

台風 0415 号による高潮・高波 —山口北沿岸での災害調査と高潮・高波の数値解析—

Storm Surges and High Waves Caused by Typhoon 0415: Numerical Simulation and
Disaster Survey along the Yamaguchi North Coasts

金 庚玉¹・山下隆男²・神崎明博³・駒口友章⁴・藤上 悟⁴・松原千恵⁵

Kyeongok KIM, Takao YAMASHITA, Akihiro KOUZAKI, Tomoaki KOMAGUCHI
Satoshi FUJIKAMI and Chie MATSUBARA

Field survey of storm surges and inundation caused by Typhoon 0415 was conducted along north coast of Yamaguchi Prefecture that is normally considered a safety region to the typhoon-induced surges and waves. Storm surge hind-cast was carried out by the atmosphere-wave-ocean coupled model for surges and waves to verify the model predictability and to get the information of maximum wave and surge height distribution. Both meteorological/coastal observations and surveyed run-up heights support the applicability of the numerical model. As the recent global warming has changed the coastal climate, reconsideration to storm surge disasters should be done even in the safety coasts until now.

1. 緒 言

上陸台風が多発した 2004 年。この年の台風 16 号により発生した四国の瀬戸内海沿岸における高潮災害は、我々に親水性と海岸防災に関する新たな課題を提示したことは記憶に新しい。地球温暖化の影響は確実に我々の生活に影響を及ぼし始めている。台風直撃される機会が増えれば、これまで海岸線近傍で無防備に生活できていた地域でも、高潮・高波災害の危険性を認識しなくては安全な生活はできなくなる。あまり注目されていなかったが、山陰地方の沿岸においてもこれと同様の災害危険性が存在しており、これまでも高潮・高波による被害が発生している。山口県の北浦海岸沿岸（山口北沿岸）では、通常、冬季季節風による高波浪とそれによる wave set-up を海岸災害の外力として考慮した生活が行われているため、主要な生活域は島影や岬の背後に点在しており、極めて親水性の高い生活形態が形成されている。この地域での冬季季節風による海面上昇や波浪は、台風来襲時の高潮や高波と同程度であると考えられているが、台風接近時の南～南東風が高潮・高波を発生させる周防灘とは異なり、山口北沿岸では、台風通過後の北西～西風によりかなりの高潮・高波が発生する。対馬海峡を通過する経路の台風が危険な台風であることが推測される。

本研究では、山口北沿岸において台風 0415 号 (T0415) によって発生した高潮浸水・高波浪被害の現地調査結果を報告するとともに、観測、現地調査による高潮痕跡高等の情報を活用して、大気・波浪・高潮結合数値モデルによって T0415 による風域場、高潮、高波がどの程度の精度で再現できるのかを検証する。すなわち、大気・波浪・高潮結合数値モデルの適用性を検証することで、これまで顕著な高潮災害のなかったこの地域において、数値モデルによる高潮・高波の再解析を実施し、高潮の危険性評価を実施することを可能にする。

2. 高潮・高波の調査

T0415 では、山口北沿岸の広い範囲で、規模は小さいが、高潮浸水・高波浪被害が報告されている。この状況を調査するために、沿岸地形図、海底地形図、沿岸区分図を参照して、高潮による浸水被害が報告された地域を踏査し、ヒアリングおよび潮位痕跡の確認・記録作業を実施した。また、ヒアリングにおいては浸水被害の発生時期、発生状況などを焦点として調査した。調査対象は、日本海に面した北部沿岸域、東シナ海に面した西部沿岸域および高波を避ける目的により南側に漁港が位置する離島沿岸域（見島・大島他）の 3 地域であり、浸水被害が確認されている 8 地区（図-1 の黒丸で表示）を踏査した。地域住民にヒアリングを行い、高潮痕跡発生日時の確認および痕跡場所・高さの調査および測量を行った。

その結果、高潮痕跡は T0415 号来襲時がほとんどであり、以下のような痕跡潮位が確認された。特牛（こっとい）漁港では：浸水調査の結果、で道路背後民家前

1 正会員 工博 広島大学助教大学院国際協力研究科
2 正会員 工博 広島大学教授大学院国際協力研究科
3 山口県水産事務所
4 正会員 工博 (株)碧浪技術研究所
5 (株)三洋コンサルタント九州支店

