海上風分布^[13], 瀬戸内海では観測風資料に基づく海上風分布^[12]を入力条件とした 1 点浅海モデル^[11]による 23 年間の波浪推算を 2 段階高地形解像度格子網のもとで実施し、各地点における観測資料との比較から、推算精度がかなり高いことを実証している。また山口ら^[8]は 2006 年の 1 年間についても、外洋では NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research) より提供を受けた表面風再解析資料を再編集し、台風モデル風を埋込んで作成した NCEP 海上風分布^[13], 瀬戸内海西部海域 (豊後水道, 周防灘, 伊予灘, 安芸灘など) では観測風資料に基づく海上風分布を入力条件とした同様の波浪推算を瀬戸内海西部海域の 3 波浪観測地点で行い、風観測資料の充実がみられる 2006 年では波浪推算精度の一層の向上が実現されることを明らかにしている。

以上が瀬戸内海における波浪の長期推算に関する既往の研究の概要であるが、推算期間は山口らの研究^{[5], [6], [7], [8]}においても最長 24 年であるから、波浪の長期変動を検討するためには長いと言えない。そのため、山口ら^{[14], [15]}は①東京湾を含む関東沿岸海域, ②伊勢湾, ③瀬戸内海, の 3 海域をそれぞれ囲む気象庁気象官署で取得された 1961 年以降の時日別値・日最大風資料 (Surface Data Point ; SDP 風資料) などを用いて 3 海域の海上風分布 (SDP 海上風分布) を 45 年間にわたり 1 時間ごとに推定するとともに、その時空間特性を観測風資料より推定した海上風分布に基づく結果^[12]との比較を通じて詳細に調べることにより、SDP 海上風分布が合理性や観測風資料に基づく海上風分布^[12]との整合性をもつことを明らかにしている。さらに山口ら^{[16], [17], [18]}は関東沿岸海域および伊勢湾を対象として、外洋では NCEP 海上風分布^[13], 対象小海域では SDP 海上風分布^{[14], [15]}を入力条件とする、1 点浅海モデル^[11]による高地形解像度格子網での波浪推算を多くの波浪観測地点で 45 年間にわたり行っている。そして、波浪の特別値や期間別各種平均値に関する観測値および観測風資料に基づく海上風分布^[12]を入力条件とする長期波浪推算結果^{[19], [20], [21], [22]}との比較に通じてその精度を明らかにするとともに、推算資料を用いて両海域における波高の傾向変動の検出を試みている。

本研究では、外洋では NCEP 海上風分布^[13], 瀬戸内海では SDP 海上風分布^{[14], [15]}を入力条件として、1 点浅海モデル^[11]による 45 年間の波浪推算を最小格子間隔 0.5 km の高地形解像度格子網のもとに瀬戸内海の 19 波浪観測地点で実施する。そして、外洋からの波浪の影響が強い紀伊水道および豊後水道とそれ以外の海域にわけて、地点別観測資料との比較による推算精度の確認、観測風資料に基づく海上風分布を入力条件とする長期波浪推算結果^{[6], [7]}との比較および瀬戸内海全域の代表地点における推算資料を用いた波高の傾向変動の検出を行う。さらに、伊予灘に面する長浜と斎灘に面する和気それぞれ波浪観測資料が取得された約 3 ヶ月間に対して同様の波浪推算を行い、観測結果との比較から

その適用性を明らかにした事例を付加的に述べる。瀬戸内海は関東沿岸海域や伊勢湾より一層複雑な地理的状況にあることから、瀬戸内海の波浪特性は瀬戸内海を構成する小海域ごとに異なり、したがって、推算精度にもその影響が現われると予想される。

2. 波浪推算の概要

波浪推算において、外洋にあたる格子間隔 80 km の北西太平洋格子網では NCEP/NCAR による表面風再解析資料と台風モデル風を組み合わせた NCEP 海上風分布^[13]、格子間隔 2 km の瀬戸内海格子網では SDP 風と沿岸部・海上部の観測風との高い相関を利用して作成した SDP 海上風分布^{[14], [15]}を用いる。それぞれの資料の期間は 1961～2005 年の 45 年、時間間隔は 1 時間である。波浪推算は格子間隔 5 km の北西太平洋領域に格子間隔 0.5 km の瀬戸内海領域を組んだ 2 段階高地形解像度格子網のうえで 1 点浅海モデル^[11]を利用して行う。Fig. 1 は波浪推算領域と波浪観測地点の位置を示す。

用いる周波数成分の数は $f=0.04\sim 1$ Hz を不等分割した 27 個、方向成分の数は $0\sim 360^\circ$ を 10° で等分割した 37 個である。波浪推算地点に到達する各成分波の波向線上の風は各波計算点の位置に応じて NCEP 海上風分布^[13]か SDP 海上風分布^{[14], [15]}

のいずれかに対する 4 点双 1 次補間式の適用から計算する。波浪推算地点は瀬戸内海全域に点在する波浪観測地点であり、その地点数は 19 に達する。波浪推算の時間間隔は外洋波浪の影響が強い紀伊水道内の御坊沖（水深 170 m）、御坊（36 m）、由良瀬戸（65 m）、小松島（22 m）、沖ノ島（南）（36 m）および外洋波浪が入射する豊後水道内の佐田岬漁港（15 m）、佐田岬先端（20 m）で 30 分、外洋波浪の入射の影響があまり大きくないか、あるいは小さい内海部の観測地点で 10 分である。また比較のために、外洋で ECMWF 海上風分布^[13]、瀬戸内海で観測風資料に基づく海上風分布^[12]を入力条件とする 1 点浅海モデルによる波浪推算から得た山口ら^{[6], [7]}の結果も用いる。波浪推算に関して、より詳しい内容は他の論文^{[16], [17], [18]}に述べている。

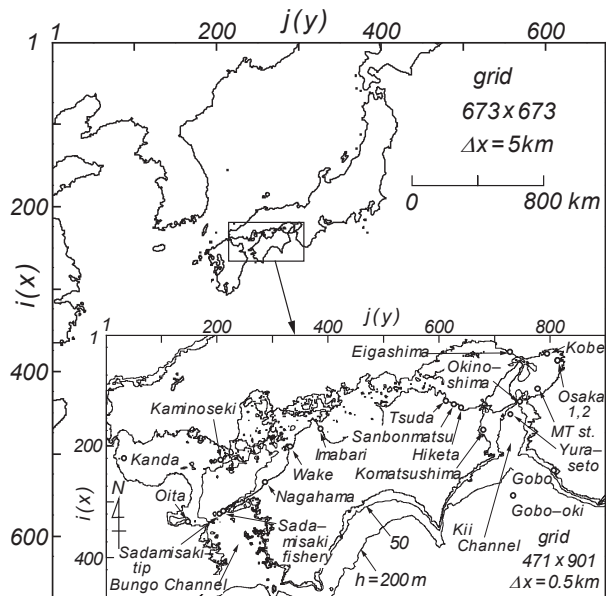


Fig. 1 A nested grid used in wave hindcasting and location of wave measurement stations in the Seto Inland Sea.

3. 紀伊水道および豊後水道における波浪推算結果の考察

3.1 累年波高・周期

ここでは、外洋から入射する波浪の影響が大きい紀伊水道内の 5 波浪推算（観測）地点（御坊沖、御坊、小松島、由良瀬戸、沖ノ島（南））および豊後水道奥の 2 波浪推算（観測）地点（佐田岬漁港、佐田岬先端）において、波浪推算結果と観測結果の比較を行う。

Fig. 2 は全観測資料期間に対する波高および周期の推算値と観測値の散布図ならびに等出現率線を上記の 7 地点についてそれぞれ示す。波高に関して資料値はおおむね原点を通る 45° 直線のまわりを集まっており、推算値と観測値の平均的な対応は悪くない。周期に関しては資料値の 45° 直線のまわりのばらつきが大きくなっており、推算値と観測値の対応が十分でない場合も多くあるが、大略とし

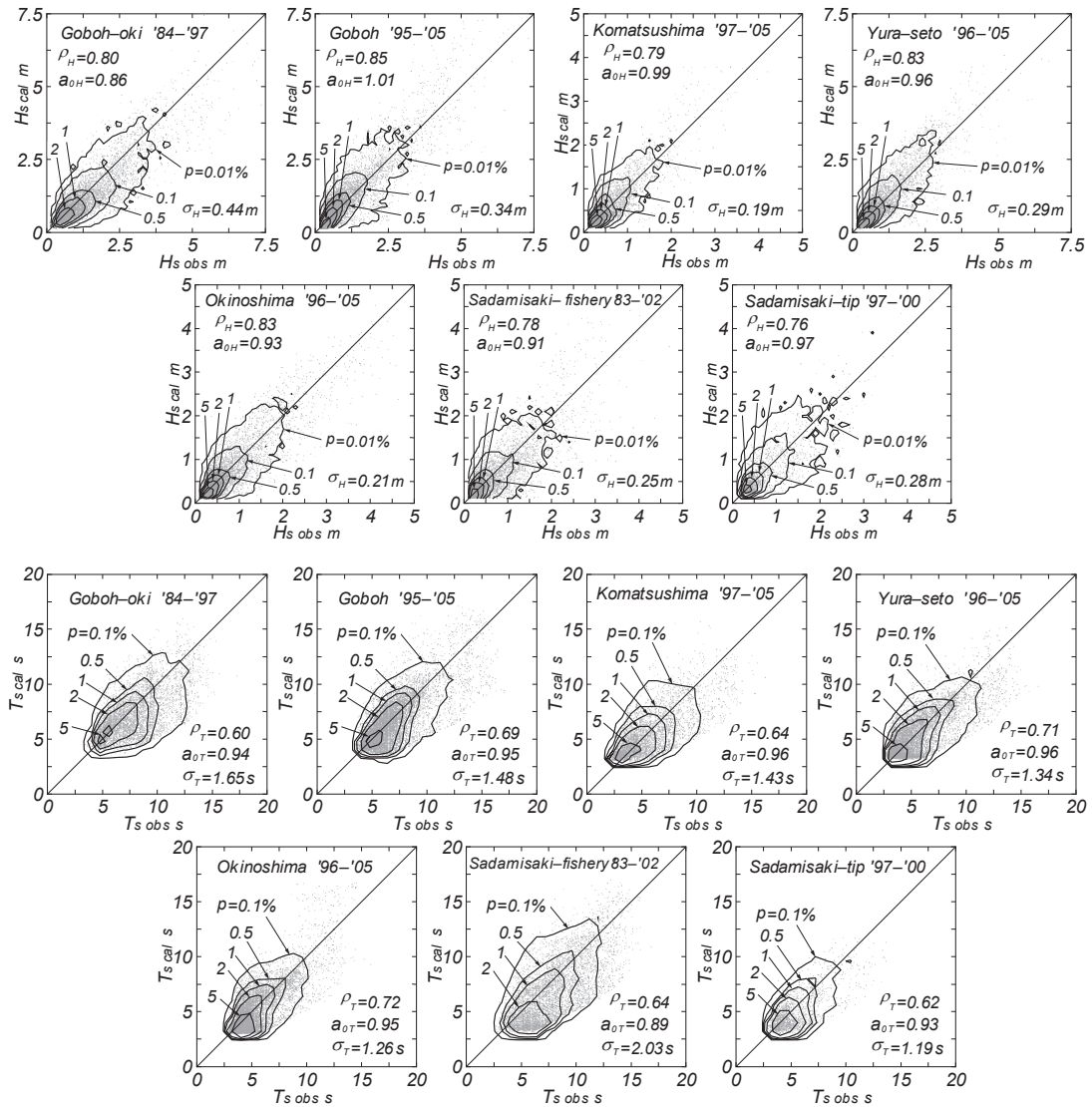


Fig. 2 Scatter diagram between hindcasts and measurements for wave height at 7 stations in the Kii and Bungo Channels of the Seto Inland Sea and that for wave period.

