

観測風資料に基づく海上風分布を用いた沿岸波浪推算の精度向上

Improving Accuracy of Wave Hindcasts in Coastal Waters with the Aid of Data from Measurements-Based Sea Wind Distribution

山口正隆*・日野幹雄*・畑田佳男*・大福 学**・野中浩一**

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

A long-term wave hindcast system using a backward ray tracing model on a nested grid with very high space resolution of 100 m is applied for evaluating its accuracy in the computation of wave climate conditions at each of the 11 coastal measurement stations in the Kanto Sea Area consisting of Tokyo Bay and the surrounding sea areas. Two kinds of wind data sets are employed. One is the NCEP/NCAR (NCEP) reanalysis winds in which parametric typhoon model-based winds are embedded. The other is the measurements-based wind data in the Kanto Sea Area added to the aforementioned winds. Detailed comparisons with the wave measurements show that the wave computation using the NCEP winds aided by measurement-based winds yields a major improvement in accuracy, particularly for wave height over that using the NCEP/NCAR winds alone in a local wind-generated waves-dominant area and that it becomes less effective to the improvement of accuracy with increasingly higher waves generated in an open sea.

Key Words : long-term wave hindcasts, NCEP/NCAR reanalysis winds, measured winds, backward ray tracing model, Tokyo bay and its surrounding sea areas, coastal waters

1. 緒 言

高精度の波浪推算を行うために最も重要な点の1つはできるだけ高い精度の海上風を入力条件に使用することである。そのために、外洋の海上風に関して現在では世界の代表的気象研究機関であるECMWF (European Centre for Medium-range Weather Forecasts) やNCEP/NCAR (National Center for Environment Prediction/National Center for Atmospheric Research) などによって提供される表面風再解析/解析資料を利用することが可能である。しかし、これらの資料はその空間解像度が現在のところあまり高くないし、資料の時間間隔も6時間と粗いことから、海上風が地形や小島の影響を強く受ける内湾・内海部や沿岸部における波浪推算への利用に必ずしも適していると言えない。この問題に対する対処法の1つとして、全球気象モデルによる推算値を入力条件とする地域気象モデルによって得た高

*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20年9月10日

地形解像度風推算資料を利用する方法があり、欧米諸国では 1990 年代以降に、日本では 2000 年代に入り研究が鋭意進められている。しかし、その数値計算に膨大な時間を必要とすることから、内湾・内海における年単位以上の期間についての計算事例^{[1]~[3]}は限られている。また、台風モデル法や天気図解析法あるいは両者の組み合わせにより推定した海上風分布をマスコンモデルで地形の影響を含むように調整する方法^{[4]、[5]}が実用に供されているが、波高の極値、すなわち確率波高の評価を目的とした多数ケースの気象擾乱に対する適用事例はみられても数年以上の連続した期間に対する波浪推算への適用事例はほとんどない。さらにもう 1 つの対処法として、内湾・内海を囲む沿岸部やその海上部で取得されている風観測資料を空間補間することによって推定した海上風分布を利用する方法^[6]がある。適正な風観測資料が長期間にわたり海上部や沿岸部の多数地点で入手できる場合、この方法はある程度質の高い海上風分布の推定を比較的簡単に可能にする^{[7]~[9]}。

本研究では、東京湾・相模湾・駿河湾とその沖合海域よりなる関東沿岸海域において、海上部や沿岸部の風観測資料を用いて推定した長期の海上風分布と台風モデル風を組んだ NCEP/NCAR による表面風再解析資料（NCEP 風資料）による海上風分布を併用する場合の長期波浪推算を当該海域の沿岸部に位置する多くの波浪観測地点で実施し、NCEP 風資料による海上風分布のみを入力条件とする場合の波浪推算資料や観測資料との比較に基づいて、観測風資料に基づく沿岸海域の海上風分布の利用が沿岸波浪の推算精度の向上にどの程度寄与するかを検討する。

2. 海上風分布の推定および波浪推算の方法

2.1 海上風分布

1) 表面風再解析資料に基づく北西太平洋領域の海上風分布

ここでは、NCEP/NCAR より提供を受けた 10 m 高度表面風速成分再解析資料（NCEP 風資料）を再編集することにより、海上風分布資料として波浪推算に用いる。これは空間解像度約 1.9° のガウス座標系で 6 時間ごとに与えられ、その期間は 1948 年 1 月 1 日～2007 年 12 月 31 日の 60 年に及ぶ。NCEP 風資料の特徴は、空間解像度が高くないけれども、資料の等質性の確保に注意を払って作成されている点にある。したがって、NCEP 風資料は波候の長期変動や傾向変動を検討するための長期波浪推算用風資料として有用である。しかし、1948～1957 年の NCEP 風資料は不自然な傾向変動を与えるので、実際には 1958 年以降の NCEP 風資料が有効と考えられる。

