

## 気象モデル WRF による風の推算と波浪推算モデル SWAN による波浪推算とその精度の検証

武蔵工業大学大学院 学生会員 小松 克臣  
武蔵工業大学 フェロー 村上 和男

### 1. 研究背景

粘土やシルト等の粒子の細かい底質が波や流れによって巻き上げられ、移動・堆積する現象をシルテーションという。この現象により航路や泊地が埋没し、船舶の航行等に重大な支障をきたしている。この問題は東南アジアや中南米等の開発途上国において深刻で、航路・泊地の現状維持すら困難を極めている場合もあり、効率的な港湾および地域産業・社会の発展の阻害要因の一つとなっている。その原因のうち、技術的な課題として、航路・泊地を浚渫した場合に、その後の埋没量について時間的・量的に十分な精度で予測することが必要となる。

埋没量を精度よく予測するためには、特に底泥を巻き上げる外力としての波の把握が重要である。

### 2. 研究目的

研究背景でも述べたが、埋没を精度よく予測するためには、底泥を巻き上げる波の把握が重要である。そこで、本研究では波浪推算モデル SWAN を用いて、波浪を推算する。この波浪推算モデルには、風速、風向のデータを与える必要がある。そこで気象モデル WRF を用いて対象港近海における風を推算し、その計算結果を初期値として SWAN に与え、波浪を推算する。

本発表では、気象モデル WRF による風速場の推算とその計算結果を用いた波浪推算モデル SWAN による波浪場の推算値と観測値の比較結果について述べる。

### 3. 本研究で対象とした港

本研究で対象とする港は、ベトナム北部にある Haiphong 港を対象とする。図-1 はその港の位置を示したものである。

Haiphong 港はベトナム北部最大の港湾であり、同国第 2 位の貨物取扱量を誇る国際貿易港で、国内・国際の経済交流点(特に中国南部との交流)となっている河口港である。しかし、シルテーション現象により航路の埋没が問題となっており、大型船舶の入港が難しい状況に

なっている。また、Haiphong 港入港のための航路は、以前は Nam Trieu Channel が用いられていたが、現在は Lauh Huyen Channel が用いられている。

今回の風速場、波浪場の推算結果の比較に用いた地点は、風速場に関しては、Haiphong 港近くの島である Hon Dau(北緯 20.4 度・東経 106.5 度)の気象観測所の値、波浪場に関しては Lauh Huyen Channel 沖合で、Dao Cat Ba 島近くの波浪観測所(水深 15m 地点)の値を用いた。

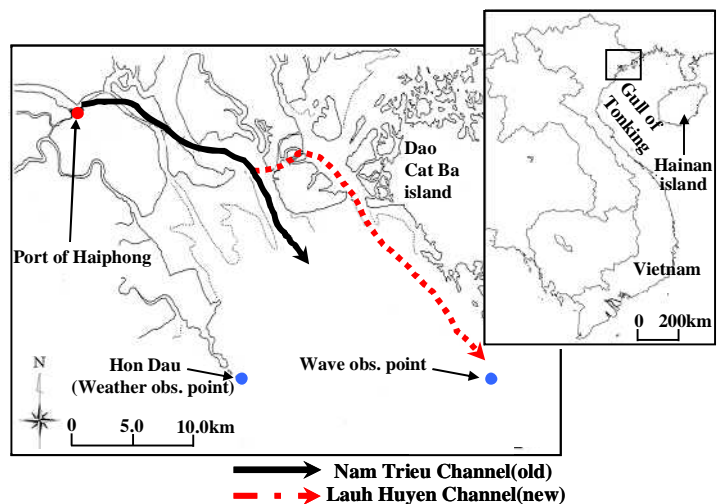


図-1 Haiphong 港の平面図

### 4. 本研究で使用した数値モデルの概要

#### 4.1 気象モデル WRF<sup>1)</sup>

気象モデル WRF (Weather Research and Forecasting Model) とは、メソスケールの気象モデルとして 2001 年頃に米国で開発され、現業用・研究用に用いられている次世代の気象モデルであり、プログラムのソースコードが公開されており、様々な研究分野で活用されている(神足<sup>1)</sup>、新谷<sup>2)</sup>)。

現在 WRF として公開されている気象モデルは、WRF-ARW と WRF-NMM の 2 種類がある。本研究では、日本国内で用いられている前者の WRF-ARW の Ver.2.1.1 を用いた。

キーワード 気象モデル WRF, 波浪推算モデル SWAN, 風波

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 武蔵工業大学 水圏環境工学研究室 TEL03-3703-3111 内線 3257

4.2 波浪推算モデル SWAN

波浪推算モデル SWAN (Simulating Waves Nearshore) は、オランダ・デルフト工科大学で開発された第 3 世代波浪推算モデルで、気象モデル WRF 同様プログラムのソースコードが公開されており、海洋・海岸を中心として実用的なツールとして利用されている (例えば新谷<sup>2)</sup>).

