

### 2.1.3 極値統計解析

2001年～4000年における35,638個の予測台風を対象とした潮位偏差、潮位、波浪、越波流量の算定結果から、各諸元の年最大値を用いて極値統計解析を行った。極値統計解析では、合田(1997)に従い、年最大値にGumbel、Weibull、極値Ⅱ型の各分布を当てはめた。非超過確率分布関数を $F(x)$ 、確率密度関数を $f(x)$ とすると、分布式は以下のように表される。

Gumbel分布(極値Ⅰ型)

$$F(x) = \exp\left\{-\exp\left(\frac{x-B}{A}\right)\right\} \quad (-\infty < x < \infty)$$

$$f(x) = \frac{1}{A} \exp\left\{-\frac{x-B}{A} - \exp\left(-\frac{x-B}{A}\right)\right\}$$

極値Ⅱ型分布

$$F(x) = \exp\left\{-\left(1 + \frac{x-B}{kA}\right)^{-k}\right\} \quad (B - kA < x < \infty)$$

$$f(x) = \frac{1}{A} \left(1 + \frac{x-B}{kA}\right)^{-(1+k)} \exp\left\{-\left(1 + \frac{x-B}{kA}\right)\right\}$$

Weibull分布

$$F(x) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k\right\} \quad (B \leq x < \infty)$$

$$f(x) = \frac{k}{A} \left(\frac{x-B}{A}\right)^{k-1} \exp\left\{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k\right\}$$

ここで、定数 $A$ 、 $B$ および $k$ は分布関数の母数であり、 $A$ は尺度母数、 $B$ は位置母数、 $k$ は形状母数と呼ばれている。

そして、合田(1990)を参考にして、以下の4つの棄却基準を用いて、上記の分布の中からもっとも適合する分布を採用した。

#### ①DOL基準(上下)

極値分布関数に対する標本のあてはめの際の棄却検定の一種であり、標本中の最大値が異常値であるかどうかの判定を行う基準である。

標本中の最大値 $x_l$ が異常値であるかどうかは、標本の最大値偏差 $\xi$ を対象とする分布関数の $\xi$ 値の累積分布と比較することによって判定できる。

$$\xi = (x_1 - \bar{x}) / s$$

ここで、 $\bar{x}$ は標本平均値、 $s$ は標準偏差である。比較の目安としては累積分布の下方5%および上方5%のところを使うことができる。これらが、非超過確率5% ( $\xi_{5\%}$ ) および95% ( $\xi_{95\%}$ ) の $\xi$ 値である。これら最大値偏差の5%及び95%非超過確率が推定できると、これらを使って標本中の最大値の棄却検定が可能になる。すなわち、標本の $\xi$ 値が $\xi_{5\%} \leq \xi \leq \xi_{95\%}$ の範囲に入っていればその標本の最大値は正常であるとみなし、 $\xi < \xi_{5\%}$ あるいは $\xi > \xi_{95\%}$ であればその事象が起きる確率がそれぞれ5%未満であるので、その最大値を危険率5%で異常と判定することができる。このように標本中の最大値の無次元偏差 $\xi$ を利用する異常値の棄却基準がDOL(Deviation of Out Lier)基準であり、 $\xi_{5\%}$ によるものをDOL基準(下)、 $\xi_{95\%}$ によるものをDOL基準(上)とする。図-32~35において、DOL基準○は棄却検定を満足しており、×は棄却検定を満足していないことを示している。

## ②REC 基準

DOL 基準と同様、極値分布関数に対する標本の当てはめの際の棄却検定の一種であり、分布関数の当てはめの適合度を用いて判定を行う基準である。この基準には相関係数の残差 $\Delta r (=1-r)$ を利用する。ここで、 $r$ は相関係数である。相関係数の残差値の分布特性が明らかになると、与えられた標本の $\Delta r$ の値を当てはめた極値分布の $\Delta r$ の分布特性と比較することによって、そのような値の出現する可能性を判断できる。相関係数の残差値の累積分布の指標としては、DOL 基準で用いた標本の最大値偏差の場合と同様に95%非超過確率値を用いる。このように相関係数の残差の95%非超過確率値を用いる棄却基準がREC(Residue of Correlation coefficient)基準である、図中のREC基準○は棄却検定を満足しており、×は棄却検定を満足していないことを示している。

## ③MIR 値

極値資料の1つの標本は、複数の分布関数に当てはめることが可能であり、選択する分布関数に応じて再現確率統計量の異なる値が得られる。上述①、②の方法により分布関数の当てはめの棄却検定によって幾つかの関数を除外することはできるが、単一の分布関数に絞り込むことは困難である。既往の調査等では、一般的に最小2乗法による極値の解析が行われており、相関係数の絶対値を指標とし、相関係数がより1に近い分布関数を選択する方法を用いている。しかし、相関が高く相関係数が1に近い値を示す分布関数は裾の広がり狭いものほどその傾向が強く、単純に相関係数の絶対値を指標として適合度を比べるのは必ずしも適切でない。

そこで、完全適合の場合の値である1に対する相関係数の残差 $\Delta r$ を指標にとり、この残差の値を指標として適合度を比べる方法を行う。相関係数の残差が小さいことは分布関数に対する標本の適合度が高いことを意味するから、平均値で正規化した残差が最小の分布関数を最適と判断することが妥当である。この判断基準として用いられる値がMIR(Minimum Ratio of residual correlation coefficient)値である。

## ④再現確率統計量の標準偏差値の1倍の範囲(回帰直線を挟む上下の細線)

極値統計資料は同じ母集団から抽出された標本であっても標本毎にかなり異なる数値をとる。

しかし、実際の解析作業ではただ 1 つの標本しか与えられないので、その標本が母集団の中で比較的大きな値を占めるものなのか、あるいは相対的に小さな値のものなのかを知ることができない。したがってデータのある期間の何倍もの長さの再現期間に対する確率統計量を推定しようとすると、用いた標本の母集団中の相対的な位置に応じて母集団の真値よりも大きな値を予測したり、逆に小さな値を算出したりする。既往の文献より、20 年間のデータから 100 年確率値を推定すると  $2\sigma_x$  以上の誤差を生じることがあり、100 年間のデータを使用しても  $1\sigma_x$  に近い推定誤差を伴うことが記載されている。ここで、 $\sigma_x$  は標本の不偏標準偏差である。

図-32(1)～(4)は潮位偏差の、図-33(1)～(4)は潮位の、図-34(1)～(4)は波高の、図-35(1)～(4)は越波流量の極値統計解析の結果である。図中の★印は適合確率分布を示している。