NCEP 風速成分資料は緯度・経度座標で与えられることから、本研究における波浪推算に用いる海上風分布資料とするために、この原資料を北西太平洋に設けた格子間隔 80 km、分割数 36×35 の格子網上に双 1 次補間することによって、そのデータセットを再作成する。さらに、空間解像度の不足に伴う台風時強風の過小評価傾向を補正するために、楕円型気圧分布を仮定する台風モデルに基づく海上風成分を NCEP 風速成分資料に埋込む^[10]。台風モデル風に基づく海上風成分は、6 時間間隔の台風属性（台風中心の位置、中心気圧、楕円長軸傾斜角、平均台風半径、短軸/長軸方向台風半径比の 6 つの変量）資料を線形補間により 1 時間間隔の入力値資料として、台風中心への吹込み角を考慮して計算した傾度風速成分と台風の移動に伴う風速成分の加算により求めた台風時風速成分に、経験的に決めた定数を乗じて得られる。対象台風は北西太平洋領域において中心気圧 980 hPa 以下に発達したすべての台風とし、1 時間ごとに線形補間した NCEP 風速成分資料に 1 時間ごとの台風モデル風速成分を埋込む。本研究では、格子間隔 80 km の北西太平洋格子網において台風モデル風の埋込みを行った 1 時間ごとの風資料を改めて NCEP 風資料と呼ぶ。

2) 風観測資料に基づく沿岸海域の海上風分布

関東沿岸海域の沿岸部と海上部の最大 22 箇所で取得された 1979～2004 年の 26 年間 1 時間ごとの風

観測資料の海上風変換値と海域の外洋境界に近い4海上地点における同期間のNCEP風資料の1時間間隔補間値に加重1次補間法^[11]を適用して、領域内に任意に設けた11箇所の仮想地点における風を求め、さらにこれらに1~1.25の増幅係数を乗じて海上風としたのち、合計37地点における海上風相当値資料に再度加重1次補間法^[11]を適用して格子間隔2kmの関東沿岸海域格子網で海上風を算出し、そのデータセット化をはかる^[9]。

Fig. 1は対象海域と風資料地点および波浪観測地点を示す。このうち、番号1~22(○印)が風観測地点、V1~V11(△印)が仮想地点、W1~W11が波浪観測地点(●印、7地点は風観測地点とほぼ重複)を表す。風観測資料の欠測部は同一地点の資料に対する線形補間や近隣地点との相関解析を通じて補充する。使用する風観測地点の数は古い時期ほど少ないことから、非等質な海上風分布資料が得られている可能性もあるが、ここではそのまま波浪推算のための入力条件として用いる。海上風観測地点は東京湾内の5地点、相模湾沿岸と駿河湾西岸湾口近くの各1地点の7箇所であり、2地点を除く残りの地点も海に面した灯台である。したがって、海域の境界近くで選択した4箇所のNCEP風資料と上記の風観測資料を利用することによって、NCEP風資料との連続性が確保された、かなり適正な海上風分布が推定されていると推測される。

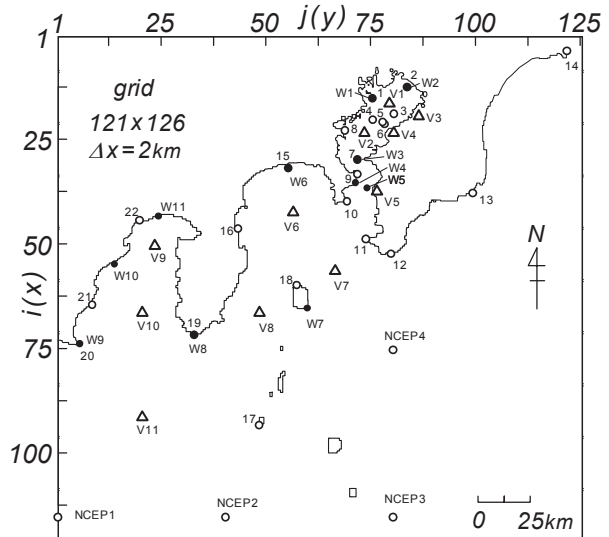


Fig. 1 Location of input wind data points and wave measurement stations.

2.2 波浪推算と計算条件および波浪観測資料

波浪推算には、1点浅海モデル^[12]を使用する。これは波浪推算地点に屈折を伴って到達する各成分波の波向線上における方向スペクトルの伝播・発達・減衰を追跡することによって波浪推算地点における方向スペクトルの経時変化を計算するモデルであり、成分波間の非線形相互作用を考慮しない第1世代の波浪推算モデルに属する。しかし、1点浅海モデルは高地形解像度計算に容易に適用でき、しかもその精度は第3世代モデルであるWAMと比べても遜色ないことがこれまで多くの事例で明らかにされている。境界条件には、外洋開境界に到達した波向線上波計算点においてそこでの風速・風向を用いてパラメトリックな関係式から得られる方向スペクトルの値を与える。計算に用いる周波数データとその個数は0.04~1 Hzを不等分割した23個、方向データとその個数は0~360°を10°間隔で等分割した37個である。波浪推算に用いる格子網はFig. 2に示すように、格子間隔5 kmで分割した北西太平洋大領域、格子間隔1 kmの関東沿岸海域中領域および格子間隔0.1 kmの波浪推算地点周辺小領域(図では東京湾)よりなる。格子間隔0.1 kmの小領域は東京湾を含めて沿岸部における海底地形の細部をよく再現する。

