

気候予測モデルの結果を用いて算出した 三大湾の将来高潮偏差の変化特性

Variation Characteristics of Typhoon Surge in the Future of Three Major Bay Calculated by Using Result of Climate Projection Model

野口賢二¹・諏訪義雄²

Kenji NOGUCHI and Yoshio SUWA

We simulated typhoon surge around Osaka, Ise and Tokyo bays of typhoons for 10,000 years in each present and future climate. Their typhoons were reproduced by Yasuda (2010) using with a stochastic typhoon model. Yasuda projected typhoons in the future derived by super-high-resolution atmospheric models. In the beginning, we showed that the calculated surge of present climate stochastic typhoons comprised the other of recorded typhoon. Variations of each three bays which were located west to east projected totally similar but different in detail. Near the modal classes their frequencies was decreased, but over the more higher classes their frequencies were increased.

1. はじめに

著者らは、台風・低気圧および海象観測から我が国周辺の波浪環境の既往の変化について野口ら (2008) で、個別験潮場データの精査と衛星高度計、IPCC AR4 (2007) の全球平均海面上昇値の比較により海岸事業のための既上昇量設定の提案を野口ら (2010) で行った。国土交通省 (2008, もしくは野口ら (2010) を参照) に示された提言はこれらの他に台風の将来変化による高潮偏差量の推定があり、海岸政策を考える上で肝要となる。

将来予測については、IPCCにより地球温暖化効果ガスシナリオが想定され、これに基づき大気海洋結合モデルにより気温と海面の水温の変化が得られる。これを境界条件として、全球の気候予測モデルが降雨、台風、風を計算する。しかし、海岸の外力はこの結果からさらに計算を行う必要がある。不確定性を排除するために確率台風モデルを用いた橋本ら (2005) や河合ら (2009) によりいくつかの研究がなされている。しかし、高潮偏差の値と極値統計値に着目したものがほとんどで全体像として頻度階級の変化を示したものはなかった。また、我々がしばしば確率台風モデルの活用において問われる「本当にそれは実態を表現しているのか」という素朴でかつ本質的な疑問に答える必要がある。本研究では、確率密度分布に立ち返り変化の内容を明らかにする。

2. 研究全体のスキーム

将来予測に関しては図-1に示すように、気候変動シナ

リオの設定や気候モデル構築の時点で既に不確実性・不確定性をはらんでいる。気候モデルは平均的な変化の状況を表現し得るものの、モデル内で生じた各台風は定められた初期値によって生じたもので一事例に過ぎない。初期値を変化させるアンサンブル計算を行ったり、実現象で生じる計算で考慮されていない現象により台風は変化する。したがって、気候モデルで得られた台風について高潮推算しても可能性の一つを確認したに過ぎない。

そこで、本研究を行うにあたり、安田ら (2009または2010) により確率台風モデルで作成された現在・将来各10,000年分の台風の提供を受けた (以下、確率台風)。安田ら (2009) は、気象研究所が行った超高解像度全球大気循環モデル (GCM20) で得られた現在気候と将来気候の予測計算結果から、台風を抽出した。これらの台風特性の地球温暖化による変化を解析し、既往台風から確率台風モデルにより発生させた10,000年分の台風に変化解析結果を適用させ将来気候における10,000年分の台風を作成したものである。

