

# 温暖化シナリオ A1Bの下での最大級台風による 三河湾の高潮とその特性解明

Storm Surges in Mikawa Bay Caused by Maximum Possible Typhoons Based on the SRES A1B Scenario

村上智一<sup>1</sup>・深尾宏矩<sup>2</sup>・吉野 純<sup>3</sup>・安田孝志<sup>4</sup>

Tomokazu MURAKAMI, Hironori FUKAO, Jun YOSHINO and Takashi YASUDA

A climate in September of 2099 based on the SRES A1B scenario was assumed as the future climate affected by the global warming. Initial fields of 200 potential typhoons striking Mikawa Bay under the assumed future climate were provided by using potential vorticity bogussing scheme of a tropical cyclone. Then, distributions of the possible maximum storm surges generated by the 200 potential typhoons were predicted by using an atmosphere-ocean-wave coupled model. The results showed the potential storm tides in the whole area of Mikawa Bay exceed 2.75 m, which is the largest storm tide ever recorded in Mikawa Bay. The maximum storm tide of 4.9 m height in Mikawa Bay was caused in Takahama located at the western inner part of Mikawa Bay.

## 1. はじめに

三河湾は、伊勢湾とともに伊良湖水道を介して太平洋に通じ、加えて平均水深が約8mと非常に浅く、伊勢湾に劣らず物理的に高潮が発生しやすい湾である。事実、最近では、台風0918号によって潮位偏差2.6mの高潮が三河湾東側奥の三河港で発生し、コンテナが散乱するなどの被害(青木ら, 2010)が生じているが、これまでの既往最大潮位偏差は、伊勢湾台風による衣浦港での2.75m(愛知県, 1964)に過ぎない。これは、同台風による名古屋港での3.5mの潮位偏差に比べて0.75m低く、それによる三河湾に面した市町村全体での犠牲者の数も伊勢湾での死者・行方不明者4,294名(中央防災会議, 2008)に比べてはるかに少ない78名(気象庁, 1961)に留まっていた。そのためか、三河湾での計画潮位偏差は、伊勢湾の計画値(名古屋港で3.55m, 四日市港で3.0m)に比べると1m近く低い1.71~2.75mに設定(運輸省第五港湾建設局ら, 2000)されて来た。

しかしながら、上述したように三河湾は水深の浅さから潜在的には高潮が発生しやすい湾であるため、ここに最悪のコースで熱力学的最大級台風が来襲すれば、計画潮位偏差はもちろん既往最高潮位偏差をも上回る高潮が発生することが十分に予測される。そうした懸念から筆者らは、台風渦位ボーガスを組み込んだ大気-海洋-波

浪結合モデルを用いて、伊勢湾台風時の環境場を現在気候と仮定し、その下で発生する熱力学的最大級台風(ほぼ伊勢湾台風級)が200通りの異なる進路で三河湾に来襲する場合の高潮・高波予測を行った(村上ら, 2012)。その結果、三河湾の既往最大潮位偏差2.75mを上回る高潮が三河湾の広い範囲で発生し、湾西側奥の高浜および湾東側奥の前芝では、潮位偏差がそれぞれ4.0mおよび3.7mに達することが明らかとなった。これに温暖化による台風強化の影響が加われば、潮位偏差はさらに大きなものになると予想される。

それゆえ、今後の三河湾の高潮対策においては、現在気候のみならず将来気候の下での熱力学的可能最大台風による高潮を予測し、対策を考えることが求められる。

そこで本研究では、IPCCの温暖化シナリオの中で最も現実的な温室効果ガスの排出量(中程度)を想定するA1Bシナリオ(21世紀末に20世紀末よりも地球の平均気温が2.8℃上昇と仮定)を将来気候として想定し、今世紀末までに三河湾で予想される可能最大級の高潮を、台風渦位ボーガスを組み込んだ大気-海洋-波浪結合モデルによって大気・海洋力学的に予測し、最大値や計画潮位偏差を超える継続時間などについて調べ、これまで不明であった将来気候下の三河湾における高潮の時空間変化特性を明らかにする。さらに、筆者らがこれまでに予測した現在気候下での熱力学的最大級台風による三河湾での高潮予測の結果(村上ら, 2012)と比較し、温暖化の高潮災害の危険度増幅への影響について検討を行う。

