

台風経路を考慮した瀬戸内海の高潮特性

Characteristics of Storm Surge in the Seto Inland Sea with Consideration of Typhoon Tracks

的場萌実¹・福原信雅²・村上和男³・柴木秀之⁴

Moemi MATOBA, Shinga FUKUHARA, Kazuo MURAKAMI and Hidenori SHIBAKI

In this study, characteristic of storm surge in the Seto Inland Sea by a representative typhoon tracks was investigated. Considering characteristic of the astronomical tide in the Seto Inland Sea, we examined peak coincidence property of high surge height and astronomic high tide. As a result, we obtained these conclusions. 1) In a typhoon that pass trough from southwest to northeast, high surge height occurs widely with a time delay. And high surge height and astronomical tide occurs coincidently with high probability. 2) In a typhoon that pass through from south to north, high surge height occurs only in a neighborhood of a typhoon course and occurs approximately at the same time. Therefore the possibility that storm surge peak and astronomical high tide occur at the same time is low

1. はじめに

近年, 地球温暖化に伴う台風やハリケーン等の大型化が懸念されており, 瀬戸内海においても 2004 年の台風による高潮で各地の潮位が既往最高潮位を超え, 大きな被害を被った。特に瀬戸内海東部の高松, 宇野付近では天文潮の満潮と高潮のピークが重なったために, 既往最高潮位が更新された。瀬戸内海において甚大な被害をもたらした台風 0416 号では台風の勢力から予想される以上の高潮位が発生した。このように高潮の発生には天文潮の影響によってもその規模が大きく左右される。また高潮は, 波浪との関係も重要であり, 波浪との同時生起性に関しては下元ら (2006) によって報告されている。

本研究では, 天文潮の挙動と高潮のピークの間関係を台風の通過経路を考慮することによって, 東西に長く, また, 干満差の大きい瀬戸内海での高潮特性を数値計算により求めた。

2. 研究概要

瀬戸内海近傍を通過した過去 50 年間の合計 79 の台風のうち, 48 の台風が南西から北東の方向に (経路パターン 1), 24 の台風が南から北に向かう経路 (経路パターン 2) を通っている。東西に約 450 km の瀬戸内海の高潮は, この台風の通る経路によってその特性が異なる。また瀬戸内海の潮位差は大きく, 高潮のピークが満潮時の場合と干潮時の場合とでは, その水位差は大きく異なる。そこで, 2つの代表的な経路の台風として, 図-1 に示す台風 0416 号と 7010 号を取り上げ, 各々のコースか

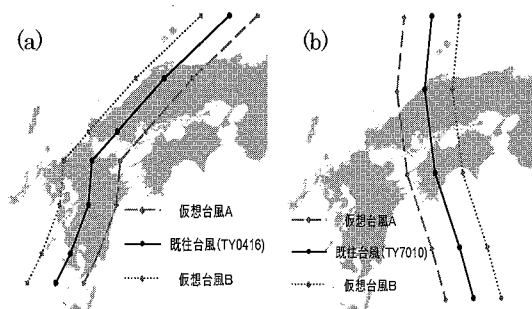


図-1 台風 0416 号と台風 7010 号の通過経路とそれぞれの仮想台風の経路 (a) 台風 0416 号, (b) 台風 7010 号

らそれぞれ東西に 80 km ずらした台風を仮想台風として, 数値実験により満潮と高潮のピークが遭遇するケースに関する検討を行った。

3. 使用する台風モデル

数値シミュレーションに用いた台風モデルは, 気圧分布に式 (1) に示す Myers のモデルを用いる。

$$P = P_0 + \Delta P_{\exp} \left(-\frac{r_{\max}}{r} \right) \dots \dots \dots (1)$$

ここに, P はある地点での海面気圧, P_0 は台風中心の海面気圧, ΔP は中心深度, r は台風中心からの距離, $r_{\max}$ は台風中心から最大風速が発生するまでの距離を表す。

台風域内の風は, 式 (2) に示すように, 傾度風 U_1 (式(3)) と, 場の風 U_2 (式(5)) の合力として表される。さらに傾度風は式 (4) に示す Super Gradient Wind を考慮した Mitsuta&Fujii (1987) のモデルを導入して算出するものとする。実測値に基づいて台風中心近傍で強い風が吹くように算出される。このモデルを用いた瀬戸内海での高潮数値計算は比較的精度良く再現さ