各成分波の波向線上に設けた波計算点における海上風は、波計算点が格子間隔2 kmの関東沿岸海域の海上風格子網内にある場合および当該格子網を離れて格子間隔80 kmのNCEP風資料格子網内にある場合に、それぞれ4点双1次補間式を適用して1時間ごとに推定する。また、関東沿岸海域における観測風に基づく海上風分布資料を使用しない場合には、80 km格子網でのNCEP風資料のみを利用する。波浪推算の時間間隔は30分であるが、波計算点上の風は1時間の間変わらないとする。波浪推算はFig. 1にW1~W11として与えた関東沿岸海域沿岸部の11箇所の波浪観測地点で個別に、観測

風に基づく海上風分布資料と NCEP 風資料を併用する場合および NCEP 風資料のみを使用する場合について 2004 年の 1 年相当分(浜金谷では 1980 年)を 30 分間隔で実施する。同様の方法で特定の数地点において 1979～2004 年の 26 年間にわたり連続して行う。

波浪推算の対象とする波浪観測地点の名称, 地点略記号, 資料の比較期間および観測水深は①東京灯標 (W1, 1983～2004 年, 15 m), ②千葉観測塔 (W2, 1994～2004 年, 10 m), ③第 2 海堡 (W3, 1991～2004 年, 29 m), ④アシカ島 (W4, 1992～2004 年, 22 m), ⑤浜金谷 (W5, 1972～1990 年, 23 m), ⑥平塚 (W6, 1979～2004 年, 20 m), ⑦波浮 (W7, 1979～2004 年, 48 m), ⑧石廊崎 (W8, 1979～2004 年, 51 m), ⑨御前崎 (W9, 1998～2004 年, 23 m), ⑩久能 (W10, 2000～2004 年, 30 m), ⑪田子浦 (W11, 2001～2004 年, 48 m), であり, 観測資料の時間間隔は久能と田子浦で 1 時間, 石廊崎を除く 6 地点で 1 時間, 石廊崎で 3 時間となっている。浜金谷観測地点は 1991 年に廃止されている。

3. 波浪推算精度に及ぼす海上風分布資料の影響

3.1 全観測地点における 1 年間の波浪推算資料の検討

Fig. 3 は (有義) 波高 H_s と (有義波) 周期 T_s に対する浜金谷での 1980 年 1 年間の推算資料と観測資料の散布図を NCEP 風資料と観測風資料を併用する①の場合 (NCEP+OW) および NCEP 風資料のみを使用する②の場合 (NCEP) についてそれぞれ与える。推算資料と観測資料の平均的な対応は波高および周期のそれぞれについて相関係数 (ρ_H, ρ_T), 2 乗平均平方根誤差 (σ_H, σ_T) および原点を通る回帰直線の勾配値 (a_{0H}, a_{0T}) という 3 つの誤差指標によって代表される。Table 1 は 11 波浪観測地点において NCEP 風資料と観測風資料を併用する①の場合と NCEP 風資料のみを使用する②の場合にそれぞれ 2004 年の 1 年間で得た波高および周期の推算資料と観測資料に基づく 3 つの誤差指標と, 相関係数および 2 乗平均平方根誤差についての①の結果と②の結果の差(③)の一覧を示す。相関係数 (ρ_H, ρ_T) と勾配値 (a_{0H}, a_{0T}) は 1,000 倍, 2 乗平均平方根誤差 ($\sigma_H,$

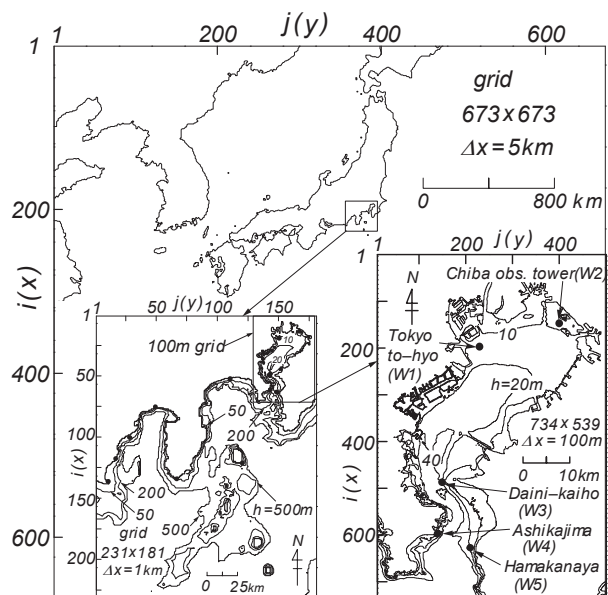


Fig. 2 Nested domain for wave hindcasting.

