

東京湾および伊勢湾における1961～2005年の波浪推算資料を用いた 波高の極値の推定

Estimating Extremes of Wave Heights in Tokyo Bay and Ise Bay Using Wave Hindcast Data for Intense Storms in the 1961-2005 Year Period

山口正隆*・畑田佳男**・大福 学***・野中浩一***

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

Shallow water wave hindcasting for each of around 100 intense storms in the past 45 years from 1961 to 2005 is conducted independently in Tokyo Bay and Ise Bay. Input wind distributions are made by applying a method developed by Yamaguchi et al.(2009) to the SDP wind data acquired at on-land meteorological stations around Tokyo Bay and Ise Bay respectively. Comparison between hindcasts and measurements for many cases of the time-varying wave height and its peak wave height during a storm at several stations shows that the wave model yields a reasonable estimation in the outer area of each bay and a slight over-estimation in the inner area of each bay. An analysis of the error indices confirms the above-mentioned tendency. An extreme value analysis is performed to obtain 50-year return wave height H_{50} in both bays. In Tokyo Bay, the H_{50} value ranges from 8 m in the open sea-connecting area to 5 m in the entrance area and a 3 m contour line of the wave height covers a wide area in the inner bay area. In Ise Bay, the H_{50} value decreases from 13 m to 6~7 m in the outer area facing open sea and a 5 m contour line of the wave height spreads over a wide area in the inner bay area.

Key Words ; Tokyo Bay, Ise Bay, wave height, intense storms, year period of 1961-2005, the largest value and 50-year return value

1. 緒 言

わが国の内湾を代表し、人口や産業が過度の集中状態にある東京湾や伊勢湾において、波浪の最大規模を適正に評価することは沿岸部の防護および海岸・港湾構造物の合理的設計のためにきわめて重要な課題の1つである。これに関連する既往の研究を概観すると、東京湾においては、多数ケースの

*愛媛大学名誉教授

Prof. Emeritus, Ehime University

**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23年10月5日

モデル台風に対する波浪推算の研究が古くは佐々木・五十嵐^[1]、近年では気象協会^[2]により、特定の既往台風および20ケースの既往台風に対する波浪推算の研究がそれぞれ岡田・磯崎^[3]と岡田ら^[4]、および河合ら^[5]により、台風渦位ボーガス手法と大気・海洋・波浪結合モデルを用いた現在気候下および今世紀末気候下における可能最大台風による高潮・波高の推定が村上ら^[6]、^[7]により行われている。また、2～4年間の波浪に対する推算研究が橋本ら^[8]、^[9]や川口ら^[10]により、26年間および45年間の波浪に対する推算研究がそれぞれ日野ら^[11]および山口ら^[12]、^[13]、^[14]により実施されている。しかし、確率波高などの波高の極値を推定した研究事例は論文として公表されていない。

一方、伊勢湾においては、伊勢湾台風に対する波浪の推算研究が古くは井島ら^[15]や岩垣・柿沼^[16]により、近年では柴木ら^[17]、小林ら^[18]により、多数ケースのモデル台風に対する波浪の推算研究が気象協会^[19]により、8～9ケースの既往台風に対する波浪の推算研究が佐藤ら^[20]により、東京湾の場合と同様に台風渦位ボーガス手法と大気・海洋・波浪結合モデルを用いた現在気候下と今世紀末気候下における可能最大台風に伴う高潮・波高の推定研究が吉野ら^[21]、村上ら^[22]、^[23]により実施され、また1年間にわたる波浪の推算研究が小林ら^[24]により、9年間および45年間の長期波浪の推算研究がそれぞれ山口ら^[25]および山口ら^[14]、^[26]により行われているが、確率波高などの波高の極値についての推定結果を記載した論文はない。唯一の例外は国土交通省中部地方整備局名古屋港湾空港調査事務所^[27]によってインターネット上で公表されている伊勢湾内5地点における確率波高の推定結果であり、WAMを用いた波浪推算資料に基づく50年確率波高がSMB法およびパラメータ法に基づく結果とともに掲載されている。

以上のように、東京湾および伊勢湾において確率波高で代表される波高の極値を推定した結果はほとんど公表されていない。なお、山口ら^[28]、^[29]は東京湾から伊勢湾を経て大阪湾を含む瀬戸内海に至る内湾・内海における複数の地点で取得された風速・波高・高潮偏差資料に対する極値統計解析を行って50年確率風速・波高と200年確率高潮偏差の推定値を得ている。しかし風速・波高に関しては、それらの観測資料の期間が短いことから、1970年代以前の巨大台風に伴う異常な強風・高波を考慮すると、風速・波高の再現確率値の推定値の信頼性に問題を残していると推測される。

こうした現状から、本研究では、東京湾を含む関東沿岸海域や伊勢湾の周辺に位置する気象庁気象官署における風観測資料を主に用いて作成した1961～2005年45年間1時間ごとの両海域における海上風分布のデータセット^[30]、^[31]から100ケース前後のストームを抽出したのち、個々のストームに対する浅海波浪推算を実施し、観測波高資料との広範な比較から波浪推算の妥当性を評価するとともに、波浪推算資料から得た年別最大波高資料に対する極値統計解析の結果に基づいて、期間最大波高および50年確率波高の空間分布の特性を包括的に調べる。

2. 波浪推算と極値統計解析の方法

2.1 海上風分布資料

波浪推算にあたり、外洋および内湾でそれぞれ海上風分布資料を用意する。すなわち、外洋では北西太平洋に設けた格子間隔80kmの格子網における表面風解析値(NCEP風資料)に、中心気圧980hPaの台風に対して楕円型気圧分布の仮定に基づく台風モデル風を埋め込んだ海上風分布の1時間間隔値^[32]を用いる。台風モデル風の計算では海上風への換算に際して台風半径相当距離地点で1を取り、遠方場で0.6に漸近する係数を乗じて台風中心付近の風速の増強をはかる。台風モデル風の埋込みは、台風モデル風速がNCEP風速より大きい場合にそのままの値を用いて行う。対象期間は1948～2008年の61年のうち、内湾の海上風分布資料が得られる1961～2005年の45年である。

内湾では、Fig. 1に示すように関東沿岸海域および伊勢湾を囲む気象官署で取得された風観測資料、すなわちSDP(Surface Data Product)風資料および対象領域の外洋境界上の複数地点における台風モ

デル風を埋め込んだ NCEP 風資料を入力条件として、対象領域内に位置する海上・沿岸観測地点の観測相当風を推定したのち、空間補間法の適用によってそれぞれの領域に設けた格子間隔 2 km の格子網（各図の外側の点線枠内、関東沿岸海域では 100×91 の領域、伊勢湾では 48×53 の領域）上で海上風分布を求めるとともに、東京湾領域（37×26）における海上風分布を取り出す。これは海上風分布の作図範囲でもある。同様に、伊勢湾では最も内側の点線枠内の領域（40×40）を海上風分布の作図範囲とする。

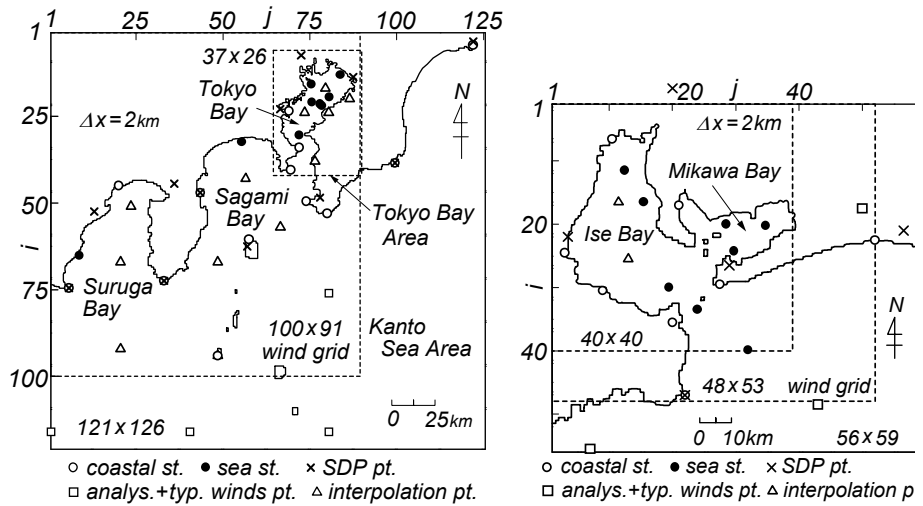


Fig. 1 Location of points where wind data are given in the Kanto Sea Area or Ise Bay for estimating sea wind distribution.

方法は山口ら^{[29], [30]}で述べている。期間は電子データが入手可能な 1961 年を開始年として 2005 年までの 45 年、時間間隔は 1 時間である。東京湾を対象とした波浪推算では、関東沿岸海域における海上風分布から Fig. 1 左側の図の最も内側の枠内に示す東京湾領域(37×26)における海上風分布を取り出す。これは海上風分布の作図範囲でもある。同様に、伊勢湾では最も内側の点線枠内の領域(40×40)を海上風分布の作図範囲とする。

2.2 波浪推算の方法

内湾（東京湾、伊勢湾）を対象とした波浪推算は外洋に接続する境界上の複数地点における方向スペクトルの計算値を流入境界条件として、SDP 風資料による海上風分布を入力条件に与えて実施する。Fig. 2 に示すように、東京湾の外洋境界上の 4 地点（図中の○印）における波浪推算では、格子間隔 5 km の北西太平洋領域に駿河湾・相模湾・東京湾とその沖合海域からなる格子間隔 1 km の関東沿岸海

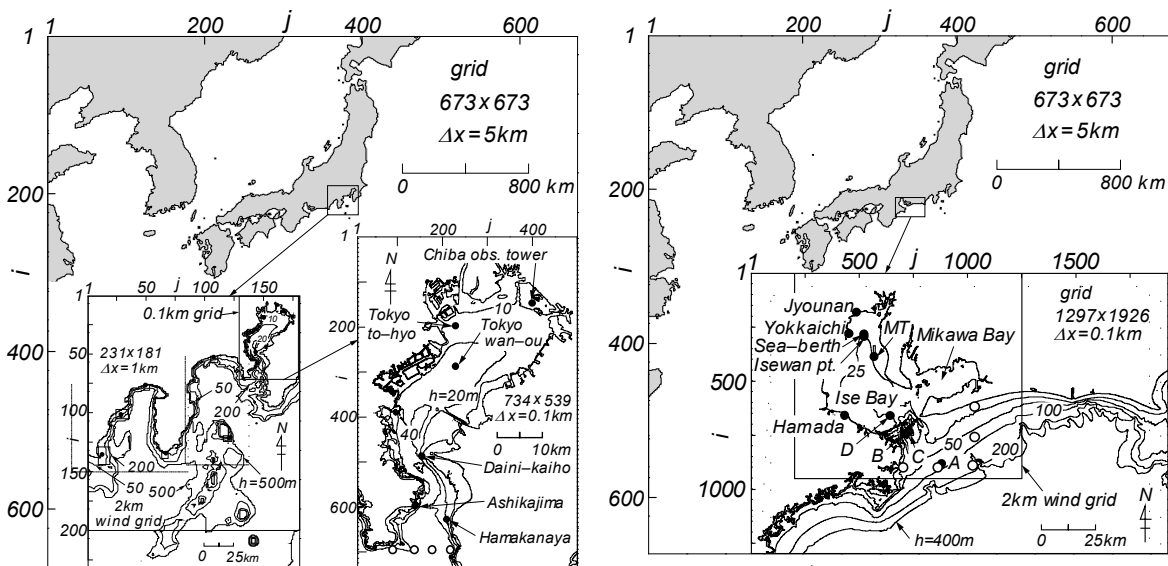


Fig. 2 A nested grid used in wave hindcasting at points along open boundary of Tokyo Bay or Ise Bay by use of backward ray tracing model.

域, さらにこれに格子間隔 0.1 km の東京湾を組み込んだ 3 段階水深格子網を用いる。伊勢湾の外洋境界上の 5 地点 (図中の○印) における波浪推算でも, 格子間隔 5 km の北西太平洋領域に格子間隔 0.1 km の伊勢湾を組み込んだ 2 段階格子網を用いる。入力条件とする海上風は, 外洋領域では台風モデル風を埋め込んだ NCEP 風資料, 関東沿岸海域と伊勢湾ではそれぞれ SDP 風資料に基づく内湾海上風である。

波浪推算は 1 点浅海モデル^[33]により行い, 各波浪推算地点において 1 時間ごとの方向スペクトルを求める。周波数データの個数は 0.047~1 Hz 間を不等分割した 20 個, 方向データの個数は全平面を 20° で等分割した 19 個である。計算期間は, 遠方から到達するうねり性波浪を評価するために, 内湾における計算開始時点より少なくとも 1 週間前から内湾における計算終了時点までとする。

内湾における波浪推算には, 砕波減衰エネルギーを段波モデルで評価した格子点浅海モデル^{[34], [35]}を適用する。周波数・方向データは境界地点における波浪推算で用いたものと同じである。Fig. 3 は格子間隔 1 km で近似した東京湾 (69 × 54 に分割) および伊勢湾 (80 × 77 に分割) を示す。それぞれの図には, 波浪観測地点 (●印) および外洋に接続する境界上に設けた

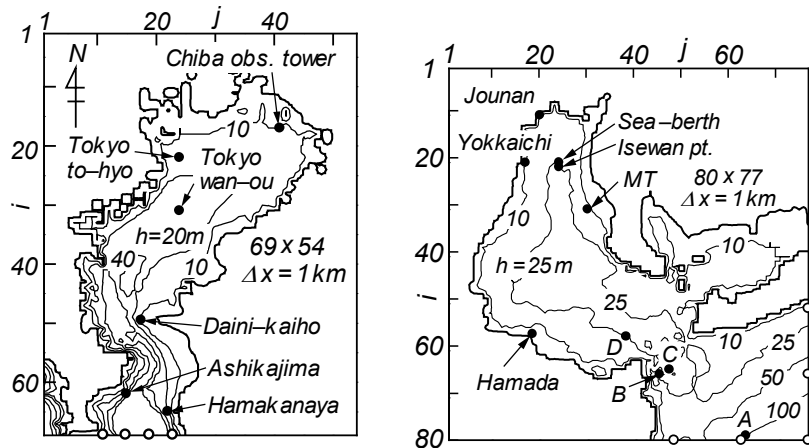


Fig. 3 Grid set on Tokyo Bay or Ise Bay used in wave hindcasting and name of measurement station.

流入境界地点 (○印, 東京湾で 4 地点, 伊勢湾で 5 地点) を与える。波浪推算の時間間隔は 1 分, 海上風の入力時間間隔は 20 分であり, 海上風分布の 1 時間間隔資料を 20 分ごとに線形補間, 空間に関して 4 点双 1 次補間 (実際には 4 つの格子点値の平均) して 1 km 格子網上で得た海上風分布を 20 分の間不変として計算を進める。外洋に接続する境界上の各格子点では, 境界 4 地点 (東京湾) あるいは 5 地点 (伊勢湾) において 1 点浅海モデルにより計算した 1 時間ごとの方向スペクトルを 1 分間隔で線形補間するとともに, 1 km ごとに線形補間して与える。また, 外洋に接続する境界上格子点において流出方向には方向スペクトルの完全流出条件を課し, 陸地境界格子点では方向スペクトルの値を 0 とする。

2.3 波浪推算対象ストームの選択

波浪推算の対象とするストームは, 外洋では台風モデル風を埋め込んだ NCEP 風資料, 内湾では SDP 風資料に基づく海上風分布を入力条件として, 上述した高地形解像度格子網で 1 点浅海モデルを用いて東京湾内外および伊勢湾内外の波浪観測地点 (Fig. 3) や任意に設けた複数の地点で得た 45 年間 1 時間ごとの波浪推算結果^[14]を主体とし, 風・波浪・高潮偏差の観測資料や天気図などを包括的に考慮して東京湾と伊勢湾で別々に決める。ストームの期間は 2~4 日, 1961~2005 年の 45 年間においてケース数は東京湾で 94 ケース (台風 38 ケース, その他のストーム 56 ケース), 伊勢湾で 104 ケース (台風 67 ケース, その他のストーム 37 ケース) である。対象ストームに占める台風の割合は東京湾で約 40 %, 伊勢湾で約 64 %であるから, 台風の経路特性を反映して伊勢湾で多い。東京湾と伊勢湾で共通するストームは 34 ケースであり, 意外に少ない。これは S~SW 方向を外洋に開いた東京湾と

S~ESE 方向を外洋に開いた伊勢湾の地理的状況の相違, および両湾における湾軸方向と卓越風向の相違によるものであろう。

2.4 極値統計解析の方法

極値統計解析には, 合田^[36]によるモデルを変更した Yamaguchi・Hatada^[37]のモデルを用いる。これは候補分布を Gumbel 分布, Weibull 分布(形状母数 $k=0.5\sim 10$ の 27 種類), FT-II 型分布(形状母数 $k=2.5\sim 40$ の 20 種類) の計 48 種類とし, 順序統計量の非超過確率の評価を合田^[36]のプロットング公式, 尺度母数と位置母数の推定を最小 2 乗法, 最適分布の選択を最大相関係数基準, 確率波高の分散(平方根は標準偏差)の推定を jackknife 法による。候補分布の数を増加させるとともに, 分散推定に jackknife 法を導入した点が合田^[36]のモデルと異なる。