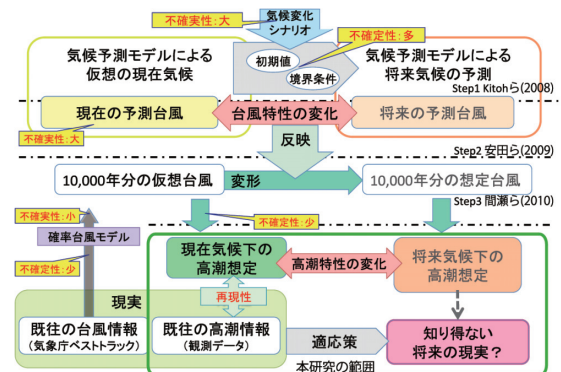


図-1 本研究の全体研究スキーム

- 1 正会員 国土技術政策総合研究所 海岸研究室 主任研究官
- 2 正会員 国土技術政策総合研究所 海岸研究室 室長

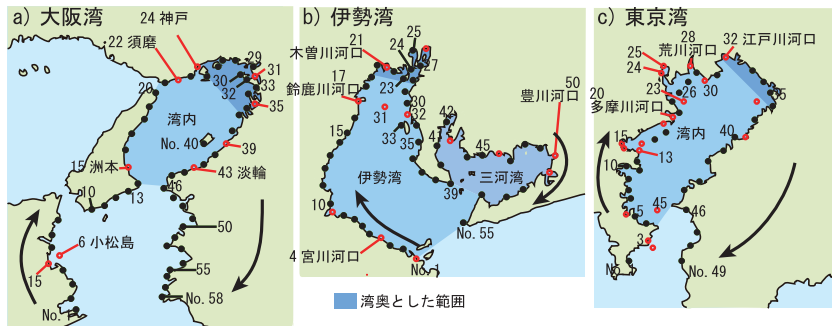


図-2 各湾の高潮偏差出力地点の一覧

表-1 各湾への来襲台風数の比較 (高潮計算対象)

気候分類	気候分類	現在気候確率台風	将来気候確率台風
対象期間 (再現年数)	1951~2009年 (59年間)	仮想1979~2003年 (10000年拡張)	仮想2075~2999年 (10000年拡張)
対象範囲と計算台風数	大阪湾 E133°30' - 136°30' N 33°10' - 35°00'	52	12343
	伊勢湾 E134°50' - 137°50' N 33°20' - 35°30'	58	13686
	東京湾 E138°10' - 141°00' N 34°30' - 35°00'	49	9230

本研究では、これらの台風のうち三大湾（東京、伊勢、大阪）に来襲するものについて高潮偏差を推算した。高潮計算の対象とした各湾に来襲した台風の数値を表-1に示す。表中の緯度経度の範囲を中心気圧深度が10hPa以上で通過した台風を対象に高潮計算した。高潮偏差の値は、来襲した各台風がもたらした図-2中の各地点での各台風毎の最大値を採用している。

3. 得られた高潮偏差データセットの妥当性の検討

本研究スキームで用いている気象研究所の気候予測モデルは、気象予報の現業に用いられている実績に裏打ちされた信頼性が高い物理モデルである。しかし、確率台風モデルは研究・調査では実績が増しているものの、事業等の計画に用いられるまでに至っていない。そのため、確率台風モデルで得られた高潮偏差が妥当であるかを判定する必要がある。

そこで、既往台風で得られた高潮と確率台風現在気候で得られた高潮の同一性を調べることにした。統計における検定手法の多くは、有意差を示すために同一性を帰無仮説として棄却基準と比較する p 値を算定するものである。ここでは確認したいことは同一性であり、厳密には逆の有意差を帰無仮説とする必要がある。そこで、既往台風で得られた高潮偏差と現在気候確率台風の高潮偏差が同じ母集団である可能性が棄却されなければ十分とした。言い換えると、得られた高潮偏差の結果が現実離

れていないことを示すこととした。

なぜならば、確率台風モデルで得た高潮偏差のサンプル数が十分に多いとしても、既往台風による高潮偏差がそこから抽出した集団として選び出された訳ではない。また、確率台風によるものと既往台風によるものは真の母集団の一部を形成する別々の集団といえる。さらに、逆に確率台風モデルの作成から見ても、実現象を物理機構により再現するものではなくストーリー設定が存在することが否す、得られる集団も一意に決まらない。

既往台風高潮偏差と現在確率台風確率偏差の間の同一性を、Brunner-Munzel検定 (Brunner et al., 2000) により検定した。計算は、統計用言語のRとそのパッケージを用いた (奥村, 2011)。帰無仮説を「統計的に優位」とする一般的な閾値 (=0.05) (奥村, 2008) で評価すると、図-3に示すようにほとんどの地点で0.05を上回る結果と