主な特徴としては、同じ第 3 世代モデルである WAM, WAVEWATCH と比べて、SWAN は、浅水変形も考慮しているため海洋スケールの波動場から、実験室スケールの波動場までを計算できるように改良したモデルであり、波作用量(wave action)の平衡方程式を数値的に解くことによって波浪を予測するモデルである。またそのほかの特徴としては、計算タイムステップの影響を受けるのであるべく短い間隔での計算が必要であり、計算結果は観測結果と比べて約 10% はデフォルトで異なってくる可能性がある。本研究では、Ver.40.72 を用いた。

5. 風速場の再現

5.1 計算概要

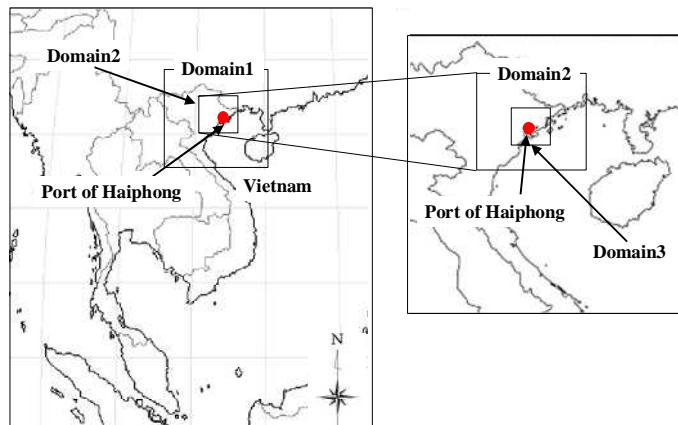


図 2 計算領域 (格子間隔 8.1km - 2.7km - 0.9km)

表 1 計算条件 (気象モデル WRF)

計算期間	2005年9月17日12時~9月19日12時(UTC)		
計算格子	Domain1	100 × 100 × 20	格子間隔
	Domain2	120 × 120 × 20	
	Domain3	90 × 105 × 20	
計算領域	Domain1	810km × 810km	Time-step
	Domain2	324km × 324km	
	Domain3	81km × 94.5km	
気象データ	NCEP・FNL (気象客観解析データ)		
Nesting	Two-Way Nesting		
地形データ	USGS GTOPO30		

図-2 に計算領域の図を示す。第 1 領域は北緯 20.8 度・東経 106.6 度を中心とし、格子間隔は 8.1km でベト

ナム北部トンキン湾を含む領域とし、第 2 領域は格子間隔 2.7km、第 3 領域は格子間隔 0.9km とし、Haiphong 港近海付近を対象領域とした。また、表-1 にモデルパラメータ、計算格子等の計算条件を示した。計算期間は 2005 年 9 月 17 日 12 時~9 月 19 日 12 時(UTC) (協定世界時、ベトナム標準時と 7 時間差)とした。計算手法に関しては Nesting 手法を用いた。

5.2 計算結果

図-3 に風速、図-4 に風向の観測結果、WRF 計算結果をそれぞれ示す。図 5, 6, 7 にそれぞれの領域における、2005 年 9 月 18 日 5 時(UTC)の推算した風況を表した図を示す。観測値は図 1 に示したように、Haiphong 港近くの島である Hon Dau の値を用いて検証した。風速に関しては地上から 10m の高さの結果で、風向に関しては、北風を 0 度(西風を-45 度)とし、時計回りに角度をとった。

図 3 より、計算期間においてサイクロンが通過しているため、風速最大値 16m/s という強い風が吹いていたことが分かる。次に WRF 計算結果と観測結果をそれぞれ比較すると、風速については、最大風速を迎える時間については多少ずれてしまったが、それ以外の期間については、サイクロン通過による急激な風況変化を精度よく推算できた。

