

## 河川遡上を考慮した波浪・高潮結合モデルの開発 Development of the Coupled Wave and Storm Surge Model Including River Run-up

○豊田将也・森信人・金洙列・澁谷容子

○Masaya TOYODA, Nobuhito MORI, Sooyoul KIM, Yoko SHIBUTANI

A coupled wave-storm surge model incorporating river inflows is developed to take account for run-up of storm surge into rivers. The model successfully reproduced the behavior of storm surge and river water levels during Typhoon JEBI (2018). Finally, sensitivity experiments on river inflow from the upstream were conducted numerically. As a result, there is no significant difference in water level between coupled and uncoupled model near the river mouth, but the water level difference of up to 1.2 m at Kema (9.9 km upstream) were revealed. Therefore, it is necessary to consider both storm surge run-up and upstream water levels to evaluate the water levels in the river caused by storm surge and flooding in the estuary.

### 1. はじめに

勢力の強い台風の襲来は高潮の河川遡上や河川の増水を発生させ、これらのハザードが同時発生することで大規模な氾濫を引き起こすことが懸念されている (Wahl et al. 2015). しかし、依然として気象場などに経験的または統計的手法を用いた研究は多く (Ikeuchi et al. 2017), 流域を一体として力学的に解く手法の採用が求められている。

そのような背景の中、風水害では過去最大の被害となった 2018 年台風 21 号 (以降, 台風 21 号) では、高潮の河川遡上が報告されている。この台風により、神戸エリアで中小河川からの高潮氾濫が発生、淀川の水位も堤防高まで 1 m の高さに迫るなど、高潮と洪水による複合氾濫による危険性が明示された。一方で、現在導入が進められている大気-海洋結合モデルにおいては、高潮の河川遡上については考慮されていない。

本研究は非線形長波方程式とスペクトル型波浪モデル SWAN を双方向結合した SuWAT モデルに対して (Kim et al. 2015), 河川境界および河道を組み込むことで高潮の河川遡上を考慮したモデルの開発を目的とする。さらに、上流からの河川流入の有無による河口水位への影響についても定量的に評価する。その際、開発したモデルの検証には 2018 年台風 21 号襲来時の観測値を利用する。

### 2. 数値計算手法

#### (1) 計算領域

SuWAT の計算領域は、格子間隔を約 7200 m か

ら 30 m までを 1/3 の比で 6 段階にダウンスケーリングした高解像なネスティングで構成されている。また入力気象場は、経験的台風モデル (ETM) およびメソ気象モデル WRF の二種類の手法を用いて、それぞれ台風 21 号を再現する。いずれの気象場の場合も、SuWAT の計算領域は同じものを使用する。WRF の計算領域は、SuWAT のドメイン 1, 2 と等しい領域を同じ解像度で計算する。

#### (2) 気象場と高潮・波浪結合モデル

台風 21 号の気象場を再現するために、ETM の気圧場は Myers 式、風場は光田・藤井のモデルを採用する。強度や位置などの台風情報は気象庁ベストトラックおよび NOAA の衛星観測情報を用いる。WRF の初期・境界条件には、NCEP FNL データを使用する (0.25 度格子)。また、6 時間毎にスペクトルナッジングを適用し、1 時間毎の気圧場および風場の出力を、10 分間隔に内挿して SuWAT に入力する。SuWAT のドメイン 3~6 については、ドメイン 2 に入力した WRF の出力結果を領域毎に内挿したものが入力される。

SuWAT における海面抵抗係数は Janssen の手法に従う波浪依存海面抵抗係数を用い、風速制限 30 m/s とする。さらに、高潮の河川遡上は淀川および猪名川の 2 河川の河口域を対象とする。これらの河川はドメイン 6 (30 m 格子) において考慮され、台風による先行性降雨による洪水を考慮するため、上流からの水位を淀川および猪名川に対して側方境界条件として設定する。

### 3. 計算結果

#### (1) 気象場と高潮の再現性

はじめに入力条件である気象場の再現性を確認する。関西国際空港で観測された最低気圧は 954 hPa であり、ETM による気圧は 953.4 hPa、WRF による気圧は 960.7 hPa となっており、その時刻も誤差 1 時間以内となっている。したがって、台風 21 号による気象場については高精度に再現できているとみなし、この気象場をそれぞれ SuWAT に入力する。