て平均的には推算値と観測値のある程度の対応は見出されよう。誤差指標でみると、波高に関して相関係数 ρ_H は0.76~0.85の範囲にあり、7地点中6地点で0.78を上まわることから、推算値と観測値の相関はほぼ全地点で比較的高い。勾配値 a_{0H} は3地点(御坊沖, 沖ノ島南, 佐田岬漁港)で0.86~0.93, 他の4地点で0.96~1.01の範囲にあるから、上記3地点では推算値と観測値は比較的高い相関($\rho_H=0.78\sim0.83$)を与えるけれども、平均的に推算値が観測値よりやや小さい傾向にある。2乗平均平方根波高誤差 σ_H は0.19~0.44 m, 観測資料に基づく累年平均(有義)波高 H_{sm} で除した変動係数 C_{vH} は佐田岬漁港の0.60($H_{sm}=0.42$ m, $\sigma_H=0.25$ m)を除いて0.41~0.49である。 σ_H の最大値は御坊沖で0.44 m, 変動係数 C_{vH} の最大値は佐田岬漁港で0.60をとる。他の地点では累年平均波高 H_{sm} に対する2乗平均平方根波高誤差 σ_H の割合はあまり変化を伴わない。変動係数 C_{vH} でみれば、波高に対する推算誤差がやや大きいかもしれない。周期に関して、相関係数 ρ_T は3地点(御坊, 由良瀬戸, 沖ノ島南)で0.69~0.72, 他の4地点で0.60~0.64の範囲にあり、いずれも波高の場合より0.1以上小さい。周期の変動幅は波高ほど大きくないので、相関係数は低くなりがちであり、経験的にみて多くのケースで ρ_T は ρ_H より0.1前後小さい。勾配値 a_{0T} は佐田岬漁港の0.89を除いても残りの6地点で0.93~0.96の範囲にあるから、推算値は観測値より平均的に若干小さい傾向にある。2乗平均平方根周期誤差 σ_T

は 1.2~2.0 s, 変動係数 C_{vT} は 0.23~0.30 の範囲にあるから, 観測資料に基づく累年平均 (有義波) 周期 T_{sm} を基準にすると, 2 乗平均平方根周期誤差 σ_T の地点間の差はそれほど大きくない。いずれにしても, 周期に関して推算値は観測値よりやや短めであるし, 推算値と観測値は波高の場合ほど対応しない。

Fig. 3 は全観測資料期間の推算資料 (NCEP-SDP) と観測資料に基づく波高・周期資料の上位 1/10 と 1/3 の平均値 (H_{s10} , T_{s10} , H_{s3} , T_{s3}) および全資料の平均値 (H_{sm} , T_{sm}) と標準偏差 ($H_{s\sigma}$, $T_{s\sigma}$) ならびに誤差指標を 7 地点について示す。図の縦軸 $H_{s\dots}$ は H_{s10} , H_{s3} , H_{sm} , $H_{s\sigma}$ を $T_{s\dots}$ は T_{s10} , T_{s3} , T_{sm} , $T_{s\sigma}$ を表す。図には外洋で ECMWF 海上風分布, 瀬戸内海で風観測資料に基づく海上風分布を入力条件として得られた山口ら^{[6], [7]}の結果 (ECMWF-obs) も与える。まず波高に関して, 推算値 (NCEP-SDP)

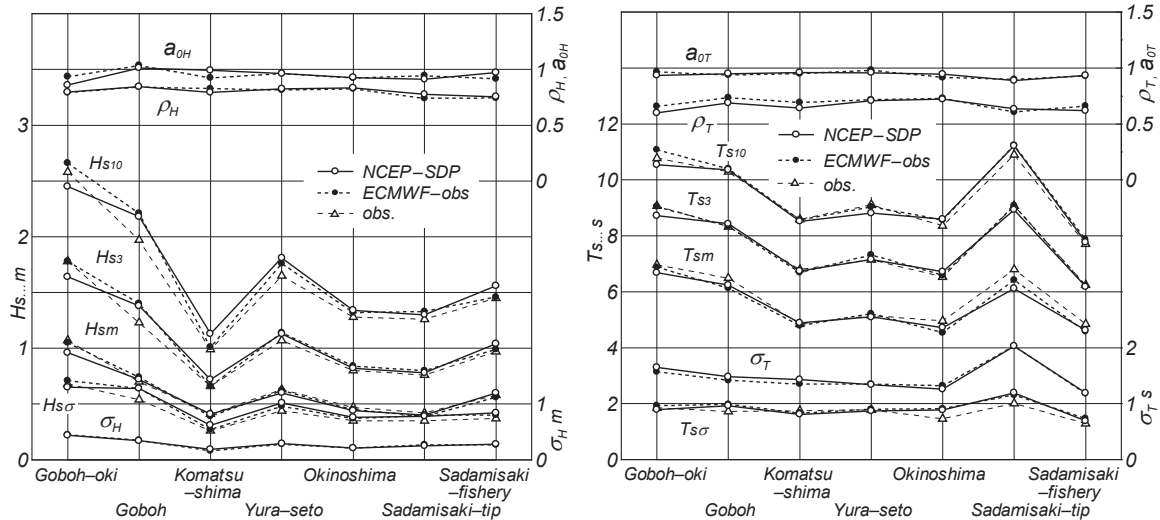


Fig. 3 Hindcasts- and measurements-based whole year means of wave height/period data and error indices of wave height/period statistics at 7 stations in the Kii and Bungo Channels of the Seto Inland Sea.

は御坊沖, 御坊, 小松島で観測値と比べて小さい各種平均波高を, 由良瀬戸, 佐田岬漁港で大きい各種平均波高を与えるけれども, 全体的には両者はよく符合すると言える。また, 山口ら^{[6], [7]}の結果 (ECMWF-obs) は今回の結果 (NCEP-SDP)

より観測値とのやや良好な対応を示す。誤差指標も全般的にこの傾向を支持する。ついで, 周期についても本システムによる各種平均周期は観測結果と比較的よく符合するが, 山口ら^{[6], [7]}の結果の方が観測結果に近い値を与えており, 誤差指標のうち相関係数 ρ_T や 2 乗平均平方根周期誤差 σ_T にこの特徴が現われる。

Fig. 4 は全観測資料期間の推算資料と観測資料に基づく 1 m 以上の波高の方向別出現率を小松島, 沖ノ島南, 佐田岬先端について与える。紀伊水道に位置する小松島と沖ノ島南では推算波向と観測波向の方向別出現率は比較的よく対応するが, 豊後水道の佐田岬先端では 1 方位のずれがある。内海における各地点の波向はその地理的状況に強く規定される

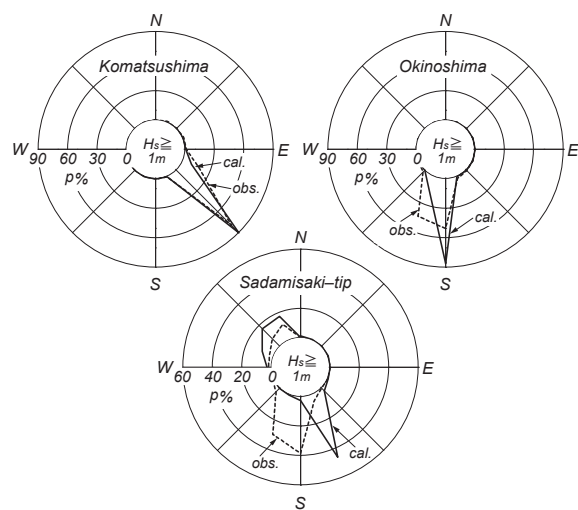


Fig. 4 Hindcasts- and measurements-based whole year direction-grouped occurrence rates of high waves at 3 stations in the Kii and Bungo Channels of the Seto Inland Sea.

特性を考慮すると、佐田岬先端は SSE 方向を外洋に向けて開いていることから、S 方向を卓越波向とする観測資料は時計回りに 1 方位の誤差をもつように思われる。

3.2 月別波高・周期

Fig. 5 は標準偏差を含む各種月別平均波高と周期の経月変化を由良瀬戸について示す。推算結果は各種平均波高 (H_{s10} , H_{s3} , H_{sm} , $H_{s\sigma}$) および各種平均周期 (T_{s10} , T_{s3} , T_{sm} , $T_{s\sigma}$) について観測結果とかなりよく符合する。この事例は対象 7 地点の中で最もよい対応関係を与える。

Fig. 6 は推算資料と観測資料に基づく月別 1/3 最大波高 H_{s3} および月別 1/3 最大周期 T_{s3} の散布図を表す。1/3 最大波高 H_{s3} に関して、いずれの地点でも推算値と観測値は多少の大小関係を除き、平均的によく対応する。

誤差指標のうち、相関係数 $\rho(H_{s3})$ は 0.82 ~ 0.93 の範囲にあり、しかも 7 地点のうち 5 地点で 0.89 以上をとるから、一般的に資料値の相関直線まわりのばらつきは小さい。原点を通る相関直線の勾配値 $a_0(H_{s3})$ は 3 地点で 1.06 ~ 1.09, 1 地点で 0.91, 残りの 3 地点で 1.01 ~ 1.04 であるから、推算値は観測値より 10 % 弱小さい御坊沖 (0.91) を除いて、平均的に観測値とよく符合するか、あるいは観測値より 7 ~ 8 % 大きい傾向を示す。つぎに、1/3 最大周期 T_{s3} に関して推算値と観測値はよく符合する。相関係数 $\rho(T_{s3})$ は 5 地点で 0.86 ~ 0.92, 残り 2 地点で 0.76,

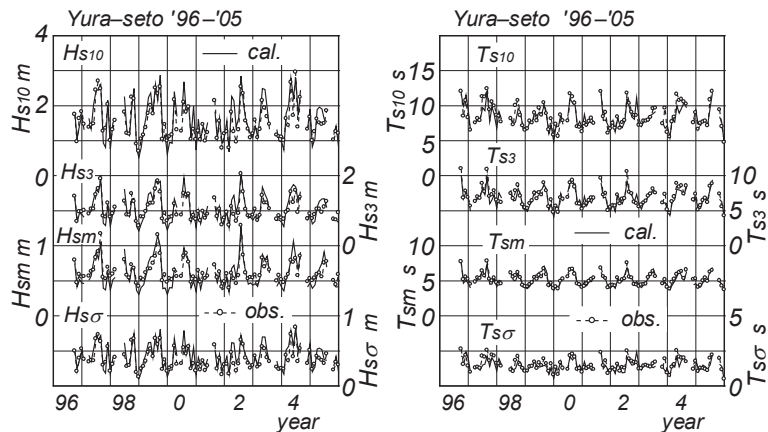


Fig. 5 Interannual variation of monthly-averaged wave height/period statistics at Yura-seto station in the Kii Channel of the Seto Inland Sea.

