

有明海沿岸における高潮危険度の簡易判断手法の開発

Development of A Simplified Method for Judging Storm Surge Risk around Ariake Sea

山城 賢¹・橋本典明²・河合弘泰³・荒木健人⁴・麻生紀子⁴

Masaru YAMASHIRO, Noriaki HASHIMOTO, Hiroyasu KAWAI
Taketo ARAKI and Noriko ASOU

For the purpose of developing a simplified method for judging storm surge risk around Ariake Sea, many numerical computations for storm surge were carried out. A lot of various typhoon data, which are the input data for the storm surge computations, were created by a stochastic typhoon model with the Monte Carlo simulation. The relationships between the storm surges and typhoon parameters (the central atmospheric pressure, the radius of the maximum wind speed and the course) were investigated on the basis of the computation results. Then, the conditions of typhoons that may cause severe storm surges were clarified at several coastal areas around Ariake Sea.

1. はじめに

2005年に米国ニューオーリンズを襲ったハリケーンカトリーナは、想定以上の外力による自然災害の猛威を世界中に見せつけた。この高潮災害を機に、我が国では国土交通省により「ゼロメートル地帯の高潮対策検討会」が組織され、今後推進すべき数々の具体的施策が提言されている。その中には「個々の地域の危険度が実感できる情報提供」として、ハザードマップの作成の促進や、市街地内で水位の情報を表示するなどにより、個々人に分かりやすく情報を伝える必要性が述べられている。

通常、台風来襲時には、気象庁により高潮に関する情報も含め各種注意報・警報が発表される。また、高潮の危険が差し迫った場合には、自治体による避難勧告・指示等が発令され、地域住民はこれらの情報をもとに避難を開始する。しかしながら、高潮による被害を最小化するためには、住民が自ら危険性を的確に判断し、自治体による避難指示等を待つことなく、いち早く避難することが強く望まれる。すなわち、住民自らが高潮災害の危険性を判断できることが重要であり、それには具体的で簡便な判断材料が必要となる。

本研究では、我が国において高潮の危険性が高い海域の一つである有明海沿岸を対象に、各種報道等で得られる台風の予測情報をもとに、地域住民が自ら高潮の危険

性を簡便に判断するための資料を提示することを最終的な目標としている。本論文では、その第一段階として、確率台風モデルにより多数の模擬台風を発生させ、それらの台風について高潮推算を行い、有明海沿岸における高潮の特徴を把握するとともに、どのような台風が高潮を生じる危険があるのかという観点から、台風と高潮の関係について整理した結果を述べる。

2. 台風データと高潮推算

本論文における高潮推算は、河合ら(2006)によって作成された台風データを用いて、山城ら(2007)が温暖化した将来における有明海の高潮の出現確率に関して検討した際に実施したものであり、本論文ではその計算結果を台風と高潮との関係に着目し整理したものである。以下に、台風データと高潮推算の概略を述べる。

(1) 確率台風モデルによる台風データ

確率台風モデルとは、過去の台風の属性値(中心位置、中心気圧、最大風速半径など)およびその時間変化量を統計解析して得られた出現確率分布や自己回帰式に基づいて、任意の期間中に発生する台風の属性値を、モンテカルロ・シミュレーションの手法を用いて模擬的に与えるものである。河合ら(2006)は、橋本ら(2003)によって構築された確率台風モデルを用いて500年分に相当する模擬台風を作成し、瀬戸内海における高潮の出現特性について検討した。本研究においてもこの台風データから有明海で高潮を生じる可能性がある台風を抽出し使用した。抽出の条件は図-1に示す長崎(東経129.5°, 北緯32.5°)を中心に半径200kmの円を通り、中心気圧が970hPa以下である台風とした。図には、過去に有明海で高潮を引き起こした台風の経路を示しており、いずれの台風も設定した抽出範囲を通過している。以上の

1 正 会 員 博(工) 九州大学大学院助教 工学研究院環境都市部門
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 工修 (独法) 港湾空港技術研究所 海洋・水工部 海洋水理・高潮研究室長
4 学生会員 九州大学大学院工学府海洋システム工学専攻