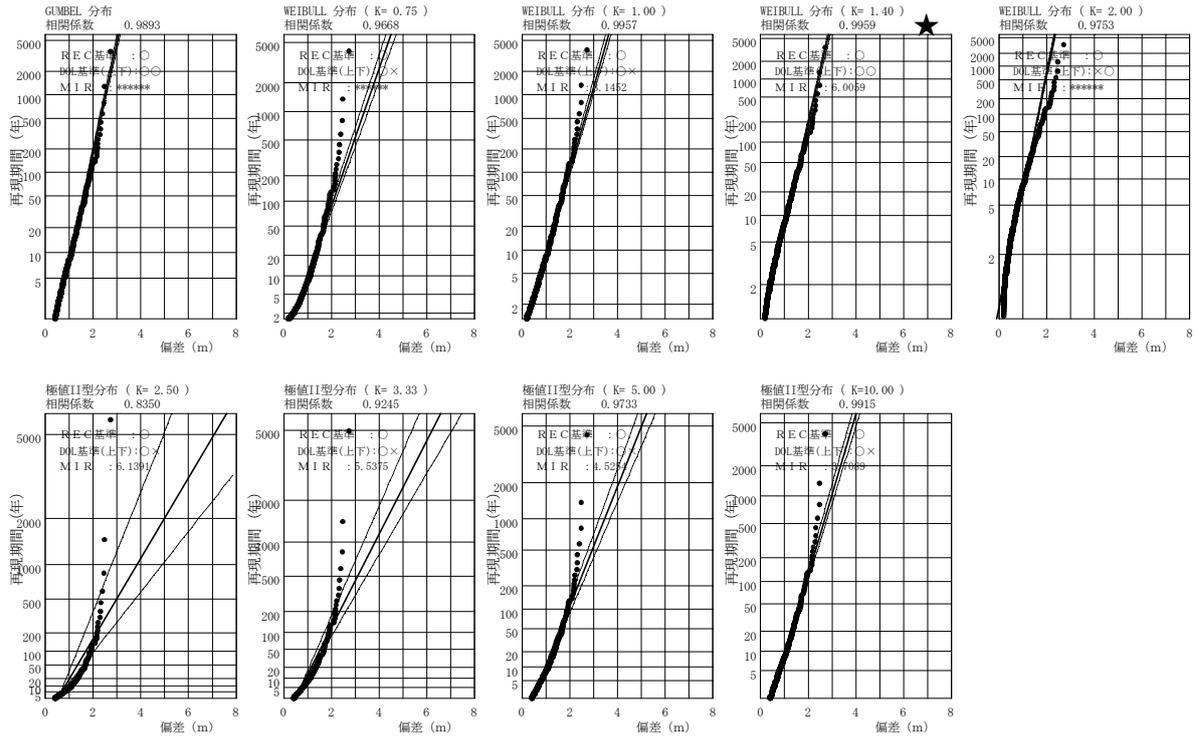


図-32(1) 潮位偏差の極値統計解析結果(東京湾)

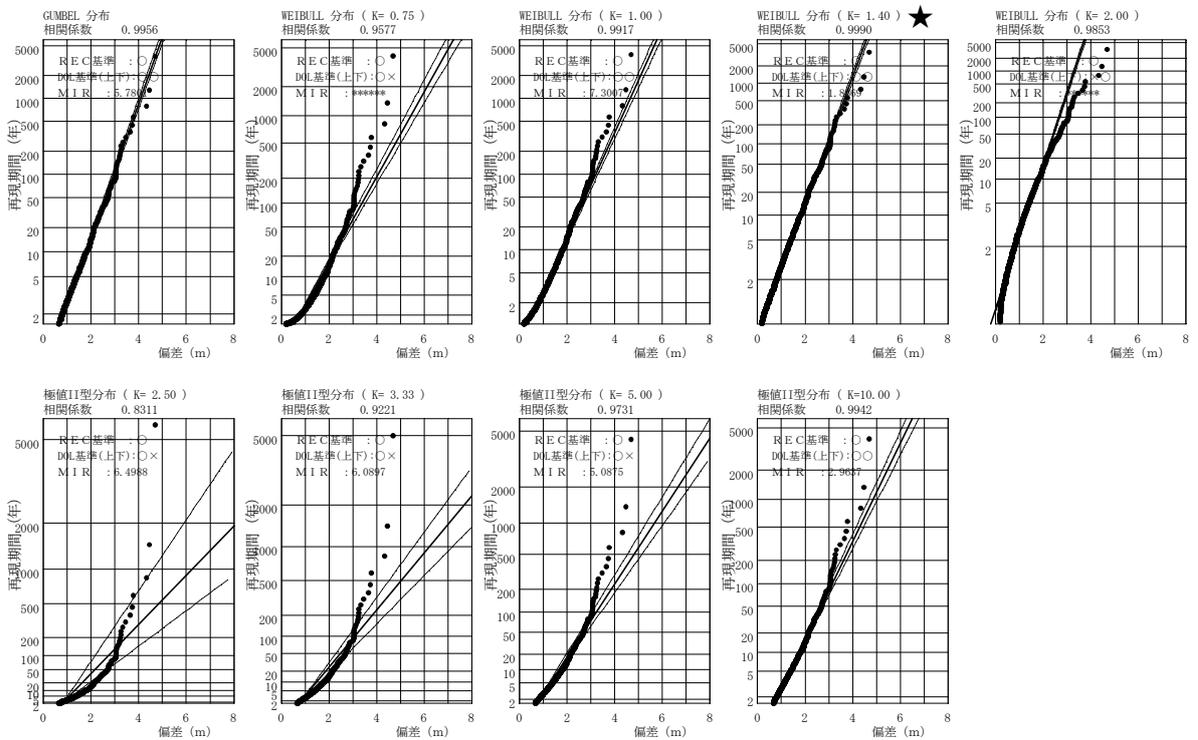


図-32(2) 潮位偏差の極値統計解析結果(伊勢湾)

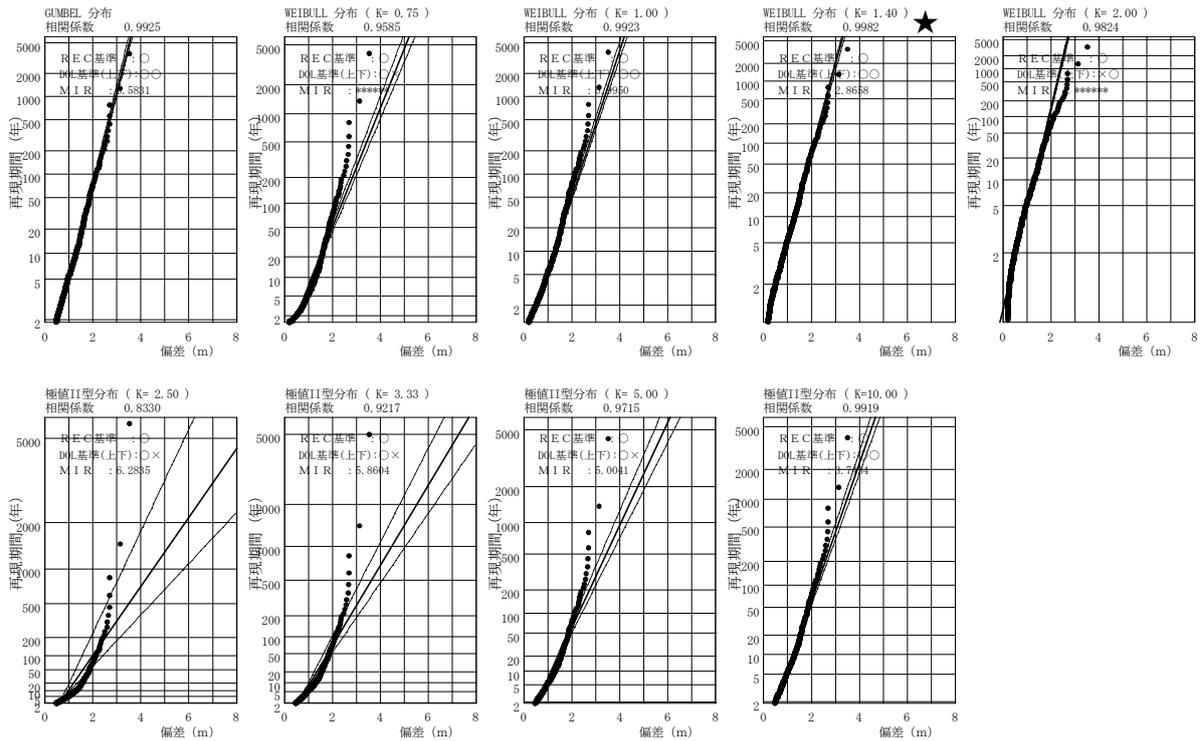


図-32(3) 潮位偏差の極値統計解析結果(大阪湾)

