

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 30 日現在

機関番号：17401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25820227

研究課題名(和文) 環境場の変化を考慮した全球確率台風モデルの開発と高潮リスク再評価への応用

研究課題名(英文) Global stochastic tropical cyclone model controlled by environmental factor and storm surge risk assessment

研究代表者

中條 壮大 (Nakajo, Sota)

熊本大学・自然科学研究科・助教

研究者番号：20590871

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：クラスター分析を導入し、海面温度の条件をPDFの主成分の一つに加えた確率台風モデルを構築した。これにより、将来の海水面温度変化が台風の発達および減衰過程に及ぼす影響を考慮した将来予測が可能になった。また、GCM結果と確率台風モデル、ANNモデルを組み合わせ、大阪湾等の将来の高潮偏差の将来予測を実施した。八代湾、大阪湾、伊勢湾、東京湾を対象にした最悪高潮シナリオの検討により、湾奥での最大高潮偏差のポテンシャルを推定した。また確率台風モデルを用いた頻度解析から、各台風条件の寄与率を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We improved the global stochastic tropical cyclone model by cluster analysis on tropical cyclone data. Then sea surface temperature condition has been included to one of the principle component of probability distribution function of this stochastic model. This improvement allowed future prediction of effect of sea surface temperature on the development and dissipation process of tropical cyclone. We combined the GCM results, global stochastic tropical cyclone model and neural network model for prediction of future disaster event of storm surge at Osaka bay and so on. Event attribution analysis of storm surge in Yatsushiro bay, Osaka bay, Ise bay and Tokyo bay were performed. Then we assessed the potential of storm surge disaster of each bay and rough estimation of return period of major tropical cyclone condition.

研究分野：海岸工学

キーワード：台風 高潮 気候変動 モンテカルロ法

1. 研究開始当初の背景

沿岸部の人口過密化と資産集中が進むにつれて、台風がもたらす強風や高潮、高波の災害リスクは年々増大している。また、台風の襲来頻度やその強さは全球の長周期気候変動の影響を強く受けている。例えば Bengston は極大台風の発生頻度が長期的に変動し、その一時的な頻度の低下が社会の対策能力の低下をもたらすことを指摘している。

防災計画等に必要なが長期間の台風予測は依然として困難であり、その一因は観測および計算により得られた全球規模の台風資料が絶対的に不足している事にある。台風資料数の不足を補うために、観測資料の統計的性質を担保した膨大な数の人工的な台風資料を生成する確率台風モデルが幾つか提案されている。しかしそれらは自己回帰モデルであり、平均的な台風と比べて極大台風や稀な経路を辿る台風の再現が難しい。

こうした背景のもと、申請者は中心気圧や進行方位、進行速度といった台風特性に関する時系列相関型の全球確率台風モデルを提案し、その精度検証を行ってきた。このモデルでは前時刻の台風特性値に合わせて台風特性の時間変化率の結合確率密度分布が滑らかに変化する特徴がある。

台風発達のメカニズムと気圧配置や海面温度分布、ENSO や NAO など地球規模の長周期気候変動との間にはある程度のある関係があると推測されている。それらの環境場の情報から台風発達過程の推定が可能となれば、長周期変動を考慮して数 10 年程度の近未来の台風災害を定性的に予測することも可能となるのではないかと考えられる (図-1)。

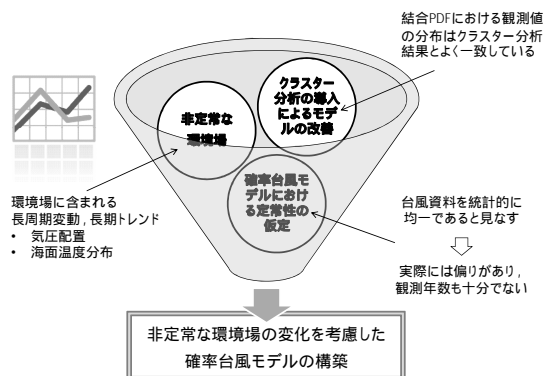


図-1 非定常モデルへのパラダイムシフト

2. 研究の目的

以上を踏まえて、本研究では、クラスター分析による分類群と環境場との関係を明らかにし、台風資料を一律に定常であると仮定していた視点から脱却し、非定常な環境場の影響を考慮した新たな確率台風モデルの構築を図り、またそれを用いて現況の高潮災害リスクを再評価することを目的とした。