## 2. 計算方法

台風渦位ボーガス(吉野ら, 2011)を用いて、IPCCの2099年9月の温暖化シナリオA1Bの下で定常状態に達す

---

1 正会員 博(工) (独法)防災科学技術研究所 水・土砂防災研究ユニット 主任研究員  
2 学生会員 岐阜大学 大学院工学研究科環境エネルギーシステム専攻  
3 正会員 博(理) 岐阜大学准教授 大学院工学研究科環境エネルギーシステム専攻  
4 フェロー 工博 愛知工科大学学長・教授

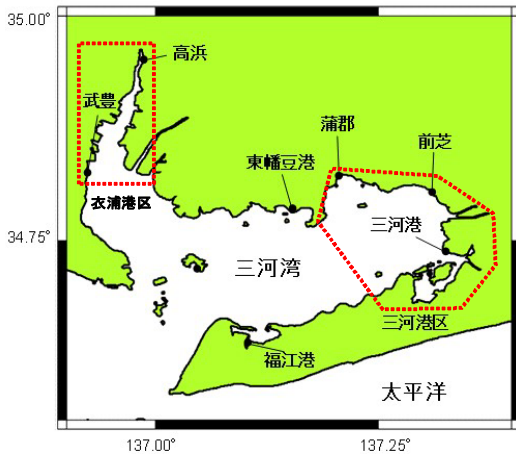


図-1 三河湾およびその主要地点

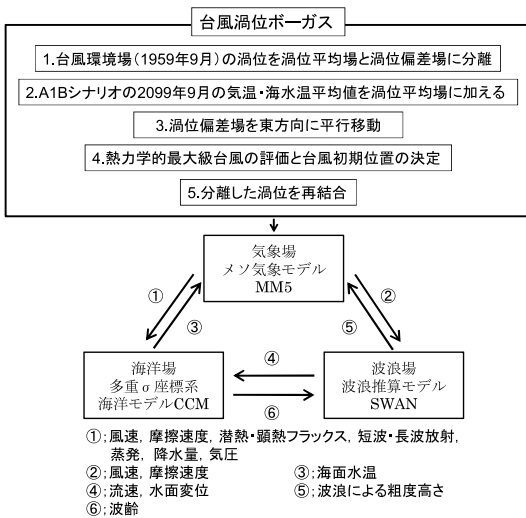


図-2 三河湾およびその主要地点

るまで発達させた可能最大級台風が図-1に示す三河湾に來襲するよう台風初期場を作成する。具体的には、1959年9月のECMWFの再解析データERA40に基づき、伊勢湾台風が來襲した環境渦位場を長い周期で変化する地域固有の渦位平均場と短い周期で変動する渦位偏差場に分離する。そして、A1Bシナリオに基づく地球温暖化に伴う温度変化を2099年9月の気温・海水温平均値によって評価し、これを前者の渦位平均場に加えるとともに、後者の渦位偏差場を渦位保存則の下で東方向に最大で0.8度平行移動させる。このようにすることで、台風周辺の環境場に地球温暖化の影響を加えることができ、さらには局所気象場を含めた周辺環境場に矛盾することなく台風進路を支配する亜熱帯高気圧や中緯度トラフなどを移動させ、A1Bシナリオの下での温暖化時に発生し得る最大級の台風（可能最大級台風）を大気・海洋力学的に可

表-1 結合モデルの計算条件

気象モデル MM5	計算領域I	N 23.6～39.6, E 127.0～143.9
	計算領域II	N 33.9～35.2, E 136.0～137.6
	水平格子数	I: 199×160, II: 52×52
	水平解像度	I: 9km, II: 3km
	鉛直層数	23層
	タイムステップ	I: 30秒, II: 10秒
	大気境界層スキーム	Eta M-Y scheme
	雲物理過程	Reisner graupel scheme
海洋モデル CCM	計算領域	N 34.2～35.1, E 136.5～137.4
	タイムステップ	2秒
	水平解像度	450m
	水平格子数	209×208
	多重σ座標の領域数	7
	全層数	31層
波浪モデル SWAN 結合モデル	計算領域I	N 28.2～35.2, E 135.0～139.0
	計算領域II	N 33.2～35.1, E 135.3～138.4
	計算領域III	N 34.2～35.1, E 136.5～137.4
	水平格子数	I: 300×523, II: 300×192, III: 209×208
	タイムステップ	150秒
	交換時間間隔	300秒