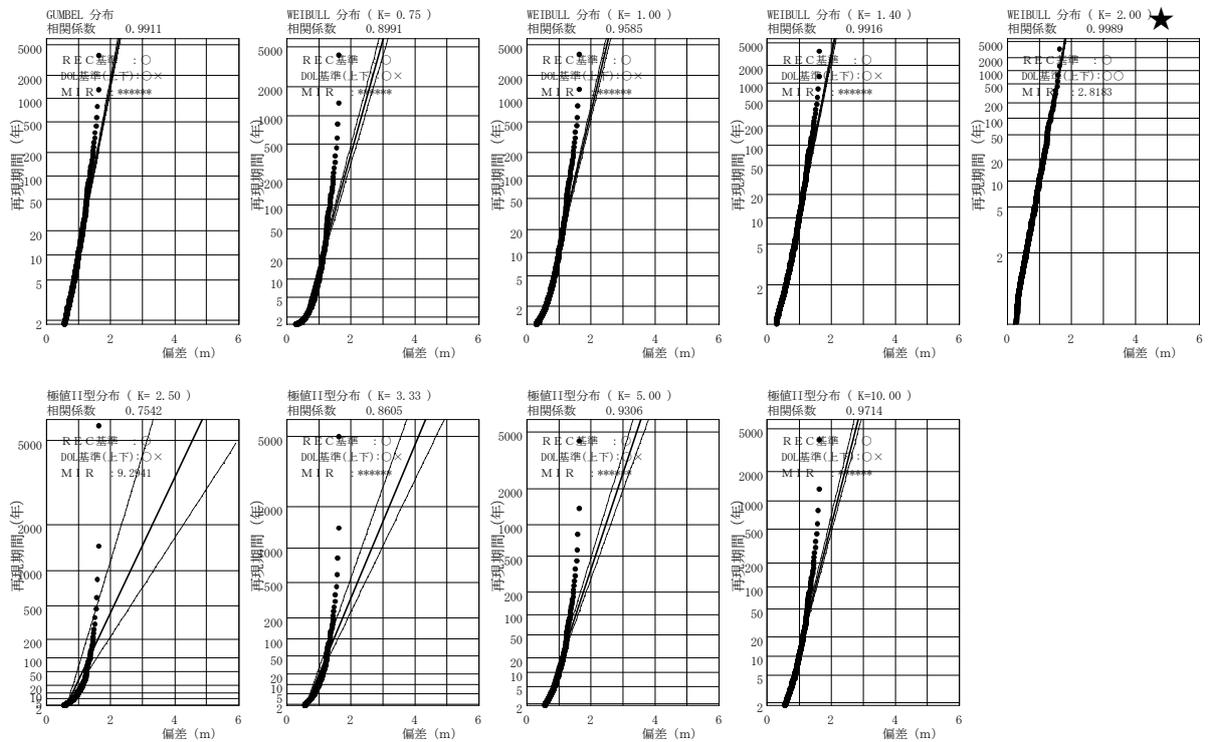


図-32(4) 潮位偏差の極値統計解析結果(土佐湾)

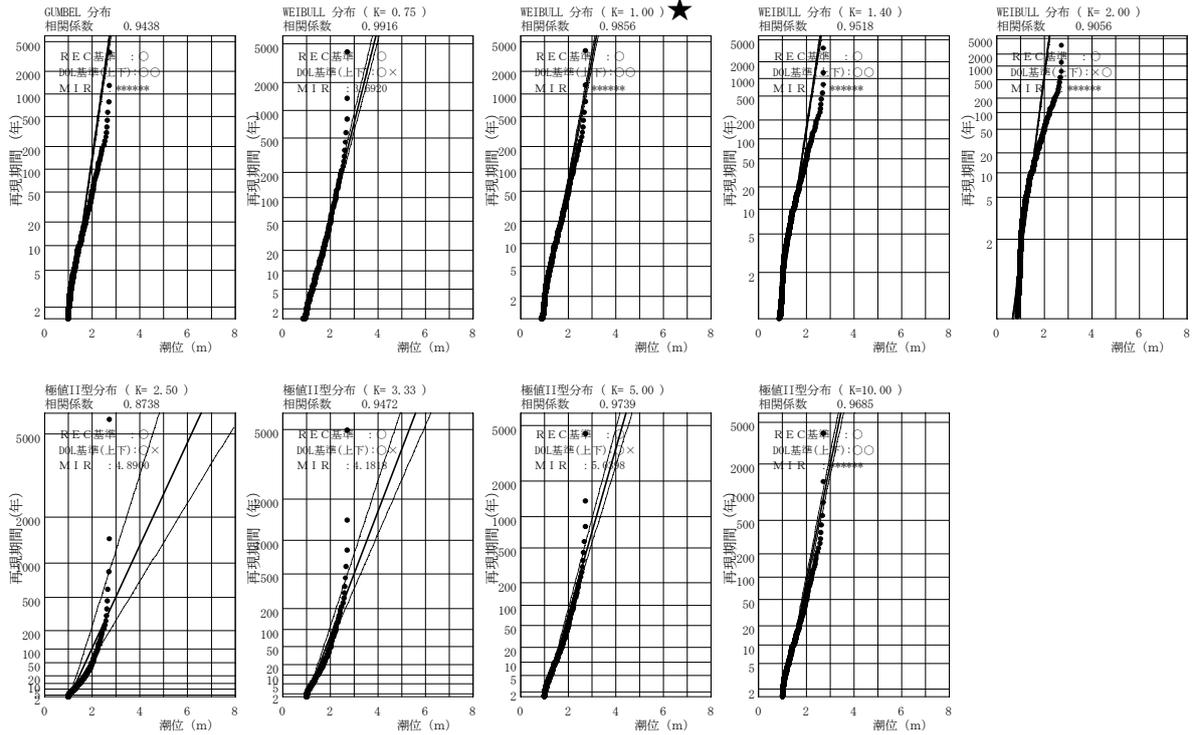


図-33(1) 潮位の極値統計解析結果(東京湾)

