

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

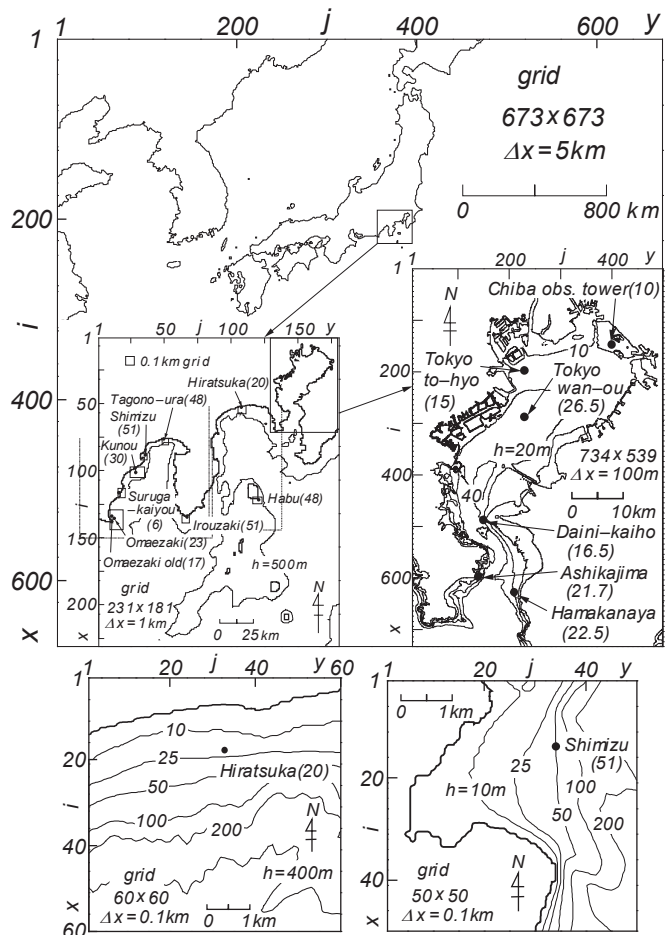


Fig. 1 A nested grid used in wave hindcasting and location of wave measurement stations (Kanto Sea Area).

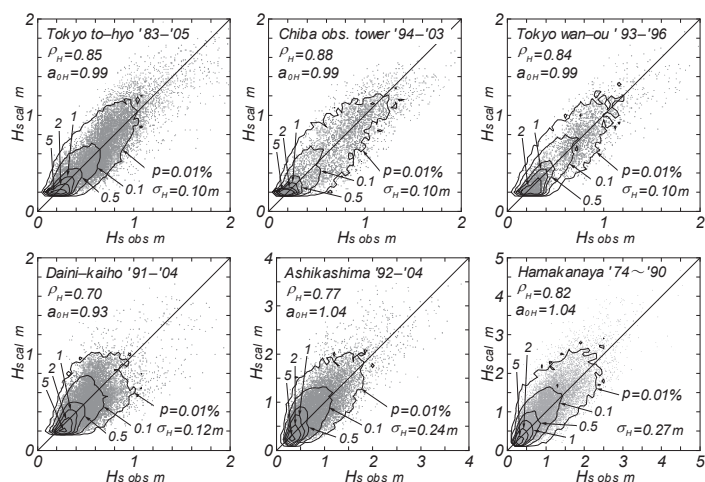


Fig. 2 Scatter diagram between hindcasts and measurements for wave height (Tokyo Bay Area).

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) の精度は全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