本モデル^[37]は合田^[36]のモデルと同様に下限 censoring を受けた年別最大値資料と極大値資料の両者に適用可能であるが, ここでは 1961~2005 年の格子点別波高の年別最大値 (AM) 資料に対する解析に適用する。資料年数 K , 資料数 N , 資料総数 N_T を $N_T=K=45$, $N=15$ (資料採択率 $\nu=1/3$) とする。この資料採択率 ($\nu=1/3$) の採用は 1961 年より以前の時期で標本中の上位に属するような大きい値をもつ資料のみを含めた今後の解析を視野に入れたことによる。また, 資料採択率の影響を調べるため, $\nu=1/2$ とした解析 ($N=22$) および波高観測資料に基づく結果との比較を行うために, 1961~2005 年の全期間およびそれぞれの観測地点の観測期間に対して $\nu=1$ とした解析も行う。

3. 海上風および波浪の推算精度の検討

3.1 海上風・波高時系列およびそれらの最大値の比較

東京湾の内外では, 海上風および波浪の観測資料が東京灯標 (風向風速計高度 $z=24$ m, 波高計設置水深 $h=15$ m), 千葉観測塔 ($z=22$ m, $h=10$ m), 東京湾湾央地点 ($z=10$ m, $h=26.5$ m), 第 2 海堡 ($z=29$ m, $h=16.5$ m), アシカ島 (波浪のみ, $h=21.7$ m), 浜金谷 (波浪のみ, $h=23$ m) で取得されてきた。このうち湾央地点と浜金谷における観測は終了している。伊勢湾内外の観測地点は城南 (波浪のみ, $h=13$ m), 四日市 (波浪のみ, $h=8$ m), シーバース ($z=32$ m, $h=26$ m), 伊勢湾湾央地点 (波浪のみ, $h=27$ m), MT 局 ($z=19$ m, $h=8$ m), 浜田 (波浪のみ, $h=20$ m), ブイ D ($z=4.5$ m, $h=35$ m), ブイ C ($z=4.5$ m, $h=40$ m), ブイ B ($z=4.5$ m, $h=40$ m), ブイ A ($z=4.5$ m, $h=92$ m) の 10 地点である。このうち, 四日市, ブイ B, ブイ C, ブイ D における観測は終了している。また, 観測風速は 1/7 乗則の適用によって 10 m 高度風速に変換する。

Fig. 4 は台風 (T) 7920 号, T8506 号, 1995 年 4 月 21~23 日低気圧 (L9504), T0115 号, T0221 号時の風 (10 m 高度風速 U_{10} , 風向 θ_w) および (有義) 波高 H_s の各時系列を推算値と観測値についてそれぞれ与える。T7920 号時の観測地点は東京灯標 1 地点, 観測波高は最大 (有義) 波高 H_{max} に限定される。これは T8506 号時のアシカ島でも同様である。海上風観測値は東京灯標, 千葉観測塔, 湾央地点, 第 2 海堡 (正確には准海上風観測地点) で得られており, 逆に浜金谷, アシカ島では得られていない。ストーム (台風, 低気圧) 別に年を追って比較結果をみると, T7920 号時には, 東京灯標における風および波高の推算値は, 3 m を越える最大波高を含めて観測値に近い値を与える。T8506 号時には, 風速・風向の経時変化に関して東京灯標における推算値は観測値に比較的よく追従するが, 最大波高値 (ピーク値) より少し手前で大きめの評価, ピーク値付近で小さめの評価になっている。波高に関して内湾の推算値は東京灯標で観測値よりやや低いピーク値を, ピーク時以外の時点で東京灯標のみならず外洋波浪が入射する浜金谷でも大きい値を与えるものの, それぞれ類似した経時変化を示すし, 浜金谷とアシカ島でピーク値に関して両者はよく符合する。L9504 時には, 風速・風向に

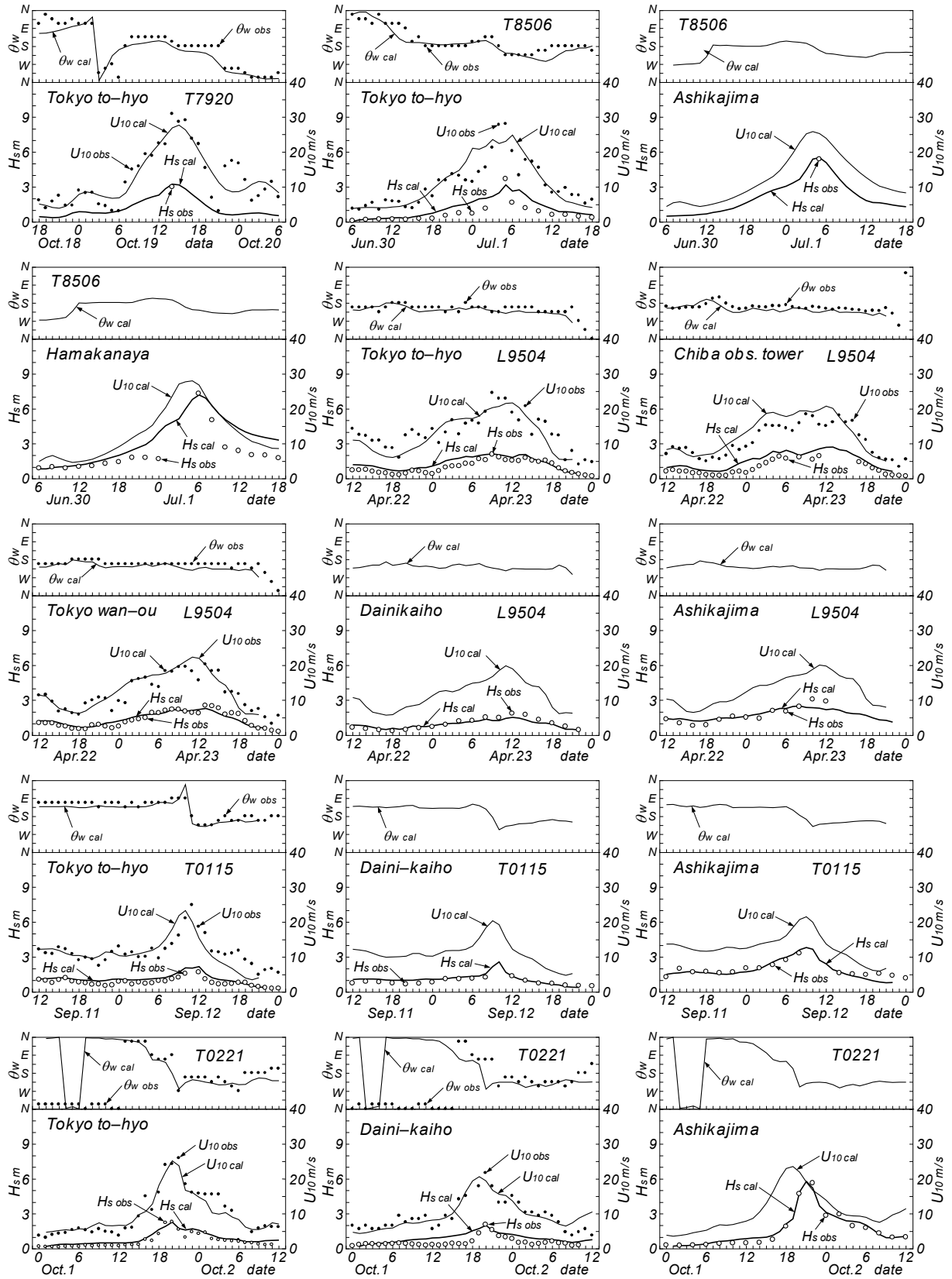


Fig. 4 Comparison between hindcast and measurement for time variations of winds and waves at measurement stations in Tokyo Bay.

関して推算値は湾央地点と東京灯標の観測値とかなりよく対応するが、千葉観測塔では観測値よりやや大きい。最大波高に関して、推算値はアシカ島や第2海堡で観測値よりやや小さめの値を、千葉観測塔で大きめの値を与えるものの、波高時系列に関しては全体として波浪推算の再現性は高い。T0115号およびT0221号時にも、風および波高時系列に関してアシカ島（波高のみ）、第2海堡、東京灯標における推算値はそれぞれ観測値とかなりよく対応する。

Fig. 5はT8719号、T9019号、T9426号、T9807号、T9810号、T0310号の6台風を対象として伊勢湾内外の観測地点における風（10 m高度風速 U_{10} 、風向 θ_w ）および（有義）波高 H_s の各時系列を推算値と観測値についてそれぞれ与える。城南ではT8719号とT9019号時に入手できた観測波高は最大（有義）波高 H_{max} のみである。四日市でもT9019号時に最大波高の観測資料のみが入手されている。T8719号時には、シーバースで推算風と観測風はよく符合する。波高についても同様の特徴がうかがえるが、シーバースのみならず城南でも推算値における波高のピーク値がやや大きい。また、四日市では両者はよく符合する。T9019号時にも、シーバースにおける風の対応は良好であり、波高についても3地点における推算値は四日市における多少の過大な値を除いて観測値とよく符合する。T9426号時には、シーバース（最盛時に欠測）やブイBで風に関する対応は良好である。波高についてもシーバースで推算値が観測値よりやや大きめの値を与えるものの、4地点全体について推算値と観測値の一致の度合は高い。T9807号時には、シーバースで推算風速が観測風速より大きい、風向について両者はよく一致する。波高について城南やシーバースで推算値と観測値はよく符合するものの、浜田ではピーク付近の値に関して推算値は小さい値を与える。T9810号時には、シーバースで推算風速は観測風速よりやや小さく、ブイBで比較的良好に符合する。風向についての対応はよいが、ブイBで時間（位相）のずれがみられる。波高に関して城南、シーバース、浜田で推算値と観測値はよく対応するが、ブイDやブイBでは推算値がやや大きい。T0310号時には、風速に関してシーバースで推算値が観測値より小さく、ブイAで大きい、風向についてはいずれの地点でも両者はよく符合する。波高に関して城南やブイAで推算値と観測値がよく一致するものの、シーバース、MT局、浜田のうちとくにMT局で推算値が観測値より大きい。

以上、風速の時系列に関して推算値と観測値はその大小関係においてばらつきを伴うものの、平均的にある程度符合するし、風向の時系列に関して両者はよく符合する。波高の時系列に関して推算値は観測値とよく符合するか、あるいは若干大きめの傾向を与えるが、全体としてはおおむねよく対応する。

Fig. 6はストーム時最大風速 U_{10max} に対する推算値と観測値の比較結果（散布図）を東京湾内の4海上風観測地点（東京灯標、千葉観測塔、湾央地点、第2海堡）および伊勢湾の6海上風観測地点（シーバース、MT局、ブイD、ブイC、ブイB、ブイA）についてそれぞれ示す。図中には相関係数 ρ_U と原点を通る相関直線の勾配値 a_{0U} を与える。東京湾、伊勢湾ともに推算値は観測値より若干小さめの値を示し、伊勢湾ではやや大きめのばらつきを与えるけれども、推算値と観測値の全体的な対応は悪くない。

Fig. 7は東京湾内外の6波浪観測地点および伊勢湾内外の10波浪観測地点で得たストーム時最大波高 H_{max} に対する推算値と観測値の比較結果（散布図）をそれぞれ示す。図中には相関係数 ρ_H と勾配値 a_{0H} を与える。東京湾および伊勢湾の両者について、外洋波浪の影響が大きい高波高部では推算値と観測値は比較的良好に符合するが、湾内発生波高資料が多くを占める中規模以下の波高部では推算値は観測値よりやや大きい傾向にある。この要因の1つとして、観測値は1～2時間間隔、推算値は1分間隔で得られていることから、観測値は真のピーク値を捉えていない可能性があり、とくに風波の発達・減衰の時間スケールが短い湾内波浪の観測地点では結果的に低めの値を与える傾向にあること

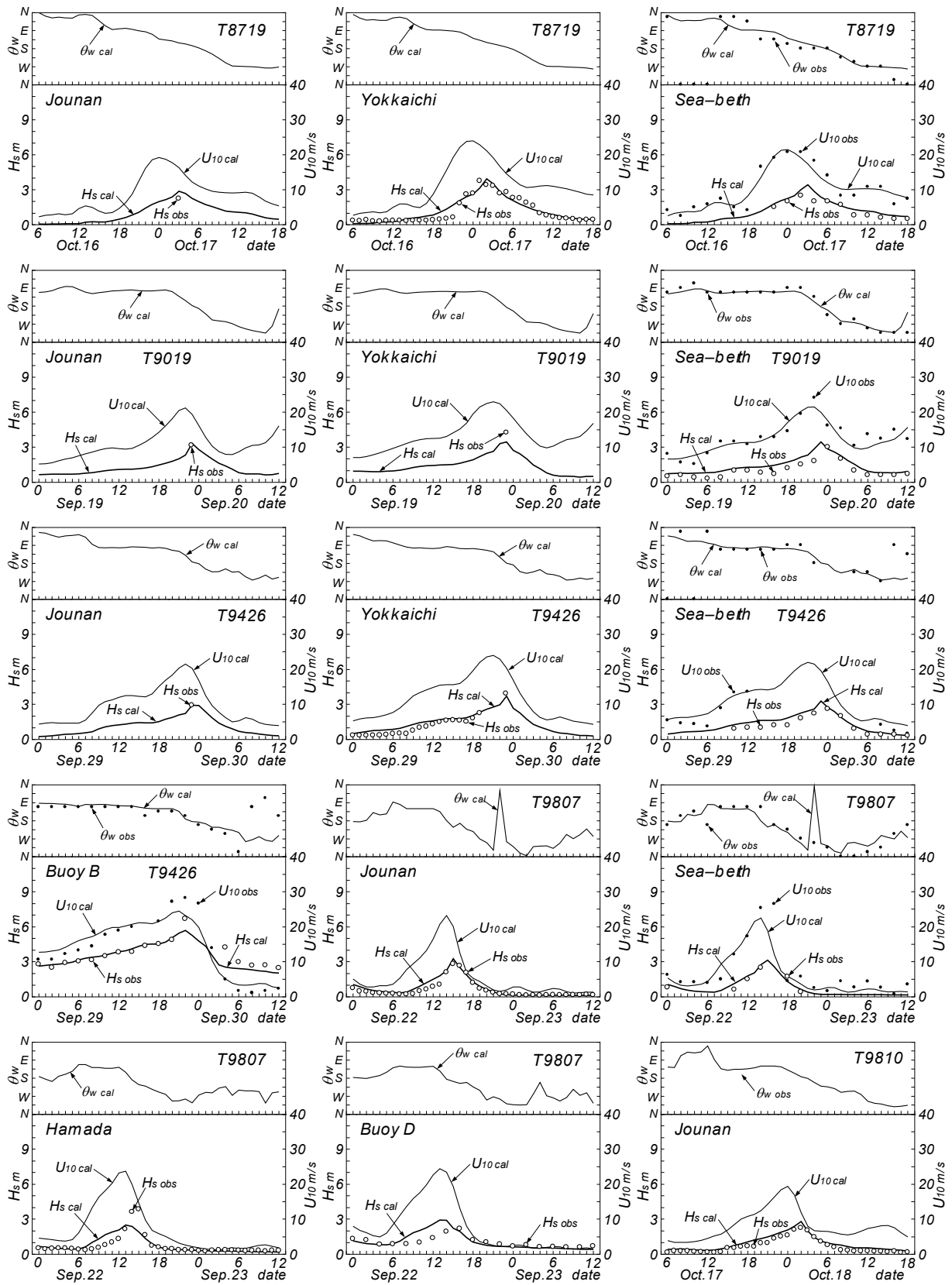


Fig. 5 Comparison between hindcast and measurement for time variations of winds and waves at measurement stations in Ise Bay(1).

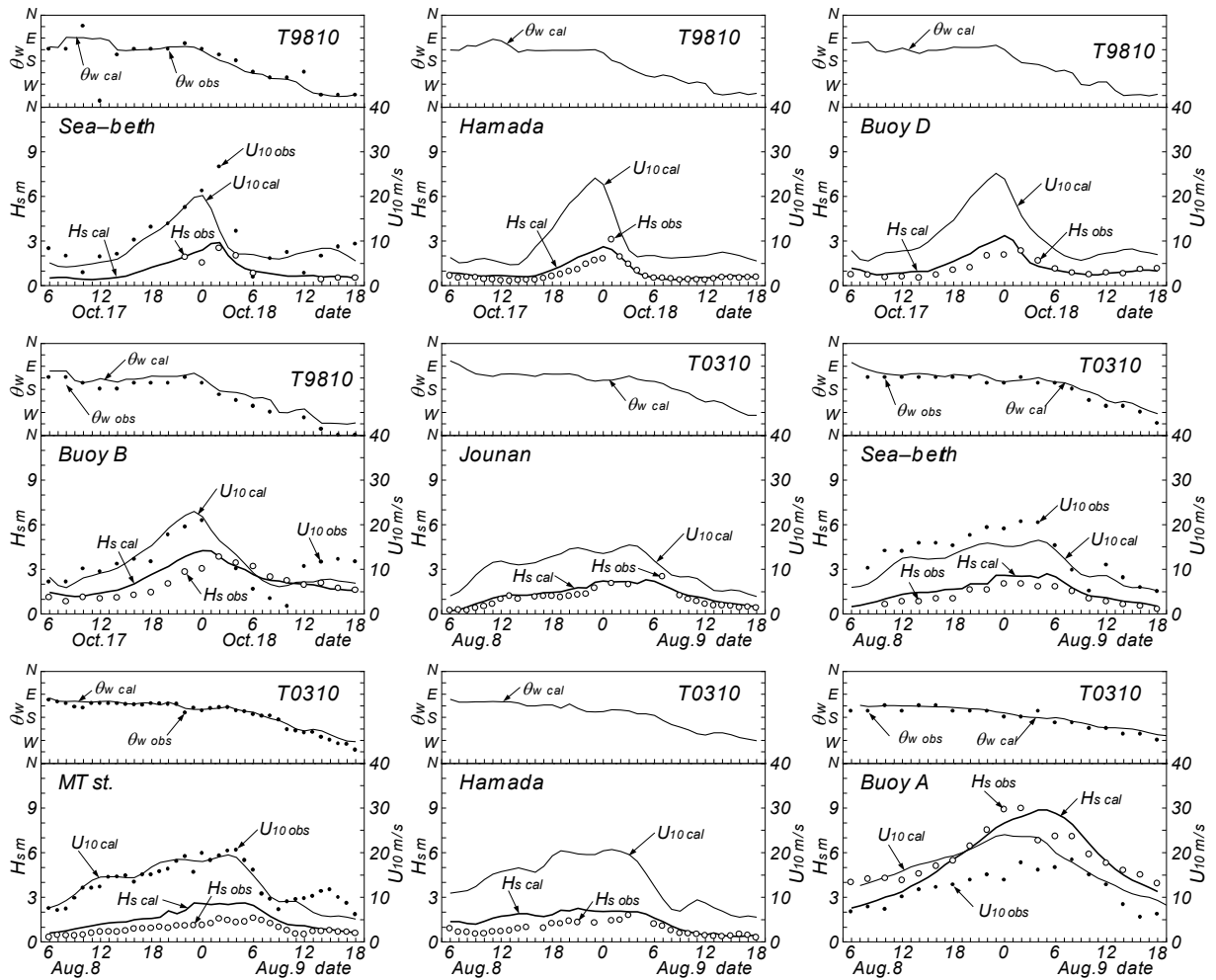


Fig. 5 Comparison between hindcast and measurement for time variations of winds and waves at measurement stations in Ise Bay(2).