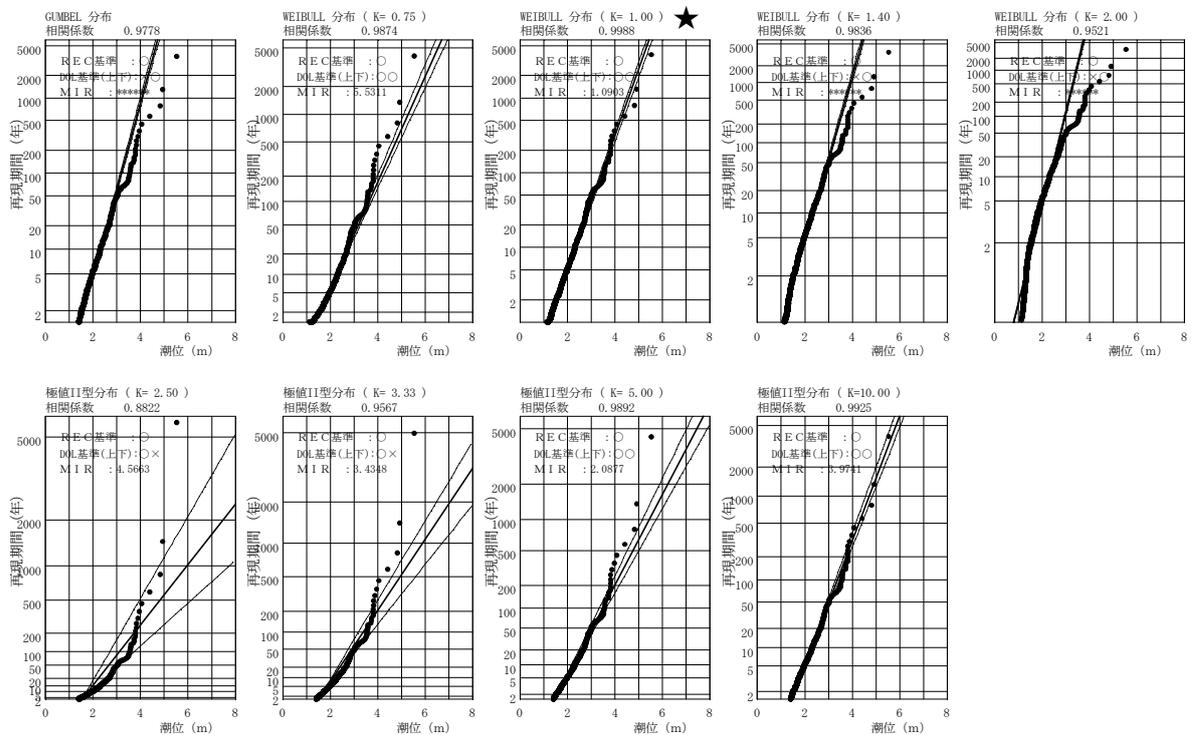


図-33(2) 潮位の極値統計解析結果(伊勢湾)

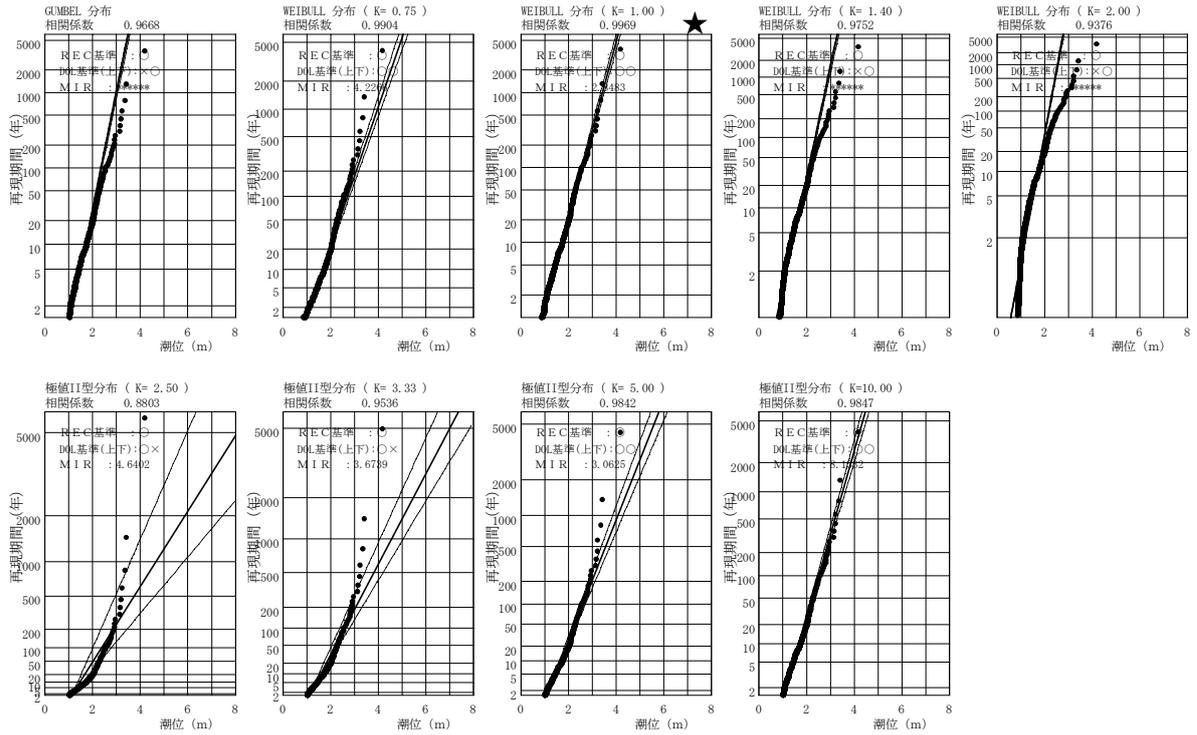


図-33(3) 潮位の極値統計解析結果(大阪湾)