図 4 より、風向について、WRF 計算結果と観測結果を比較すると、風速同様精度よく推算できた。

図 5, 6 より、南方からのサイクロン通過に伴い、風速・風向ともに場所によって違っていることが分かる。また、図 7 より、Domain3 では風速・風向ともに、ほぼ一樣であることが分かる。

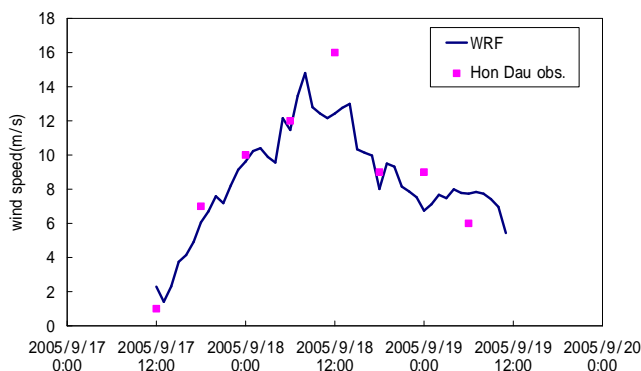


図 3 WRF による風速計算結果と観測結果の比較

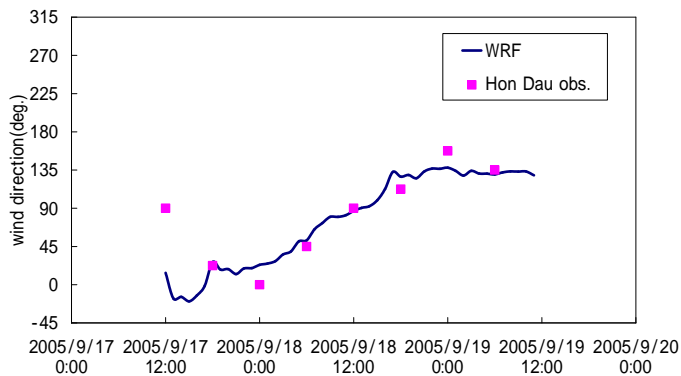


図 4 WRF による風向計算結果と観測結果の比較

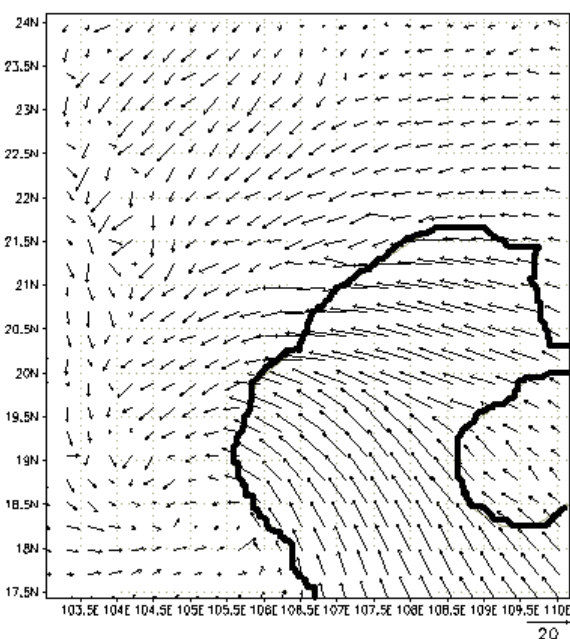


図 5 2005 年 9 月 18 日 5 時(UTC)の風況(Domain1)

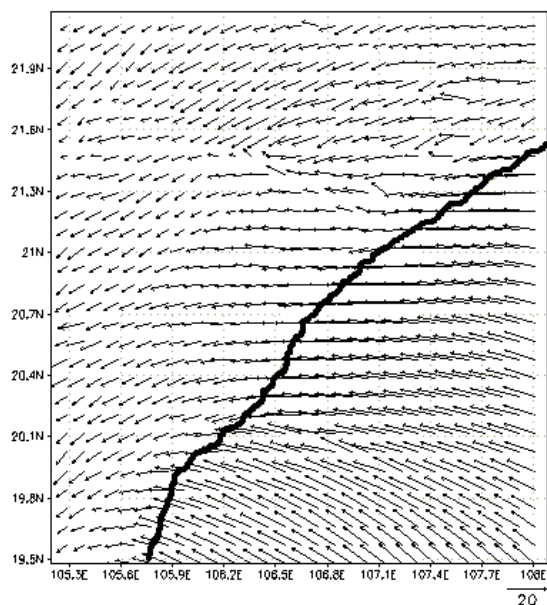


図 6 2005 年 9 月 18 日 5 時(UTC)の風況(Domain2)