1 学生会員 武蔵工業大学大学院工学研究科都市基盤工学専攻
2 戸田建設株式会社
3 フェロー 博(工) 武蔵工業大学工学部都市工学科
4 正 会 員 博(工) 株式会社エコー

れている (的場ら, 2006).

$$W = U_1 + U_2 \dots\dots\dots (2)$$

$$V_{gr} = F(r) = \frac{fr}{2} + \sqrt{\frac{fr^2}{2} + \frac{r}{\rho_a} \frac{\partial P}{\partial r}} \dots\dots\dots (3)$$

$$U_1 = V_{super} = C_1(x) V_{gr} \dots\dots\dots (4)$$

$$U_2 = C_2 \frac{U_1}{C_1 F(r_{max})} V_T \dots\dots\dots (5)$$

ここに, V_{gr} は傾度風速, V_{super} は Super Gradient Wind を考慮した傾度風, f はコリオリ係数, r は等圧線の曲率半径を表す. $C_1(x)$ は風速低減関数, C_1 , C_2 は換算係数, V_T は台風の進行速度を表す.

4. 高潮の数値シミュレーション結果

ここでは台風 0416 号 (経路パターン 1), 7010 号 (経路パターン 2) および二つの既往台風の仮想台風 A~D の高潮計算結果を最大潮位偏差の大きさとその発生時刻に注目して示す. また, 観測地点は図-2 ~ 4 に示す 18 地点とする.

(1) 経路パターン 1

a) 既往台風一台風 0416 号

図-2 にシミュレーション結果による最大潮位偏差の大きさと発生時刻を示す. 台風中心が通過した近傍の地点, 荇田, 宇部, 三田尻, 徳山では 8 月 30 日の 15 時 30 分~16 時の間で最大潮位偏差が発生しているのに対し, 荇田から約 160 km 離れた広島, 草津, 呉, 松山では 30 日の 18 時に最大潮位偏差が発生しており, 約 2 時間半の遅れを持って発生していることがわかる. 姫路, 神戸, 和歌山ではさらに 5 時間の遅れを持って潮位偏差のピークが発生している. このように台風中心が南西から北東に向かって進行する場合には, 台風の進行に伴って瀬戸内海西部の荇田から神戸まで約 7 時間半かけて高潮の最大潮位偏差が進行していく傾向が読み取れる. また, 瀬戸内海東部に位置する姫路, 神戸では西部から徐々に高潮位の波が押し寄せて潮位が上昇する傾向があるのではないかと考えられる.

b) 仮想台風 A 一台風 0416 号

次に, 台風 0416 号を東に 80 km 移動させた仮想台風 A のシミュレーション結果を図-3 示す. この場合, 仮想台風 A が伊予灘, 安芸灘の真上を通過するのが特徴的である. よって台風の進行方向に向かって左側に位置する周防灘では潮位偏差は既往台風に比べて小さく, 瀬戸内海の中心付近, 竹原・松山を通過した後から, 燧灘, 播磨灘の各地点では強い海上風の影響によって潮位が上昇していると考えられる. この場合にも燧灘, 備後灘で発生した潮位偏差のピークは約 1~2 時間ずつの遅れを

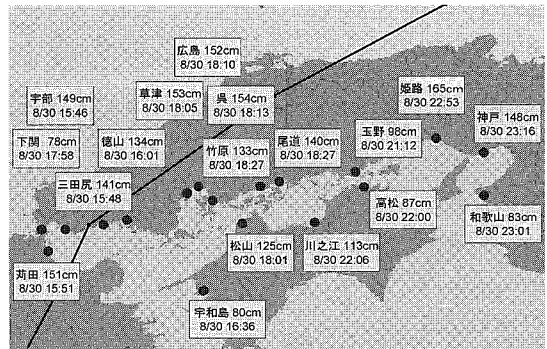


図-2 台風 0416 号の 18 地点における最大潮位偏差発生時刻

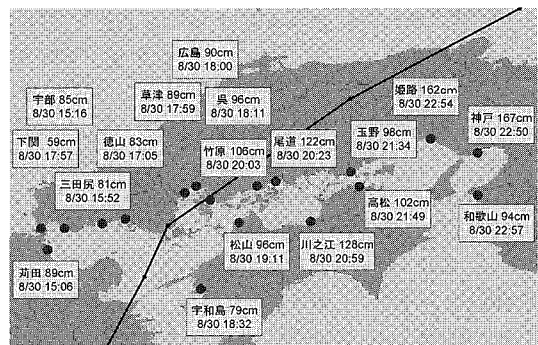


図-3 仮想台風 A の 18 地点における最大潮位偏差発生時刻

持って播磨灘, 大阪湾へと伝播し, 瀬戸内海西部から約 8 時間後に東部の神戸, 姫路で最も大きい最大潮位偏差が発生している.