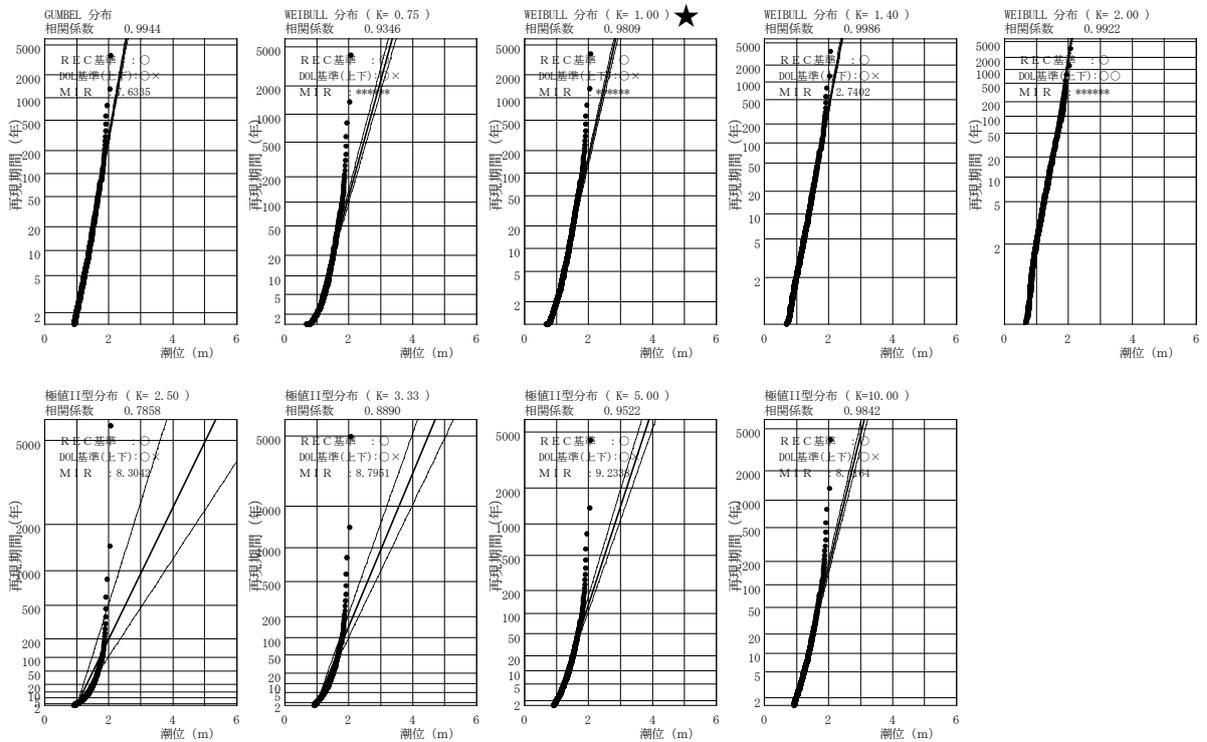


図-33(4) 潮位の極値統計解析結果(土佐湾)

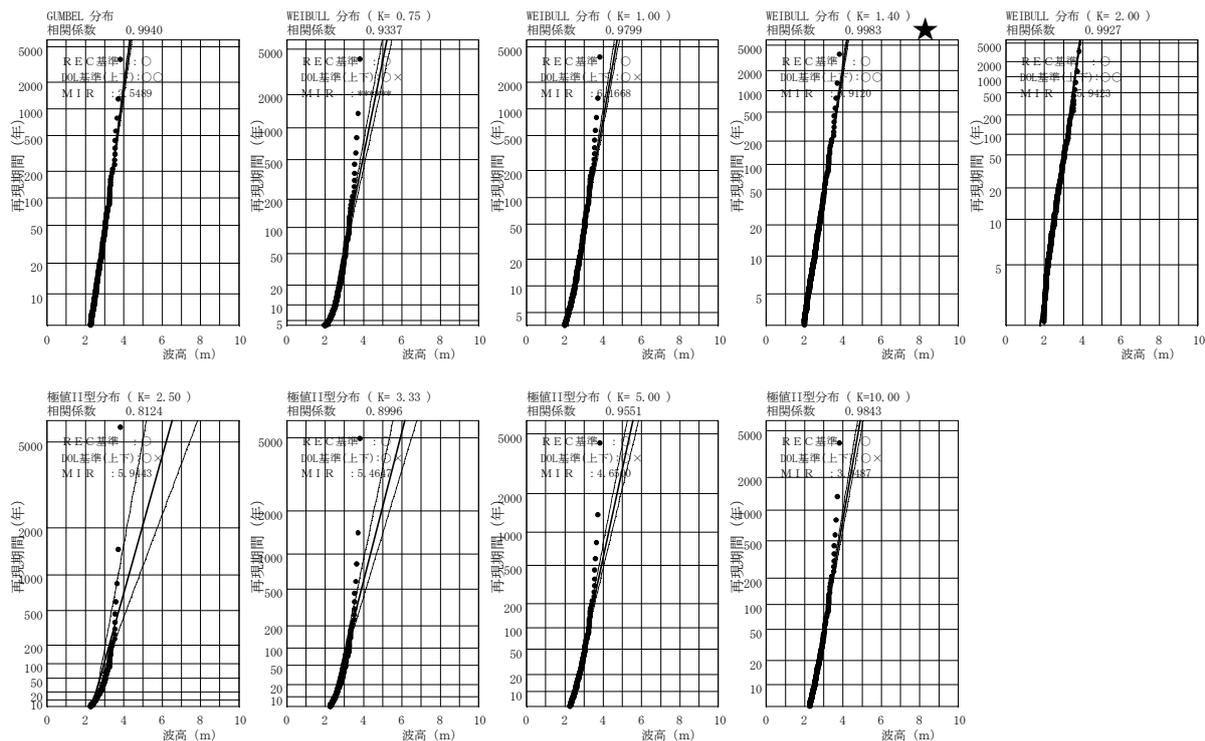


図-34(1) 波高の極値統計解析結果(東京湾)

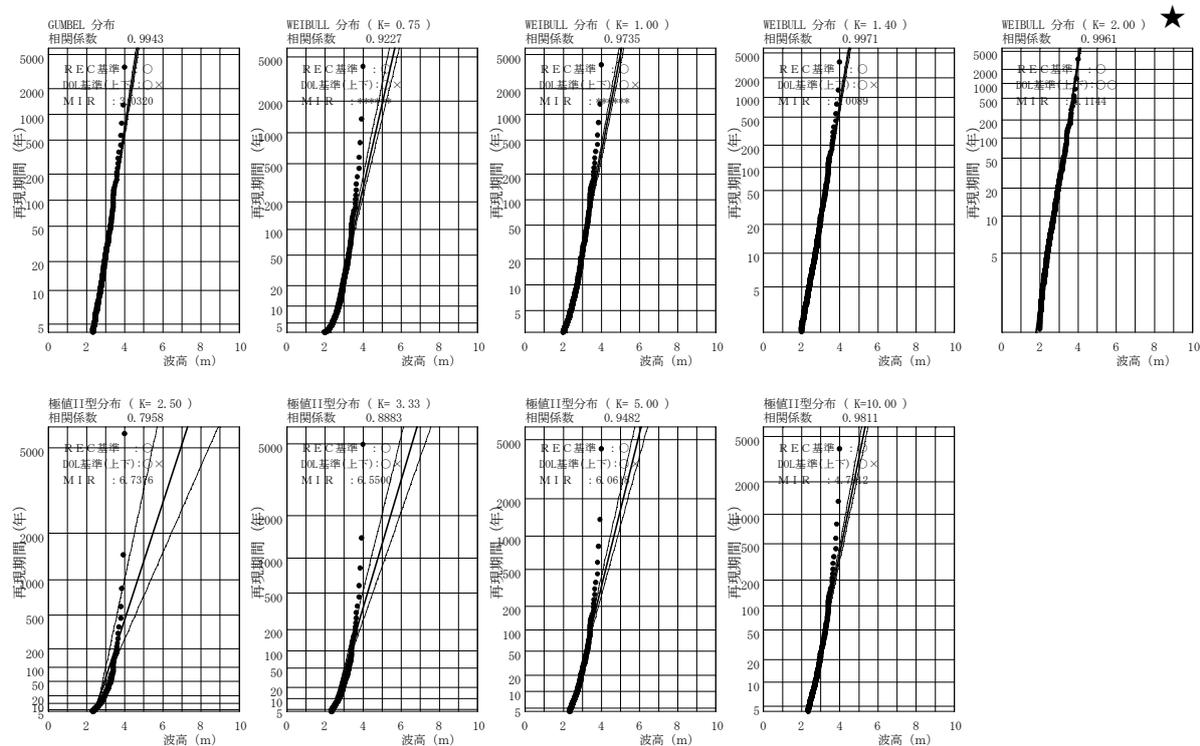


図-34(2) 波高の極値統計解析結果(伊勢湾)

