

台風接近時の港湾における潮位の確率予測に関する二、三の検討

Several Examinations of Probabilistic Prediction of Storm Water Level at Ports before Typhoon Arrival

河合弘泰¹・橋本典明²・山城 賢³

Hiroyasu KAWAI, Noriaki HASHIMOTO and Masaru YAMASHIRO

While a typhoon is approaching, the necessity of disaster prevention works in ports is often judged from the highest storm water level in the storm surge simulation for several probable typhoon tracks. Since the actual water level seldom reaches the highest one predicted, the accumulation of such an experience causes carelessness in persons in charge of disaster prevention. The probability density distribution of the storm water level predicted is useful information for them to estimate the possibility of disaster in their ports. This study, therefore, simulated the storm surge in Seto Inland Sea for 109 typhoon tracks crossing or passing by the prediction circle of typhoon location and then discussed on the variation of the range and the accumulative probability density distribution of the storm water level with lead time until the typhoon arrival.

1. はじめに

台風接近時の高潮防災には、高潮の予測計算が不可欠である。ただし、台風予測の不確定性は大きく、気象庁では予報円の中心または円周上で中心から前・後・左・右方の点を通る、合計5つのコースを仮定して、各コースに対する高潮偏差を計算し、天文潮位と重ね合わせ、得られた最高の潮位をもとに高潮警報・注意報を発令している。また、陸地の浸水防止や海上工事の安全確保に役立てるために、他の組織でも気象庁と同様な高潮予測計算を行う研究がなされてきた(山口ら, 1995; 額田ら, 2003; 中平ら, 2003; 河合ら, 2005; 辻尾ら, 2007)。

しかしながら、これらの予測で用いた台風のコース数は様々である。コース数の限られた予測では、特に台風が遠方であって、当該海域にかかる予報円の半径がまだ大きな時に、これから発生し得る最高の潮位を得ていない可能性がある。その一方で、「予測で得られた最高の潮位を超える潮位はあまり発生しない」という現実もあって、「予測を下回ること」を「空振り」と受けとめる人がいれば、予測に対する防災の緊張感は薄れてしまう。

このような難点に対処する方法の一つとして、予報円の内外を通る無数のコースに対して高潮計算を行い、得られた潮位を確率分布として示す方法、すなわち「潮位の確率予測」がある。本研究では、この方法を用いて、①最大高潮偏差や最高潮位の予測値がどんな確率分布になっているか、②5本のコースで得られる最高潮位が無数のコースで得た確率分布でどのような位置にあるか、③台風最接近までのリードタイムによって予測値の幅が

どう変化するか、について調べた。

2. 台風コースの配置と高潮推算の方法

本研究では、予報円の内外を通る様々な台風のコースを設定し、瀬戸内海を例として、各コースに対する高潮を推算し、各港湾の最大高潮偏差や最高潮位の予測値の確率分布を求めた。

(1) モデル台風

本研究に用いた台風は、当該海域に顕著な高潮災害をもたらした台風0416号と6523号(第二室戸台風)をモデル化したものであり、以下ではそれぞれを台風1、台風2と称する。これらのコースを図-1に示す。各時刻における台風の位置と中心気圧には実際の値を与えた。一方、

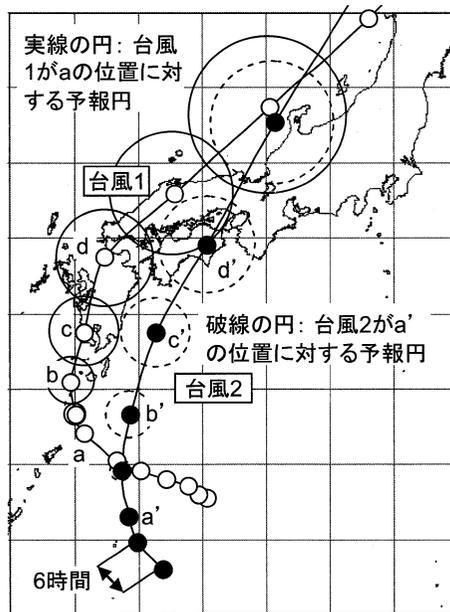


図-1 台風のコースと予報円

1 正 会 員 修(工)(独法)港湾空港技術研究所 海洋・水工部
海象情報研究領域長心得
2 フェロー 工博 九州大学大学院教授 工学研究院環境都市部門
3 正 会 員 工博 九州大学大学院助教 工学研究院環境都市部門