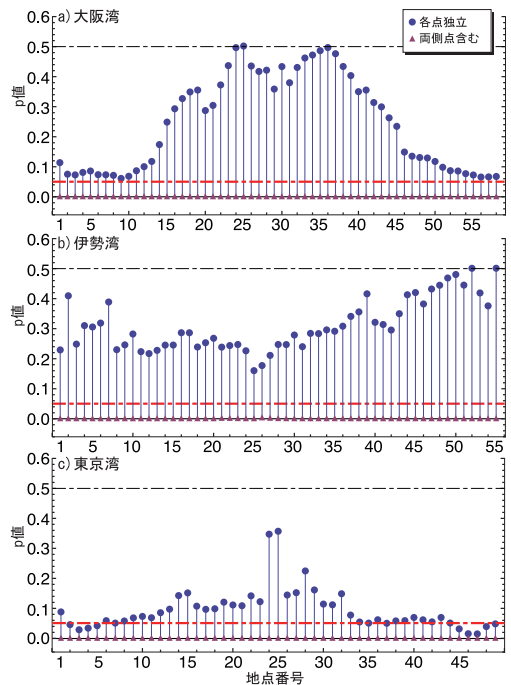


図-3 各地点のBrunner-Munzel検定で得られた p 値

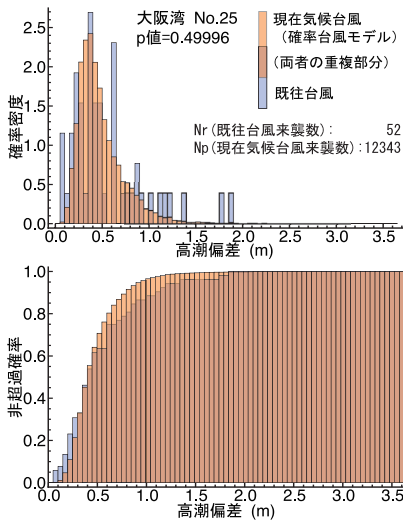


図-4 p 値が最大となった地点の例 (大阪湾No.25)

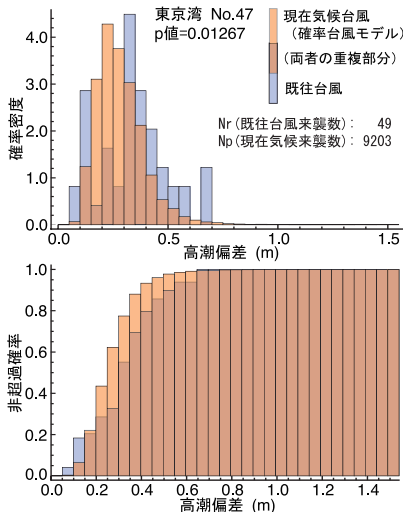


図-5 p 値が最小となった地点の例 (東京湾No.47)

なった。そこで、 p 値が大きいことから、検定は帰無仮説に対して行われるので、「有意差は認められず同一性が否定できない」となる。同一性の主張を補強するために、既往台風高潮偏差のデータセットのみ各地点の隣接両側データをその地点のデータとして追加した集団と現在気候確率台風（以下、現在台風）の高潮偏差を比較検定した（図-3中の▲）。全ての点において p 値がほぼ0であり帰無仮説が棄却でき、両者に有意差があることが示される。高潮偏差の沿岸分布は隣接点との著しい差が生じ無いと考えられるが、単独では高い p 値を得たが既往台風高潮偏差に隣接地点のデータを追加したところ p 値が著しく低下し圧倒的に棄却でき、両者が異なる集団であることを示している。類似性が高いと考えられる隣接のデ

