

内湾・内海の風・波浪観測地点における推算資料を用いた風速・波高の 再現確率値の推定

Estimating Return Values of Wind Speeds and Wave Heights at Measurement Stations Using Hindcast Data Samples in the Inner Bay Areas and the Inland Sea of Japan

山口正隆*・野中浩一**・畑田佳男***

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

Hatada et al.(2011) and Yamaguchi et al.(2012) conducted a shallow water wave hindcasting for each of more than 100 intense storms in the past nearly 100 years from 1911 to 2005 for the longest year period independently in Tokyo Bay, Ise Bay and the Seto Inland Sea of Japan, and then estimated the spatial distributions of the return values of wind speeds and wave heights. Input wind distributions were made by applying a method developed by Yamaguchi et al.(2009) to the SDP(Surface Data Product) wind data acquired at on-land meteorological stations around each concerned sea area. This paper discusses the characteristics of the return values at the measurement stations in the sea areas extracted from data samples of the original distributions. Main findings are as follows. 1)Annual maximum data samples of not only the measured storm surge heights but also the hindcast wind speeds and wave heights indicate the occurrence of their largest values at earlier years in the data period and the resulting non-stationary decreasing trends. 2)The return values of wind speeds and wave heights estimated using both the hindcast data samples and the measured data samples are in overall agreement. 3)A year period of the data samples should be taken for as long a period as possible for a proper estimation of the return values. 4)In spite of their strong area-dependency, very rough estimates for the 100-year return values of wind speeds and wave heights are 40 - 45 m/s and 4- 5 m in the inner sea areas respectively.

Key Words ; return values, wind speeds, wave heights, hindcast data sample, measurement stations, Tokyo and Ise Bays, Seto Inland Sea

1. 緒 言

*愛媛大学名誉教授

Prof. Emeritus, Ehime University

** (前) 愛媛大学工学部環境建設工学科

(former) Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, 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

原稿受理 平成24年10月5日

わが国の人口と産業が集中する東京湾、伊勢湾、大阪湾を含む瀬戸内海において海上風速と波高の極値を適正に評価することは高潮の場合と同様に、防災対策の一環として重要な課題である。これらの極値の推定にあたっては、資料期間をできるだけ長くにとって最大級の実現値を可能なかぎりもれなく極値資料に取り込むことが極値推定値の信頼性を確保するうえで不可欠である。しかし、海上風・波浪の観測資料の測得期間は最長でも最近の35年程度と短いことから、これから推定した長い期間の再現確率値の信頼性に不確実性が残る。一方、周辺地形の影響を受ける内湾・内海において地形の影響を適正に評価した推算風資料を波浪推算に際して数十年以上にわたり得ることも容易でない。そのため、山口ら^[1]は対象海域周辺の陸上気象官署で約100年にわたり取得されてきた日原簿記載のSDP (Surface Data Product) 風資料等を利用して対象海域の海上風分布を推定する方法を開発し、その精度が有意であること^[2]を示した。そして、畑田ら^{[3], [4]}および山口ら^{[5], [6]}は最長で過去約100年間の異常ストーム（主として台風）に伴う最大風速や最大波高の推算資料から、風速・波高の期間最大値や再現確率値の空間分布を求め、その空間特性を明らかにした。

ここでは、各対象海域内で長期の風・波浪観測資料が得られている観測地点における推算風速・波高資料に対する極値統計解析結果を用いて、①観測資料と同じ期間の推算資料に基づく結果との比較により再現確率値の妥当性を確認し、②毎年資料が得られる1961～2005年の45年間資料および巨大台風に伴う1960年以前の資料を加えた2005年までの資料から求めた再現確率値の比較により、最大級の実現値を含む資料の期間拡張が再現確率値に及ぼす影響を調査し、検討しうる資料の範囲内で風速・波高の再現確率値を試行的に特定する。

2. 風速・波高の極値資料と解析方法

2.1 風速資料

東京湾から駿河湾とその沖合海域および周辺陸域からなる関東沿岸領域、伊勢湾・三河湾とその周辺陸域を含む伊勢湾領域、瀬戸内海とその周辺陸域を含む瀬戸内海領域の3領域において、各海域を囲むように位置する陸上気象官署で取得されたSDP風資料等から当該海域にある海上・沿岸の風観測地点における観測相当風を推定したのち、空間補間を通じて海上風の空間分布を求める山口ら^[1]の方法に基づく結果を用いる。この方法は、①最近の年代の期間年平均風速と対象年代の期間年平均風速を合致させることにより、風速資料の非等質性を地点別に調整した過去約100年のストーム時および常時の特別SDP風速資料の作成、②海上・沿岸観測地点におけるSDP風の補間と回帰式の適用による観測相当風速への変換（観測相当風向はSDP補間風向に等値）、③海上・沿岸観測地点における観測相当風等の空間補間による海上風分布の算定、よりなる。空間補間にあたっては、境界上の格子点に台風モデル風の埋込みを伴った表面風再解析値を与える。格子間隔は2kmである。時間間隔は1960年以前で10分間、1961～2005年で1時間であるが、いずれも日最大風の取込みを行っている。風の高度は10mとする。風速の高度変換には1/7乗則を用いる。期間長を2～3日としたストームのケース数は1960年以前の巨大台風に対して関東沿岸領域で20ケース（1911～1960年）、伊勢湾領域で12ケース（1921～1960年）、瀬戸内海領域で29ケース（1918～1960年）を数える。各地点の年別最大風速は該当する年の1ケース以上の台風時最大風速から求めた。一方、1961～2005年に対しては3領域ともに45年間1時間間隔資料から地点別に年別最大風速を抽出した。

対象地点は東京湾で東京灯標、千葉港観測塔、湾央地点、第2海堡、アシカ島、浜谷谷の6地点（長期の海上風観測資料が得られる地点は東京灯標のみ）、伊勢湾でブイA、ブイB、ブイ1、シーバースと城南（ここでは海上風観測資料なし）の5地点、瀬戸内海で大阪、MT局、神戸、佐田岬（沿岸地点）、大分、苅田の6地点である。

極値統計解析に使用する年別最大推算風速資料は、1960年以前では長くても2年間隔（ただし、東

京湾では1935~1937年3年間の資料を欠く)で資料が得られる東京湾の1932~2005年74年間の資料, 伊勢湾の1950~2005年56年間の資料, 瀬戸内海の1933~2005年73年間の資料とする。このほか, 既往の最上位値あるいは最上位値に近い年別最大値を取り込むために, 東京湾では1911~2005年の95年間資料(1931年以前では1911年と1917年の年別最大値資料のみ), 伊勢湾では1921~2005年85年間の資料(1949年以前では1921年と1934年の資料のみ), 瀬戸内海では1918~2005年88年間の資料(1933年以前では1918年と1921年の資料のみ)も対象とする。これは以下で述べる波高資料についても同じである。対象地点は各海域の海上部に位置し, とくに関東沿岸領域では東京湾内に限定される。Fig. 1は海上風推算領域を示す。

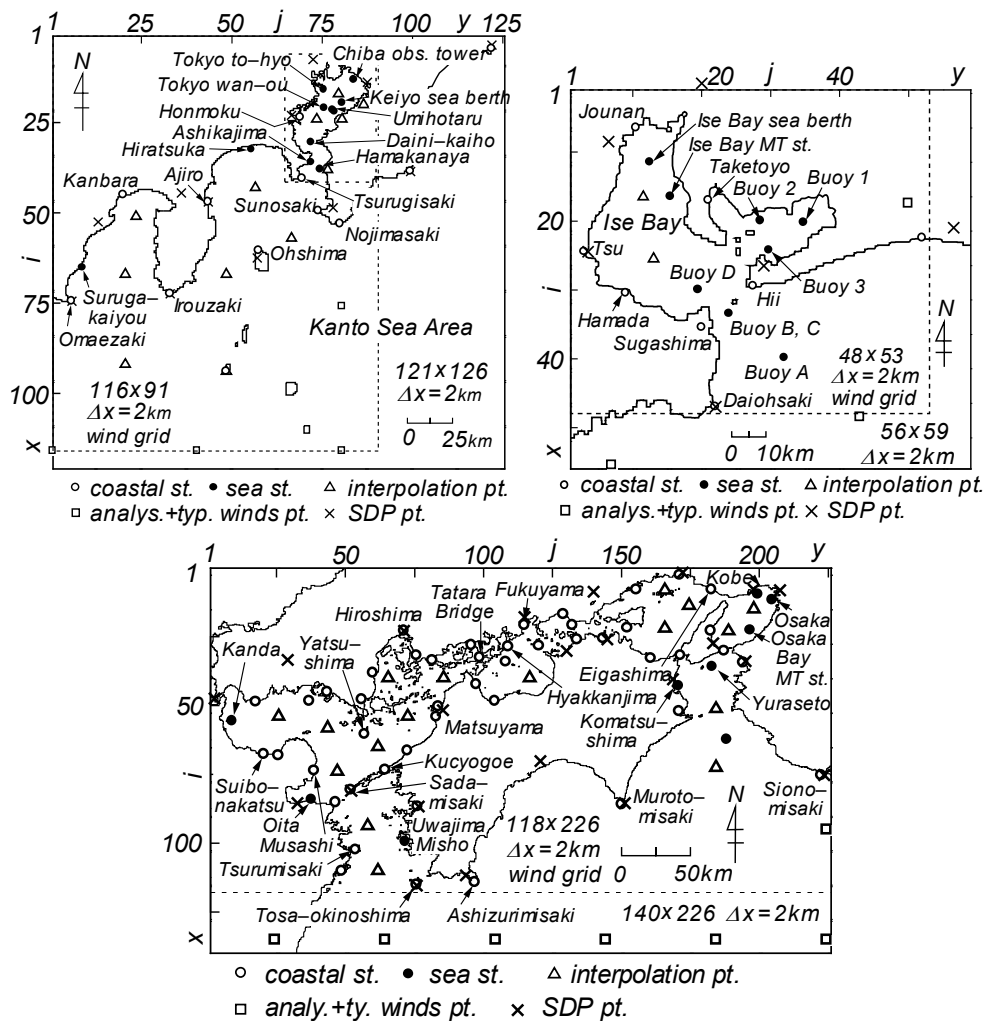


Fig. 1 Domains for wind estimation in Kanto sea area, Ise Bay and the Seto Inland Sea.