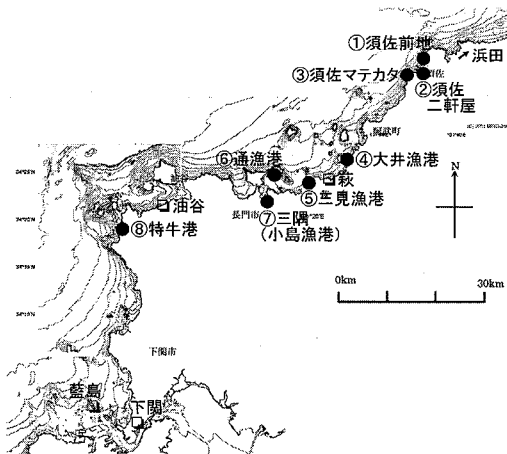


図-1 山口北沿岸部での踏査地 8 地区 (黒丸) および潮位、気象データ観測地点 (白四角)

+1.93 m, エプロン天端 +1.31 m (以下 TP 基準), 須佐二軒茶屋では: ダイビングショップ前地盤高で +0.6 m, 通 (かよい) 漁港では: 漁協前エプロンで +1.18 m, 三隅・小島漁港では: 物揚場前エプロンで +1.09 m, 萩・三見漁港では: 物揚場前エプロンで +1.22 m, 大井漁港では: エプロン背後道路で +1.27 m であった。

3. 数値計算システム

山口北沿岸の高潮では、対馬海峡を通過する経路の台風が最も危険である。この経路の台風が日本海に侵入した後の北西～西風によりが高潮・高波が発生する。台風は韓半島と九州、中国地方の陸地の影響を受けるため、気象場を再現するためには地形の影響を考慮できるメソ気象モデルの導入が必要である。本研究では、気象場、高潮、高波の推算に、大気・波浪・高潮結合数値モデルを用いた。各モデルの概要は以下のようなものである。

(1) MM5: 米国海洋大気圏局、NOAA の National Center for Atmospheric Research (NCAR) で開発された等圧面座標 (系) の非静力学方程式系のメソスケール気象モデルで、コードは公開されている。本研究の MM5 による気象シミュレーションでは、Domain1 (空間刻み 27 km), Domain2 (9 km) および Domain3 (3 km) のネスティング計算で (図-2)、鉛直分割数は 23 層とした。気象場のバックグラウンドデータは気象庁全球客観解析データ (GMS) を用い、台風ボーガス (風域場の再現性を検討して中心深度を 1.37 倍した) および気象庁の RMS (領域モデル結果) の 4 次元同化を採用した 1 方向ネスティングの計算を行った。

(2) 外洋波浪モデル: 波浪のエネルギー平衡方程式を基礎式としているモデルで、水深、平均流の変化に伴う

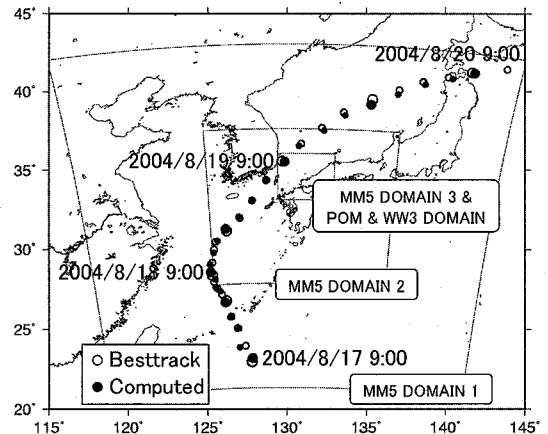


図-2 T0415 のベストトラック (白丸) および MM5 で計算された台風中心位置 (黒丸) と計算領域

波浪の屈折、変形特性が考慮されている。ソース項はそれぞれ、風からのエネルギー供給項、非線形干渉項、白波砕波によるエネルギー消散項および海底摩擦項で構成されている、非線形干渉によるエネルギーシフトが考慮された、いわゆる第 3 世代の波浪モデルである。これらのソース項は全て波浪の方向スペクトル密度に依存し、移流項とのバランスで方向スペクトル密度が決定される。本研究では、NOAA の Wave Watch III (Tolman, 2002) と SWAN とを用いて再現結果を比較した。

