

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

Estimation of Year-Long Waves at Coastal Points on Itsukinada Local Sea Area and Akinada Local Sea Area of Seto Inland Sea

山口正隆*・大福 学**・日野幹雄*・畑田佳男*・野中浩一**

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

Long term wave hindcasting over 3 and a quarter years at Wake coastal point on the Itsukinada local sea area of Seto Inland Sea is conducted by using a backward ray tracing model on a grid with very high space resolution of 0.5 km, in cases where a data set of hourly over-sea wind distribution is made on the basis of spatial interpolation for the measurement data acquired at several coastal stations surrounding the concerned local sea areas. The wave hindcast over 5 months during fall and winter yields a good correlation with the measurement for time series and climate statistics of waves. Based on statistical analyses of the wave hindcasts over 3 years at an arbitrarily-selected point facing the Akinada local sea area next to the Itsukinada local sea area and at the above-mentioned point, the wave climate conditions at both points situated on the opposite sides in the north-south direction are discussed comparatively.

Key Words : long term wave hindcasting, measured winds, backward ray tracing model, Itsukinada, Akinada

1. 緒 言

瀬戸内海沿岸で海岸の防災・開発・保身を目的とした事業を計画する場合に必要な波浪情報はきわめて少ないし、また複雑な地形をもつ瀬戸内海の沿岸では場所ごとに波浪特性が著しく変化しうるので、限られた地点の波浪観測資料は必ずしも有用な情報とならない。このため、気圧資料から求めた風や1地点の観測風を入力条件としてSMB法などの簡単な波浪推算法により波浪が推定されてきたが、利用しうる波浪観測資料が限定されることから、その精度に対する検討が行われることはほとんどない。

一方、ごく最近、第3世代波浪推算モデルのWAM^[1]を用いて、瀬戸内海の燧灘における10年間の長期波浪推算が水谷ら^[2]により、また、周防灘から播磨灘に至る瀬戸内海全域における2000年1年間の波浪推算が橋本ら^[3]により、2000年、2002年、2004年の3年間の波浪推算が同様に橋本ら^[4]により実施され、後者に関しては海象情報数値データベースが構築されている。波浪推算精度に最も寄与する海上風に対して、水谷ら^[2]の研究では1地点の観測風を補正した一様風が、橋本ら^{[3]、[4]}の研究では局地気象モデル(ANEMOS)による推算風資料が入力条件として与えられている。波浪推算精度は、波高に対して水谷ら

*愛媛大学大学院理工学研究科生産環境工学専攻

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

平成18年11月10日 受付, 平成19年1月31日 受理

^[2]の研究の場合あまり良好と言えないのに対して、橋本ら^{[3], [4]}の研究の場合比較的良好であり、とくに2006年の研究結果^[4]では推算精度がある程度改善されているようにみえるが、周期に対しては、かなり不足している。周期は波高ほど経時的に大きく変動しないので、推算資料と観測資料との間で大きい相関係数を得ることは容易でない事情を考慮しても、散布図に与えられた資料のばらつきが大きく、得られた相関係数は小さい。畑田ら^[5]はECMWF (European Centre for Medium-range Weather Forecasts) による表面風再解析/解析資料に楕円型気圧分布を仮定して得られる台風モデル風を組込んで作成した1時間ごとの海上風分布を入力条件として、瀬戸内海沿岸代表地点における24年間の長期波浪推算を1点浅海モデル^[6]により実施し、周防灘の荻田と播磨灘の江井ヶ島における観測資料との比較から、推算精度が比較的良好であることを明らかにしている。しかし、この場合も周期に対する再現精度は波高に比べて不足している。そもそも、時間とともに激しく変動する周期観測資料の精度に疑問が残る。

また、畑田ら^[5]は本研究の検討地点とした斎灘に面する愛媛県松山港和気地区海岸(和気地点)での24年間の波浪推算資料を用いて波候特性を検討しているが、観測資料との比較に基づく妥当性の検証は行われていない。しかし近年、当該海岸では高潮災害対策を主な目的とした新しい海岸事業の実施に伴って、海岸近くの2地点で波浪観測が約5ヶ月間、風観測が海岸に位置する水門上で3年間以上にわたり行われ、風・波浪観測資料が電子データの形で保存されていることから、これらの資料は内海における波浪推算の精度検証に有用と考えられる。内海における波浪推算で最も重要な点は島や陸地地形の影響を受けた海上風の空間分布を経時的に高い精度で推定することにある。斎灘や安芸灘ではこの海域を含む沿岸部の複数地点で数年以上の風観測資料が取得されているので、これらの資料を利用することによって、適正な海上風分布の経時資料を得ることが可能になると考えられる。

そこで本研究では、複数地点における風観測資料の空間補間^{[7], [8]}に基づいて斎灘・安芸灘・広島湾・伊予灘における海上風の空間分布を3年3ヶ月間にわたり1時間ごとに推定したのち、これらの風を入力条件として、1点浅海モデル^[6]による波浪推算を斎灘に面する和気地点で実施し、観測資料との比較によりその精度の検証を行う。また、和気地点に対峙して位置する広島県沿岸の阿賀地点において同様に実施した波浪推算資料と併用して、当該海域の代表2地点における波候の特性を検討する。

2. 海上風分布の推定

2.1 風観測資料

対象領域として、斎灘・安芸灘のほか広島湾および伊予灘を含む領域を考え、そこに格子間隔2 kmの格子網を設ける。図-1は波浪推算で用いる格子間隔0.5 kmの格子網であり、2 km格子網は4つごとの格子点により形成される。海上風分布の推定に用いる風観測地点は図-1に名称(●印)を与えた11地点であり、いずれも海岸部に位置する。このほか各観測資料の欠損部を補うために、隣接する地点の風観測資料も使用する。