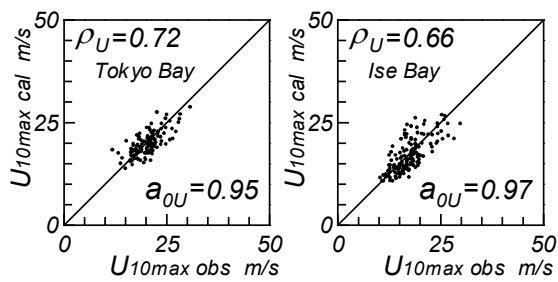


Fig. 6 Comparison between hindcast and measurement for maximum wind speed during a storm at measurement stations in Tokyo Bay or Ise Bay.

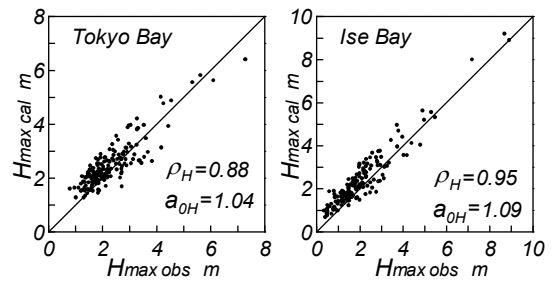


Fig. 7 Comparison between hindcast and measurement for maximum wave height during a storm at measurement stations in Tokyo Bay or Ise Bay.

があげられよう。

以上のように、推算値と観測値の間に多少の乖離がみられるけれども、全体的には風・波高の時系列のみならずピーク値に対して推算値は同じストーム時に複数の地点でそれぞれ観測値と比較的よく符合することから、4. で述べるストーム別最大風速・風向と最大波高の空間分布の推定結果に対す

る信頼性はある程度担保されていると言えよう。

3.2 誤差指標による精度評価

Fig. 8 は Fig. 4 に示した T0221 号時の東京灯標における海上風・波高時系列の推定値と観測値から得た風速 U_{10} , 風向 θ_w , (有義) 波高 H_s の散布図を表す。風資料の解析は、観測資料において 10 m 高度風速 4 m/s 以上のストーム期間中の平均風速 \bar{U}_{10obs} が 8 m/s 以上でかつストーム期間中の最大風速が

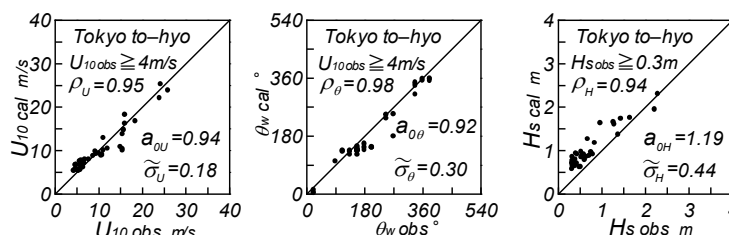


Fig. 8 Scatter diagrams between calculated and measured values for wind speed, wind direction and wave height.

12 m/s 以上をとり、しかもストーム期間中の風向が 5 方位 (90°) 以上の変動範囲をもつケースに限定する。波高資料の解析も、波高 0.3 m 以上のストーム期間中の平均 (有義) 波高 \bar{H}_{sobs} が 0.6 m 以上でかつストーム期間中の最大波高が 0.9 m 以上を与えるストームを対象とする。外洋波浪が伝播する東京湾外のアシカ島や伊勢湾外のブイ A と伊勢湾口 (湾外側) のブイ B, ブイ C では、限界波高を 0.5 m, 平均 (有義) 波高を 1.0 m, 最大波高を 1.5 m とし、これらを同時に上まわるケースを対象とする。制約条件の設定は、実用的にあまり意味をもたない低風速・低波高時資料を除外することによって、できるだけ有意な大きさの相関係数を与える資料を選択するためである。

図に示した推定値と観測値の符合の度合は、風速・風向に関してそれぞれ相関係数 ρ_U , ρ_θ , 散布図において原点を通る相関直線の勾配値 a_{0U} , $a_{0\theta}$, 2 乗平均平方根誤差 σ_U m/s, σ_θ ($^\circ$) のほか、最大風速の無次元量 $\tilde{U}_{max} (= U_{maxcal}/U_{maxobs})$ により評価する、これと同様に、 $\tilde{\sigma}_U = \sigma_U/\bar{U}_{10obs}$, $\tilde{\sigma}_\theta = \sigma_\theta/10^2$ と無次元化する。ここに、 10^2 は 100° を表す。風速に関して ρ_U , a_{0U} , $\tilde{\sigma}_U$, \tilde{U}_{max} の 4 つの誤差指標、風向に関して ρ_θ , $a_{0\theta}$, $\tilde{\sigma}_\theta$ の 3 つの誤差指標を用いる。波高の場合には ρ_H , a_{0H} , $\tilde{\sigma}_H (= \sigma_H/\bar{H}_{sobs})$, $\tilde{H}_{max} (= H_{maxcal}/H_{maxobs})$ の 4 つの誤差指標である。因みに、本事例の波高資料は、 $\rho_H = 0.94$, $a_{0H} = 1.19$, $\tilde{\sigma}_H = \sigma_H/\bar{H}_{sobs} = 0.34 \text{ m}/0.77 \text{ m} \approx 0.44$, $\tilde{H}_{max} = H_{maxcal}/H_{maxobs} = 2.30 \text{ m}/2.29 \text{ m} \approx 1.00$ を与える。

なお、海上の風観測地点には東京湾で京葉シーバース ($z=32 \text{ m}$) とうみほたる (40 m), 伊勢湾で三河湾内にあるブイ 1, ブイ 2, ブイ 3 ($z=5 \text{ m}$) が加わる。沿岸の風観測地点は、東京湾の内外で本牧 (56 m), 剣埼 (41 m), 洲崎 (33 m), 野島崎 (32 m) の 4 灯台, 伊勢湾の内外で日出 (20 m), 菅島 (51 m), 武豊 (26 m), 浜田 (26 m), 城南 (18 m) の 5 地点である。

Fig. 9 は東京湾内の全 6 海上観測地点 (東京灯標, 千葉観測塔, 京葉シーバース, 東京湾湾央地点, うみほたる, 第 2 海堡) の風速と風向に対する 7 種類の誤差指標をそれぞれ頻度分布として示す。図中には、各指標値の平均値 m と標準偏差 σ , および出現率 γ を与える。出現率 γ は風速・風向資料のみならず後出する波高資料の各誤差指標について指定値以上 ($\rho_U > 0.85$, $\rho_\theta > 0.95$, $\rho_H > 0.80$), または以下 ($\tilde{\sigma}_U < 0.25$, $\tilde{\sigma}_\theta < 0.25$, $\tilde{\sigma}_H < 0.40$), あるいは指定値の範囲内 ($a_{0U} = 0.9 \sim 1.1$, $a_{0\theta} = 0.9 \sim 1.1$, $a_{0H} = 0.8 \sim 1.2$, $\tilde{U}_{max} = 0.85 \sim 1.15$, $\tilde{H}_{max} = 0.8 \sim 1.2$) のケース数の、全ケース数 ($N=150$) に対する割合で代表させる。図中の実線は平均値 m , 点線はこれに標準偏差 σ を加・減した $m \pm \sigma$ を表す。

風速に関して、相関係数 ρ_U は 1 に近く、勾配値 a_{0U} は 1 のまわりに集中し、2 乗平均平方根誤差 $\tilde{\sigma}_U$ は 0.3 以下で大部分を占めることから、推定値と観測値が平均的によく符合することが示唆される。また、 \tilde{U}_{max} の分布特性からみて最大風速に対する対応も良好とみなされる。風向に関して、相関係数

ρ_θ の大部分は1にかなり近く、勾配値 $a_{0\theta}$ も1の近くに集まり、2乗平均平方根誤差 $\tilde{\sigma}_\theta$ も0.25以下で多くを占めることから、推定値と観測値の対応はかなりよいと言える。

Fig. 10は東京湾周辺の全4沿岸観測地点（本牧、剣崎、洲崎、野島崎）における推定風資料の誤差指標に対する頻度分布（全ケース数 $N=187$ ）を表す。風速に関し相関係数 ρ_U 、勾配値 a_{0U} 、2乗平均平方根誤差 $\tilde{\sigma}_U$ 、最大風速 \tilde{U}_{max} からみて推定風速と観測風速の対応は海上観測地点における結果ほどでないにしてもかなり良好であること、および風向に関し ρ_θ 、 $a_{0\theta}$ 、 $\tilde{\sigma}_\theta$ からみて推定風向と観測風向の対応は海上観測地点における結果と同程度あるいはそれ以上によいことが統計的に支持される。以上の結果から、東京湾の内外の海上や沿岸の観測地点における推定風の精度はかなり高いと言えよう。

Fig. 11は東京湾内外の全5観測地点（東京灯標、千葉観測塔、東京湾湾央地点、第2海堡、アシカ島）の推算波高資料に対する4種類の誤差指標 ρ_H 、 a_{0H} 、 $\tilde{\sigma}_H$ 、 \tilde{H}_{max} の頻度分布を表す。全ケース数は89である。相関係数 ρ_H は比較的大きく、2乗平均平方根誤差 $\tilde{\sigma}_H$ も多くを0.25以下とするけれども、平均的にみて勾配値 a_{0H} は1より0.15大きいことから、推算波高は観測波高の経時変化によく追従するものの、観測波高よりやや大きい傾向にあることが示唆される。しかし、最大波高に関しては \tilde{H}_{max} の平均値 m が1.03、標準偏差 σ が0.14、0.85~1.15の \tilde{H}_{max} に対する出現率 γ が0.81であるから、

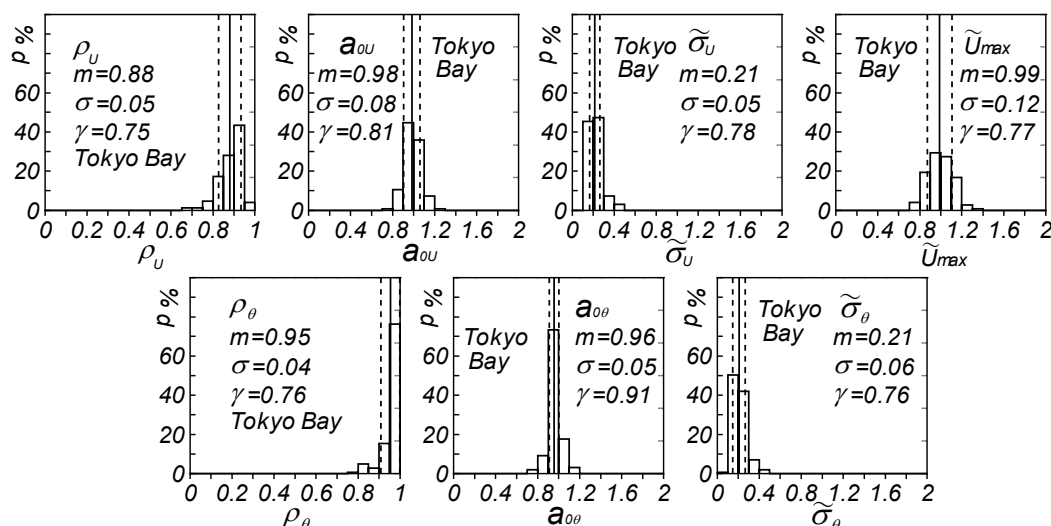


Fig. 9 Histograms of 7 error indices for wind speeds and wind directions at sea stations in Tokyo Bay.

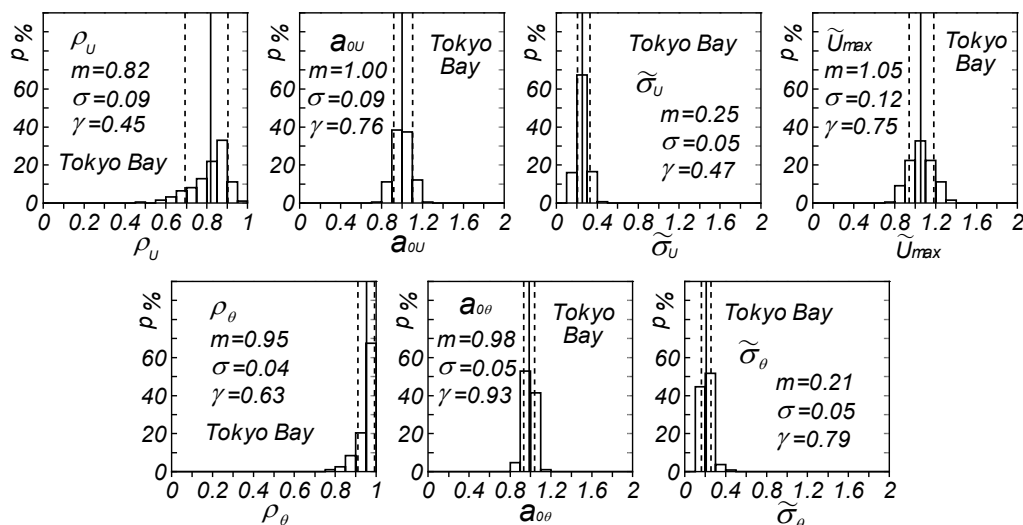


Fig. 10 Histograms of 7 error indices for wind speeds and wind directions at coastal stations in Tokyo Bay.

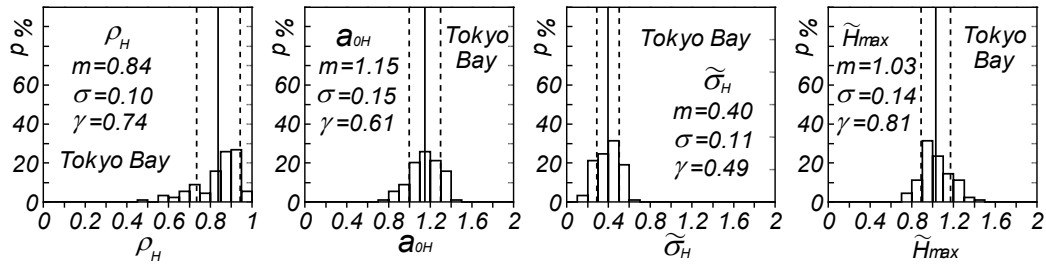


Fig. 11 Histograms of 4 error indices for wave heights at measurement stations in Tokyo Bay.

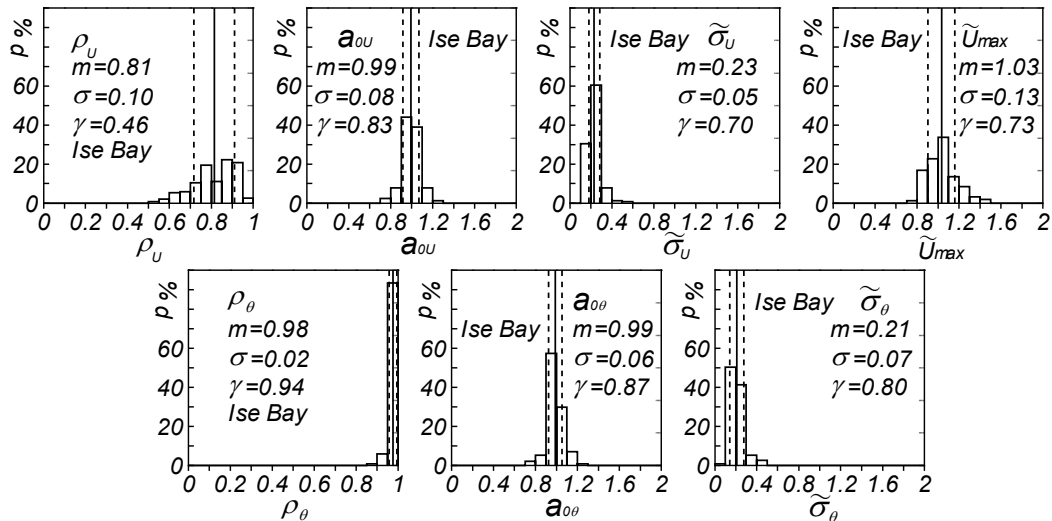


Fig. 12 Histograms of 7 error indices for wind speeds and wind directions at sea stations in Ise Bay.

