

# 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

橋本典明\*・河合弘泰\*\*・松浦邦明\*\*\*

過去半世紀間において日本列島の南方海域では、台風の平均中心気圧が低下してきた。また、気象庁のRCM20で予測した100年後の気圧や風の日平均データから台風を抽出し、その属性を統計解析すると、今後100年間に九州南部などでは平均中心気圧が低下する可能性があり、その一方で、本州の東部や日本海における変化は少ないことが分かった。さらに、地球温暖化の影響の一つとして、台風属性の時間変化量の平均場が緯度・経度方向に平行移動すると仮定し、確率台風モデルによって将来に発生する台風の属性を与えた。そして、そのような平均場の移動によって、三大湾の周辺に來襲する台風の中心気圧や風速の極値が変化することを示した。

## 1. はじめに

台風の属性値やその時間変化量を統計解析して得られた確率分布や回帰式に基づき、モンテカルロ・シミュレーションによって任意の期間中に発生する台風の属性値を与えるモデルを「確率台風モデル」という。既に様々な確率台風モデルが提案されており(端野・桑田, 1987; 山口ら, 1995; 橋本ら, 2001, 2003), 越波量の確率的な評価など海岸・港湾構造物の性能照査にも活用され始めている(加藤ら, 2003)。ただし、これまでの確率台風モデルは過去の数十年間の台風特性に基づいて構築されたものであり、それを活用する際には暗に「過去と同じ台風特性が将来も続く」と仮定している。

ところが、気候変動に関する政府間パネル IPCC の第三次評価報告書(2001)が示すように、地球の平均地上気温は1990年から2100年までの間に1.4~5.8°C上昇すると予測されている。これを受けて我が国では地球温暖化研究イニシアチブが実施され、気象研究所では全球大気海洋結合モデル CGCM2や領域気象モデル RCM20を用いて2100年までの気圧や風が予測されている。

さて、現在供用中あるいは整備中の構造物の将来における被災確率の推定や、これから整備する構造物の合理的な設計(高橋ら, 2002)には、過去の台風特性の推移はもちろんのこと、地球温暖化研究の最新の知見に基づいた将来の台風特性にも目を向ける必要がある。そこで本研究においては、過去半世紀間や将来の台風特性を明らかにするとともに、確率台風モデルを用いて日本沿岸における台風の中心気圧や風速の出現確率分布を試算した。

## 2. 過去半世紀における台風特性の推移

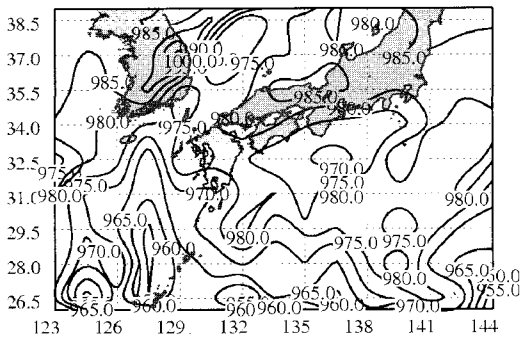
本研究では、既往の研究(橋本ら, 2003)による、1951~2000年に日本周辺に來襲した台風347個の属性を用いて、1951~1970年, 1961~1980年, 1971~1990年, 1981~2000年の、それぞれ20年間における台風の平均中心気圧や年平均滞在時間などを求めた。ただし、ここでいう「滞在時間」とは、その地点の近傍(緯度1.5°×経度1.5°の矩形領域内)に台風が存在した日数であり、そのときの中心気圧を平均したのが「平均中心気圧」である。図-1(a)~(d)は平均中心気圧の推移を示す。東経132°以東における965 hPa以下の領域は、(a)~(c)の期間には北緯29°以南に限られていたが、(d)の期間には北緯31°付近にまで達している。また、東経141°付近で975 hPa等圧線の緯度を比較すると、(a)から(d)へと時代が下るにつれて北上する傾向が見られる。これらのことが示すように、日本列島の南方では平均中心気圧が年代とともに低下する傾向がある。ところが、九州地方から関東地方の周辺を貫く980 hPaの等値線の位置にはそれほど変化がなく、沖縄本島の周辺の平均中心気圧も一般的な低下はしていない。