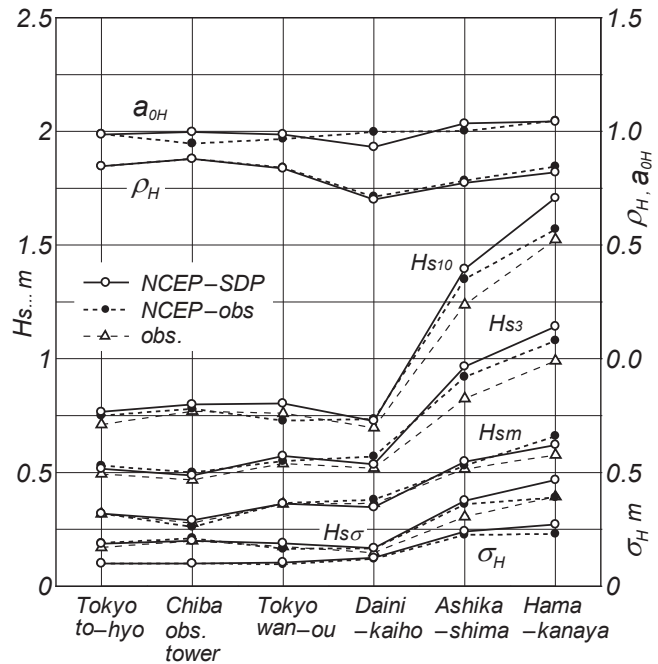


Fig. 3 Hindcasts- and measurements-based whole year means of wave height data and error indices of wave height statistics (Tokyo Bay Area).

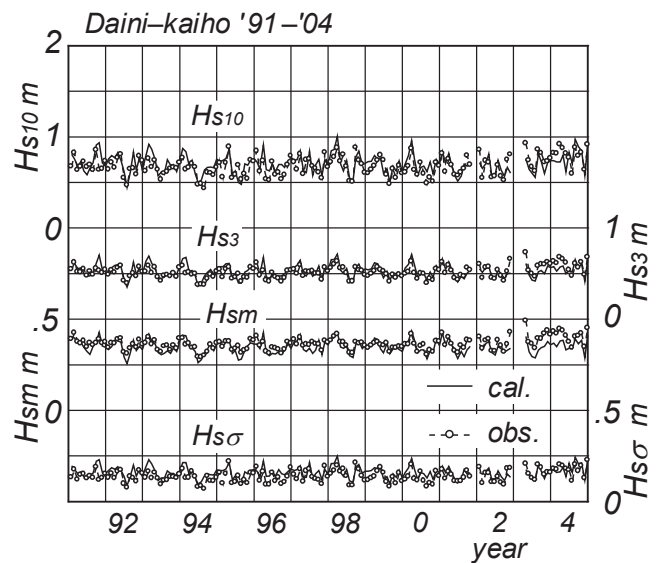


Fig. 4 Interannual variation of monthly-averaged wave height statistics (Daini-kaiho in Tokyo Bay Area).

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. 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。

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。

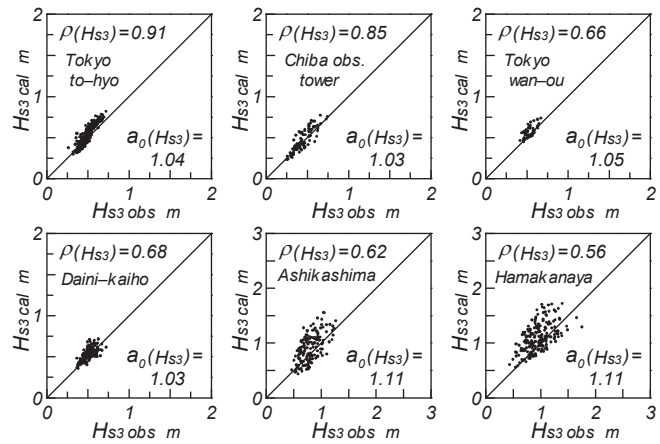


Fig. 5 Scatter diagram between hindcasts- and measurements-based highest 1/3 means of monthly wave height data (Tokyo Bay Area).

