波浪の数値シミュレーションを 考慮した数値ナビゲーションについて

塩谷 茂明*・小林 英一**・大澤 輝夫**・牧野 秀成**

On Numerical Navigation for a Ship Using Numerical Simulation of Waves

Shigeaki SHIOTANI Eiichi KOBAYASHI

Teruo OHSAWA and Hidenari MAKINO

Abstract

This paper deals with the numerical simulation of navigation based on the ocean waves for the purpose of the optimum routing of a small vessel which sails in the relatively narrow sea area such as the bay. In former part of this paper, the computational simulation of the ocean waves of Osaka Bay was explained. The ocean wave was calculated by numerical model of SWAN. In latter parts of it, the numerical simulation of navigation in the bay was carried out.

The effects of the ocean waves to navigation by a small vessel were examined numerically. As results, it was recognized that effects of ocean waves to navigation are very large and that the simulation of ocean waves for the weather routing of a small vessel is very effective.

Keywords : Numerical navigation, SWAN model, MMG, RIOS, Weather routing

キーワード: 数値ナビゲーション, SWAN モデル, MMG, RIOS, ウェザールーティング

1. はじめに

沿岸が航行海域の小型船舶も、大洋航海と同様に気象・海象の影響により、計画航路からの偏位や船速低下等に遭遇する。状況次第では、衝突や座礁等の海難発生要因になる。逆に、気象・海象を事前に予測し利用すると、高波高や強風を伴う荒天域の適切な避航操船が可能となり、海難防止に役立つ。また、潮流や海流を利用する適切な航路選定により、安全性と経済的効果を追求した最適航法の実現が可能である。本研究の最終目的は、湾内や沿岸域等の比較的狭い海域内の小型船舶に対し、出航前に航海

中に遭遇するであろう気象・海象の数値予測と航海中に収集された各種航海情報から、安全性と経済的効果の高い最適航法システムを構築することである。

これまで著者らは航行船舶の船位を正確に予測できる手法として、船舶操縦性能理論を導入し、航行海域内の潮流及び海上風の影響について、実船実験及び数値航海シミュレーションにより論じた^{(1)~(8)}。実海域上で潮流または風の相対方位と船体横流れ量及び航程の変化について調査した。実験結果の検証は、数値シミュレーションで得られた潮流、海上風の中を、模擬船舶が一定針路で航行する航海シミュ

* 正会員 神戸大学自然科学系先端融合研究環 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町 5-1-1)
shiotani@maritime.kobe-u.co.jp

** 正会員 神戸大学大学院海事科学研究科

レーションによる横流れ量と航程の予測との比較から行った。その結果、航海シミュレーションによる航行船舶の船位推定が概ね可能であることを確認した。

本研究では、船舶への波浪影響による航行船舶の横流れ量及び航程の予測が目的であり、波浪の数値シミュレーションと波浪中の航海シミュレーションが可能な手法の開発を行った。数値シミュレーションの結果、本手法が有効であることがわかったので、ここに報告する。

2. 波浪予報の数値シミュレーション

2.1 SWAN の概要

海洋・沿岸海域の開発計画策定にあたり、計画海域内の波浪特性の把握の必要性から、多数の波浪推算モデルが開発・利用されてきた。代表的なモデルとして、WAM、SWAN 等がある⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。WAM は深海域を対象とした波浪推算モデルであり、SWAN は WAM の改良版であり、浅海域を含む海域での波浪推算が可能であるモデルである。WAM で考慮されていた風から波へのエネルギー輸送、4 波共鳴非線形相互作用による成分波間でのエネルギー輸送、白波砕波によるエネルギー散逸、底面摩擦によるエネルギー散逸に、SWAN では浅水砕波によるエネルギー散逸、極浅海域で顕著となる 3 波共鳴非線形相互作用による成分波間でのエネルギー輸送など、浅水域での波浪伝搬を加えている。

SWAN はオランダのデルフト工科大学で開発されたモデルで、風波の方向スペクトル形状の相似性の過程をしないで、波浪方向スペクトル成分波間の非線形相互作用を評価した第 3 世代波浪推算モデルである。これによって、方向スペクトルの時空間変化まで再現できるので、浅海域で発生する複雑な波浪変形の推定も可能である。

