

気象・海象の影響下の数値ナビゲーションについて On Numerical Navigation under Effects of Weather and Ocean

- 塩谷茂明, 神大自然科学, 神戸市東灘区深江南町 5-1-1, shiotani@maritime.kobe-u.ac.jp
 牧野秀成, 神大海事, 神戸市東灘区深江南町 5-1-1, makino@port.kobe-u.ac.jp
 嶋田陽一, 神大海事, 神戸市東灘区深江南町 5-1-1, yshimada@port.kobe-u.ac.jp
 曾田泰介, 神大海事, 神戸市東灘区深江南町 5-1-1, 105w315w@stu.kobe-u.ac.jp
 Shigeaki SHIOTANI, Kobe University, 5-1-1, Fukae-Minami, Higashinada, Kobe, Japan
 Hidenari MAKINO, Kobe University, 5-1-1, Fukae-Minami, Higashinada, Kobe, Japan
 Youichi SHIMADA, Kobe University, 5-1-1, Fukae-Minami, Higashinada, Kobe, Japan
 Taisuke SODA, Kobe University, 5-1-1, Fukae-Minami, Higashinada, Kobe, Japan

It is considered that the weather and ocean such as the wind, the tidal current and the wave are the most important factors to a running ship. The purpose of this paper is to discuss about the simulation of numerical navigation for a ship under effects of weather and ocean. The numerical methods of the tidal current, the wind and the wave are proposed. The simulation of numerical navigation to a running ship is carried out under the effects of numerical weather and ocean. The proposed numerical navigation is very effective for the estimation of the ship position for a running ship.

1. 結言

海上輸送を担う船舶は、航海中絶えず気象・海象の影響下にあり、船体動揺等の耐航性、航路からの偏位や速力低下等の推進性能が変化する。状況次第では荒天に遭遇し、Rolling, Pitching 等の船体大動揺、船首冠水、船底集中荷重及び転覆等の危険に遭遇する。さらに、荒天中の波浪抵抗増加に伴う速力低下、計画航路からの偏位及び燃料消費量増加等の経済運航にも影響する。また、静穏海域中の航行においても、海流や潮流の影響から計画航路からの偏位に気付かず、状況次第では漂流、座礁、衝突等の海難誘発の危険性に遭遇する。

特に、航路からの偏位や速力低下の影響による正確な船位予測は、省エネ運航及び最適航法の面から重要であり、気象・海象の影響をうまく利用することにより、燃料費の節約が可能である。このように、これから航海しようとする海域の気象・海象を的確に把握し、航行船舶の船位を常に正確に予測したウエザールーチングを行うシステムの構築は重要である。

大洋航海中の船舶が対象のウエザールーチングの研究は、これまで James を始め多数実施されている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。この場合、気象・海象のデータは気象庁や NOAA など他国の関係機関から提供された既存データを利用している。しかし、沿岸海域の航行船舶のように、複雑な地形や水深変化が著しい湾内や沿岸域では気象・海象が微妙に複雑に変化するため、詳細な気象・海象のデータを自由に利用することが要請される。したがって、独自に自前で作成された気象・海象の予報が提供可能な数値計算モデルが必要である。また、これらの数値計算により得られた詳細な気象・海象データを利用し、正確に航行船舶の船位を時々刻々予測できるシステムの構築から、沿岸域での海難防止及び高度なウエザールーチングシステムが可能になる。

本研究では、気象・海象の中で特に航行船舶の運動に影響を与える潮流、海上風及び波浪の数値予報を行い、これらの影響下における航行船舶の船位を精度良く予測できる手法の基礎を構築したので、報告する。

2. 海上風の数値計算手法

海上風の数値計算は MM5 モデルで行った。MM5 は米国ペンシルバニア州立大学と米国大気科学センターにより開発された第 5 世代のメソスケールモデルである⁽⁴⁾⁽⁵⁾。山谷風、海陸風、雷雨な

どの局所気象から台風、低気圧、前線などの総観規模現象など様々なスケールの現象を対象とし、数 10km 四方から数 1000km 四方の領域を約 1km から数 10km の水平解像度で計算でき、現在世界で最もよく使われているメソ気象モデルの 1 つである。

座標で、鉛直軸は σ 座標系を気圧の観点から定義する。

親領域 (mother domain) 内であれば、各小領域 (inner domain) を同時に計算することができる 2-way ネスティングが可能であり、また、入力に用いられる解析値を計算に取り込むことができる四次元データ同化機能も備えている。