2.2 波高資料

年別最大波高資料を得るために, Fig. 2に示すように格子間隔1 km, 時間間隔1分としてそれぞれ東京湾, 伊勢湾(三河湾を含む), 瀬戸内海でストーム別に浅海波浪推算^{[2]~[6]}を行った。瀬戸内海は領域が広いことから, 東部海域(紀伊水道, 大阪湾, 播磨灘), 中部海域(燧灘, 水島灘など), 西部海域(伊予灘, 安芸灘, 周防灘, 豊後水道など)の3海域に分割した。入力条件とする海上風分布はSDP風資料に基づく上記の資料, 外洋開境界上に設けた格子点での流入境界条件は, 当該格子点で1点浅海モデルにより1時間ごとに計算した方向スペクトルの1分間隔で1 km間隔の補間値である。

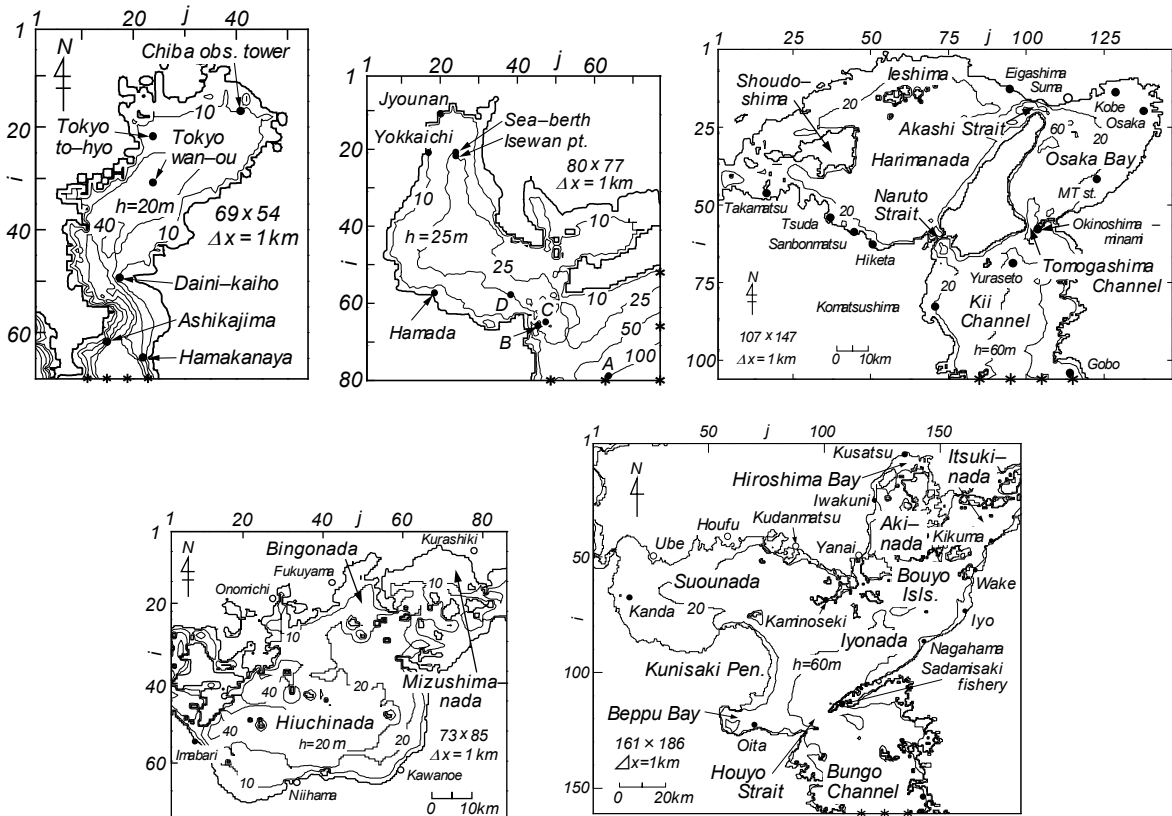


Fig. 2 Domains for wave hindcasting in Tokyo Bay, Ise Bay and three sea areas of the Seto Inland Sea.

この場合の海上風分布は北西太平洋領域における表面風再解析値に台風モデル風を埋め込んで作成した格子間隔 80 km の 1 時間間隔値に、上述した対象海域における格子間隔 2 km の 1 時間間隔値を重ねた資料である。開境界格子点の流出方向には完全流出条件，陸上境界では方向スペクトルが 0 の条件を課す。計算に用いる周波数データの個数は 0.047~1 Hz を不等分割した 20 個，方向データの個数は 0~360° を 20° で等分割した 19 個である。ただし，瀬戸内海の東部海域と西部海域では海峡部による Garden-Sprinkler 効果を低減するため，それぞれ 27 個および 24 個とする。

波浪推算のケース数は東京湾で 114 ケース (1911~1960 年で 20, 1961~2005 年で 94 のうち台風 38 とその他のストーム 56)，伊勢湾で 116 ケース (1921~1960 年で 12, 1961~2005 年で 104 のうち台風 67 とその他のストーム 37)，瀬戸内海では東部海域で 210 ケース (1918~1960 年で 29, 1961~2005 年で 181 のうち台風 71 とその他のストーム 110)，中部海域で 203 ケース (1918~1960 年で 29, 1961~2005 年で 174 のうち台風 80 とその他のストーム 94)，西部海域で 285 ケース (1918~1960 年で 29, 1961~2005 年で 256 のうち台風 139 とその他のストーム 117) であり，対象期間は 2~3 日とする。年別最大波高資料は該当する年のストーム時最大波高資料から作成した。

対象地点は主として 10 年間以上の波浪観測資料が得られる地点として，東京湾で東京灯標，千葉港観測塔，湾央地点 (ただし，観測資料期間は 7 年)，第 2 海堡，アシカ島，浜金谷の 6 地点，伊勢湾で四日市の 1 地点，瀬戸内海で東部海域の大阪，MT 局，神戸の 3 地点，西部海域の佐田岬漁港，大分，荻田の 3 地点の計 6 地点である。

極値統計解析に使用した年別最大推算波高資料は年別最大風速資料と同様に，最長の欠損間隔を 2 年 (東京湾における 1935~1937 年 3 年間の欠損を除く) とし，東京湾で 1932~2005 年 74 年間の資料，伊勢湾で 1950~2005 年 56 年間の資料，瀬戸内海の 3 海域でいずれも 1933~2005 年 73 年間の資料である。上述のように，東京湾では 1911~2005 年 95 年間の資料，伊勢湾では 1921~2005 年 85 年間の

資料，瀬戸内海では 1918～2005 年 88 年間の資料も対象とする。対象地点は波浪観測資料に基づく確率波高の推定値が得られる地点（波浪観測資料の期間が相対的に長く，測得率が高い地点）を基本とする。緒言で示唆したように，山口ら^[2]は海上・沿岸地点における SDP 風資料に基づく観測相当風の精度および推算波高に対する精度を，ストーム別最大風速・最大波高を含めてそれぞれ観測結果との個別および包括的な比較により確認している。

2.3 極値統計解析の方法

年別最大風速・波高資料に対する極値統計解析には，候補分布を Gumbel 分布，形状母数 $k=0.5\sim 10$ の 27 種類の Weibull 分布， $k=0.5\sim 40$ の 20 種類の FT-II 型分布の計 48 種類とし，各標本値への非超過確率の割当てを合田のプロットング公式，尺度母数 A と位置母数 B の推定を最小 2 乗法 (LSM)，最適分布の選択を相関係数最大基準，再現確率値の分散（平方根が標準偏差）の推定を jackknife 法に基づく Yamaguchi・Hatada^[7]の LSM モデルを用いる。

解析においては，資料数 N を資料年数 K と同じにする場合（資料採択率 $\nu=1$ ，観測資料^[8]とこれに対応する推算資料，および 1961～2005 年の 45 年間の推算資料）および資料数を $N=K/3$ とする場合（ $\nu=1/3$ ，1961～2005 年の 45 年間の推算資料および 1960 年以前の資料を含む 2005 年までの推算資料）を対象とする。実際の資料採択率が分数（1/3）で表されない場合もあるが，ここでは $\nu=1/3$ と等号を用いる。資料採択率を $\nu=1/3$ とする解析は，1960 年以前の対象台風のケース数が少なく全部の年別最大値資料が得られないこと，および対象台風は巨大台風を対象として選択されており，最大級の風速・波高の値がもれなく抽出されているとみなされることを考慮したためである。

3. 観測地点における確率風速・確率波高の特性

3.1 年別最大高潮偏差・風速・波高の経年変化

Fig. 3 は観測資料に基づく東京湾湾奥地点の年別最大高潮偏差（潮位偏差） η_{max}^{obs} ，推算資料に基づく東京灯標の年別最大（10 m 高度）風速 U_{max}^{cal} および年別最大（有義）波高 H_{max}^{cal} の経年変化（1911～2005 年）を示す。年別最大風速・波高に対する観測値はその期間が短いため，また図の錯綜を避けるため，掲載していない。Table 1 は上位 5 位までの各値の一覧を与える。これらは年別最大値であるが，その成因は台風であるので，生起年の代わりに台風名または台風番号を記載している。周知のように，1911 年以降の東京湾湾奥地点における最大観測高潮偏差（いずれも年別最大値）は第 1 位値か

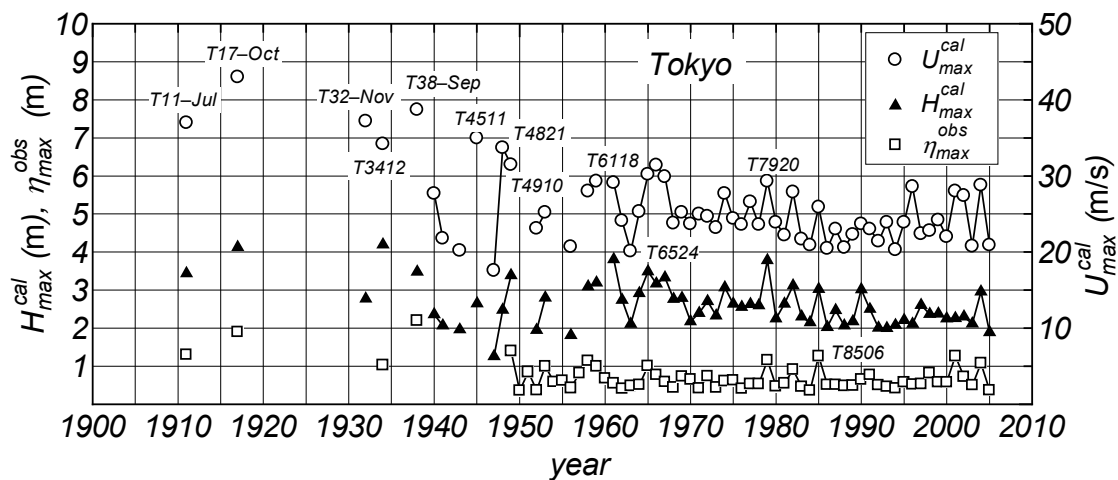


Fig. 3 Yearly variations of measured annual maximum storm surge heights at Tokyo point in the bottom of Tokyo Bay and hindcast annual maximum values of wind speeds and wave heights at Tokyo to-hyo.

ら第4位値まで順に 220 cm (1938 年 9 月台風 ; T38-Sept 台風), 190 cm (1917 年 10 月台風 ; T17-Oct 台風), 140 cm (1949 年のキティ台風 ; T4910 号), 130cm (1911 年 7 月台風 ; T11-Jul 台風) という 1950 年以前の台風時に生起しており, 1950 年以降の約 60 年間では 130 cm を下まわる。

1911 年以降の年別最大推算風速はこれに対応して 43.0 m/s (T17-Oct 台風), 38.7 m/s (T38-Sept 台風), 37.2m/s (1932 年 11 月台風 ; T32-Nov 台風) と第 1 位値から第 3 位値を示し, ついで 37.0 m/s (T11-Jul 台風), 35.0 m/s

(1945 年の T4511 号) がこれにつぐ。年別最大推算波高も 4.20 m (1934 年の室戸台風 ; T3412 号), 4.13 m (T17-Oct 台風), 3.81 m (1961 年の第 2 室戸台風 ; T6118 号) の順に第 1 位値から第 3 位値を占め, ついで 3.79 m (1979 年の T7920 号), 3.49 m (1965 年の T6524 号) の降順を示す。第 3 位値の波高を除き, 高潮偏差, 風速, 波高のいずれも 1940 年以前に上位 3 位までの値が生起し, 高潮偏差と風速において第 1 位値はやや突出した値をとる。波高の場合には水深の制約に伴う砕波の影響によりその値に頭打ちの傾向がみられる。

要するに, 年別最大の高潮偏差, 風速, 波高の 3 要素は古い時代で大きく 1970 年以降, とくに最近 (直近) の年代ほど小さい非定常的な変化傾向にある。高潮偏差は観測値, 風速・波高は推算値であっても, 相互に類似した経年変動を示すので, 風速・波高の挙動は推算値の誤差に伴う人為的な変化とはみなされない。

Fig. 4 は名古屋における年別最大高潮偏差の観測値および伊勢湾湾奥地点における年別最大風速・波高の推算値の経年変化 (1921~2005 年) を示す。Table 2 は上位 5 位までの値を与える。名古屋における 1950 年以降の最大観測高潮偏差の第 1 位~第 3 位値 (いずれも年別最大値) のうち第 1 位値は 1959 年の伊勢湾台風 (T5915 号) 時の 345 cm, 第 2 位値は 1961 年の第 2 室戸台風 (T6118 号) 時の 197 cm, 第 3 位値は 1972 年の T7220 号時の 196 cm, 第 4 位値は 1990 年の T9019 号時の 167 cm, 第

Table 1 Five largest annual maximum values of measured storm surge heights at Tokyo point in the bottom of Tokyo Bay and hindcast wind speeds and wave heights at Tokyo to-hyo.