本研究では、このような利点を生かした SWAN モデルを航海シミュレーションにおける波浪予報として採用した。

2.2 基礎方程式

各計算格子上で波浪方向スペクトル $E(\sigma, \theta)$ を変数としているが、モデル内では 2 次元の波浪作用密度スペクトル $N(\sigma, \theta)$ を用いている。ここに、 σ 、 θ はそれぞれ流れがある場合において流れと共に移動する座標系から見た各周波数、方向角である。両者には、次式の関係がある。

$$N(\sigma, \theta) = \frac{E(\sigma, \theta)}{\sigma} \quad (1)$$

これは、流れが存在する場合では、波浪方向スペクトルは保存されないが、波浪の作用スペクトルは保存量であるから、後者を使用する。

2 次元の波浪作用密度スペクトル $N(\sigma, \theta)$ に関する平衡方程式、直交 2 次元(x, y)空間上では、次式で表される。

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} (c_x N) + \frac{\partial}{\partial y} (c_y N) + \frac{\partial}{\partial \sigma} (c_\sigma N) + \frac{\partial}{\partial \theta} (c_\theta N) = \frac{S(\sigma, \theta)}{\sigma} \quad (2)$$

ここに、 c_x 、 c_y 、 c_σ 、 c_θ はそれぞれ実空間 x、y 及びスペクトル空間 σ 、 θ 上での伝搬速度である。各成分波の位相速度 c と群速度 c_g 、定常流流速ベクトル $U=(U, V)$ 、波数ベクトル $\kappa=(k_x, k_y)$ を用いて、次式で表される。

$$\begin{aligned} c_x &= c_g \cos \theta + U, \\ c_y &= c_g \sin \theta + V, \\ c_\sigma &= \frac{\partial}{\partial t} \left(\sqrt{gk \tanh(kh)} - \kappa \cdot U \right), \\ c_\theta &= \frac{c_g}{c} \left(\sin \theta \frac{\partial c}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial c}{\partial y} \right) \\ &\quad - \left(\sin \theta \frac{\partial}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial}{\partial y} \right) \left(\frac{\kappa}{k} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

(2) 式の左辺第 1 項は作用密度 N の時間変化、第 2、3 項は x 方向および y 方向の伝搬による空間変化、第 4 項は水深と流れの時間変化による相対的な各周波数の変化、第 5 項は水深や流速の空間分布による波の屈折を意味する。右辺の $S(\sigma, \theta)$ はこのシステムのエネルギーの入出を表すエネルギーのソース関数を示し、次式で表される。

$$S(\sigma, \theta) = S_{in} + S_{ds} + S_{br} + S_{bf} + S_{nl} + S_{tri} \quad (4)$$

ここに、 S_{in} 、 S_{ds} 、 S_{br} 、 S_{bf} 、 S_{nl} 、 S_{tri} はそれぞれ、風から波へのエネルギー輸送、白波砕波によるエネルギー散逸、浅水砕波によるエネルギー散逸、海底摩擦によるエネルギー消散、4 波波浪成分間での非線形相互作用によるエネルギー輸送、3 波波浪成分間での非線形相互作用によるエネルギー輸送である。

2.3 波浪の数値シミュレーション

大阪湾を対象に SWAN を用いた波浪予報の数値シミュレーションを行った。計算海域内の水深情報として一定計算格子間隔が $\Delta x = \Delta y = 50\text{m}$ 、格子数がそ

それぞれ 1270×1270 の水深データを用いた。SWAN による波浪計算では、このような詳細な解像度は必要でなく、格子間隔が $\Delta x = \Delta y = 1007.9\text{m}$ 、格子数 64×64 で行った。

Fig.1 は発達した低気圧が日本海を通過した 2005 年 5 月 18 日 16 時及び 19 日 9 時の気象庁の天気図を示す。発達した低気圧から伸びる温暖前線と寒冷前線に挟まれた暖域内にある大阪湾に、強い南風が吹き、低気圧が日本海を通過後、北西の風に転じた。

Fig.2 は海上風の数値予報の MM5 モデルにより、Fig.1 の天気図における 36 時間の数値シミュレーションを行った、大阪湾の海上風の分布である。(a)図では、強い南風が、(b)図では、北西風が吹いている。南風の平均風速は 11m/s 、風向は 189° 、北西風では