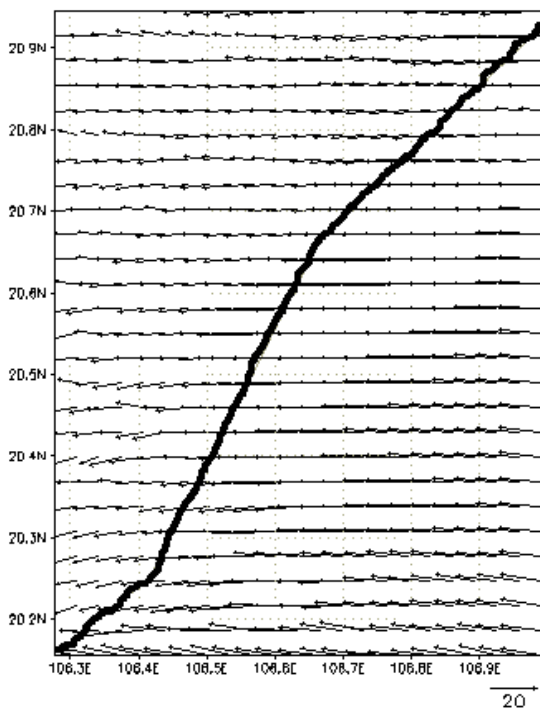


図 7 2005 年 9 月 18 日 5 時(UTC)の風況(Domain3)

6. 波浪場の再現

6.1 計算概要

表 2 計算条件(波浪推算モデル SWAN)

		設定値等
計算期間		2005年9月17日12時~9月19日12時(UTC)
計算手法		非定常
計算条件	初期値	$H_{1/3}=0m$ $T_{1/3}=0s$
	潮位	0m
	方向スペクトル分割数	36
	周波数スペクトル幅	0.04~1.00Hz
	周波数スペクトル分割数	21
	風	WRF計算結果(1時間間隔)
	計算格子	$90 \times 105$
格子間隔	0.9km	
タイムステップ	100s	

表 2 に SWAN に波浪推算計算のモデルパラメータ, 計算格子等の計算条件を示した. 方向・スペクトル数はマニュアルが推奨するデフォルト値<sup>3)</sup>を与え, 風に関しては気象モデル WRF で計算した海上風を 1 時間間隔の結果を線形内挿した. 海底条件は, グローバルインターネットベースと海図から作成した. また, 計算領域については, 図 2 で示した気象モデル WRF の Domain3 と同じ領域である.

6.2 計算結果

図 8 に有義波高, 図 9 に平均波向, 図 10 に有義波周期の SWAN 計算結果, 観測結果を比較した図を示す. 観測値は図 2 に示したように, Lauh Huyen Channel 沖合の水深 15m 地点における波浪観測値を用いた.