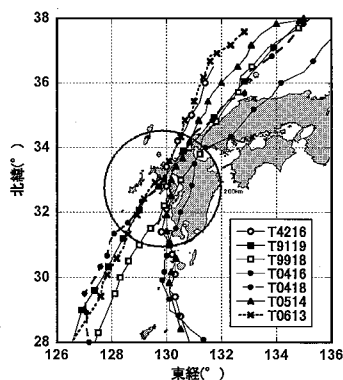


図-1 台風の抽出範囲と過去の代表的な台風の経路

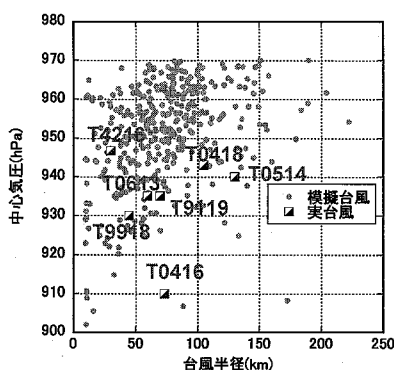


図-2 模擬台風の最低気圧と台風半径の関係

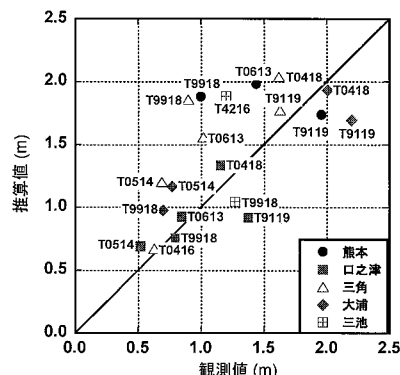


図-3 計算値と観測値の比較

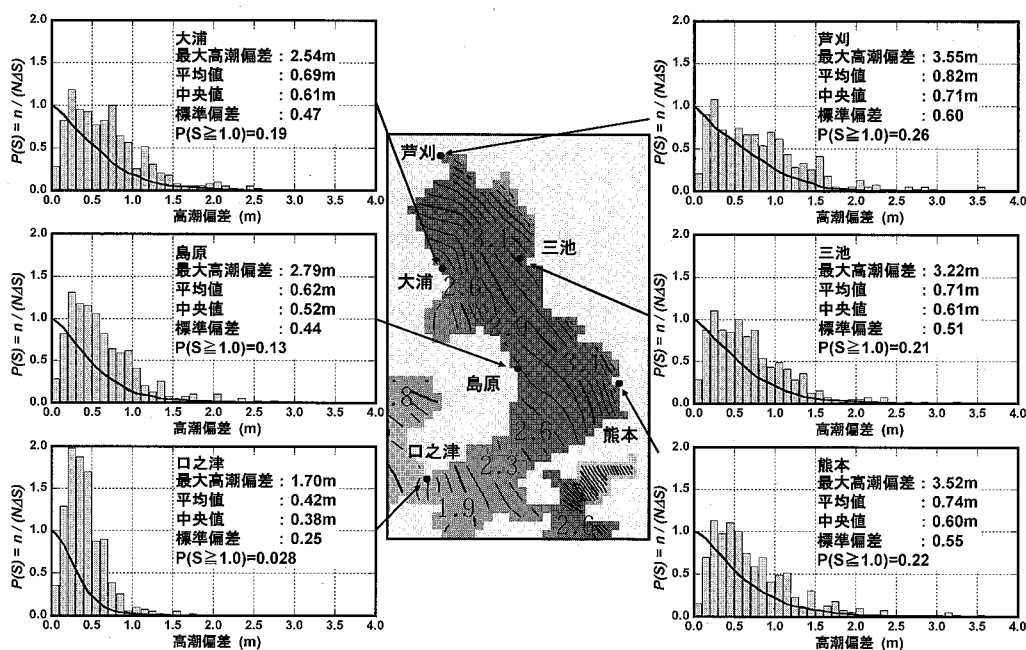


図-4 500年分の台風データによる最大高潮偏差と沿岸各地の高潮発生頻度

条件で台風を抽出した結果、389の台風が抽出された。福岡管区気象台によれば、九州における1971年から2000年の台風上陸数の平年値は1.2個で500年分では600個であり、500年分としては幾分少ないが、これは中心気圧にも抽出条件を設定したためと思われる。

図-2は抽出された台風の最低中心気圧とその時の台風半径の関係を示したものである。図中には、図-1に示した既往の台風についても示している。抽出された台風は、図の左上方に多くプロットされており、中心気圧が低いほど、あるいは台風半径が大きいほど台風の本数は少なく、中心気圧が低く台風半径が大きい台風は極めて稀であることが分かる。既往の台風は、いずれも有明海に顕著な高潮を生じた台風であるため、模擬台風と比べると中心気圧が低い部類に入っている。