対象期間は和気地点において風観測資料が得られている2002年1月1日(正確には2002年2月20日)~2005年3月31日の3年3ヶ月とする。しかし、この期間中に風観測資料が得られていない地点もあるので、この場合には近隣地点における風観測資料で代用する。たとえば、斎灘・安芸

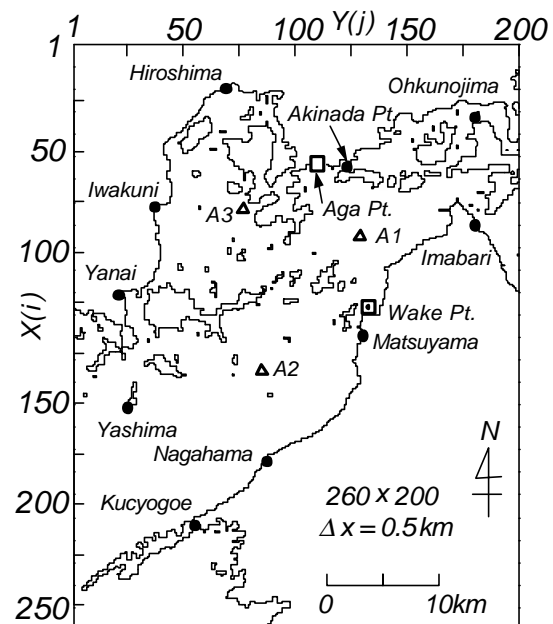


Fig. 1 Wind measurement stations, wave hindcast points and a grid domain for wave hindcasting.

灘における海上風分布の推定精度に強く影響をする安芸灘地点における風観測資料の始まりは現段階では2003年1月1日である。そのため、当該地点における2002年の1年間の風資料は呉におけるアメダス資料を定数倍(約1.5)して用いる。したがって、海上風や波浪の適正な推定が行えるのは、2003年以降となる可能性も否定できない。

風観測資料は10分間平均風速・風向の定時1時間間隔値であり、その高度はほぼ9~100mの範囲にある。たとえば、高度は和気地点で11m、安芸灘地点で54mである。また、これらの地点は海岸部や小海峽部に架かる橋の上、島などに位置するけれども、そこでの風観測資料は陸地の影響を大なり小なり受けていることから、海上風速に変換するために、地形特性を考慮してそれぞれ1.05~1.2の係数(1地点のみ1.35)を乗ずる。因みに、地形の影響が少ない和気地点と安芸灘地点では、係数に1.05を与える。

2.2 海上風分布の推定法

11地点において欠損を含む風観測資料を1時間ごとの連続資料とするために、つぎの操作を行う。

- ① 3時刻までの欠損部では、欠損部をはさむ2時点の風速値の線形補間(スカラー補間)により風速を、風速成分値に対する線形補間結果の合成(ベクトル補間)により風向を求める。
- ② ①の操作によっても欠損部が依然として存在する場合、近隣地点の風観測資料を用いて補充する。風速はそれぞれの平均風速比を考慮して定数を乗じて求める。風向は補充に使用した地点の風向とする。補充対象とした風観測地点は近隣地点の風観測資料との相関を利用した和気地点、松山、安芸灘地点、広島、大久野島、今治の6ヶ所である。他の地点では①の操作に留め、欠損部への補充を行わない。
- ③ 1/7乗則を用いた10m高度風速への変換および定数を乗じることによる10m高度海上風速への変換を行う。風向は変換によっても変わらないとする。
- ④ 11地点の風観測資料に対する加重1次補間法^[8]の適用により、斎灘・安芸灘、広島湾、伊予灘にそれぞれ設けた仮想地点(図-1に△印で示したA1, A2, A3の3地点)で風速・風向を対象全期間について1時間ごとに求めたのち、入力11地点および仮想3地点における累年平均風速を算出する。
- ⑤ 障害物のない海上部では、沿岸部より風速が大きい特性を考慮するために、上記の地点における累年平均風速の比率を考慮して経験的に決定した係数を仮想3地点における1時間ごとの風速に乗じる。風向はそのままとする。この場合、係数にはそれぞれ1.15を用いる。
- ⑥ 仮想3地点を含め合計14地点における風資料の1時間間隔値に加重1次補間法^[8]を再度適用して、図-1の範囲に設けた格子間隔2kmの格子網上において風速・風向を算出し、海上風分布のデータセットを完成する。期間は2002年1月1日0時~2005年3月31日23時の3年3ヶ月である。

2.3 海上風分布の特性

1) 気象擾乱別海上風分布

図-2は台風時および低気圧時の海上風分布をそれぞれ1時刻について例示する。最初の事例は台風0423号時におけるものである。この台風は四国沖をNE方向に進行し、室戸岬から潮岬のやや北側を通過したことから、N寄りの強風が吹続している。すなわち、10月20日12時に斎灘・安芸灘から伊予灘に向けて増大するNE方向の強風場が形成されている。ま

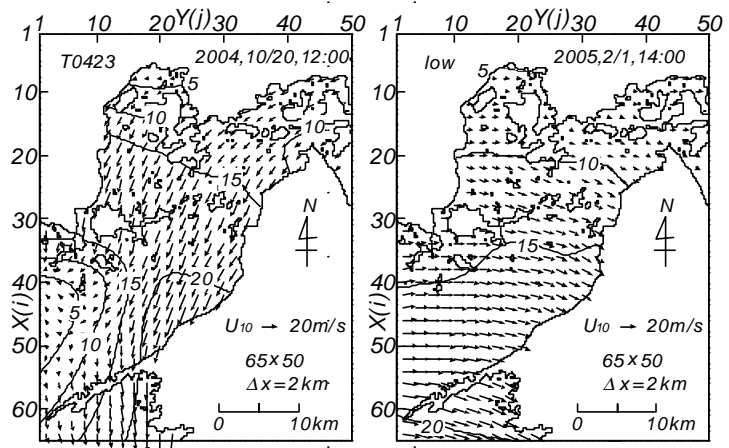


Fig. 2 Over-sea wind distributions during typhoon and cyclone low.

