

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 6月 3日現在

機関番号：14301
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2011～2012
 課題番号：23760461
 研究課題名（和文） 気候変動予測結果を用いた沿岸メガシティにおける海岸災害リスクの変化予測
 研究課題名（英文） Projection of changes in coastal disaster risk in the coastal megacities using climate change projections
 研究代表者
 安田 誠宏（YASUDA TOMOHIRO）
 京都大学・防災研究所・助教
 研究者番号：60378916

研究成果の概要（和文）：気象研究所の超高解像度全球気候モデル GCM の 2 次元気象場データを用いて、直接高潮シミュレーションをした。熱帯低気圧の存在期間の海面気圧および海上風を駆動力として与えた。高潮計算に用いた台風は北西太平洋領域を通過したものとした。台風ごとの最大高潮偏差の計算結果を極大値資料とし、極値統計解析を行った。将来気候下における 100 年に 1 度の高潮が現在気候に比べて増大すること、台風強度変化によって一様に増大するのではなく、エリア依存性があることを明らかにした。さらに、高潮モデル自体が内包する不確実性を減らすのに必要な要件を整理することができた。

研究成果の概要（英文）：Future storm surge risk due to the tropical cyclones (TC) in East Asia is evaluated where the climate change projection by the state-of-the-art atmospheric GCM is employed as driving forces for storm surge simulations. Storm surge simulations are carried out in the East Asia with the finest nested domain on Japanese coast. Probability of maximum storm surge heights with several return periods are analyzed by extreme statistics. It was found that there are strong regional dependencies on the change of magnitudes of severe storm surge anomalies in the future climate. The storm surge risk depends not only on typhoon's intensification but also on typhoon's track shift due to climate change. This study investigated uncertainty of possible maximum storm surge projections.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|-------|-----------|---------|-----------|
| 交付決定額 | 3,300,000 | 990,000 | 4,290,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：高潮，気候変動，全球気候モデル（GCM），将来気候，台風

1. 研究開始当初の背景

海岸から 100km 以内かつ標高 100m 未満の地域に暮らしている人口は、世界中で 12 億人以上にもなる。人口が 100 万人を超える港湾都市、いわゆる沿岸メガシティは 136 箇所あり、全世界の GDP の 5% に相当する約 300 億ドル（アメリカ：140 億ドル，アジア：110 億ドル）の資産が集中している（OECD report, 2008）。こうした地域は、潜在的な海岸災害

リスクに加えて、気候変動による海面上昇および熱帯低気圧の強大化の影響を特に受けやすいといえる。

2004 年には、上陸した 10 個の台風により、瀬戸内や太平洋の沿岸部で高潮と高波による被害が発生した。2005 年には、ハリケーンカトリーナがメキシコ湾沿岸を襲い、犠牲者は約 2000 人、被害総額は 9 兆円に達した。2007 年にはサイクロン Sidr によってバング

ラデシュで、2008年にはサイクロン Nargis によってミャンマーで、甚大な被害が発生した。このように、日本沿岸、メキシコ湾およびインド～東南アジア地域の海岸災害リスク・脆弱性は非常に高く、かつ人口と資産が集中している地域とほぼ一致する。気候変動に対する適応策を行うには、リスクの定量的な分析が必要である。

IPCC 第5次報告書に向けて、全球気候モデル(GCM)による気候変動予測実験が精力的に行われており、高潮・波浪解析に必要な物理データが提供されつつある。申請者は、北西太平洋における台風の将来変化を調べるため、GCMデータを用いて解析を行ったが、GCMによる熱帯低気圧の再現精度が低いために、発生数・強度ともに、観測値に比べて無視できないほどの大きなバイアスがあるという結果を得た。そこで、気候変動予測結果の統計的なマクロ情報(発生数および強度変化)をもとに、観測されている台風データを変換することで、将来台風予測実験を試みた。こうした統計的シナリオに基づく方法も有用だが、物理量を直接用いる力学的方法も採られるべきである。気象庁気象研究所のGCMは、空間解像度 TL959L60(全球約20km)という超高解像度モデルであるため、実際の強度に近い熱帯低気圧をシミュレートできる可能性がある。

2. 研究の目的

本研究は、気象の客観解析データと地形の影響を考慮可能な気象モデルを用いることが有用と考え、物理モデルによる出力を直接入力できるように高潮・波浪モデルを改良し、GCM出力を用いた高潮の直接計算を実施する。メソ気象モデルRCMによる気象場のダウンスケールと高潮のアンサンブルランを行い、複数メンバーの高潮計算結果を、GCMを用いた結果と比較することで高潮予測値の幅(不確実性)を評価する。非構造格子を用いた高潮・波浪解析モデルを開発し、従来モデルとの比較から格子解像度の影響を調べるとともに、モデルの違いによる高潮予測の不確実性の軽減を目指す。

3. 研究の方法

全球気候モデル出力結果を用いた直接高潮シミュレーション、メソ気象モデルによるアンサンブルダウンスケール実験、非構造格子高潮モデルの開発を行う。気象庁気象研究所の超高解像度GCMの出力結果のうち、海面更正気圧と海上風を用いて、直接高潮計算をする。高潮計算を実施する前に、現在気候実験の気圧および海上風について、沖合での観測値と比較することで、GCMのバイアス評価をする。現在気候、将来気候(21世紀末)それぞれの25年間のGCMデ

ータから、対象エリアに襲撃した熱帯低気圧を抽出する。熱帯低気圧の特定には、Murakami *et al.* (2010)およびBengtsson *et al.* (2006)の方法を用いる。熱帯低気圧の存在期間の2次元気象場データ(海面気圧および海上風)を用い、高潮計算を実施する。高潮モデルには、既存の直交格子法およびネスティングスキームを用いる。

単一GCMモデル、単一ランによる不確実性の評価をするために、メソ気象モデルRCMを用いたアンサンブル実験を行う。複数メンバーのアンサンブルダウンスケール実験結果を用い、高潮計算をする。

広領域から詳細領域までを一気に接続可能な、非構造格子を用いた高潮・波浪モデルを開発する。一般的な高潮モデルには、デカルト座標系による正方格子が用いられている。この方法の長所は、格子データの作成が容易でモデルも簡便な点である。しかし、実条件を精緻に再現する解析を直交格子で行うには、海陸境界付近における格子の大きさを非常に小さくしなければならない。非構造格子では、上記のような直交格子の短所を補うことができ、解析領域の地形形状に応じた格子分割が可能となり、場所毎に要求される精度に応じて格子の大きさを変えられるため、効率的な計算が可能となる。すなわち、格子間隔を外洋域では粗く、沿岸域では細かくして複雑なデルタ地帯や防波堤などの構造物を、計算コストを抑えつつ精緻に再現することができる。

非構造格子高潮モデルの支配方程式には、浅海長波方程式を用いる。離散化には、境界条件が複雑な実地形に対して有効な、有限要素法を用いる。空間方向の離散化には重み付き残差法を、時間方向へは時間積分法を適用する。有限要素法の一般的な特性である数値減衰をどう取り除くかが課題である。計算格子の形状は三角形とし、メッシュの生成にはDeLaunay分割を用いる。メッシュ生成では、水深データと長波方程式にもとづいて波速を計算し、三角格子を自動生成する手法を開発する(Hagen *et al.*, 2002)。

4. 研究成果

気象研究所の超高解像度全球気候モデルGCMの2次元気象場データを用いて、直接高潮シミュレーションをした。熱帯低気圧の存在期間の海面気圧および海上風を駆動力として与えた。高潮モデルには、Kimら(2008, 2010)による潮汐・高潮・波浪の相互作用を考慮した双方向結合モデルSuWATを用いた。本研究では、計算コスト軽減のため波浪計算は行わず、非線形長波モデルを基礎式とした高潮計算モジュールのみを用いた。北西太平洋及び日本沿岸を解析対象とし、3階層のネスティングスキームを適用した。

高潮計算に用いた台風は北西太平洋領域を通過したものとし、それらの個数は、現在気候で190、将来気候で127であった。台風ごとの最大高潮偏差の計算結果を極大値資料とし、極値統計解析を行った。極値の分布関数にはグンベル分布を用い、プロットイング・ポジション公式にはGringorten公式を用いた。再現期間は、GCMのデータ期間の25年と、50年および100年とした。

瀬戸内海領域では、現在気候においては、周防灘における高潮偏差の再現確率値が最も大きく、燧灘および播磨灘の小豆島以西においても大きい。将来気候では、周防灘での再現確率値が、現在気候に比べて大きく増大する。また、燧灘では将来予測値は現在気候よりも小さくなったが、反対に、安芸灘および斎灘では大きくなった。関東～東海領域の現在気候では、東京湾で最も大きく、次いで、伊勢湾西部および三河湾で大きくなった。将来気候では、東京湾における将来変化よりも、伊勢湾、三河湾での増大傾向が顕著であった。現在気候で推算された房総半島東海岸や伊豆諸島周辺海域のピークは将来気候では現れず、遠州灘や熊野灘において大きくなった。

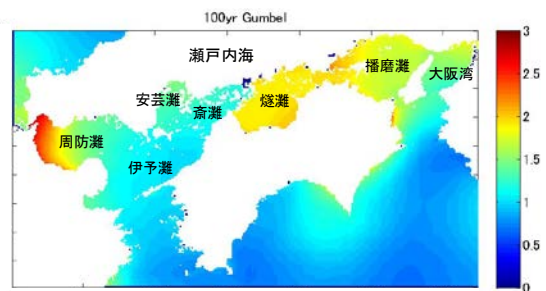
このように将来気候における高潮偏差は、台風強度変化によって一様に増大するのではなく、台風のコースに応じて強い海域依存性があることを明らかにした。

非構造格子モデルには、ADCIRC (Advanced CIRCulation model) を用いた。伊勢湾台風を対象に、構造格子モデルと非構造格子モデルの計算を行い、結果を比較した。全体的に、最大潮位偏差はADCIRCの方が、値が小さくなる傾向にあり、特に、三河湾において顕著な差がみられた。外洋を含めた計算領域の設定をうまくできなかったことが要因の一つと考えられる。

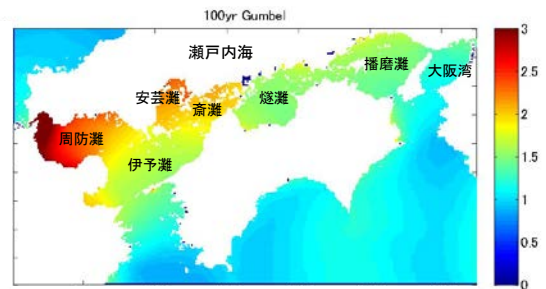
高潮モデル自体の不確実性を調べるため、高潮モデルの風速に対する海面抵抗係数を変えたアンサンブル実験を行った。格子解像度や計算格子、ラディエーションストレス、入力気象場、海面抵抗係数による高潮偏差に及ぼす不確実性を評価したところ、海面抵抗係数と気象場が高潮偏差に及ぼす影響が大きいことがわかった。

当初、RCMによるアンサンブル計算を行い、高潮予測値の不確実性を評価することも目的のひとつとしていたが、スペクトルナッジングをする元データとして用いるアンサンブルランがなされたGCMの解像度が60kmであり、台風の再現性がよくなかったため、良好な結果が得られなかった。

本研究では、全球気候モデルGCMによる気候変動予測実験結果を外力として、東アジア沿岸を対象に高潮の直接計算を行い、海岸災害リスクの将来変化を定量的に評価することを目的としていたが、2年間の研究期間全

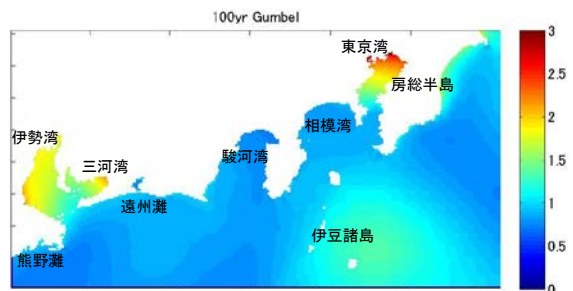


(a) 現在気候

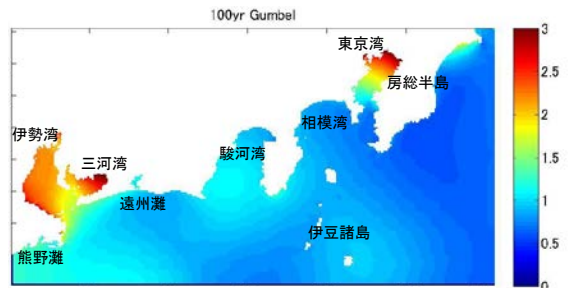


(b) 将来気候

図-1 100年再現確率高潮（瀬戸内海領域）[m]