(2) 高潮推算

高潮偏差の計算には、一般的な数値計算モデル（河合ら、2005）を用いた。台風海面気圧にはMyersの分布を仮定し、海上風はSGW（Super Gradient Wind）を考慮した傾度風と場の風の成分をベクトル合成する経験的力学モデルで推定した。これらの海面気圧と海上風を外力とし、単層の線形長波方程式に基づく数値計算モデルで流れを計算した。ただし、天文潮位は一定（DL+2.0 m）とし高潮偏差のみを計算した。計算領域は、日本列島の南半分を含む太平洋沿岸を16.2 km間隔の計算格子で分割し、内部に細かな計算格子の領域を接続させ、八代海を含め有明海の全域を1.8 km間隔の計算格子で再現した。計算時間間隔は6 sである。

図-1に示した過去の台風（4216号、9119号、9918号、

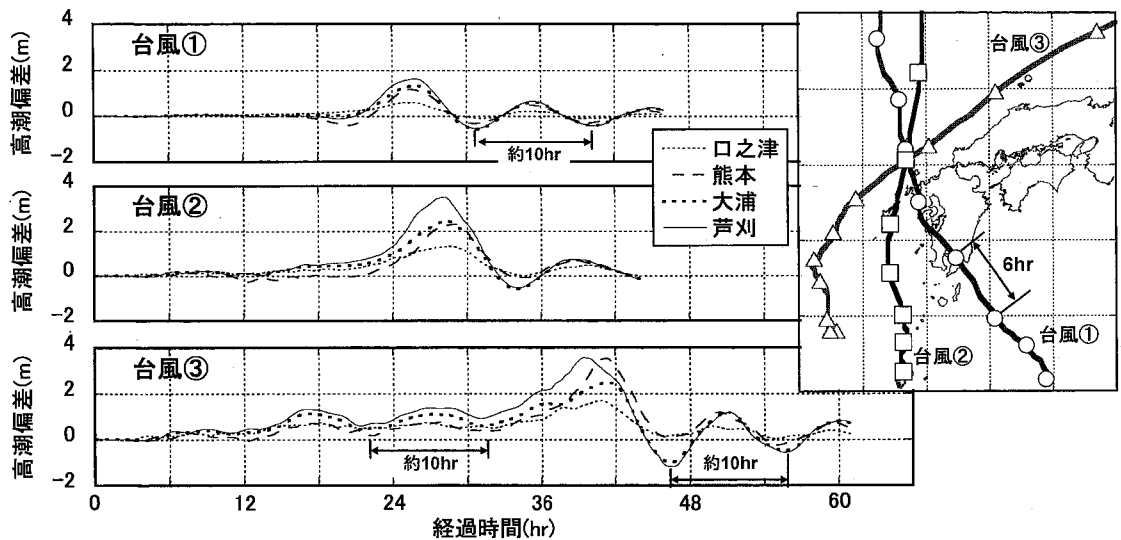


図-5 有明海沿岸における高潮偏差の時系列

0416号, 0418号, 0514号, 0613号)について, 高潮偏差を計算し観測値と比較した結果を図-3に示す. 本計算モデルによる推算値は観測値に比べて, 特に湾の東側に位置する三角や熊本の付近で過大評価になる傾向がある. しかし, 湾口付近の口之津や湾奥西側の大浦では比較的精度が良いといえる. また台風の違いによっても, 計算精度が幾分変動している.

3. 有明海の高潮の特徴

(1) 有明海沿岸の高潮発生頻度

図-4は389台風における最大高潮偏差の分布と, 各地点での高潮偏差の確率密度分布およびその超過確率を示している. なお, 確率密度分布の縦軸において, n は発生回数, N は台風の総数(389), ΔS は高潮偏差の階級(0.1m)である. また, 図中には, 超過確率曲線から高潮偏差が1mを越える確率を示している. この図より, 有明海では, 東岸で高潮が増大しやすく, また湾口から湾奥に進むにつれ顕著な高潮の発生頻度が増すことがわかる.