た、本台風時には NE~N 方向の強風の吹続時間が長いため、和気地点ではこの地点としては最大級の 1.5 m を越える異常波高が計算される。第2の事例は2月1日の低気圧時（14時）におけるものであり、領域全体で W 方向からの風が吹送している。風速は広島湾から伊予灘に向けて S 方向に増大するのに比べて、E-W 方向にはあまり変化しない。

2) 風候

図-3 は当該海域における 2002 年4月1日~2005年3月31日の3年間の冬および夏の平均風速・風向と風速の標準偏差を示す。平均風向は特別風速成分の累季節平均値の比に対する逆正接関数値として求めている。いずれの季節でも風速は広島の 3 m/s から伊予灘の 5~5.5 m/s に向けて S 方向に大きくなり、E-W 方向にはあまり変化しない。

風向は冬に NW 方向を示す。夏にはおおむね S 方向をとるが、斎灘・安芸灘では W~S~E と種々の向きを与える。このように、当該海域における風向は季節ごとに特徴的な分布を示す。つづいて、風速の標準偏差 U_σ の空間分布は冬と夏、あるいはいずれの季節でも類似するが、その値は夏より冬に 0.5 m/s 大きい。すなわち、標準偏差 U_σ は斎灘・安芸灘、広島湾南部で冬に 2~2.5 m/s、夏に 1.5~2 m/s をとり、伊予灘や広島県東部に向けて 3.5 m/s にまで大きくなる。

図-4 は和気地点と安芸灘地点における 2003年3月1日~2005年2月28日の2年間の風速資料に基づく累月統計量を示す。これらは 1/7 乗則の適用によって変換した1時間ごとの 10 m 高度 10 分間平均風速資料 U_{10} の最大値 U_{max} 、上位 1/10 の資料の平均値 $U_{1/10}$ 、上位 1/3 の資料の平均値 $U_{1/3}$ 、平均値 U_m と標準偏差 U_σ (図の縦軸では $U_{...}$ と表示している) および 7.5 m/s 以上の強風出現率 p_U よりなり、単位は p_U を除いて m/s である。両地点における各累月風速統計量は強風部を代表する $U_{1/10}$ や p_U を除いて同程度の値をとり、全体として比較的類似した月変化を与える。すなわち、風速は7月を中心に4~8月で小さく、10月、3月で大きい。因みに、累年平均風速 U_m と標準偏差 U_σ は和気地点で 3.2 ± 2.4 m/s、安芸灘地点で 3.3 ± 2.1 m/s である。両地点における風速の平均値や標準偏差は類似するが、安芸灘地点より和気地点で強風が出現する傾向

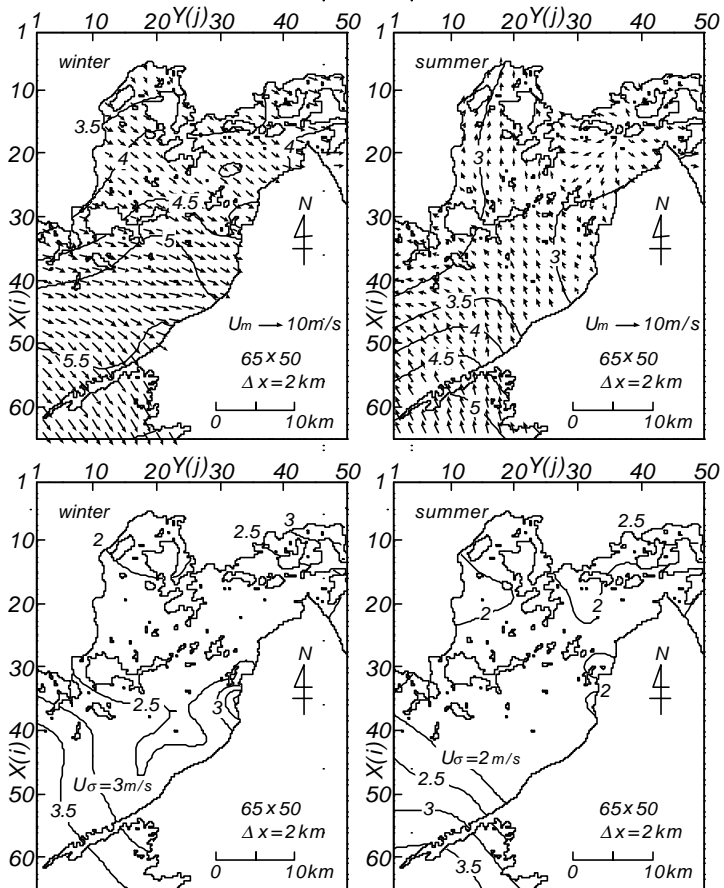


Fig. 3 Spatial distributions of season-separated mean wind speed, its wind direction and standard deviation of wind speed.