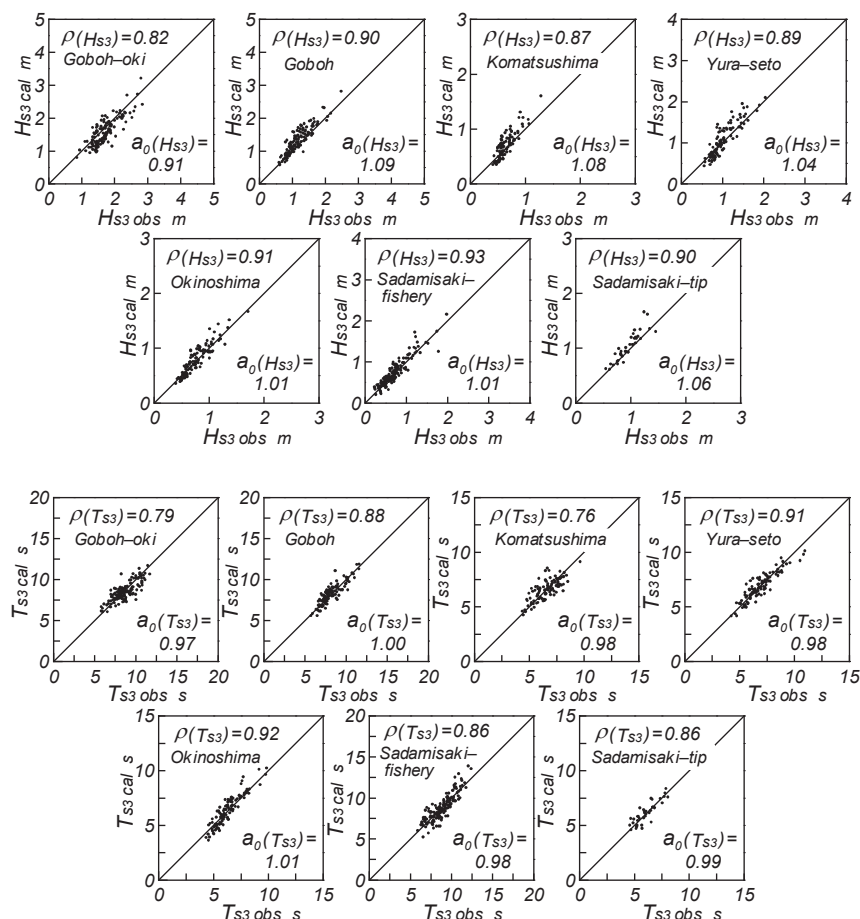


Fig. 6 Scatter diagram between hindcasts- and measurements-based highest 1/3 means of monthly wave height/period data at 7 stations in the Kii and Bungo Channels of the Seto Inland Sea.

0.79 をとる。これらの値は 1/3 最大波高 H_{s3} の場合よりやや小さく、資料値の相関直線まわりのばらつきもやや大きいが、勾配値 $a_0(T_{s3})$ は 0.97~1.01 であるから、推算値は平均的には波高の場合以上に観測値とよく符合することを表す。

Fig. 7 は月別の各種平均波高に対する相関係数と勾配値を 7 地点について示す。図には同時に山口ら^{[6], [7]}による同様の結果 (ECMWF-obs) も与える。本システムによる推算結果 (NCEP-SDP) では相関係数は地点によらず H_{s10} や $H_{s\sigma}$, H_{s3} についておおむね 0.8 を越える値をとるが、 H_{sm} については御坊沖や佐田岬先端で、 H_{s3} については御坊沖でやや小さい傾向がみられる。すなわち、推算値と観測値で作られる散布図上の資料値はほぼいずれの平均波高についても相関直線のまわりの比較的狭い範囲にプロットされる。原点を通る相関直線の勾配値は御坊沖を除き、 H_{sm} について 1 前後の値をとり、 H_{s10} と H_{s3} について 1 よりやや大きい値を与える。 $H_{s\sigma}$ については御坊沖以外で推算値は観測値より 10% 以上大きい。要するに、各種月別平均波高に対して推算値は観測値と大体対応するか、あるいは多少大きめの値をとる傾向を示す。また山口ら^{[6], [7]}による結果 (ECMWF-obs) は各種平均波高について、本システムによる結果 (NCEP-SDP) より全体としてやや 1 に近い相関係数と勾配値を与える傾向にあることから、山口ら^{[6], [7]}のシステムが本システムより若干高い精度をもつと言える。

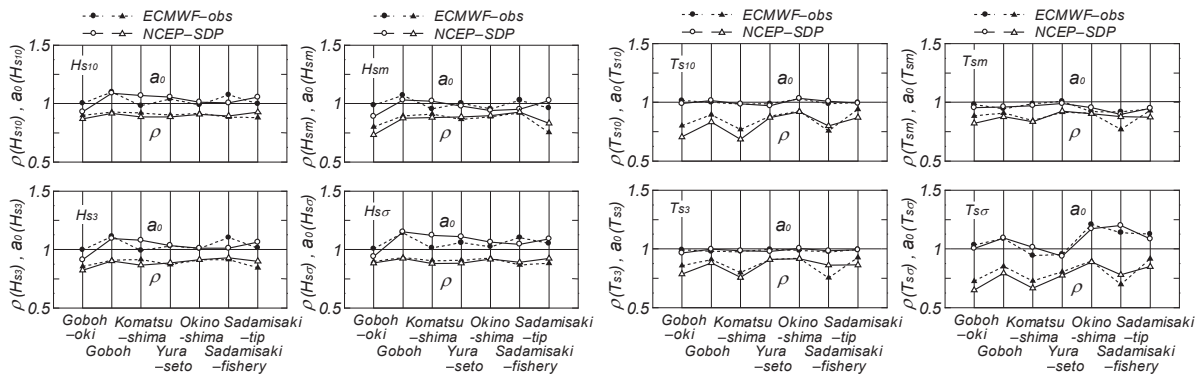


Fig. 7 Error indices of monthly-averaged wave height/period at 7 stations in the Kii and Bungo Channels of the Seto Inland Sea.

4. 瀬戸内海の準閉鎖海域における波浪推算結果の考察

4.1 累年波高

外洋波浪の影響が大きい紀伊水道と豊後水道を除く瀬戸内海の準閉鎖海域における波浪観測地点は大阪湾内の MT 局 (水深 21 m), 大阪 1 (11 m), 大阪 2 (13 m), 神戸 (17 m), 播磨灘内の江井ヶ島 (11 m), 引田 (12 m), 三本松 (7 m), 津田 (7 m), 燧灘西部の今治 (26 m), 周防灘東部の上関 (29 m) と周防灘西部の苅田 (9 m), 別府湾内の大分 (14 m), の 12 地点である。近接する大阪 1 (観測期間 1983~1988 年) と大阪 2 (1993~2005 年) では観測期間が異なる。また、播磨灘最西部の高松における波浪観測資料は強い雑音的挙動を示すので、今回の検討対象から削除する。これらの観測地点では内海発生波浪が卓越するが、神戸や上関などのように外海からの波浪の影響が有意になる可能性をもつ地点もある。わが国の内湾・内海における波浪観測資料のうち、内湾発生波浪であるにもかかわらず、周期は波高に対応して変化しないケースが多いことから、その測定精度は高くないと考えられる。この事情は瀬戸内海においても同様であるので、ここでは周期を検討対象から除外する。

Fig. 8 は全観測資料期間の特別波高に対する推算値と観測値の散布図を 12 地点について与える。資料値は原点を通る 45° 直線のまわりにプロットされているが、そのばらつきは地点ごとに異なる。誤差指標のうち、相関係数 ρ_H は大阪湾内の地点で 0.77~0.81, 播磨灘内の地点で津田の 0.52 を除いて 0.69

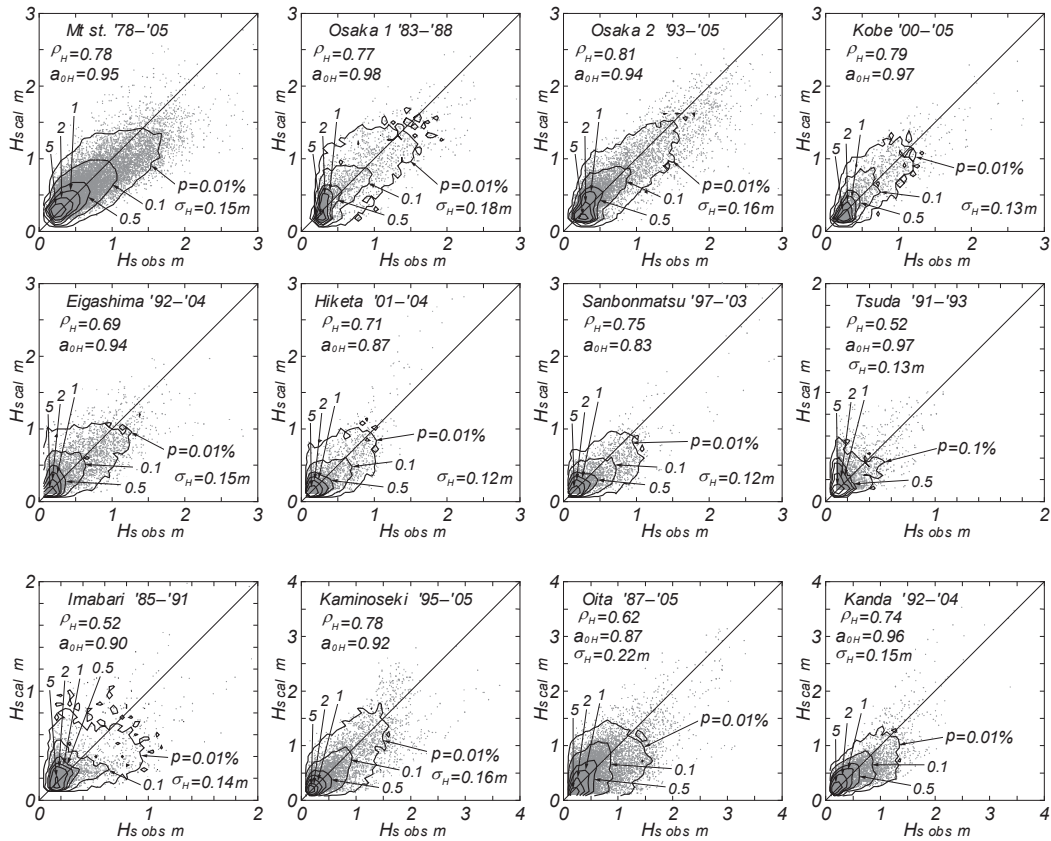


Fig. 8 Scatter diagram between hindcasts and measurements for wave height at 12 stations in the inner areas of the Seto Inland Sea.

