

波と流れの相互作用を考慮した非構造格子シミュレーションモデルの開発

九州大学 学生会員 川添僚太

九州大学 井手喜彦

九州大学 正会員 山城 賢

1. はじめに

海洋表層の流れは様々な力によって複雑に駆動されている。浅海域において波によって生じるラディエーション応力の存在は流れの場を変化させる。一方、波浪場も水位や流れの場に依存して変化する。このように波と流れの状態は互いに影響を及ぼし合っているため、精度の高い計算を実施するには波と流れの相互作用を考慮しなければならない。しかし、波と流れの相互作用を考慮した非構造格子カップリングモデルの開発に関する研究例は少ない。そこで本研究では、既往のモデル同士をカップリングさせることで波と流れの相互作用を考慮した非構造格子モデルを開発する。さらに、波と流れそれぞれの計算で異なる計算メッシュ及び計算時間間隔を設定できるようにすることで、計算効率を向上させ計算時間の短縮を図る。

2. 開発したカップリングモデルの概要

2.1 カップリングに使用したモデル

流れの計算には、海洋流動モデル FVCOM(Finite-Volume Community Ocean Model ver. 3.2)¹⁾を用いた。本モデルは水平空間方向に非構造格子系を採用しており、複雑な海岸線を詳細に表現できるため、高精度な計算が期待できる。FVCOM には SWAVE と呼ばれる波浪カップリングモジュールがあるが、計算の不安定性や有義波高の過大評価²⁾等の深刻な問題点が確認されている。また、波と流れの計算で同一の計算メッシュを用いるため、波の計算に膨大な計算コストを割く。そこで本研究では、非構造格子系に対応している第三世代の沿岸波浪推算モデル SWAN(Simulating Waves Nearshore)を FVCOM へ組み込み、これらの問題を解決したカップリングモデルの開発した。

2.2 カップリングモデル

開発したモデルの模式図を図-1 に示す。本カップリングモデルは FVCOM を基にした流れモジュールと SWAN を基にした波モジュールからなる。流れモジュールから波モジュールへは流速、水位を受け渡し、波モジュールから流れモジュールへはラディエーション応力(S_{xx} , S_{xy} , S_{yy})から計算される図中の F_x , F_y を受け渡す。本モデルには、それぞれ流れと波の受け渡しを制御する 4 つのオプションを用意した。1) 両モジュール間の受け渡しは行わない(独立計算)。2) 流れモジュールから波モジュールへ流速、水位を受け渡す(流れ受け渡し計算)。3) 波モジュールから流れモジュールへ F_x , F_y を受け渡す(波受け渡し計算)。4) 両モジュール間で流速、水位及び F_x , F_y の受け渡しを行う(相互作用計算)。このオプションを使用することで波や流れが及ぼす影響を調べられる。また、各モジュールで異なる計算メッシュ及び計算時間間隔を設定可能である。ただし、波モジュールの計算時間間隔は流れモジュールの計算時間間隔の整数倍でなければならない。なお、本モデルは単層計算のみに対応している。

3. カップリングモデルの検証

3.1 計算概要と検証方法

まず、矩形の単純地形を用いて、開発したカップリングモデルの検証を行った。流れモジュールと波モジュールで異なる計算メッシュを用いた(図-2)。海面境界に一樣で定常な風(風速は 20 m/s, 風向は y 軸方向)を与えた数値実験を実施した。計算領域は x, y 軸方向ともに 2 km, メッシュサイズは約 200 m であり、水深は 3 m 同様である。表-1 に主な設定条件をまとめる。本モデルと SWAN モデルの計算結果を比較することで検証を行った。

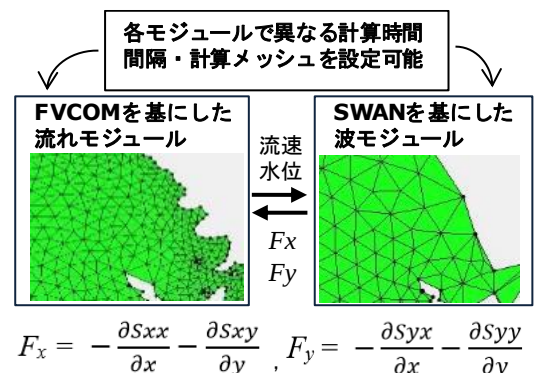


図-1 カップリングモデルの模式図

3.2 計算結果

図-3 の緑点線及び赤線はそれぞれ本モデルの独立計算及び同様の条件を設定した SWAN で計算した図-2 の赤点の地点における有義波高の時系列を示す。両計算の時系列はほとんど同じ値となっており、正常に独立計算を行えていることが確認できた。また青線と黄線は、本モデルの流れ受け渡し計算と FVCOM から出力された流れを SWAN モデルに入力データとして与えた場合の結果である。計算時間 40 分以後の値が僅かに異なるが、これは、本モデルの波モジュールは 10 秒毎（計算時間間隔）に流れが更新されるのに対して、SWAN への流れの入力は 1 時間毎と設定したことが要因であると考えられる。これより、本モデルの流れの受け渡しが適切に行われていると判断した。