Tokyo						
order	typ. name	η_{max}^{obs} cm	typ. name	U_{max}^{cal} m/s	typ. name	H_{max}^{cal} m
①	T38-Sep	220	T17-Oct	43.0	T3412	4.20
②	T17-Oct	190	T38-Sep	38.7	T17-Oct	4.13
③	T4910	140	T32-Nov	37.2	T6118	3.81
④	T11-Jul	130	T11-Jul	37.0	T7920	3.79
⑤	T8506	127	T4511	35.0	T6524	3.49

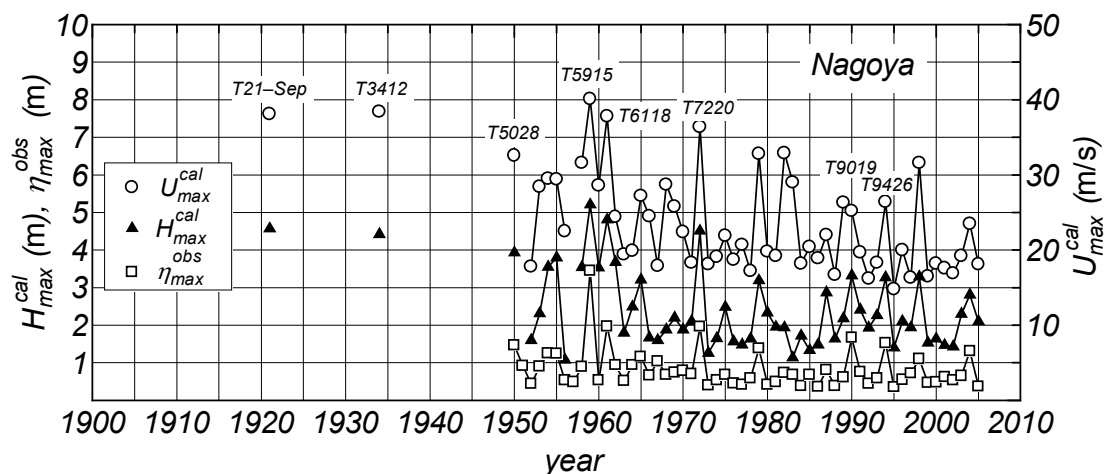


Fig. 4 Yearly variations of measured annual maximum storm surge heights at Nagoya point in the bottom of Ise Bay and hindcast annual maximum values of wind speeds and wave heights at Jounan.

5位値は1994年のT9426号時の152 cmであるから、伊勢湾台風(T5915号)に伴う第1位値が圧倒的に大きい。

1921年以降の年別最大推算風速の第1位～第3位値は順に伊勢湾台風(T5915号)時の40.1 m/s, 室戸台風(T3412号)時の38.4 m/s, 1921年9月台風(T21-Sep 台風)時の38.1m/s, 第4位値は第2室戸台風(T6118号)時の37.8 m/s, 第5位値はT7220号時の36.4m/sである。1921年以降の年別最大推算波高の第1位～第3位値は伊勢湾台風(T5915号)時の5.21 m, 第2室戸台風(T6118号)時の4.81 m,

Table 2 Five largest annual maximum values of measured storm surge heights at Nagoya point in the bottom of Ise Bay and hindcast wind speeds and wave heights at Jounan.

Nagoya						
order	typ. name	η_{max}^{obs} cm	typ. name	U_{max}^{cal} m/s	typ. name	H_{max}^{cal} m
①	T5915	345	T5915	40.1	T5915	5.21
②	T6118	197	T3412	38.4	T6118	4.81
③	T7220	196	T21-Sep	38.1	T21-Sep	4.57
④	T9019	167	T6118	37.8	T7220	4.51
⑤	T9426	152	T7220	36.4	T3412	4.42

T21-Sep 台風時の4.57 m, 第4位値はT7220号時の4.51 m, 第5位値は室戸台風(T3412号)時の4.42 mであるから、高潮偏差, 風速, 波高の第1位値はいずれも伊勢湾台風(T5915号)時に生じ, とくに高潮偏差の場合に突出する。波高値には砕波の影響が含まれるので, 与えられた水深に対して上限値をとる傾向にある。1950年以降の3要素の第2位値と第3位値は第2室戸台風(T6118号)時とT7220号時のいずれかで生じ, 1950年以前の年別最大風速・波高の上位値にはT21-Sep 台風や室戸台風(T3412号)が加わる。

伊勢湾奥地点でも最上位に連なる異常値はほぼ1972年以前に生起し, それ以降の年で, より低い値にとどまることから, 各資料は非定常な変化傾向を伴う。

Fig. 5 は大阪における年別最大高潮偏差の観測値および大阪湾湾奥地点における年別最大風速・波高の推算値の経年変化(1902～2005年)を示す。Table 3は上位5位までの値を与える。大阪では, 年別最大高潮偏差が25 cm以上の観測資料が1902年以降得られている。高潮偏差の第1位値は室戸台風(T3412号)時の292 cm, 第2位値は第2室戸台風(T6118号)時の245 cm, 第3位値は1950年のジェーン台風(T5028号)時の237 cm, 第4位値は1965年のT6523号時の216 cmである。200 cmを超える高潮偏差はこの4ケースに過ぎず, いずれも1965年以前に生起している。因みに, 第5位値は1964年のT6420号時の182 cmである。

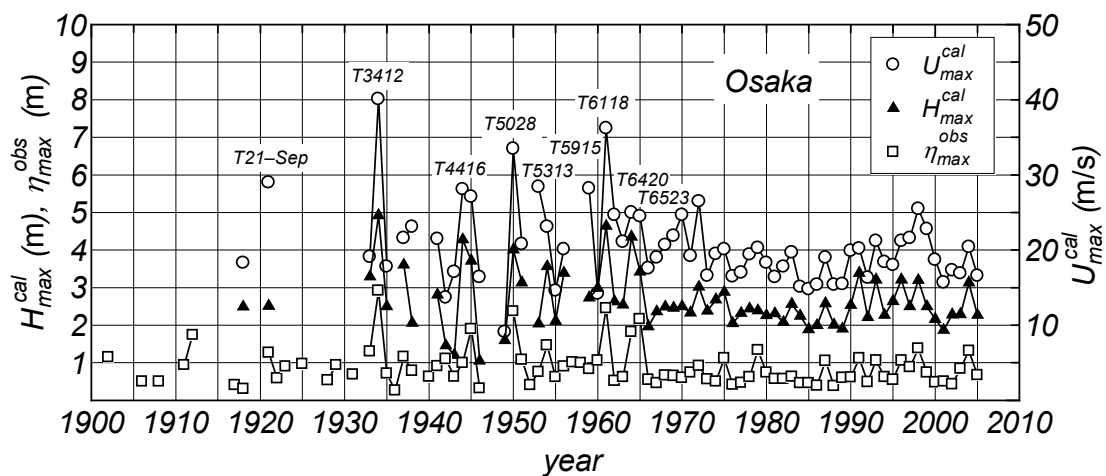


Fig. 5 Yearly variations of measured annual maximum storm surge heights at Osaka point in the bottom of Osaka Bay and hindcast annual maximum values of wind speeds and wave heights at Osaka (Port Tower).

1918～2005 年の年別最大推算風速の第 1 位値は室戸台風 (T3412 号) 時の 40.1 m/s, 第 2 位値は第 2 室戸台風 (T6118 号) 時の 36.2 m/s, 第 3 位値はジェーン台風 (T5028 号) 時の 33.5 m/s, 第 4 位値は T21-Sep 台風時の 29.0 m/s, 第 5 位値は 1953 年のテス台風 (T5313 号) 時の 28.4 m/s であり, 第 3 位値までの生起台風は高潮偏差の場合と同じである。推算波高の第 1 位値は室戸台風 (T3412 号) 時の 4.92 m, 第 2 位値は第 2 室戸台風 (T6118 号) 時の 4.64 m, 第 3 位値は T6420 号時の 4.35 m, 第 4 位値は 1944 年の T4416

Table 3 Five largest annual maximum values of measured storm surge heights at Osaka point in the bottom of Osaka Bay and hindcast wind speeds and wave heights at Osaka (Port Tower).

Osaka						
order	typ.	η_{max}^{obs}	typ.	U_{max}^{cal}	typ.	H_{max}^{cal}
	name	cm	name	m/s	name	m
①	T3412	292	T3412	40.1	T3412	4.92
②	T6118	245	T6118	36.2	T6118	4.64
③	T5028	237	T5028	33.5	T6420	4.35
④	T6523	216	T21-Sep	29.0	T4416	4.28
⑤	T6420	182	T5313	28.4	T5028	4.01

号時の 4.28 m, 第 5 位値はジェーン台風 (T5028 号) 時の 4.01 m である。いずれも 1965 年以前で最上位値および最上位近くに位置する異常値が生じており, 年別最大値はそれ以降であまり大きい変化を伴わない。

上述のことから, 東京湾, 伊勢湾, 大阪湾の湾奥地点では観測高潮偏差, 推算風速, 推算波高の年別最大値はほとんど 1972 年以前で第 1 位から上位 3～4 位までの値をとり, 1972 年以降ではより低い値で変動していることがわかる。以上の非定常的な経年変化の特性はここで取りあげた以外のいずれの観測地点でもみられる。極値統計解析に用いる LSM モデルでは年別最大値の大きさとその順位のみが入力情報になるので, 年別最大値の生起年や生起順序は解析に含まれない。すなわち, 標本の非定常性は考慮されない。

3.2 確率風速の特性

極値統計解析には観測資料期間に相当する期間および 1961～2005 年 45 年間の年別最大 (推算) 風速資料のほか, 東京湾で 1932～2005 年 74 年間および 1911～2005 年 95 年間の年別最大風速資料, 伊勢湾で 1950～2005 年 56 年間および 1921～2005 年 85 年間の資料, 瀬戸内海で 1933～2005 年 73 年間および 1918～2005 年 88 年間の資料を用いる。ただし, 1961～2005 年の資料の数は 45 年間 45 個 (毎年資料), 1960 年以前の資料の数は東京湾で 1932～1960 年の 29 年間 15 個および 1911～1960 年の 50 年間 17 個, 伊勢湾で 1950～1960 年の 11 年間 9 個および 1921～1960 年の 40 年間 11 個, 瀬戸内海で 1933～1960 年の 28 年間 20 個, 1918～1960 年の 42 年間 22 個である。解析では巨大台風時に限定された 1960 年以前の資料を含む 2005 年までの資料に対して資料採択率を $\nu=1/3$, 1961～2005 年の全年資料に対して $\nu=1/3$ および $\nu=1$ とする。また, 観測資料期間の資料に対して $\nu=1$ とする。以上の条件は年別最大波高資料に対しても同じである。