図-1(e)~(h)は年平均滞在時間の推移を示す。年平均滞在時間が5日以上領域は、(e)と(f)の期間には沖縄諸島や九州南部を含みその東方にも広がっていたが、時代の下った(g)と(h)の期間には沖縄諸島や九州南部を含まなくなった。また、(e)の期間には2日と3日の等値線が九州北部と本州南部を貫いていたが、年代とともにこれらの等値線は南下し、(g)の期間には3日の等値線が本州を貫かなくなっている。

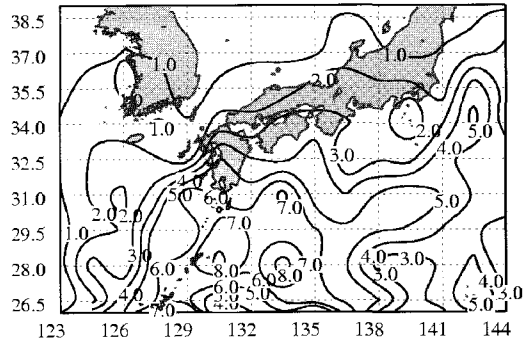
表-1は、図-1に示した領域内における台風の年平均総滞在時間を示す。期間による変動は大きいですが、どちらかと言えば減少の傾向にあったことが分かる。

以上のような平均中心気圧と年平均滞在時間の推移を合わせて考えると、台風の滞在が短くなった一方で、中

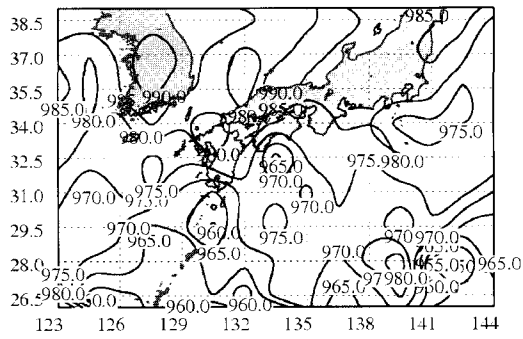
\* フェロー 工博 九州大学大学院教授 工学研究院 環境都市部門  
\*\* 正会員 工修 (独)港湾空港技術研究所 海洋水理・高潮研究室長  
\*\*\* 水修 (財)日本気象協会 首都圏支社 調査部



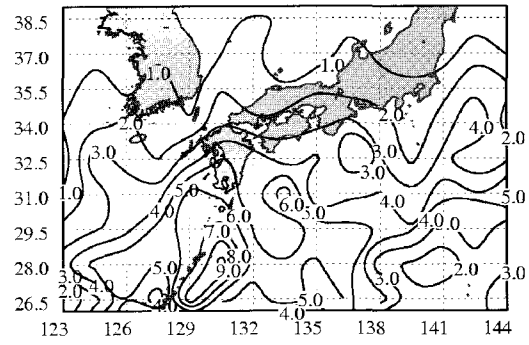
(a) 1951~1970年の平均中心気圧(hPa)



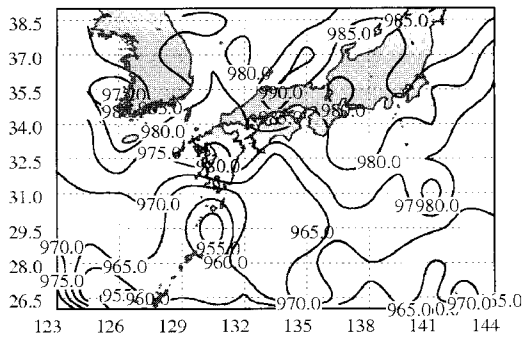
(e) 1951~1970年の年平均滞在時間(日)



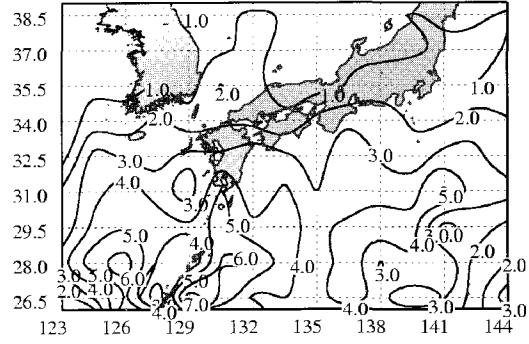
(b) 1961~1980年の平均中心気圧(hPa)