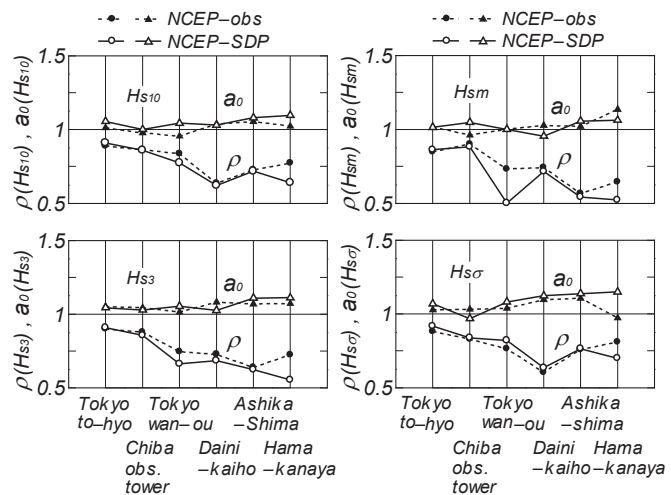


Fig. 6 Error indices of monthly-averaged wave heights (Tokyo Bay Area).

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

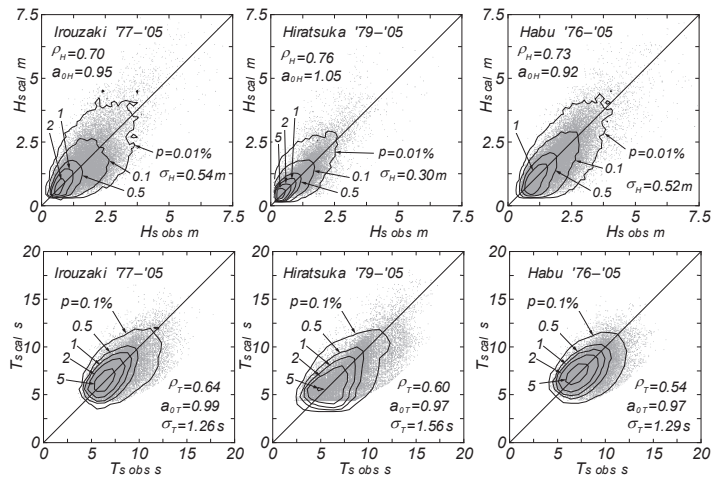


Fig. 7 Scatter diagram between hindcasts and measurements for wave height and that for wave period (Sagami Bay Area).

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 ($\rho_H, \rho_T, a_{0H}, a_{0T}, \sigma_H, \sigma_T$) によって示唆される。

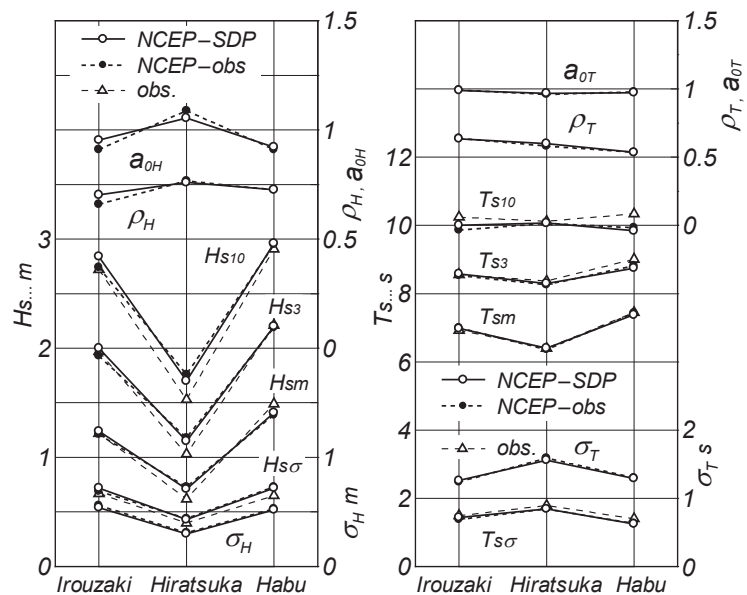


Fig. 8 Hindcasts- and measurements-based whole year means of wave height/period data and error indices of wave height/period statistics (Sagami Bay Area).