(2) 有明海における高潮の挙動

389台風のうち, 熊本で1m以上の高潮を生じた台風の経路を調べると, 有明海付近を北上するタイプと, 南西から北東へ進行するタイプがほとんどであった. 図-1に示した過去に高潮を生じた台風も北上か北東へ向かうタイプのいずれかに分類されることから, 有明海における高潮を検討する際には, このような経路の台風が設定されることが多い. そこで, 幾つかの代表的な台風経路を選定し, 台風の進行と有明海沿岸における高潮の挙動について調べた. 図-5は, 熊本で1m以上の高潮を引き起こす台風のうち経路が異なる3つの台風について, 有明海沿岸の高潮偏差

の時系列を示したものである. この3つの台風は, いずれも有明海の西側を通過し, 長崎県の対馬付近で経路が交差している. 台風①は南東から北西へ進行する. この時, 有明海では台風の接近に伴い, 北の風から北東の風によって海水が外海へ流出するため, 熊本では水位が低下している. その後, 有明海の西側を通過する際に, 風向きが南東から南西に変化するに従い急激に高潮偏差が上昇し, 湾奥ほど高潮が大きくなる. 台風②はほぼ北上する進路であり, 台風の接近に伴う湾奥への吹き寄せによって湾奥から水位が上昇を始める. これら2つのケースでは, 湾奥から水位が上昇し湾全体に伝わっていく. 南西から北東に進行する台風③では, 台風がまだ離れた位置にあるときから高潮偏差が増加し, かつ, 周期が10時間程度の振動を生じている. この振動の周期は, 各ケースでみられる台風通過後の湾内振動とほぼ同じ周期である. なお, 有明海の固有振動周期は日本全国沿岸海洋誌(日本海洋学会, 1985)によれば約12時間, 安田(2005)によれば約8時間とされている. そして, 台風接近に伴い, 南西の風によって外海から海水が流入し高潮偏差が増加している. この経路の場合, 熊本の偏差が湾奥の芦刈に匹敵するほど増大し, 有明海の西岸に位置する大浦は相対的に高潮偏差が小さい. また, 芦刈と他の地点で偏差のピークに時間差が生じている点が特徴的である. これらの結果から, 台風の経路によって有明海沿岸における高潮の挙動が異なることが再確認された.