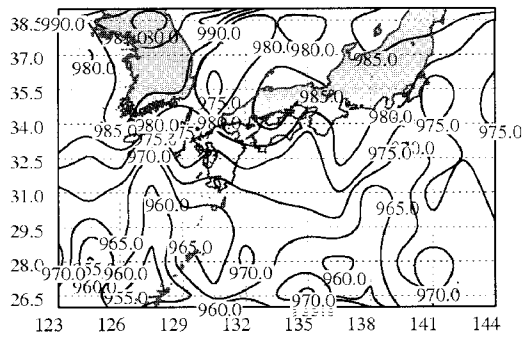
(f) 1961~1980年の年平均滞在時間(日)



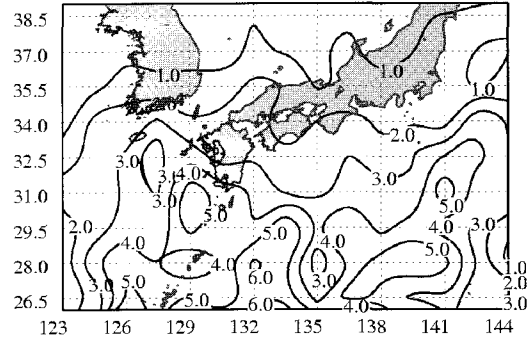
(c) 1971~1990年の平均中心気圧(hPa)



(g) 1971~1990年の年平均滞在時間(日)



(d) 1981~2000年の平均中心気圧(hPa)



(h) 1981~2000年の年平均滞在時間(日)

図-1 過去半世紀における台風特性の推移

表-1 領域内の台風の総滞在時間

| データの種類              | 期間(年)     | 年平均総滞在時間(日) |
|---------------------|-----------|-------------|
| 実際の台風               | 1951~1970 | 471         |
|                     | 1961~1980 | 439         |
|                     | 1971~1990 | 392         |
|                     | 1981~2000 | 420         |
| RCM20予測計算結果から抽出した台風 | 1981~2000 | 544         |
|                     | 2081~2100 | 471         |

表-2 台風抽出条件

|     |  |
|-----|--|
| 条件1 | 気圧が極小になっており、その値が X(hPa) 以下である。                       |
| 条件2 | その格子点と 300 km ± 10 km 離れた格子点とで、気圧差の最大値が 25 hPa 以上ある。 |
| 条件3 | その格子点の周囲 (± 3 格子以内) に風速が 15 m/s 以上の格子が存在する。          |

心気圧は東経132° 以東の日本列島南方において低下した。

### 3. RCM20による予測計算結果と将来の台風特性

#### (1) RCM20による予測計算の概要

気象庁では、1981~2100年の全球における気圧、風向・風速、気温、海面水温、海面水位などを水平分解能が約280 kmの全球大気海洋結合モデル CGCM2によって予測した。そして、その結果を境界条件に用い、1981~2000年、2031~2050年、2081~2100年のアジア域を水平分解能が60 kmのアジア域気候モデル RCM60で、さらに日本周辺を水平分解能が20 kmの日本域気候モデル RCM20で予測した。この RCM20は、気象庁数値予報モデル RSMと同様のモデルで、図-1より広範囲(東西、南北に約2600 km)を対象としている。また、温暖化ガスの排出シナリオに関する IPCC 特別報告書(気象庁、2001)に掲載された4つのシナリオのうち、A2(独立独行と地域の独自性を基本にした地域的経済発展を中心としたシナリオ)に基づいた予測がなされた(和田ら、2005)。

本研究では、2004年6月に公開された RCM20による気候シナリオの予測計算結果(日平均データ)のうち、1981~2000年と2081~2100年のものを用いて、概ね現在と100年後における台風特性を調べた。

#### (2) 台風の抽出方法

本研究で用いた RCM20予測計算結果は、海面気圧や風速・風向などの日平均値を保存したデータである。そのため、台風と熱帯低気圧または温帯低気圧との区別が困難である。

そこで、表-2に示す3つの条件を用いて台風の抽出を試みた。条件1の X は気圧の極小値を台風と判定するかどうかの閾値であり、985、986、987、988、989、990 hPa とした場合について検討した。その結果、X の値を少なくともこれらの値に設定すれば、条件1を満たした点のほとんどが条件2と3の両方を満たした。

次に、1981~2000年について、RCM20予測計算結果から抽出した台風の平均滞在時間と図-1(d)に示した実際の台風による平均中心気圧との差の二乗を、全格子点に対して積分した。その結果、閾値 X を 987 hPa としたときに、その積分値は最小となった。