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

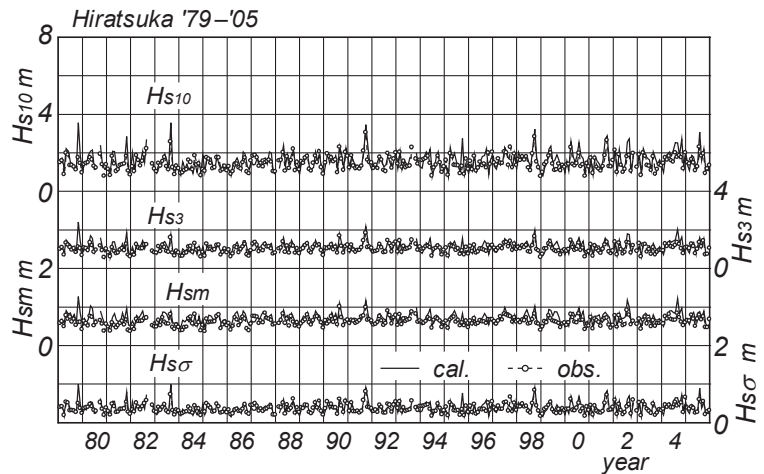


Fig. 9 Interannual variation of monthly-averaged wave height/period statistics (Hiratsuka in Sagami Bay Area).

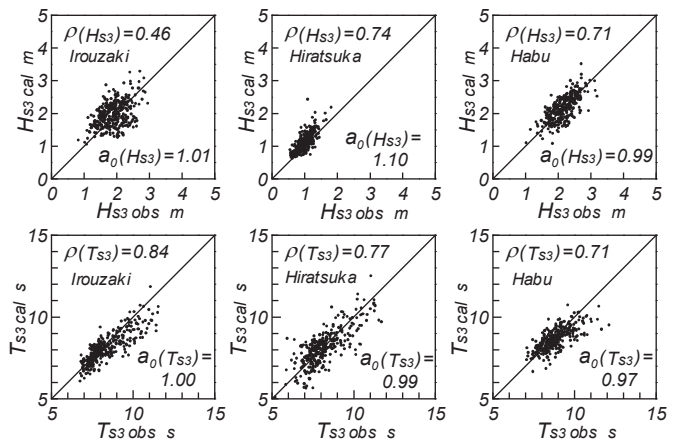


Fig. 10 Scatter diagram between hindcasts and measurements-based highest 1/3 means of monthly wave height/period data (Sagami Bay Area).

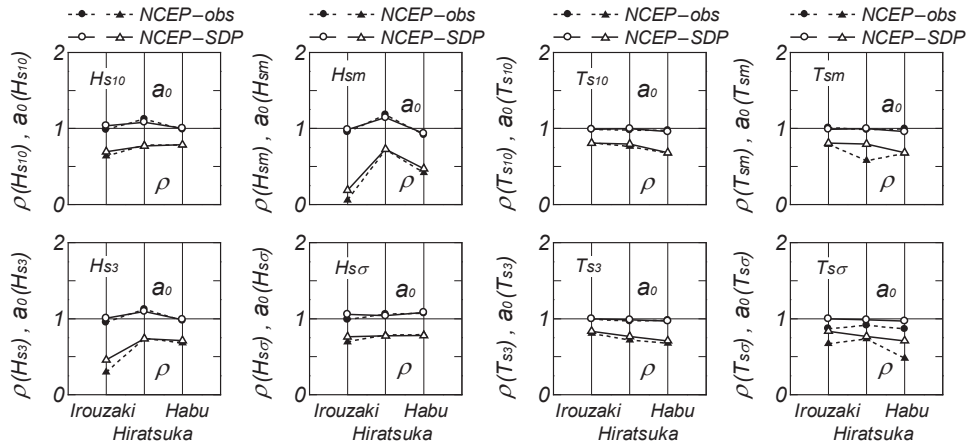


Fig. 11 Error indices of monthly-averaged wave heights/periods (Sagami Bay Area).