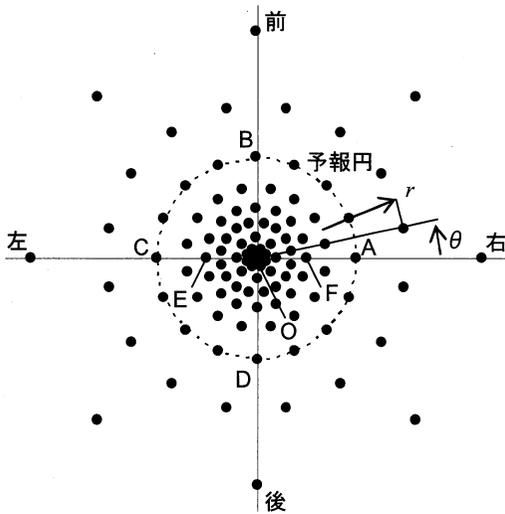


図-2 予報円に対する台風コース

表-1 補助円とコースの配置

補助円の番号	補助円の半径 r (予報円=1)	コースの本数 N	コースの方向 θ (rad), $i=1\sim N$
0	0	1	-
1	0.03	4	$i / 4 \cdot 2\pi$
2	0.1	8	$(i+1/2) / 8 \cdot 2\pi$
3	0.2	8	$i / 8 \cdot 2\pi$
4	0.35	16	$(i+1/2) / 16 \cdot 2\pi$
5	0.5	16	$i / 16 \cdot 2\pi$
6	0.7	16	$(i+1/2) / 16 \cdot 2\pi$
7	1	16	$i / 16 \cdot 2\pi$
8	1.5	16	$(i+1/2) / 16 \cdot 2\pi$
9	2.25	8	$i / 8 \cdot 2\pi$

予報円の中心の位置は、気象庁がその時点で実際に発表した位置ではなく、台風が実際に進んだ位置とした。本研究では、過去の特定の台風ではなく、典型的な台風による潮位の予測値の分布を調べることに主眼を置いてるので、このような仮定にした。

台風の予報円の半径には、近年の気象庁の平均的な予測誤差(気象庁, 2008)と、予報円内に入る確率が約70%であることを参考に、24時間後が125km, 48時間後が250kmと、経過時間に比例する値を与えた。また、現実の台風では、停滞・転向時と偏西風を受けて北北東進する時とで、コースの予測誤差の分布に違いがあるかも知れないが、本研究では予報円の中心を原点とする二次元の正規分布を仮定した。

設定した台風のコースは、予報円に対して図-2に示す109点を通るものであり、その詳細な諸元を表-1に示す。すなわち、予報円の半径を1としたときに、半径が0.03~2.25の補助円を描き、その円上に等間隔で4~16個の点を配置した。ただし、隣り合う補助円で、中心から見て同じ方角に点が配置されないように、互い違いにした。

各コースが分担する確率も概ね1%ずつとなるように調整した。図中のOは予報円の中心、Aは右端、Bは前端、Cは左端、Dは後端、EはCとOの中点、FはAとOの中点であり、これらは109個の点に含まれている。

(2) 海面気圧, 海上風, 高潮の計算方法

台風接近時に109本のコースに対して高潮を計算するためには、海面気圧と海上風の分布を経験的台風モデルで与えざるを得ない。本研究では、河合ら(2007)が瀬戸内海で局地気象モデルに比較的近い海上風を再現できることを確認したモデルを選んだ。すなわち、海面気圧の分布にはMyersの式を用いた。海上風には、傾度風のつり合い式に台風の移動の効果を取り込むとともに、風速低減係数を台風の中心からの距離の関数で与えて超傾度風を考慮するもの(Mitsuta・Fujii, 1987)を元にした式を用いた。その風速Wは、

$$W = \left\{ -\frac{rf - V_T \sin \beta}{2} + \sqrt{\left(\frac{rf - V_T \sin \beta}{2}\right)^2 + \frac{\Delta p}{\rho_a} \frac{r_0}{r} \exp\left(-\frac{r_0}{r}\right)} \right\} \quad (1)$$

$$C = C_\infty + (C_p - C_\infty) \left(\frac{X}{X_p}\right)^{k-1} \cdot \exp\left\{\left(1 - \frac{1}{k}\right)\left[1 - \left(\frac{X}{X_p}\right)^k\right]\right\} \quad (2)$$

$$C_p = \min\left\{\frac{2}{3}\left[1 + 10^{(0.0231\Delta p - 1.95)}\right], 1\right\} \quad (3)$$