c) 仮想台風 B 一台風 0416 号

次に, 台風 0416 号を西に 80 km 移動させた仮想台風 B の計算結果を図-4 示す. この台風の特徴としては, 瀬戸内海の上を通過しない経路であることが挙げられる. よって瀬戸内海全域が台風の進行方向に対して右側に位置していることから全体的に潮位偏差が大きい結果となった. この場合, 荇田, 宇部付近で最大潮位偏差が発生してから広島, 呉などでは約 5 時間の遅れを持って発生しており, 既往台風と比較するとピークの伝播が非常に遅い. これは広島の高潮波形が歪んでピークが後半にずれたためである. また, 竹原, 尾道では広島, 呉とほぼ同時に最大潮位偏差が発生している. この場合も瀬戸内海西部で最大潮位偏差が発生してから約 8 時間の遅れを持って東部の神戸, 姫路で最大潮位偏差が発生しているが, 台風中心から 260 km ほど離れていることから影響が少なく, 比較的小さいピーク値となった. 仮想台風 B の場合, 瀬戸内海から最も離れた経路であるが, モデルとした台風 0416 号の台風半径が瀬戸内海北部の沿岸

にほぼ一致していたことから北部を中心に高い潮位偏差が発生している。

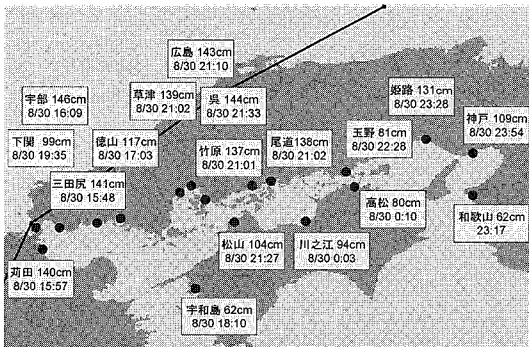


図-4 仮想台風Bの18地点における最大潮位偏差発生時刻

d) 経路パターン1の高潮発生の特性

台風0416号のように南西から北東に抜けていく経路の台風では、荻田から神戸までの瀬戸内海広域400kmの区間で約7時間～8時間の遅れを持って潮位偏差が発生する。また全域で高い潮位偏差が発生する傾向があり、台風の進行に伴って進行方向に向かって高潮位の波が東へ伝わっていく。図-5に示すのは台風0416号通過時の台風の進行速度および潮位偏差の伝播速度を比較したものである。台風の進行速度が速まるにつれて伝播速度も速くなっている傾向がある。備讃諸島では急激に伝播速度が遅くなっているが、この地域では島や入り組んだ地形によって高潮位の波が反射されるなどの影響が出ていると考えられる。また図-6に台風0416号の東経による高潮ピーク時刻と台風経路の関係を示す。この図からもほぼ台風の進行に沿って高潮のピークが発生していることがわかる。

既往台風と2つの仮想台風とを比較すると、既往台風を東に移動させた仮想台風Aでは既往台風と比べると全体的に早い時間に最大潮位偏差が発生しているが、竹原、尾道、玉野など岡山県の沿岸付近では既往台風よりも遅い。一方既往台風を西に移動させた仮想台風Bでは全ての地点における最大潮位偏差の発生時刻は既往台風よりも遅い。

経路パターン1の台風は時間の遅れをもって広範囲で発生しているため、台風の潮位偏差のピーク時が満潮と重なる可能性が高い。そこで、台風0416号と仮想経路から、満潮時と重なった地域があるかを検討し、また瀬戸内海での満潮時の伝播速度を調べることで潮位偏差のピーク値との関係性を検討した。図-7に示すのは台風0416号通過時の瀬戸内海全域における満潮の変化図、また各観測地点の満潮時刻である。