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

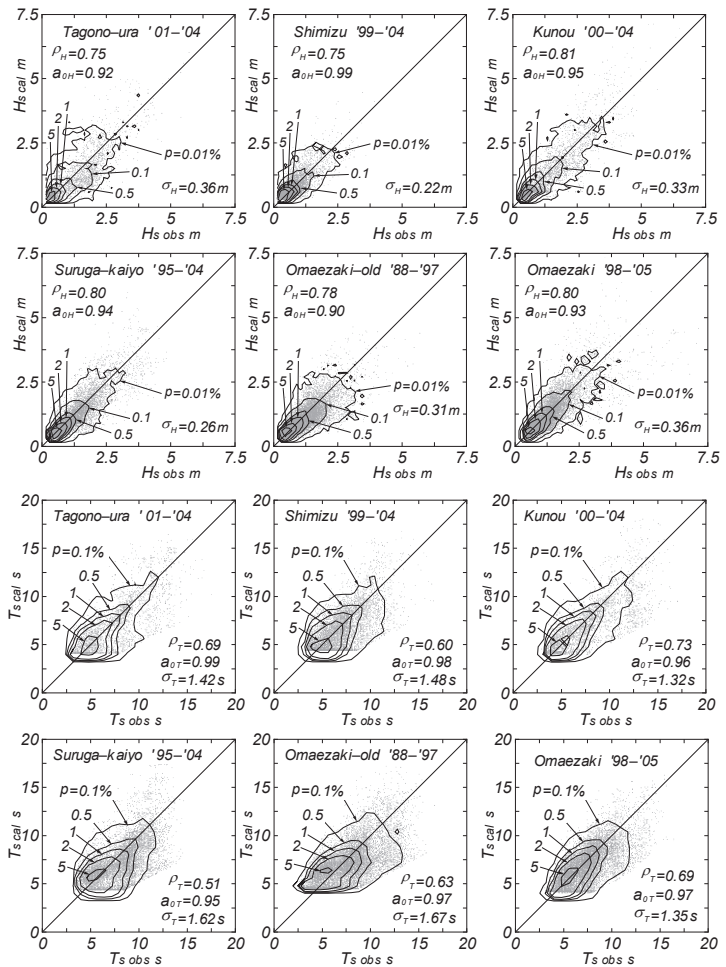


Fig. 12 Scatter diagram between hindcasts and measurements for wave height and that for wave period (Suruga Bay).

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。

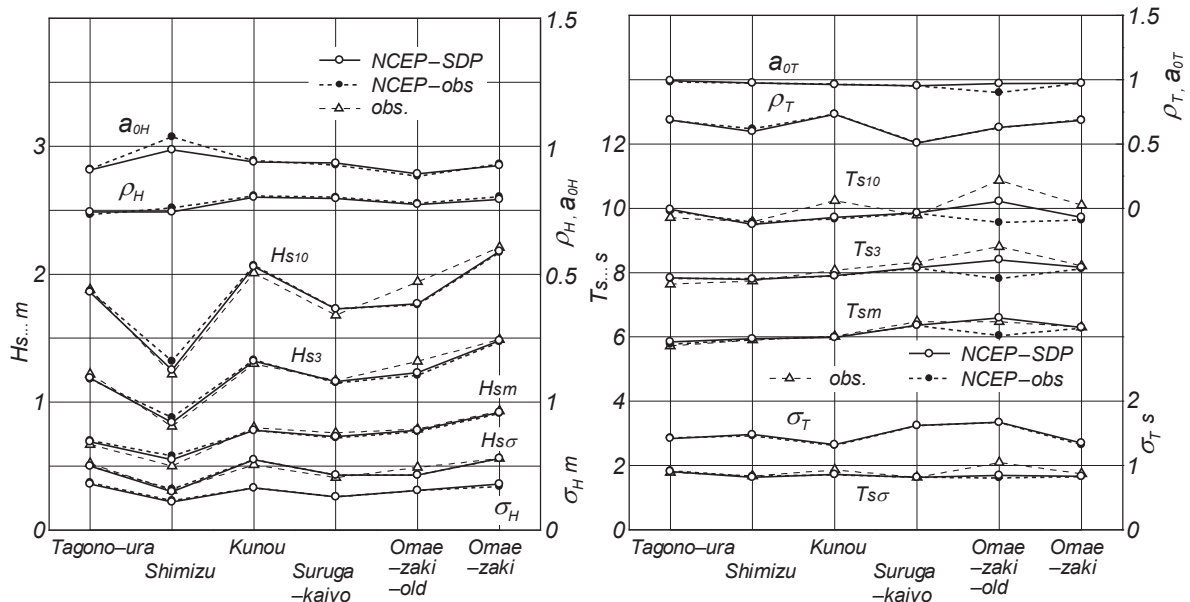


Fig. 13 Hindcasts- and measurements-based whole year means of wave height/ period data and error indices of wave height/period statistics (Suruga Bay).