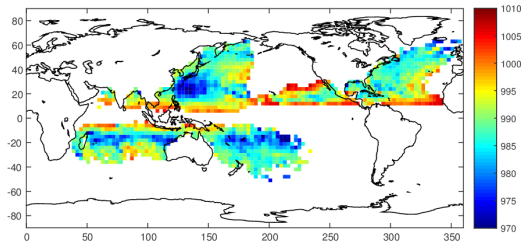
本研究では台風の観測資料に加えて、数値計算により得られた台風資料と環境場の情報から台風の発達過程と進路決定における環境場の寄与について統計的法則を解明していく。さらに、それらを全球確率台風モデルに応用し、再現期間が数 10 年程度の台風について再現精度を検証し、その後再現期間が 100 年程度の台風の推定結果が従来法と比較してどのように変化するかを調べる。確率台風モデルから推定される結果には幾つかの応用先が考えられるが、本研究では特にモデル地区として台風襲来頻度の高い九州地方および三大湾である大阪湾、伊勢湾、東京湾を対象に、高潮災害リスクの再評価を行う。

3. 研究の方法

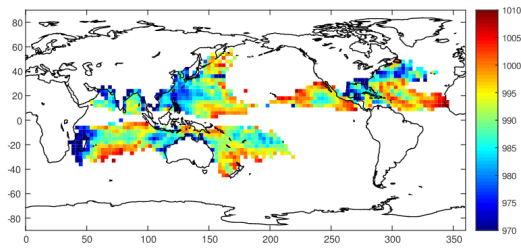
これまでの研究では観測台風資料のみを用いてモデルのパラメータを較正していたが、実際に環境場の情報を取り入れたモデリングを行う際には General Circulation Model (GCM) などの数値計算結果の併用が必要となる。GCM データの利用には単純に台風資料数を増加させることでモデルの精度を上げるだけでなく、台風の発達過程と環境場の面的な変化との関係を詳細に検討可能であるという利点がある。GCM 結果については既に CMIP5 に世界の大気海洋結合モデルの計算結果が集約されている。これらのデータから台風の発達過程と気圧配置や海面温度分布といった環境場との関係を精査した。また、高潮リスク評価を見据えて、九州地方における防潮堤などの構造物の設計基準、ハザードマップで基準とされている高潮災害の設定条件などを調査し、整理することで九州地方における防災計画の整合性についても検討した。

次に、明らかにした台風の発達過程と環境場の統計的関係を確率台風モデルに実装する手法について検討した。本研究では台風の中心気圧、進行速度、進行方位などの特性に対して環境場との関係を多次元的にモデル化し、観測値からの推定精度が比較的高いと考えられる再現期間が数 10 年程度の台風について従来法との比較を交えて精度検証を行った。加えて、高潮リスク評価における基礎的検討として、Kim らの開発した潮汐・高潮・波浪結合モデルを利用して、過去に大きな高潮災害の生じた代表的な地域を対象に高潮災害に対する台風の最悪被害経路を考察した。

高潮リスク評価に際しては、深刻な高潮災害を引き起こす可能性のある台風資料を確率台風モデルの計算結果から抽出し、その結果から経験的台風モデルにより風速と気圧の分布を作成し、その後、SuWAT を利用して各地点における高潮偏差の詳細な計算を行った。手順としては粗い解像度による九州全域に対する高潮偏差の計算結果から概況を評価し、その後主要な臨海地域およ



(a) 観測データから作成した結果



(b) 確率台風モデルによる結果

図-2 平年的な台風による気圧分布比較

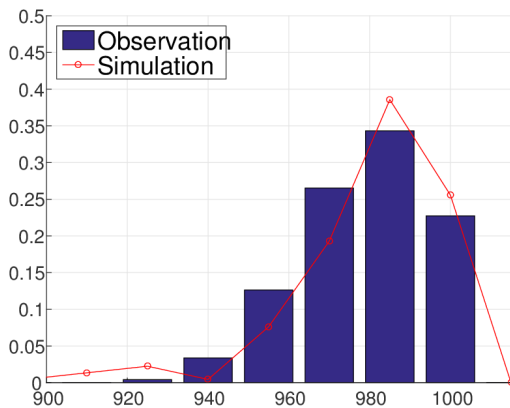


図-3 日本の南沖における台風の中心気圧頻度分布比較

び高潮災害の頻度が高い地区に対して細部の検討を行った。また、高潮偏差の累積分布関数を観測とモデル算定値で比較した検討や再現期間100年の高潮災害の推定結果を比較した。また、台風の最悪経路に関する研究成果を踏まえて、それらの確率評価についても取り組むことで減災に役立つ情報を作成した。研究成果の公表については、国内の主要専門誌、国際誌への論文投稿を行った。また、高潮災害頻度の多い、熊本県宇城市の危機管理課と連携して、地域の防災対策の実情把握と、対象地が抱える高潮リスクの周知を行った。