能な進路で三河湾に來襲させることができる。このように作成した環境場において定常状態に達するまで発達させた最大級台風を、北緯26.0～26.5度、東経134.6度～139.6度の間に200ケース埋め込み、台風初期場を作成する。

この台風渦位ボックスを組み込んだ気象モデルMM5（ペンシルベニア州立大学・米国大気研究センター）に高潮の規模を決定付ける外洋からの海水流入を高精度で再現できる多重σ座標系沿岸海洋モデルCCM（村上ら、2004）と波浪モデルSWAN（デルフト工科大学）を結合させ、大気－海洋－波浪結合モデル（村上ら、2007）として用いる。その概要を図-2に示す。この結合モデルは、台風0918号による三河港での潮位偏差2.6mを誤差5cmで再現できることが明らかとなっており（Murakamiら、2011）、三河湾の高潮予測を高精度で行えるモデルである。

以上の計算手法および表-1に示す計算条件によって、将来気候下の三河湾の可能最大級高潮、高波および風速を予測する。

### 3. 計算結果

図-3は、将来気候の下で三河湾に來襲する想定台風200ケースの進路を示したものである。また、後述するCase 113をカラーで併せて示した。本研究での想定200台風は、東経135.8度～137.6度の広い範囲を通過してお

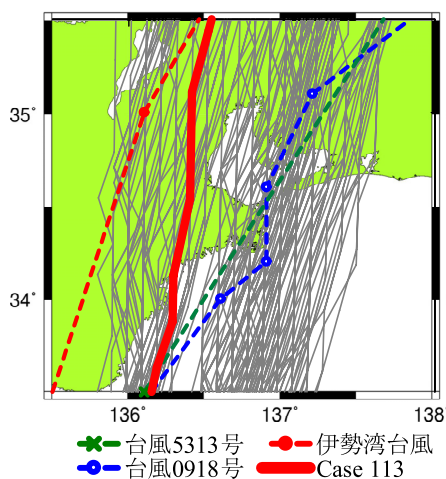


図-3 想定200台風の進路；後述するCase113の進路をカラーで併せて示す。

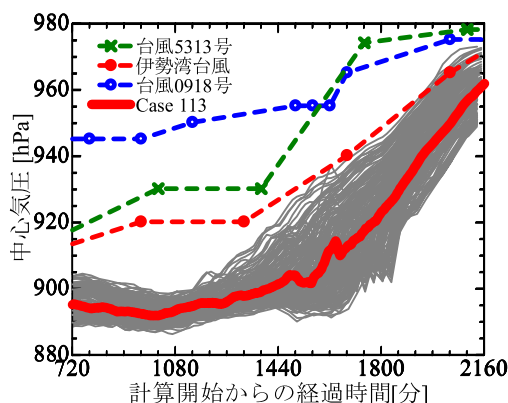


図-4 想定200台風の中心気圧の時間変化；後述するCase113の進路をカラーで併せて示す。

り、この範囲の中に対象となる三河湾が位置している。また、これら200ケースの進路は、三河湾で顕著な高潮を発生させた台風5313号、伊勢湾台風および台風0918号と同様の進路のものも含まれている。

図-4は、想定200台風の中心気圧の時間変化を示したものである。本研究で用いた結合モデルでは、台風の進路と中心気圧は、互いに従属関係にあるとして取り扱われているため、前述の図-3に示した200ケースの異なる台風の進路に応じて、台風に対する海面および陸面の物理過程の影響もそれぞれ異なる。その結果、中心気圧の時間変化の様子は、ケース毎で異なっている。また、台風の上陸時間は、計算開始から1260～1620分であり、その時の中心気圧は、900～910hPaであった。これは、伊勢湾台風の上陸時の中心気圧930hPaや筆者らが現在気候の下で想定した200台風の上陸時の中心気圧920～930hPa（村上ら、2012）と比べても低いものである。

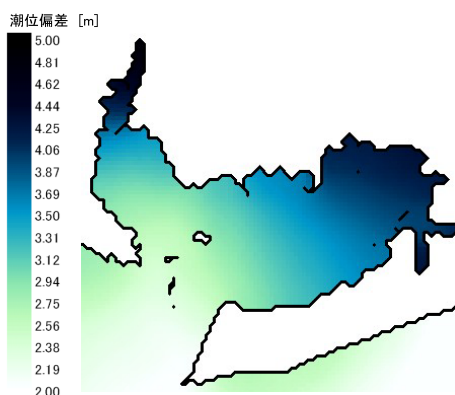


図-5 想定200台風による三河湾での潮位偏差の最大値の空間分布

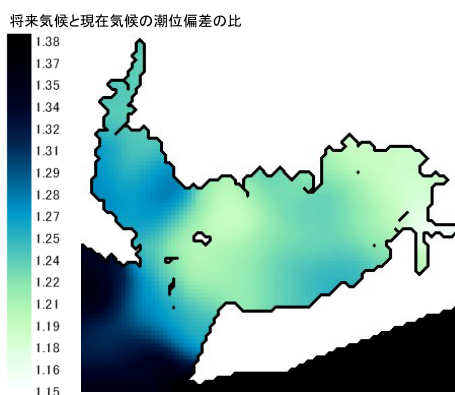


図-6 将来気候と現在気候下での潮位偏差のそれぞれの最大値の比の空間分布

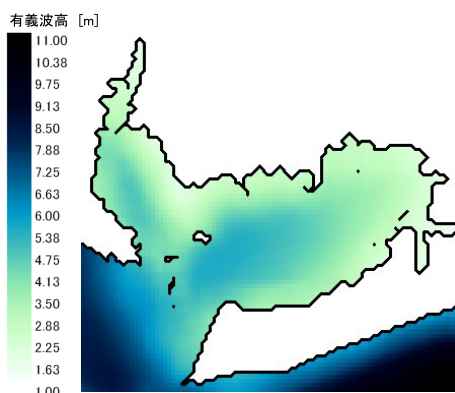


図-7 想定200台風による三河湾での有義波高の最大値の空間分布

図-5は、想定200台風による三河湾での潮位偏差の最大値の空間分布を示したものである。これより、湾全域で三河湾の既往最大潮位偏差であると同時に計画潮位偏差でもある2.75mを超える潮位偏差の高潮が発生することが明らかとなった。特に湾奥部で潮位偏差が大きくな

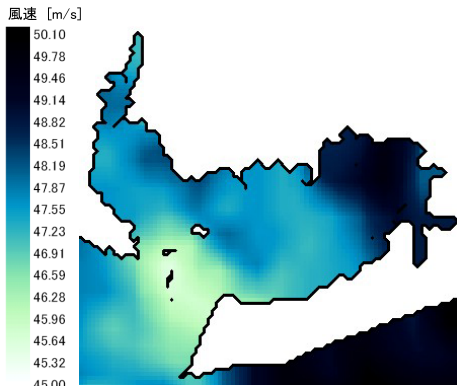


図-8 想定200台風による三河湾での風速の最大値の空間分布

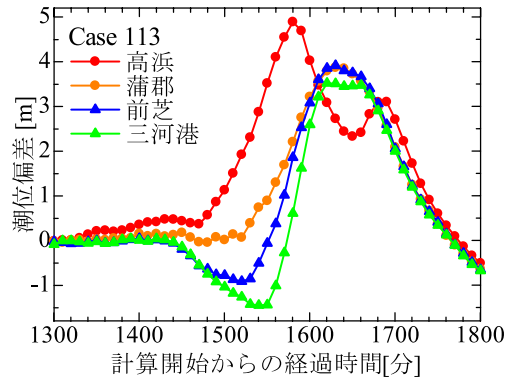


図-10 Case 113の高浜、蒲郡、前芝および三河港における潮位偏差の時間変化

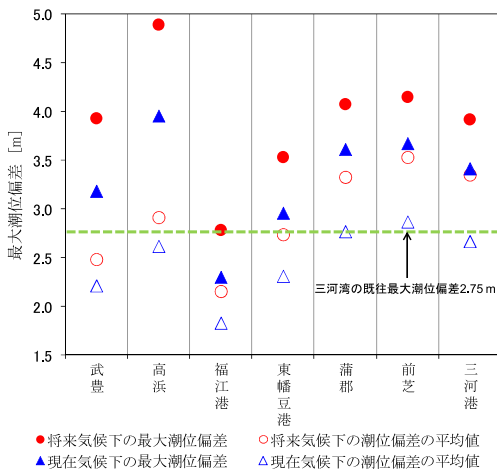


図-9 想定200台風による主要地点（図-1参照）での潮位偏差の最大値とその平均値

り、湾西側奥の衣浦港区や湾東側奥の三河港区（図-1参照）では、潮位偏差が4mを超えている。

図-6は、将来気候と現在気候下での潮位偏差の最大値の比を示したものである。湾西側ではこの比が1.2～1.25倍であるのに対し、湾東側では1.1～1.15倍に留まり、湾の西側と東側で温暖化に対する応答特性が異なっており、西側の方が温暖化による高潮災害の危険度が高いと言える。

図-7は、想定200台風による三河湾での有義波高の全ケースかつ全計算期間中の最大値の空間分布を示したものである。これより、三河湾の中央部では、有義波高が7m近くに達することがわかる。また、三河港や衣浦港など複雑な形状を持つ港湾に囲まれた湾奥部でも2mを超える有義波高が生じており、これに前述の図-5に示した4mを超える大きな潮位偏差が加わることを考えると、これらの地点では高潮・高波による災害が激甚なものになると懸念される。

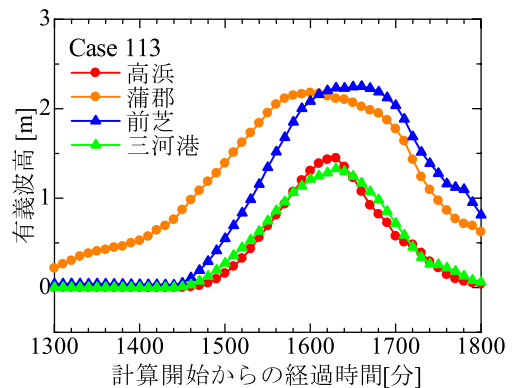


図-11 Case 113の高浜、蒲郡、前芝および三河港における有義波高の時間変化

図-8は、想定200台風による三河湾での風速の全ケースかつ全計算期間中の最大値の空間分布を示したものである。これより、本研究で想定した将来気候時の最大級台風の下では、三河湾の全域で45m/sを超える強い風が吹いているが、特に湾東側で風が強く、蒲郡と前芝の間では、三河湾で最大となる50m/s近くに達していることがわかる。そして、このような強風に伴って図-5および7に示した大きな潮位偏差と有義波高が生じたものと判断される。

図-9は、想定200台風による主要地点（図-1参照）での最大潮位偏差の分布およびその平均値を示したものである。また、比較のために現在気候の下での最大潮位偏差およびその平均値も併せて示した。これより、将来気候下の最大潮位偏差は、全ての地点で既往最大潮位偏差2.75mを上回っていることがわかる。そして、湾西側奥の高浜では最大値が4.9m、平均値が2.9m、湾東側奥の前芝では最大値が4.3m、平均値が3.5mに達している。この高浜での潮位偏差4.9mが本研究で予測した中での最大値であり、これを発生させた台風はCase 113であった。このCase 113の進路は、図-3に示されるように伊勢湾から



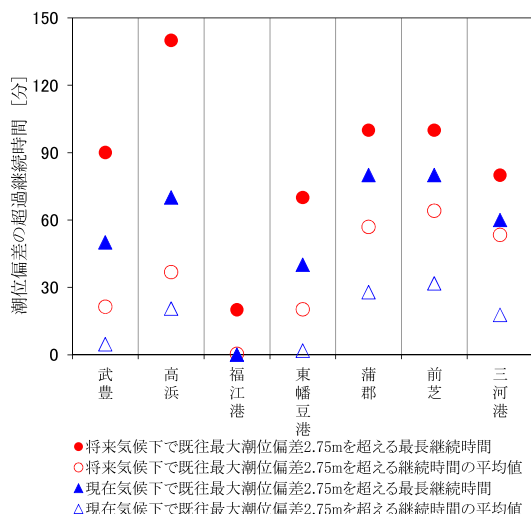


図-12 主要地点 (図-1参照) において潮位偏差が2.75mを超過する継続時間

西へ12km程離れた場所を通過しており、これが伊勢湾台風時の環境場の下での三河湾の高潮に対する最悪コースと判断される。

次に、このCase 113による高浜、蒲郡、前芝および三河港での潮位偏差および有義波高の時間変化を図-10および11にそれぞれ示す。図-10より、湾西側奥の高浜では計算開始から1580分後に最大潮位偏差が発生し、湾東側奥の蒲郡、前芝および三河港ではそこから約50分遅れて1630分後に最大潮位偏差が発生していることがわかる。さらに、高浜では、極大値を2つ有しているのが特徴的であり、前述の計算開始から1580分後の4.9mの極大値に続き、1750分後にも3.1mの極大値が発生している。また、図-11に示されるように高浜、蒲郡、前芝および三河港での有義波高の最大値発生時刻は、計算開始からそれぞれ1640分後、1580分後、1660分後および1630分後となっており、前述の潮位偏差の最大値発生時刻と30～60分程度しか時間差がない。これは、将来気候下の三河湾の防災対策を考える際には、高潮と高波の同時発生を考慮する必要があることを示している。