によって与えられる。ここに、 r は台風の中心からの距離、 f はコリオリのパラメタ、 V_T は台風の進行速度、 β は台風の中心から見た方向、 Δp は気圧深度、 ρ_a は大気密度、 r_0 は最大風速半径、 C は風速低減係数、 $C_\infty=2/3$, $k=2.5$, $X=r/r_0$, $X_p=1/2$ である。吹き込み角は中心からの距離の関数で与え、風速低減係数の最大値 C_p は1を超えないように制限した。

気圧変化や風による流れは、河合ら(2006)と同様、天文潮位を無視した単層・線形長波方程式のモデルで計算した。図-3に示すように、瀬戸内海では格子間隔を1.8kmとした。得られた高潮偏差は調和定数から求めた天文潮位と線形的に足し合わせ、潮位を求めた。

以上のような演算を1台のデスクトップ・パソコン(CPU Intel Core™2 Duo CPU E6850 3.00GHz)で行ったところ、台風1(実時間で60時間分の計算)の場合で、一本のコースにつき約9分、109本で約18時間半かかった。

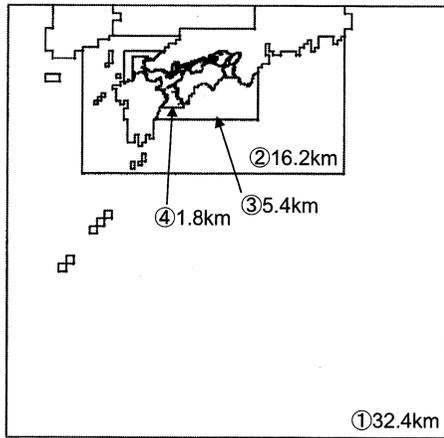


図-3 高潮の計算領域

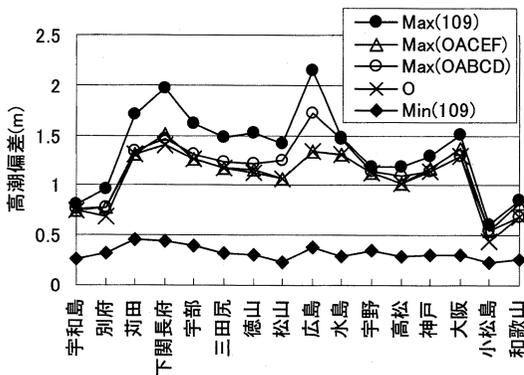


図-4 代表地点における最大高潮偏差(台風1)

3. 設定する台風コース数による最大高潮偏差の違い

図-4は、台風1が図-1のaの位置にあるときの予測計算で得られた、瀬戸内海周辺各地の最大高潮偏差を示す。109本のコースによる最大値Max(109)は、下関港や広島港で2mに達している。予報円の中心と左右4点を通るコースによる最大値Max(OACEF)、中心と前後左右端を通るコースによる最大値Max(OABCD)は、何れの地点でもMax(109)より小さく、その差は下関長港や広島港のように高潮偏差の顕著な地点で大きい。なお、この例では、予報円の中心を通るコースの値OがMax(OACEF)やMax(OABCD)と一致する地点が多いが、これはたまたま中心を通るコースがおおむね最悪のコースであったことを意味している。Min(109)は109本による最小値である。

図-5は図-4を平面分布で示したものである。最大高潮偏差の値に違いはあるが、分布のパターンはよく似ている。周防灘の西部や広島湾の北部、すなわち台風のコースに近く、地形的にも顕著な高潮が発生しやすい海域で