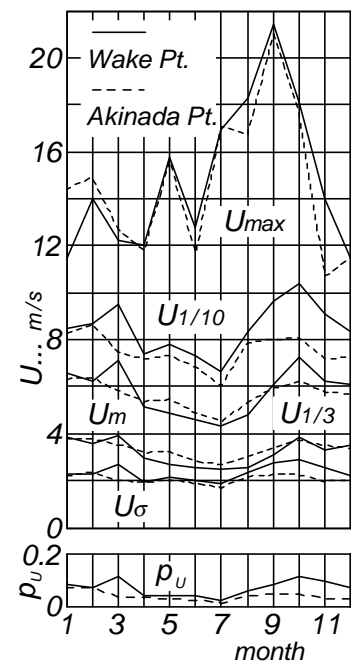


Fig. 4 Monthly-separated wind speed statistics at Wake Point and Akinada Point.

にある。

図-5 は上記と同じ期間の両地点における 10 m 高度換算の全風速資料および 7.5 m/s 以上の風速資料の累年方向別出現率を示す。和気地点における卓越風向は S と N、安芸灘地点における卓越風向は ENE と WSW であり、安芸灘地点における風向が和気地点より 3 方位時計回りに傾く。強風の卓越風向は和気地点で NNE と N、安芸灘地点で NE と ENE をとり、安芸灘地点で和気地点より 2 方位時計回りに傾く。全風速資料および強風資料の方向別出現率に関する特徴は季節にあまり依存しない。このほか両地点に共通して、W 方向にも卓越風向がみられる。その出現季節は秋である。このように、斎灘・安芸灘をはさんで対峙する和気地点と安芸灘地点において、風速の平均特性はいずれの月でも比較的類似するが、風向は異なり、安芸灘地点で時計回り方向に 2～3 方位傾くという特徴を示す。これは安芸灘地点が E-W 方向を海に開いた小海域峽部の橋上に位置するという地形特性によるのかもしれない。

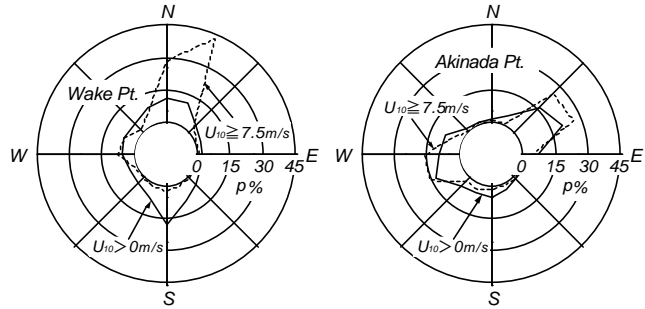


Fig. 5 Direction-grouped occurrence rates of wind speed data at Wake Point and Akinada Point.

3. 波浪の長期間推定

3.1 波浪観測資料とその特性

上述のように、松山港和気地区海岸では国土交通省四国地方整備局松山港湾・空港整備事務所によって 2 地点に設置された超音波式波浪計で波浪資料が 2005 年 10 月 27 日～2006 年 3 月 16 日の間、1 時間ごとに得られている。波高計設置位置は汀線から約 140 m 沖の水深 4 m 地点と汀線から 60 m 沖の水深 2 m 地点である。ここでは、沖合地点で取得された有義波高 H_s と有義波周期 T_s 、平均波向 θ_w の各資料を用いる。

斎灘や安芸灘では外部から波浪が到達しないので、和気地区海岸で観測された波浪は局所風により発達したものである。そこで、観測波高 H_s 、観測周期 T_s 、観測風速の 1/7 乗則による 10 m 高度換算値 U_{10} を用いて推定された摩擦速度 u_* によって無次元波高 $H_s^* = gH_s/u_*^2$ と無次元周期 $T_s^* = gT_s/u_*$ を求め、Toba^[9] の 3/2 乗則

$$H_s^* = \alpha(T_s^*)^{3/2}, \quad \alpha = 0.062 \quad (1)$$

との関係を調べる。摩擦速度の算出においては、 $u_* = 0.04 \cdot U_{10}$ としている。図-6 は両者の関係を図示する。

各資料値は 3/2 乗則で表される直線のまわりにプロットされるが、この関係からずれるデータも少なからず存在する。周期時系列は波高と無関係にノイズ状の変化を与える時点が多く、また 0.1 m 以下の波高資料もほとんど存在しないことから、内海小海域で発生する小波高・短周期の風波に対する超音波式波浪計の測定精度が、とくに周期に対して不足しているのではないかと疑われる。ここでは、各時点の観測波高と観測風速を用いて Toba^[9] の 3/2 乗則から得られる周期 $(T_s)_{Toba}$ の 0.5～1.5 倍の範囲にある周期観測資料を有効な周期資料とみなす。観測期間中の波高の第 1 位値は 2006 年 2 月 24 日における 0.83 m である。

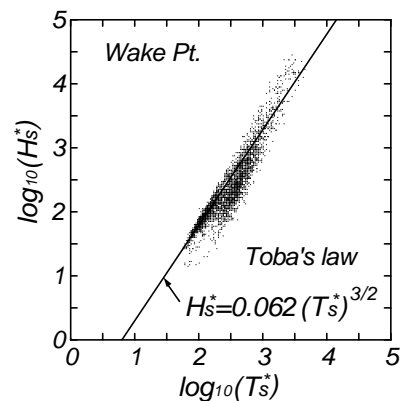


Fig. 6 Relation between measured data and Toba's 3/2 power law.