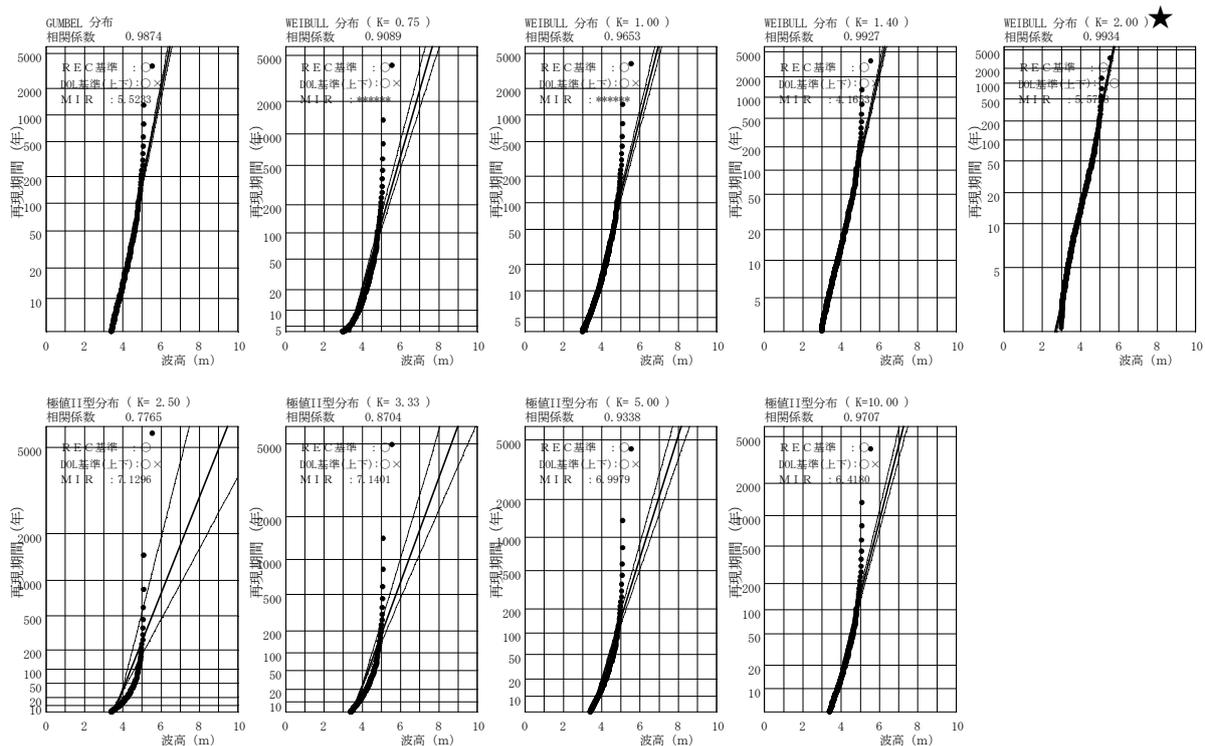


図-34(3) 波高の極値統計解析結果(大阪湾)

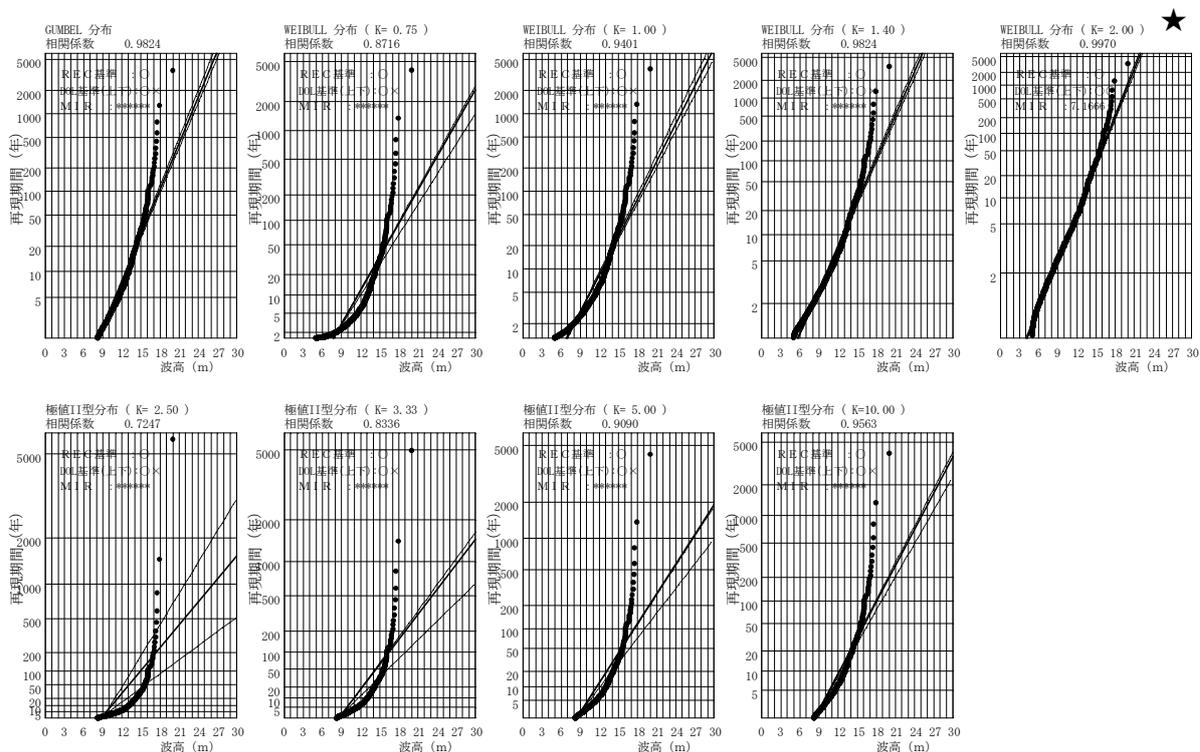


図-34(4) 波高の極値統計解析結果(土佐湾)