Fig. 6 は東京灯標における 1961～2005 年 45 年間の年別最大風速資料および 1932～2005 年 74 年間と 1911～2005 年 95 年間の年別最大風速資料に対する最適分布のあてはめ結果を Q-Q プロット図として示す。資料採択率はそれぞれ $\nu=1/3$ である。図中の U_{AMdata} は年別最大 (AM) 風速値, U_{AMcal} は最適分布を用いて得た各順位に相当する年別最大風速値を表す。相関係数 ρ_U は順に 0.971, 0.990 および 0.994 を与える。95 年間資料を除いて相関係数はやや小さいが, 各資料点はほぼ 45° 直線上に分布する。

Table 4 は推算風速資料および観測風速資料 (*印) に基づく 50 年・100 年確率風速 (U_{50}^K , U_{100}^K) とそれらの標準偏差 ($U_{\sigma 50}^K$, $U_{\sigma 100}^K$) および相関係数 ρ_U , 各資料期間中の第 1 位値 U_{max}^K と第 2 位値 U_{max2}^K ,

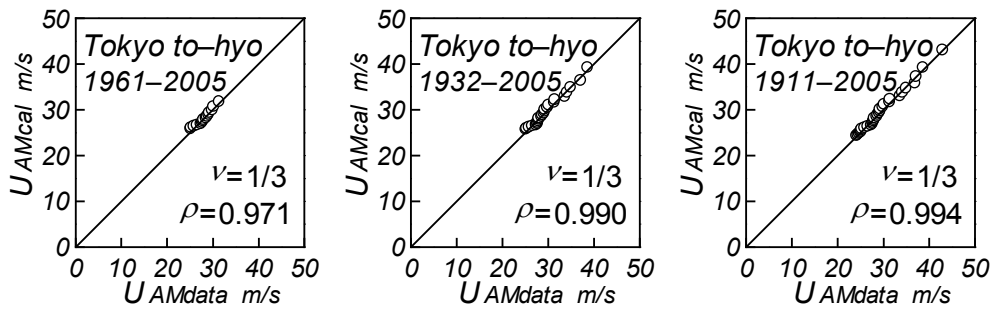


Fig. 6 Quantile-quantile plot of hindcast- and optimum distribution-based annual maximum wind speeds at Tokyo to-hyo.

1961～2005年の45年間資料に対する100年確率風速 U_{100}^{45} ($\nu=1/3$)を分母とする、各資料期間の資料に対する100年確率風速 U_{100}^K ($\nu=1/3$)の比 $\gamma_{U_{100}}^K (=U_{100}^K/U_{100}^{45})$ を解析条件(資料期間, 資料年数 K , 採択資料数 N , 資料採択率 ν)とともに示す。各変数の上側の添字は資料年数, 下側の添字は再現期間, を意味する。山口ら^[8]より採録した観測資料に基づく確率風速の再現期間は50年となっている。対象地点は25年以上の海上風観測資料が得られる東京湾湾奥の東京灯標, 伊勢湾に隣接する三河湾のブイ1(ただし, 14年), 大阪湾内のMT局, 瀬戸内海西部海域周防灘西部の荇田の合計4海上観測地点である。東京灯標における年別最大風速資料の解析は, ①観測資料期間に相当する推算資料期間1970～2004年の $K=35$ 年で推算資料および観測資料の両者に対して $\nu=1(N=35)$, ②1時間間隔の連続推算資料が得られる1961～2005年の推算資料期間 $K=45$ 年で $\nu=1/3(N=15)$ および $\nu=1(N=45)$, ③1932～2005年の推算資料期間 $K=74$ 年で $\nu=1/3(N=24)$, ④1911～2005年の推算資料期間 $K=95$ 年で $\nu=1/3(N=31)$, の条件で行う。他の3地点であるブイ1(推算資料期間1950～2005年の56年および1921～2005年の85年), MT局, 荇田(いずれも推算資料期間1933～2005年の73年および1918～2005年の88年)についても同様である。

東京灯標では35年間の観測資料と推算資料による50年確率風速 U_{50}^{35} と標準偏差 $U_{\sigma 50}^{35}$ はそれぞれ 30.3 ± 1.0 m/s, 30.2 ± 0.9 m/sであり, 相互にかなり近い値をとる。また, 45年間資料では確率風速に及ぼす資料採択率の影響は小さい。他の3地点の資料についてもほぼ同様の結果が得られるので, 以下では資料採択率の影響は述べない。一方, ①35年間資料で $U_{100}^{35}=31.1$ m/s ($\nu=1$), ②45年間資料で $U_{100}^{45}=32.3$ m/s ($\nu=1/3$), ③74年間資料で $U_{100}^{74}=38.7$ m/s ($\nu=1/3$), ④95年間資料で $U_{100}^{95}=41.2$ m/s ($\nu=1/3$)というように, 資料期間の拡張は確率風速推定値の有意な増加をもたらす。因みに, 45年間資料に基づく U_{100}^{45} を分母, 74年間資料および95年間資料に基づく U_{100}^K を分子とする100年確率風速比は順に $\gamma_{U_{100}}^{74}=1.20$ および $\gamma_{U_{100}}^{95}=1.28$ であるから, 100年確率波高にそれぞれ20%および28%の増加がみられる。ただし, 資料期間35年から45年への拡張に対して100年確率波高の増加は4% ($\nu=1/3$)または6% ($\nu=1$)にとどまる。上記の増大は, 資料期間の拡張に伴い45年の資料期間で第1位値と第2位値にあたる31.4 m/s (T6626号), 30.2 m/s (T6524号)や74年の資料期間で第1位～第3位値をとる38.7 m/s (T38-Oct台風), 37.2 m/s (T32-Nov台風), 35.0 m/s (T4511号), 95年の資料期間で第1位値43.0 m/s (T17-Sep台風), 第2位値38.7 m (T38-Oct台風), 第3位値37.2 m/s (T32-Nov台風), 第4位値37.0 m/s (T11-Jul台風), 第5位値35.0 m (T4511号)がそれぞれ年別最大風速資料に加わることによる。新たに加わる第1位値や第2位値などがそれ以前の第1位(年別最大)値と比べて突出した値をとる場合には, 確率風速(推定値)のみならず標準偏差も大きくなる。なお, 確率風速に関して定性的傾向をみると, つぎのことが言える。すなわち, 第2位値のみが大きくなる場合, 確率風速はやや増加し, 標準偏差は減少する。第1位値と第2位値が変わらない場合, 確率風速と標準偏差の両者が有意な程度にやや減少する。

Table 4 Result of extreme value analysis for annual maximum wind speed data sample at each of Tokyo to-hyo, Buoy 1, MT station and Kanda.

location	period	K yrs.	N	ν	ρ_U	U_{50}^K m/s	$U_{\sigma 50}^K$ m/s	U_{100}^K m/s	$U_{\sigma 100}^K$ m/s	U_{max}^K m/s	$U_{max 2}^K$ m/s	γ_{U100}^K
Tokyo to-hyo	11-05	95	31	0.33	0.994	38.5	2.1	41.2	2.6	43.0	38.7	1.28
	32-05	74	24	0.32	0.990	36.6	1.7	38.7	2.1	38.7	37.2	1.20
	61-05	45	15	0.33	0.971	31.5	0.7	32.3	0.9	31.4	30.2	1
	61-05	45	45	1	0.989	31.8	0.9	32.9	1.0	31.4	30.2	1.02
	70-04	35	35	1	0.984	30.2	0.9	31.1	0.9	29.3	28.8	0.96
	70-04*	35	35	1	0.994	30.3	1.0			30.9	28.4	
Buoy 1	21-05	85	28	0.33	0.995	39.6	2.4	42.6	2.9	43.3	39.2	1.04
	50-05	56	18	0.32	0.991	40.7	3.1	44.1	3.7	43.3	39.2	1.08
	61-05	45	15	0.33	0.952	36.1	3.8	40.8	5.0	39.2	38.5	1
	61-05	45	45	1	0.979	36.0	3.4	40.4	4.3	39.2	38.5	0.99
	91-04	14	14	1	0.994	29.4	2.7	31.3	3.3	27.7	25.1	0.77
	91-04*	14	14	1	0.991	27.9	2.8			26.2	23.1	
MT st.	18-05	88	29	0.33	0.970	43.2	2.5	46.5	2.9	45.0	44.9	0.97
	33-05	73	24	0.33	0.962	44.2	2.6	47.5	3.0	45.0	44.9	0.99
	61-05	45	15	0.33	0.977	43.8	4.0	47.8	4.8	45.0	43.0	1
	61-05	45	45	1	0.985	43.6	4.1	48.6	5.0	45.0	43.0	1.02
	79-05	27	27	1	0.982	31.6	1.5	32.9	1.6	30.1	29.5	0.69
	79-05*	27	27	1	0.993	28.1	1.1			27.8	27.0	
Kanda	18-05	88	29	0.33	0.995	34.9	1.4	36.6	1.6	37.3	33.9	1.07
	33-05	73	24	0.33	0.993	35.3	1.5	36.9	1.7	37.3	33.9	1.08
	61-05	45	15	0.33	0.990	33.1	1.2	34.3	1.4	32.9	32.5	1
	61-05	45	45	1	0.987	33.6	1.5	35.6	1.7	32.9	32.5	1.04
	81-05	25	25	1	0.983	34.3	2.1	36.3	2.4	32.9	30.4	1.06
	81-06*	26	25	0.96	0.980	33.4	3.3			32.6	28.8	

example of year period 11-05 : 1911-2005 W : Weibull distribution * : obs.