3.2 波浪推算の方法

波浪推算には、北西太平洋や日本海などの外海とこれに面する

沿岸部, 水平スケールが数百 km の Erie 湖, 水平スケールが数十 km の瀬戸内海沿岸や伊勢湾など各種水平スケールの海域における波浪の長期推算に多くの実績をもつ 1 点浅海モデル⁶⁾を利用する。

対象とする波浪推算地点は和気地点および広島県呉市の阿賀地区で安芸灘に面する任意の 1 地点(阿賀地点という)である。

それぞれの位置を図-1 に□印で示す。図-7

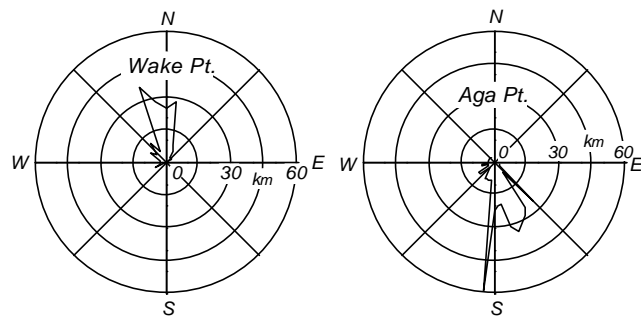


Fig. 7 Direction-separated fetch distance at Wake Point and Aga Point.

に与えるように, 和気地点の方向別対岸距離は NNW~NNE 方向で 30 km 前後, WNW~NW 方向で 10 km 以下となっており, 波浪が到達する範囲 (wave window) が狭い。一方, 阿賀地点の方向別対岸距離は S 近くの方で 60 km, S~SE 方向で 20~30 km, SSW~WSW 方向で 10 km 以下であり, 和気地点に比べて wave window はやや広い。阿賀地点は海岸より 2.5 km 沖合に設けているので, N 方向側にも数 km の対岸距離をもつ。

波浪推算に用いる周波数および方向データの範囲と個数は 0.1~1 Hz を不等分割した $N_f=23$ 個および 0~360° の全平面を 10° 間隔で等分割した $N_\theta=37$ 個である。波浪推算は時間に関して 1 時間間隔, 空間に関して 2 km 間隔の海上風分布の入力条件のもとに, 計算時間間隔を 10 分として 2002 年 1 月 1 日 0 時~2005 年 3 月 31 日 23 時の 3 年 3 ヶ月間実施し, 波浪推算を 1 時間ごとに記憶させる。波高の算出にあたっては, 波浪推算で考慮しない高周波側のエネルギー ϵ_{ad} を, 平衡周波数スペクトルとして使用している Pierson-Moskowitz スペクトルの高周波側積分値

$$\epsilon_{ad} = 0.008 \lg^2(2\pi)^4 f_1^{-4} [1 - \exp\{-1.25(f_1/f_p)^4\}],$$

$$f_p = 0.13g/U_{10}, \quad f_1 = 1 \text{ Hz}, \quad g = 9.8 \text{ m/s}^2 \quad (2)$$

で補う。ここに, g は重力加速度である。すなわち, 波浪推算で得られる方向スペクトルの周波数と方向に関する積分値である波浪エネルギーを ϵ_0 で表し, 全体のエネルギー ϵ および有義波高 H_s を

$$\epsilon = \epsilon_0 + \epsilon_{ad}, \quad H_s = 4\sqrt{\epsilon} \quad (3)$$

とする。波高の増加量は風速に依存するけれども, 実質的には数 cm 以下である。

3.3 観測資料との比較

図-8 は 2005 年 2 月の 1 ヶ月間における波高・周期・平均波向時系列の比較を示す。観測周期については Toba⁹⁾の 3/2 乗則で計算される周期 $(T_s)_{Toba}$ の 0.5~1.5 倍の資料のみを採用している。推算波高は観測波高に経時的によく追従して増減を繰り返す。ただし, 観測波高資料には 0.1 m 以下の値がほとんど存在しない。この状況を波浪推算で再現するために, 波浪推算で使用する最低風速を 3.5 m/s としている。また, いずれの周期も波高ほど急激な変化を生じず, 観測周期は観測波高と同期しない傾向にある。平均波向は推算結果では風特性に応じて変化するが, 観測結果では N~NW の範囲で変動し, その幅が狭い。ただし, 推算波向は全体として観測波向と符合するかあるいは観測波向と比べて 1 方位程度ずれる。

図-9 は波高および周期について推算資料と観測資料の散布図をそれぞれ表す。推算波高に対し, 推算値と観測値は比較的よい対応を示す。因みに, 波高に関して相関係数 $\rho_H=0.736$, 散布図において原点を通る相関直線の勾配値 $a_{0H}=0.93$, 2 乗平均誤差 $\sigma_H=0.08 \text{ m}$ である。周期については, 推算値と観測値の対応は十分でなく, とくに推算値が 2~3 s のときに, 観測値は 1.7~5 s の範囲に分布する。これは, 観測周期時系列においてノイズ状のパルスとして現れているものである。要するに, 周期について, 推算値と観測値の対応が十分でない原因は低波高時における周期の測定誤差にあると考えられる。