4m/s 、 316° である。

Fig.3 は著者らによるこれまでの風の数値シミュレーションを行った研究における、MM5 モデルによる数値シミュレーションから得られた大阪湾の海上風に基づいた波浪の数値シミュレーション結果を示す。MM5 に関する詳細は文献(8)に示す。(a)図は Fig.2(a)、(b)図は Fig.2(b)で示す風場の平均の風向、風速の風が一定に吹いた時の、大阪湾で十分発達した波である。上図は有義波高、下図は有義波周期を示す。(a)図で大阪湾の海上の南風により、湾奥に向かって次第に波浪が発達し、有義波高が最大約 1.3m 、有義波周期が 3.5s に成長している。(b)図では、北西

(a) At 16:00, May 18, 2005

(b) At 09:00, May 18, 2005

Fig.1 Weather chart on May 18-19, 2005

(a) At 16:00, May 18, 2005

(b) At 09:00, May 19, 2005

Fig.2 Simulated ocean surface wind in Osaka Bay

(a) At 16:00, May 18, 2005

(b) At 09:00, May 19, 2005

Fig.3 Simulated ocean waves in Osaka Bay

の風により、吹送距離が長い大阪湾の南東海域に高波高域が見られる。

大阪湾内で波浪観測を実施する場所は少なく、シミュレーションと現地観測結果との厳密な比較は可能でないが、それぞれ同じ傾向にある気象条件での波浪を比較すると、SWANによる数値シミュレーション結果は概ね良好であると思われる。また、SWANモデルは、浅海域の計算が可能であり、沿岸部の浅瀬域での波の減衰および特に、大阪湾南東部の海上の関西空港周辺で、空港による風の遮蔽部分の波の減衰も十分に計算されている。

以上の SWAN による波浪の数値シミュレーション結果から、本手法による波浪の数値計算が有効であることがわかった。

3. 船舶操縦シミュレーション

航行船舶は絶えず気象・海象の影響下にあり、設定航路からの横流れや速力の減衰が生じる。気象・海象の影響を考慮した正確な船位予測はウェザールーティングシステムの構築に極めて重要であり、横流れ量が最小になる航路上に沿った正確な航海も可能である。本研究では、船位予測に一般に利用されている通常の操縦運動数学モデル(MMG)を適用した。Fig.4 は操縦運動モデルに用いた座標系を示す。空間固定座標系 $0-x_0, y_0$ で定義された物理量を船の重心 G の加速度 $\ddot{x}_0, \ddot{y}_0$ および旋回運動の角加速度 $\ddot{\psi}$ 、 x_0, y_0 方向の力 X_0, Y_0 および重心周りの回頭モーメント N とする。船の操縦性能を論ずる場合、船体と共に移動する船体固定座標系 $G-x, y$ での記

述が好都合であり、それぞれ x, y, ψ, X, Y, N の記号で表す。空間固定座標系を船体固定座標系に変換後の船体運動方程式は次式で表される。

$$\left. \begin{aligned} (m+m_x)\dot{u} - (m+m_y)vr &= X \\ (m+m_y)\dot{v} + (m+m_x)ur &= Y \\ (I_{zz}+J_{zz})\dot{r} &= N \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ここに、 m は船体の質量、 I_{zz} は重心周りの慣性モーメント、 m_x, m_y は x, y 方向の付加質量、 J_{zz} は z 軸回りの付加慣性モーメント、 u, v は x, y 方向の速度成分、 $\dot{\psi} = r$ である。

(5)式の右辺の船に働く力およびモーメントを船体に働く力、プロペラ、舵、スラストが発生する力、風波、その他の外力による力に分けると次式で表される。

$$\left. \begin{aligned} X &= X_H + X_P + X_R + X_T + X_A + X_W + X_E \\ Y &= Y_H + Y_P + Y_R + Y_T + Y_A + Y_W + Y_E \\ N &= N_H + N_P + N_R + N_T + N_A + N_W + N_E \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

ここに、 H, P, R, T, A, W, E は船体(Hull)、プロペラ(Propeller)、舵(Rudder)、スラスト(Thruster)、風(Air)、波(Wave)、外力(External force)を示している。