(3) 海洋モデル: プリンストン大学の Princeton Ocean Model (POM) を用いて MM5 の Domain3 に適用し、海域での流れの計算 (高潮計算) を行った。この際に、WW3 の白波砕波減衰から計算される breaker stress を通しての大気から流れへのエネルギー輸送 (金・山下, 2004) を考慮した。水深には、JODC の 500 m の解像度のデータを用いた。潮汐計算では、国立天文台 (NAO) の潮汐主要 16 分潮の外洋潮汐 (Matsumoto et al., 2000) を境界値として用いた。

4. 大気・高潮・波浪結合モデルの検証

(1) 気象場

台風のベストトラックおよび MM5 の中心位置を図-2 に示す。山口北沿岸における風の観測値 (アメダス地点: 下関, 萩, 須佐, 油谷) と推算値との比較を行い、MM5 モデルの精度検証を行った。図-3 に風の推算値と近傍の観測値 (アメダスデータ) との時間変化を比較した結果を示す。図中の実線・点線はそれぞれ計算風速・風向であり、黒丸・白丸は観測風速・風向である。観測値には計測器の設置高さや周辺の局所地形の影響も含まれているため、直接の比較はできないが、台風の接近による風向・風速の変化傾向は観測値と計算値で良く一致

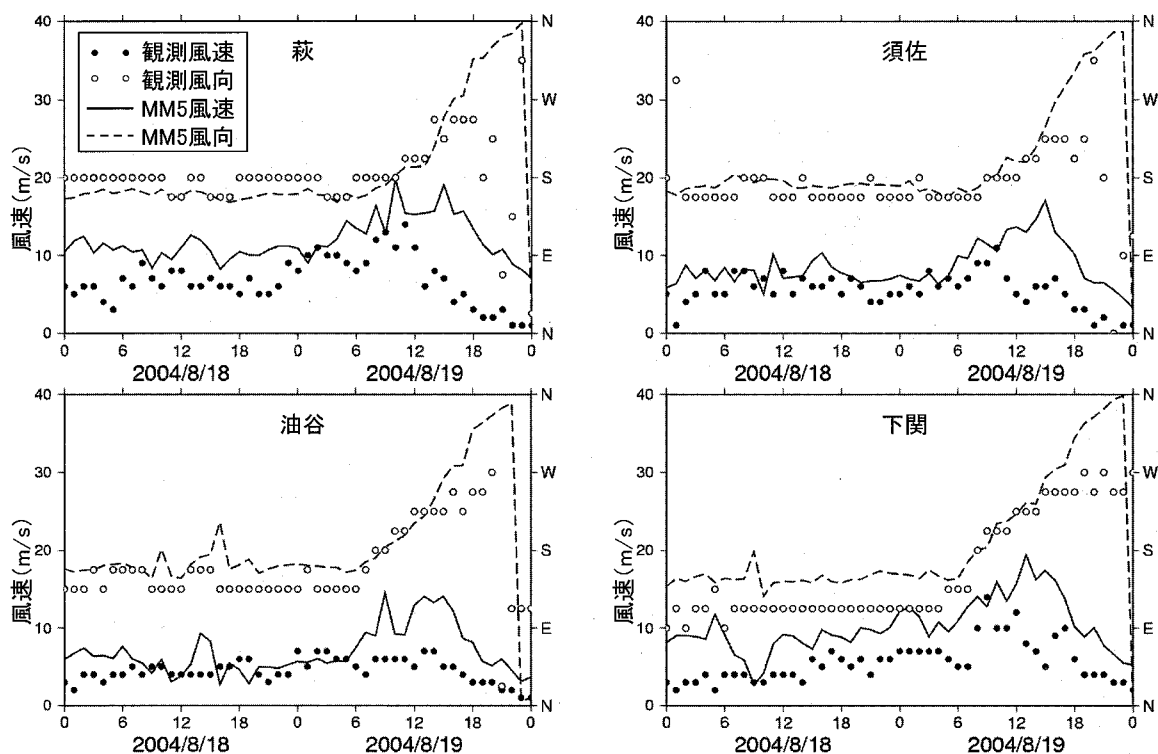


図-3 MM5による風の推算値とアメダス観測値との比較

した。また、台風の通過後は風向の変化傾向の再現性は良いが、風速値は観測値よりも計算値が大きめである。ただし、風速の計算値が大きめであっても高潮の検討には安全側であるものと考えられる。