推算波高と観測波高はよく符合すると推測される。

ついで、伊勢湾内外の全9海上観測地点（湾外のブイAと湾口部湾外側のブイB、ブイC、三河湾内のブイ1、ブイ2、ブイ3、伊勢湾内のブイD、伊勢湾MT局、伊勢湾シーバース）における推定風の誤差指標から作成した頻度分布をFig. 12に与える。誤差指標のうち出現率と平均値をみると、風速に関して $\rho_U > 0.85$ の出現率 $\gamma = 0.46$ 、平均値 $m = 0.81$ 、 $a_{0U} = 0.9 \sim 1.1$ の出現率 0.83、平均値 0.99、 $\sigma_U < 0.25$ の出現率 0.70、平均値 0.23、 $\tilde{U}_{max} = 0.85 \sim 1.15$ の出現率 0.73、平均値 1.03 を与える。これらの数値は推定風速と観測風速の対応がよいことを示唆するけれども、東京湾における結果と比べると、とくに相関係数 ρ_U の出現率や平均値からみて、両者の対応はやや低い。風向に関して、 $\rho_\theta > 0.95$ の出現率 0.94、平均値 0.98、 $a_{0\theta} = 0.9 \sim 1.1$ の出現率 0.87、平均値 0.99、 $\tilde{\sigma}_\theta < 0.25$ の出現率 0.80、平均値 0.21 をとるので、推定風向は観測風向とかなりよく符合することが示唆される。これらの数値は伊勢湾における推定風向が東京湾における推定風向より高い精度をもつことを表す。

Fig. 13は伊勢湾の全5沿岸観測地点（日出、菅島、武豊、浜田、城南）における7種類の誤差指標の頻度分布（ケース数79）を示す。風速に関して ρ_U の頻度分布幅が拡く平均値 0.72、標準偏差 0.16 をとるうえに、相対的に a_{0U} 、 $\tilde{\sigma}_U$ の標準偏差が大きく出現率が小さいことから、海上観測地点における結果と比べて推定風速と観測風速の対応はやや不足する。しかし、最大風速については同程度の精度が示唆される。風向に関しては、海上観測地点における結果と比べて相関係数 ρ_θ がやや小さいものの、 $a_{0\theta}$ と $\tilde{\sigma}_\theta$ は同様な値をとる。全体として、沿岸観測地点の風速に対する推定風の精度は海上観測地点におけるものより低い点は否めないが、風向に対する精度に差はほとんどない。また、海上観測地点の場合と同様に伊勢湾における沿岸観測地点の推定風速の精度は東京湾におけるものより低い傾

向にあることが示唆される。

なお、Table 1 は東京湾と伊勢湾の海上観測地点および沿岸観測地点における推定風の各誤差指標の平均値 m 、標準偏差 σ 、出現率 γ の一覧を与える。

Fig. 14 は伊瀬湾内外の全9波浪観測地点（ブイ A、ブイ B、ブイ C、浜田、伊勢湾シーバース、伊勢湾湾央地点、四日市、城南）における波高に関する誤差指標の頻度分布（ケース数 100）を与える。相関係数 ρ_H は比較的大きいケースが多く、2乗平均平方根誤差 $\tilde{\sigma}_H$ も 0.4 以下のケースが少ないが、勾配値 a_{0H} の平均値は 1 より 0.13 大きく、 \tilde{H}_{max} も 1 を 0.08 上まわる。推算波高の時系列は観測波高の時系列に比較的良好に追従するが、個々の推算波高が観測波高より 10 % 以上大きく、最大波高も 8 % 過大な値を与える傾向にあることが示唆される。Table 2 は推算波高の誤差指標に関する統計値の一覧を東京湾と伊勢湾のケースについて与える。なお、推定風資料に関して $\rho_\theta > 0.8$ かつ $a_{0\theta} = 0.8$

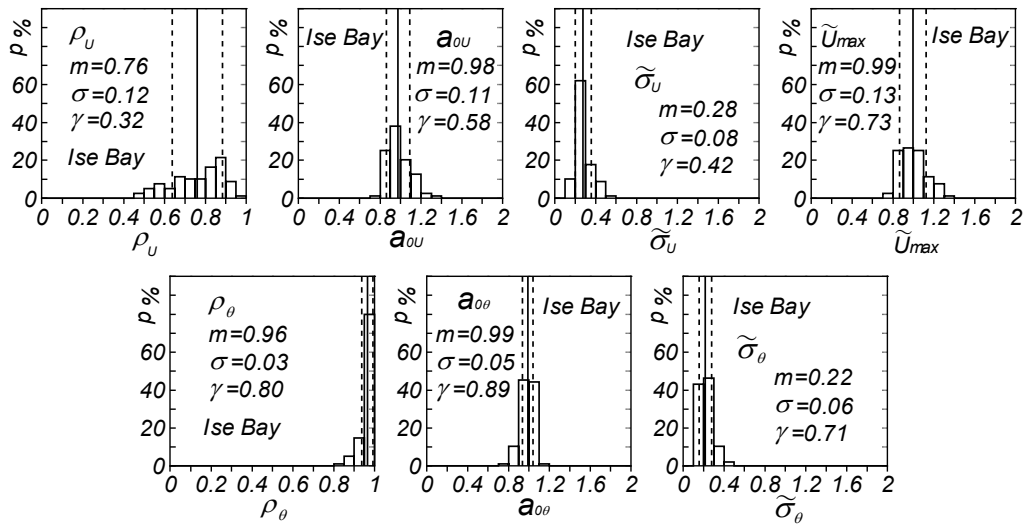


Fig. 13 Histograms of 7 error indices for wind speeds and wind directions at coastal stations in Ise Bay.

Table 1 Mean, standard deviation and range-limited occurrence rate for each of winds-related error indices at sea and coastal stations(stns.) in Tokyo Bay and Ise Bay.

Area	stns.	N	$\rho_U \times 10^2$			$a_{0U} \times 10^2$			$\tilde{\sigma}_U \times 10^2$			$\tilde{U}_{max} \times 10^2$		
			m	σ	γ	m	σ	γ	m	σ	γ	m	σ	γ
Tokyo Bay	sea	150	88	5	75	98	8	81	21	5	78	99	12	77
	coast	187	82	9	45	100	9	76	25	5	47	105	12	75
Ise Bay	sea	154	81	10	46	99	8	83	23	5	70	103	13	73
	coast	79	76	12	32	98	11	58	28	8	42	99	13	73
condition			$\gamma(>85)$			$\gamma(90 \sim 110)$			$\gamma(<25)$			$\gamma(85 \sim 115)$		
Area	stns.	N	$\rho_\theta \times 10^2$			$a_{0\theta} \times 10^2$			$\tilde{\sigma}_\theta \times 10^2$					
			m	σ	γ	m	σ	γ	m	σ	γ			
Tokyo Bay	sea	150	95	4	76	96	5	91	21	6	76			
	coast	187	95	4	63	98	5	93	21	5	79			
Ise Bay	sea	154	98	2	94	99	6	87	21	7	80			
	coast	79	96	3	80	99	5	89	22	6	71			
condition			$\gamma(>95)$			$\gamma(90 \sim 110)$			$\gamma(<25)$					

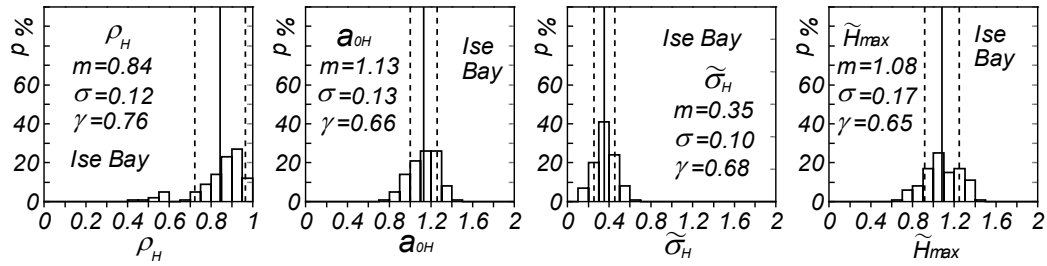


Fig. 14 Histograms of 4 error indices for wave heights at measurement stations in Ise Bay.

Table 2 Mean, standard deviation and range-limited occurrence rate for each of wave heights-related 4 error indices at measurement stations in Tokyo Bay and Ise Bay.

Area	N	$\rho_H \times 10^2$			$a_{0H} \times 10^2$			$\tilde{\sigma}_H \times 10^2$			$\tilde{H}_{max} \times 10^2$		
		m	σ	γ	m	σ	γ	m	σ	γ	m	σ	γ
Tokyo Bay	89	84	10	74	115	15	61	40	11	49	103	14	81
Ise Bay	100	84	12	76	113	13	66	35	10	68	108	17	65
condition		$\gamma(>80)$			$\gamma(80\sim 120)$			$\gamma(<40)$			$\gamma(80\sim 120)$		

～1.2 かつ $\tilde{\sigma}_\theta < 0.35$ の条件のもとに、 $\rho_U > 0.7$ 、 $a_{0U} = 0.8 \sim 1.2$ 、 $\tilde{\sigma}_U < 0.35$ 、 $\tilde{U}_{max} = 0.75 \sim 1.25$ の各条件を同時に満たすケース数の割合は東京湾の海上風で 96 %、沿岸風で 82 %、伊勢湾の海上風で 80 %、沿岸風で 60 % であるから、海上風と沿岸風いずれについても風速に対する精度は伊勢湾より東京湾のケースで高い。また、推算波高資料に関して $\rho_H > 0.75$ 、 $a_{0H} = 0.7 \sim 1.3$ 、 $\tilde{\sigma}_H < 0.5$ 、 $\tilde{H}_{max} = 0.6 \sim 1.4$ の各条件を同時に満たすケース数の割合は東京湾で 61 %、伊勢湾で 72 % であるから、いずれの海域でも推算波高の精度は有意と言えるが、伊勢湾における精度が東京湾におけるのもよりやや高い。

4. 代表台風・低気圧時の風速・波高の空間分布

4.1 代表台風・低気圧の抽出

ここでは、3. で風速・風向と波高の時系列に対して観測値との比較を行った台風および低気圧を代表例として、経路や風・波浪の空間分布の特性を東京湾では 5 台風と 1 低気圧、伊勢湾では 7 台風について述べる。以下では、各台風または低気圧について経路、(10 m 高度) 最大風速 U_{10max} と風向の空間分布、最大(有義)波高 H_{max} と波向の空間分布を順次示す。経路図には、ストーム特性として日時、中心の緯度、中心気圧 p_c 、および台風の場合台風半径 r_0 の一覧を含む。ただし、T6626 号時(東京湾)と T6524 号時(伊勢湾)には、該当する風・波浪観測値は得られていない。各図は同じ形式の図から構成されるので、本文における図の説明を省略する。

4.2 東京湾における風速・波高

(1) T6626 号 (Fig. 15)

1) 台風特性と被災状況 [2], [38], [39], [40], [41]

本台風は 1966 年(昭和 41 年) 9 月 22 日サイパン島の東方海上で発生、NW 方向、NNW 方向に進路をとって、9 月 24 日 9 時に小笠原諸島西方海上に達した。中心気圧は 965hPa と中程度の強さをも

った。そこから進行方向を N 方向, NNE 方向にとって非常に速い速度で 24 日夜半過ぎ御前崎の西方に上陸, 関東地方を通過して 25 日早朝に仙台付近から三陸沖に抜けた。上陸時の中心気圧は 960 hPa である。台風経路に近い気象官署における最低観測気圧は御前崎で 965.6 hPa, 静岡で 968.4 hPa, 三島で 981.4 hPa, 横浜で 990.8 hPa を示す。台風は静岡, 山梨の両県をはじめ関東地方の各県に暴風雨による大きな被害をもたらした。本台風時には富士山で最大瞬間風速 91.0 m/s (風向 SE) というわが国の観測史上最強の風速が記録された。また, 駿河湾湾奥では周期数十秒の長周期波に乗った巨大波浪によって死者 20 名をはじめ大きな被害を生じた。東京での高潮偏差は 77 cm と推測され, それほど大きくない。死者・行方不明者は 318 名, 家屋被害は 11,700 棟, 浸水被害は 53,600 棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布

台風は東京湾の西側を NE 方向に進行していることから, 風向 S~SE の風が卓越する。風速は湾央と湾奥北西端で 32.5 m/s をとり, 湾外や湾奥北東側の 22.5 m/s に向けて小さくなる。

3) 最大波高・波向の空間分布

東京湾の湾外では境界から浦賀水道北部にかけて 5 m から 4 m の波高域が伸びているだけで, 波高はあまり大きくない。波向は S を主とし, 東側で SW 方向に傾く。湾内では横浜の沖合から浦安にかけての西側海域で波高は 3 m を越え, 川崎の沖合と東京港付近で 3.5 m 波高域が現われる。波高は東に向けて小さくなる。波向は S をとり, 東側海域で SW に変化する。

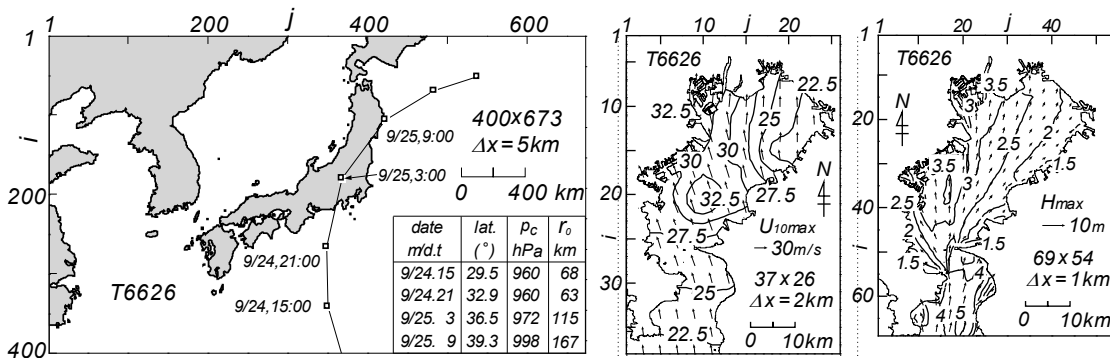


Fig. 15 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by Typhoon 6626.

(2) T7920 号 (Fig. 16)

1) 台風特性と被災状況 [2], [39], [41], [42]

本台風は 1979 年 10 月 6 日トラック島の南東海上で台風になったのち, 10 月 12 日には中心気圧 870hPa という観測史上最底の気圧を記録するほど発達し, 沖縄諸島付近から NE 方向に進行, 10 月 19 日朝和歌山県白浜町付近に上陸した。上陸時の中心気圧は 965hPa である。上陸後, 台風は時速 70~90 km の速度で本土を NE 方向に縦断し, 北海道釧路市に再上陸後, アリューシャン方面に抜けた。この結果, 暴風と豪雨によって全国で重大な被害が生じ, 関東沿岸では, 駿河湾一帯に大規模な沿岸災害がもたらされた。因みに, 最低観測気圧は経路からかなり離れた東京でも 976.1 hPa, 横浜でも 977.0 hPa とかなり低い。東京湾では観測史上第 6 位にあたる高潮偏差 116 cm が記録された。台風による死者・行方不明者は 115 名, 負傷者は 543 名, 家屋被害は 1,400 棟, 浸水被害は 56,000 棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布

本台風は東京湾の西側を NE 方向に進行したことから, 東京湾では S 寄りの強風が吹送した。最大風速は 25~30 m/s であり, 湾外で 27.5 m/s, 湾内では湾奥北西端と湾央で 30 m/s, 北東側で 25 m/s 弱

をとる。風向は湾軸方向にあたるSSWである。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外境界の中央で8 mを越え、浦賀水道では北部の富津岬付近で4~5 mに小さくなる。湾内では南側の第2海堡付近から湾奥にかけて3 m域が広範に拡がり、横浜の沖合や東京港付近で局所的に4 mに達する。千葉方面でも波高は2~2.5 mである。波向は湾外でS~SSW, 湾内では東側海域でSからSW方向に、西側海域でSからSE方向に傾く。台風が東京湾の西側をNE方向に進行したことに伴うS~SW方向の強風の吹送により、異常波高が出現した。

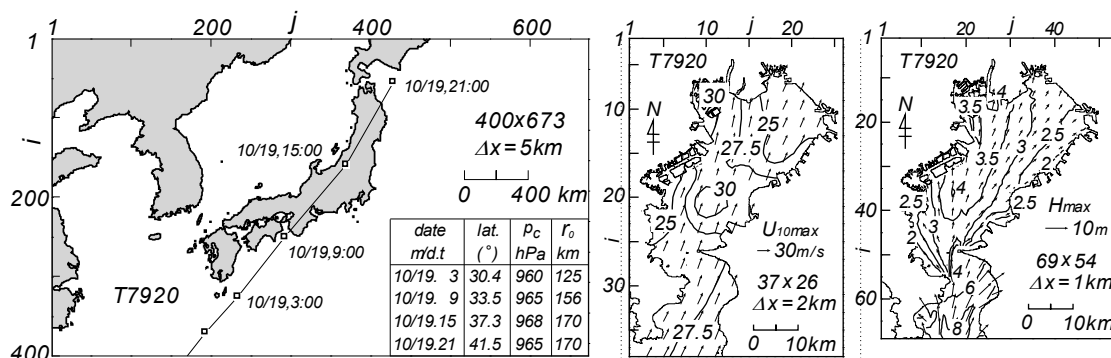


Fig. 16 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by Typhoon 7920.