続いて、台風 21 号により発生した大阪湾での高潮の再現性を確認する。最も大きな高潮となった大阪港で観測された最大潮位 3.29 m であり、SuWAT による計算結果は、ETM を用いた場合で 3.24 m、WRF との結合では 3.23 m となり、いずれも高精度に再現できている。

#### (2) 高潮の河川遡上に関する感度実験

淀川および猪名川を対象に高潮の河川遡上による河口水位への影響について確認する(図-1)。淀川上では福島と毛馬の2地点、猪名川では戸ノ内を検証地点とする。まず淀川上の福島と毛馬の観測値を確認すると、高潮の河川遡上により福島で 3.95 m、毛馬で 2.80 m となるピークがある。SuWAT による計算結果では、ETM でそれぞれ 3.24 m および 2.53 m であり、WRF では 3.40 m および 2.71 m となった(図-2)。福島での水位を過小評価する傾向にあるものの、その水位変動を再現できているとみなせる。また猪名川の戸ノ内における水位についても同様に再現できている。

さらに上流からの河川流入による影響を定量的に評価することを目的として、高潮と境界からの水位をともに考慮する場合 (with river flow)、高潮のみを考慮する場合 (w/o river flow) を比較する感度実験を行った(表-1)。両者を比較すると、最も海に近い福島では、上流からの河川の有無に関わらず 3 m 超の水位となるが、毛馬では高潮までの水位がほぼ 0 m、高潮の遡上によるピーク時でも約 1.5 m に留まり、河川有の結果に比べて約 1.2 m 水位が低下した。戸ノ内では、河川の有無による差はピーク時で 0.45 m となり、福島と毛馬の中間程度の影響といえる。以上の結果より、高潮モデルを改良することで、高潮の河川遡上を考慮することができた。さらに河川流入の有無による影響は海域から離れた地点ほど大きく、毛馬では 1 m 以上の水位差が生じることが明らかとなった。

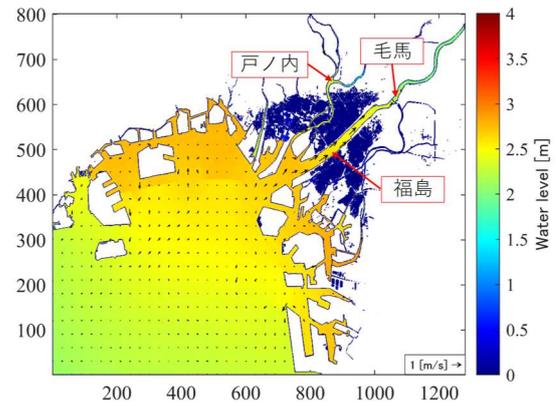


図-1 SuWAT (ドメイン 6) の snapshot  
色は水位偏差, 矢印は流速ベクトル

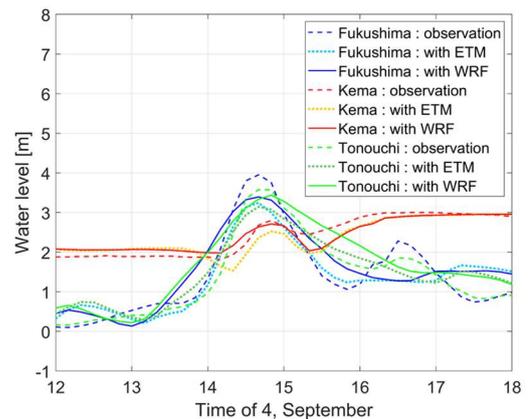


図-2 福島, 毛馬および戸ノ内の水位の時系列  
破線: 観測値, 点線: ETM, 実線: WRF

表-1 河川流入に関する感度実験の結果まとめ

	ETMを用いた場合の水位 (m)		WRFを用いた場合の水位 (m)	
	with river flow	w/o river flow	with river flow	w/o river flow
福島	3.24	3.26	3.40	3.40
毛馬	2.53	1.26	2.71	1.54
戸ノ内	3.14	2.67	3.44	2.99

### 4. 結語

本研究は、波浪・高潮結合モデルに対して河道と上流からの流入を組み込むことで、高潮の河川遡上を考慮することが可能なモデルを開発した。また 2018 年の台風 21 号を対象に当時の河川水位の挙動を再現することに成功した。最後に、上流からの河川流入に関する感度実験を行ったところ、海に近い福島では水位差はほぼ生じないが、少し上流の毛馬では最大 1.2 m の水位差が生じることが明らかとなった。したがって、河口域での高潮と洪水による水位を評価するためには河川遡上と上流からの水位の両方を考慮する必要があるといえる。