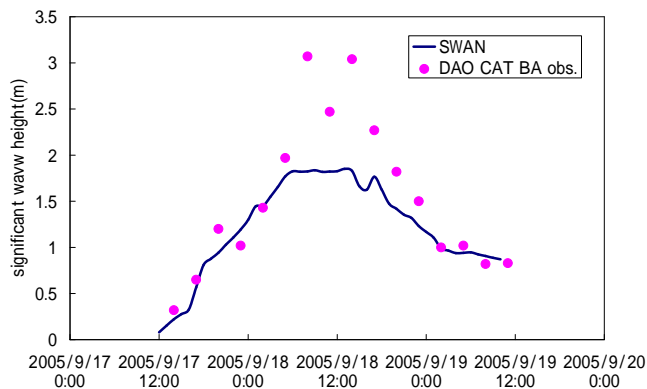


図 8 SWAN による有義波高計算結果と観測値

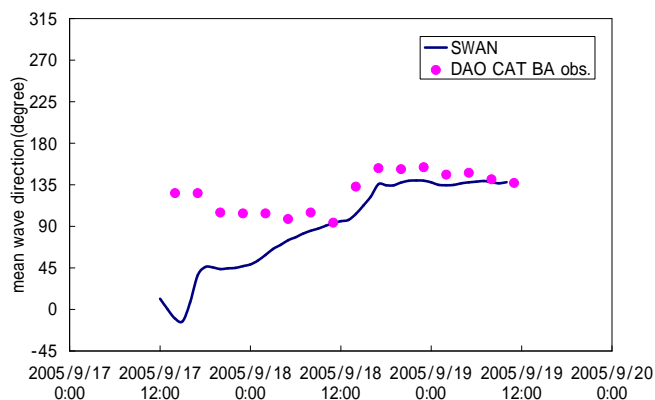


図 9 SWAN による平均波向計算結果と観測値

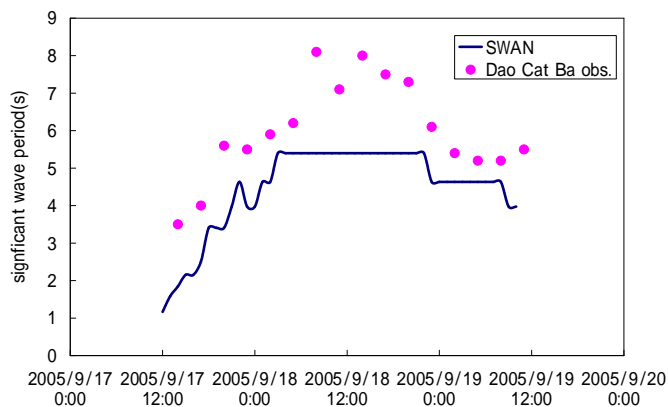


図 10 SWAN による有義波周期計算結果と観測値

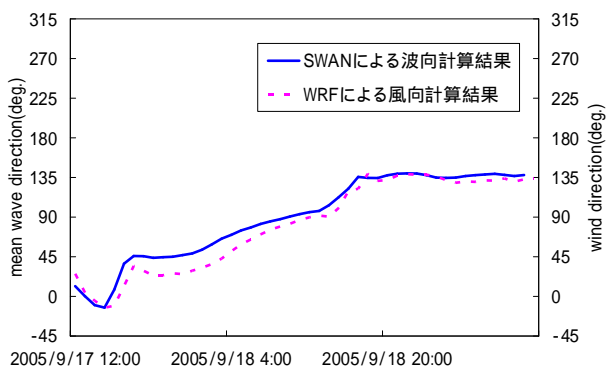


図 11 SWAN による平均波向計算結果と WRF による風向計算結果の比較

図 8 より、有義波高に関しては、SWAN による計算結果は、波高が約 1~2m までは、再現できていたが、サイクロンによる波高(風速)ピーク時付近で再現性が低下しており、計算値は観測値の約半分程度の波高しか示せていない。

図 9 より、平均波向に関しては、波高(風速)ピーク以後に関しては計算結果と観測値がほぼ一致していたが、その前の期間に関しては、再現できていなかった。

図 10 より、有義波周期に関しては、どの時間においても計算結果と観測値を比較すると小さく見積もられており、最大約 3s 程度ずれていた。

これらの結果は、本計算では、Domain3 の風波しか考慮していないことが原因と考えられる。ほかに考慮する必要があると思われるものは、潮位や有義波高、有義波周期等の初期値、境界条件(沖波)が考えられる。このことは、図 11 に示した SWAN による平均波向計算結果と WRF 風向計算結果を示した図からもわかるように、全計算期間においてほぼ同じ変化をしており、本計算結果は気象モデル WRF による計算結果の影響を大きく受けた計算結果であることが示唆された。

なお、一様風速を与えた SWAN モデルの検証計算では、ほぼ SMB 法で得られる波高と周期の値が得られることを確かめている。

7. 結論

気象モデル WRF 計算結果より、ベトナム・Haiphong 港付近の風速場の再現は精度よく再現できた。しかしながら、その計算結果を用いた、波浪推算モデル SWAN による波浪場の推算は再現性が良くなかった。今後は潮位や有義波高、有義波周期等の初期値、境界条件を与えて計算していく必要があることが示唆された。

8. 参考文献

- 1) 神足 洋輔: 気象モデル WRF による関東地方の土地利用が都市気象に与える影響に関する研究, 平成19年度修士学位論文, pp1-25.
- 2) 新谷 哲也: 気象モデル WRF を用いた湖上風の再現と波浪計算, 水工学論文集第 52 巻, 2008, pp1237-1242.
- 3) The SWAN team: SWAN Cycle Ver.40.72, User manual, 2008, pp1-117.