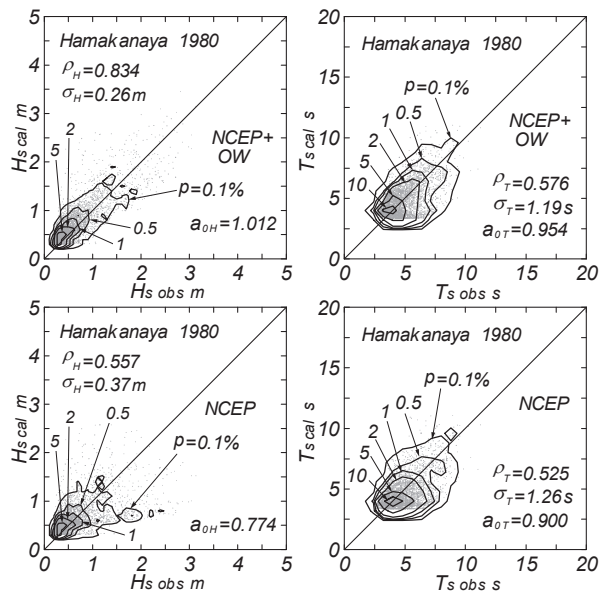


Fig. 3 Scatter diagram between hindcasts and measurements for wave height and wave period and contourline plots.

Table 1 Error statistics of wave height and wave period over one year at 11 stations.

obs. st. (index)	No.	ρ_H $\times 10^3$	σ_H $\times 10^2$	a_{0H} $\times 10^3$	ρ_T $\times 10^3$	σ_T $\times 10^2$	a_{0T} $\times 10^3$	obs. st. (index)	No.	ρ_H $\times 10^3$	σ_H $\times 10^2$	a_{0H} $\times 10^3$	ρ_T $\times 10^3$	σ_T $\times 10^2$	a_{0T} $\times 10^3$
Tokyo to-hyo (W1)	①	890	11	1000	496	57	972	Habu (W7)	①	786	52	1009	570	135	966
	②	360	22	628	256	57	902		②	741	57	942	549	145	978
	③	530	-11		240	0			③	45	-5		21	-10	
Chiba tower (W2)	①	912	10	884				Irou- zaki (W8)	①	783	63	1048	714	128	976
	②	607	19	701					②	701	71	952	667	142	986
	③	305	-9						③	82	-8		47	-14	
Daini- kaiho (W3)	①	792	12	883	404	70	897	Omae- zaki (W9)	①	812	44	988	730	140	961
	②	567	18	1000	474	73	855		②	784	46	944	692	153	996
	③	225	-6		-70	-3			③	18	-2		38	-13	
Ashika- jima (W4)	①	803	29	1073	723	135	926	Kunou (W10)	①	841	35	954	765	134	958
	②	669	35	904	702	150	940		②	812	39	938	745	143	964
	③	134	-6		21	-15			③	29	-4		20	-9	
Hama- kanaya (W5)	①	834	26	1012	576	119	954	Tagono- ura (W11)	①	784	41	962	756	147	972
	②	557	37	774	525	126	900		②	734	46	923	753	151	972
	③	277	-11		51	-7			③	50	-5		3	-4	
Hira- tsuka (W6)	①	792	38	1138	679	151	992	σ_H : m, σ_T : s ①: NCEP winds + Obs. winds ②: NCEP winds, ③=①-②							
	②	682	42	1025	630	166	999								
	③	110	-4		49	-15									

σ_T) は 100 倍して整数表示している。また、勾配値は①と②のうち 1 に近い値をとるケースを太字で表している。相関係数における差が正値かつ 2 乗平均平方根誤差における差が負値で、さらに勾配値が 1 により近い場合に、観測風資料を併用する①の場合の波浪推算精度が高いことを表す。波浪観測資料の比較期間が 1979~1990 年である浜金谷では、対象年を 1980 年とする。

全体を通してみると、観測風資料を併用する①の場合に、波高に関して相関係数 ρ_H の増加と 2 乗平均平方根誤差 σ_H の減少が現われ、勾配値 a_{0H} も第 2 海堡と平塚を除く地点で 1 により近い値をとることから、波高の推算精度の向上が誤差指標の変化によって確認される。周期に関しても同様に、第 2 海堡を除く地点での相関係数 ρ_T の増加とすべての地点での 2 乗平均平方根誤差 σ_T の減少が現われ、したがって周期の推算精度の向上が示唆される。しかし、勾配値 a_{0T} については 1 に近づく地点と 1 より離れる地点がほぼ相半ばし、勾配値という誤差指標では周期に対する推算精度の向上はあまり明確に確認されない。