～0.75，燧灘内の今治で 0.52，瀬戸内海西部海域の周防灘内の上関で 0.78，荇田で 0.74，別府湾内の大分で 0.62 をとるから，相関係数 ρ_H は大阪湾内の地点で最も大きく，周防灘内の地点や播磨灘内の地点でこれにつぐ。しかし，播磨灘南部の津田や燧灘西部の今治で相関係数は小さいし，別府湾内の大分でもあまり大きい値を与えない。津田や今治における傾向は波浪観測資料の質によるところも大きいと考えられる。一方，大分についてその理由を海上風分布の推定精度の不足に帰するのはやや安易であるように思われる。散布図において原点を通る相関直線の勾配値 a_{0H} は大阪湾内の地点で 0.94～0.98，播磨灘内の地点で 0.83～0.87（江井ヶ島で 0.94，津田で 0.97，引田で 0.87，三本松で 0.83），大分で 0.87，今治で 0.90，周防灘内の上関で 0.92，荇田で 0.96 であるから，大阪湾や周防灘および播磨灘（江井ヶ島，津田）内の観測地点では推算値は平均的に観測値と符合するか，あるいはやや小さいが，他の地点（引田，三本松，今治，大分）では 10%程度低い値をとる。2乗平均平方根波高誤差 σ_H は大分の 0.22 m を除いて 0.12～0.18 m である。これを観測資料による累年平均波高 H_{sm} で除した変動係数 C_{VH} は 0.37～0.82 と広範に分布する。このうち，大阪湾内の地点で C_{VH} は 0.37～0.44，周防灘内の上関で 0.52，荇田で 0.48 と相対的に小さい値をとるが，残りの地点では 0.55 を優に越える。誤差指標でみると，大阪湾内の地点における推算精度が最も高く，周防灘内の地点の精度がこれにつぐ。播磨灘内の地点では相関はある程度保たれるが，推算値が観測値より平均的に小さい地点や，推算値と観測値は平均的に対応するが，推算値と観測値の隔たりがみられるケースも少なくない地点に分かれる。また津田および今治では，推算精度は観測資料の品質にも起因して必ずしもよいとは言えない。大分では推算精度は不足気味であって，推算値と観測値の対応は十分でない。

Fig. 9 は推算資料（NCEP-SDP）と観測資料に基づく各種平均波高および誤差指標を 12 地点について示す。図には山口ら^{[6], [7]}の結果（ECMWF-obs）も与える。各種平均波高のうち高波高部を代表す

る H_{s10} に対して推算値は観測値と比べて神戸、江井ヶ島で大きく、MT 局、三本松、荏田で小さい傾向や、 H_{s3} に対して推算値は大阪、神戸、江井ヶ島、津田、大分で観測値より大きい傾向が見出されるけれども、全般的にはすべての観測地点で推算値は各種平均波高に対して観測値とよく符合する。誤差指標のうち、相関係数 ρ_H は播磨灘南部の津田や燧灘内の今治で低い値をとり、このほか大分や江井ヶ島でもあまり大きくないが、残りの 8 地点では対応の値を与える。

勾配値 a_{0H} は全体として 1 よりやや低めの値を示し、とくに三本松、引田、大分では 0.9 より小さい。つぎに、山口ら^{[6], [7]}の結果 (ECMWF-obs) は各種平均波高に関して、本システムによる結果 (NCEP-SDP) より観測結果に近い値を与える場合と逆の場合があり、両者の優劣を判定できない。しかし、相関係数 ρ_H および勾配値 a_{0H} について山口ら^{[6], [7]}のシステムが 1 に近い値を与えることから、本システムより高い精度をもつことが明示される。これは山口ら^{[6], [7]}のシステムが観測風資料に基づく海上風分布を入力条件とするのに対して、本システムは SDP 風と観測風の相関を利用して作成した海上風分布を入力条件とすることから、当然の結果である。関東沿岸海域や伊勢湾への本システムの適用結果^{[16], [17], [18]}と比べると、本システムの精度は関東沿岸海域、伊勢湾、瀬戸内海の順に、瀬戸内海では大阪湾、周防灘、播磨灘などの順に、山口ら^{[6], [7]}のシステムの精度より低くなる。これは瀬戸内海における複雑な地理的状況および海上部と沿岸部の観測風資料の有無や利用密度に関係する。

4.2 月別波高統計量

Fig. 10 は推算資料および観測資料に基づく各種平均波高の経月変化を大阪 2 と上関について示す。内湾発生波浪が卓越する大阪湾湾奥の大阪 2 と豊予海峡を通過して外洋からの波浪が到達する可能性もある周防灘東部の上関のいずれの地点においても、推算値は観測値にみられる 1 年を周期とし、その間に 2~3 のピークをもつ各種平均波高の経月変化をよく再現する。

Fig. 11 は推算資料と観測資料に基づく月別 1/3 最大波高 H_{s3} の散布図を 12 地点で示す。大阪湾内の MT 局、大阪 1、大阪 2 や播磨灘内の三本松、別府湾内の大分では、低波高部で推算値が観測値よりやや大きく、逆に高波高部で小さい。神戸、江井ヶ島、津田では推算値は観測値より若干大きいし、三本松、今治では原点を通る相関直線のまわりのばらつきが大きい。周

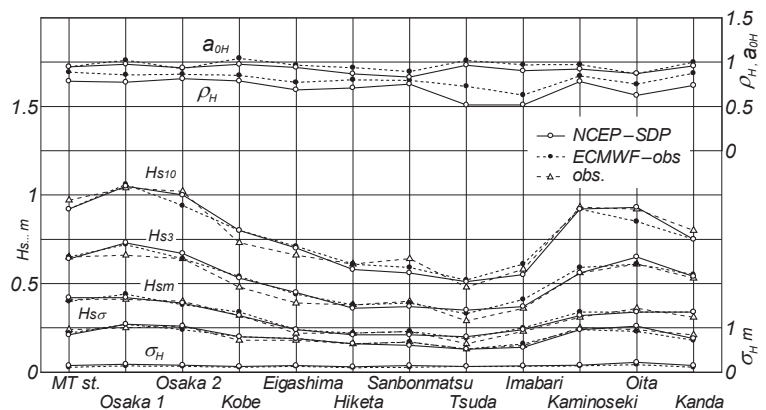


Fig. 9 Hindcasts- and measurements-based whole year means of wave height data and error indices of wave height statistics at 12 stations in the inner areas of the Seto Inland Sea.

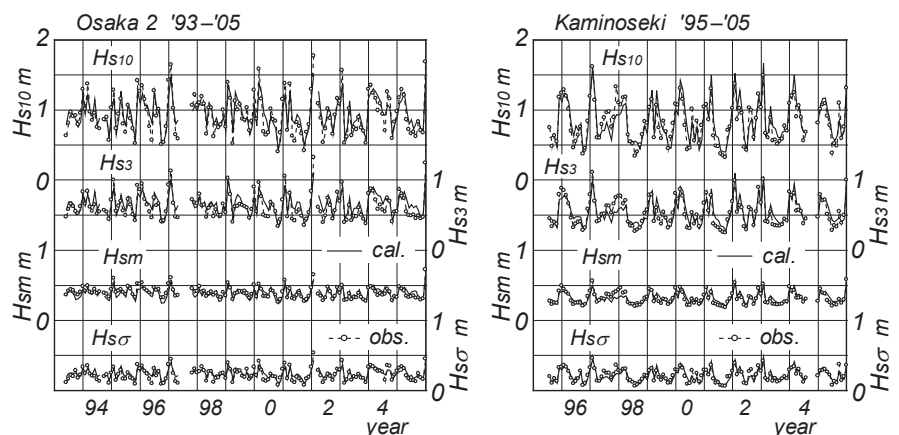


Fig. 10 Interannual variation of monthly-averaged wave height statistics at Osaka2 and Kaminoseki stations in the inner areas of the Seto Inland Sea.

防灘内の上関と荇田では資料値は 45° 直線のまわりに集まっており、推算値は観測値と比較的よく符合する。誤差指標のうち、相関係数 $\rho(H_{s3})$ は MT 局、大阪 1、大阪 2 や上関で $0.88 \sim 0.90$ とかなり大きい。神戸 (0.80)、大分 (0.79) がこれにつぐが、残りの地点では $0.62 \sim 0.73$ であり、やや小さい。勾配値 $a_0(H_{s3})$ は三本松 (0.90)、引田 (0.93) で小さく、大阪 1、神戸、江井ヶ島、津田で $1.06 \sim 1.17$ と大きい。つまり、一般的にみて前者の地点

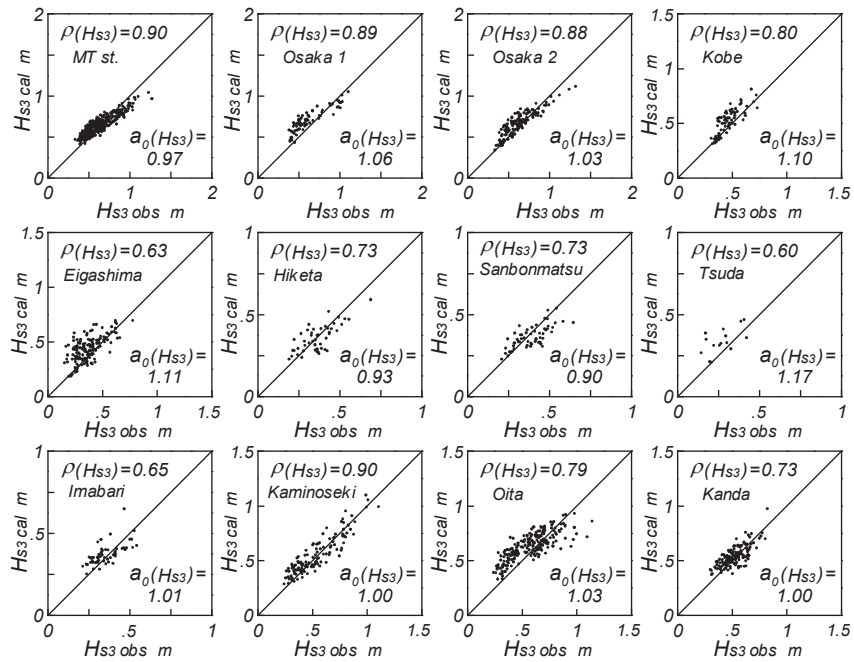


Fig. 11 Scatter diagram between hindcasts- and measurements-based highest 1/3 means of monthly wave height data at 12 stations in the inner areas of the Seto Inland Sea.