4. 研究成果

主な成果

台風の発達割合が確率台風モデル内の確率分布関数 PDF の近似精度に依存していることを明らかにし、モデルパラメタの較正

に用いる台風資料に対してクラスター分析を導入することでモデルの再現性が向上することを示した。これにより、既往の台風の来襲特性については、極値的な台風についても再現が可能となった。また、クラスター分析によって分類された各群の特性、物理的意味については海面温度との相関関係が見られた。これを受けて、海面温度の条件を PDF の主成分の一つに加えた確率台風モデルを構築した。各月の平年的な海水面温度の分布を境界条件として与えた結果から、既往のモデルと同程度に平年的な台風特性を再現できることを確認している(図-2, 図-3)。これにより、将来の海水面温度変化が台風の発達および減衰過程に及ぼす影響を考慮した将来予測が可能になった。

また、GCM による将来の台風のシミュレーション結果に対して、確率台風モデルによる予測結果と、別途に提案されたニューラルネットワークモデルを組み合わせることによって大阪湾等の将来の高潮偏差の将来予測が実施され、再現期間100年の高潮については大阪湾で0.34mほど現在よりも高くなり、この将来変化は経度方向に大きくなる傾向にあること等を示した。

八代湾を対象にした最悪高潮シナリオの検討により、湾奥での最大高潮偏差のポテンシャルを推定した(図-4)。またその頻度解析の結果から、最悪シナリオを決定する要因としては、まず台風の進行速度が十分大きな速度であることの再現年数が大きいことを明らかにした。次いで台風経路条件の再現年数が大きく、影響が大きいことを明らかにした。それに比べて中心気圧条件については数10年に1回程度の台風規模である事が明らかとなった。このように最悪シナリオの想定における各条件の重要性と設計年数に対する妥当性の目安を提示できたことは意義深い。

大阪湾、伊勢湾、東京湾の三大湾を対象とした危険高潮イベントの推定実験を実施した。大阪湾においては瀬戸内海の北側を東北東に進む経路が危険であることを示した。ただし、ここでの検討は経験的台風モデルを使用しているため、陸上地形の影響を考慮していない点が課題である。伊勢湾においては、既往の伊勢湾台風経路よりもやや東側を北進する経路が危険であることが示された。東京湾においては、南東から東京湾に接近し、北進する経路が危険であり、特に房総半島を横切るように南東から北西に通過する経路においては吹き返し前に湾口で増大した水位が吹き返し後に湾奥に伝播することも相まって顕著な高潮偏差を生じさせることが示された(図-5)。