以上を踏まえ本研究では、この閾値を用いて1981~2000年と2081~2100年の台風を抽出することにした。

#### (3) 将来の台風特性

図-2は、RCM20予測結果から抽出した概ね現在(1981~2000年)と100年後(2081~2100年)における台風の特性を示す。平均中心気圧は、太平洋や東シナ海において低下し、その低下量は四国西部、九州南部、沖縄諸島北部において6 hPa以上であった。一方、本州の東海地方や関東地方、日本海側における変化は小さい。また、現在の年平均滞在時間は九州で4~6日、四国で3~5日、本州で3日程度であるが、100年後には九州で1日以上短くなることもある。

### 4. 確率台風モデルによる将来の台風と気圧・風の特性の試算

#### (1) 地球温暖化の仮定

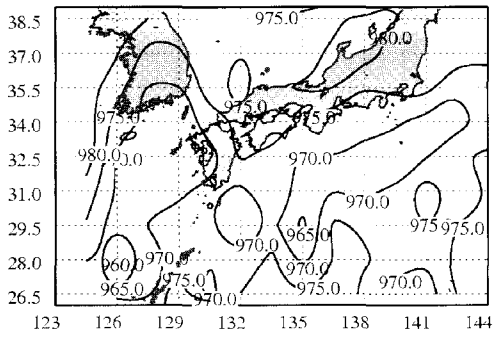
既往の研究(橋本ら、2003)による確率台風モデルに地球温暖化の効果を取り入れる場合には、地球温暖化時における、台風の属性値(中心気圧、進行速度など)の時間変化量の空間平均場、ある時刻の属性値から次の時刻の属性値を与えるための自己回帰モデル、などが必要である。ところが、使用した RCM20予測計算結果は日平均値であるため、これらを直接与えることはできない。

そこで、図-2(d)と(e)に示した1981~2000年と2081~2100年における年平均滞在時間の空間平均場に着目した。これら2つの空間平均場はよく似ているので、1981~2000年の空間平均場を緯度・経度方向に平行移動させ、2081~2100年の空間平均場との差の二乗和が最小となる位置を求めた。その結果、北へ1.5°または東へ1.5°平行移動させた場合であることが分かった。これを踏まえ本研究では、地球温暖化の影響の一つとして、属性値の時間変化量の空間平均場が平行移動した場合をとりあげることにした。ただし、台風の発生位置や初期の中心気圧や最大風速半径、自己回帰モデルは平行移動させない。

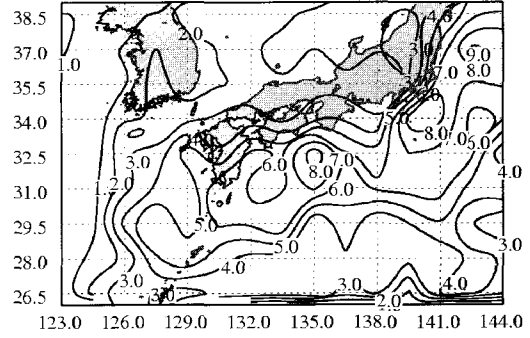
#### (2) 将来の台風と気圧・風の特性

図-3は、台風属性の時間変化量の空間平均場を平行移動させた場合の平均中心気圧を示す。図-1(d)に示した1981~2000年に比べ、北に平行移動させた場合には低く、東に平行移動させた場合にはやや高くなる傾向がある。

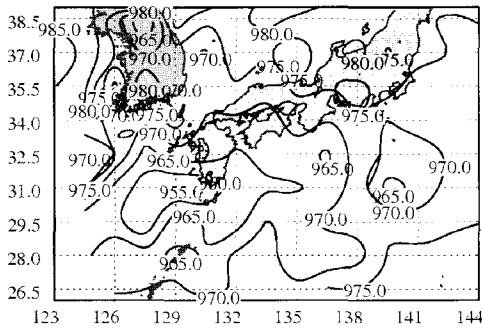
表-3は、三大湾の中心から半径300 kmの円を通過する台風について、中心気圧と湾の中心における風速をそれぞれ極値統計解析した結果を示す。空間平均場が北に



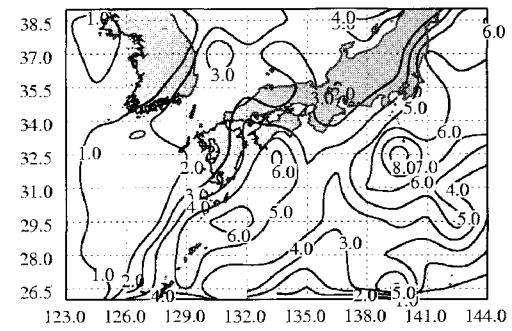
(a) 1981~2000年の平均中心気圧(hPa)