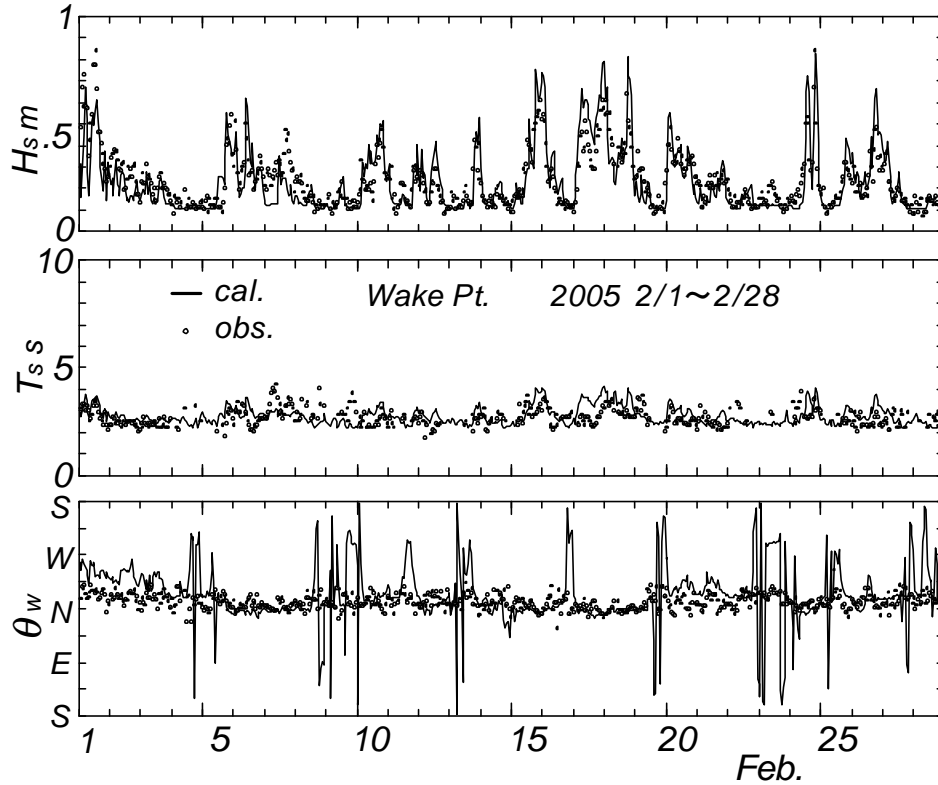


Fig. 8 Comparison between time series of hindcast and measured wave data at Wake Point.

図-10 は平均波向の方向別出現率の比較を全波高資料および 0.25 m 以上の波高資料の場合に与える。いずれの場合にも、推算資料の卓越波向はN、観測資料の卓越波向は NNW、ついでNとなっており、推算資料が観測資料に比べて時計回りに1方位ずれている。また、推算資料において卓越波向への集中度が大きい。Fig. 5 の方向別風速出現率およびFig. 7 の方向別対岸距離を考慮すると、観測平均波向は1方位反時計方向にずれているように推測される。

図-11 は波高および周期それぞれについての累月波候統計量（第1位値 H_{smax} , T_{smax} , 上位 1/10 の資料の平均値 $H_{s/10}$, $T_{s/10}$, 上位 1/3 の資料の平均値 $H_{s/3}$, $T_{s/3}$ 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 0.25 m 以上の高波出現率 p_H ($H_s \geq 0.25m$) の計 11 種類) の比較を表す。波高については、おおむねいずれの統計量も推算値と観測値がよく符合することを示唆する。一方、周期については、観測資料の質に問題が

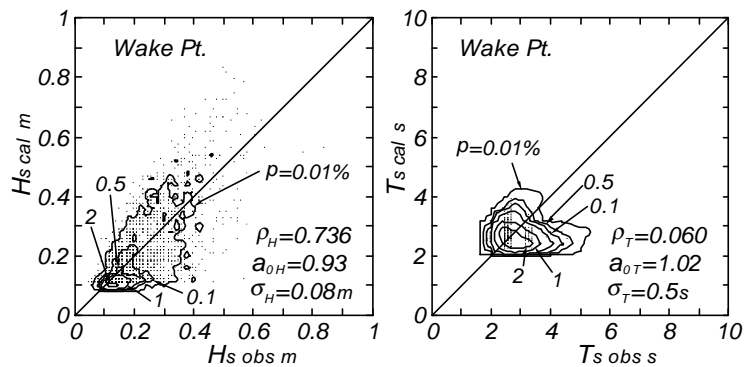


Fig. 9 Scatter diagram between hindcast and measurement for wave height or wave period at Wake Point.

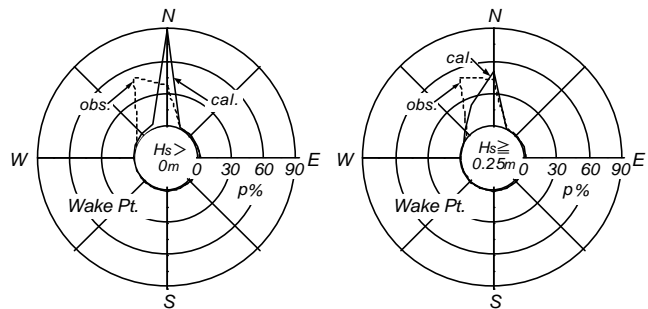


Fig. 10 Comparison between direction-grouped occurrence rates of wave height based on hindcast and measurement at Wake Point.

あるので、推算値と観測値の相関は十分と言えないが、一応の対応関係はみられる。Table 1 は観測全期間の波高・周期に対する推算資料と観測資料から得た波候統計量の比較を表す。第1位周期を除いて波高・周期に関するいずれの統計量も推算資料と観測資料がよく対応することを示唆する。

3.4 代表地点における波候の特性

以上のように、和気地点における波浪推算は観測資料の挙動を比較的よく再現することから、ここでは和気地点および広島県沿岸の阿賀地点における2002年3月1日~2005年2月28日の3年間の波浪推算資料を用いて、当該2地点の波浪の平均的状况(波候)を検討する。

Table 2 は3年間の累年波候統計量の一覧を2地点について示す。和気地点では平均値と標準偏差は波高について 0.20 ± 0.14 m, 周期について 2.6 ± 0.4 s であるから、波浪の規模はあまり大きくない。表中の数値は24年間の波浪推算資料から得られた畑田ら^[5]による値とおおむね符合する。同様に、安芸灘地点ではそれぞれ 0.15 ± 0.07 m, 2.4 ± 0.2 s であり、和気地点と比べて一層小さい。和気地点における第1位の波浪は台風0421号時の2004年9月29日に生じた波高1.96 m, 周期6.2 s, 第2位の波浪は台風0423号時の2004年10月20日に生じた波高1.60 m, 周期5.6 s とかなり大きい。一方、阿賀地点における第1位の波浪は台風0418号時の2004年9月7日に生じた波高1.41 m, 周期5.3 s, 第2位の波浪は台風0205号