(2) 波浪場

計算領域の Domain3 では、風域場、気圧場データを用いて、白波砕波せん断応力を考慮した高潮場と波浪場のシミュレーションを行った。図-4 に浜田と藍島の波浪観測値を SWAN と WW3 について比較して示す。WW3 では波浪推算モデルにおけるソース項（入力項 S_{in} 、白波砕波消散項 S_{dis} ）に Tolman の方法（Tolman and Chalikov, 1996）を、SWAN では Janssen の方法（Janssen, 1991）を使用する。水深による砕波減衰が効くような極浅海域では、WW3 は波高を過大評価する傾向があるが、沿岸地形が複雑であることもあって、極浅海域での波浪観測データとの直接比較が困難であるため、本計算の出力点は沖波波浪を代表する水深約 100 m のメッシュに設定している。この条件での比較では、SWAN よりも WW3 の方が観測値の変化傾向をよく再現しているため、WW3 の計算結果が沖波を代表していると判断した。

図-5 に、WW3 と SWAN による有義波高と平均周期の平面分布の推算結果の比較を示す（8月19日06:00）。

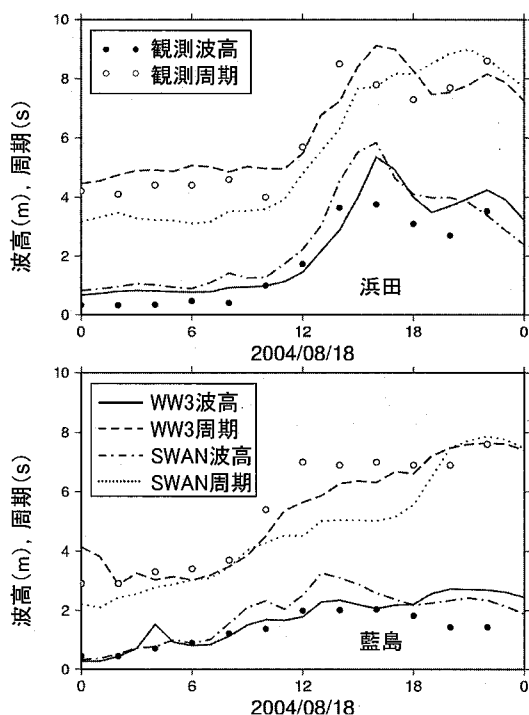


図-4 浜田と藍島における有義波高、平均周期の計算値と観測値との比較

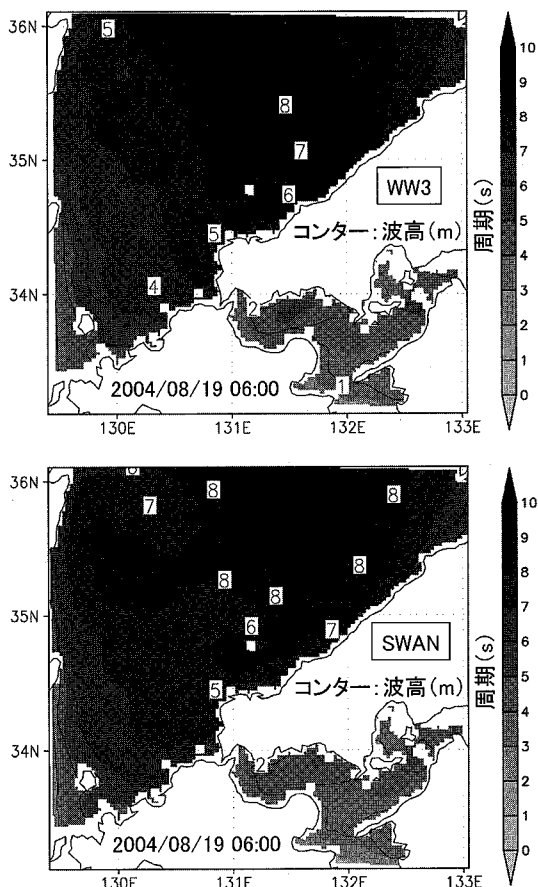


図-5 WW3 と SWAN による有義波高と平均周期の平面分布の推算結果の比較

WW3 では円形状の分布に近く、SWAN では少し円形が崩れた形状となっている。

(3) 高 潮 場

図-6 に、浜田と下関における、大気・波浪・高潮結合数値モデルによる数値解析結果（実線）、NAO99 の推算天文潮位（点線）、観測潮位（黒丸）および気象庁の推算潮位（白丸）を示した。気象庁の予測値と NAO99 の天文潮位は良い一致を示している。また、高潮を含む計算潮位と観測潮位も良い対応を示しており、高潮の数値解析の再現性が確認できる。