地点別にみると、観測風資料を併用する①の場合に、東京湾の奥に位置し湾内発生波浪が卓越する東京灯標や千葉観測塔（周期資料に系統的な不調があるので、波高資料のみを対象とする）でとくに波高に関して劇的な推算精度の向上（相関係数の大幅な増大と 2 乗平均平方根誤差の大幅な減少および勾配値の 1 への接近）が現われる。東京湾の中央部から南側に位置し湾内発生波浪のみならず外海からの波浪の入射を受ける第 2 海堡、アシカ島、浜金谷においても、東京灯標や千葉観測塔の場合ほどでないにしても、波高に対して有意な程度に推算精度の向上を示す。同様に相模湾のそれぞれ湾口および湾奥に位置し外海からの波浪が支配的である波浮と石廊崎および平塚においても、この順に波浪の推算精度が若干向上する。また駿河湾の西岸に位置する御前崎、久能、田子浦では、その地理的状況のため、観測風資料の利用を通じて初めて再現される冬季を中心とした W 方向の風によっても波浪があまり発達しないことから、観測風資料を併用する効果は上記の地点に比べて小さい。さらに外海からの波浪の影響が卓越する波浮、石廊崎、御前崎やその影響が有意であるアシカ島や久能では、観測風資料を併用する①の場合に周期に関して相関係数 ρ_T が増加し 2 乗平均平方根誤差 σ_T が減少するものの、勾配値 a_{0T} が 1 から離れる方向に変化することから、必ずしも周期に関する誤差指標のすべてが一貫した挙動を与えられない。

以上のように、沿岸海域における観測風資料の併用が波浪の推算精度に及ぼす効果は湾奥の東京灯標や千葉観測塔など局所風による発生波浪の影響が卓越する地点ほど、とくに波高に対して明確に発現する。逆に言えば、外海から伝播する波浪の影響が強い地点ほど波浪の推算精度は外海におけるNCEP 風資料の精度に左右されるので、沿岸海域における観測風資料の併用が波浪の推算精度の向上に寄与する効果が小さい。したがって、外海において入力条件として与える海上風分布資料の精度の向上、すなわち時空間解像度の向上が重要な課題になる。このためには、NCEP 風資料などを入力条件とする地域気象モデルの適用により、時間解像度1時間、空間解像度50 kmあるいは25 km程度の海上風分布資料を作成する必要^{[13], [14]}がある。また、観測風資料の併用が周期の推算精度の改善に寄与する度合は波高の場合ほど明確でない。これは、内湾における周期の観測資料の精度がとくに低波高時に低いことや波浪状況によらず周期の特性を単一の値で代表させていること、およびスペクトルの2次と0次の積率比で計算される周期は0次の積率から得られる波高より推算誤差の影響を受けやすいこと、さらに周期の変動幅は波高ほど大きくないので、推算精度の向上が相関係数のような誤差指標に反映されにくいことなどによる。

3.2 代表地点における全期間の波浪推算資料の検討

観測風資料の併用が波高に関して劇的な推算精度の向上をもたらした東京灯標や千葉観測塔での全観測資料期間の波浪推算資料に対する検討結果はすでに公表^[9]しているので、ここでは外海から伝播する波浪の影響を受ける地点のうち、ある程度以上の推算精度の向上がみられた浜金谷と、外海から伝播する波浪が卓越する地点で若干の推算精度の向上がみられた波浮において、観測風資料を併用する①の場合とNCEP 風資料のみを使用する②の場合の波浪推算資料と観測資料の比較検討を行った結果について述べる。全観測資料期間のうち比較に使用する資料期間は浜金谷で1979~1990年の12年、波浮で1979~2004年の26年である。

Table 2 は4季節ごとの波高と周期に対する誤差指標（相関係数，2乗平均平方根誤差，原点を通る回帰直線の勾配値）の一覧を表す。数値の表示方法はTable 1と同じである。浜金谷の結果をみると、波高に関して観測風資料を併用する①の場合に波浪推算精度の向上、すなわち相関係数 ρ_H の増加と2乗平均平方根誤差 σ_H の減少および勾配値 a_{0H} の1への接近が夏季の σ_H と a_{0H} を除いて得られ

Table 2 Season-separated error statistics of wave height and wave period over a whole measurement period at Hamakanaya and Habu.

obs. st. (period)	No.	Dec.~Feb. (Win.)			Mar.~May (Spr.)			June~Aug. (Sum.)			Sept.~Nov. (Aut.)		
		ρ_H	σ_H	a_{0H}	ρ_H	σ_H	a_{0H}	ρ_H	σ_H	a_{0H}	ρ_H	σ_H	a_{0H}
Hama- kanaya (1979-1990)	H ①	864	23	895	882	22	1090	842	27	1119	864	22	1050
	②	549	39	654	687	30	887	708	26	1018	640	30	822
	③	315	-16		195	-8		134	1		224	-8	
	T ①	493	122	906	576	115	977	610	136	959	550	132	911
	②	437	132	821	565	113	935	634	132	941	555	132	876
	③	56	-10		11	2		-24	4		-5	0	
Habu (1979-2004)	H ①	707	66	735	729	52	943	802	42	1052	774	49	944
	②	612	79	637	697	56	895	795	43	1007	748	53	904
	③	95	-13		32	-4		7	-1		26	-4	
	T ①	453	140	975	508	117	997	567	126	954	580	136	988
	②	437	157	963	477	125	1014	581	122	972	540	145	1000
	③	16	-17		31	-8		-14	4		40	-9	

σ_H : m, σ_T : s, (ρ_H, ρ_T) $\times 10^3$, (σ_H, σ_T) $\times 10^2$, (a_{0H}, a_{0T}) $\times 10^3$, ③=①-②