(3) T8506号 (Fig. 17)

1) 台風特性と被災状況 [2], [39], [41], [42], [43]

本台風は1985年6月25日カロリン諸島の南方海上で台風になり、N方向に進行して6月20日9時頃種子島の南東海域でNE方向に進路を変え、7月1日3時頃静岡県沼津市付近(田子浦)に上陸した。上陸時の中心気圧は968 hPaである。上陸後、時速80 kmという早い速度でNE方向に関東地方を進み、福島県を経て太平洋に抜けた。台風は上陸後も比較的強い勢力を保ち、きわめて早い移動速度を伴ったため、関東地方では強風による被害が続出した。因みに、最低観測気圧は東京で970.0 hPa、横浜で969.9 hPaとかなり低い。東京湾では、S寄りの強風によって観測史上第5位にあたる高潮偏差127 cmが生じた。台風通過後には強い副振動が発生し、これが最大偏差をもたらしたのが特徴的である。本台風に伴う死者・行方不明者は16名、負傷者は49名、家屋被害は800棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布

台風7920号と同様に、東京湾の西側をNE方向に速い速度で移動したことから、東京湾ではS~SW方向の強風が吹送した。最大風速は25~35 m/sの範囲にあり、湾軸の北西~西側沿岸で25 m/s、東~南東側沿岸で35 m/sと、北西側から南東側に向けて大きくなる。風向は湾外でSW, 湾内では南側でSSE, 中央から北側でSSWをとり、3方位異なる。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外境界の中央で8 m, 浦賀水道北部の富津岬付近で4~5 mに減じている。湾内の南側から北側にかけて3 mの波高域が広範に拡がり、川崎~横浜の沖合で3.5 m, 局所的に4 mをとる。湾内東側の千葉県方面および南西側の横浜~横須賀付近で2~2.5 mを与える。湾外の波向はSSE~SE, 湾内の波向はS方向を中心に東側海域ではW方向に、西側海域でE方向に傾く。台風7920号時と比べて台風8506号時の風速は西側海域で小さく東側海域で大きいことから、波高分布にもその特性が現われる。東京灯標における最大観測波高は3.69 m(7月1日5時, 水圧式波高計記録の換算値), 最大

推算波高は 3.18 m であるから、観測波高がやや大きい。また、本台風時の東京湾における風および波高に対する推算値と観測値の比較・検討が岡田ら^[4]によって行われている。

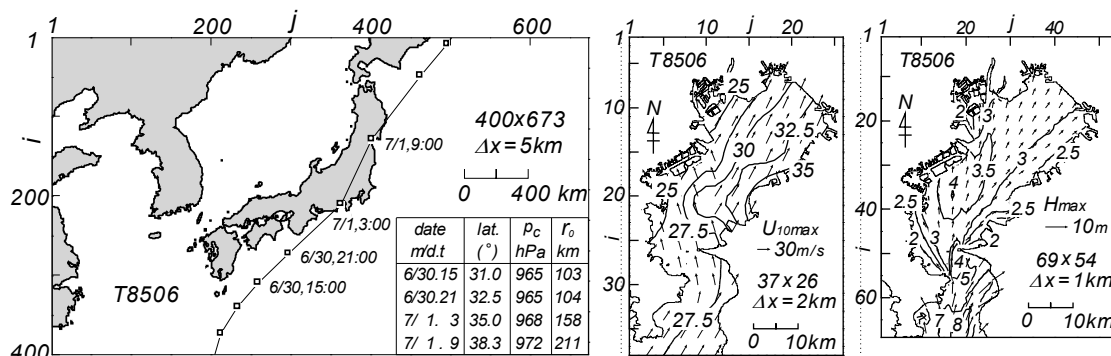


Fig. 17 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by Typhoon 8506.

(4)L9504 (1995年4月21日～24日の低気圧, Fig. 18)

1) 低気圧特性^[44]

1995年4月21日から22日にかけて日本付近を通過し、勢力を強めた移動性高気圧と北日本に近づいた気圧の谷によって生じた有意な気圧傾度に伴うS寄りの風に加えて、23日には日本海を通過した低気圧によりSW方向の強風が日本各地で吹送した。この間の低気圧の中心気圧は985 hPa程度とかなり低い。

2) 最大風速・風向の空間分布

低気圧の日本海から本州北部を経て北部太平洋への進行に伴い、東京湾ではSW方向の強風が吹送している。風速は22.5～27.5 m/sの範囲にあり、湾央から湾奥や湾外に向けて小さくなる。風速は比較的大きい。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外では境界付近の東側で4.5～5 m、富津岬付近で2.5～3 mであり、あまり大きくない。波向はS～SWである。湾内では南側の1.5～2 mから北東側の2.5 m以上に向けて、NE方向に大きくなる。湾奥の北東岸で波高は最も大きい、3 mには達しない。波向は南側でS、北東側でSWを与える。

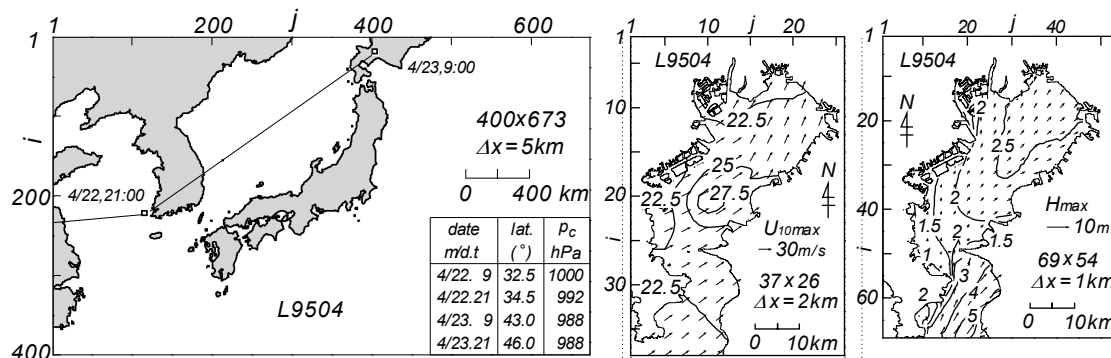


Fig. 18 Low depression track diagram supplemented with a list of low parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by the low depression L9504.

(5) T0115 (Fig. 19)

1) 台風特性と被災状況^[45]

本台風は2001年(平成13年)9月4日南鳥島の南方海上で発生、NNW方向、N方向に進路をとったのち、8日9時小笠原諸島北東海域に達した。このときの中心気圧は950 hPaとかなり低い。引き続き、進路をNW方向にとり、10日早朝頃からN方向、NE方向に転じて11日9時半頃神奈川県鎌倉市付近に上陸した。上陸時の中心気圧は970 hPaである。上陸後はNE方向に進行を続け、茨城県を経て三陸沖に抜けた。台風経路に近い気象官署における最低観測気圧は石廊崎で972.2 hPa、大島で973.4 hPa、横浜で971.3 hPa、東京で973.6 hPa、水戸で978.2 hPaをとったことから明らかなように、上陸後も強い勢力を維持している。関東地方と東海地方では暴風と大雨による被害が出た。東京では1911年以降の観測史上第5位にあたる127 cmの高潮偏差(T8506号時の値と同じ)が得られた。最高潮位は過去に高潮による大災害をもたらしたT4910号(キティ台風)と同等であったが、防護施設の整備により高潮による被害は免れたとのことである。死者・行方不明者は8名、住宅被害は130棟、浸水被害は750棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布

風速は22.5~30 m/sの範囲にあり、湾央付近や湾奥北西端で大きく、湾外の南西側と湾内の北東側で小さい。風向は湾外でSからSW、湾内で南側のWから湾奥北東側でS、湾奥西側でN寄りをとる。台風中心の東京湾通過に伴い、最大風速時の風向場が著しく変化する。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外では境界中央付近で6 mをとり、4 m域が境界から富津岬付近まで広がる。波向はSからSWである。湾内では湾口から湾奥の浦安付近に向けて2.5 m波高域が延び、その東側の千葉県沿岸で1.5~2 m、西側沿岸でも1.5~2 mをとる。波向はSを中心として、それぞれSW方向とSE方向に傾く。

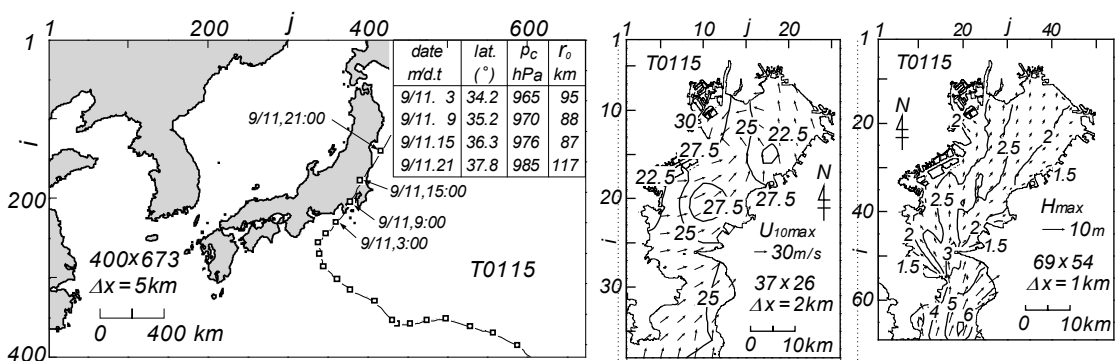


Fig. 19 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by Typhoon 0115.

(6) T0221号 (Fig. 20)

1) 台風特性と被災状況^[46]

本台風は2002年(平成14年)9月27日サイパン島東方海域で発生、WNW方向、NW方向に進んで29日9時沖ノ島島東方海上で中心気圧940 hPa、30日9時沖ノ島島北西海上で930 hPaを示した。その後、台風はN方向、NNE方向に進行を続け、10月1日20時頃三浦半島を通過、20時半頃川崎市付近に上陸した。上陸時の中心気圧は960 hPaである。その後関東地方、東北地方を経て八戸付近を通過、北海道に再上陸して日本海に出た。台風経路近くの気象官署における最低観測気圧は大島で

956.7 hPa, 横浜で 961.1 hPa, 千葉で 963.4 hPa, 東京で 965.2 hPa, 水戸で 967.1 hPa, 小名浜で 971.2 hPa, 仙台で 972.8 hPa, 八戸で 975.5 hPa であるから, 上陸後もかなり低い中心気圧を維持している。台風は上陸後速い速度で移動したことから, 強風を伴い, 大雨と相まって大きな被害(茨城県潮来市における 9 基の送電線鉄塔の倒壊を含む)を生じた。東京における高潮偏差は 72 cm (観測史上第 17 位) であり, 台風の勢力のわりに大きくない。死者・行方不明者は 5 名, 住宅被害は 1,070 棟, 浸水被害は 2,000 棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布

風速は 22.5~32.5 m/s をとり, 西岸より東岸で大きい。風向は湾外で SE 方向, 湾内で W 方向である。台風は東京湾を NNE 方向に進行したことから, 風向の空間変化が著しい。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外では境界中央の 6 m から富津岬付近で 2.5~3 m になる。波向は S から SW をとる。湾内では, 南側で 2 m 弱である。湾中央から北側にかけても西岸の 2 m から東岸あるいは北東岸の 2.5 m へとやや大きくなるにすぎない。波向は湾外で SSW 方向, 湾口や湾内の西側で ESE~SE 方向, 東側で SW 方向をとり, 90° 近く異なる。これは台風の東京湾における通過経路の特徴を反映する。

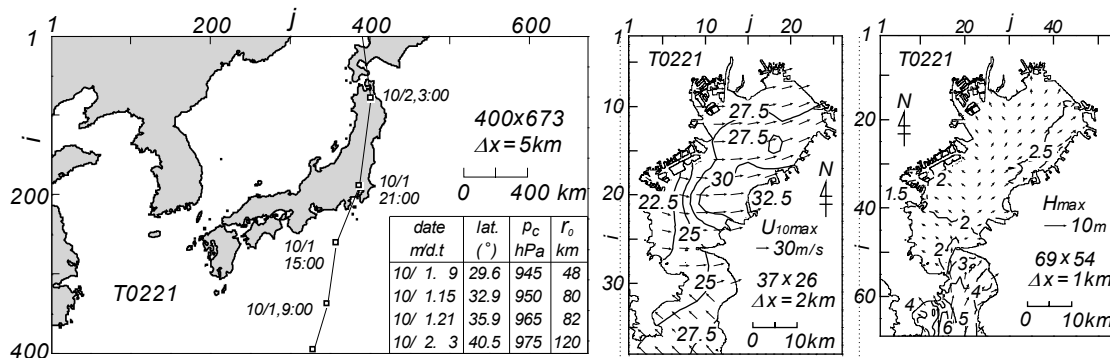


Fig. 20 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Tokyo Bay induced by Typhoon 0221.

4.3 伊勢湾における風速・波高

(1) T6524 号 (Fig. 21)

1) 台風特性と被災状況^{[19], [38], [39], [40], [47], [48]}

本台風は 1965 年 9 月 8 日グアム島南西海上で発生, NW 方向に進行したのち, 15 日沖縄本島の南方海上から進行方向を NNE 方向に転じ 17 日 21 時頃三重県大王崎付近(志摩半島)に上陸, ついで渥美半島に再上陸した。上陸時の中心気圧は 955 hPa とかなり低い。因みに, 最低観測気圧は尾鷲で 963.3 hPa, 伊良湖で 959.2 hPa, 浜松で 961.9 hPa, 津で 968.8 hPa, 名古屋で 970.2 hPa である。その後, 台風は東日本, 北日本を縦断した。この台風時には強い勢力に伴い強風が広い範囲で吹送するとともに, 四国・近畿・中部地方に大雨が降り, 各地で水害が発生した。伊勢湾では, 鳥羽において観測史上第 5 位にあたる 84 cm の高潮偏差を生じたが, 台風経路の西側に当たる名古屋においては 75 cm とあまり大きくなかった。死者・行方不明者は 107 名, 負傷者は 330 名, 家屋被害 1,100 棟, 浸水被害 252,000 棟であり, とくに洪水に伴う浸水被害が多い。

2) 最大風速・風向の空間分布

風速は湾外では SE 方向に向けて増大し, 南東端で 30 m/s を越える。伊勢湾内では湾口から湾中央にかけて 30 m/s 域が拡がり, ここを中心に周囲に向けて三河湾で 25 m/s, 伊勢湾の北部で 17.5 m/s に

まで減少する。風向は湾外では SE であるのに対して、湾内ではほぼ NW であり、伊勢湾の内外で 180° 近く異なる。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外では南東側の 12 m から湾口の 6 m に向けて NW 方向に小さくなる。波向は S~SSE である。湾口においては波高の急減がみられ、湾内では湾口内側で波向 N 寄りの 3.5 m 波高域が広がる。これは、台風の左側半円に入った伊勢湾では台風通過後に NW 方向の強風が卓越し、その結果として波向 N~NW の湾内発生波の影響が外海から波向 S~SSE で伝播する波浪の影響を上まわる特徴を反映する。また 2.5 m 波高域が湾内の南側半分を覆い、波高は湾奥に向けて 1 m に減少する。波向は湾内の西側半分で SE 寄り、東側半分で N 寄りをとって 90° 以上異なる。これは台風接近前の SE 方向の強風と通過後の NW 方向の強風の特徴を反映する。三河湾では、波高は 1~2 m、波向は西側で W、東側で E であり、伊勢湾内と同様に台風経路の影響が現われている。いずれにせよ、湾外で高波高が生じたにもかかわらず、台風経路の特性のため湾内ではあまり大きい波高を生じていない状況が特徴的である。

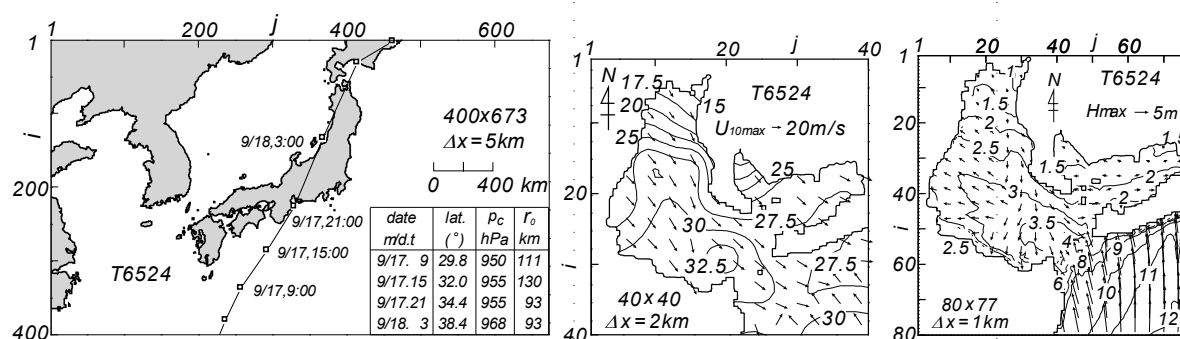


Fig. 21 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Ise Bay induced by Typhoon 6524.