4. 実地形での計算

4.1 計算概要と検証方法

開発したカップリングモデルを用いて九州西部海域を対象とした実地形の計算も行った。計算条件は表-1 に示す通りであり、計算メッシュは流れモジュールに比べ波モジュールの解像度を低く設定した。気象外力（気圧・風）として GPV（時間解像度 1 時間、水平解像度 5 km）データをメッシュに線形内挿した。計算期間は 2012 年 16 号台風来襲時（2012 年 9 月 16 日 15 時～17 日 15 時）とした。

4.2 計算結果

図-4 は台風が有明海に最接近したときの流れ受け渡し計算と独立計算から得られた有義波高の差である。地形により水位と流れに変化が生じることで、それらが有義波高に影響を与えていることが確認できた。また、波モジュールに流れモジュールと同様の計算メッシュを使用して計算した場合、計算時間は約 2 倍となり、波モジュールに解像度の低いメッシュを用いることによる計算効率の向上も確認できた。

5. おわりに

非構格子モデルの FVCOM と SWAN を基にして、波と流れの相互作用を考慮できるカップリングモデルの開発を行った。その際、計算効率の向上のために波と流れの計算には、異なる計算メッシュと計算時間間隔を設定できるようにした。単純地形を用いて、SWAN との結果の比較からモデルの検証を行い、正しくモデルが開発できていることを確認した。さらに、九州西部海域を対象とした流れ受け渡し計算を行い、水位と流れが波高に影響を及ぼしていることを確認した。

参考文献

- 1) Chen et al.(2003): An Unstructured Grid, Finite-Volume, Three-Dimensional, Primitive Equations Ocean Model: Application to Coastal Ocean and Estuaries, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Vol.20, pp.159-186.
- 2) Yujian Sun(2017): Simulation of Wave-Current Interactions Under Hurricane Conditions Using an Unstructured-Grid Model: Impacts on Ocean Waves, Vol.123, pp.3739-3760.

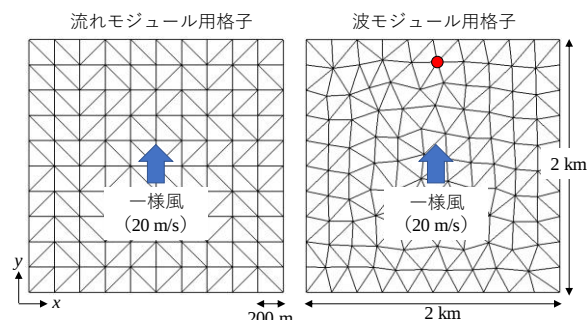


図-2 単純地形の計算メッシュ

表-1 主な計算条件

計算条件	単純地形		実地形	
	FVCOM	SWAN	FVCOM	SWAN
ノード数	121	129	4427	1607
メッシュ数	200	216	8157	2871
格子点間隔	200m	200m	1~20 m	2~40km
計算時間間隔	0.5s	10s	0.1s	5s

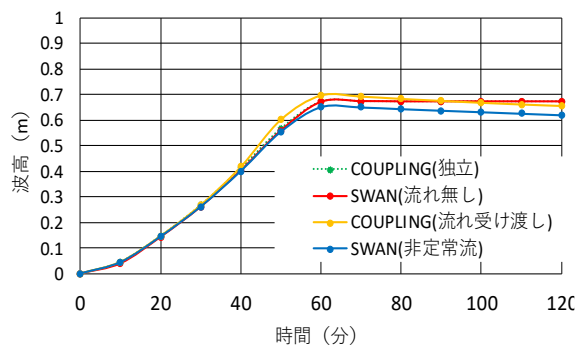


図-3 有義波高の時系列変化

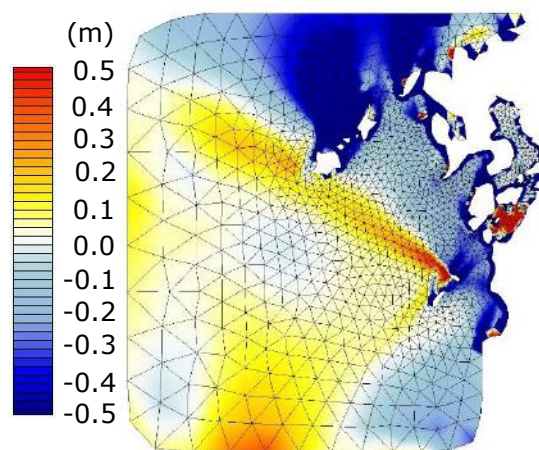


図-4 有義波高の差
(流れ受け渡し計算－独立計算)