図-7 には、現地調査で確認された浸水地区（須佐、大井、三見、通、小島、特牛）について、数値モデルによる解析結果、NAO99 の推算天文潮位、観測潮位に現地調査で判明した痕跡潮位（TP 基準）を併記した。これらの結果から、T0415 による浸水地区での高潮の推算精度は現地測量で確認された痕跡潮位を十分な精度で再現できており、数値モデルの検証ができたものと判断した。しかしながら、特牛漁港の道路背後民家前での痕

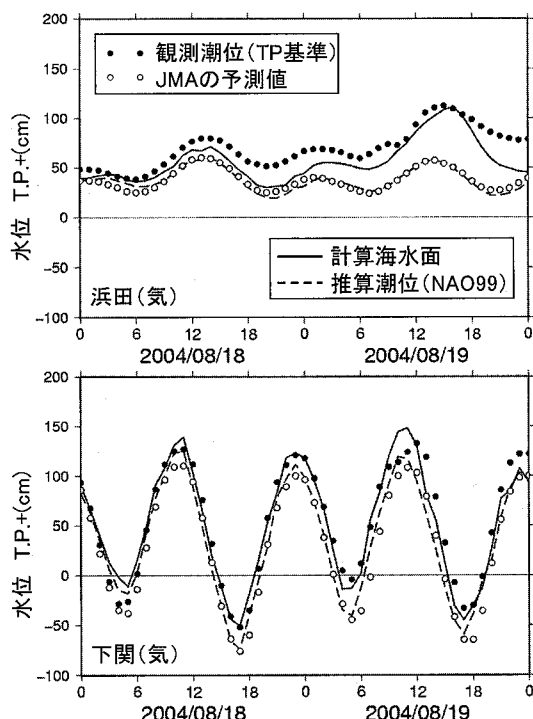


図-6 大気・波浪・高潮結合数値モデルによる解析結果（実線）、NAO99 の推算天文潮位（点線）、観測潮位（黒丸）および気象庁の推算潮位（白丸）。

跡高さ +1.93 m は高潮だけでは説明できない。湾の形状を考慮すると、ここでの水位増加分は湾水振動に依存する部分が大きいのと考えられる。

T0415 通過に伴う最大計算水位（計算潮位）および高潮の最大偏差の平面分布を図-8 に示す。図中、風：吹き寄せ効果、気圧：吸い上げ効果、波浪：白波碎波の効果、潮汐：潮位を意味する。この結果より、最大水位には潮位の影響が強く出ており西側ほど高くなる。高潮偏差は山口北沿岸部が高く、偏差 60 cm 程度の高潮が発生していたことがわかる。

5. 結 語

山口北沿岸において T0415 によって発生した高潮浸水・高波浪被害の現地調査結果を報告するとともに、観測、現地調査による高潮痕跡高等の情報を活用して、大気・波浪・高潮結合数値モデルの適用性の検証も試みた。成果を要約すると以下のようである。(1) T0415 による山口北沿岸の高潮・高波の発生状況を現地踏査により明らかにした。(2) ここで示した大気・波浪・高潮結合モデルによる数値計算の結果は、観測潮位および現地踏査による痕跡高さを極めてよく再現しており、数値モデルの適用性が検証できた。(3) 数値解析および現地踏査