伊勢湾に続く三河湾のブイ 1 では 1991~2004 年 14 年間の観測資料および推算資料に基づく $U_{50}^{14} \pm U_{\sigma 50}^{14}$ はそれぞれ 27.9 ± 2.8 m/s, 29.4 ± 2.7 m/s であり, 推算資料に基づく U_{50}^{14} がやや大きいものの, 相互に近い値を与える。ついで, 資料期間の拡張の影響は, 上記の①14 年間資料に対して $U_{100}^{14} = 31.3$ m/s ($\nu = 1$), ②45 年間資料に対して $U_{100}^{45} = 40.8$ m/s ($\nu = 1/3$), ③56 年間資料に対して $U_{100}^{56} = 44.1$ m/s ($\nu = 1/3$), ④85 年間資料に対して $U_{100}^{85} = 42.6$ m/s ($\nu = 1/3$) であるから, 観測資料期間 14 年から資料期間 45 年の拡張に対して確率風速の推定値にかなりの増加がみられる。これは第 1 位値や第 2 位値などの圧倒的な増加による。しかし 45 年から 56 年への期間拡張に対して, 100 年確率風速比は $\gamma_{U100}^{56} = 1.08$ にとどまる。45 年の資料期間では第 1 位値は 39.2 m/s (T7220 号), 第 2 位値は 38.5 m/s (T6118 号), 56 年の資料期間では第 1 位値は 43.3 m/s (T5915 号), 第 2 位値は 39.2 m/s (T7220 号) と, 両者が若干大きくなる特徴を反映する。なお, 85 年間資料に対して T21-Sep 台風と T3412 号時の最大風速が第 4~第 5 位の上位値に加わる程度であるので, 資料期間の拡張に伴い 100 年確率風速 U_{100}^{85} は若干減少

し ($\gamma_{U_{100}}^{56}=1.08$ から $\gamma_{U_{100}}^{85}=1.04$ に), 標準偏差 $U_{\sigma_{100}}^{85}$ も 2.9 m/s と一層小さくなる。

大阪湾内の MT 局では 1979~2005 年の 27 年間における観測資料と推算資料に基づく $U_{50}^{27} \pm U_{\sigma_{50}}^{27}$ はそれぞれ 28.1 ± 1.1 m/s, 31.6 ± 1.5 m/s であり, 推算資料に基づく確率風速が 3.5 m/s 大きい。これは, 第 1 位値や第 2 位値にみられるように, 推算風速が観測風速よりやや大きいことによる。ついで, ① 27 年間資料に対して $U_{100}^{27}=32.9$ m/s ($\nu=1$), ② 45 年間資料に対して $U_{100}^{45}=47.8$ m/s ($\nu=1/3$), ③ 73 年間資料に対して $U_{100}^{73}=47.5$ m/s ($\nu=1/3$) となつて, 27 年から 45 年への資料期間の拡張は確率風速推定値に大きな増加をもたらす。しかし, 73 年間資料に基づく U_{100}^{73} は 45 年間資料による U_{100}^{45} とほとんど変わらないまま ($\gamma_{U_{100}}^{73} \approx 0.99$), その標準偏差は $U_{\sigma_{100}}^{45}=4.8$ m/s から $U_{\sigma_{100}}^{73}=3.0$ m/s に減少し, 確率風速推定値の信頼性が向上する。これは 45 年の期間に対して第 1 位値 45.0 m/s (T6118 号), 第 2 位値 43.0 m/s (T6420 号) などが 27 年間の資料に加わり, 確率風速のかなりの増加をもたらすが, 73 年の期間では第 1 位値 45.0 m/s (T6118 号), 第 2 位値 44.9 m/s (T5028 号) というように, 第 2 位値 (44.9 m/s) が若干大きくなるだけであるので, 73 年間資料に基づく確率風速は 45 年間資料に基づくものとほとんど変わらず, 標準偏差は $U_{\sigma_{100}}^{45}=4.8$ m/s から $U_{\sigma_{100}}^{73}=3.0$ m/s に小さくなる。同様に, ④の 88 年間資料に対しては新たに加わる年別最大風速がそれほど大きくないことから, 100 年確率風速 U_{100}^{88} と標準偏差 $U_{\sigma_{100}}^{88}$ はさらに若干減少する。

苅田では 1981~2006 年 26 年間の観測資料に基づく U_{50}^{26} と $U_{\sigma_{50}}^{26}$ および 1981~2005 年 25 年間の推算資料に基づく U_{50}^{25} と $U_{\sigma_{50}}^{25}$ はそれぞれ 33.4 ± 3.3 m/s, 34.3 ± 2.1 m/s である。確率風速にあまり差はないが, 標準偏差は観測資料の場合に大きい。一方, ① 25 年間推算資料に対して $U_{100}^{25}=36.3$ m/s ($\nu=1$), ② 45 年間資料に対して $U_{100}^{45}=34.3$ m/s ($\nu=1/3$), ③ 73 年間資料に対して $U_{100}^{73}=36.9$ m/s ($\nu=1/3$) であるから, 25~73 年の期間に対して確率風速 U_{100}^K の変化は 8%以内 ($\gamma_{U_{100}}^{25}=1.06$, $\gamma_{U_{100}}^{73}=1.08$) にとどまる。標準偏差 $U_{\sigma_{100}}^K$ は 2.4 m/s から 1.4 m/s, 1.7 m/s へと変化し, 推算値の信頼性が向上する。第 1 位値と第 2 位値は 25 年の期間で 32.9 m/s (T9119 号), 30.4 m/s (T0418 号), 45 年の期間で 32.9 m/s (T9119 号), 32.5 m/s (T7010 号), 73 年および 88 年の期間で 37.3 m/s (T4216 号), 年 33.9 m/s (T5522 号) である。すなわち, これらの値は資料期間の拡張に比べて突出した増加を示さないことから, 45 年から 73 年への資料期間の拡張に伴う確率風速の変化 ($\gamma_{U_{100}}^{73}=1.08$) もあまり大きくないと考えられる。なお, ④の 85 年間資料に対する 100 年確率風速 U_{100}^{85} と標準偏差 $U_{\sigma_{100}}^{85}$ の期間拡張による変化も小さい ($\gamma_{U_{100}}^{85}=1.07$)。

Table 4 によれば, 各領域における最長期間の資料に基づく確率風速推定値の精度が相関係数や標準偏差の値からみて, より短い期間の資料に基づく結果の精度と同程度か, より高い特徴が見出されるけれども, それぞれ 21 年 (東京湾の東京灯標), 29 年 (三河湾のブイ 1), 15 年 (大阪湾の MT 局, 瀬戸内海西部海域の苅田) の拡張期間のなかでわずか 2 個の年別最大値しか採用しておらず, 結果的にはこの期間の上位値を欠落する可能性が高い。したがって, 確率風速の推定結果の信頼性にやや不明確さを残すことから, ここでは各領域における③の資料期間に対する結果に基づく考察を主として行う。

Fig. 7 は東京湾で 74 年間, 伊勢湾で 56 年間, 瀬戸内海で 73 年間の推算風速資料に基づく 100 年確率風速 U_{100}^K (Δ 印) とその標準偏差 $U_{\sigma_{100}}^K$ および 45 年間資料に基づく U_{100}^{45} ($\nu=1/3$) を分母, 1960 年以前の資料を含む 2005 年までの前記の資料に基づく U_{100}^K を分子とする 100 年確率風速比 $\gamma_{U_{100}}^K$ (\square 印) および観測資料に基づく 50 年確率風速 U_{50}^K ($*$ 印) と標準偏差 $U_{\sigma_{50}}^K$, 観測資料期間に相当する推算資料に基づく U_{50}^K (\circ 印) と標準偏差 $U_{\sigma_{50}}^K$ を示す。標準偏差 $U_{\sigma_{50}}^K$ は矢印で範囲を表す。また, 東京湾で 95 年間, 伊勢湾で 85 年間, 瀬戸内海で 88 年間の資料に対する 100 年確率風速比 $\gamma_{U_{100}}^K$ (\bullet 印) も与える。対象地点は東京湾の 6 海上地点 (東京灯標, 千葉港観測塔, 湾央地点, 第 2 海堡, アシカ島, 浜金谷), 伊勢湾 (三河湾を含む) の 5 海上地点 (ブイ A, ブイ B, ブイ 1, シーバース, 城南) および瀬戸内海の 6 海上地点 (MT 局, 神戸, 大阪, 佐田岬, 大分, 苅田) である。図には観測資料の期

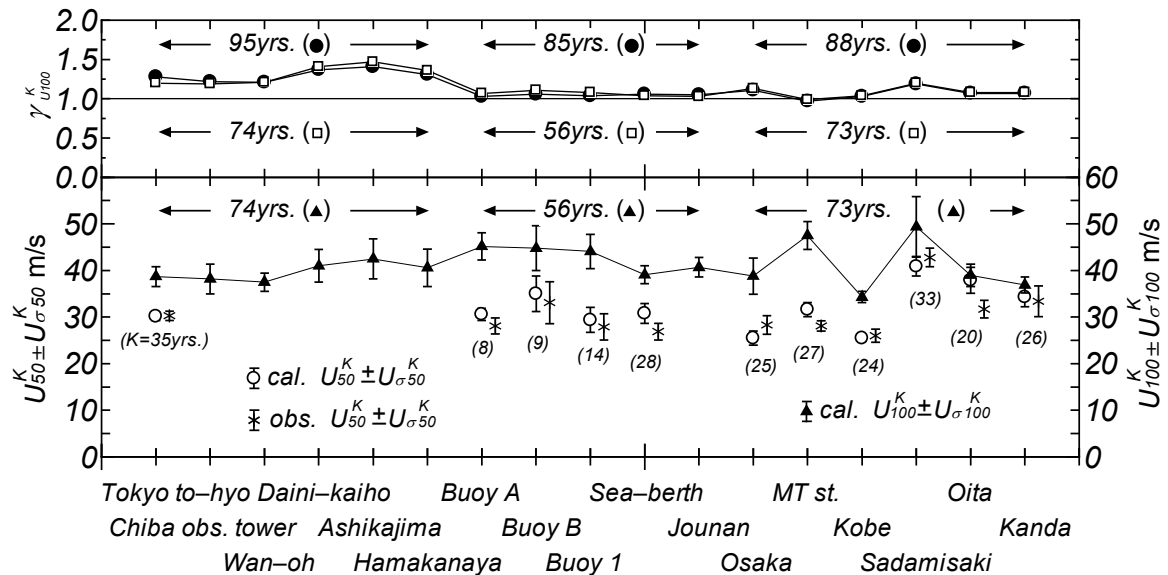


Fig. 7 Alongshore location plots of return wind speed-related statistical quantities.

間、たとえば東京灯標では35年 ($K=35$ yrs.), ブイ A では8年 (8) を与える。東京湾では長期の海上風観測資料に基づく確率風速が得られる地点は東京灯標の1地点に限られることから、他の5地点における観測資料に基づく確率風速を与えていない。また、伊勢湾では城南で海上風観測資料が得られていない。瀬戸内海西部海域の佐田岬半島先端に位置する佐田岬 (灯台) では観測風資料を海上風資料とみなした。

まず、観測資料 (obs) およびこれと同じ期間の推算資料 (cal) に基づく50年確率風速 U_{50}^K (いずれも $\nu=1$) について ± 2.5 m/s 以内の差 ($U_{50cal}^K > U_{50obs}^K$ の場合, 正の値) で比較的良好に符合する地点は東京灯標 (-0.1 m/s), ブイ A (2.5 m/s), ブイ B (1.9 m/s), ブイ 1 (1.5 m/s), 神戸 (-0.5 m/s), 佐田岬 (-1.9 m/s), 荻田 (0.9 m/s), 2.5 m/s 以上の差 (絶対値) を示す地点はシーバース (3.9 m/s), 大阪 (-2.8 m/s), MT局 (3.5 m/s), 大分 (6.2 m/s) であり, とくに大分で差が大きい。これらは上位の年別最大値に対する推算資料の過大評価か, 観測資料におけるピーク時資料の欠如に伴う過小評価のいずれかによると推測される。しかし, 図で見ると, 標準偏差を含めれば両資料に基づく確率風速は大部分の地点で相互にほぼ対応すると言えよう。

ついで, より長い期間 (東京湾で74年間) の推算資料に基づく100年確率風速 U_{100}^{74} は東京湾内では湾央地点の37.5 m/s, 千葉港観測塔の38.2 m/s から東京灯標の38.7 m/s の範囲にあり, 湾奥の東京灯標でやや大きい。標準偏差 $U_{\sigma 100}^{74}$ は湾央地点の2.0 m/s から千葉港観測塔の3.2 m/s と1.6倍の変動範囲をもつ。千葉港観測塔では確率風速に比べて標準偏差が相対的に大きい。湾外では100年確率風速 U_{100}^{74} は40.6~42.5 m/s をとり, 湾内より3~4 m/s 大きい。同様に, 標準偏差 $U_{\sigma 100}^{74}$ も3.5~4.3 m/s と湾内の値を上まわる。