る。この傾向は W 方向の風が卓越する冬季に顕著である。しかし夏季では、①の場合の推算結果が過大になるようである。周期に関しても相関係数 ρ_T や勾配値 a_{0T} は①の場合の推算精度の向上を示唆するが、2乗平均平方根誤差 σ_T は冬季を除いて①の場合にわずかに増加しており、すべての誤差指標が推算精度の改善を示唆すると言えない。波浮においても、波高に関して夏季の勾配値 a_{0H} を除く各指標は①の場合の推算精度の向上を示唆するが、その度合は浜金谷に比べて小さい。周期に関しても、夏季を除いておおむね①の場合に推算精度の向上が認められるが、その度合は浜金谷と同程度である。両地点の結果を比較すると、①の場合に冬季の波浪に対して再現性が最も向上するが、勾配値はやや過小評価の傾向が残っていることを表す。一方、夏季には①の場合に波高に関して相関係数が大きくなるものの、勾配値は若干過大評価の傾向を示し、周期に関して各誤差指標は推算精度の改善を示唆しない。以上のように、観測風資料の併用は全体として波浪推算精度の向上をもたらすものの、その程度は季節や地点ごとに異なり、夏季には波高に関してやや過大評価の傾向を助長することもあると言える。

Fig. 4 は全観測資料期間における月別波高資料および周期資料の各上位 1/3 の平均値 (H_{s3} , T_{s3}) の月変化を示す。これらは波高および周期の時別資料値の大きい部分に注目した統計量であり、小波高や短周期の資料の影響が除外される。

いずれの地点でも波高に関して NCEP 風資料のみを使用する②の場合と比べて観測風資料を併用する①の場合に、推算値は 12~2 月の冬季に観測値に近づき、4~8 月の春季と夏季に観測値より離れる。すなわち、観測風資料の併用は冬季で波高の過小評価の傾向を改善するが、春季と夏季で過大評価の傾向を助長する。周期について、浜金谷では①の場合冬季に観測値に近づき、

夏季に離れるという傾向は波高と同様であるが、推算値は①の場合に小さい。一方、波浮では①の場合の推算値が②の場合と比べてほぼすべての月で大きく、観測値に近い値を与える。要するに、観測風資料の併用は冬季に波浪推算精度の向上を生じるが、夏季にはとくに波高に関して推算精度の改善に必ずしも結びついていない。

つぎに、波高および周期資料の毎年における月別上位 1/3 の平均値 (H_{s3} , T_{s3}) の経月変化を、観測風資料を併用する①の場合、NCEP 風資料のみを使用する②の場合および観測資料について浜金谷と波浮で示したのが

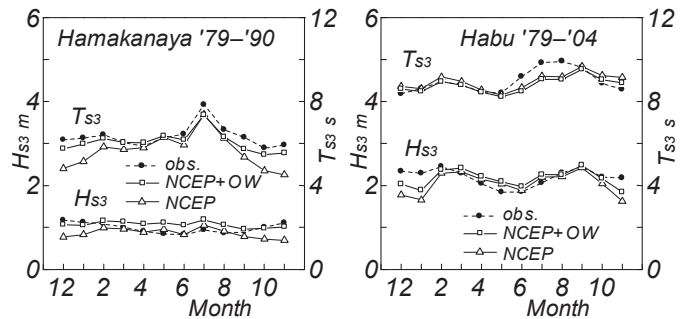


Fig. 4 Comparison of wave statistics averaged over each month of a whole measurement period at Hamakanaya and Habu.

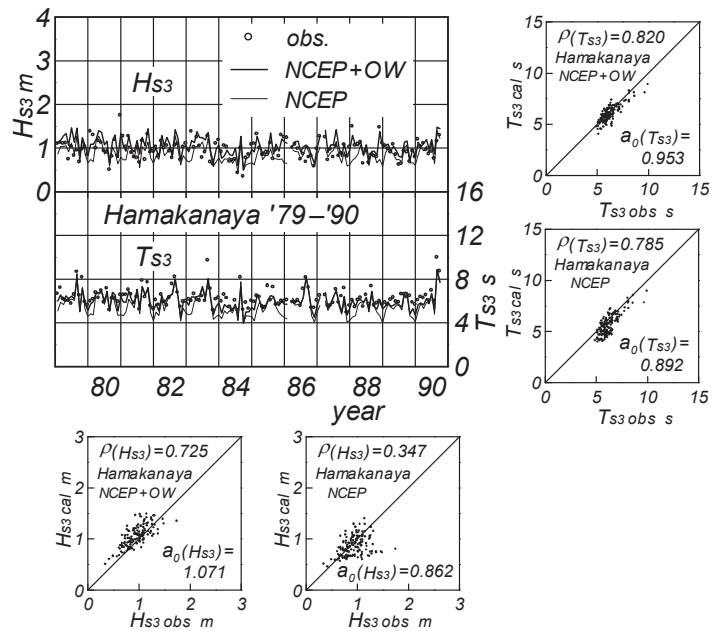


Fig. 5 Variation of monthly-averaged wave statistics and correlation diagrams of hindcast- and measurement-based wave statistics at Hamakanaya and Habu (a).