4. 台風と高潮の関係

(1) 台風の位置と高潮の関係

図-6に有明海沿岸の3地点(口之津, 熊本, 芦刈)について, 0.5m以上の高潮が生じている間の台風経路を

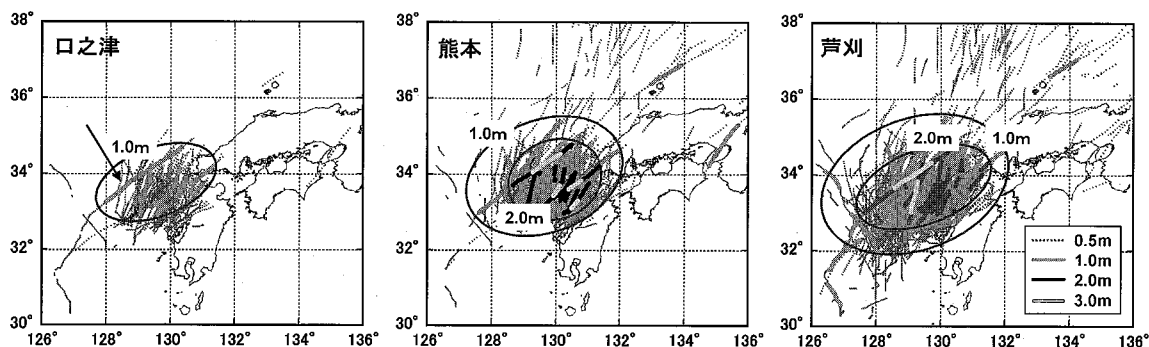


図-6 有明海沿岸に高潮が生じたときの台風的位置

示す。図中に示す経路は、それぞれの地点で高潮偏差が1m以上、2m以上および3m以上になっている期間で線種を変えている。図より、台風が通過した後も1m以上の高潮が度々生じている場合があるが、これは、台風通過後の湾内振動による。各地点で比較すると、当然ながら、湾口付近に位置する口之津では湾奥の地点に比べ高潮の規模が小さい。また、図中の矢印で示した台風(図-5の台風③と同一)は中心気圧が低く半径が大きい台風であるため、いずれの地点においても早い段階から高潮が生じ、熊本や芦刈では最大で3m以上の高潮偏差が生じている。図中には、各地点で1m以上および2m以上の高潮が生じている台風経路の範囲を楕円で示している。ただし、楕円の設定では、台風の接近時や通過後に湾内振動によると思われる振動で1m以上となっている部分や飛び抜けて大きな台風によるものは除いている。この楕円は、その範囲内を台風が通過する場合に、それぞれの地点での高潮の危険性が高まるということを意味している(以後、危険範囲とする)。図-7は口之津、大浦、芦刈の3地点について、高潮偏差1m以上の危険範囲を比較したものである。各地点における危険範囲はそれぞれ異なり、大きな高潮が生じやすい湾奥であるほど危険範囲が大きい。また、各地点の危険範囲は大部分が重複しており、重複した範囲を台風が通過する場合には有明海全域で高潮の危険性が高まるといえる。図中には、0418号台風の経路を示しており、大浦での潮位記録をもとに、大浦で1m以上の高潮が生じた間の経路を太線で示している。0418号の場合、ちょうど危険範囲を台風が通過している間に大浦で1m以上の高潮偏差が生じていたことになる。なお、0418号台風来襲時には大浦では2m以上の高潮偏差が生じており、2m以上の偏差が生じた間についても調べたところ、台風は大浦における2m以上の危険範囲にあった。このように高潮が発生しやすい台風の通過範囲を知るだけでも、沿岸域の住民にとっては役立つものと思われる。

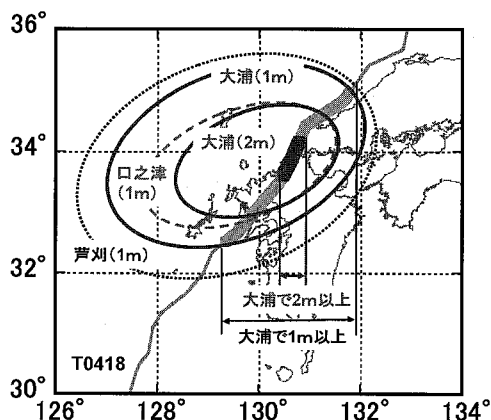


図-7 有明海沿岸各地における危険範囲の比較

(2) 台風規模と高潮の関係

高潮の危険がある台風は図-6および図-7に示した範囲を通過することを示した。次に有明海沿岸の各地点における高潮と台風の強さおよび規模との関係について検討する。図-8は、口之津、熊本、芦刈の3地点について、各台風での最大高潮偏差発生時における台風の中心気圧、台風中心から各地点までの距離 l と台風半径 r との比 l/r (以後、相対距離とする)および高潮偏差の関係を、台風が各地点の西側を通過する場合と東側を通過する場合とに分けて示したものである。なお、図中のラインはプロットの分布からフリーハンドで安全側に引いた高潮偏差の等値線である。この図より、中心気圧が低く台風と沿岸との距離が台風半径に近い(つまり相対距離が1に近い)ほど高潮偏差が大きいという関係が明瞭に読み取れる。また、各地点によってプロットの分布は異なり、芦刈では他の地点に比べて弱い台風でも大きな高潮が生じやすいことがわかる。いずれの地点においても、台風が東側を通過する場合には、西側を通過する場合に比べて、顕著な高潮が生じるケースは少ないが、湾奥であるほど東側を通過する台風でも大きな高潮が生じるケースが増加しており、東側を通過する台風に対して