潮流の影響は潮流と共に移動する座標系として考え、船体に働く流体力は次式を用いた。

$$\left. \begin{aligned} X_H &= \frac{\rho}{2} L d U^2 (X'_{vv} v'^2 + X'_{rr} r'^2 + X'_{vvv} v'^3 + X'_{rrr} r'^3) - R \\ Y_H &= \frac{\rho}{2} L d U^2 (Y'_v v' + Y'_r r' + Y'_{vv} v'^2 + Y'_{vr} v' r' + Y'_{rr} r'^2 + Y'_{vvv} v'^3 + Y'_{vvr} v' r'^2 + Y'_{vrr} v'^2 r' + Y'_{rrr} r'^3) \\ N_H &= \frac{\rho}{2} L^2 d U^2 (N'_v v' + N'_r r' + N'_{vv} v'^2 + N'_{vr} v' r' + N'_{rr} r'^2 + N'_{vvv} v'^3 + N'_{vvr} v' r'^2 + N'_{vrr} v'^2 r' + N'_{rrr} r'^3) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

ここに、 ρ は海水密度、 L は船長、 d は喫水、 U は船速、 $v' = v/U, r' = r/U, R$ は船体抵抗、 $Y'_v, \dots$ 等は各種流体微係数である。

また、風圧力は次式で表される。

$$\left. \begin{aligned} X_A &= \frac{\rho_A}{2} V_A^2 A_T C_{XA}(\theta_A) \\ Y_A &= \frac{\rho_A}{2} V_A^2 A_L C_{YA}(\theta_A) \\ N_A &= \frac{\rho_A}{2} V_A^2 L A_L C_{NA}(\theta_A) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

ここに、 ρ_A は空気の密度、 θ_A は相対風向、 V_A は相対風速、 A_T, A_L は船体水線上正面投影面積、船体水線上側面投影面積、 C_{XA}, C_{YA}, C_{NA} は風圧力係数である。

波浪の外力は次式で表される。

$$\left. \begin{aligned} X_w &= \frac{1}{2} \rho g L h^2 C_{Xw}(T_V, \theta_w, V_s) \\ Y_w &= \frac{1}{2} \rho g L h^2 C_{Yw}(T_V, \theta_w) \\ Z_w &= \frac{1}{2} \rho g L h^2 C_{Nw}(T_V, \theta_w) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

g は重力加速度、 h は有義波振幅、 C_{Xw}, C_{Yw}, C_{Nw} は波漂流力係数、 T は平均波周期、 θ は出会い方向、 V は船速である。

Fig.4 Coordinate system of ship maneuvering simulation

4. 波浪中の定常力の計算

波浪中の船体に加わる波浪定常力(抵抗増加、定常横力、定常回頭モーメント)の計算はRIOSにより行った。⁽¹³⁾

RIOS とは実海域船舶性能研究イニシアティブ(The Research Initiative on Oceangoing Ships)の略称であり、大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻船舶海洋工学コースに設置された実海域での船舶性能の向上と、船舶性能の評価手法に関する研究開発拠点で

Table 1 Table 1 Principal properties of Fukaemaru

item	
L. O. A. (m)	49.95
L. P. P. (m)	45
B. Md. (m)	10
Draft (m)	3.2
Gross T. (ton)	449
Max. Speed (kt)	14.28
Steering Eng. (kW)	3.7
Bow Thruster (kW)	79
Stern Thruster (kW)	70
Main Eng. Output (kW)	1100
Revolution (rpm)	720
Reduct. Ratio	1/2.208
Propeller (C.P.P. Blades)	4
P. Dia. (m)	2.1
P. Pitch at 21.21° (m)	1.792

ある。船舶が実海域を航行するときの船舶性能の向上と、船舶性能の評価手法を確立することにより、世界の船舶の性能評価法を一新することを目的としている。

対象船舶の船体主要目、船図データ、船体断面形状データを入力し、船速、波向、 λ/L (波長/船長)、波スペクトルを計算条件で指定して周波数応答関数の

Fig.5 General arrangement plan of an actual ship used in the experiments

計算を行い、波浪定常力(抵抗増加、定常横力、定常回頭モーメント)を得る。そして周波数応答関数から実海域における、波浪スペクトル、海象条件(有義波高、平均波周期、相対波向)を入力して短期予測計算を行い、波浪定常力の平均値を求める。