伊勢湾 (三河湾を含む) では56年間資料に基づく100年確率風速 U_{100}^{56} は湾外のブイ A, ブイ B で45 m/s, 三河湾のブイ 1 で44 m/s と大きく, 伊勢湾北部のシーバースと城南で39~41 m/s をとり, 5 m/s 程度小さい。標準偏差 $U_{\sigma 100}^{56}$ は湾外と三河湾の地点で2.9~4.8 m/s, 湾内北部で1.9~2.1 m/s であるから, 湾外や三河湾内の地点で相対的に大きい。すなわち, 変動係数 C_v が大きい。とくに, ブイ B では11%をとる。

瀬戸内海のうち大阪湾内では73年間資料に基づく100年確率風速 U_{100}^{73} は沿岸の大阪で38.8 m/s, 神戸で34.3 m/s であるのに対して, 沖合にあるMT局で47.5 m/s と非常に大きい。これはMT局における年別最大風速の第1位値が45.0 m/s (T6118号; 第2室戸台風), 第2位値が44.9 m/s (T5028号;

ジェーン台風) という特性を反映する。西部海域でも荇田で 36.9 m/s, 大分で 39.0 m/s であるのに対して, 豊予海峡での風場の収束の影響を直接受ける佐田岬で 49.4 m/s ときわめて大きい。これは第 1 位値が 55.1 m/s (T5115 号; ルース台風), 第 2 位値が 43.4 m/s (T4516 号; 枕崎台風) が示すように, 突出した第 1 位値による。したがって, 100 年確率風速の標準偏差 $U_{\sigma 100}^{73}$ は佐田岬で 6.5 m/s (変動係数 $C_v=13\%$) と著しく大きい値をとり, 信頼区間の幅が非常に広い。同様に, 大阪で $U_{\sigma 100}^{73}=3.9$ m/s ($C_v=10\%$), MT 局で $U_{\sigma 100}^{73}=3.0$ m/s ($C_v=6\%$) と佐田岬以外の他の地点 (神戸, 大分, 荇田) の値と比べて大きい。

以上のように, 100 年確率風速は東京湾内の地点で 38 m/s 前後, 湾外で 42 m/s 前後, 伊勢湾の湾外から湾入口で 45 m/s 前後, 伊勢湾北部で 40 m/s 前後, 瀬戸内海の沿岸部で 34~39 m/s, 大阪湾内や海峡部で 48 m/s 前後の値をとり, とくに海峡部で地形の影響に伴う増幅がみられる。標準偏差は 100 年確率風速の概略 5~10% の範囲にあるが, 佐田岬では 13% に達する。

100 年確率風速比 $\gamma_{U_{100}}^K$ は東京湾内では 74 年間資料で 1.19~1.21, 95 年間資料で 1.21~1.28 (東京灯標) と, 東京灯標において 95 年間資料で 8% 大きいものに対して, その湾外では 74 年間資料で 1.36~1.47, 95 年間資料で 1.31~1.41 と, 逆に 4~6% 減少する。しかし, いずれにしても 45 年間資料に基づく結果に比べて, より長い期間の資料では 100 年確率風速 U_{100}^K は 20~30% (湾内) あるいは 30~50% (湾外) とかなり増加する。伊勢湾内では 56 年間資料で 1.03~1.04, 85 年間資料で 1.05~1.06 と後者がわずかに大きく, 湾外では 56 年間資料で 1.07~1.11, 85 年間資料で 1.03~1.06 と, 後者が逆に 4~5% 減少する。大阪湾では 73 年間資料で 0.99~1.13, 88 年間資料で 0.97~1.11 と, 後者で 1~2% 小さくなる。佐田岬では 73 年間資料で 1.20, 88 年間資料で 1.19 と 1% 小さく, 瀬戸内海西部海域の荇田と大分ではいずれも 73 年間資料で 1.08, 88 年間資料で 1.07 をとる。これらの数値は 1960 年以前の第 1 位値や第 2 位値が 1961 年以降のそれらをどの程度上まわるかに依存し, とくに東京湾の内外地点と佐田岬で大きい値をとる。すなわち, 資料期間のさらなる拡張に伴い, 突出した第 1 位値が新たに加わる東京灯標では 100 年確率風速 U_{100}^{95} や確率風速比 $\gamma_{U_{100}}^{95}$ が一層大きくなるのに対して, 第 1 位値と第 2 位値が変化しない場合には, これらの値はやや減少する。観測資料期間に相当する期間の推算資料に基づく 100 年確率風速は 45 年間資料などのより長い期間の資料に基づく 100 年確率風速と比べて格別に小さいことから, 期間長の短い資料に基づく確率風速はかなりの過小評価になっていることがわかる。

なお, 大阪港中央突堤で観測された 1952~1967 年 16 年間 16 個の年別最大風速資料に対する解析では, 50 年確率風速とその標準偏差 $U_{50}^{16} \pm U_{\sigma 50}^{16}$ は 35.6 ± 2.2 m/s, 16 年間のストーム時ピーク風速の資料数 $N=30$, 資料総数 $N_T=64\sim 256$ とする極大風速資料に対する解析では再現期間 50 年に対して 36.1 ± 2.6 m/s であるから, 推算資料に基づく結果に近い。観測資料に基づくこの間の第 1 位値は 32.5 m/s (T5313 号; テス台風), 第 2 位値は 30.4 m/s (T6118 号; 第 2 室戸台風), 第 3 位値は 30.0 m/s (T6524 号) である。風速計高度は不明であるが, 5~10 m と考えられる。海上風速としては 5~10% 大きい可能性があり, 確率風速も同程度に大きくなる。しかし, 風速計の機種が現在のものと異なることから, より適正な評価のためには風速計の機種の相違の影響を考慮する必要がある。

3.3 確率波高の特性

Fig. 8 は 1961~2005 年 45 年間の年別最大波高資料および 1932~2005 年 74 年間と 1911~2005 年 95 年間の年別最大波高資料に対する最適分布に基づく Q-Q プロットを東京灯標について示す。資料採択率は $\nu=1/3$ である。相関係数 $\rho_H=0.984, 0.995$ および 0.994 が順に示唆するように, 45 年間資料の場合の資料値が 45° 直線のまわりに若干ばらついて位置するのに対して, 74 年間資料と 95 年間資料ではほぼ 45° 直線上にプロットされる。

Table 5 は極値統計解析より得られた 50 年・100 年確率波高 (H_{50}^K, H_{100}^K) とそれらの標準偏差 ($H_{\sigma 50}^K,$

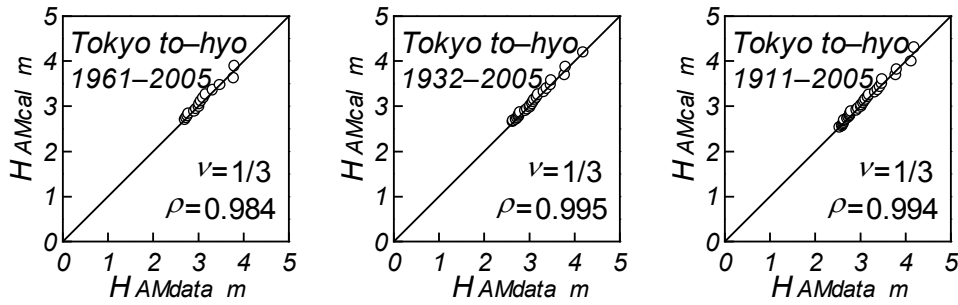


Fig. 8 Quantile-quantile plot of hindcast- and optimum distribution-based annual maximum wave heights at Tokyo to-hyo.

Table 5 Result of extreme value analysis for annual maximum wave height data sample at each of Tokyo to-hyo, Yokkaichi, MT station and Kanda.

location	period	K yrs.	N	ν	ρ_H	H_{50}^K m	$H_{\sigma 50}^K$ m	H_{100}^K m	$H_{\sigma 100}^K$ m	H_{max}^K m	H_{max2}^K m	γ_{H100}^K
Tokyo to-hyo	11-05	95	31	0.33	0.994	3.93	0.18	4.17	0.21	4.20	4.13	1.05
	32-05	74	24	0.32	0.995	3.89	0.20	4.12	0.25	4.20	3.81	1.04
	61-05	45	15	1/3	0.984	3.79	0.20	3.98	0.23	3.81	3.79	1
	61-05	45	45	1	0.995	3.81	0.20	4.04	0.22	3.81	3.79	1.02
	69-04	36	36	1	0.991	3.56	0.25	3.78	0.29	3.79	3.12	0.95
	69-04*	36	36	1	0.996	3.63	0.29			3.69	2.93	
Yokkaichi	21-05	85	28	0.33	0.981	4.42	0.16	4.68	0.18	4.44	4.21	1.05
	50-05	56	18	0.32	0.987	4.40	0.19	4.61	0.21	4.44	4.21	1.03
	61-05	45	15	0.33	0.989	4.24	0.24	4.47	0.27	4.21	4.15	1
	61-05	45	45	1	0.993	4.30	0.27	4.63	0.30	4.21	4.15	1.04
	77-96	20	20	1	0.981	3.94	0.28	4.18	0.31	3.54	3.53	0.94
	77-96*	20	20	1	0.975	3.70	0.64			3.75	2.49	
MT st.	18-05	88	29	0.33	0.993	4.18	0.29	4.56	0.35	4.69	4.18	1.10
	33-05	73	24	0.33	0.989	4.26	0.31	4.66	0.38	4.69	4.18	1.13
	61-05	45	15	0.33	0.989	3.81	0.35	4.13	0.45	4.08	3.42	1
	61-05	45	45	1	0.993	3.83	0.31	4.17	0.36	4.08	3.42	1.01
	78-05	28	28	1	0.985	3.14	0.19	3.31	0.22	3.04	2.92	0.80
	78-05*	28	28	1	0.994	3.41	0.22			3.33	3.17	
Kanda	18-05	88	29	0.33	0.980	4.74	0.14	4.95	0.16	4.81	4.73	1.06
	33-05	73	24	0.33	0.979	4.76	0.14	4.94	0.16	4.81	4.73	1.06
	61-05	45	15	0.33	0.960	4.54	0.15	4.68	0.15	4.51	4.48	1
	61-05	45	45	1	0.995	4.67	0.18	4.87	0.18	4.51	4.48	1.04
	80-05	26	26	1	0.981	4.61	0.20	4.82	0.21	4.12	4.02	1.03
	80-06*	27	26	0.96	0.968	4.04	0.40			3.76	3.64	

example of year period 11-05 : 1911-2005 W : Weibull distribution, G : Gumbel distribution * : obs.