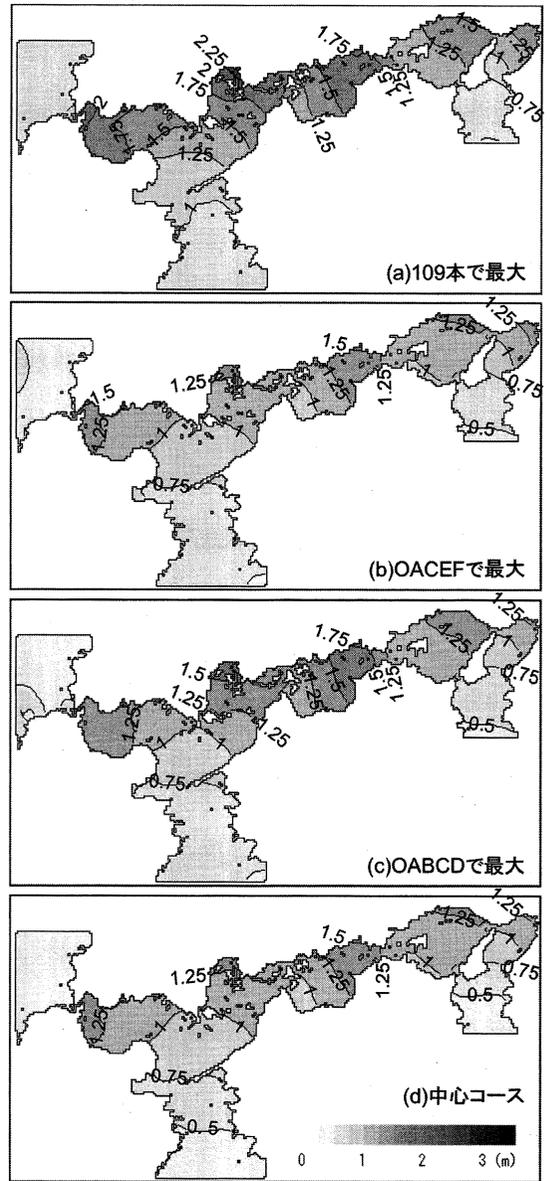


図-5 最大高潮偏差の分布(台風1)

は、0.3m以上の差がある。

4. 予報円内外の位置による予測値の違い

(1) 最大高潮偏差の分布

図-6(a)は、台風1が図-1のaの位置にあるときの予測計算で得た最大高潮偏差を示す。その値は予報円の左右方向で大きく異なり、この例では両港ともに、予報円の中央付近を通る、すなわち両港の北西側を通過すると、高潮偏差が顕著になる。また、前後方向を比較すると、前方で大きな値になっている。前方の場合、台風の移動速度が速く、台風の上風を構成する場の風が強くなる

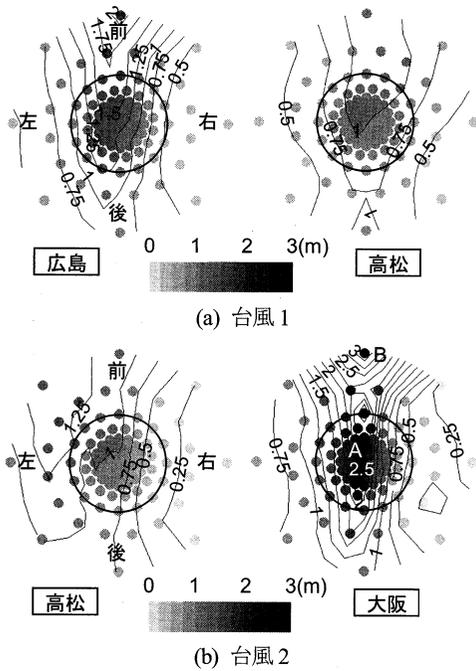


図-6 各コースの最大高潮偏差

ため、その吹き寄せ効果によって高潮偏差も大きくなる。

図-6(b)は台風2が図-1のa' 地点にあるときの予測計算で得た最大高潮偏差である。高松港では、予報円の左前方の外側、すなわち高松港の西方を通過すると顕著な高潮偏差となる。大阪港では、左右方向では中央付近、大阪湾の西方を通過すると顕著な高潮偏差となる。図のAとBの2箇所にピークが見られるが、これは予報円外に設定したコースの間隔が粗いために生じたものであり、間隔を細かくすれば連続したものになると考えられる。

(2) 最高潮位の分布

図-7のaは、台風1が図-1のaの位置にあるときの予測計算で得られた最高潮位(高潮偏差と天文潮位を合わせた潮位の最高値、DL基準)である。瀬戸内海では天文潮差が1.5~4mと大きく、最高潮位は最大高潮偏差の起時と満潮が重なるかどうかにより大きく左右される。そのため、最高潮位は予報円の左右方向よりはむしろ前後方向で大きく異なる。この例では、高松港では予報円のほぼ中心で、広島港では予報円の後方で最高の値を得ている。