(2) T8719 号 (Fig. 22)

1) 台風特性と被災状況^[19]

本台風は 1987 年 10 月 11 日フィリピンの東方海上で発生、発達しながら北上し、16 日には NNE 方向に転じて 17 日午前 4 時 30 分頃に室戸岬近くに上陸した。上陸時の中心気圧は約 980 hPa である。また、最低観測気圧は名古屋で 991.6 hPa、津で 989.1 hPa、尾鷲で 988.9 hPa、伊良湖で 994.1 hPa、浜松で 996.5 hPa と、台風経路からやや離れているため、あまり低くない。台風は上陸後、四国東部を NE 方向に進んで日本海に抜け、再び青森県に再上陸して太平洋に達した。台風経路は台風 3412 号(室戸台風)や台風 6118 号(第 2 室戸台風)のものとかかなり類似する。本台風時には強風に加えて豪雨を伴い洪水災害が各地で発生した。台風の右側半円に入った伊勢湾では、S~SE 方向の強風が吹送し、名古屋で 81 cm(観測史上第 26 位)、鳥羽で 53 cm(第 26 位)の高潮偏差が記録された。死者は 9 名、負傷者は 17 名、浸水被害は 25,000 棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布

風速は湾内では北側や東側で 20~25 m/s から南西側で 35 m/s を、三河湾では 20~25 m/s を与える。伊勢湾外でも北東側の 20 m/s から南西側の 27.5 m/s に向けて増大する。風向は主に SE であり、伊勢湾の西岸と南西岸で E 方向を示す。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は伊勢湾外では沖合の7 mから湾口の5 mに小さくなる。波向は主にSである。湾内では湾口沖合から4 m波高域がNW方向に広範に拡がり対岸に達する。波向はSEである。湾奥では波高は2 m以下に減少する。波向もS方向をとり時計方向に45°傾く。三河湾では波高は2 m以下であり、波向も空間的に大きく変化する。因みに、四日市における最大推算波高は3.94 m、最大観測波高は3.75 mであるから、推算波高が観測波高よりやや大きい。

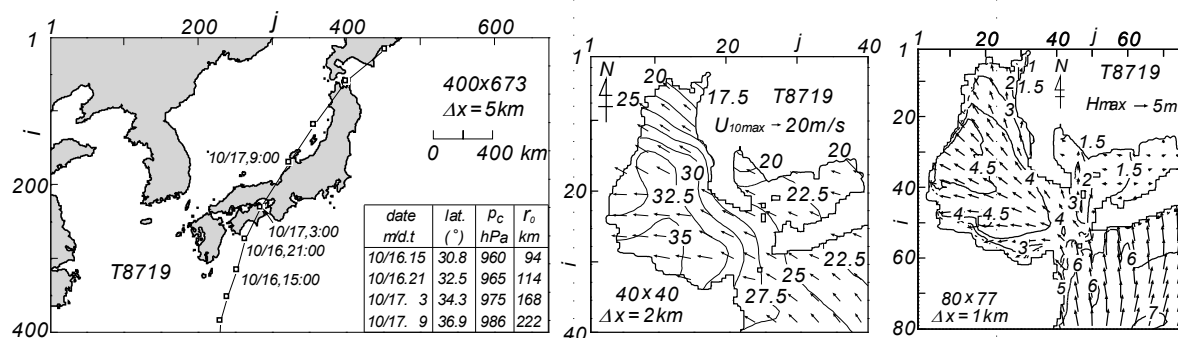


Fig. 22 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Ise Bay induced by Typhoon 8719.

(3) T9019号 (Fig. 23)

1) 台風特性と被災状況^[19]

1990年(平成2年)9月13日マリアナ沖で熱帯低気圧から台風に発達した本台風は、NW方向に進行して17日午前9時に沖縄本島の南東で中心気圧890hPaに達した。その後17日から18日にかけて進行方向をNNE, NEに転じて19日20時過ぎには和歌山県白浜町に中心気圧945hPaで上陸した。その後、NE方向に進行を続けて三重県から北陸・東北地方を経て三陸沖に抜けた。台風経路近くに位置する地点の最低観測気圧は尾鷲で962.1 hPa, 上野で963.7 hPa, 津で965.4 hPa, 名古屋で972.5 hPa, 松本で983.2 hPaであり、伊勢湾を囲む地点ではかなり低い。この台風時には強風に加えて大雨により甚大な被害が出た。高潮偏差は名古屋で167 cm(観測史上第4位), 鳥羽で61 cm(第18位), 舞阪で91 cm(第10位), 尾鷲で70 cm(第5位)を記録しており、名古屋ではかなりの大きさに達する。全国の死者・行方不明者は44名, 住宅被害1,000棟, 浸水被害は66,000棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布

本台風は名古屋付近をNE方向に進行していることから、伊勢湾においてS~SE方向の風が卓越した。最大風速は湾口付近の32.5 m/sを中心に周囲に向けて減少し、湾外南東側および湾奥で25 m/sになる。湾内では伊勢湾の中央以南と三河湾の中部以西で風速30 m/s以上を与える。風向は湾口付近と三河湾、湾外ではS方向、湾内では中部から南西側でESE, 北東側でSSEをとる。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は港外南東端で11 m, そこからNW方向に湾口の7~8 mに向けて小さくなる。波向はSSWからSをとる。湾内では湾口から4 m等波高線がNW方向(波向SE)に向けて湾内に拡がり、西岸に達する。3 m波高域が湾内のほぼ全域を覆う。波向は湾口西側でE方向に、湾奥でS方向に傾く。三河湾では湾入口の3 mから東岸湾奥の1.5 mとへと小さくなり、波向もSからSW, Wに変化する。

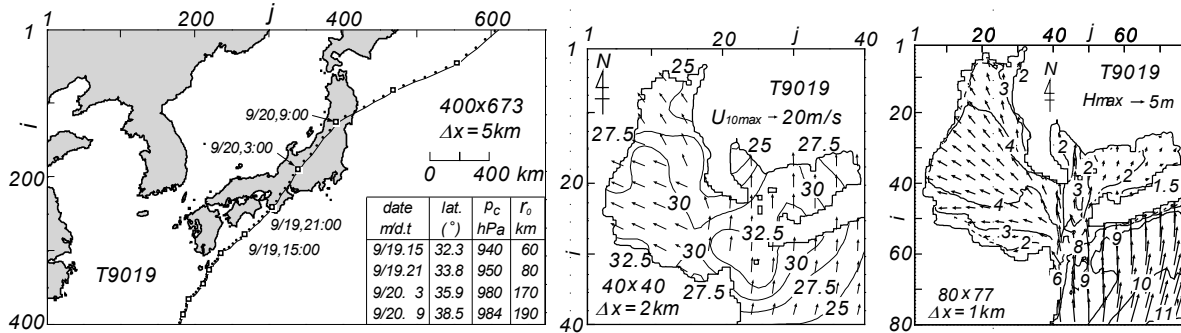


Fig. 23 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Ise Bay induced by Typhoon 9019.

(4) T9426号 (Fig. 24)

1) 台風特性と被災状況^[19]

本台風は1994年(平成6年)9月19日にグアム島の南西海上で発生後、NNE、NNW、WSW、NNWと頻りに進行方向を変えながら、24日21時に中心気圧925hPaにまで発達した。台風はその後も中心気圧925hPaを維持したままNNW方向に進行を続け、沖縄本島の東方海上から進路をNW方向に変えて進行し、29日19時30分頃和歌山県南部に進んで近畿・北陸地方を通過して日本海に抜けた。台風経路に近い地点の最低観測気圧は潮岬で960.9hPa、奈良で971.8hPa、彦根で973.2hPa、敦賀で978.0hPaである。高潮偏差は名古屋で152cm(観測史上第5位)、鳥羽で70cm(第11位)、尾鷲で104cm(第2位)、舞阪で100cm(第6位)であり、かなり大きい。台風は近畿地方や東海地方を中心に中国地方から北日本の広い範囲に大雨と暴風による被害をもたらした。全国の死者・行方不明者は3名、住宅被害は200棟、浸水被害570棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布

風速は湾口の内側を中心とした35m/s域から湾外や湾奥の25m/sに向けて減少する。30m/s域は北部を除く湾内の広い範囲を覆う。三河湾では湾入口の30m/sから湾奥の25m/s弱に向けてE方向に小さくなる。風向は海域全体でSE~SSEをとる。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外南東側で8.5mより大きく、湾口で6~7mに減じる。波向はSからSSEをとる。湾内

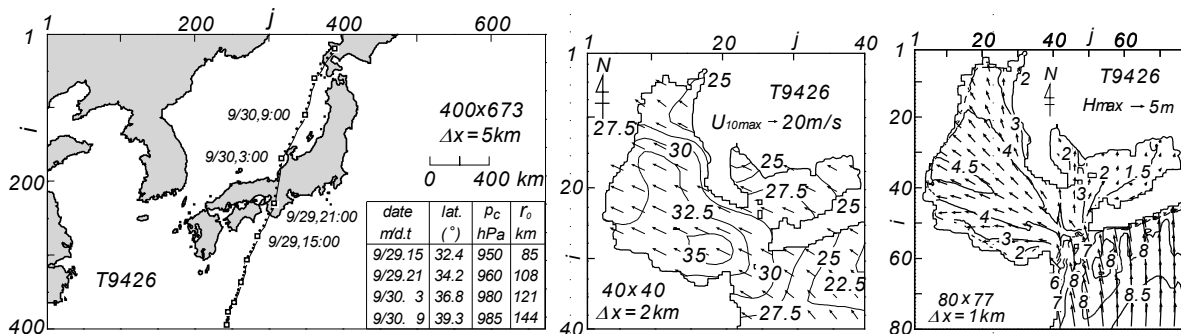


Fig. 24 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Ise Bay induced by Typhoon 9426.

では湾口から 4 m 波高線が NW 方向に延びて西岸に達する。西岸沖合には 4.5 m 波高域が出現する。波向は SE であり、南西側で E 方向、北東側で S 方向に傾く。湾内全体では 3 m 波高域がほぼ全域を占め、西側と湾奥で 2 m 波高域がみられる。三河湾では湾入口の 3 m から湾奥で 1 m 強になる。波向は S から SW をとる。

(5) T9807 号 (Fig. 25)

1) 台風特性と被災状況^[49]

本台風は 1998 年(平成 10 年) 9 月 17 日ルソン島の西方海上で発生後、南西諸島を NE 方向に進み、22 日 13 時過ぎに和歌山県御坊市付近に上陸した。その後、近畿・北陸地方を通過して 22 日 18 時過ぎに富山湾に出たのち、山形県鶴岡市付近に再上陸、岩手県を通過して太平洋に抜けた。上陸時の中心気圧は 960 hPa、台風経路近くの最低観測気圧は和歌山で 975.5 hPa、奈良で 976.8 hPa、彦根で 980.0 hPa、津で 985.1 hPa、名古屋で 991.1 hPa を記録した。高潮偏差は名古屋で 110 cm (観測史上第 13 位) とかなり大きい。本台風とともに来襲した T9808 号の両台風に伴う大雨と暴風によりかなりの被害が出た。両台風時の被害を合わせると、死者・行方不明者は 18 名、住宅被害は一部損壊 (49,000 棟) を含めて 50,000 棟、浸水被害は 10,600 棟にのぼる。

2) 最大風速・風向の空間分布

風速は湾内中央や湾奥で 30 m/s を上まわり、湾外や三河湾の湾奥の 22.5 m/s に向けて小さくなる。湾内全体で風速は 25 m/s を越える。風向は湾外と湾口、三河湾で S、湾内の南部と中部で SE、北部で SW と海域ごとに異なる。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外の広い範囲で 7 m 程度であり、湾口で 5~6 m になる。湾内では 3 m 波高域が広範に拡がり、西岸近くでわずかに 4 m 域がみられる。波向は主に SE を示す。三河湾では波高は 2 m 以下である。波向は湾入口の S から湾奥の SW に変化する。

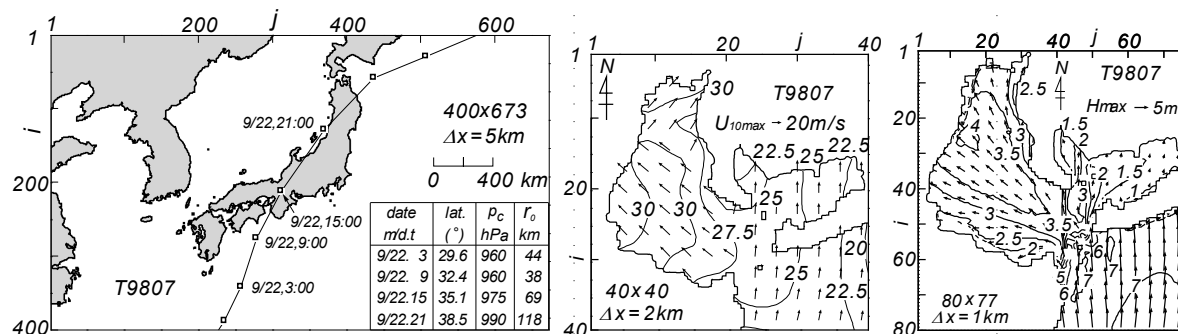


Fig. 25 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Ise Bay induced by Typhoon 9807.

(6) T9810 号 (Fig. 26)

1) 台風特性と被災状況^[50]

本台風は 1998 年(平成 10 年) 10 月 11 日マリアナ諸島の西方海域で発生、WNW 方向に進んで 14 日ルソン島北部に上陸、進行方向を N 寄り、ついで NE 方向に変えて東シナ海を通過、17 日 16 時 30

分頃鹿児島県枕崎市付近に上陸した。中心気圧は 975 hPa である。その後、高知県宿毛市付近、岡山県玉野市付近に再上陸を繰り返し、中国地方東部を経て日本海に出た。台風経路に近い地点の最低観測気圧は高知県宿毛で 979.1 hPa、岡山県津山で 976.6 hPa、鳥取で 978.0 hPa であるから、陸上部における台風時気圧としてはかなり低い。しかし、台風経路から離れた名古屋では 989.1 hPa、津では 989.3 hPa と上記の地点より 10 hPa 程度高い。高潮偏差は名古屋で 89 cm（観測史上第 22 位）を記録したが、鳥羽、舞阪、尾鷲では小さい。台風時には強風というより台風により刺激された前線の活動の活発化に伴う大雨により、被害が全国に及んだ。死者・行方不明者は 15 名、住宅被害は 650 棟、浸水被害は 12,000 棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布

風速は湾内の中央と南側の 30 m/s 域を中心に湾奥と湾外の 22.5 m/s、三河湾湾奥の 20 m/s に向けて小さくなる。風向はほぼ SE を与える。本台風は伊勢湾のかなり西方を NE 方向に通過したので、空間スケールの小さい伊勢湾では最大風速時の風向の空間変化はあまりみられない。

3) 最大波高・波向の空間分布

波高は湾外で 5.5 m から 4.5 m、湾内では 3 m 等波高線が広い範囲を占める。北西岸の沖合には 4 m 波高域もみられる。三河湾では波高は 2 m 以下である。波向は湾外で S 方向、湾内で SE 方向を主とする。

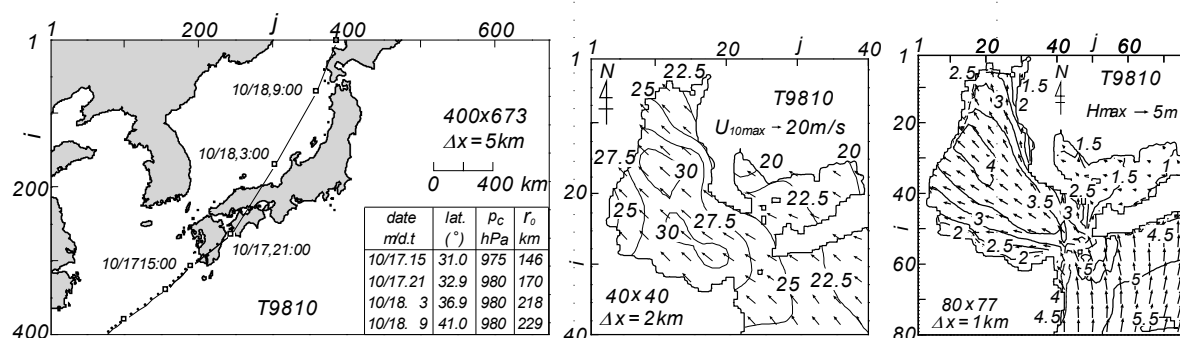


Fig. 26 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Ise Bay induced by Typhoon 9810.

(7) T0310 号 (Fig. 27)

1) 台風特性と被災状況^[51]

本台風は 2003 年（平成 15 年）8 月 3 日フィリピンの東方海上で発生、NW 方向、NNW 方向に進路をとって 7 日に沖縄本島を通過した。この時点の中心気圧は 945 hPa と強い勢力をもった。その後、台風は進行方向を N、NE 方向に変えて 8 日 21 時半頃高知県室戸市に上陸（中心気圧 950 hPa）、9 日 6 時頃には兵庫県西宮市付近に再上陸し、そのまま近畿・北陸・東北地方・北海道東部を経てオホーツク海に達した。台風経路に近い気象官署における最低観測気圧は室戸岬で 950.5 hPa、徳島で 963.4 hPa、洲本で 967.0 hPa、神戸で 972.6 hPa、京都で 976.9 hPa、上野で 979.2 hPa、福井で 981.5 hPa、金沢で 983.2 hPa、新潟で 985.1 hPa であり、上陸後も低い値を保っている。また、最大高潮偏差は室戸岬で 81 cm、高知で 69 cm、小松島で 80 cm、高松で 89 cm、神戸で 83 cm、大阪で 84 cm、名古屋で 65 cm、舞阪で 67 cm と、比較的大きい値を記録した。全国の死者・行方不明者は 19 名、住宅被害 610 棟、浸水被害 2,400 棟である。

2) 最大風速・風向の空間分布

台風が伊勢湾の西側を NE 方向に通過したことに伴い、伊勢湾では SE 寄りの風が吹送した。最大風速は湾外で 27.5 m/s、湾口で 25 m/s、湾中央で 22.5 m/s、湾奥で 17.5 m/s と湾外から湾奥に向けて SE—NW 方向に減少する。三河湾では 20~22.5 m/s であり、北西側で 15 m/s とやや小さくなる。風向は SSE~SE を示す。

3) 最大波高・波向の空間分布

湾外南東端で 9 m を越える波高は湾口で 5~6 m に減少する。湾内では湾口から 3 m 波高域が NW 方向に延びて北西岸近くに達する。2 m 波高域が湾のほぼ全域を占める。三河湾では波高は 2 m より小さい。波向は湾外と三河湾で S 方向をとる。湾内では SE を主として南西側で E 方向に、北東側で S 方向に傾く。

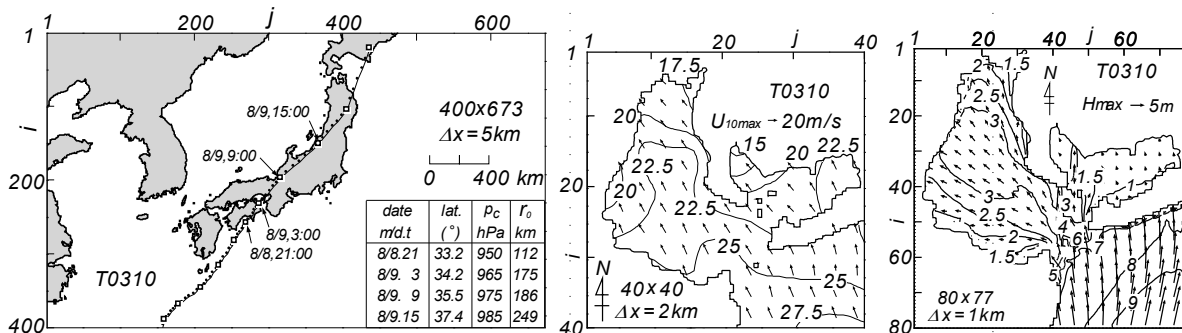


Fig. 27 Typhoon track diagram supplemented with a list of typhoon parameters and spatial distributions of maximum wind speed and maximum wave height in Ise Bay induced by Typhoon 0310.