$H_{\sigma 100}^K$), 相関係数 ρ_H , 45 年間資料に基づく 100 年確率波高 H_{100}^{45} ($\nu=1/3$) に対する各期間資料の 100 年確率波高 H_{100}^K の比 γ_{H100}^K および解析条件 (資料期間, 資料年数 K , 採択資料数 N , 資料採択率 ν) の一覧を東京湾の東京灯標, 伊勢湾の四日市, 大阪湾 MT 局, 瀬戸内海西部海域の苅田について与える。各地点における資料期間の分割法は Table 4 の場合と同じである。

東京灯標では 1969~2004 年 36 年間の年別最大観測波高資料および同じ期間の年別最大推算波高資料に基づく 50 年確率波高 H_{50}^{36} とその標準偏差 $H_{\sigma 50}^{36}$ は順に 3.63 ± 0.29 m と 3.56 ± 0.25 m であり, 両者はほぼ符合する。また, 45 年間推算資料に基づく解析では確率波高推定値に及ぼす資料採択率の影響は標準偏差を含めて小さい。資料期間の拡張の影響をみると, 100 年確率波高とその標準偏差は①上述した 36 年間資料で $H_{100}^{36} \pm H_{\sigma 100}^{36} = 3.78 \pm 0.29$ m ($\nu=1$), ②45 年間資料で $H_{100}^{45} \pm H_{\sigma 100}^{45} = 3.98 \pm 0.23$ m ($\nu=1/3$), ③74 年間資料で $H_{100}^{74} \pm H_{\sigma 100}^{74} = 4.12 \pm 0.25$ m ($\nu=1/3$), ④95 年間資料で $H_{100}^{95} \pm H_{\sigma 100}^{95} = 4.17 \pm 0.21$ m ($\nu=1/3$) である。資料期間の拡張に伴い確率波高は若干増加し, 74 年間資料の場合 $\gamma_{H100}^{74} = 1.04$, 95 年間資料の場合 $\gamma_{H100}^{95} = 1.05$ となる。95 年間資料では 36 年間資料に比べて 100 年確率波高が 10% 増加する。また標準偏差はおおむね減少する。45 年以上の資料期間でみれば, 45 年間資料の第 1 位値と第 2 位値は 3.81 m (T6118 号) と 3.79 m (T7920 号), 74 年間資料のそれらは 4.20 m (T3412 号) と 3.81 m (T6118 号), 95 年間資料では 4.20 m (T3412 号) と 4.13 m (T17-Oct 台風) である。後者の T3412 号時の 4.20 m が相対的にやや大きい値をとるので, 45 年間資料より 74 年間資料による確率波高推定値も若干増加する。また, 74 年間資料と 95 年間資料による結果では第 2 位値 (4.13 m, T17-Oct 台風) の増加に伴い確率波高はさらにやや大きくなるが, 標準偏差は小さくなる。

伊勢湾の四日市でも 20 年間の観測資料に基づく 50 年確率波高と標準偏差 $H_{50}^{20} \pm H_{\sigma 50}^{20}$ は 3.70 ± 0.64 m, 同じ 20 年間の推算資料に対して 3.94 ± 0.28 m を与える。この場合には確率波高の差は 0.24 m であるが, 観測資料に基づく標準偏差がかなり大きい。20 年間および 45 年間から 56 年間および 85 年間への資料期間の拡張に伴い, 100 年確率波高とその標準偏差は① $H_{100}^{20} \pm H_{\sigma 100}^{20} = 4.18 \pm 0.31$ m ($\nu=1$), ② $H_{100}^{45} \pm H_{\sigma 100}^{45} = 4.47 \pm 0.27$ m ($\nu=1/3$) から③ $H_{100}^{56} \pm H_{\sigma 100}^{56} = 4.61 \pm 0.21$ m ($\nu=1/3$), ④ $H_{100}^{85} \pm H_{\sigma 100}^{85} = 4.68 \pm 0.18$ m ($\nu=1/3$) に変化する。観測資料期間に対する①の結果を除いて確率波高の差はあまり大きくないが, 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。第 1 位値と第 2 位値は 45 年間資料で 4.21 m (T6118 号) と 4.15 m (T7220 号), 56 年間資料で 4.44 m (T5915 号) と 4.21 m (T6118 号), 85 年間資料で同じく 4.44 m (T5915 号) と 4.21 m (T6118 号) と漸増を示す程度であるから, 資料期間の拡張に伴い 100 年確率波高がやや増加し, 標準偏差は減少する。100 年確率波高比は 56 年間資料で $\gamma_{H100}^{56} = 1.03$, 85 年間資料で $\gamma_{H100}^{85} = 1.05$ であり, 第 1 位値と第 2 位値の若干の増加に対応して確率波高比も漸増するが, その値はせいぜい 5% とあまり大きくない。

大阪湾の MT 局では 28 年間の観測資料に基づく 50 年確率波高と標準偏差 $H_{50}^{28} \pm H_{\sigma 50}^{28}$ は 3.41 ± 0.22 m, 同じ 28 年間の推算資料に対して 3.14 ± 0.19 m である。観測資料に基づく確率波高が 0.27 m, 標準偏差も 0.03 m 大きい。100 年確率波高と標準偏差は①28 年間資料で $H_{100}^{28} \pm H_{\sigma 100}^{28} = 3.31 \pm 0.22$ m ($\nu=1$), ②45 年間資料で $H_{100}^{45} \pm H_{\sigma 100}^{45} = 4.13 \pm 0.45$ m ($\nu=1/3$), ③73 年間資料で $H_{100}^{73} \pm H_{\sigma 100}^{73} = 4.66 \pm 0.38$ m ($\nu=1/3$) であるから, とくに資料期間 45 年から 73 年への拡張に伴い 100 年確率波高が 0.53 m 増加し, 標準偏差が 0.07 m 減少する。45 年間資料の第 1 位値は 4.08 m (T6118 号), 第 2 位値は 3.42 m (T7220 号), 73 年間資料の第 1 位値は 4.69 m (T5313 号), 第 2 位値は 4.18 m (T5915 号) であり, 後者の値がかなり大きい特徴が確率波高推定値に反映される。88 年間資料では 100 年確率波高とその標準偏差は④ $H_{100}^{88} \pm H_{\sigma 100}^{88} = 4.56 \pm 0.35$ m ($\nu=1/3$), 第 1 位値は 4.69 m (T5313 号), 第 2 位値は 4.18 m (T6118 号) であり, 73 年間資料による結果とあまり変わらず, むしろ小さくなる。100 年確率波高比は 73 年間資料で $\gamma_{H100}^{73} = 1.13$, 88 年間資料で $\gamma_{H100}^{88} = 1.10$ と第 1 位値と第 2 位値の特性を反映していずれも 10% 以上大きくなるが, より長い期間の 88 年間資料による結果では確率波高は 3% 小さくなる。このことは, 安定した再現確率値を得るためには, 既往の第 1 位値を含む資料の期間をできるだけ長くと

る必要があることを示唆する。既往の第1位値以前の資料を含めない解析では再現確率値を過大評価、既往の第1位値を含めない解析では再現確率値を過小評価する可能性がある。なお、観測資料期間に相当する28年間 ($\nu=1$) から45年間 ($\nu=1/3$) への資料期間の拡張に伴い、100年確率波高のかなりの増加 (0.82 m) がみられる。

瀬戸内海西部海域周防灘の苅田では、27年間の観測資料に基づく50年確率波高と標準偏差は $H_{\sigma 50}^{27} \pm H_{\sigma 50}^{27} = 4.04 \pm 0.40$ m およびほぼ同じ期間(26年間)の推算資料に基づく50年確率波高と標準偏差は $H_{\sigma 50}^{26} \pm H_{\sigma 50}^{26} = 4.61 \pm 0.20$ m であり、推算資料が確率波高に対して0.57 m 大きい値を、標準偏差に対して0.20 m 小さい値を与える。この場合にも第1位値と第2位値が観測資料で3.76 m (T0613号)と3.64 m (T0514号)、推算資料で4.12 m (T8513号)と4.02 m (T9119号)という特性が確率波高推定値に現われる。26年間資料による100年確率波高と標準偏差は① $H_{\sigma 100}^{26} \pm H_{\sigma 100}^{26} = 4.82 \pm 0.21$ m ($\nu=1$)、45年間資料と73年間資料による100年確率波高と標準偏差は② $H_{\sigma 100}^{45} \pm H_{\sigma 100}^{45} = 4.68 \pm 0.15$ m ($\nu=1/3$)と③ $H_{\sigma 100}^{73} \pm H_{\sigma 100}^{73} = 4.94 \pm 0.16$ m ($\nu=1/3$)、②と③の資料期間における第1位値と第2位値は順に4.51 m (T7010号)、4.48 m (T7119号)と4.81 m (T4216号)、4.73 m (T5522号)である。26年から45年および45年から73年という資料期間の拡張に伴う確率波高推定値の減少と増加が順次みられる。88年間資料では100年確率波高と標準偏差は④ $H_{\sigma 100}^{88} \pm H_{\sigma 100}^{88} = 4.95 \pm 0.16$ m と73年間資料に基づく結果とほぼ符合する。この間の第1位値は4.81 m (T4216号)、第2位値は4.73 m (T5522号)と73年間資料の場合と同じであり、期間拡張に伴う確率波高と標準偏差の変化はほぼみられない。100年確率波高比は73年間資料で $\gamma_{H100}^{73} = 1.06$ 、88年間資料で $\gamma_{H100}^{88} = 1.06$ であり、期間拡張によっても第1位値および第2位値と同様に確率波高推定値は変化しない。また、苅田では観測資料期間に基づく100年確率波高を含めて資料期間の拡張に伴う確率波高推定値の変化は小さい。

Fig. 9は確率風速に対するFig. 7と同様の結果を確率波高について与える。対象地点は波浪観測資料が得られている東京湾内外の6地点(湾内の東京灯標、千葉港観測塔、湾央地点、湾口の第2海堡、湾外のアシカ島、浜金谷)、伊勢湾内の四日市、瀬戸内海の6地点(東部海域：大阪湾内の大阪、MT局、神戸、西部海域：豊後水道内の佐田岬(漁港)、別府湾内の大分、周防灘西部の苅田)である。このうち湾央地点における観測資料の期間は7年と短いことから、解析対象としない。千葉港観測塔でも資料期間は10年と長くない。また、外洋からの波浪の影響を受ける地点はアシカ島、浜金谷、佐田岬(漁港)の3地点である。

まず、観測資料とこれと同じ期間の推算資料に基づく50年確率波高 $H_{\sigma 50}^K$ について、両者の差

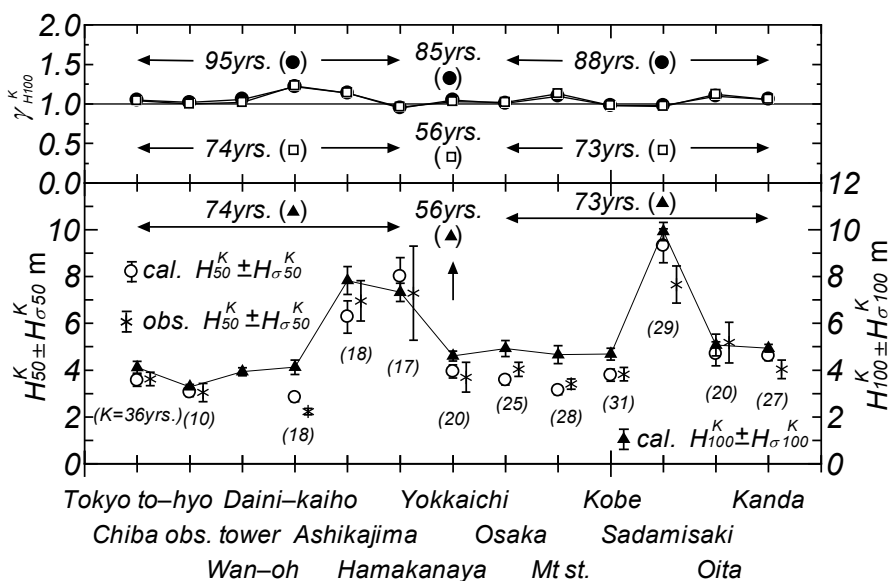


Fig. 9 Alongshore location plots of return wave height-related statistical quantities.