西部に位置する豊後水道と東部に位置する紀伊水道か

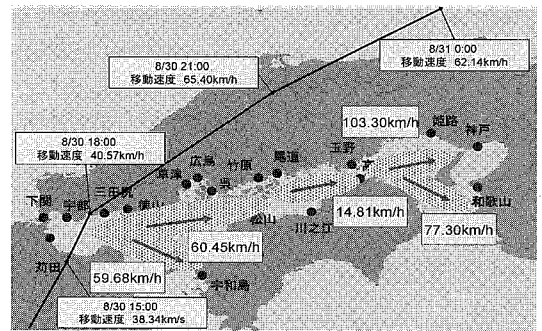


図-5 台風0416号の進行速度と最大潮位偏差の伝播速度

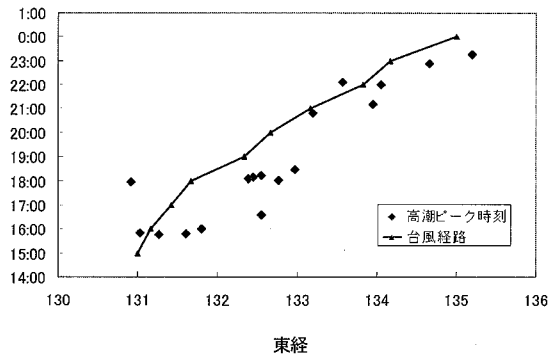


図-6 台風0416号の東経による高潮ピーク時刻と台風経路の関係 (2004年8月30日)

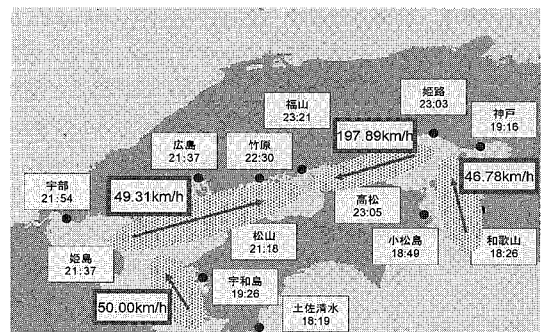


図-7 台風0416号通過時の瀬戸内海における天文潮の満潮の推算時刻

ら瀬戸内海の中心に向かって満潮の遅れが生じており、その伝播速度は西部で約50km/h、東部で約47km/hである。姫路から高松、福山までは非常に大きい伝播速度が算出された。これは備讃諸島によって水道が狭められていることから伝達が速くなっていると考えられる。瀬戸内海での天文潮の特性として、M2分潮が非常に発達し、また今回の結果にも見られたように伝播速度は播磨灘から備讃瀬戸にかけて非常に大きくなる傾向がある。

本研究で解析した台風0416号および仮想台風A、B

において最大潮位偏差発生時刻と満潮時刻を比較した。図-8に既往台風0416号通過時の天文潮および高潮偏差の発生時刻と瀬戸内海の位置関係を表した図を示す。

図-8からもわかるように、備讃瀬戸から播磨灘付近で、高潮偏差のピークと満潮がほぼ同時刻に発生していることがわかる。同様に3つの台風すべての場合で検討したところ、どのケースにおいても、8月30日23時頃に最大潮位偏差が発生した姫路が満潮と重なる結果となった。

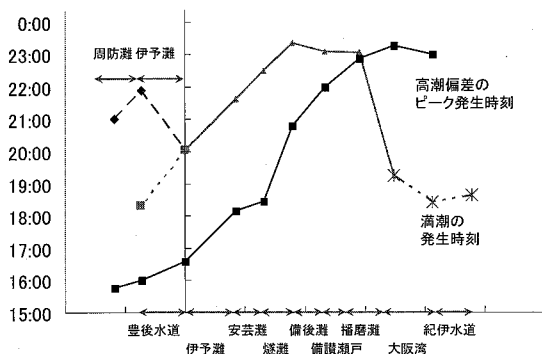


図-8 既往台風0416号通過時の天文潮および高潮偏差の発生時刻と瀬戸内海の位置関係 (2004年8月30日)

今回解析した3つの台風では満潮と最大潮位偏差が重なった地点は姫路で満潮と重なり、高松においてもわずか約1時間の差で発生している。また、仮想台風Bの広島、草津、呉では最大潮位偏差が21時～21時30分の時間帯に発生し、満潮時刻に非常に近い時間帯であるといえる。また、高潮の最大潮位偏差の伝播速度と満潮の伝播速度が同じ大きさで進むとすると、各地域で満潮と重なり、瀬戸内海全域で甚大な被害を受けることになる。このように、パターン1のような南西から北東に向かう台風経路は瀬戸内海全域の広範囲で潮位偏差が発生するので、各地域で満潮と重なる確率が高いことが示された。