では推算値が観測値より小さく、後者の地点で逆に大きい。残りの地点では $0.97 \sim 1.03$ を与え、推算値と観測値は平均的によく符合する。要するに、両指標は、大阪湾内の MT 局や大阪 2、周防灘東部の上関で推算値が観測値とよく対応するが、他の地点では推算値が観測値よりおおむね大きいか、あるいは対応がやや低下する傾向にあることを示唆する。

Fig. 12 は本システムの適用から得た各種月別平均波高に対する相関係数と勾配値 (NCEP-SDP) を 12 地点で示す。図には山口ら^{[6], [7]}による結果 (ECMWF-obs) も与える。各種平均波高に対して相関係数は大阪湾内の 4 地点や周防灘内の 2 地点と別府湾内の 1 地点で相対的に大きく、播磨灘内の 4 地点と燧灘内の 1 地点で小さい。勾配値は 1 前後の値をとるが、播磨灘内の 4 地点と燧灘内の 1 地点では 1 のまわりで大きい変化を示す。これらのことから、本システムの精度は大阪湾内の地点や周防灘

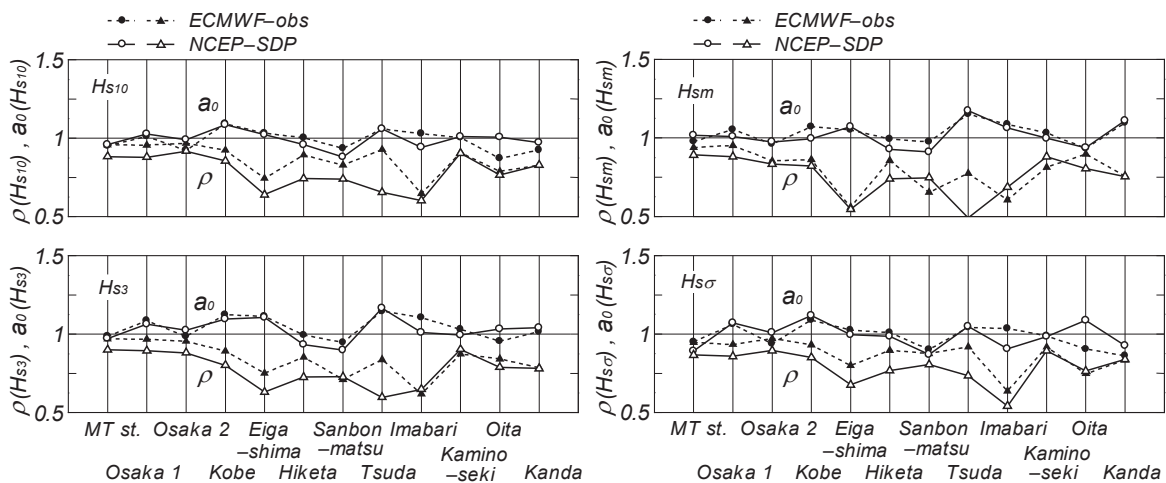


Fig. 12 Error indices of monthly-averaged wave height at 12 stations in the inner areas of the Seto Inland Sea.

内の地点および別府湾内の地点で高く、他の海域内の地点ではやや低いという特徴がうかがえる。また、山口ら^{[6], [7]}の結果では、相関係数は周防灘内の地点や別府湾内の地点を除いて本システムによる値より大きいという特徴に加えて、勾配値は本システムによる値とあまり変わらないことから、山口ら^{[6], [7]}のシステムは本システムより観測値との良好な対応を与え得ると言える。

5. 波高の傾向変動

Fig. 13 は 45 年間 (1961~2005 年) の波浪推算資料より得た年別 1/3 最大波高 H_{s3} の経年変化を瀬戸内海東部海域 (紀伊水道, 大阪湾, 播磨灘) に位置する沖ノ島南, 大阪 2, 江井ヶ島, 引田と瀬戸内海西部海域 (豊後水道, 伊予灘, 周防灘) に位置する佐田岬先端, 大分, 上関, および隠灘内の今治について示す。波浪観測資料が長期間にわたり取得されている大阪湾内の MT 局と周防灘西部の苅田では、年別 1/3 最大波高 H_{s3} に加えて年別平均波高 H_{sm} の経年変化も与える。図中には、年別測得率が 75 % 以上の観測資料に基づく年別値、あるいは年別測得率が 50 % 以上で、かつ年別の全時点の推算値と観測資料取得時点の推算値に基づく各種年別平均波高があまり相違しない年の観測資料に基づく年別値を示す。これは各 1 年間の全時点の資料を用いる推算値の場合と異なる資料の選択条件になるが、採用する観測資料の年別測得率を比較的高く設定し、また選択条件に合理性をもたせていることから、各種年別平均波高の経年変化に関して観測値は推算値との比較に利用可能と考えられる。

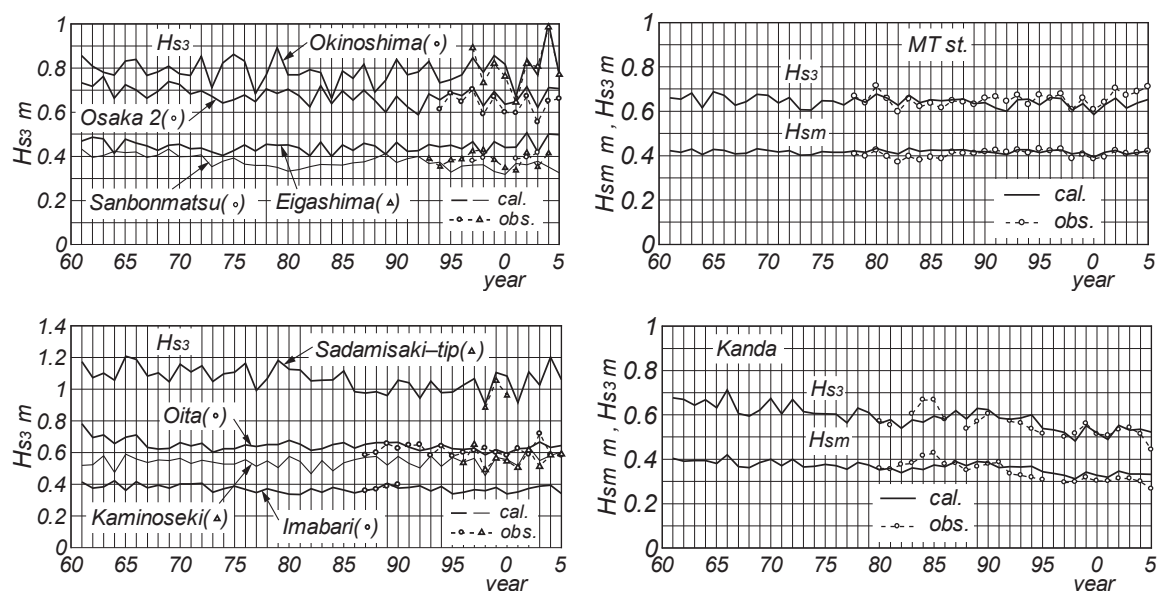


Fig. 13 Yearly variation of hindcasts- and measurements-based means of annual wave height data at 10 measurement stations in the inner areas of the Seto Inland Sea.

まず、瀬戸内海東部海域のうち外洋からの波浪が直接入射する紀伊水道内の沖ノ島南では、年別 1/3 最大波高は 2004 年と 1979 年で高い峯を、2001 年、1984 年、1977 年に加えて 1988 年、1973 年で深い谷をとり、また 1980~2000 年で相対的に低い値を与えるという経年的にかなり著しい変化を示す。推算値は 1997 年以降の観測値とよく符合する。内海部にあたる大阪湾内の大阪 2, 播磨灘内の江井ヶ島と引田では、年別 1/3 最大波高は沖ノ島南におけるものほど著しい経年変化を伴わないが、1980 年代以降ではそれ以前より小さい値をとる傾向にある。大阪 2 では推算値は観測値 (1993 年以降) より大きい値を与えるが、その変化の傾向は類似する。播磨灘の江井ヶ島や引田でもそれぞれ特有の経年変化を示す。推算値は江井ヶ島では観測値より大きい、引田では観測値とよく符合する。また長期間の観測資料が得られている大阪湾内の MT 局では、年別 1/3 最大波高 H_{s3} と年別平均波高 H_{sm} について

推算値は経年的に減少傾向、あるいは1970年以前の減少傾向ののち1970年代以降あまり変化しない傾向を与える。この挙動に関して推算値と観測値はおおむね対応するが、2000年以降の年別1/3最大波高について推算値は観測値より小さい増加傾向を与えることから、推算値と観測値の乖離が目立つ。これは風観測資料でみられる2000年以降の風速の増加傾向に対応したものであるが、計算風にはこの特性が十分に反映されていないことから、両者の隔たりが現われる。ただし、MT局は1978年の設置以降4kmの範囲内でその位置を3回変えており、しかも空港外部施設の状況も変化しているので、風・波浪観測資料の等質性に多少の問題をもつ可能性もある。

瀬戸内海西部海域のうち、湾内発生波浪のみならず外洋波浪の影響が大きい豊予海峡の佐田岬先端では、年別1/3最大波高 H_{s3} は1965~1966年、1979年、2004年で高い峯を、1977年、1998年、2001年で深い谷をとり、しかも1985~2000年で相対的に小さい値の期間をもつなど、著しい年変化を伴う。推算値は3年相当分の観測値について一応の対応を示す。別府湾内の大分では、年別1/3最大波高 H_{s3} は1960年前半で減少傾向をとって以降、経年的にあまり変化せずに2005年に至っており、推算値は1987年以降の観測値と大体符合する。また、周防灘東部に位置し外洋波浪が入射する可能性のある上関では、年別1/3最大波高 H_{s3} は相対的に大きい経年的な起伏を伴っており、1995年以降の観測値ともよく符合する。一方、豊後灘西部に位置する今治では、年別1/3最大波高 H_{s3} は1960年代と1990年の前後の年およびごく最近の年で高く、他の年ではやや低いという緩やかな経年変化を示す。観測値の期間はわずか4年(1987~1990年)と短い、推算値と観測値はよく一致する。

周防灘西部の苅田では、推算資料に基づく年別1/3最大波高 H_{s3} および平均波高 H_{sm} のいずれもが経年的に有意な減少傾向を示す。これは1981年以降の観測値と変化傾向を一にするが、1990年以前の観測資料の品質に問題がある可能性もあることから、推算値の減少傾向が観測値によって断定的に支持されたわけではない。Table 1は45年間(1961~2005年)の波浪推算資料より得た年別の各種平均波高(H_{s10} , H_{s3} , H_{sm})に対する傾向変動の解析結果を瀬戸内海全域に分布する10波浪推算(観測)地点で示す。傾向変動解析は各種年別平均波高資料にあてはめた直線の勾配値 a を0とする帰無仮説に対する片側 t 検定と鈴木^[23]のトレンド示数検定による。 t 検定の結果は勾配値 a 、有意水準5%の片側検定における a の変動幅 Δa 、傾向変動判別指標 L ($L=1$:正の傾向変動あり、 $L=-1$:負の傾向変動あり、 $L=0$:傾向変動なし)により、また、トレンド示数検定の結果は有意水準5%でのトレンド示数 I_t の値($I_t > 1.65$:正の傾向変動あり、 $I_t < -1.65$:負の傾向変動あり、 $|I_t| < 1.65$:傾向変動なし)によって

Table 1 Trend analyses for hindcasts-based means of annual wave height data at 10 measurement stations in the Seto Inland Sea.