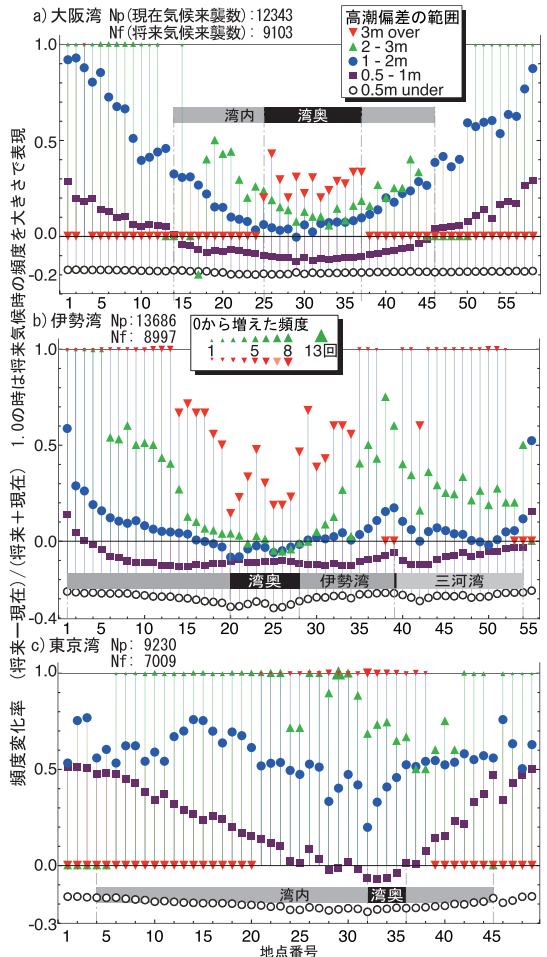


図-6 高潮偏差範囲毎のイベント個数の変化率

ータを追加についても、本検定手法が多少の異質データの混入に対し高い感度で有意差を示すことが分かる。これより、現在確率台風高潮偏差は、既往台風高潮偏差と同一の母集団である可能性があり、したがって現在気候の特性を示しているとした。

3つの湾から p 値が最大であったもの（図-4）と最小であったもの（図-5）を示す。確率密度分布の現在と将来の相違を p 値によって比べても検定手法が有効であることが分かる。

4. 高潮偏差の階級別頻度の変化

一般に計画・設計上の視点としては、既往最大値や30年再現確率規模等の大きな偏差が着目される。前半に述べた本研究のアプローチでは、値は高いが頻度は低い偏差については信頼性が低下すると考えられる。そこで、現段階では中程度規模から上位にわたる変化を俯瞰することで高潮偏差の特性を把握することとする。

現在気候と将来気候の確率密度の分布を重ね合わせ変

化を把握した。ヒストグラムの階級は、各気候と各地点を同様に比較する必要ため、0.05m刻みに固定した。

各地点のヒストグラムを示す代わりに偏差を大きく区分し、それら区分内の頻度の変化を図-6に示した。現在気候から将来気候への頻度の変化を「頻度の変化量」を「現在気候と将来気候の頻度の和」で除したもので表現している。これにより現在気候では発生せず将来気候では発生した場合は1で表現され、逆に現在気候で存在したが将来で発生しない場合には-1として表現することが可能となる。0.5は、将来気候の頻度が現在気候の3倍となる。1となったものについてはマークの大きさにより頻度を示した。この図では、変化を確率密度ではなく頻度の実数により求めている。

高潮偏差が0.5mまでの低い区分では3つの湾とも負の値となっており減少している。東京湾では現在気候で出現しない2m以上の偏差が将来気候では沿岸のほぼ全体で生じている。このように、現在気候では高潮偏差が大きい湾口部や来襲頻度が低い東京湾で、将来において中程度以上の高潮偏差の頻度が上がる可能性を示している。一方、大阪湾および伊勢湾の湾奥部では現在気候でも3mを越える偏差が発生しており、将来気候では頻度が増す結果となっている。

ヒストグラムで示される最頻値が高くなるか低くなるかを示したのが、図-7である。大阪湾では全般に低下し、

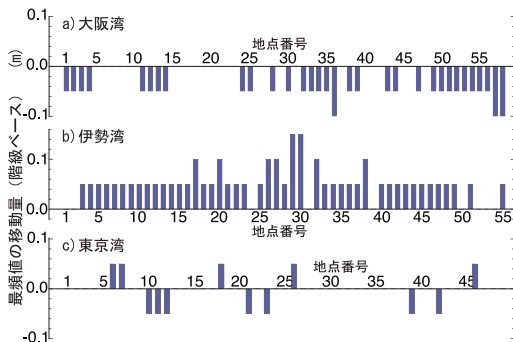


図-7 最頻値の移動量（偏差が高くなる方が正）

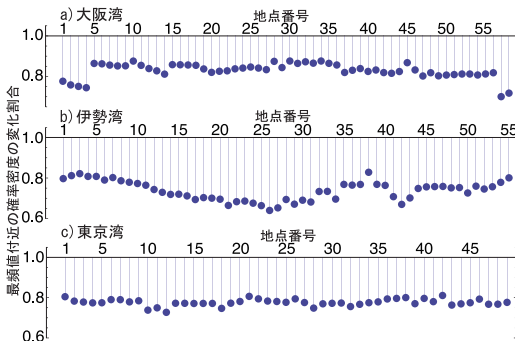


図-8 最頻値付近の確率密度の変化割合（将来／現在）

伊勢湾では増加、東京湾では低下する地点と増加する地点が拮抗している。次に、最頻値階級とその両側の階級の変化を知るために、それらの確率密度の和の変化を倍率で示したのが図-8である。これは、3つの湾とも全体で減少することが示されている。