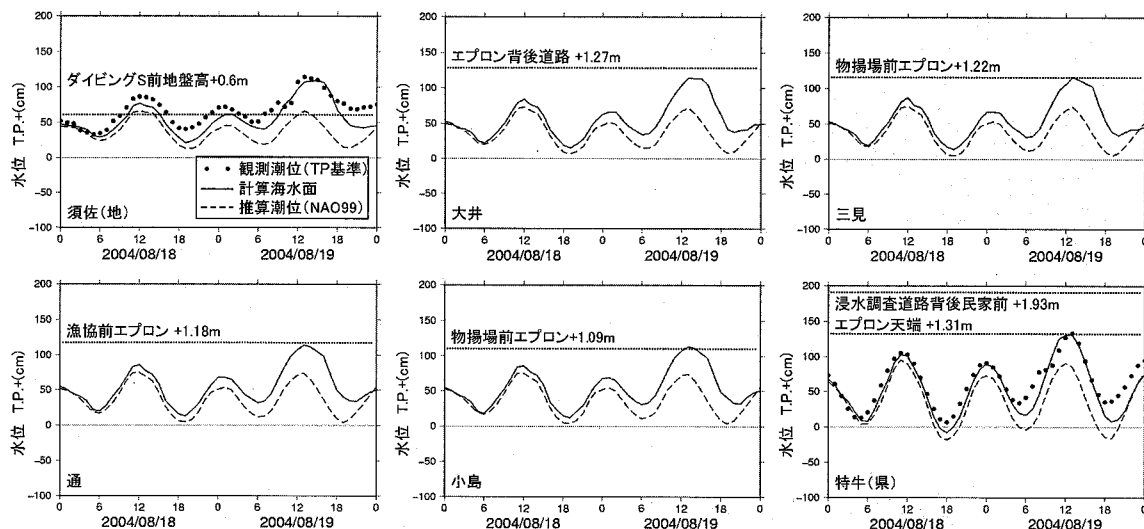


図-7 大気・波浪・高潮結合数値モデルによる解析結果 (実線), NAO99の推算天文潮位 (点線), 観測潮位 (黒丸) に現地調査で判明した痕跡潮位を併記 (TP 基準)

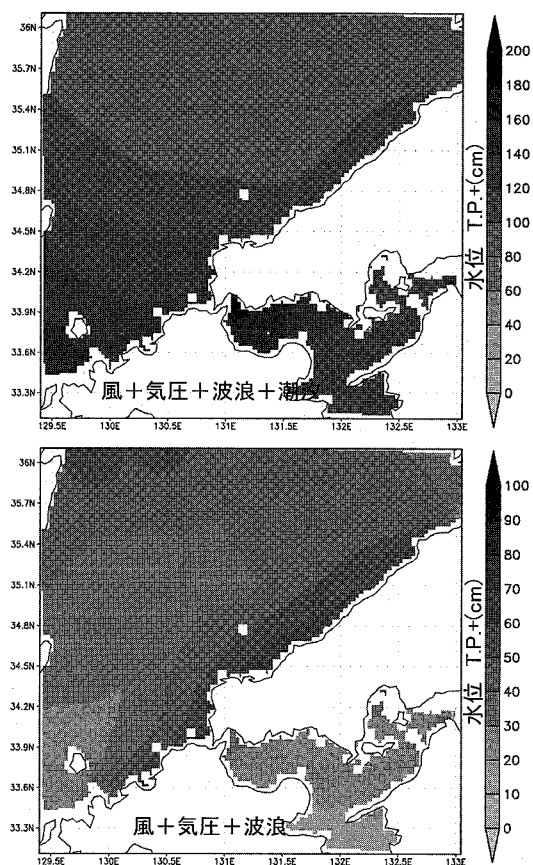


図-8 T0415 による最大計算水位 (上) および最大偏差 (下) の計算結果の平面分布。(風: 吹き寄せ効果, 気圧: 吸い上げ効果, 波浪: 白波砕波の効果, 潮汐: 潮位を意味する)

から、山口北沿岸では T0415 により発生した高潮で浸水寸前の状況にある地域が多くある事が明確にされた。また、特牛漁港のように港内での湾水振動を考慮する必要がある港の存在も指摘された。なお、本研究は、科学研究費基盤研究(B) (No.183101128) の研究成果の一部として行った。

参考文献

- 金 庚玉・山下隆男(2004): 大気・波浪・海洋結合モデルによる台風 9918 号の高潮・高波の追算, 海岸工学論文集, 第 51 巻, pp. 236-240.
- Janssen, P.A.E.M. (1991): Quasi-linear theory of wind wave generation applied to wave forecasting, J. Phys. Oceanogr., 21, pp. 1631-1642.
- Matsumoto, K., T. Takanezawa, and M. Ooe, (2000): Ocean Tide Models Developed by Assimilating TOPEX/POSEIDON Altimeter Data into Hydrodynamical Model: A Global Model and a Regional Model Around Japan, J. Oceanogr., 56, pp. 567-581.
- Tolman, H.L. (2002): User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 2.22, MMAB.
- Tolman, H.L., and D.V. Chalikov (1996): Source terms in a third-generation wind-wave model, J. Phys. Oceanogr., 26, pp. 2497-2518.