国内外における位置づけ

高潮災害に対する防災計画の策定に際して、危険高潮イベントの推定については熱帯低気圧の襲来する地域では同様に検討が行われている。しかしながら、その方法は日本

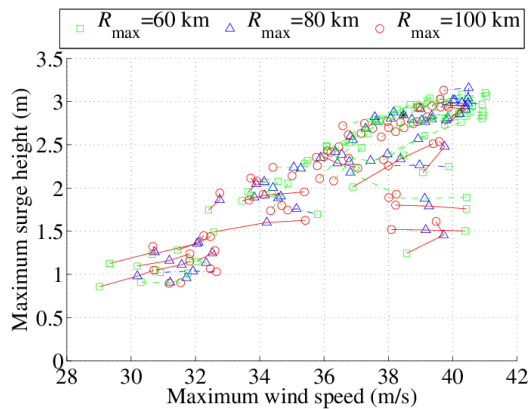


図-4 危険高潮イベントと台風半径，最大風速との関係（八代湾奥）

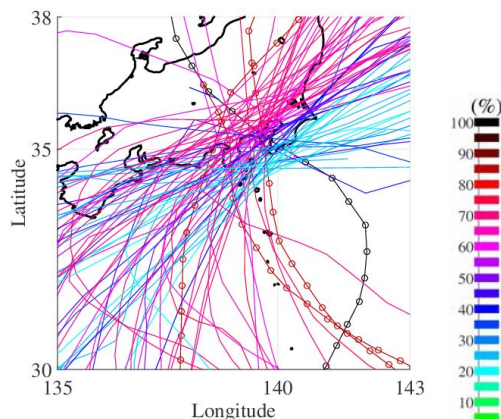


図-5 危険高潮イベントと台風経路との関係（東京湾奥）

と同様に既往最大の被害をもたらした台風の経路シフト等の条件を与えて予測しているのが大半である。本研究で示したような台風条件毎の再現年数に対する奇与度の検討が実施されたのは初めてである。これまで各地域が経験した台風の情報に基づいて推定してきた極値解析的手法のみでは，将来気候により変化すると考えられる台風経路や進行速度の影響を考慮できない。危険高潮イベントにおいて，台風の中心気圧よりも経路や進行速度等の条件の再現年数が大きいということが本研究により示されたことにより，より一層，各台風条件の組み合わせとそれらの再現年数を踏まえた防災計画の必要性が今後高まると思われる。

また，GCM による将来台風予測とそれに基づく高潮災害の将来変化予測は現在も世界的に注目されているところである。しかし，GCM の予測結果を直接用いた高潮シミュレーションでは，GCM のバイアス補正の影響が無視できない。よって，本研究で構築された海面温度を陽に取り込んだ確率台風モデルにより別途推定される将来台風特性の変化と照らし合わせながら，より信頼性の高い将来変化予測が実施されることが期待でき

る。

今後の展望

三大湾に対して実施した危険高潮イベントの推定は，経験的台風モデルによるものであり，陸上地形の風速低減効果は考慮されていない。この影響を考慮した再検討が今後必要である。また，海水面温度の年々変動が台風発達，特に極大台風に及ぼす影響がどの程度考慮できているかを観測値および本モデルの両面から検証を行う必要がある。また，別途に文部科学省の気候変動リスク情報創生プログラムで実施されている d4PDF による極値解析結果と本確率台風モデルの結果がどのように対応しているかも興味深い。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 14 件)

1. 岩部紫織, 森信人, 中條壯大, 安田誠宏, 間瀬肇, 確率台風モデル, 高潮モデルおよびニューラルネットワークを用いた高潮偏差の長期評価, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.72, No.2, 2016, 採択済み, 査読有。
2. 中條壯大, 藤木秀幸, 金洙列, 水位上昇速度に着目した八代湾湾奥での高潮災害の特徴分析と水防活動の関連について, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.72, No.2, 2016, 印刷中, 査読有。
3. Kenzou Kumagai, Nobuhito Mori, Sota Nakajo, Hindcast of Storm Surge and Return Period of a Super Typhoon Haiyan-like Storm, Coastal Engineering Journal, Vol. 58, No. 1, 24p. 2016, 査読有。
4. 澁谷容子, 中條壯大, 森信人, 金洙列, 間瀬肇, 気候変動に伴う最大クラス台風経路と高潮偏差および再現期間の推定 - 伊勢湾における検討, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.71, No.2, 2015, I_1513-I_1518, 査読有。
5. 中條壯大, 藤木秀幸, 金洙列, 森信人, 澁谷容子, 安田誠宏, 東京湾における高潮災害ポテンシャルの評価に関する検討, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.71, No.2, 2015, I_199-I_204, 査読有。
6. Yasuda, T., S. Nakajo, S-Y. Kim, H. Mase, N. Mori, K. Horsburgh, Evaluation of future storm surge risk in East Asia based on state-of-the-art climate change projection, Coastal Engineering, Vol. 83, 2014, pp.

65-71, 査読有.