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。

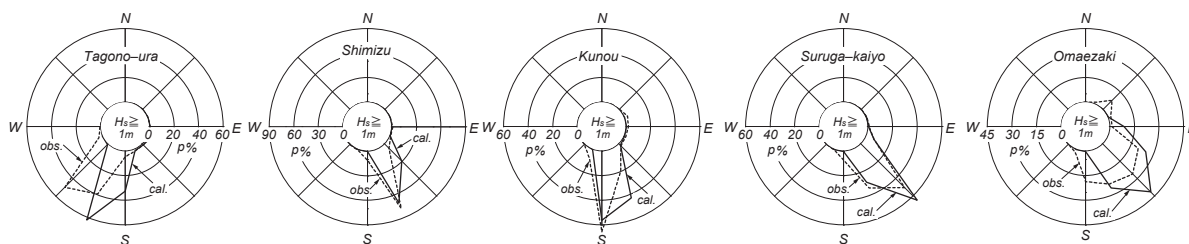


Fig. 14 Hindcasts- and measurements-based whole year direction-grouped occurrence rates of high waves.

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

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

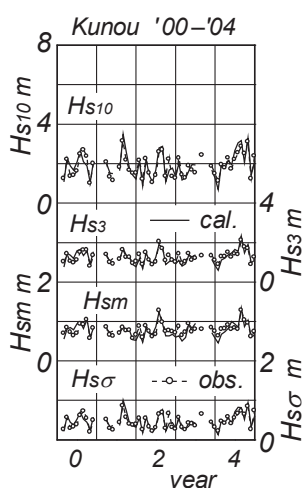
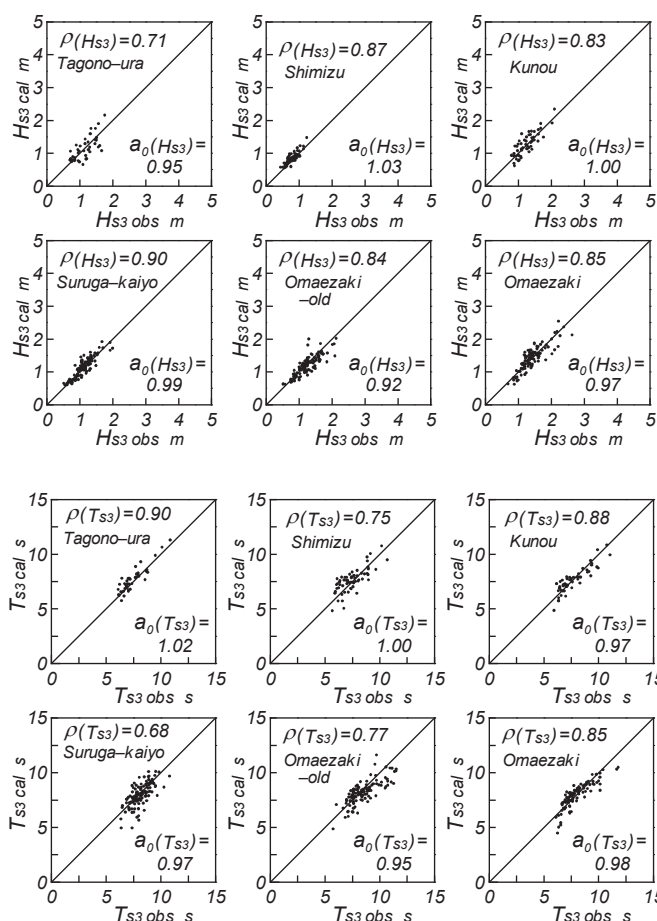


Fig. 15 Interannual variation of monthly-averaged wave height statistics (Kunou in Suruga Bay).