以上をまとめ、各湾における変化特性を代表する地点を選んで確率密度分布を示した（図-9）。この図では変化の状況を確認し易い最頻度付近を含む1m前後を中心に示している。大阪湾については、最頻度ランクが最も低下したNo.36を選んだ。この地点は、大阪湾の湾奥に位置しており1m以上の高潮偏差の頻度はあまり増加していない。伊勢湾については、大阪湾とは逆に最頻度階級が最も増加したNo.30を選んだ。東京湾については、1m以上の高潮偏差の頻度の増加が最も少なかったNo.33と3つの湾を通じて最も大きくなったNo.2を示した。伊勢湾のNo.30も東京湾のNo.33も同様な変化となっており、高潮偏差が高い側へ潰れた形状と表現できる。東京湾のNo.2は元々1mを上回る頻度が少なかったために大きな変化率となったことが分かる。

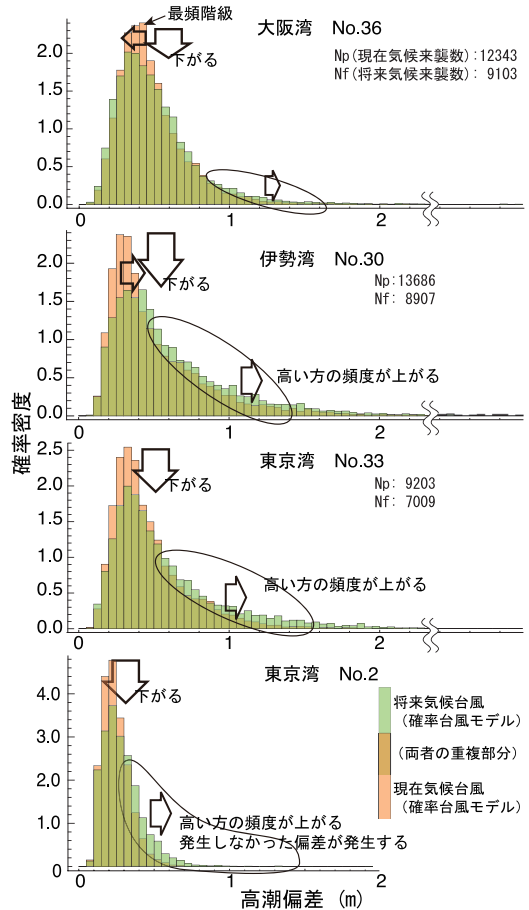


図-9 各湾の代表的な変化特性

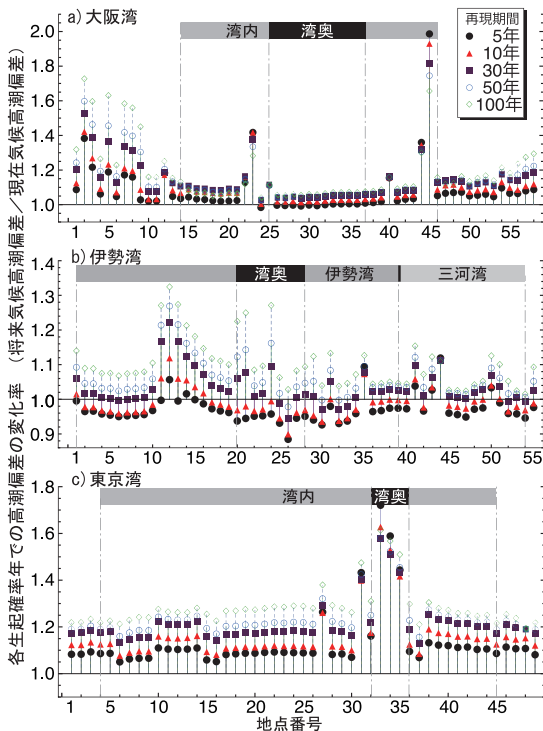


図-10 再現期間別による高潮偏差変化率の特性

5. 極値解析を用いた高潮偏差の変化

高潮偏差の値の変化について調べるため極値解析により偏差を求めてそれを代表値として変化を見た。極値解析は実務的に行われている手法により再現期間を5年, 10年, 30年, 50年, 100年とした確率高潮偏差を求め将来気候時の現在気候に対する変化率として示した(図-10)。モデルの確からしさの点から50年, 100年の値は参考である。適合分布の採択は, 合田(2008)を参考にした。適合分布形は, Weibull分布か極値II型となった。