5. リードタイムによる予測値の変化

図-7のa~dは、台風1がそれぞれ図-1のa~dの位置にあるときの予測計算で得られた最高潮位である。台風最接近までのリードタイムはaからdに向かって短い。台風接近に伴って予測値のばらつきは小さくなっている。

図-8はこの予測値を累積分布として示したものである。高松港では、台風が図-1のaの位置のとき(最接近の約

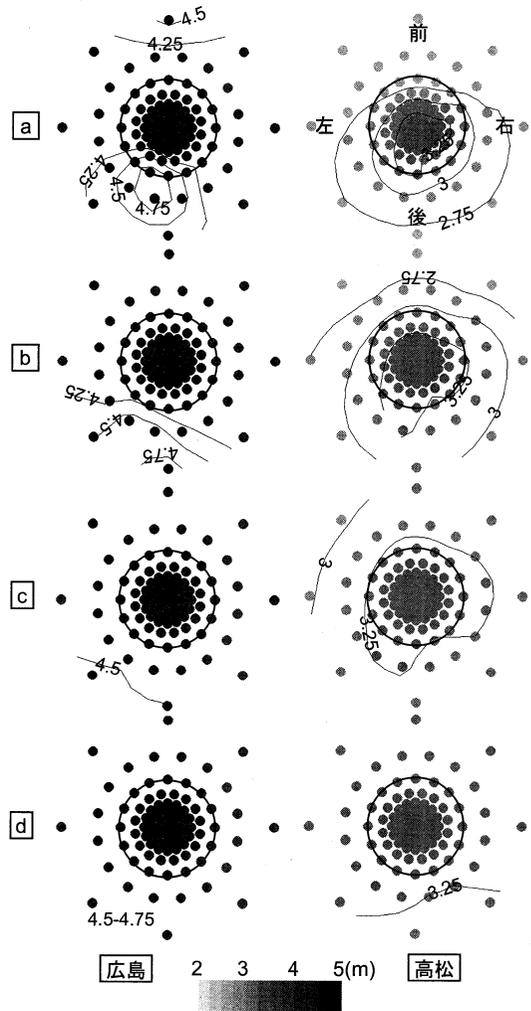


図-7 各コースの最高潮位(台風1)

30時間前)に予測値の幅が0.8mほどあるが、dの位置(約6時間前)には0.2mほどに狭まり、岸壁など港湾施設の浸水の有無を判断しやすい状況になっている。高松港では最大高潮偏差が満潮と重なった。一方、広島港では、天文潮差が4mほどあり、1~2mの高潮偏差であれば、満潮と数時間ずれることで潮位が満潮位を超えなくなる。そのため、台風がaの位置のとき(約27時間前)でも潮位が満潮位を0.2m以上超える確率は10%程度であり、cの位置(約9時間前)ではほとんど0%になっている。

図-8には、台風が図-1のaの位置のときの予報円の中心O、右端A、前端B、左端C、後端Dを通るコースに対する予測値も示した。広島では、これら5本のコースによる最高値(図の◇印)が上位5%以内に位置している。中心を通るコースに対する潮位の予測値(図の●印)は、必ずしも確率分布の中央値になるとは限らない。

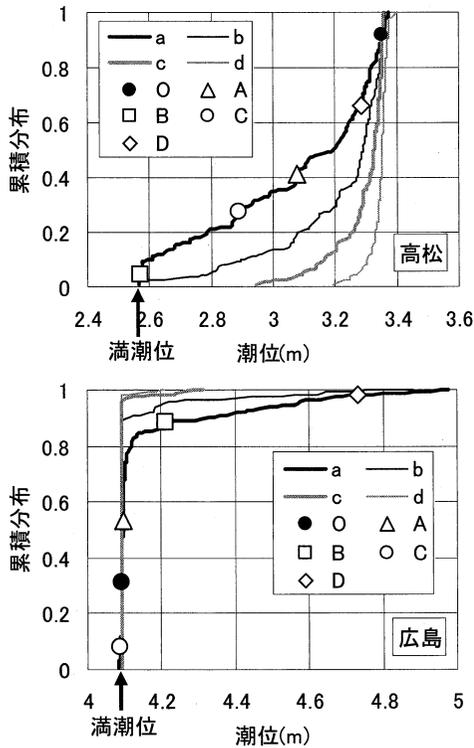


図-8 最高潮位の累積分布(台風1)