location	statistics	a cm	Δa cm	L	I_t	location	statistics	a cm	Δa cm	L	I_t
Okino-shima-minami	H_{s10}	0.081	0.228	0	-0.04	Imabari	H_{s10}	-0.142	0.101	-1	-2.03
	H_{s3}	0.002	0.120	0	-0.43		H_{s3}	-0.068	0.041	-1	-2.21
	H_{sm}	-0.011	0.049	0	-0.90		H_{sm}	-0.022	0.018	-1	-1.51
MT st.	H_{s10}	-0.095	0.081	-1	-1.64	Kamino-seki	H_{s10}	0.110	0.131	0	1.64
	H_{s3}	-0.061	0.043	-1	-2.17		H_{s3}	0.051	0.068	0	1.17
	H_{sm}	-0.008	0.017	0	-0.53		H_{sm}	0.090	0.030	1	4.09
Osaka 2	H_{s10}	-0.191	0.117	-1	-2.56	Kanda	H_{s10}	-0.575	0.115	-1	-5.60
	H_{s3}	-0.108	0.070	-1	-2.33		H_{s3}	-0.318	0.060	-1	-5.91
	H_{sm}	-0.053	0.035	-1	-2.35		H_{sm}	-0.141	0.031	-1	-5.28
Eiga-shima	H_{s10}	-0.002	0.080	0	0.08	Oita	H_{s10}	-0.251	0.105	-1	-3.31
	H_{s3}	0.015	0.051	0	-0.08		H_{s3}	-0.134	0.058	-1	-2.68
	H_{sm}	0.012	0.022	0	0.20		H_{sm}	-0.136	0.025	-1	-5.67
Hiketa	H_{s10}	-0.322	0.086	-1	-4.75	Sadamisaki-tip	H_{s10}	-0.330	0.253	-1	-2.54
	H_{s3}	-0.144	0.045	-1	-4.15		H_{s3}	-0.254	0.131	-1	-2.97
	H_{sm}	-0.053	0.019	-1	-3.74		H_{sm}	0.002	0.055	0	-0.20

表す。これによると、傾向変動が見出されない地点は紀伊水道北部の沖ノ島南や播磨灘北部の江井ヶ島、周防灘東部の上関 (H_s を除く) や MT 局 (H_{sm} のみ) と佐田岬先端 (H_{sm} のみ) に限られており、その他の地点では上関の H_{sm} を除いて負の傾向変動が検出される。その強さは a と Δa の相対的な大きさの関係やトレンド示数 I_t の値から推察されるように、苅田で最も強く、引田、大分がこれにつぐ。残りの MT 局、大阪 2、佐田岬先端、今治ではそれほど強くない。また上関における H_{sm} に見出される正の傾向変動は、対岸にあたる愛媛県沿岸の長浜では H_{s3} と H_{sm} に対して検出される。これは周防灘から伊予灘における海上風分布の推定結果の特性を反映したものであろうが、その細部の検討には至っていない。

以上のように、瀬戸内海の各波浪推算 (観測) 地点の多くで、各種の年別平均波高資料には統計的に有意な負の傾向変動が検出される。これは各種平均波高資料に傾向変動がほぼ検出されない関東沿岸海域^[17]や伊勢湾^[18]の場合と異なるが、その妥当性についての一層の検討は今後の課題であろう。

6. 愛媛県沿岸の短期間の波浪観測資料に対する検討

愛媛県沿岸のうち伊予灘に面する長浜 (水深 14 m) で冬季の約 3 ヶ月間、斎灘に面する和気 (水深 4 m) で秋から春先にかけての約 5 ヶ月間について波浪観測資料が超音波式波高計を用いて取得されていることから、これらの資料に対して本システムの適用性を調べる。長浜と和気の位置は Fig. 1 に与えているし、波浪推算条件もすでに述べている。観測資料の時間間隔は 1 時間である。

まず長浜における検討結果を述べる。Fig. 14 は 2003 年 12 月 16 日～2004 年 1 月 20 日 (36 日間)

における波高と周期の時系列を推算値と観測値について示す。推算波高は、低波高時に観測波高にみられる小ピークの繰り返しを与えない点を除けば、観測波高に非常によく追従する。推算周期も観測周期に似た変化を示す。

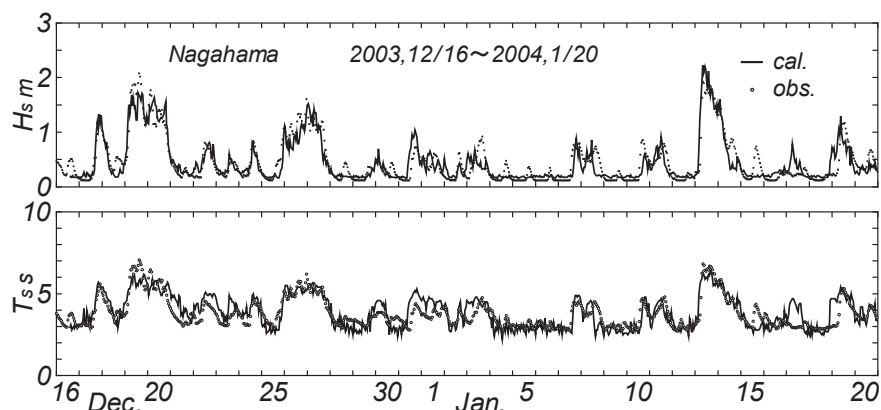


Fig. 14 Time variations of wave height and period based on hindcasts and measurements at Nagahama station in the Iyo-nada of the Seto Inland Sea.

細かい変動は SDP 風

資料より推定した海上風の特性を反映する。また、内海において超音波式波高計により取得された周期観測資料は適正な値を与えないケースがほとんどを占めるのに対して、長浜では観測周期の変化は観測波高の変化に対応する稀有な事例となっている。

Fig. 15 は 2004 年 2 月 25 日までの 72 日間の波高および周期に対する推算値と観測値の散布図と等出現率線を示す。時系列から明らかなよう

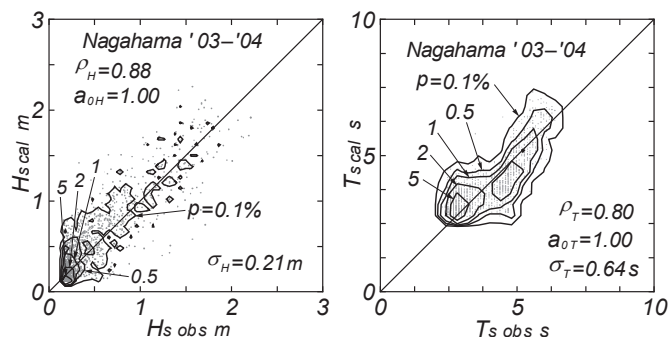


Fig. 15 Scatter diagram between hindcasts and measurements for wave height at Nagahama station in the Iyo-nada of Seto Inland Sea and that for wave period.

に、波高に関して資料値は小波高部で幅広く分布する点を除くと、 45° 直線のまわりに集中している。誤差指標として本システムによる結果および山口ら^[8]の結果（括弧内）を示すと、相関係数 ρ_H は 0.88 (0.91)、勾配値 a_{0H} は 1.00 (1.00)、2乗平均平方根波高誤差 σ_H は 0.21m (0.19 m)、変動係数 C_{vH} は 0.46 (0.41) である。本システムによる結果をみると、変動係数は大きいけれども、相関係数 ρ_H と勾配値 a_{0H} は推算値と観測値の良好な一致を示唆する。周期に関して、推算値は低周期部で円状に分布するが、長周期部になるほど 45° 直線のまわりに集まり、推算値と観測値がよく対応するようになる。相関係数 ρ_T は 0.80 (0.89)、勾配値 a_{0T} は 1.00 (0.97) であるから、推算値は観測値に近い値をとることが推察される。2乗平均平方根周期誤差 σ_T は 0.64 s (0.51 s)、変動係数 C_{vT} は 0.17 (0.13) であるから、変動係数は小さいと言えよう。また、観測風資料に基づく海上風分布を入力条件とする山口ら^[8]のシステムは各誤差指標の括弧内の数値から明らかなように、本システムよりさらに高い精度をもつ。各種平均波高は本システムによる推算値と山口ら^[8]のシステムによる推算値（括弧内）および観測値に対して $H_{s10} = (1.49(1.32), 1.47)$ m, $H_{s3} = (0.99(0.95), 0.91)$ m, $H_{sm} = (0.48(0.52), 0.46)$ m, $H_{s\sigma} = (0.43(0.37), 0.41)$ m, 各種平均周期は同様に $T_{s10} = (5.98(5.44), 5.70)$ s, $T_{s3} = (4.94(4.72), 5.09)$ s, $T_{sm} = (3.85(3.74), 3.79)$ s, $T_{s\sigma} = (0.94(0.83), 1.06)$ s であるから、本システムは H_{s3} についての若干の相違を除けば、観測値とよく符合する結果を与えると言える。また、本システムは各種平均波高・周期に対し、山口ら^[8]のシステムと比べて観測値に近い値を与える。

つぎに、和気における検討結果を述べる。Fig. 16 は 2005 年 1 月 1 日～1 月 31 日における波高時系列について推算値と観測値の比較を示す。ここでの観測周期資料は適正な値を与えないので、検討の対象としない。波高に関して推算値は日単位、あるいはそれ以下の短い時間間隔で変動する観測値とよく符合するようにみえる。

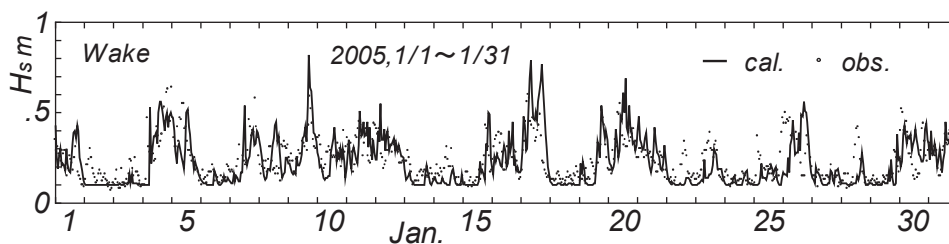


Fig. 16 Time variations of wave height based on hindcasts and measurements at Wake station in the Itsuki-nada of the Seto Inland Sea.

Fig. 17 は 2004 年 10 月 28 日～2005 年 3 月 17 日の 141 日間の波高に対する推算値と観測値の散佈図および等出現率線を示す。資料値は 45° 直線のまわりに大きく分散してプロットされており、推算値と観測値の対応は必ずしもよいとは言えない。これは時系列の比較図では推算値と観測値の対応が比較的良好にみえても、細部においては推算値が急増減する観測値に必ずしも忠実に追従しない状況を反映する。誤差指標のうち、本システムおよび山口ら^[5]のシステム（括弧内）による相関係数 ρ_H は 0.62(0.74)、勾配値 a_{0H} は 0.88(0.92) であるから、推算値は平均的に観測値より小さめであり、資料値のばらつきもやや大きい特徴が示唆される。2乗平均平方根波高誤差 σ_H は 0.10 m(0.09 m)、変動係数 C_{vH} は 0.47(0.43) であるから、 σ_H はやや大きい。また、観測風資料に基づく海上風分布を入力条件とする山口ら^[5]のシ

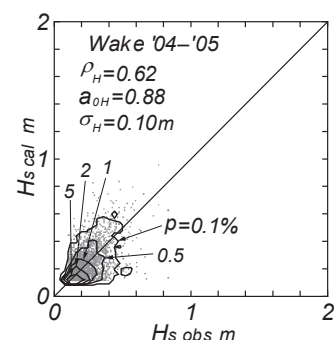


Fig. 17 Scatter diagram between hindcasts and measurements for wave height at Wake station of the Itsuki-nada of the Seto Inland Sea.