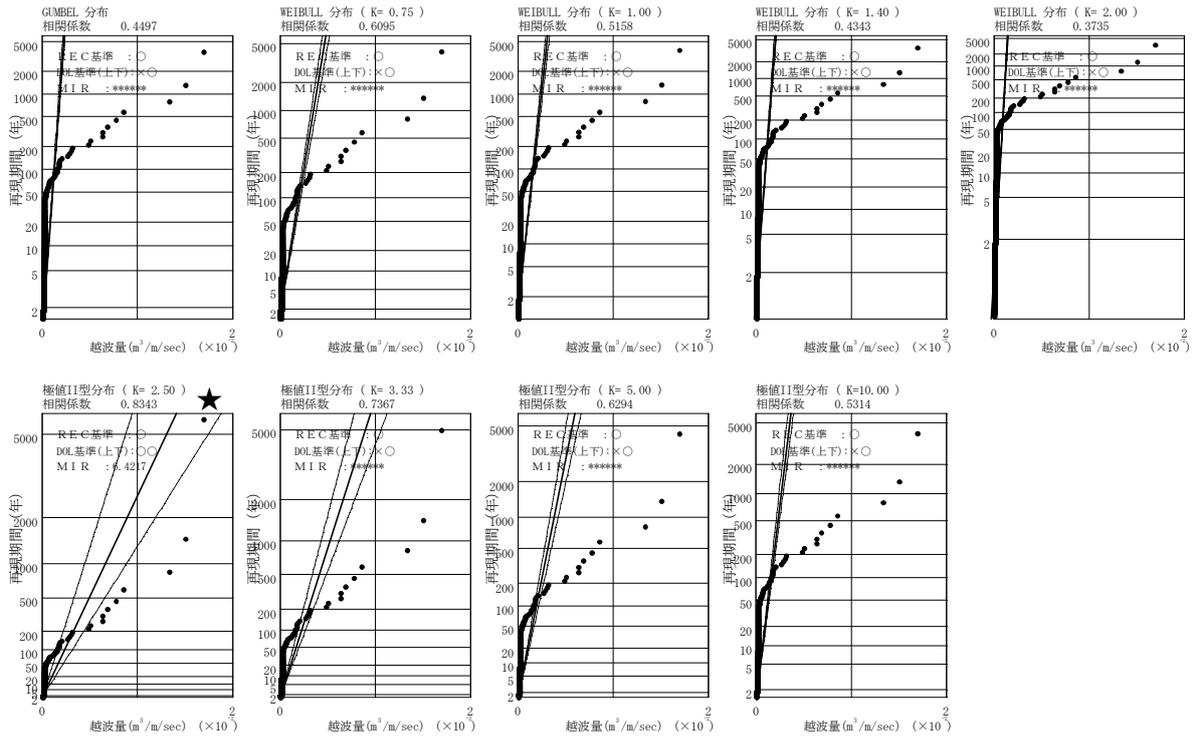


図-35(1) 越波流量の極値統計解析結果(東京湾)

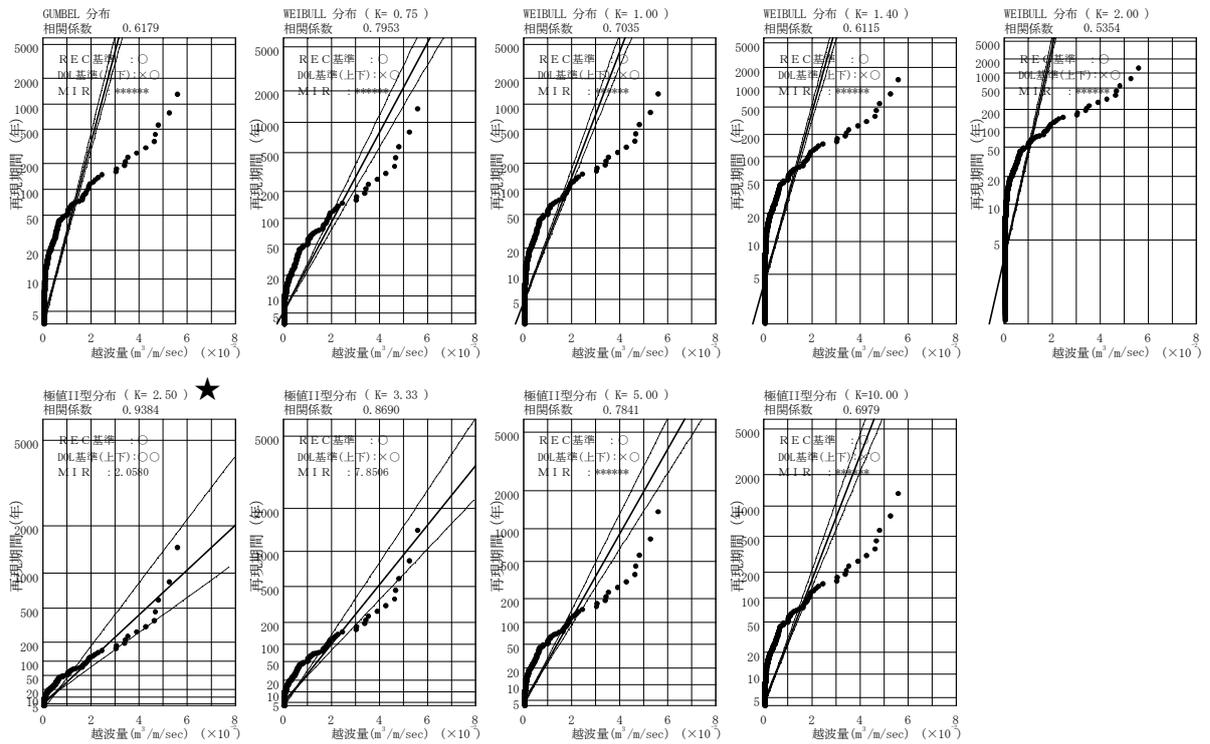


図-35(2) 越波流量の極値統計解析結果(伊勢湾)

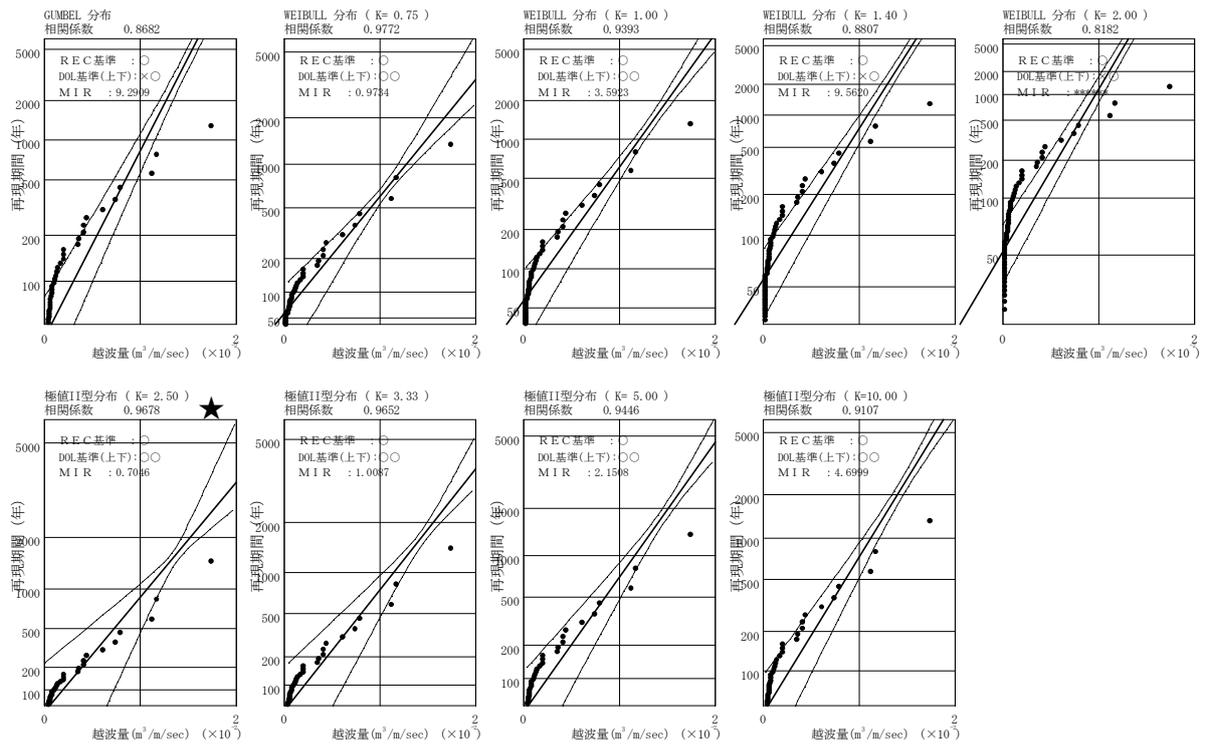


図-35(3) 越波流量の極値統計解析結果(大阪湾)