(2) 経路パターン2

a) 既往台風一台風7010号

図-9に、経路パターン1と同様の18地点における、シミュレーション結果による最大潮位偏差の大きさと発生時刻を示す。台風中心が広島県安芸高田市に上陸した8月21日13時に経路近傍の6地点(草津、広島、呉、松山、竹原、尾道)で80～90cmの最大潮位偏差が発生した。各地点の潮位偏差のピーク値にズレはなくほぼ同時刻に発生していることがわかる。台風経路から西に約100km離れた徳山での最大潮位偏差は20cmと低い数値となった。瀬戸内海西部の周防灘の地点(苅田、宇部、三田尻)では潮位偏差の値が0cmと台風の影響を受けなかった。一方播磨灘などの瀬戸内海東部では西部

に比べ、若干の潮位偏差が発生した。これは台風7010号が本州を抜ける際に、進路を北北東に変えたことによって東部に多少の影響を与えてしまったのだと考えられる。これらのことから台風の経路近傍に限定されて潮位偏差が高くなっている傾向が読取れる。また各地点とも潮位偏差のピーク値の時間帯が13時であり、時間の遅れはない。

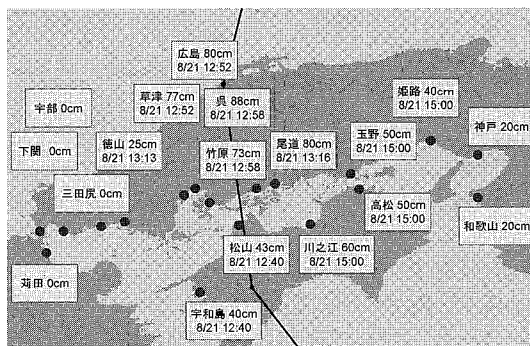


図-9 台風0416号の18地点における最大潮位偏差発生時刻

b) 仮想台風C一台風7010号

次に台風7010号を東に80km移動させた仮想台風Cの計算結果を図-10に示す。仮想台風Cの場合も既往台風と同様に、経路近傍の諸地域(尾道、川之江、玉野、高松)で8月21日14時に60～100cmの最大潮位偏差が発生している。最大潮位偏差が発生した14時での台風中心は瀬戸内海から北に60km離れた場所に位置しており、台風が瀬戸内海を通過した後に、諸地域で最大潮位偏差が生じている傾向がある。既往台風と同様に、台風の経路近傍で最大潮位偏差が集中し、且つ同時刻で発生している。また、最大潮位偏差の傾向として台風の西側に比べ、東側の海域の潮位偏差が高くなる。また瀬戸内海に入ると若干、最大潮位偏差の範囲が広がっている傾向がある。これは瀬戸内海が本州と四国に挟まれていて、高潮位の波は紀伊水道に向かって移動する。その際、各諸地域に波が打ち寄せられるので潮位偏差が上がると考えられる。

c) 仮想台風D一台風7010号

次に台風7010号を西に80km移動させた仮想台風Dの計算結果を図-11に示す。台風経路近傍の地点(三田尻、徳山、草津、広島、呉)で最大潮位偏差が高い数値となった。三田尻、徳山では8月21日11時30分に最大潮位偏差が発生しているのに対し、広島湾周辺の3地点(広島、呉、草津)では12時30分と多少の時間のズレがでた。また、台風中心から約120km離れた竹原、尾道でも100cmの最大潮位偏差が発生した。既往台風と同様、台風の経路近傍で最大潮位偏差が集中し、且つ

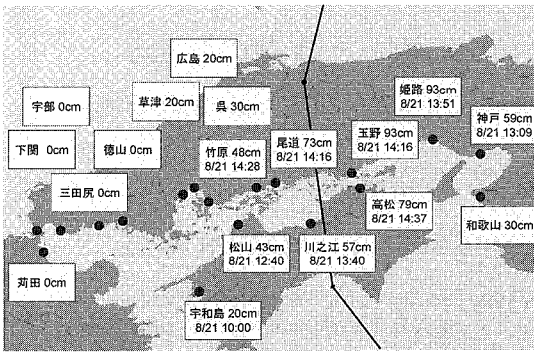


図-10 仮想台風Cの18地点における最大潮位偏差発生時刻

同時刻で発生している。最大潮位偏差の傾向としては、既往台風、仮想台風Cに比べ、高い最大潮位偏差が発生している。これは、瀬戸内海西部における豊後水道上を台風が通過しているため、台風の風による吹き寄せ効果が強く影響している事が原因としてあげられる。また、瀬戸内海が閉鎖性海域であることにより波が各諸地域に伝わりやすい傾向がある。