7. Sota Nakajo, Nobuhito Mori, Tomohiro Yasuda, Hajime Mase, Global Stochastic Tropical Cyclone Model Based on Principal Component Analysis and Cluster Analysis, Journal of Applied Meteorology and Climatology, Vol. 53, No.6, 2014, pp. 1547-1577, 査読有.
8. Sota Nakajo, Nobuhito Mori, Kim Soo-Youl, Tomohiro Yasuda, Fumihiko Yamada, Hajime Mase, Basic study on estimation method of return period and variation range of severe storm surge event: Proceedings of International Conference on Coastal Engineering, 2014, <http://dx.doi.org/10.9753/icce.v34.management.29>, 査読有.
9. 國吉早紀, 森信人, 中條壯大, 安田誠宏, 間瀬肇, 確率台風モデルとニューラルネットワークを用いた台風の将来変化を考慮した高潮予測, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.70, No.2, 2014, I_1256-I_1260, 査読有.
10. 中條壯大, 金洙列, 森信人, 安田誠宏, 間瀬肇, 山田文彦, 八代湾における高潮災害に及ぼす台風の移動速度と規模の影響について, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.70, No.2, 2014, I_256-I_260, 査読有.
11. Nobuhito Mori, Saki Kuniyoshi, Sota Nakajo, Tomohiro Yasuda, Hajime Mase, Projection of future tropical cyclone activity and extreme waves, Proceedings of Coastal Dynamics 2013, 2013, #111, 12p., 査読有.
12. S. Nakajo, N. Mori, S. Kim, T. Yasuda, Consideration of applicability of stochastic tropical cyclone model for probability assessment of storm surge, Proceedings of APAC 2013, 2013, pp. 613-619, 査読有.
13. 中條壯大, 金洙列, 森信人, 安田誠宏, 間瀬肇, 山田文彦, 確率台風モデルと観測台風資料を組み合わせた高潮イベントアトリビューション -八代海を対象とした最悪台風経路の基礎的検討-, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.69, No.2, 2013, pp. 366-370, 査読有.
14. 中條壯大, 森信人, 安田誠宏, 間瀬肇, 時系列相関型の全球確率台風モデルの開発, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.69, No.1, 2013, pp. 64-76, 査読有.

[学会発表](計 9件)

1. 岩部紫織, 森信人, 中條壯大, 安田誠宏, 間瀬肇, 確率台風モデル, 高潮モデルおよびニューラルネットワークを用いた高潮偏差の長期評価, 海岸工学講演会, 2016年11月, 大阪大学中之島センター(大阪府), 予定.
2. 中條壯大, 藤木秀幸, 金洙列, 水位上昇速度に着目した八代湾奥での高潮災害の特徴分析と水防活動の関連について, 海洋開発シンポジウム, 2016年6月, アクティシティ浜松コンgresセンター(静岡県), 予定.
3. 藤木秀幸, 中條壯大, 山田文彦, 金洙列, 東京湾における危険高潮イベントの要因となる台風特性に関する検討, 土木学会西部支部研究発表講演会, 2015年3月, 琉球大学千原キャンパス(沖縄).
4. 澁谷容子, 中條壯大, 森信人, 金洙列, 間瀬肇, 気候変動に伴う最大クラス台風経路と高潮偏差および再現期間の推定 -伊勢湾における検討, 海岸工学講演会, 2015年11月, タイム24ビル(東京都).
5. 中條壯大, 藤木秀幸, 金洙列, 森信人, 澁谷容子, 安田誠宏, 東京湾における高潮災害ポテンシャルの評価に関する検討, 海岸工学講演会, 2015年11月, 東京都.
6. 中尾光, 中條壯大, 金洙列, 山田文彦, 台風シナリオの変化が八代湾奥の高潮偏差に及ぼす影響について, 西部支部研究発表会, 2014年3月, 福岡大学(福岡県).
7. Sota Nakajo, Nobuhito Mori, Kim Soo-Youl, Tomohiro Yasuda, Fumihiko Yamada, Hajime Mase, Basic study on estimation method of return period and variation range of severe storm surge event: International Conference on Coastal Engineering, 2014, July, Seoul (Korea).
8. 國吉早紀, 森信人, 中條壯大, 安田誠宏, 間瀬肇, 確率台風モデルとニューラルネットワークを用いた台風の将来変化を考慮した高潮予測, 海岸工学講演会, 2014年11月, ウィンクあいち(愛知県).
9. 中條壯大, 金洙列, 森信人, 安田誠宏, 間瀬肇, 山田文彦, 八代湾における高潮災害に及ぼす台風の移動速度と規模の影響について, 海岸工学講演会, 2014年11月, ウィンクあいち(愛知県).

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等
現在なし．整備中

6．研究組織

(1)研究代表者

中條 壮大 (NAKAJO Sota)
大阪市立大学・大学院工学研究科・講師
(研究助成期間中は)熊本大学・大学院自
然科学研究科・助教
研究者番号：20590871

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし