

平成 21 年 5 月 20 日現在

研究種目：基盤研究(B)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18360236
 研究課題名(和文) 大気・海洋・陸面結合高潮予測モデルの開発とこれによる可能最大高潮の科学的検討
 研究課題名(英文) Development of air-sea-land coupled model for storm surge forecast and its application into scientific examination on possible maximum storm surge
 研究代表者：安田 孝志(YASUDA TAKASHI)
 岐阜大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号：10093329

研究成果の概要：台風直下に形成される強風下海面境界層 - パースト層 - の乱流構造を支配する碎波応力の逆解析的定式化(パースト層モデルの導出)に初めて成功した。

ついで、このパースト層モデルの取り組みが可能な多重座標系海洋モデルを台風・気象・波浪・陸面結合モデルに組み込んだ大気・海洋・陸面結合モデルを開発した。このモデルを用いて、台風 0416 号による瀬戸内海全域の高潮再現計算を行い、その有用性を実証した。さらに、このモデルに入力する初期気象場の高精度化をはかるため、ナッシングによる 4 次元データ同化と台風ボーガスを併用する初期化手法を開発した。

以上の手法を用いて伊勢湾における高潮シミュレーションを行い、現在気候の下での伊勢湾における可能最大高潮の潮位が伊勢湾台風による 3.6m を 0.9m 上回る 4.5m に達することを示した。さらに、CMIP3 の SRESA1B シナリオの下での 2099 年 9 月の気象場においては、伊勢湾における可能最大高潮が潮位偏差で 6.5m に達すること示した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	9,300,000	2,790,000	12,090,000
2007 年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
2008 年度	1,900,000	570,000	2,470,000
年度			
年度			
総計	14,800,000	4,440,000	19,240,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工水理学

キーワード：海岸

1. 研究開始当初の背景

土木学会の調査団の一員としてハリケーン「カトリーナ」(2006 年 8 月 29 日)によってもたらされた高潮被害の現地調査を行った。その時に目撃したピロクシーやニューオリンズなどの惨状は、高潮の破壊力の大きさを如実に示すものであった。高潮が計画潮位

を上回り、防災施設が機能を失った場合、災害の様相が一変し、防災先進国であっても壊滅的被害が生じることを重く受け止める必要があることを痛感した。

我が国の 3 大都市圏はいずれも高潮災害の危険度の高い 3 大湾に位置している。この事実に加え、今後 IPCC の予測通りの海水温上

昇によって台風の強大化が進む可能性を考えるなら、計画潮位を上回る高潮発生の可能性についての科学的検討と減災のための対策は我が国の根幹に関わる課題と言わねばならない。

このような認識に至ったことが、本研究を開発する動機となった。

2. 研究の目的

このような課題に応え、正確な高潮の予測を行うには、台風の進路、強度および規模、高潮の規模を決定する外洋から内海・内湾への海水流入量、複雑な陸面・海面境界の影響を受ける海上風と海岸・海底地形の両方に支配される吹送流の3次元分布、及び吹送流への海岸境界でのせき止めの影響、についてそれらの物理機構を正しく理解し、その上で定量的取り扱いのためのモデル化をする必要がある。

このため、まず、上述の ~ に関わる問題点を全て解消した大気・海洋・陸面結合の台風・吹送流・高潮モデルを開発することにした。ついで、このモデルを用い、今後の温暖化の影響も含めて大気・海洋力学的及び極値統計的にこれまでの計画潮位を上回る高潮の規模とその可能性について伊勢湾を対象に検討・解明を行うだけでなく、潮位以外に高潮対策に必須となる流速、波高、降雨量などの値も明らかにすることにした。

3. 研究の方法

上陸台風に対する気象・海洋学的検討に基いて 9918 号台風、伊勢湾台風および熱力学的可能最大台風を想定台風とし、その中心気圧等のパラメータ設定を行い、伊勢湾直撃コースとなる大気・海洋場を検出した。これらを初期条件として想定台風を大気・海洋力学的に時間発展させるため、まず所定の特性を持つ大気力学的台風モデルの開発をした。

ついで台風と海洋間の運動量・エネルギー交換を計算するための台風直下海洋混合層モデルを開発し、さらに台風モデルとこの混合層モデルを結合させた「台風スキーム」の構築を順次行った。これらを気象モデルに組み込み、多重座標とバースト層モデルを用いた海洋モデルと結合させることにより、外洋から陸上・海底・海岸地形の影響を受ける内海・内湾までの台風・吹送流・高潮の一体的計算を可能とする大気・海洋・陸面結合台風モデルを構築した。

さらにこのモデルを用い、伊勢湾に顕著な高潮を発生させた伊勢湾台風および 9426 号台風による高潮の再現と精度検証を行い、その有用性を実証した。最後に、IPCC の温暖化シナリオによる海水温上昇の影響も加えて想定台風による高潮、さらに可能最大高潮や有義波高の最大値などの各諸量の値も明

らかにした。

4. 研究成果

本研究課題に関わる主要な成果を以下に述べる。

(1)台風直下に形成される気液混相強乱流境界層 - バースト層 - のモデル化

台風直下では 40m/s を超える強風とそれによる碎波を伴う 10m 超の波高のために水粒子速度の計測不可能な空白域が生じ、台風強度に密接に関わる海面からの潜熱輸送を支配する海面境界層の乱流構造の解明が大きく遅れていた。このことが、台風強度の予測精度向上の大きな障害となっている。

研究代表者らは、風洞水槽内であるが台風直下に相当する強風下海面境界層 - バースト層 - のモデル化に成功した。これは、二重床風洞水槽の考案・開発とバースト層の乱流構造を支配する碎波応力の逆解析的定式化によって初めて可能となったものである。その成果は、この分野の世界のトップジャーナルであるアメリカ気象学会発行の Journal of Physical Oceanography, Vol.38(2008)に掲載された。

このようにして、初めて碎波応力が卓越するバースト層の乱流構造のモデル化がなされ、今後はこの成果がそのバルク式への反映、さらには台風強度の予測精度の向上につながるものと期待される。

(2)高精度高潮予測のための多重座標系海洋モデルと大気・波浪モデルの結合系の開発

台風下の強風を駆動力とする吹送流の外洋からの流入とその海岸でのせき止めによって生じる高潮の予測精度は、海面境界の差分精度に大きく依存している。これまで高潮の計算にも広く用いられて来た座標系海洋モデルは、鉛直差分精度の水深依存性の問題を抱えている。このため、水深 4,000m 超の外洋では鉛直格子間隔が水深数十 m の内海・内湾の数百倍となり、差分精度が大きく低下するに留まらず、バースト層などの海面境界過程を取り扱うことが不可能となる問題が生じている。

研究代表者らは、この問題を解消し、高精度の高潮計算を実現するため、水深に関係なく、かつバースト層の取り扱いも可能とする多重座標系海洋モデルに台風・気象モデルおよび波浪モデルを結合させたモデルを開発した。さらに、このモデルを用いて、台風 0416 号による瀬戸内海の広域高潮の再現を行い、これによる誤差が愛媛県の宇和島および松山で+5cm、香川県の高松および岡山県の宇野で+3cm、徳島県の小松島で+1cm に留まることを示した。これは、本研究によって開発されたモデルの有用性を実証するもの

となった。この成果に対して、土木学会から連携研究者の村上智一に土木学会論文奨励賞（受賞論文：気象モデルおよび多重座標系海洋モデルを用いた台風 0416 号による広域高潮の再現，村上・安田・吉野著）が授与された。

(3)高精度台風・高潮計算のための入力気象場の高精度化

従来の高潮計算では、入力気象場として Myers 式に代表される経験的気圧分布に傾度風平衡方程式を組み合わせた 2 次元台風モデルが用いられてきた。このモデルは簡便性に優れているが、海と陸が複雑に入り組んだ内海・内湾の高潮の計算には、海面・陸面の粗度変化や地形効果、レインバンドに伴う局所的強風構造効果、台風のライフサイクルに応じた内部構造の変化などの物理過程などを無視しているために適していない。研究代表者らが開発した(2)の結合モデルは、真にこのような従来モデルが抱える問題点を全て解消したモデルとなっている。その一方で、この結合モデルは 3 次元物理モデルであるため、3 次元空間である海洋および気象場の初期値を必要とし、計算精度は特に気象場の初期値に大きく依存することになる。

このため、メソ気象モデル MM5 を用い、4 次元データ同化（ナッジング法）と台風ボーガス（気象庁ベストトラックが入力条件）を併用する台風気象場の初期化手法を開発し、その精度検証を台風 0416 号に対して逆解析的に行った。その結果、太平洋に面した室戸岬はもちろん、内海の大部分および徳島測候所での風速の時系列が正しく再現されていることが確認でき、このときの入力気象場の高精度化が実現できたことが実証された。

この成果に対し、第 1 回の海岸工学論文賞（論文名：高潮計算精度に及ぼす入力台風気象場の再現性の影響，吉野・村上・林・安田著）が授与された。

(4)可能最大高潮評価手法の開発とそれに基づく伊勢湾の可能最大高潮・波浪の評価

上述の(3)で開発した手法は現在気候の基での台風気象場の初期化には有効であることが実証された。しかしながら、地球温暖化を想定した将来気候の下では、経験的パラメータを必要とする台風ボーガスを用いる手法の適用が困難となる。

このため、台風ボーガスを用いずに台風気象場を初期化する手法を開発した。この手法は、渦位の優れた特性である風速ベクトルや気圧、気温などとの可換性に着目した渦位変換法と軸対象台風モデルに基づいている。

この手法によって、現在気候での可能最大規模の台風（中心気圧 910hPa）を伊勢湾に襲された結果、湾奥での可能最大高潮の潮

位偏差が伊勢湾台風より 3.6m を 0.9m 上回る 4.5m となり、有義波高は 2.2m となった。

さらに、温暖化が進行した段階での伊勢湾地形における現在の可能最大高潮について検討を行った。

CMIP3 の SRESA1B シナリオのアンサンブル平均場から設定された 2099 年 9 月の気象場に可能最大規模の台風（中心気圧 880hPa）を埋め込み、伊勢湾に襲させた結果、湾奥での可能最大波高は有義波高で 2.8m に留まるが、可能最大高潮の潮位偏差は 6.5m に達し、伊勢湾台風によるものの 2 倍近くに及ぶことが示された。このような高潮に対しては、従来型の堤防による対策は無意味であり、土地利用のあり方を含めた対策が必須となる。この結果が正しいとすれば、その社会的影響は極めて大きく、精度検証についてのさらなる検討が必要となる。

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）

〔査読有りの雑誌論文〕（計 19 件）

Murakami, T. and T. Yasuda : Bursting-Layer Modeling Based on the Assumption of the Averaged Sea Surface for Strong Wind-Driven Currents, Journal of Physical Oceanography, Vol.38, 896-908, 2008

吉野純、野村俊夫、片山純、木下佳則、安田孝志：メソ気象モデル MM5 によるポイント 24 時間降水量予測の精度について、水工学論文集，52 巻，325-330，2008

吉野純、児島弘展、安田孝志：台風予測精度向上のための渦位に基づく新しい台風ボーガス手法の構築，海岸工学論文集，55 巻，436-440，2008

吉野純、荒川大介、安田孝志：台風の熱力学的可能最大強度と実強度に関する統計的解析，海岸工学論文集，55 巻，1326-1330，2008

村上智一、安田孝志、吉野純：気象モデルおよび多重座標系海洋モデルを用いた台風 0416 号による広域高潮の再現，土木学会論文集 B，Vol.63 No.4，282-290，2007

加島寛章、森信人、水谷夏樹：砕波帯における気液混相特性の画像計測，海岸工学論文集，第 54 巻，56-60，2007

水谷夏樹、原大地郎、キムビョンイル：風波発生限界における気液界面の運動量輸送の連続性について，海岸工学論文集，第 54 巻，136-140，2007

橋本孝治、吉野純、安田孝志：海岸線と

平行な強風によって発生した高潮に関する研究, 海洋開発論文集, 23 巻, 135-140, 2007

橋本孝治, 吉野純, 村上智一, 安田孝志: エクマン輸送に起因する新たな外洋型の高潮発生機構, 海岸工学論文集, 54 巻, 271-275, 2007

村上智一, 吉野純, 安田孝志: 非定常過程における高潮の吹き寄せ効果について, 海岸工学論文集, 54 巻, 281-285, 2007

吉野純, 村上智一, 小林孝輔, 安田孝志: 台風気象場初期値化アプリケーションによる可能最大高潮評価手法の検討, 海岸工学論文集, 54 巻, 316-320, 2007

吉野純, 村上智一, 林雅典, 吉田尚弘, 安田孝志: 大気 - 海洋 - 波浪結合モデルによる高精度台風予測のための感度実験, 海岸工学論文集, 54 巻, 341-345, 2007

小林智尚, 佐々木博一, 吉野純, 安田孝志: ERA40 にもとづく日本列島周辺長期波浪データベースの構築, 海岸工学論文集, 54 巻, 141-145, 2007

吉野純, 石川裕彦, 植田洋匡, 安田孝志: 台風に伴う竜巻発生メカニズムとその環境場の解析, 風工学会会誌, Vol. 32. No. 3, 347-356, 2007

吉野純, 村上智一, 林雅典, 安田孝志: 瀬戸内海広域高潮に対する台風内気象場の感度実験, 月刊 海洋「台風研究 - II - 台風の力学 - 」, pp. 177-181, 2007

吉野純, 村上智一, 林雅典, 安田孝志: 高潮計算精度に及ぼす入力台風気象場の再現性の影響, 海岸工学論文集, 第 53 巻, 1276-1280, 2006

小林智尚, 柴田武志, 安田孝志: 海洋観測レーダと波浪推算モデルを用いた実海域での白波被覆率の解析, 海岸工学論文集, 第 53 巻, 386-390, 2006

柴山知也, 安田孝志, (他 6 名, 2 番目): Hurricane Katrina による高潮被害の調査, 海岸工学論文集, 第 53 巻, 401-405, 2006

中野俊夫, 大澤輝夫, 吉野純: 台風ポーガスの高度化による数値予報モデルを用いた海上風推算手法の精度向上, 海岸工学論文集, Vol. 53, 1286 - 1290, 2006

[国際会議発表](計 5 件)

Murakami, T., J. Yoshino and T. Yasuda: A new simulation model of storm surges in inland sea affected by inflow from offshore and complicated winds, Proc.31st Conf. on Coastal Eng., Hamburg, Germany(in press)

Yoshino, J., T. Murakami, M. Hayashi and T. Yasuda: Typhoon Early Warning

System Based on a Coupled Atmosphere-Ocean-Wave Model, Proc. 30th Conf. On Coastal Engineering, San Diego, USA, 689-700, 2007

Yoshino, J., T. Murakami, K. Kobayashi, T. Yasuda: An Estimation Method for Potential Maximum Storm Surge Heights Using a New Tropical Cyclone Initialization Scheme and a Coupled Atmosphere-Ocean-Wave Model, Solutions to Coastal Disasters Conference, Honolulu, USA, 256-267, 2007

Yoshino, J., T. Murakami, M. Hayashi and T. Yasuda: Development of a Coupled Atmosphere-Ocean-Wave Model for Typhoon Early Warning System, Proc. Fourth Int. Symp. On Computational Wind Engineering, Vol.31, 201-204, 2006

Yoshino, J., T. Murakami, M. Hayashi and T. Yasuda: Forecasting Typhoon Chaba's(2004) Intensity Change Using a Coupled Atmosphere-Ocean-Wave Model, Proc. 14th Conf. On Interactions of the Sea and Atmosphere, 201-206, 2006

[図書](計 1 件)

安田孝志(主査)他 6 名: 1959 年伊勢湾台風報告, 内閣府中央防災会議災害教訓継承専門調査会, 1-215, 2008

[その他]

ホームページ

<http://www.cive.gifu-u.ac.jp/lab/he3/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

安田孝志(YASUDA TAKASHI)

岐阜大学・大学院工学研究科・教授

10093329

(2) 研究分担者

小林智尚(KOBAYASHI TOMONAO)

岐阜大学・大学院工学研究科・教授

50205478

吉野純(YOSHINO JUN)

岐阜大学・大学院工学研究科・助教

70377688

水谷夏樹(MIZUTANI NATSUKI)

大阪産業大学・工学部・准教授

50356036

(3) 連携研究者

村上智一(MURAKAMI TOMOKAZU)
豊橋技術科学大学・工学部・産官学連携研究
員
80420371