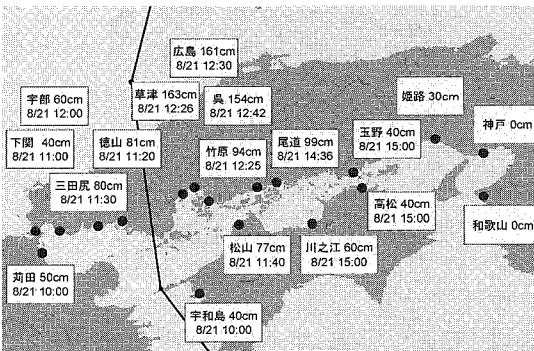


図-11 仮想台風Dの18地点における最大潮位偏差発生時刻

d) 経路パターン2の高潮発生特性

台風7010号のように南から北へ進行する台風は、台風の経路近傍で高い潮位偏差が発生し、高潮位の波の伝播がなく、ほぼ同時刻で発生している。また仮想台風Dに関しては、台風が豊後水道上を通過するので既往台風、仮想台風Cに比べ、全体的に高い潮位偏差が発生した。既往台風と仮想台風Cは、四国の上を通過しているのに対し、仮想台風Dは四国の西側を通過している。このことから既往台風、仮想台風Cは四国により風がブロックされ、風による吹き寄せ効果の影響が少なくなったと考えられる。また、台風の進行コースが豊

後水道に一致し、強い南風によって豊後水道から大量の海水が瀬戸内海に流入した結果ではないかと考えられる。

3つの台風の各計算地点の最大潮位偏差と満潮との重なりのある地点があるかどうかを検討した結果、3つの台風とも満潮時と最大潮位偏差の重なる地点はなかった。パターン2のような瀬戸内海を北上していく台風は、台風の経路近傍で高い潮位偏差が発生し、且つほぼ同時刻で発生する。このことから被害を受ける範囲が限定され、パターン1のような台風にくらべて満潮と潮位偏差のピーク値が重なる確率は低いと考えられる。

5. おわりに

今回瀬戸内海を通過する主な台風経路を2つに分類し、その代表的な既往台風として台風0416号と台風7010号を選択し、それぞれの台風諸元を変えずに、経路のみを東西に移動させて2つずつ仮想台風を作成した。合計6つの台風を用いたシミュレーション結果から瀬戸内海の高潮特性に関して以下の結論が得られた。1) 台風0416号のように北東に移動する台風(経路パターン1)の場合、高潮のピークは台風の移動によって伝播され、瀬戸内海を通過する時間が長い。そのため、瀬戸内海のどこかで満潮と高潮のピークが一致する可能性は高い。2) 台風7010号のように南北に移動する台風(経路パターン2)の場合、瀬戸内海を通過する時間は短く、天文潮の満潮と高潮のピークが一致する確率は小さい。3) 瀬戸内海のように東西に広がった入り組んだ地形を持つ閉鎖性水域では、経路パターンが同じでも経路が東西にずれるだけで高潮発生の特性は大きく異なることがわかった。

今後の展開としては、瀬戸内海の領域ごとの流量を算出し、水道からどのくらいの海水が流入しているかを検討する必要がある。

参考文献

- 海上保安庁(1992): 潮汐調和定数表 p. 267.
- 気象庁 気象統計情報(2007.2.10) <http://www.kishou.go.jp>.
- 下元幸夫・山路明彦・内田洋平・大西健二・上原謙太郎(2006): 瀬戸内海沿岸における波浪と高潮の同時生起特性, 海岸工学論文集第53巻, pp. 210-215.
- 的場萌実・村上和男・柴本秀之(2006): Super Gradient Wind (SGW)を考慮した台風の風の推算と高潮数値計算, 海岸工学論文集第53巻, pp. 206-210.
- Mitsuta, Y and T. Fujii(1987): An Analysis and Synthesis of typhoon Wind over Japan, Bull. Disas. Prev. Res. Inst. Kyoto Univ., Vol. 37, Part4, No 329, pp. 169-185.