本研究では、供試船として、神戸大学大学院海事科学研究科附属練習船「深江丸」を用いた。Table1に深江丸の主要項目、Fig.5に供試船の一般配置図を示す。深江丸は主に瀬戸内海及び周辺沿岸海域を航行海域とし、1日～1週間程度の学生実習及び研究航海に利用されている。

5. 航海シミュレーション

大阪湾において、供試船「深江丸」が波浪中を模擬航海する航海シミュレーションにより、波浪影響の調査を行った。Fig.6は発達した低気圧が日本海を通過して(Fig.1(a))、大阪湾に強い南風が吹き(Fig.2(a))、波浪の数値シミュレーションで得られた高波高域の波浪場(Fig.3(a))を航行する4種類の仮想航路を示す。深江丸の針路は045°、225°、090°及び270°、船速は12.3knで、それぞれ1時間航海した。平均風速は11m/s、風向は189°、平均有義波高は1.0m、周期は約3s、さらにより現実的な海域での航海シミュレーションの再現のため、大阪湾における上げ潮(北流)で0.5m/s(約1ノット)の一定強さの潮流を課した。

Fig.7はFig.6で設定された気象・海象下で、MMG

Fig.6 Virtual rout in numerical navigation

Fig.7 Numerical simulation of navigation by Fukaemaru in Osaka Bay

を用いた深江丸の航海シミュレーションを行った結果を示す。縦軸及び横軸はそれぞれ緯度、経度である。実船は設定航路、点線は波浪のみの影響による航跡、破線は潮流のみの影響による航跡、2点鎖線は風のみの影響による航跡、1点鎖線は潮流、風及び波浪全ての影響を考慮した航跡を示す。(a)図は追い波、(b)図は向かい波中の航行であり、後者の方が速力低下及び船位の横流れ量が顕著に表れている。(c)及び(d)図ではいずれも針路に対し横波を受けるため、波浪の影響は小さい。潮流の強さ、流向によりシミュレーション結果は当然異なるが、この計算条件では潮流の影響が速力の増減、横流れ量に最も影響するものと考えられる。波浪、風及び潮流の全てを考慮した航海への影響は、実船実験の検証が今後の課題であるが、本研究で構築の航海シミュレー

ションにより、概ね再現可能であると考えられる。

5. 結論

本研究の目的は、波浪中の航行船舶に影響を与える波浪の数値予測と波浪による船位の偏位量及び航程の変化の予測を行うシステムの構築である。波浪の数値シミュレーションを行い、その予測された波浪場を模擬船舶が航海する航海シミュレーションを行い、正確な船位予測が可能な手法の開発を行った。その結果、本研究で得られた主要な結論は以下の通りである。

(1) 湾内などの沿岸域が航行海域である小型船舶に対し、海域内の波浪の数値予報が SWAN モデルを用いて可能となった。

(2) 波浪中の船舶において、RIOS を用いた波浪

定常外力の予測が可能となった。

(3) MMG モデルにより波浪、潮流及び風の影響による航行船舶の横流れ量及び船速変化の予測が可能となった。

(4) 航行海域内の数値波浪シミュレーションに基づいた、船位の予測が可能である航海シミュレーションの確立が可能となった。

本研究では、潮流、風及び波浪の影響を考慮した航行船舶の正確な船位予報が航海シミュレーションにおいては可能となったが、今後実海域における実船舶による検証を行う予定である。さらに、潮流、風及び波浪の数値予測をそれぞれ個別に実施したが、それぞれ互いに相互作用するので、これらの結合モデルの構築を行う所存である。