システムの精度は本システムの精度を上まわる。本システムおよび山口ら^[5]のシステムに基づく各種平均波高と相当する観測値は $H_{s10} = (0.47(0.50), 0.44) \text{ m}$, $H_{s3} = (0.33(0.34), 0.33) \text{ m}$, $H_{sm} = (0.19(0.19), 0.21) \text{ m}$, $H_{s\sigma} = (0.12(0.10), 0.10) \text{ m}$ である。本システムは、 $H_{s\sigma}$ を除いて山口ら^[5]のシステムより観測結果に近い値を与える。

以上の検討結果をまとめると、誤差指標は山口ら^[5]のシステムの精度が本システムの精度より高いことを示唆するが、各システムより得た各種の平均波高については必ずしも同じ結論を生じないということになる。

7. 結 語

本研究では、外洋において NCEP/NCAR による表面風解析値に台風モデル風を組込んだ NCEP 海上風分布、瀬戸内海において SDP 風資料より推定した海上風分布を入力条件とした、高地形解像度格子網のもとでの 1 点浅海モデルに基づく 45 年間の波浪推算システムの適用性を、瀬戸内海全域に点在する 21 地点における波浪観測資料との比較に基づいて明らかにするとともに、45 年間の波浪推算資料を用いて波高の傾向変動を調べた。得られた結果の概要はつぎのようである。

- 1) 本システムは内海発生波浪と比べて外洋からの波浪の影響が大きい紀伊水道や豊後水道の 7 波浪推算（観測）地点における最長 10 年に及ぶ波高および周期の観測資料の挙動を、時別値のみならず波浪の平均特性についてもよく再現する。
- 2) 本システムは瀬戸内海のうち、海上風分布の推定精度が高い大阪湾内の 4 地点や周防灘内の 2 地点における最長 26 年に及ぶ波高の変化状況を比較的精度よく再現するが、海上風分布の推定精度の確保が容易でない播磨灘内の 4 地点や燧灘内の 1 地点では、長期波浪に対する再現性を低下させる。また、別府湾の大分でも本システムはあまり高い精度を発現するとは言えない。
- 3) 本システムは愛媛県沿岸のうち伊予灘に面する長浜で観測された約 3 ヶ月間の波高のみならず周期に対して高い再現性を与える。また本システムは斎灘に面する和気で観測された約 5 ヶ月間の著しい経時変化を伴う波高に対しても比較的よい対応を生じる。
- 4) 本システムは精度の面では観測風資料より推定した瀬戸内海における海上風分布を入力条件とする山口ら^{[6],[7]}のシステムに及ばないけれども、一定程度以上に高い精度をもち、しかも 45 年に及ぶ波浪推算を可能にすることから、長期の波高の傾向変動解析に有用である。
- 5) 瀬戸内海の 10 波浪推算（観測）地点における 45 年間の各種年別平均波高資料から、傾向変動が検出されない地点は 3 地点にすぎず、残りの 7 地点ではおおむね負の傾向変動が検出される。とくに周防灘西部の荻田では、各種年別平均波高は推算資料のみならず観測資料においても強い負の傾向変動を伴う。

参 考 文 献

- [1] 水谷雅裕・佐々木高雄・橋本典明・川口浩二・柴木秀之・鈴山勝之：燧灘海域における WAM 波浪推算の特性について，海洋開発論文集，第 19 巻，pp.153-158，2003.
- [2] 橋本典明・松本英雄・川口浩二・松藤絵里子・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.
- [3] 橋本典明・児玉充由・三谷正人・友田信明・松本英雄・松藤絵里子：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，海洋開発論文集，第 22 巻，pp.121-126，2006.
- [4] 畑田佳男・山口正隆・大福 学・野中浩一・白水英路：波浪の長期推算システムの瀬戸内海沿岸に

- おける適用性の検討, 海岸工学論文集, 第 51 巻, pp.176-180, 2004.
- [5] 山口正隆・大福 学・日野幹雄・畑田佳男・野中浩一: 瀬戸内海の斎灘・安芸灘沿岸地点における年間波浪の推定, 工学ジャーナル(愛媛大学工学部), 第 6 巻, pp.223-232, 2007.
- [6] 山口正隆・日野幹雄・大福 学・畑田佳男・野中浩一: 内湾・内海における波浪の長期推算システムの構築—瀬戸内海の場合—, 海岸工学論文集, 第54巻, pp.106-110, 2007.
- [7] 山口正隆・日野幹雄・畑田佳男・大福 学・野中浩一: 瀬戸内海における波浪の長期推算システムの適用性, 海岸工学論文集, 第 55 巻, pp.126-130, 2008.
- [8] 山口正隆・日野幹雄・大福 学・畑田佳男・野中浩一: 瀬戸内海西部海域の波浪観測地点における 1 年間の波浪推算とその精度検証, 工学ジャーナル(愛媛大学工学部), 第 8 巻, pp.139-148, 2009.
- [9] The WAMDI Group : The WAM model-A third generation ocean wave prediction model, Jour. Phys. Oceanogr., Vol.18, pp.1775-1810, 1988.
- [10] Günther, H., Hasselmann, S. and P. A.E.M. Janssen : The WAM model cycle 4 (revised version), Deutsches Klima Rechen Zentrum, Technical Report No.4, 101p., 1992.
- [11] 山口正隆・畑田佳男・宇都宮好博: 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, 1987.
- [12] 山口正隆・大福 学・日野幹雄・野中浩一・畑田佳男: 内海・内湾における風候と確率風速の評価, 水工学論文集, 第 53 巻, pp.1477-1482, 2009.
- [13] 畑田佳男・山口正隆・大福 学・高橋秀典: 表面風再解析資料を用いた波浪の長期推算システムの適用性の向上, 海岸工学論文集, 第 52 巻, pp.141-145, 2005.
- [14] 山口正隆・大福 学・野中浩一・畑田佳男・日野幹雄: SDP 風資料を用いた内湾・内海における 45 年間の海上風分布データセットの作成, 海岸工学論文集, 第 56 巻, 2009 (印刷中) .
- [15] 山口正隆・大福 学・野中浩一・畑田佳男: SDP 風資料に基づく内湾・内海の海上風分布の特性, 工学ジャーナル(愛媛大学工学部), 第 9 巻, 2010 (投稿中) .
- [16] 山口正隆・畑田佳男・大福 学・野中浩一・日野幹雄: SDP 風資料を用いた内湾・内海における 45 年間の波浪推算システム—東京湾の場合—, 海岸工学論文集, 第 56 巻, 2009(印刷中).
- [17] 山口正隆・畑田佳男・大福 学・野中浩一: SDP 風資料に基づく内湾・内海の海上風分布を用いた 45 年間の波浪推算システム—関東沿岸海域の場合—, 工学ジャーナル(愛媛大学工学部), 第 9 巻, 2010(投稿中).
- [18] 山口正隆・畑田佳男・大福 学・野中浩一: SDP 風資料に基づく内湾・内海の海上風分布を用いた 45 年間の波浪推算システム—伊勢湾の場合—, 工学ジャーナル(愛媛大学工学部), 第 9 巻, 2010(投稿中).
- [19] 山口正隆・大福 学・日野幹雄・畑田佳男・森 正憲・野中浩一: 内湾・内海における波浪の長期推算システムの構築—伊勢湾の場合—, 海岸工学論文集, 第 53 巻, pp.116-120, 2006.
- [20] 日野幹雄・山口正隆・畑田佳男・大福 学・野中浩一: 東京湾における長期の波浪特性の推定, 水工学論文集, 第 52 巻, pp. 1351-1356, 2008.
- [21] 山口正隆・日野幹雄・畑田佳男・大福 学・野中浩一: 駿河湾西岸における長期波浪推算, 海洋開発論文集, 第 24 巻, pp.903-908, 2008.
- [22] 山口正隆・日野幹雄・畑田佳男・大福 学・野中浩一: 長期波浪推算の精度に及ぼす海上風分布資料および地形解像度の影響, 海洋開発論文集, 第 25 巻, pp.873-878, 2009.
- [23] 鈴木栄一: 気象統計学(第 5 版), 地人書館, 314p, 1975.

愛媛大学工学部工学ジャーナル論文投稿規程

平成19年4月1日
広報委員会決定

1. 愛媛大学工学部工学ジャーナルの刊行目的

愛媛大学工学部工学ジャーナルは、愛媛大学大学院理工学研究科工学系研究科教員・工学部職員（以下「工学系教員」という。）及び外部投稿者による、工学関係の独創的で、かつ、優れた学術研究の成果を広く公表することを目的として刊行するものとする。

2. 愛媛大学工学部工学ジャーナルの編集

愛媛大学工学部工学ジャーナルの編集は、愛媛大学大学院理工学研究科工学系研究科広報委員会（以下「広報委員会」という。）がこれに当たる。

編集に当たる広報委員会は、論文の受理、採否の決定、校閲等を行う。

3. 論文

論文は、指定投稿論文及び一般投稿論文とする。

指定投稿論文は、次のとおりとする。

- (1) 工学系教員が学協会による学会賞等を受賞した研究業績をまとめたもの
- (2) 工学系教員が学協会の機関誌に記述した、先端的研究に関する解説、総説等の内容を再編集したもの（ただし、著作権に関しては、執筆者が事前に学協会の承認を得ること。）
- (3) 学生が学協会の学会賞等を受賞した業績を指導教員がまとめたもの
- (4) 各コースが推薦する論文
- (5) 当該年度末の定年退職予定教員による学術研究に関する論文
- (6) その他、広報委員会で認めたもの

(1)～(3)にいう学協会は、日本学術会議の登録学術研究団体に限る。

(4)の各コース推薦論文は、各コース3編以内とし、学協会の機関誌に発表した内容のレビュー的論文で、各コースが誇るものとする。

一般投稿論文は、独創的でアイデアに富む未発表のもの、国際会議の招待講演、国内学会での基調講演、学術交流協定に基づく国際シンポジウムでの講演等をまとめたものとする。

4. 論文執筆及び論文ページ制限

論文は、「愛媛大学工学部工学ジャーナル執筆規程」に基づき作成する。

指定投稿論文中、(5) 当該年度末の定年退職予定教員による学術研究に関する論文では15ページを、その他の論文では10ページを超えないことを原則とする。ただし、広報委員会が必要と認めた場合はこの限りでない。

5. 著作権

- (1) 投稿された論文の著作権は、広報委員会に帰属する。ただし、著者自身が自著の記事を複製、翻訳、翻案等の形で利用することは差し支えない。
- (2) 代表著者は、投稿に際し、著作権委譲書（別紙1）を広報委員会へ提出する。

6. 愛媛大学工学部工学ジャーナルの作成

工学ジャーナルは、冊子体を作成しないで、全ての論文を1枚のCD-ROM等をもって作成する。

7. 投稿料等経費

(1) 投稿料は、投稿者に別途定める投稿料を負担させることができるものとする。

ただし、本規程第3の「指定投稿論文」に関しては、投稿料の負担を免除する。

(2) 投稿者はCD-ROM等の必要枚数を広報委員会に申請する。なお、CD-ROM等の必要枚数が10枚を超えるものについては、投稿者が別途定める経費を負担する。

8. 提出原稿

提出原稿は、オリジナルファイル（Word等）及びPDFファイルとする。

9. 原稿の締切

(1) 申込締切 毎年 8月31日（所定の申込書により申し込む。）

(2) 原稿提出締切 毎年10月31日

(3) 原稿の申込み及び提出先
広報委員会

10. 受理年月日

受理年月日は、広報委員会が原稿を受理した日とする。

論文の掲載の可否については、広報委員長名で通知する。

11. その他の注意事項

原稿受理後、論文内容の変更はできないので、特に留意すること。

（最新改正： 平成18年12月20日 広報委員会決定）

工学ジャーナル論文申込書

コース等名
申込者氏名

整理番号	コース名	著者氏名	題目	指定投稿 一般投稿 の別	指定投稿 の種類	既発表学協会誌 又は 講演会名(年月)	原稿の総 ページ数	CD-ROM 等の必要枚 数	(原稿申込日)	(原稿受理日)
1									月 日	月 日
2									月 日	月 日
									月 日	月 日
									月 日	月 日