5. 波高の極値の空間分布

5.1 東京湾における波高の極値

(1) 期間最大波高

1961~2005 年 (45 年間) 94 ケースのストーム別最大波高の格子点別値を重ねて得た期間最大波高 H_{max}^{61-05} と波向の空間分布を Fig. 28 に与える。 H_{max}^{61-05} における上側の添字は期間 (1961~2005 年) を、下側の添字は最大値を表す。期間最大波高は湾外境界では 8 m を越えるが、浦賀水道北部の富津岬付近では 4~5 m に減少する。波向は S から東側で SW 方向に、西側で SSE 方向に傾く。湾内では湾口から湾奥に向けて 3 m 波高域が拡がり、北端の東京港付近で波高は 4 m に達する。横浜沖にも局所的に 4 m 波高域がみられる。波向は S から SSW である。西側 3 m 等波高線の南西側海域では波高は西岸で 2 m にまで小さくなり、東側 3 m 等波高線の東側海域では波高は東岸に沿って 2.5 m を与える。波向は西側海域で SE 方向に、東側海域で SW 方向に傾く。期間最大波高を生起した主なストームは湾外と湾内の 3 m 波高域で T7920 号、その西側海域と東側海域で T8506 号で

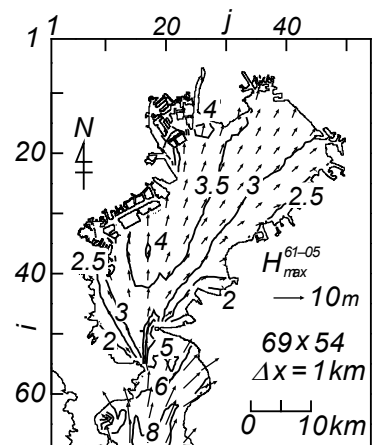


Fig. 28 Largest wave height H_{max}^{61-05} and its wave direction in Tokyo Bay during the period of 1961 - 2005.

ある。

(2) 50年確率波高

Fig. 29 は資料採択率 ν を 1/2, 1/3 とした場合に、45 年間の年別最大波高資料に対する極値統計解析によって得た 50 年確率波高の相違を相対差の%値 $(H_{50(1/2)}^{61-05}/H_{50(1/3)}^{61-05} - 1) \times 10^2$ の空間分布として表す。ここに、各記号における上側の数値は資料期間 (1961~2005 年)、下側の最初の添字は再現期間 R 、() 内の数字は資料採択率 ν を表す。相対差はほぼ $\pm 1\%$ 以内に納まることから、50 年確率波高の推定値に及ぼす資料採択率の影響は小さい。

Fig. 30 は 50 年確率波高 $H_{50(1/3)}^{61-05}$ とその変動係数の%値 $(H_{\sigma 50(1/3)}^{61-05}/H_{50(1/3)}^{61-05}) \times 10^2$ の空間分布を示す。 $H_{\sigma 50(1/3)}^{61-05}$ は 50 年確率波高 $H_{50(1/3)}^{61-05}$ の標準偏差であり、 σ は標準偏差を表す。45 年間の極大風速資料に対する極値統計解析から得た 50 年確率風速とその変動係数の空間分布はすでに山口ら^[31]に与えている。50 年確率波高は湾外境界付近で 8 m をとり、湾外の広い範囲で 6 m を越える。浦賀水道では北部の富津岬付近の 4~5 m に向けて漸減する。湾内では南側から中央、北側に向けて 3 m 波高域が拡がり、湾奥の東京港付近と横浜の沖合に 4 m 域も出現する。また、3 m 波高域の西側では西岸に向けて波高は 2 m に、その東側では東岸に向けて 2.5 m になる。変動係数は湾外で 4~9%，湾内で 4~6% であり、湾外および湾内のいずれでも SW-NE 方向の中央軸線に沿った周辺海域で小さく、沿岸部で大きい。

Fig. 31 は期間最大波高 H_{max}^{61-05} と 50 年確率波高 $H_{50(1/3)}^{61-05}$ の相対的大きさの差を $(H_{max}^{61-05}/H_{50(1/3)}^{61-05} - 1.0)$ の%値として示したものである。資料期間 (45 年) と再現期間 (50 年) は相互に近い値をもつことから、両者の比較は可能であろう。上記の差は広い範囲で $\pm 3\%$ 以内に納まるが、湾外の西側や湾奥の北東側と南東側では期間最大波高 H_{max}^{61-05} が 50 年確率波高 H_{50} と比べて 6% 以上大きい。これは期間最大波高 H_{max}^{61-05} 、すなわち年別最大波高資料のうち第 1 位値が第 2 位値よりかなり突出した値をとる特徴を示唆する。

Table 3 は推算資料および観測資料^{[28], [29]}より得た年別最大波高資料に対する極値統計解析に基づく相関係数 ρ 、50 年確率波高 H_{50} とその標準偏差 $H_{\sigma 50}$ の一覧を解析条件 (資料期間、資料年数 K 、使用資料数 N 、資料採択率 ν) とともに東京灯標、千葉観測塔、第 2 海堡、アシカ島、浜金谷の 5 地点に

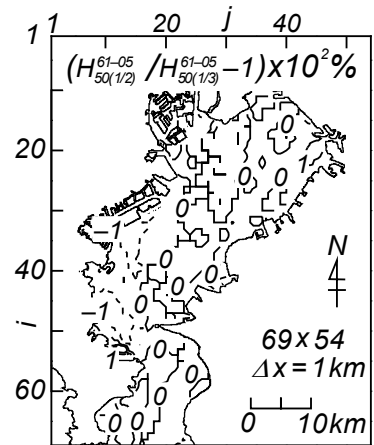


Fig. 29 Effect of data censoring ratio ν on the estimate of 50-year return wave height H_{50}^{61-05} in Tokyo Bay.

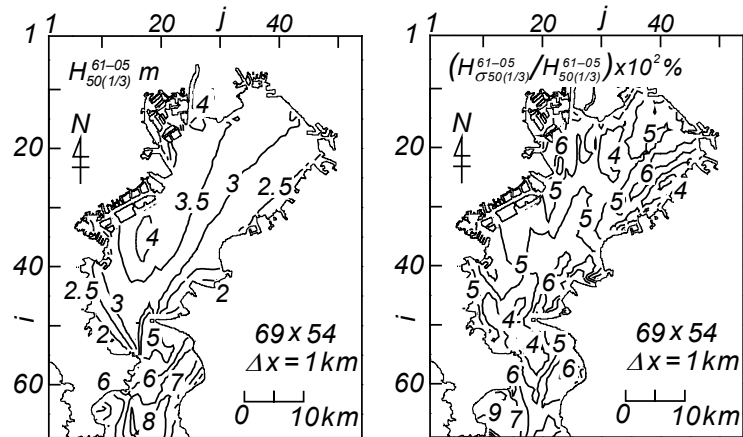


Fig. 30 50-year return wave height $H_{50(1/3)}^{61-05}$ and percentage expression of its variation coefficient (standard deviation $H_{\sigma 50(1/3)}^{61-05}$ divided by 50-year return wave height) $(H_{\sigma 50(1/3)}^{61-05}/H_{50(1/3)}^{61-05}) \times 10^2$ in Tokyo Bay estimated using the annual maximum data during the period of 1961 - 2005.

ついて示す。推算資料を用いた解析は観測資料期間（資料採択率 $\nu=1$ ）および1961～2005年の45年間（ $\nu=1/3$ と1）の2通りの資料について行う。

東京灯標（1969～2004年の資料のうち、1982年以前の資料および1985年の資料は水圧式波高計による資料）において観測資料に基づく50年確率波高 H_{50} と標準偏差 $H_{\sigma 50}$ は 3.63 ± 0.29 m、同じ期間の推算資料に基づく50年確率波高と標準偏差は 3.56 ± 0.25 mであり、両者はほぼ符合する。45年間の推算資料では50年確率波高と標準偏差は $\nu=1$ に対して 3.81 ± 0.20 m、 $\nu=1/3$ に対して 3.79 ± 0.20 mであるから、確率波高はわずかに増大し、標準偏差は一致する。千葉観測塔でも50年確率波高と標準偏差は観測資料に対して 3.05 ± 0.39 m、推算資料に対して 3.06 ± 0.19 mであるから、50年確率波高はほぼ一致し、標準偏差は観測資料の場合に大きい。推算資料期間45年に対しても同程度の値が得られているが、 $\nu=1/3$ の場合の標準偏差が $\nu=1$ の場合より大きい。第2海堡では観測資料および同じ期間の推算資料では50年確率波高はそれぞれ2.23 mと2.84 m、45年間の推算資料で3.22 m（ $\nu=1$ ）、3.21 m（ $\nu=1/3$ ）である。波浪推算における地形解像度は1 kmであるので、第2海堡付近の地形が必ずしも適切に表現されないことから、推算資料は観測資料より大きい確率波高の推定値を与える。

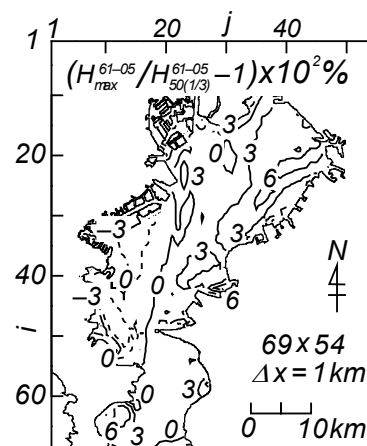


Fig. 31 Percentage expression of one-subtracted ratio of largest wave height during the period of 1961-2005 to 50-year return wave height

$$\left(\frac{H_{max}^{61-05}}{H_{50(1/3)}^{61-05}} - 1 \right) \times 10^2 \text{ in Tokyo Bay.}$$

Table 3 Comparison of 50-year return wave height H_{50} and its standard deviation $H_{\sigma 50}$ estimated from data samples of annual maximum wave height based on hindcasts and measurements in Tokyo Bay.

location	data	period	K yrs.	N	ν	ρ	H_{50} m	$H_{\sigma 50}$ m
Tokyo	cal.	61-05	45	15	1/3	0.984	3.79	0.20
	cal.	61-05	45	45	1	0.995	3.81	0.20
to-hyo	cal.	69-04	36	36	1	0.991	3.56	0.25
	obs.	69-04	36	36	1	0.996	3.63	0.29
Chiba obs. tower	cal.	61-05	45	15	1/3	0.995	3.13	0.16
	cal.	61-05	45	45	1	0.993	3.05	0.10
	cal.	94-03	10	10	1	0.988	3.06	0.19
	obs.	94-03	10	10	1	0.995	3.05	0.39
Daini- kaiho	cal.	61-05	45	15	1/3	0.986	3.21	0.13
	cal.	61-05	45	45	1	0.991	3.22	0.17
	cal.	88-05	18	18	1	0.992	2.84	0.18
	obs.	88-05	18	18	1	0.985	2.23	0.13
Ashika- jima	cal.	61-05	45	45	1/3	0.991	6.50	0.37
	cal.	61-05	45	15	1	0.992	6.48	0.43
	cal.	88-05	18	18	1	0.992	6.28	0.69
	obs.	88-05	18	18	1	0.958	6.96	0.86
Hama- kanaya	cal.	61-05	45	15	1/3	0.991	7.28	0.40
	cal.	61-05	45	45	1	0.994	7.24	0.38
	cal.	74-90	17	17	1	0.978	8.01	0.80
	obs.	74-90	17	17	1	0.989	7.29	2.01

ex. 61-05 : 1961-2005

湾外のアシカ島では観測資料および同じ期間の推算資料に基づく 50 年確率波高は 6.96 m と 6.28 m, 45 年間の推算資料に基づく値は 6.48 m ($\nu=1$), 6.50 m ($\nu=1/3$) であり, 推算資料に基づく推定値がやや小さい。しかし, 標準偏差は観測資料で 0.86 m, 推算資料(観測資料期間)で 0.69 m とかなり大きいことから, これを考慮すると, 両者の対応は悪くない。浜金谷では観測資料および同じ期間の推算資料に基づく 50 年確率波高は 7.29 m と 8.01 m, 45 年間の推算資料に基づく値は 7.24 m ($\nu=1$), 7.28 m ($\nu=1/3$) である。標準偏差はとくに観測資料では 2.01 m と非常に大きく, 推算資料でも 0.80 m とかなり大きいことから, 突出した第 1 位値によって確率波高の信頼性が低くなっている。また, 推算資料では資料期間の増加によって標準偏差は小さくなり, 確率波高推定値の信頼性が向上する。なお, 確率波高の推定値に及ぼす採択率の影響は有意でない。また, 標準偏差に及ぼす影響は必ずしも一貫性をもたない。

以上, 推算資料および観測資料に基づく 50 年確率波高は比較的近い値をとるが, 湾外と湾内の境界に位置する第 2 海堡では波浪推算における地形解像度の不足のため, 推算資料に基づく結果がやや大きい値を与える傾向にある。

5.2 伊勢湾における波高の極値

(1) 期間最大波高

1961~2005 年の 45 年間 104 ケースのストーム別最大波高資料より得た期間最大波高 H_{max}^{61-05} と波向の空間分布を Fig. 32 に示す。期間最大波高は湾外では南東側の 12 m から湾口の 6~7 m に向けて小さくなる。波向は SSW~S から SSE 方向に若干変わる。湾内では 5 m の等波高線が湾口から北側へ, また湾口の沖合から北西側に広がっており, 6 m 波高域も北西岸沖合にごく局所的に出現する。南西側や北東側で波高は 4 m, 湾奥の名古屋港付近で 3 m を与える。波向は 5 m 波高域の SE 方向を中心に南西側で E 方向に, 北東側で S 方向に傾く。三河湾内では波高は湾入口の 4 m から湾奥の 2.5 m 以下に向けて小さくなる。波向は S から W に変わる。期間最大波高は湾外においては T7220 号と T7920 号, 湾内において湾口から延びる 5 m 波高域では T7220 号, 北東側 5 m 等波高線の北東側と三河湾の北側では T6118 号, 南西側 5 m 等波高線の南西側では T8719 号と, T6126 号, T6524 号, 三河湾の南側で T6734 号によって生じている。概略で見れば, 45 年間の期間最大波高は伊勢湾の湾外では T7220 号と T7920 号, 湾内では T7220 号と T6118 号によってほぼ生じていると言える。

(2) 50 年確率波高

Fig. 33 は資料採択率を $\nu=1/2$ と $1/3$ とした場合に, 50 年確率波高に及ぼす資料採択率 ν の影響を 50 年確率波高の相対差の % 値 $(H_{50(1/2)}^{61-05}/H_{50(1/3)}^{61-05} - 1) \times 10^2$ の空間分布として表す。相対差は対象領域のほぼ全体で ± 3 % 以内, 大部分の

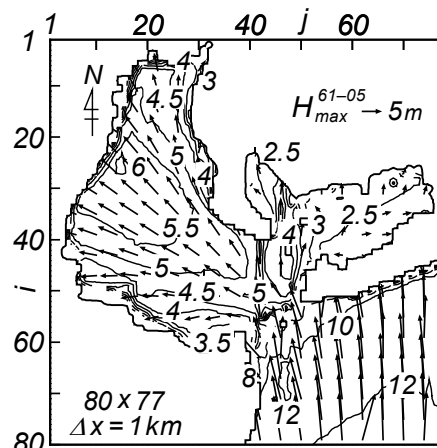


Fig. 32 Largest wave height H_{max}^{61-05} and its wave direction in Ise Bay during the period of 1961 - 2005.

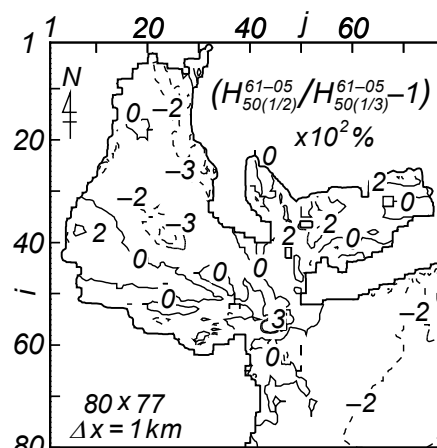


Fig. 33 Effect of data censoring ratio ν on the estimate of 50-year return wave height H_{50}^{61-05} in Ise Bay.