図-12は、主要地点 (図-1参照) で潮位偏差が計画潮位偏差2.75mを超過する継続時間を示したものである。ここでは、現在および将来気候それぞれ200ケースの最長の継続時間と平均した継続時間を示した。これより、継続時間は湾奥で長く、将来気候下の最長継続時間は、湾西側奥の高浜、湾東側奥の蒲郡、前芝および三河港でそれぞれ140分、100分、100分および80分となっていることがわかる。このように大きな潮位偏差が長い時間にわたって継続するため、破堤という事態になれば、被害は壊滅的なものになると懸念される。また、これら将来気

候下の最長継続時間は、現在気候のものに比べて20～70分ほど長く、温暖化による台風強化の影響は、計画潮位偏差を超える継続時間にも及ぶことが明らかとなった。

#### 4. おわりに

本研究では、大気・海洋力学の基礎方程式に基づいた台風渦位ボーガスと大気-海洋-波浪結合モデルを用いて、温暖化がIPCCのA1Bシナリオ通りに進み、今世紀末に最大級の台風が三河湾に襲った場合の高潮を予測した。

その結果、三河湾全域で既往最大潮位偏差の2.75mを上回る高潮が発生し、特に湾西側奥の高浜ではこの2.75mを140分上回り、最大で4.9mに達する高潮が発生する可能性があることがわかった。また、湾東側奥の前芝でも最大4.3mの潮位偏差が予測された。これらの高潮の発生確率は不明であるが、温暖化の揺らぎを考慮すれば、今世紀末を待たずにこのような高潮が発生する可能性もあり、少なくとも避難対策や最重要施設の高潮対策を万全にする必要があると言える。

謝辞：本研究は、科学研究費補助金基盤研究 (B) (2) 24360199および (独) 防災科学技術研究所プロジェクト「沿岸災害の予測技術と危険度評価技術の開発」による成果である。ここに併せて謝意を表する。

#### 参考文献

- 愛知県 (1964)：伊勢湾台風災害復興誌，pp. 43-49.
- 青木伸一・加藤 茂 (2010)：台風0918号による三河湾の高潮について，土木学会論文集B2 (海岸工学)，第66巻，pp. 296-300.
- 運輸省第五港湾建設局・(財) 沿岸開発技術研究センター (2000)：平成11年度伊勢湾高潮検討調査報告書。
- 気象庁 (1961)：気象庁技術報告第7号 伊勢湾台風調査報告，pp. 534-541.
- 中央防災会議 (2008)：1959伊勢湾台風報告書，pp. 7-28.
- 村上智一・安田孝志・大澤輝夫 (2004)：気象場と結合させた湾内海水流動計算のための多重 $\sigma$ 座標モデルの開発，海岸工学論文集，第51巻，pp. 366-370.
- 村上智一・安田孝志・吉野 純 (2007)：気象モデルおよび多重 $\sigma$ 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，pp. 282-290.
- 村上智一・深尾宏矩・吉野 純・安田孝志 (2012)：大気-海洋-波浪結合モデルに基づく現在気候下の最大級台風による三河湾での高潮と高波の解明，土木学会論文集B3 (海洋開発)，Vol. 68，(印刷中)。
- 吉野 純・岩本学士・村上智一・安田孝志 (2011)：台風渦位ボーガスに基づく東京湾地域における可能最大風速の大気力学的評価，土木学会論文集B2 (海岸工学)，第67巻，pp. I\_411-I\_415.
- Murakami, T., J. Yoshino, T. Yasuda, S. Iizuka, and S. Shimokawa (2011): Atmosphere-Ocean-Wave Coupled Model Performing 4DDA with a Tropical Cyclone Bogussing Scheme to Calculate Storm Surges in an Inner Bay, Asian Jour