(別紙1)

著作権委譲書

愛媛大学工学部工学ジャーナルに投稿する私の以下の論文の著作権は、愛媛大学理工学研究科工学系研究科広報委員会に委譲いたします。

論文題目 _____

平成 _____ 年 _____ 月 _____ 日

代表著者氏名 _____

愛媛大学工学部工学ジャーナル論文投稿規程第7に定める投稿料等経費について

愛媛大学工学部工学ジャーナル論文投稿規程第7に定める投稿料等経費については、下記のとおりとする。

記

1. 第7の(1)に定める投稿料

一般投稿論文に係る投稿料は、次のとおりとする。

1 ページ当たりの投稿料の額	900 円
----------------	-------

なお、愛媛大学大学院理工学研究科工学系研究科教員・工学部職員が代表著者となる一般投稿論文に係る投稿料は、当分の間、負担させないものとする。

2. 第7の(2)に定めるCD-ROM等の必要枚数が10枚を超えるものに係る経費

指定投稿論文及び一般投稿論文のCD-ROM等の配付枚数は10部とし、これを超える部数を必要とする場合は、投稿者負担とし、負担額は次のとおりとする。

超過1部数当たりの投稿者負担：200円

(最新改正：平成18年12月20日、広報委員会決定 平成19年4月1日施行)

愛媛大学工学部工学ジャーナル論文執筆規程

1. 一般的な留意事項

- (1) 指定投稿論文，一般投稿論文とも，原則として和文または英文論文とする。
- (2) 原稿はそのままCD-ROM等化されるので，原稿はオリジナルファイル（Word等）及びPDFファイルで提出すること。
- (3) 指定投稿論文中，当該年度末の定年退職予定教員による学術研究に関する論文では，図表を含め15ページを，その他の論文では，10ページを超えないことを原則とする。ただし，広報委員会が必要と認めた場合は，この限りでない。
- (4) 原稿はA-4を用い，マージンは和文，英文ともに上20mm，下30mm，左右25mmとする。
- (5) 和文ではMS明朝またはそれに相当する文字種を，英文ではTimes New Romanまたはそれに相当する文字種とする。
- (6) 文字サイズは，題目は14ポイント（ゴシック体），副題は12ポイント（ゴシック体），著者氏名は12ポイントとし，いずれも中央揃えとする。緒言，結果と考察等の見出し（中央揃え），内容展開に必要な見出し（左端揃え）は12ポイント（ゴシック体）とする。要約，キーワード，本論，謝辞，引用論文，付録はいずれも10ポイントとする。
- (7) 要約，キーワード，本論，謝辞，引用論文，付録はいずれも1段組で，行間隔は16ポイントとする。

2. 体裁とその書き方

- (1) 題目，著者氏名，要約，キーワード，本論，謝辞，引用論文，付録の順とする。
- (2) 原稿の第1ページに題目，著者氏名を中央揃えで記す。勤務先及び部課（科），連絡先は脚注に記すこと。英文も併記すること。
- (3) 題目は簡潔（20字程度以内）で，その内容をよく示すものとする。英文題目における大文字，小文字の使い方については，例を参照のこと。
- (4) 著者氏名の前に，「by,」また要約に，「ABSTRACT」の見出しを付けないこと。
- (5) 指定投稿論文では，その論文が指定投稿論文であることを明確に示すため，出典となった学術論文を1ページの脚注として明記すること。
- (6) 要約
英文で研究の目的，結果，結論を150語程度にまとめること。
- (7) 本論
 - 1) 本論は，緒言，実験，結果と考察，まとめ，謝辞，参考文献，付録の順とする。これら見出しは，ゴシック体とし，文のセンターに位置づけること。必要に応じ小見出しをつけること。小見出しもゴシック体とし，文頭に位置づけること。
 - 2) 和文では専門用語以外は当用漢字を用い，ひらがなまじり口語文，かなは新かなづかいとすること。
 - 3) 不必要に長い表現は避け，重複した内容にならないようにすること。又，同性質の図または表を多く掲げることは避けること。数式は，主題の論旨の展開に必要な程度にとどめること。写真及び図表の説明は，論文の和文，英文を問わず，単に Fig.1, Table 1 などと記するだけでなく，英文で説明（文）をつけること。文中では，Fig.1, Table 1 などと記すること。
 - 4) 和文の場合，句読点は，「，」及び「。」とし，それぞれ1画を用いること。

- 5) 本文中に使用する記号には、必ず説明を付けること。
- 6) 単位は周知の記号を用いること。
- 7) 後述例を参考にすること。
- (8) 謝辞の記述
研究費等の補助などを受けた場合には、本文の最後に記すること。
- (9) 引用文献
 - 1) 研究内容に直接関係のある重要な文献を記載すること。これらの文献は、本文中文字の右肩に番号 [1]， [1] - [3] を付し、それらを本文の最後にまとめること。
 - 2) 引用文献の書式として雑誌の場合は、著者名， 標題， 雑誌名， 巻， 号（または発行月，あるいは号及び発行月）， 開始ページ～終了ページ， 年を， また単行本の場合は， 著者名， 書名， ページ， 発行所， 発行年を記すこと。
- (10) 付録
数式の誘導， 実験装置などの詳細な説明が必要な場合には， 付録とする。
- (11) その他

(最新改正： 平成18年12月20日， 広報委員会決定 平成19年4月1日施行)

工学ジャーナル投稿原稿の見本*

<1行分あける。>

A Sample of Manuscript of Submitted Paper to Journal of Engineering

<2行分あける。>

愛媛工学**

<1行分あける。>

Kougaku EHIME**

<1行分あける。>

Abstract: All manuscripts must be produced clearly on good quality plain white A4-size(297mm×210mm) sheets, and accurately within the dimensions as shown on these pages. Manuscripts should be submitted in camera-ready style for the screening and publication. The manuscript is accepted for publication after the format check of the editorial board. Thus, the authors are asked to read these instructions carefully for quicker acceptance of your manuscript. The printer should be a laser/jet, but dot -printers are unacceptable.

<1行分あける。>

Key words: Original paper, Guideline for manuscript

<2行分あける。>

1. 緒言

<1行分あける。>

工学ジャーナルは、工学部教職員及び外部投稿者による、工学関係の独創的で、かつ優れた学術研究の成果を広く公表することを目的として刊行される。具体的には、従来の工学部紀要を改革し、2に記す論文を中心に編集する。

<1行分あける。>

2. 投稿論文

論文は、指定投稿論文及び一般投稿論文とする。

2.1 指定投稿論文

指定投稿論文は、原則として次のいずれかでなければならない。

- (1) 工学部教官が学協会による学会賞等を受賞した研究業績をまとめたもの
- (2) 工学部教官が学協会の季刊誌に記述した、先端的研究に関する解説、総説等の内容を強化したもの(ただし、著作権に関しては、執筆者が事前に学協会の承認を得ていること)
- (3) 学生等が学生対象の学協会の学会賞等を受賞した業績を指導教員がまとめたもの
- (4) 各学科が推薦する論文
- (5) 前年度の退職教員による学術研究に関する論文
- (6) その他、編集委員会で認めたもの

2.2 一般投稿論文

一般投稿論文は、独創的でアイデアに富む未発表のもの、国際会議の招待講演、国内学会の基調

* ○△学会会誌 第○○巻 第○○号 (2000)pp.△△-○○ 工学ジャーナル投稿原稿より引用

** 松山市文京町3愛媛大学工学部 ○○学科

** Department of Mechanical Engineering, Ehime University, Matsuyama, Japan. E-mail

原稿受理 平成 年 月 日

講演, 学術交流協定に基づく国際シンポジウムでの講演等をまとめたものとする。

3. 原稿の執筆上の注意

原稿の書き方は, 投稿規程および原稿執筆上の規約に従う。第1ページおよび図などは本ページに示す見本を参照する。ページは左右に25mm, 上20mm, 下30mmの margins をとり, 1段組とする。論文および資料の場合, 次の事項を番号順に必ず記載する。

- (1) 和文題名 (14 ポイント)
- (2) 英文題名 (14 ポイント)
- (3) 和文著者名 (12 ポイント)
- (4) 英文著者名 (12 ポイント)
- (5) 英文要旨 (10 ポイント)
- (6) 英文キーワード (10 ポイント)

指定投稿論文で既に掲載された学協会名等を示す必要がある場合, 前ページ例を参照すること。

本文 (10 ポイント) は, 見本のように上記(1)~(6)を記述した後に, 1行空けて書き始める。

図, 表および写真は, 見本のように用紙にそのまま貼り込み, 本文中の説明と離れない位置に貼り付ける。図・表どうし, あるいは図, 表と本文は1行以上間隔をあけるようにする。カラー写真掲載の場合は, 編集委員会でその必要性が認められた場合に限り掲載することができるが, それに係わる経費は著者負担である。

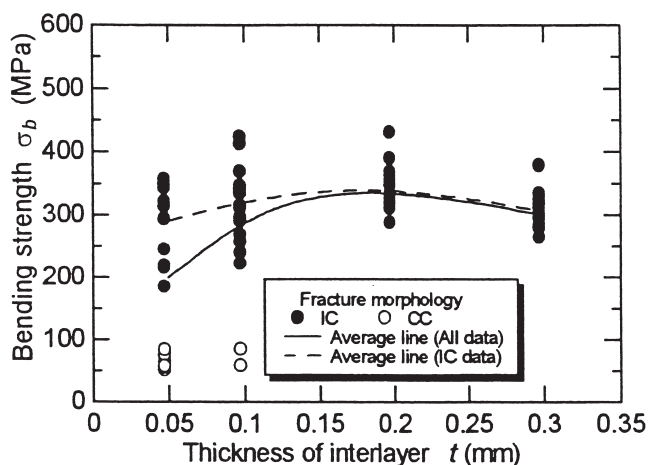


Fig.1. Relationship between interlayer thickness and bending strength.

4. 引用文献

[1] 「雑誌」

著者名, 標題, 雑誌名, 巻, 号, pp. 開始ページ~終了ページ, 年.

「単行本」

著者名, 書名, ページ, 発行所, 発行年.

[2] 参考例

[1] 浦島太郎: 広帯域増幅器, 通信学会誌, 40, 2, pp. 120-125, 1955.

[2] R. P. Feynman: Slow Electrons in a Polar Crystal, Phys. Rev., 97, 3, pp. 660-665, 1955.

または

[3] R. P. Feynman: Slow Electrons in a Polar Crystal, Phys. Rev., 97, pp. 660-665, Mar., 1955.

[4] 田中一郎: 磁性工学, pp.123-135, オーム社, 1966.

[5] J. A. Smith: in "Electricity and Magnetism" pp.300-305, Cambridge University Press, London, 1950.