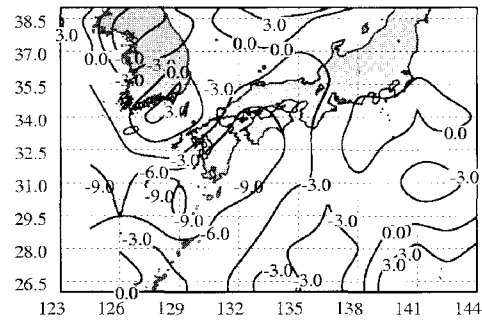
(d) 1981~2000年の年平均滞在時間(日)



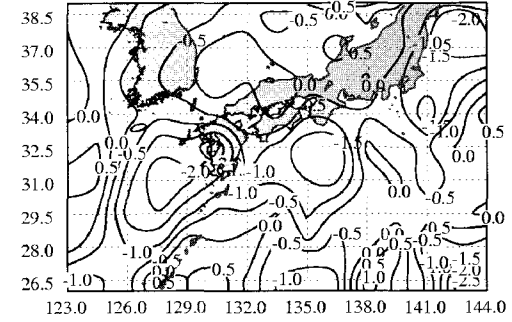
(b) 2081~2100年の平均中心気圧(hPa)



(e) 2081~2100年の年平均滞在時間(日)

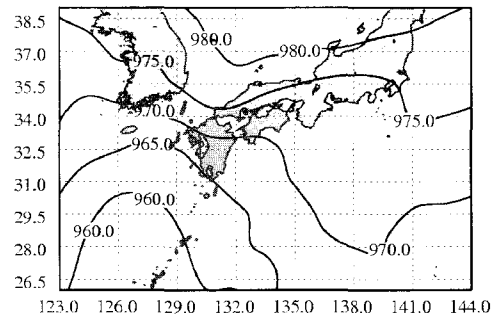


(c) 100年間における平均中心気圧の変化(hPa)

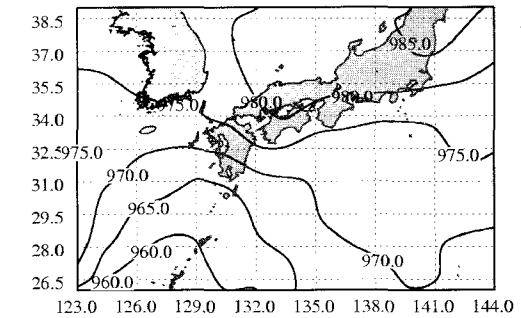


(f) 100年間における年平均滞在時間の変化(日)

図-2 RCM 20予測計算結果による台風特性



(a) 北に1.5°平行移動させた場合



(b) 東に1.5°平行移動させた場合

図-3 確率台風モデルによる2081~2100年の台風の平均中心気圧 (hPa)

表-3 台風の中心気圧、風速の確率値  
(a) 1981~2000年

| 再現年数 | 中心気圧(hPa) |       |       |       |       | 風速(m/s) |      |      |      |       |
|------|-----------|-------|-------|-------|-------|---------|------|------|------|-------|
|      | 50年       | 100年  | 200年  | 500年  | 1000年 | 50年     | 100年 | 200年 | 500年 | 1000年 |
| 東京湾  | 948.9     | 941.5 | 935.2 | 927.5 | 921.8 | 26.5    | 30.6 | 33.8 | 37.6 | 39.7  |
| 伊勢湾  | 946.0     | 938.3 | 932.1 | 923.9 | 918.4 | 30.9    | 33.9 | 36.5 | 39.2 | 41.3  |
| 大阪湾  | 945.5     | 937.8 | 931.0 | 923.4 | 917.1 | 30.7    | 33.6 | 36.2 | 38.8 | 40.6  |

(b) 2081~2100年 (北へ1.5° 平行移動させた場合)

| 再現年数 | 中心気圧(hPa) |       |       |       |       | 風速(m/s) |      |      |      |       |
|------|-----------|-------|-------|-------|-------|---------|------|------|------|-------|
|      | 50年       | 100年  | 200年  | 500年  | 1000年 | 50年     | 100年 | 200年 | 500年 | 1000年 |
| 東京湾  | 945.5     | 937.8 | 930.9 | 922.5 | 917.3 | 27.2    | 30.9 | 34.4 | 37.8 | 40.0  |
| 伊勢湾  | 942.2     | 934.1 | 927.2 | 918.9 | 913.8 | 31.8    | 34.7 | 36.9 | 39.6 | 41.5  |
| 大阪湾  | 941.1     | 933.1 | 926.1 | 917.9 | 912.7 | 31.6    | 34.5 | 37.3 | 39.7 | 41.6  |