6. 高潮推算精度の影響

ここまでは、高潮推算が正確という前提のもとで、台風のコースによる最高潮位の分布を議論してきた。ところが現実には、高潮推算に誤差があり、中心気圧や最大風速半径の値にも不確実性がある。したがって、もう少し緻密に最高潮位の確率分布を評価しようとするならば、防波堤の被災遭遇確率や期待滑動量を計算する際に、沖波推算、浅海波浪変形計算などのばらつきを考慮する(河合ら、1997) のと同様な扱いが必要だろう。図-9は、高潮偏差の推算誤差が偏り0、変動係数0.1の正規分布にしたがう場合の、最高潮位の確率分布を試算した例である。最高潮位の確率分布は、潮位の高い側に伸び、低い側は満潮位付近の確率が増えている。

7. おわりに

本研究で得られた結論は、以下の通りである。

- ① 台風予報円において、最大高潮偏差は左右方向に、最高潮位は前後方向に大きな違いがある。
- ② 予報円の中心、左右前後4端のコースによる最高潮位は、109本のコースによる最高潮位より低い、確率

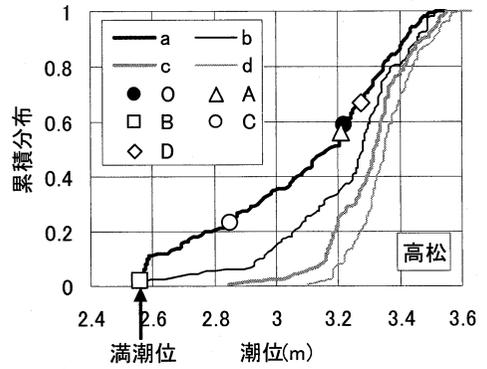


図-9 高潮推算誤差を考慮した最高潮位の累積分布(台風1)

分布で上位5%以内となることもある。予報円の中心を通るコースが中央値を与えるとは限らない。

③ 台風が当該海域に接近するにつれて、最高潮位の推算値のバラツキは小さくなる。

今後は、台風の海面気圧、海上風、流れの推算精度を評価するとともに、波浪、越波や構造物の破壊の予測との結合、港湾防災への活用方法についても検討したい。

参考文献

河合弘泰・平石哲也・関本恒浩 (1997)：防波堤堤体の設計における不確定要因が被災遭遇確率に及ぼす影響，海洋開発論文集，第13巻，pp.579-584。
 河合弘泰・本多和彦・富田孝史・柿沼太郎 (2005)：2004年に発生した台風の特徴と高潮の予測・再現計算，港湾空港技術研究所資料，No.1103，34p。
 河合弘泰・橋本典明・松浦邦明 (2006)：確率台風モデルを用いた地球温暖化後の瀬戸内海における高潮の出現確率分布の推定，海岸工学論文集，第53巻，pp.1271-1275。
 河合弘泰・川口浩二・大金達夫・友田伸明・萩元幸将・中野俊夫 (2007)：経験的台風モデルと局地気象モデルの風を用いた瀬戸内海の高潮推算精度，海岸工学論文集，第54巻，pp. 286-290。
 気象庁 (2008) http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typ_kensho/typ_hyoka_top.html，2008年3月21日。
 辻尾大樹・熊谷健蔵・高谷和彦・岩成伸夫 (2007)：兵庫県沿岸における簡易高潮リアルタイム予測システムの開発，海洋開発論文集，Vol.23，pp.123-128。
 中平順一・吉田武司・高山知司・間瀬 肇 (2003)：高潮・高波の簡易予測システムの構築とその運用，海岸工学論文集，第50巻，pp.201-205。
 額田恭史・山本忠治・福山博己 (2003)：第三世代ナウファシステムに対応したNEWカムインズの構築，沿岸センター研究論文集，財団法人沿岸開発技術研究センター，No.3，pp.73-76。
 山口正隆・畑田佳男・花山格章・蘇我部健一 (1995)：台風時波浪および高潮のリアルタイム予測システムの適用性，海岸工学論文集，第42巻，pp.316-320。
 Mitsuta, Y. and T. Fujii (1987)：Analysis and synthesis of typhoon wind pattern over Japan, Bulletin Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Vol.37, Part 4, No.329, pp.169-185.