($H_{50cal}^K > H_{50obs}^K$ の場合正の値) が ± 0.3 m 以内に納まる地点は東京湾内の東京灯標 (-0.07 m) と千葉港観測塔 (0.01 m) の2地点、伊勢湾内の四日市 (0.24 m)、大阪湾内のMT局 (-0.27 m) と神戸 (-0.04 m) の2地点、差が ± 0.5 m 以内の地点は大阪 (-0.46 m) と別府湾内の大分 (-0.48 m) の2地点である。この場合でも標準偏差は千葉港観測塔と四日市では観測資料の場合に大きい。続いて、東京湾内の湾央地点で 0.60 m、湾口の第2海堡で 0.61 m、湾外のアシカ島で -0.68 m、浜金谷で 0.72 m、瀬戸内海西部海域周防灘西部の苅田で 0.57 m と、絶対値にして 0.6~0.7 m の差、豊後水道奥の佐田岬漁港で 1.66 m の差を示す。標準偏差を含めれば、第2海堡と佐田岬漁港を除く地点で確率波高の範囲は両資料で重なる。しかし、推算波高資料に含まれる誤差に加えて、観測波高資料のもつ種々の制約(観測時間間隔、異常波浪時の精度の不足や欠測など)によって、両資料に基づく結果の適正な比較は容易でない。

たとえば、浜金谷では最上位クラスの波高が生じたはずの T7920 号時に適正な観測資料が得られていないので、T8506 号に伴う第1位値が突出した値となり、その結果、観測資料に基づく確率波高は低めの値、標準偏差は非常に大きい値をとる。佐田岬漁港では異常波浪時の欠測が少なくないので、観測資料に基づく確率波高は低めの評価となる。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、推算波高が大きめの値を与える可能性がある。また、大分では観測資料に現われる突出した第1位波高が推算資料では低めの値となっているので、観測資料に基づく確率波高のみならず標準偏差も推算資料に基づく結果と比べて大きい。以上に例示した個々の地点で異なる観測資料の特性や推算資料の誤差などに応じて両者の確率波高推定値に差が生じると考えられる。こうした状況を考慮すると、全体的には推算資料に基づく確率波高は観測資料に基づく確率波高とある程度以上の対応を与えよう。

ついで、東京湾で74年間、伊勢湾で56年間、瀬戸内海で73年間の推算資料に基づく100年確率波高 H_{100}^K と標準偏差 $H_{\sigma 100}^K$ の推定値をみると、東京湾の湾奥西部から湾央、湾口で4 m 前後、湾奥東部で3.3 m、湾外で7.5 m 前後をとり、湾内で3.5 m 程度小さい。伊勢湾の四日市では4.6 m を与えるが、水深の制約を受けて低めの値となっている。水深の大きい沖合地点では5 m を優に上まわる。大阪湾内の3地点で4.7~4.9 m (4.8 m 前後)、大分と苅田で5 m 前後であり、西部海域でやや大きい。100年確率風速に対して大阪湾内のMT局で大分や苅田よりかなり大きい値が得られたが、波高は吹送距離の制約を受けることから、風速に応じた波高の増加は必ずしも生じない。また、太平洋に接続する豊後水道奥で佐田岬半島の南側(太平洋側)に位置する佐田岬漁港は外洋から伝播する波浪の影響を直接受けることから、100年確率波高 H_{100}^{73} は9.9 m と推定される。この値は内海部の5 m と比べて約2倍に達するけれども、豊後水道内の入り組んだ地形の影響により、豊後水道境界における値と比べて3~4 m 小さい。標準偏差 $H_{\sigma 100}^K$ は100年確率波高 H_{100}^K の5%前後あるいはそれ以下の地点(東京灯標、千葉港観測塔、湾央地点、浜金谷、四日市、神戸、佐田岬、苅田)が多いが、第2海堡とアシカ島および大分とMT局で7.5%前後を与え、とくに第1位値と第2位値が突出した値をとる大分では9%を越える。

45年間以上の資料に基づく100年確率波高 H_{100}^K ($\nu=1/3$) の45年間資料に基づく100年確率波高 H_{100}^{45} ($\nu=1/3$) の比 γ_{H100}^K をみると、資料期間の拡張によっても第1位値や第2位値に変化がない地点か第2位値がやや増加する地点(浜金谷、神戸、佐田岬)で0.96~0.98、第1位値と第2位値がやや増加する地点(東京灯標、千葉港観測塔、湾央地点、四日市、大阪、苅田)で1.00~1.06、第1位値と第2位値が有意な程度に増加する地点(アシカ島、MT局、大分)で1.12~1.14、第1位値と第2位値が著しく増加する地点(第2海堡)で1.23をとり、資料期間の拡張に伴う第1位値や第2位値の変化の程度が確率波高推定値に直接反映される。ただし、第3位値以下の変化は表では明らかでないが、その影響は第1位値や第2位値ほどでないと推測される。標準偏差 $H_{\sigma 100}^K$ は期間の拡張に伴い概して減少するか、増加してもその程度は有意でない。しかし、確率波高比 γ_{H100}^K のかなりの増加がみら

れた第2海堡 ($\gamma_{H100}^{74}=1.23$), アシカ島 ($\gamma_{H100}^{74}=1.14$), 大分 ($\gamma_{H100}^{73}=1.12$) では標準偏差も有意な程度に増加し, 確率波高推定値の信頼性の低下が生じている。ただし, MT 局では確率波高の有意な増加 ($\gamma_{H100}^{73}=1.13$) と標準偏差の減少が生じている。

資料期間をさらに拡張した場合(東京湾で74年から95年へ, 伊勢湾で50年から85年へ, 瀬戸内海で73年から88年へ), 東京湾内の湾央地点における1例 ($\gamma_{H100}^{74}=1.02$ から $\gamma_{H100}^{95}=1.06$ へ増加) を除いて, 100年確率波高比 γ_{H100}^K は期間拡張によってほとんど増加しないか, むしろ若干減少する。湾央地点では期間拡張に伴い第1位値と第2位値が有意な程度に増加するのに対して, 他の地点では第1位値が同じで第2位値が増加するか, 第1位値と第2位値が同じ値にとどまる。これらの特性が確率波高比 γ_{H100}^K に反映される。風速資料の場合と異なり, 波高の場合には水深の制約などによる波高の頭打ちが生じるので, 期間拡張に伴う第1位値や第2位値などの増加, したがって確率波高推定値の増加が風速の場合より抑制される傾向にある。なお, 観測資料相当期間から45年間への資料期間の拡張に伴い, 苅田を除く多くの地点で100年確率波高は有意な程度に増加することから, 確率波高推定に際しての資料期間の拡張の必要性が示唆される。

いずれにしろ, 資料期間の拡張に伴う最上位値(第1位値)や第2位値が大きく更新される可能性の高い地点では確率波高推定値も上方に評価されるので, 確率波高の適正な推定のためには, 標準偏差の増加に伴う信頼性の低下の可能性を伴うとしても, できるだけ長い期間の資料を用いる必要がある。

4. 結 語

本研究で得られた知見はつぎのようにまとめられる。

1) 東京湾, 伊勢湾, 大阪湾の湾奥地点では1960年以前の巨大台風時に観測高潮偏差のみならず推算風速・波高の第1位値が生起し, 前2者(高潮偏差, 風速)に関して突出した値をとるとともに, 最上位値近くに位置する年別最大値の大部分も1972年以前に生起していることから, これらの年別最大値資料は非定常な経年変化の傾向を伴う。

2) 年別最大風速・波高の観測資料および推算資料に対して, 母数推定を最小2乗法による極値統計解析モデル(LSMモデル)を適用して推定した風速・波高の再現確率値は標準偏差を含めれば多くの地点でそれぞれ比較的よく符合する。しかし, 風速資料ではシーバース, MT局, 大分など, 波高資料では第2海堡, アシカ島, 浜金谷, 苅田, 佐田岬漁港など, 両者に有意な乖離がみられる地点もある。これは推算値の誤差や観測値の不備(観測時間間隔, ピーク値の欠測や精度不足)などによる。ただし, LSMモデルでは, 年別最大値の大きさや順位のみが入力情報となり, 標本の非定常性は考慮されない。

3) 資料期間の拡張に伴って, 第1位値など最上位値付近の値が増加する場合には, 風速・波高の再現確率値と標準偏差は大きくなる。その程度は第1位値や第2位値, とくに第1位値の期間拡張に伴う増加率に依存する。逆に第1位値や第2位値などに変化がない場合には, 再現確率値は若干減少し, 標準偏差はやや大きく減少する。期間拡張の影響は東京湾における確率風速や東京湾口の第2海堡と湾外のアシカ島などにおける確率波高に対して大きい。確率波高の場合には, 沿岸地点の波高が水深の制約を受けることから, 期間拡張の影響は風速に比べて低めに抑制される。要するに, 再現確率値の適正な推定にあたっては, 既往最大値の生起年とそれ以前の期間を含むように資料期間をできるだけ長く取る必要がある。逆に, 資料期間の短い資料は既往最大級の資料を含まない可能性が高く, したがって再現確率値を過小評価する傾向にあると言える。

4) 各海域における地点別の100年確率風速は東京湾内で38 m/s前後, 湾外で42 m/s前後, 伊勢湾の湾外で45 m/s前後, 湾内で40 m/s前後, 瀬戸内海で34~39 m/s, 大阪湾や地形の影響を受ける佐田岬

付近で 48 m/s 前後をとる。標準偏差は概略 5~10%に納まるが、佐田岬では 13%に達する。

5)各海域における地点別の 100 年確率波高は東京湾の湾内や湾口で 4 m 前後、湾奥東部で 3.3 m、湾外で 7.5 m 前後、伊勢湾湾奥で 4.6 m、大阪湾で 4.8 m 前後、別府湾や周防灘西部で 5 m 前後、佐田岬漁港で 10 m と評価される。標準偏差は 100 年確率波高の 5%前後あるいはそれ以下をとるが、第 1 位値や第 2 位値、とくに第 1 位値が突出する地点で大きくなり、異常波高を生じた大分では 9%を越える。

参 考 文 献

- [1] 山口正隆・大福 学・野中浩一・畑田佳男・日野幹雄：SDP 風資料を用いた内湾・内海における 45 年間の海上風分布データセットの作成，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol. 65, No. 1, pp. 186-190, 2009.
- [2] 山口正隆・畑田佳男・野中浩一・日野幹雄：SDP 風資料に基づく東京湾，伊勢湾，瀬戸内海の沿岸風・海上風・波高資料の精度評価，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，Vol. 68, No. 2, pp.I_935-I_940, 2012.
- [3] 畑田佳男・山口正隆・野中浩一・大福 学：瀬戸内海における波浪推算に基づく確率波高の推定，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol. 66, No. 1, pp. 126-130, 2010.
- [4] 畑田佳男・山口正隆・野中浩一・大福 学：瀬戸内海における波高極値の再評価，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol. 67, No. 2, pp. I_126-I_130, 2011.
- [5] 山口正隆・畑田佳男・野中浩一：SDP 風資料を用いた波浪推算モデルの東京湾・伊勢湾における適用性と波高極値の推定，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，Vol. 68, No. 2, pp.I_941-I_946, 2012.
- [6] 山口正隆・畑田佳男・野中浩一・大福 学・日野幹雄：東京湾および伊勢湾における 1911~2005 年の波浪推算資料に基づく波高極値の再評価，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol. 68, No. 2, 2012 (印刷中).
- [7] 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.
- [8] 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.