大阪湾No.45は図-6から見て取れるように1-2mの階級だけ頻度が増したことで将来気候において全体的に高い偏差となる分布形が採用された。逆に, 東京湾No.33とNo.34は現在気候において低偏差に合わせ小さめに算出される分布形が採用された。そのため3地点では隣接点と比べ大きめの変化率となった。これらの将来気候の30年確率偏差は, 大阪湾No.45が1.5m, 東京湾No.33が1.8m, No.34が1.6mとなっている。

極値解析の結果からの偏差の値の変化率が高い地域(大阪湾外岸, 伊勢湾西岸)は, 図-6の高潮偏差の高いランクについても頻度の変化率もしくは新たに生じた偏差(変化率が1.0)の頻度が周辺に比べ高くなっている。また, 東京湾の湾奥部では, 頻度も偏差も増加する。

6. まとめ

本研究は次のようにまとめられる。

- 1) 確率台風モデルで得られた現在気候台風は既往台風と同一性が高いことを示した。
- 2) 最頻度階級を中心とした低い偏差では頻度が低下し, 偏差が大きい方では頻度が増す。
- 3) 現在では高潮偏差が大きくない場所でも, 将来において中程度以上の高潮偏差の頻度が上がる可能性がある。本研究の結果は, 本文中に述べた通り気候予測モデルや研究スキーム, 確率台風モデルに依存している。このため, これらや初期条件の違いで異なる結果が得られることを留意する必要がある。

謝辞: 本研究は, 文部科学省21世紀気候変動予測革新プログラム「超高解像度大気モデルによる将来の極端現象の変化予測に関する研究」の枠組みにおける共同研究のもと, 地球シミュレータを用いた気象庁気象研究所の計算成果を, 京都大学防災研究所, 海洋開発研究機構との研究分担として実施したものであり, ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 奥村晴彦(2008): Brunner-Munzel検定, <http://oku.edu.mie-u.ac.jp/~okumura/stat/brunner-munzel.php>, 参照2011-04-29.
- 河合弘泰, 橋本典明, 山城 賢, 安田誠宏(2009): 確率台風シミュレーションの風場モデルと将来の台風出現特性による確率高潮偏差の変化, 土木学会論文集B2 (海岸工学), Vol.65, No.1, pp.1256-1260.
- 合田良實(2008): 耐波工学—港湾・海岸構造物の耐波設計, 鹿島出版会, 430p.
- 国土交通省河川局(2008): 水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について, http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/gaiyou/ki-kouhendou/pdf/toshin.pdf, 参照2011-04-29.
- 野口賢二, 福濱方哉, 竹内一浩, 山本 享(2008): 天気図から抽出した擾乱データセットを用いた近年の海岸災害と気象の関係, 海岸工学論文集, 第55巻, pp.1336-1340.
- 野口賢二, 諏訪義雄, 五味久昭, 松藤絵理子(2010): 気候変動適応に向けたわが国沿岸の既海面上昇基準量の設定にむけて, 土木学会論文集B2 (海岸工学), Vol.66, No.1, pp.1256-1260.
- 橋本典明, 河合弘泰, 松浦邦明(2005): 地球温暖化を考慮した将来の台風特性の解析と確率台風モデルへの導入, 海工論文集, 第52巻, pp.1221-1225.
- 安田誠宏, 安藤 圭, 森 信人, 間瀬 肇(2009): 地球温暖化予測に基づく将来台風変化予測とその確率モデリング, 土木学会論文集B2 (海岸工学), Vol.65, No.1, pp.1281-1285.
- 安田誠宏, 林 祐太, 森 信人, 間瀬 肇(2010): 地球温暖化による高潮・高波推算に対応可能な確率台風モデル, 土木学会論文集B2 (海岸工学), Vol.66, No.1, pp.1241-1245.
- Brunner, E. and Munzel, U. (2000), The Nonparametric Behrens-Fisher Problem: Asymptotic Theory and a Small-Sample Approximation. Biometrical Journal, Vol.42, pp.17-25.
- IPCC AR4 (2007): IPCC fourth assessment report (AR4), <http://www.ipcc.ch/>.