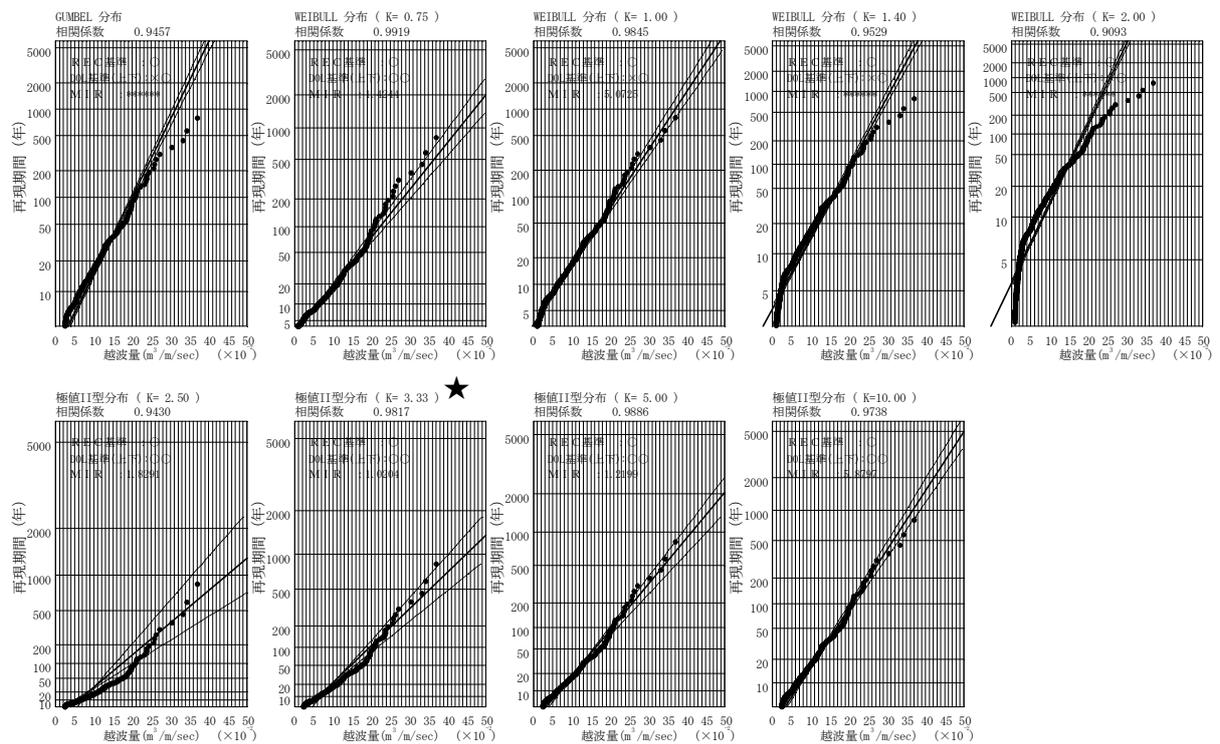


図-35(4) 越波流量の極値統計解析結果(土佐湾)

表-7～10は、対象海岸における各再現期間に対応する潮位偏差、潮位、波高、越波流量の計算結果である。

潮位偏差は伊勢湾がもっとも大きかった。山口ら(1994a)では、確率的台風モデルと潮位偏差に関する重回帰式を組み合わせたシミュレーションにより、再現期間100年の潮位偏差(東京約1.6m, 名古屋2.5m, 大阪2.7m, 高知約1.9m), 同1,000年の潮位偏差(東京約1.9m, 名古屋3.3m, 大阪3.1m, 高知約2.2m)が評価されているが、ほぼ同一箇所と考えられる大阪については今回の評価結果の方が若干小さい。また、山口ら(1995b)では、確率的台風モデルと高潮の数値モデルを組み合わせたシミュレーションにより伊勢湾における再現期間1,000年の潮位偏差の分布を求め、長島については3.5～4.0mと評価されているが、今回の評価結果はそれと概ね一致している。なお、外洋に面した土佐湾でも再現期間1,000年の潮位偏差が1.6mに達しているが、台風7010号による気象庁高知検潮所(桂浜)の既往最大潮位偏差(2.35m)と比べると小さいものの、浦戸湾から離れた手結の最大潮位偏差より大きかった。

潮位も伊勢湾がもっとも大きく、次いで大阪湾、東京湾の順であった。鳥居ら(2001)では、高知検潮所の実測値をもとに天文潮位と潮位偏差の結合確率を求め、T.P.+2.85m(朔望平均満潮位+既往最大潮位偏差)の再現期間が450年と評価されている。これと比べて今回の評価結果は小さい確率となっているが、潮位偏差と同様に場所が若干異なることが影響していると考えられる。

波高については、外洋に唯一面している土佐湾で大きく、内湾の中では大阪湾が大きかった。山口ら(1994b)では、高知沖の100年確率波高を12.8m(観測資料に基づく推定)、13.3m(50年100回のシミュレーション資料に基づく推定)、1,000年確率波高を同様に15.8m, 16.6mと評価されているが、今回の評価結果の方が大きかった。

越波流量は、土佐湾が著しく大きく、再現期間50年でも $0.1\text{m}^3/\text{m}/\text{s}$ を超えている。伊勢湾では再現期間1,000年で $0.05\text{m}^3/\text{m}/\text{s}$ を上回るが、東京湾や大阪湾では再現期間1,000年でも $0.01\text{m}^3/\text{m}/\text{s}$ 程度であった。伊勢湾は東京湾や大阪湾と比べて天端高が2m程度高いものの、潮位が高いため越波流量が大きくなった。

表-7 潮位偏差の極値統計解析の結果

bay	return period (years)				
	50	100	200	500	1000
Tokyo	1.62	1.82	2.01	2.25	2.43
Ise	2.63	2.94	3.25	3.63	3.90
Osaka	1.88	2.12	2.34	2.62	2.82
Tosa	1.27	1.36	1.45	1.56	1.63

(m)

表-8 潮位の極値統計解析の結果

bay	return period (years)				
	50	100	200	500	1000
Tokyo	1.91	2.09	2.28	2.52	2.71
Ise	3.11	3.45	3.79	4.23	4.57
Osaka	2.32	2.57	2.83	3.17	3.42
Tosa	1.62	1.70	1.78	1.88	1.94

(m:T.P.基準)

表-9 波高の極値統計解析の結果

bay	return period (years)				
	50	100	200	500	1000
Tokyo	3.05	3.24	3.43	3.66	3.83
Ise	3.21	3.37	3.52	3.69	3.82
Osaka	4.53	4.75	4.95	5.20	5.36
Tosa	15.89	16.96	17.94	19.15	20.00

(m)

表-10 越波流量の極値統計解析の結果

bay	return period (years)				
	50	100	200	500	1000
Tokyo	0.0017	0.0024	0.0033	0.0049	0.0067
Ise	0.0130	0.0193	0.0277	0.0429	0.0587
Osaka	0.0001	0.0019	0.0039	0.0073	0.0108
Tosa	0.1500	0.1997	0.2605	0.3623	0.4600

( $\text{m}^3/\text{m}/\text{s}$ )