Fig. 5 である。推算資料に基づく 1/3 最大平均 (有義) 波高 H_{s3} や 1/3 最大平均 (有義波) 周期 T_{s3} は 1 年ごとの変化を繰返し、とくに①の場合に観測値の変化に追従しているようにみえるけれども、明確な対応は明らかでない。そこで、推算値と観測値について H_{s3} の相関図および T_{s3} の相関図をそれぞれ月変化図の下側および横側に与えており、図中にはこの場合の誤差指標である相関係数と原点を通る回帰直線の勾配値をそれぞれ $\rho(H_{s3})$ と $a_0(H_{s3})$ および $\rho(T_{s3})$ と $a_0(T_{s3})$ として記載

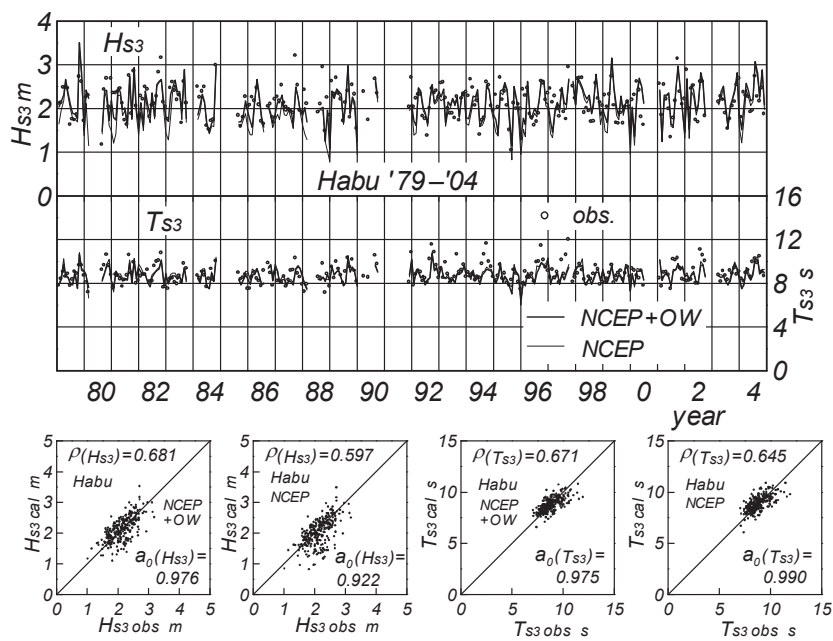


Fig. 5 Variation of monthly-averaged wave statistics and correlation diagrams of hindcast- and measurement-based wave statistics at Hamakanaya and Habu (b).

している。これによると、いずれの地点においても観測風資料を併用する①の場合に資料値は完全相関を表す 45° 直線のまわりにより密に集まっており、そのばらつきも小さいようにみえる。

Table 3 は月別波高・周期統計量に対する相関係数と勾配値の一覧を示す。当該統計量は月別資料の上位 1/10 と 1/3 の平均値 (H_{s10} , T_{s10} , H_{s3} , T_{s3}) および月別全資料の平均値 (\bar{H}_s , \bar{T}_s) である。表の表示法は Table 2 と同じである。波高に関して、浜金谷と波浮のいずれでも NCEP 風資料のみを使用する②の場合に比べて観測風資料を併用する①の場合に各波高統計量に対する相関係数が増大し、勾配値も浜金谷における $a_0(\bar{H}_s)$ を除き、1 に近づくことから、観測風資料の併用に伴う推算精度の向上がみてとれるし、改善の傾向は浜金谷でより明確である。周期に関して、浜金谷では誤差指標は $\rho(T_{s10})$ を除いて推算精度の向上を示唆するが、波浮では各周期統計量に対する相関係数が大きくなるものの、勾配値は若干小さくなり、推算精度の変化に対して一貫した傾向を与えない。全体として、浜金谷においては観測風資料の併用に伴う波浪推算精度の向上の度合いが高いことが月別波高・周期統計量についての誤差指標によって明瞭に示唆される。一方、波浮では波高に関して推算精度の向上がある程度みられるものの、周期に関しては必ずしも断定されない。

Table 3 Error statistics of monthly-averaged wave height and wave period over a whole measurement period at Hamakanaya and Habu.

obs. st. (period)	No.	H_{s10}		H_{s3}		\bar{H}_s		T_{s10}		T_{s3}		\bar{T}_s	
		$\rho(\)$	$a_0(\)$	$\rho(\)$	$a_0(\)$	$\rho(\)$	$a_0(\)$	$\rho(\)$	$a_0(\)$	$\rho(\)$	$a_0(\)$	$\rho(\)$	$a_0(\)$
Hama- kanaya (1979-1990)	①	774	1024	725	1071	645	1136	774	941	820	953	772	977
	②	414	792	347	862	444	989	789	889	785	892	726	934
	③	360		378		201		-15		35		46	
Habu (1979-2004)	①	779	989	681	976	414	921	646	962	671	975	673	994
	②	746	951	597	922	348	863	629	978	645	990	664	1003
	③	33		84		66		17		26		9	