(c) 2081~2100年 (東へ1.5° 平行移動させた場合)

| 再現年数 | 中心気圧(hPa) |       |       |       |       | 風速(m/s) |      |      |      |       |
|------|-----------|-------|-------|-------|-------|---------|------|------|------|-------|
|      | 50年       | 100年  | 200年  | 500年  | 1000年 | 50年     | 100年 | 200年 | 500年 | 1000年 |
| 東京湾  | 949.5     | 942.2 | 935.8 | 928.1 | 922.8 | 26.0    | 29.9 | 33.1 | 36.7 | 38.9  |
| 伊勢湾  | 948.7     | 940.2 | 933.6 | 925.6 | 920.6 | 30.3    | 33.1 | 35.7 | 38.6 | 40.4  |
| 大阪湾  | 950.2     | 939.2 | 932.7 | 924.8 | 919.5 | 29.3    | 32.3 | 34.5 | 37.0 | 38.9  |

(d) 1000年間で第1位の台風(可能最大台風)の中心気圧・風速

| 条件  | 中心気圧(hPa)  |        |        | 風速(m/s)    |        |        |
|-----|------------|--------|--------|------------|--------|--------|
|     | 1981~2000年 | 北へ1.5度 | 東へ1.5度 | 1981~2000年 | 北へ1.5度 | 東へ1.5度 |
| 東京湾 | 901.6      | 892.8  | 900.3  | 45.2       | 46.6   | 44.4   |
| 伊勢湾 | 898.4      | 891.0  | 898.9  | 46.3       | 47.5   | 45.7   |
| 大阪湾 | 897.7      | 890.6  | 896.6  | 46.1       | 47.0   | 44.9   |

1.5°だけ平行移動した場合には、中心気圧は低下し、風速も大きくなっている。一方、東に1.5°だけ平行移動した場合には、中心気圧は高く、風速は小さくなっている。

## 5. おわりに

本研究では、過去半世紀や100年後の台風特性を明らかにするとともに、確率台風モデルを用いて100年後の三大湾における台風の中心気圧や風速の出現確率分布を試算した。その結果をまとめると、以下の通りである。

- ①日本列島の南方では過去半世紀に台風の平均中心気圧が低下しており、九州南部などでは地球温暖化でさらに低下する可能性がある。その一方で、本州の東部や日本海における変化は少ない。
- ②地球温暖化の影響の一つとして、台風属性の時間変化量の平均場の移動を仮定すると、その移動方向によって三大湾周辺に來襲する台風の中心気圧や風速の極値は増減する。

本研究によって地球温暖化を考慮した台風のリスク評価に一つの方向性を見出すことができたが、地球温暖化の効果を確率台風モデルに導入する方法については今後引き続き検討が必要である。最後に、RCM20予測計

算値をご提供いただいた気象研究所環境・応用気象研究部第三研究室の栗原室長、(独)環境研究所環境計画研究室原沢室長にお礼を申し上げます。

## 参考文献

- 加藤史訓・鳥居謙一・柴木秀之・鈴木勝之(2003): 確率的台風モデルを用いた潮位と越波量の確率評価  
気象庁(2001): 排出シナリオに関する IPCC 特別報告書(気象庁訳)
- 高橋重雄・富田孝史・河合弘泰(2002): 沿岸防災施設の性能設計の基本的な考え方, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 931-935.
- 端野道夫・桑田康雄(1987): 確率台風モデルによる降雨・高潮の同時生起性評価, 土木学会論文集, No.387, II-8.
- 橋本典明, 佐藤裕司, 松浦邦明, 市川雅史(2001): 確率台風モデルの構築とその統計的特性, 海岸工学論文集, 第48巻, pp. 456-460.
- 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.
- 山口正隆・畑田佳男・花山格章・中村雄二(1995): 確率台風モデルと波高重回帰モデルに基づく台風時波浪の極値の推定, 自然災害科学, 14-2.
- 和田一範・村瀬勝彦・富沢洋介(2005): 地域気候モデルを用いた地球温暖化に伴う洪水・渇水リスクの評価に関する考察, 水工学論文集, 第49巻, pp. 493-494.