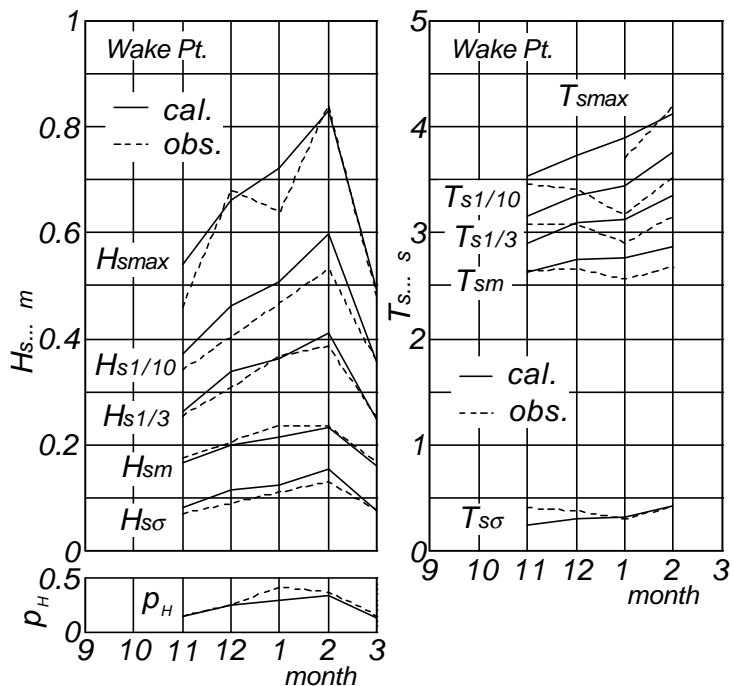


Fig. 11 Comparison of monthly-grouped wave climate statistics based on hindcast and measurement at Wake Point.

Table 1 Comparison between hindcast and measurement for wave climate statistics at Wake Point.

data	H_{sm} m	T_{sm} s	$H_{s\sigma}$ m	$T_{s\sigma}$ s	$H_{s1/3}$ m	$T_{s1/3}$ s	$H_{s1/10}$ m	$T_{s1/10}$ s	H_{smax} m	T_{smax} s	P_H ($H_s \geq 0.25$ m)
cal.	0.20	2.7	0.12	0.3	0.33	3.1	0.48	3.5	0.83	4.1	0.240
obs.	0.21	2.6	0.10	0.4	0.33	3.1	0.44	3.4	0.84	5.0	0.287

Table 2 Wave climate statistics at Wake Point and Aga Point.

loc.	H_{sm} m	T_{sm} s	$H_{s\sigma}$ m	$T_{s\sigma}$ s	$H_{s1/3}$ m	$T_{s1/3}$ s	$H_{s1/10}$ m	$T_{s1/10}$ s	H_{smax} m	T_{smax} s	P_H ($H_s \geq 0.25$ m)
Wake Pt.	0.20	2.6	0.14	0.4	0.34	3.0	0.53	3.5	1.96	6.2	0.212
Aga Pt.	0.15	2.4	0.07	0.2	0.22	2.6	0.31	2.9	1.41	5.3	0.071

時の 2002 年 7 月 6 日に生じた波高 1.17 m, 周期 4.8 s であり, 和気地点に比べてやや小さい。要するに, いずれの地点でも波浪はかなり小規模と推定されるけれども, 台風に伴う異常波浪時にはとくに和気地点において波高 2 m の高波が生じる可能性がある。

つぎに, 図-12 は全波高資料および 0.25 m 以上の波高資料に対する累年方向別出現率を示す。和気地点では, 全波高資料, 高波高資料のいずれについても卓越波向は N となっており, 高波高資料の場合に N 方向の出現頻度が増大する。この特徴は季節ごとに言える。一方, 安芸灘地点では全波高資料は S 方向を中心に広い方向範囲に有意な出現率をもつ。高波高資料の場合でも卓越波向は WSW~SSE をとり, 方向範囲がかなり広い。WSW 方向の波浪は冬に現れる。

図-13 は波候の季節変動をみるために, 累月波候統計量の月変化を図示したものである。和気地点では波高平均値は 0.16~0.23 m, 周期平均値は 2.5~2.7 s の範囲で変化し, 波高, 周期のいずれも 6~8 月のうち 7 月で最も小さく, 10~3 月で大きい季節変動を示す。年較差は波高について 0.07 m, 周期について 0.3 s である。一方, 阿賀地点では, 波高平均値は 0.13~0.17 m, 周期平均値は 2.4 s をとる。波高平均値は 5~6 月と 10 月で最も小さく 7~8 月で最も大きい, 年較差は 0.04 m とかなり低い値をとる。周期平均値は年を通じてあまり変化しない。以上の挙動は高波高部および長周期部を代表する波候統計量において, より明瞭にみられ, 阿賀地点の周期統計量に有意な月変化が現れる。

4. 結 語

本研究では, 斎灘に面する和気地点で取得された約 5 ヶ月間の波浪観測結果に対する再現を波浪推算に基づいて試みるとともに, 和気地点および安芸灘に面する阿賀地点における 3 年間の波浪推算資料を用いてそれぞれの地点の波候特性を検討した。主な結果はつぎのようである。