本研究は、平成20年度に文部科学省から採択された特別教育研究推進(研究推進)「輸送の三原則を統合した国際海上輸送システム創出の研究」の一貫として実施した。

参考文献

- (1) 塩谷茂明：小型船の航海のための潮流シミュレーション，日本航海学会論文集，第98号，pp.127-140，1998
- (2) 塩谷茂明：潮流を利用した小型船の最短時間航法の研究，西部造船会会報，第100号，pp.73-81，2000
- (3) Shigeaki SHIOTANI: Experimental Verification of Simulation for Navigation Utilizing Current Sailing, 関西造船協会論文集，第238号，pp.205-214，2002
- (4) 夏海波、塩谷茂明、小林英一、若林伸和：リアルタイム気象海象データを考慮した沿岸海域航行船舶のウェザー・ルーチングに関する研究、一船舶操縦性能を考慮した船位決定の基礎的シミュレーションと実船実験—，関西造船協会論文集，第243号，pp.159-166，2005
- (5) 夏海波、塩谷茂明、小林英一、若林伸和：実小型船舶を用いた風圧による横流れの計測実験とシミュレーションについて、日本航海学会論文集，第113号，pp.171-177，2005
- (6) Haibo XIA, Shigeaki SHIOTANI, Eiichi KOBAYASHI, Nobukazu WAKABAYASHI : Estimation of Ship's Course for Sailing on Route by Navigation Simulation in Coastal Water, The Journal of Japan Institute of Navigation, No.115, pp.51-57, 2006
- (7) 夏海波、塩谷茂明、万田敦昌、小林英一、若林

伸和：潮流シミュレーションを用いた航海への潮流の影響の調査について，日本航海学会論文集，第116号，pp.61-67，2007

- (8) 夏海波、塩谷茂明、大澤輝夫、小林英一：海上風の数値予測と風圧影響下の航海シミュレーション，日本航海学会論文集，第117号，pp.151-158，2007
- (9) 小林智尚、波浪推算システムとその応用，2002年度(第38回)水工学に関する夏期研修講義集，土木学会 海岸工学委員会・水理委員会，B-7-1-B-7-20，2002
- (10) 小林智尚、座波慎一郎、安田孝志、波浪推算モデルSWANによる伊勢湾台風時波浪の再現，海岸工学論文集，第50巻，pp.181-185，2003
- (11) 小川陽弘：操縦運動の数学的モデルの基礎，第3回操縦性シンポジウム，pp.9-26，1981
- (12) 小瀬邦治、湯室彰擬規、吉村康男：操縦運動の数学モデルの具体化，第3回操縦性シンポジウム，pp.28-81，1981
- (13) 実海域船舶性能研究イニシアティブ RIOS ホームページ、<http://133.1.7.5/>

質疑応答

林美鶴（神戸大学）：

(1) ご講演のシステムはナビゲーション計算に気象・海象データのシミュレーションを含んでいる点で特徴があるのだと理解しています。であれば、気象・海象シミュレーション結果の精度が問題となります。実海域においては、潮流だけ、風圧流だけ、吹走流だけを取り出して計算結果と比較することは難しいと思います。シミュレーション結果が持つ誤差要因をどのように評価されるのでしょうか。

(2) 大阪湾では、沖の瀬環流に代表されるような潮汐残差流が卓越することが知られていますが、これは考慮されていますか。

塩谷茂明：

ご討論ありがとうございます。

(1) これまでの研究では、実船実験を行った結果を公表しています。潮流に関しては、潮流の影響が強い海域で風が弱い時間帯において、航跡を調査しました。また、風に関しては、台風通過後の比較的風が強く、潮流が弱い海域において調査しました。これらの実船実験と潮流及び風の数値シミュレーションを考慮した航海シミュレーションを比較検討した結果、航海シミュレーションによる船位の予測が概ね良好であることを確認しています。

波浪に関しては今後の研究として、潮流と風が弱

く、比較的波浪が顕著な海域と時間帯を選んで実船実験を行い、航海シミュレーションとの比較による検証を行う予定です。

(2) 現在、潮流の数値シミュレーションでは M_2 潮を境界条件とした計算しか行っていない。現在、現実的な潮流計算を実施していますので、その結果数値計算によりご指摘の残差流が再現できるかどうか検討は可能です。航海シミュレーションに関しては、船舶が 2, 3 時間程度航行するのみであり、残差流の影響はほとんどないのではと考えています。

河合雅司 (富山高等専門学校) :

風、潮流、波浪について数値計算モデルにより推定し、それらが船体運動に与える影響について紹介されましたが、ここでの潮流は潮汐による海水の流れであり、風が吹くことにより生じる海水の流れについてはどのように考慮されるお考えでしょうか。

塩谷茂明 :

ご討論ありがとうございます。ご指摘のとおり、風が吹くことにより、潮流に風の影響の考慮が必要です。これに関しては現在、風を考慮した潮流の数値シミュレーションを計算中ですので、良い結果が出ますと、今後公表したいと考えています。具体的には、潮流のシミュレーションは POM を使用していますが、このモデルには風の影響を取り込むことが可能となっています。