(a) 現在気候



(b) 将来気候

図-2 100年再現確率高潮（関東・東海領域）[m]

体を通じて、将来気候下における100年に1度の高潮が現在気候に比べて増大すること、台風強度変化によって一様に増大するのではなく、エリア依存性があることを明らかにした。さらに、高潮モデル自体が内包する不確実性を減らすのに必要な要件を整理することができた。

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7件)

- ①林 祐太・安田誠宏・森 信人・中條壮大・間瀬 肇：気候変動に伴う可能最大高潮の不確実性の評価に関する研究，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol.68, No.2, pp.I_1231-I_1235, 2012. 査読有. DOI: http://dx.doi.org/10.2208/kaigan.68.I_1231.
- ②森 信人・村上裕之・志村智也・中條壮大・安田誠宏・間瀬 肇：マルチモデルアンサンブルによる気候変動に伴う熱帯低気圧特性の将来変化予測，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol.68, No.2, pp.I_1251-I_1255, 2012. 査読有. DOI: http://dx.doi.org/10.2208/kaigan.68.I_1251.
- ③金 洙列・松見吉晴・安田誠宏・間瀬 肇・水沼裕介：海浜流推算における潮汐・波浪・高潮結合モデルの開境界条件に関する研究，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol.67, No.2, pp.I_326-I_330, 2011. 査読有. DOI: http://dx.doi.org/10.2208/kaigan.67.I_326.
- ④間瀬 肇・武藤遼太・森 信人・金 洙列・安田誠宏・林 祐太：詳細気象予測値を用いた伊勢湾台風高潮の再現実験，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol.67, No.2, pp.I_401-I_405, 2011. 査読有. DOI: http://dx.doi.org/10.2208/kaigan.67.I_401.
- ⑤安田誠宏・中條壮大・金 洙列・森 信人・間瀬 肇・Kevin Horsburgh：気候変動予測実験出力を直接用いた高潮リスクの評価，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol.67, No.2, pp.I_1171-I_1175, 2011. 査読有. DOI: http://dx.doi.org/10.2208/kaigan.67.I_1171.
- ⑥林 祐太・安田誠宏・森 信人・中條壮大・間瀬 肇・奥 勇一郎：気候変動に伴う将来高潮予測の不確実性 -東京湾をケーススタディーとして-，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol.67, No.2, pp.I_1181-I_1185, 2011. 査読有. DOI: http://dx.doi.org/10.2208/kaigan.67.I_1181.
- ⑦森 信人・志村智也・中條壮大・安田誠宏・間瀬 肇：マルチモデルアンサンブルに基づく地球温暖化に伴う沿岸外力の将来変化予測，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol.67, No.2, pp.I_1191-I_1195, 2011. 査読有. DOI: http://dx.doi.org/10.2208/kaigan.67.I_1191.

[学会発表] (計2件)

- ①Yasuda, T., Mori, N., Nakajo, S. and Mase, H., Hayashi, Y. and Oku, Y.: Projection

of Future Storm Surge due to Climate Change and Its Uncertainty - A Case Study in the Tokyo Bay, Proc. of 6th Int. Conf. on Asian and Pacific Coasts (APAC 2011), pp.369-376, Hong Kong, China, 2011/12/15.

- ②Yasuda, T., Nakajo, S., Mori, N., Mase, H., Hayashi, Y. and Kunitomi, S. (2011): Future Typhoon Projection using Stochastic Typhoon Model under Global Climate Change, Proc. 11th Int. Conf. on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering, pp.1620-1627, Zurich, Switzerland, 2011/8/3.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

安田 誠宏 (YASUDA TOMOHIRO)
京都大学・防災研究所・助教
研究者番号：60378916