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

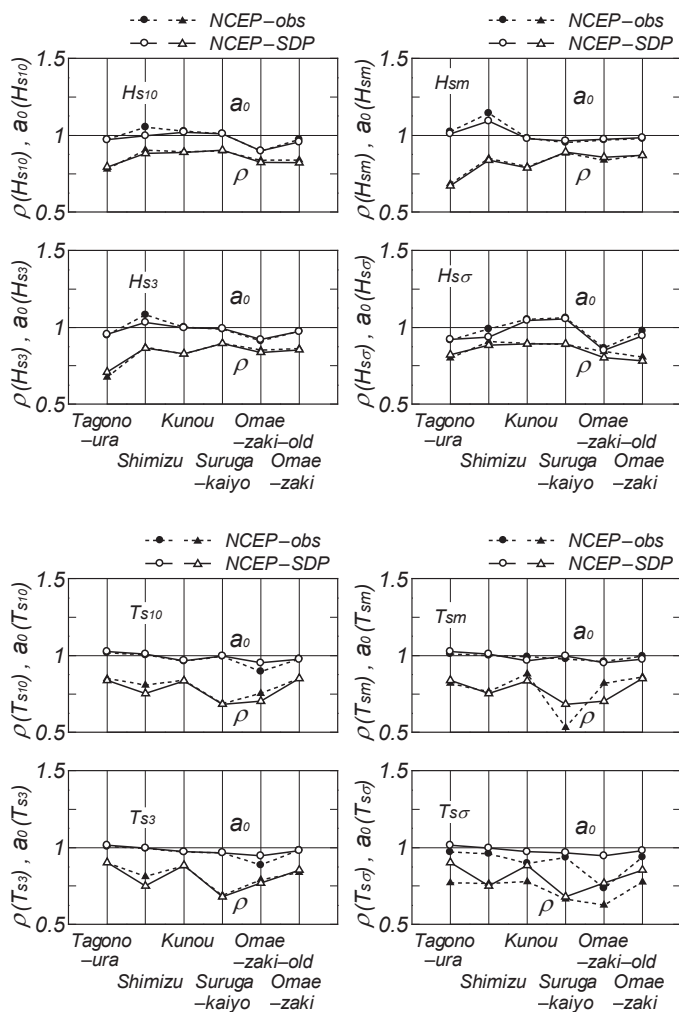


Fig. 17 Error indices of monthly-averaged wave heights/periods (Suruga Bay).

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。

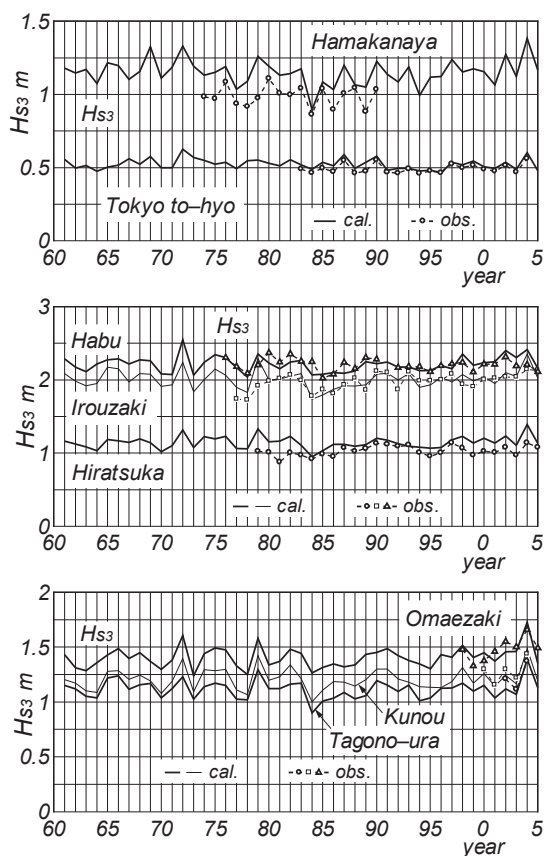


Fig. 18 Yearly variation of hindcasts- and measurements-based highest 1/3 means of annual wave height data (Kanto Sea Area).

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.