$\rho(\) \times 10^3$, $a_0(\) \times 10^3$, ③=①-②

Table 4 は月別の波高統計量 (H_{s10} , H_{s3} , \bar{H}_s) と周期統計量 (T_{s10} , T_{s3} , \bar{T}_s) の全観測資料期間にわたる平均値 (me.) と標準偏差 (sd.) の一覧を与える。観測風資料を併用する①の場合と NCEP 風資料のみを使用する②の場合の結果のうち、観測値に近い方を太字で表す。浜金谷では、波高、周期ともに①の場合がおおむね観測値に近い値を与える。一方、波浮では波高に関して同様の結果が示されるものの、周期に関しては逆に②の場合が観測値に近い結果となっている。このことから、少なくとも波高統計量については、より高い推算精度が①の場合に得られると言える。

Table 4 Mean and standard deviation of monthly-averaged wave height and wave period over a whole measurement period at Hamakanaya and Habu.

obs. st. (period)	No.	H_{s10} (cm)		H_{s3} (cm)		\bar{H}_s (cm)		T_{s10} (s) $\times 10^2$		T_{s3} (s) $\times 10^2$		\bar{T}_s (s) $\times 10^2$	
		me.	sd.	me.	sd.	me.	sd.	me.	sd.	me.	sd.	me.	sd.
Hama- kanaya (1979-1990)	①	151	34	105	20	66	10	715	108	601	80	468	49
	②	118	34	86	14	58	9	670	132	559	100	447	54
	obs.	145	36	96	22	57	10	752	127	628	84	478	47
Habu (1979-2004)	①	278	64	212	40	139	25	960	94	869	67	743	50
	②	267	69	200	45	130	28	976	98	882	73	749	59
	obs.	279	58	216	37	149	22	992	115	887	86	746	57

me. : mean, sd. : standard deviation

4. 結 語

本研究では、沿岸海域における観測風資料から求めた海上風分布を利用する場合に、これが内湾部や沿岸部における長期波浪の推算精度に及ぼす影響を検討した。得られた結果の概要はつぎのようである。

- 1) 内湾発生波浪が卓越する地点における波浪の推算精度は観測風資料の併用により、とくに波高に対して劇的に向上する。逆に、外海から伝播する波浪を受ける沿岸部の波浪の推算精度は外海の波浪推算に用いる NCEP 風資料の精度に強く依存することから、外海から伝播する波浪の影響が大きい地点ほど観測風資料の併用の効果が小さい。したがって、この場合には外海における海上風の精度、すなわち時空間解像度を向上させることが波浪推算精度の向上に必要である。
- 2) 観測風資料の併用の効果は波高の場合ほど周期に対して現れない。これは内湾における周期の観測資料の精度が低いという制約に加えて、波浪状況によらず単一の値で周期を代表させる方法に起因するところが多い。
- 3) 局所風により発達する波浪と外海から伝播する波浪の影響を受ける浜金谷では、波浪の推算精度の向上に寄与する観測風資料の併用の効果が有意な程度にみられるが、外海から伝播する波浪の影響が大きい波浮では観測風資料の併用効果は若干認められる程度である。

最後に、膨大な風・波浪観測資料を提供戴いた関係各機関に謝意を表すとともに、NOWPHAS による波浪観測資料を使用したことを付記する。

参 考 文 献

- [1] 橋本典明・杉本 彰・川口浩二・宇都宮好博：局地気象モデルと第三世代波浪推算モデルの内湾波浪推算への適用，海岸工学論文集，第 49 巻，pp.201-205，2002.

- [2] 大澤輝夫・小林智尚・安田孝志：伊勢湾における海況特性を考慮した洋上風発電ポテンシャルの検討，海岸工学論文集，第 51 巻，pp.1266-1270，2004.
- [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] 岡田弘三・磯崎一郎：内湾の波浪推算に関する諸問題，沿岸海洋研究ノート，第 23 巻，pp.138-149，1992.
- [5] 柴木秀之・後藤智明：陸上地形の影響を考慮した内湾海上風の推算モデル，海岸工学論文集，第 40 巻，pp.166-170，1993.
- [6] 山口正隆・渡辺 健・畑田佳男：大阪湾における海上風の平面分布特性について，第 28 回海岸工学講演会論文集，pp.168-172，1981.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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）－加重一次補間法，情報地質（10），pp.65-78，1985.
- [12] 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.
- [13] Soares, C. G., Weisse, R., Carretero, J. C. and E. Alvarez : A 40 years hindcast of wind, sea level and waves in European Waters, Proc. OMAE 2002, 21st Int. Conf. on Offshore Mech. and Arc. Eng., 2002.
- [14] 小林智尚・佐々木博一・吉野 純・安田孝志：ERA40 にもとづく日本列島周辺長期波浪データベースの構築，海岸工学論文集，第 54 巻，pp.141-145，2007.