① 対象海域の沿岸に分布する複数の観測地点で取得された風観測資料を用いて推定した海上風分布を入力条件とすることにより, 高地形解像度計算に容易に対応しうる 1 点浅海モデルは風速の増減とともに発

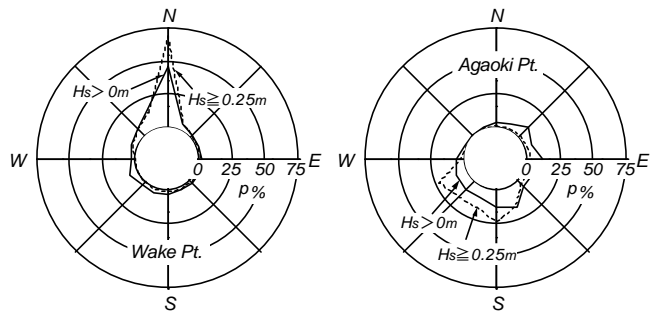


Fig. 12 Direction-grouped occurrence rates of wave height data and high wave height data at Wake Point and Aga Point.

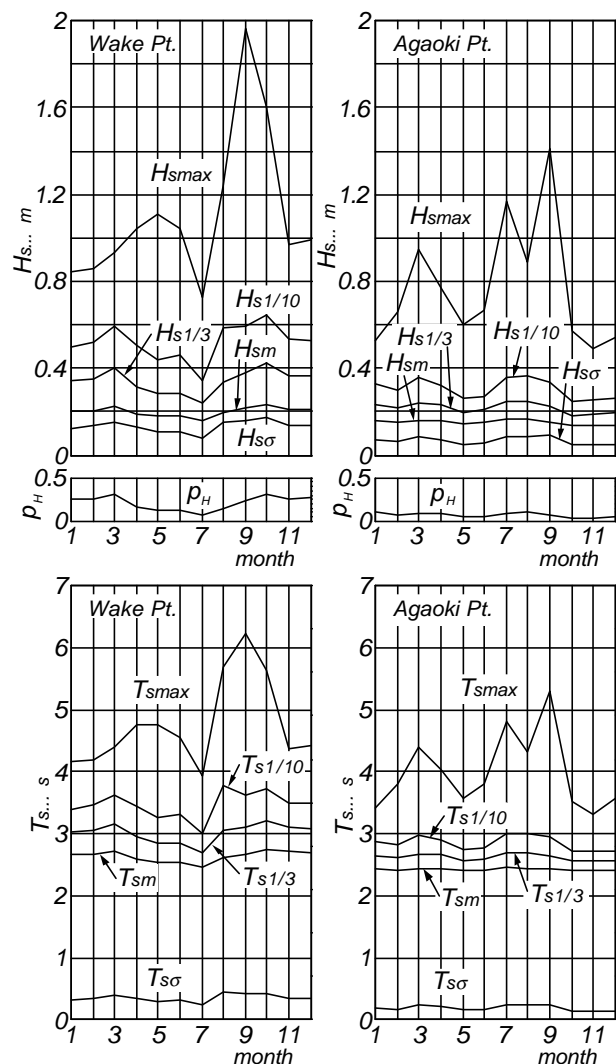


Fig. 13 Monthly-separated wave climate statistics at Wake Point and Aga Point.

達・減衰を繰り返す観測波高の挙動をよい精度で再現する。一方、得られた周期観測資料は多くのスパイク状ノイズを含むことから、比較資料としてあまり適切ではないが、平均的にみれば、1点浅海モデルは周期の挙動についてもある程度観測資料と符合する結果を与える。また、卓越波向に関して推算結果は観測結果より1方位時計回りに傾く。

② 斎灘・安芸灘における海上風の推定精度に強く影響する和気地点と安芸灘地点の風観測資料は、それぞれの周辺領域の海上風をほぼ代表することから、対象海域における海上風分布の推定精度は高いと推測される。また、和気地点における波浪の推算精度もかなり高い。したがって、当該海域の任意地点における長期波浪の高精度推定が本研究の方法によって可能と考えられる。

③ 和気地点における波浪は波高・周期について累年平均で0.2 m, 2.6 s, 年較差で0.07 m, 0.3 sであり、秋から冬に大きく、夏に小さい。波向は地形特性を反映してN方向に卓越する。また、3年間の波高の第1位値は約2mとかなり大きい。一方、安芸灘に面する広島県の阿賀地点における波浪は累年平均で0.15 m, 2.4 s, 年較差で0.04 m, 0.0 sを与え、とくに周期平均値の年較差は小さい。この間の第1位波高は1.4 mである。すなわち、和気地点に比べて波候や波高の第1位値の規模が小さいし、それぞれの地点の地理的状况を反映して波候の季節特性も異なる。

以上のように、本研究は瀬戸内海の小海域における波浪の長期特性の推定に対して一定の成果を与えているが、瀬戸内海では速い潮流の海域が各所に存在し、また潮位の変化も大きいことから、将来的には、水深や流れの時間変化を考慮した波浪の長期推算も必要と考えられる。

最後に、松山港和気地区海岸における風・波浪観測資料を提供戴いた国土交通省四国地方整備局松山港湾・空港整備事務所をはじめ、瀬戸内海の当該海域沿岸における風観測資料を提供戴いた関係各機関に感謝します。

参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] 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 卷，pp.153-158，2003.
- [3] 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 卷，pp.839-844，2004.
- [4] 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 卷，pp.121-126，2006.
- [5] 畑田佳男・山口正隆・大福 学・野中浩一・白水英治：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 卷，pp.175-180，2004.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Toba, Y. : Local balance in the air-sea boundary processes I On the growth process of wind waves, Jour. Oceanogr. Soc. Japan, Vol.28, pp.109-121, 1972.