海域で±2%以内に納まることから、資料採択率の影響はおおむね有意でない。

Fig. 34 は資料採択率を $\nu=1/3$ として得た 50 年確率波高 $H_{50(1/3)}^{61-05}$ とその変動係数の%値 $(H_{\sigma_{50(1/3)}^{61-05}}/H_{50(1/3)}^{61-05}) \times 10^2$ の空間分布を表す。

50 年確率波高は湾外南東端の 13 m から湾口の 6~7 m に向けて減少する。湾内では、5 m 波高線が湾口の北側および湾口の沖合から NW 方向に広がっており、北西岸沖合で 5.5 m 波高域もみられる。湾内の南西側や北東側で波高は 4 m、名古屋港付近で 3 m をとる。三河湾では湾入口の 3~4 m から湾奥の 2 m に向けて小さくなる。変動係数は 2~12% の範囲にあり、8% 以内の値をとる湾外に比べて湾の北側や南西岸および三河湾では 10% 以上と大きい。

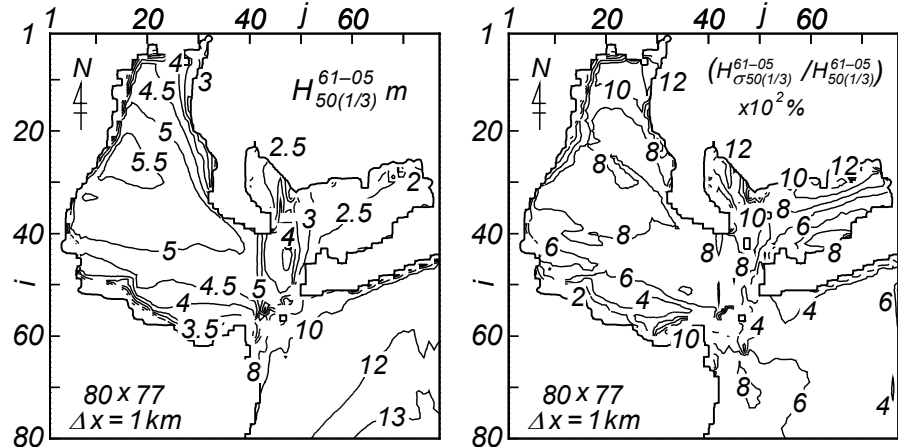


Fig. 34 50-year return wave height $H_{50(1/3)}^{61-05}$ and percentage expression of its variation coefficient (standard deviation $H_{\sigma_{50(1/3)}^{61-05}}$ divided by 50-year return wave height) $(H_{\sigma_{50(1/3)}^{61-05}}/H_{50(1/3)}^{61-05}) \times 10^2$ in Ise Bay estimated using the annual maximum data during the period of 1961 - 2005.

Fig. 35 は 45 年間の期間最大波高 H_{max}^{61-05} と 50 年確率波高 $H_{50(1/3)}^{61-05}$ の相対差の%値 $(H_{max}^{61-05}/H_{50(1/3)}^{61-05} - 1) \times 10^2$ を、Fig. 36 は期間最大 (第1位) 波高 H_{max}^{61-05} と第2位波高 H_{max2}^{61-05} の相対差 (突出率) の%値 $(H_{max}^{61-05}/H_{max2}^{61-05} - 1) \times 10^2$ をそれぞれ空間分布図として与える。期間最大波高と 50 年確率波高の差は湾内の広い範囲で 6% 以内に納まるけれども、南西側および湾奥のごく一部および三河湾の

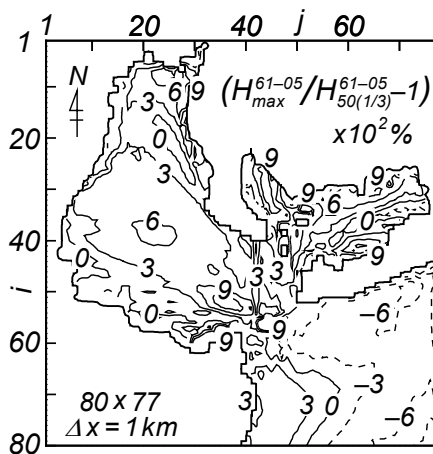


Fig. 35 Percentage expression of one-subtracted ratio of largest wave height during the period of 1961-2005 to 50-year return wave height $(H_{max}^{61-05}/H_{50(1/3)}^{61-05} - 1) \times 10^2$ in Ise Bay.

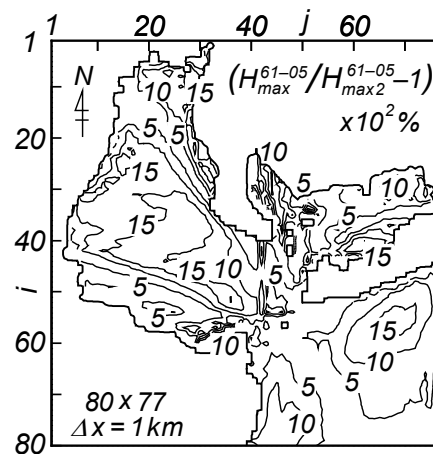


Fig. 36 Percentage expression of one-subtracted ratio of largest wave height to second largest wave height $(H_{max}^{61-05}/H_{max2}^{61-05} - 1) \times 10^2$ in Ise Bay during the period of 1961 - 2005.

多くの海域では期間最大波高は50年確率波高より9%以上大きい。上記の海域では期間最大(第1位)波高が年別最大波高資料における第2位波高に比べて突出した値をとるため、最適分布は正側に裾を引く分布で表される傾向にあり、期間最大波高に比べて50年確率波高がより小さくなる。一方、湾外では期間最大波高は南東側で50年確率波高より3~6%小さい。これらの海域では期間最大(第1位)波高と第2位波高の差が小さいため、最適分布は尖った分布で表される傾向にあり、50年確率波高が期間最大波高に近いが、より小さくなる。したがって、Fig. 35 と Fig. 36 の空間分布の状況はよく対応するが、湾外の北側、あるいは湾の中央のように期間最大(第1位)波高が第2位波高よりかなり大きい(突出率が大きい)ときでも、期間最大(第1位)波高と50年確率波高の差が6%以内にとどまるか、あまり差がない場合がある。

Table 4 は観測資料および推算資料に基づく50年確率波高 H_{50} とその標準偏差 $H_{\sigma 50}$ の推定値を四日市について示す。推算資料に基づく値は観測資料期間と45年間の両者について与える。伊勢湾の北西端に位置する四日市では、観測資料および推算資料に基づく50年確率波高はそれぞれ3.70 m と 3.94 m, 45年間の推算資料に基づく50年確率波高は4.24 m ($\nu=1/3$), 4.30 m ($\nu=1$) であるから、推算資料に基づく結果がやや大きい。観測資料の時間間隔は1977~1996年の資料期間のうち、1986年6月以前では2時間、それ以降で1時間であり、異常波高時に欠測を伴う場合もあること、波浪推算の時間間隔は1分、地形解像度は1 km であることを考慮すると、推算資料に基づく確率波高の推定値が観測資料によるものより大きいのはある程度予想される。要するに、この結果は周辺地形の複雑な伊勢湾内の観測資料と推算資料の整合性をとることが容易でないことを示唆する。また資料期間を延長すれば、この場合には最大級の異常波高が新たに年最大波高資料に含まれるので、50年確率波高の推定値は大きくなる。

Table 4 Comparison of 50-year return wave height H_{50} and its standard deviation $H_{\sigma 50}$ estimated from data samples of annual maximum wave height based on hindcasts and measurements in Ise Bay.

location	data	period	K yrs.	N	ν	ρ	H_{50} m	$H_{\sigma 50}$ m
Yokkaichi	cal.	61-05	45	15	1/3	0.989	4.24	0.24
	cal.	61-05	45	45	1	0.993	4.30	0.27
	cal.	77-96	20	20	1	0.981	3.94	0.28
	obs.	77-96	20	20	1	0.975	3.70	0.64

ex. 61-05 : 1961-2005

6. 結 語

本研究で得た知見はつぎのようである。

- 1) 風速・風向の時系列や最大風速に関して、推定値と観測値は平均的にみてよく符合する。
- 2) 波高時系列に対して推算値と観測値は全体的によく一致する。ストーム別最大波高に対しても、外洋波浪の影響が大きい東京湾外や伊勢湾外の観測地点で推算値と観測値は比較的よく符合するが、湾内の観測地点で推算値が観測値よりやや大きい傾向にある。
- 3) 各観測地点における各ストーム時の推定風速・風向および波高資料の誤差指標を東京湾および伊勢湾の全観測地点の多数ケースについてそれぞれ集積して得た頻度分布によれば、風速・風向に関して推定値と観測値のよい対応が統計的に支持される。波高に関しては、推算値は個々の時点について平均的に観測値より10%以上大きい傾向を示す。一方、ストーム別最大波高については東京湾で3%

伊勢湾で8%の大きめの評価にとどまる。

4)1961～2005年の45年間において、東京湾に最大級の波高をもたらした主なストームはT7920号とT8506号、伊勢湾においては湾外でT7220とT7920号、湾内でT7220号とT6118号である。

5)50年確率波高の推定値に及ぼす資料採択率の影響は小さい。

6)東京湾における50年確率波高は湾外から湾口に向けて最大8mから5mに減少する。湾内では広い範囲で3mを越え、局所的に4mに達する。伊勢湾においては、湾外から湾口に向けて13mから6～7mに減じる。湾内では湾口から北側と北西側の海域に向けて広い範囲で5mを上まわる。

7)東京湾および伊勢湾における45年間の期間最大波高は50年確率波高とおおむね対応するが、期間最大波高が50年確率波高より6%以上大きい海域も存在する。また、伊勢湾の湾外では西側を除いて期間最大波高が50年確率波高より3%以上小さい。

8)観測資料およびこれと同じ期間の推算資料に基づく50年確率波高は東京湾内の観測地点では湾口に位置する第2海堡を除いてほぼ符合し、湾外の観測地点ではその標準偏差で表された変動範囲内に納まる。伊勢湾内の観測地点では推算資料に基づく値が大きめの値を与える傾向にある。

最後に、多量の風・波浪観測資料を提供戴いた多くの関係機関に深く感謝します。

参 考 文 献

- [1] 佐々木民雄・五十嵐 元：東京湾における台風時の波浪推算について，第23回海岸工学講演会論文集，pp.291-295，1976.
- [2] (財)日本気象協会：気象海象要覧 東京湾，港湾気象海象シリーズ⑬，417p.，1994.
- [3] 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.
- [4] 岡田弘三・川村 宏・鳥羽良明：東北Ⅱ波浪モデルに基づく浅海波浪予測手法，海の研究，Vol.4，No.5，pp.415-422，1995.
- [5] 河合弘泰・竹村慎治・原 信彦：東京湾における台風による高潮と高波の同時性と継続時間特性，海岸工学論文集，第49巻，pp.251-255，2002.
- [6] 村上智一・吉野 純・深尾宏矩・安田孝志・飯塚 聡・下川信也：大気-海洋-波浪結合モデルを用いた可能最大級台風による東京湾の高潮予測，海洋開発論文集，第27巻，2011.
- [7] 村上智一・深尾宏矩・吉野 純・安田孝志・飯塚 聡・下川信也：温暖化による台風強大化に伴う東京湾での最大級高潮と波浪の時空間分布，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol.67，No.1，2011 (印刷中) .
- [8] 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.
- [9] 橋本典明・川口浩二・池上正春・鈴山勝之：東京湾におけるWAMの波浪推算特性に関する検討，海洋開発論文集，第20巻，pp.845-850，2004.
- [10] 川口浩二・橋本典明・杉本 彰：内海域における波浪推算精度向上を目的とした第3世代波浪推算モデルWAMの改良，海岸工学論文集，第50巻，pp.191-195，2003.
- [11] 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.
- [12] 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-，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol.B2-65，No.1，

- pp.191-195, 2009.
- [13] 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ー関東沿岸海域の場合ー, 工学ジャーナル (愛媛大学), 第 9 巻, pp.14-26, 2010.
- [14] 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・内海における波浪の長期推算システムの適用性, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.66, No.1, pp.151-155, 2010.
- [15] 井島武士・伊藤昭二・青野 尚：伊勢湾台風による外海及び伊勢湾沿岸の波, 第 7 回海岸工学講演会講演集, pp.149-161, 1960.
- [16] 岩垣雄一・柿沼忠男：海岸波浪の予知に関する研究 (第 1 報) —伊勢湾台風時における沖波の推算一, 京大防災研究所年報, 第 5 号 A, pp.284-295, 1962.
- [17] 柴木秀之・渡辺 晃・磯部雅彦・三原正裕：浅海波浪推算モデルとその応用に関する研究, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp.341-345, 1995.
- [18] 小林智尚・座沢慎一郎・安田孝志：波浪推算モデル SWAN による伊勢湾台風時波浪の再現, 海岸工学論文集, 第 50 巻, pp.181-185, 2003.
- [19] (財) 日本気象協会：気象海象要覧 伊勢湾・三河湾, 港湾気象海象シリーズ⑮, 394p., 1996.
- [20] 佐藤 清・柴木秀之・鈴山勝之：伊勢湾海岸保全施設の越波量を指標とした安全性の点検, 海岸工学論文集, 第 50 巻, pp.656-660, 2003.
- [21] 吉野 純・小林孝輔・小島弘展・安田孝志：大気・海洋力学的手法に基づく伊勢湾の可能最大高潮・波浪の評価, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.B22-65, No.1, pp.396-400, 2009.
- [22] 村上智一・深尾宏矩・吉野 純・安田孝志：現在気候の下での最大級台風による伊勢湾の可能最大高潮, 海洋開発論文集, 第 27 巻, 2011.
- [23] 村上智一・深尾宏矩・吉野 純・安田孝志：温暖化シナリオ A1B の下で今世紀末に予想される最大級台風による伊勢湾全域の高潮・高波, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.67, No.1, 2011 (印刷中) .
- [24] 小林智尚・樋口喬士・大澤輝夫・安田孝志：波浪推算による中部国際空港人工島の波浪場への影響評価, 海岸工学論文集, 第 50 巻, pp.196-200, 2003.
- [25] 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ー伊勢湾の場合ー, 海岸工学論文集, 第 53 巻, pp.116-120, 2006.
- [26] 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ー伊勢湾の場合ー, 工学ジャーナル (愛媛大学), 第 9 巻, pp.27-39, 2010.
- [27] 国土交通省中部地方整備局名古屋港湾空港技術調査事務所：管内設計沖波検討調査 (http://www.pa.cbr.mlit.go.jp/MEIGI/br_ex_report/h_17.html), 2007.
- [28] 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), 第 8 巻, pp.118-128, 2009.
- [29] 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風速・波高・高潮偏差の再現確率値の推定, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.66, No.1, pp.131-135, 2010.
- [30] 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, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.B2-65, No.1, pp.186-190, 2009.
- [31] 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), 第 9 巻, pp.1-13, 2010.

- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] 山口正隆・畑田佳男・細野浩司・日野幹雄：エネルギー平衡方程式に基づく浅海波浪の数値予知モデルについて，第 31 回海岸工学講演会論文集，pp.123-127，1984.
- [35] 山口正隆・西岡賢嗣・田中浩二：構造物が存在する場合の不規則波に伴う海浜流の数値モデル，海岸工学論文集，第 37 巻，pp.190-194，1990.
- [36] 合田良實：[増補改訂] 港湾構造物の耐波設計—波浪工学への序説—，11.極値統計解析，鹿島出版会，pp.267-326，1990.
- [37] 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.
- [38] (財) 日本気象協会：1940～1970 台風経路図 30 年集，日本気象協会，139p., 1973.
- [39] 力武常次・竹田 厚 (監)：日本の自然災害，国会資料編纂会，637p., 1999.
- [40] 和達清夫監修：新版気象の事典，付録 気象災害年表，東京堂出版，pp.584-616，1989.
- [41] 饒村 曜：続・台風物語，(財) 日本気象協会，295p., 1993.
- [42] 高橋 博・竹田 厚・谷本勝利・郡司嘉宣・磯崎一郎：沿岸災害の予知と防災—津波・高潮にどう備えるか—，白亜書房，408p., 1988.
- [43] 宮崎正衛：高潮の研究 その実例とメカニズム，成山堂書店，134p., 2003.
- [44] 永井紀彦・菅原一晃・渡邊 弘・川口浩二：全国港湾海洋波浪観測年報 (NOWPHAS 1995)，港湾技術資料，No.859，318p., 1997.
- [45] 気象庁：気象要覧，第 1225 号 (9 月号)，pp.39-41，第 1226 号 (10 月号)，pp.14-21，2001.
- [46] 気象庁：気象要覧，第 1238 号 (10 月号)，pp.22-25，p.33，2002.
- [47] 気象庁：1965 年第 23，24，25 号台風調査報告，気象庁技術調査報告，第 53 号，1966.
- [48] (財) 日本気象協会，気象要覧 関東東部沿岸海域，港湾気象海象シリーズ⑩，360p., 1991.
- [49] 気象庁：気象要覧，第 1189 号 (9 月号)，pp.28-29，第 1190 号 (10 月号)，pp.26-29，1998.
- [50] 気象庁：気象要覧，第 1190 号 (10 月号)，pp.48-49，第 1191 号 (11 月号)，pp.15-21，1998.
- [51] <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2003/20030807/20030807.html>