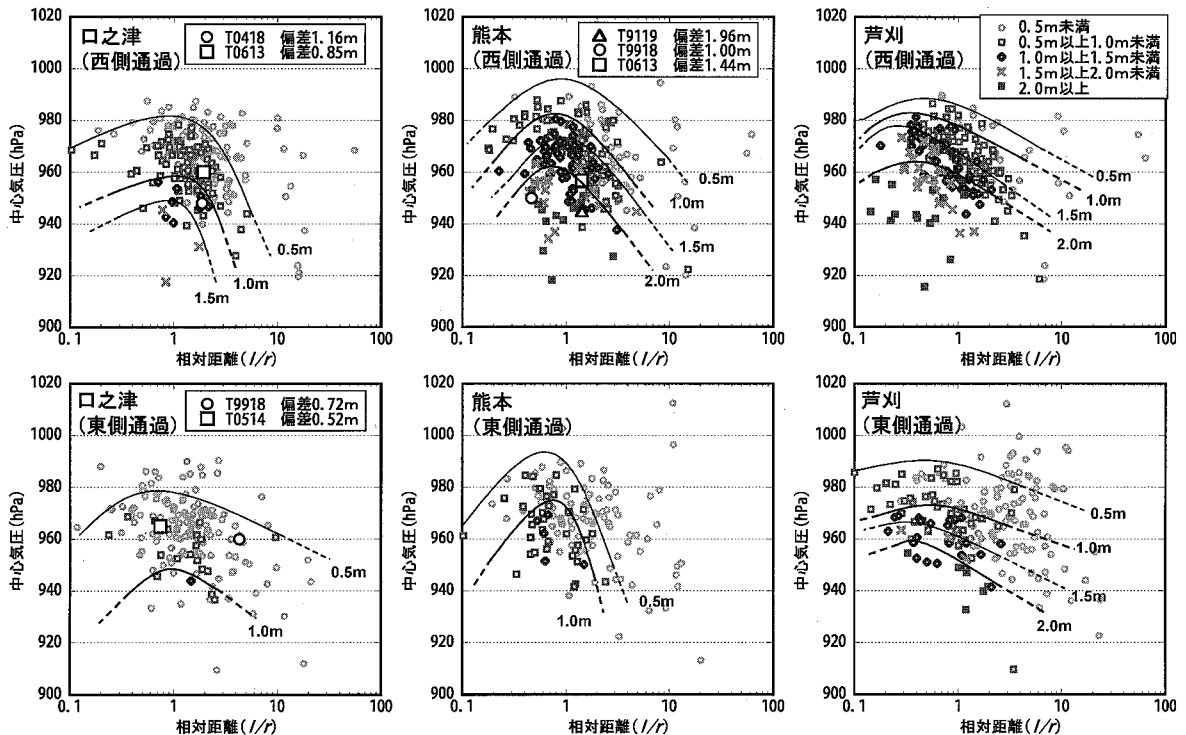


図-8 最大高潮偏差と台風中心気圧および相対距離との関係

も注意が必要といえる。なお、過去に顕著な高潮を生じた台風をこの関係図に照らし合わせると図中の妥当な位置に示されている。したがって、ここに示した図は、ある程度高潮の危険性を判断できるものと思われる。

5. おわりに

有明海を対象に確率台風モデルにより作成した多数の台風について高潮推算を行い、有明海沿岸における高潮の特徴を把握し、さらに、沿岸の各地点について高潮偏差と台風との関係を整理した。ここで示したような情報を整備し有効に活用することで、来襲する台風の情報から高潮の危険性を手軽に判断することが可能になるものと思われる。

本研究では、シミュレーションのメリットを活かし、多数の計算結果をもとに検討しているが、それゆえに、シミュレーションそのものの精度が大きく結果に影響する。今回の検討では、比較的単純なモデルでシミュレーションを行っており、波浪等の影響は含まれていないため、より多くの物理現象を考慮した精緻なモデルを使用することで図-6や図-8の結果は信頼性が向上するものと思われる。また、今回の検討においては、台風の進行速度の影響などについても考慮していない。したがって、精緻なモデルにより検討することに加え、様々なファクターを考慮することが今後の課題といえる。加えて、多

くのファクターを考慮した場合においても、天気予報等で得られる台風の予測情報をもとに、簡単に高潮発生の危険性を判断できる資料として検討結果を整理する工夫が重要と思われる。そのような資料ができれば、沿岸域住民にとっての高潮防災の一助となり得るであろう。

参考文献

- 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.
- 国土交通省:ゼロメートル地帯の今後の高潮対策のあり方について, http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha_06/05/050117_2/01.pdf, 参照2007-4-30
- 日本海洋学会沿岸海洋研究部会編(1985):日本沿岸海洋誌, 東海大学出版会, pp.839
- 安田秀一(2005):半閉鎖性海域における副振動の挙動と有明海の潮汐の増幅, 海岸工学論文集, 第52巻, pp.191-195.
- 橋本典明・川口浩二・河合弘泰・松浦邦明・市川雅史(2003): 港湾・海岸構造物の合理的設計を目的とした確率台風モデルの構築と精度の検討, 海岸工学論文集, 第50巻, pp.176-180.
- 山城 賢・橋本典明・河合弘泰・麻生紀子・荒木健人(2007): 有明海における温暖化した将来の高潮の出現特性に関する研究, 海洋開発論文集, Vol.23, pp.141-146.