MM5 の基礎方程式は次のように与えられる。

気圧方程式：

$$\frac{\partial p'}{\partial t} - \rho_0 g w + \gamma p \nabla \cdot V$$

$$= -V \cdot \nabla p' + \frac{\gamma p}{T} \left(\frac{\dot{Q}}{c_p} + \frac{T_0}{\theta_0} D_\theta \right) \quad (1)$$

ここに、 P' は摂動圧力 [Pa]、 ρ_0 は基準密度 [kgm^{-3}]、 g は重力加速度、 w は鉛直方向の速度成分、 γ は比熱率、 V は水平方向の風のベクトル、 T は温度 [K]、 Q は非断熱加熱率 [$\text{Jkg}^{-1}\text{s}^{-1}$]、 C_p は湿潤空気に対する定圧比熱、 T_0 は基準温度 [K]、 θ_0 は基準温位、 D_θ は温位の拡散項である。

水平運動量方程式：

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{m}{\rho} \left(\frac{\partial p'}{\partial x} - \frac{\sigma}{p^*} \frac{\partial p'}{\partial x} \frac{\partial p'}{\partial \sigma} \right)$$

$$= -V \cdot \nabla u + v \left(f + u \frac{\partial m}{\partial y} - v \frac{\partial m}{\partial x} \right)$$

$$- ew \cos \alpha - \frac{uw}{r_{earth}} + D_u \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \frac{\mathbf{m}}{\rho} \left(\frac{\partial \mathbf{p}'}{\partial y} - \frac{\sigma}{\mathbf{p}^*} \frac{\partial \mathbf{p}'}{\partial y} \frac{\partial \mathbf{p}'}{\partial \sigma} \right) \\ &= -\mathbf{V} \cdot \nabla \mathbf{v} - \mathbf{u} \left(\mathbf{f} + \mathbf{u} \frac{\partial \mathbf{m}}{\partial y} - \mathbf{v} \frac{\partial \mathbf{m}}{\partial x} \right) \\ & \quad - e \mathbf{w} \sin \alpha - \frac{\mathbf{v} \mathbf{w}}{r_{earth}} + \mathbf{D}_v \end{aligned} \quad (3)$$

ここに, \mathbf{u} は東方向の風速成分 [ms^{-1}], \mathbf{v} は北方向の風速成分 [ms^{-1}], ρ は空気の密度 [kg m^{-3}], \mathbf{m} はマップファクター, $\mathbf{P}^* = \mathbf{P}_s - \mathbf{P}_b$, \mathbf{f} は (鉛直) コリオリ係数, e は水平コリオリ係数 [s^{-1}], α はグリッドの軸と実際の北との角度差, \mathbf{D}_u , \mathbf{D}_v は水平拡散項, r_{earth} は地球半径である.

鉛直運動量方程式:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \mathbf{w}}{\partial t} - \frac{\rho_0}{\rho} \frac{\mathbf{g}}{\mathbf{p}^*} \frac{\partial \mathbf{p}'}{\partial \sigma} + \frac{\mathbf{g} \mathbf{p}'}{\mathbf{p}} \\ &= -\mathbf{V} \cdot \nabla \mathbf{w} + \mathbf{g} \frac{\mathbf{P}_0}{\mathbf{p}} \frac{\mathbf{T}'}{\mathbf{T}_0} - \frac{\mathbf{g} \mathbf{R}_d}{\mathbf{c}_p} \frac{\mathbf{p}'}{\mathbf{p}} \\ & \quad + e(\mathbf{u} \cos \alpha - \mathbf{v} \sin \alpha) + \frac{\mathbf{u}^2 + \mathbf{v}^2}{r_{earth}} + \mathbf{D}_w \end{aligned} \quad (4)$$

ここに, \mathbf{P}_0 は基準圧力, \mathbf{T}' は摂動温度 [K], \mathbf{R}_d は乾燥大気的气体定数, \mathbf{D}_w は鉛直拡散項である.

温度方程式:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \mathbf{T}}{\partial t} = -\mathbf{V} \cdot \nabla \mathbf{T} + \\ & \frac{1}{\rho \mathbf{c}_p} \left(\frac{\partial \mathbf{p}'}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla \mathbf{p}' - \rho_0 \mathbf{g} \mathbf{w} \right) + \frac{\mathbf{Q}}{\mathbf{c}_p} + \frac{\mathbf{T}_0}{\theta_0} \mathbf{D}_\theta \end{aligned} \quad (5)$$

潮流の数値計算は POM モデルで行った. POM は米国のプリンストン大学によって開発された海洋循環モデルであり, 広域な海洋循環や沿岸域の海流及び潮流の計算等に適用している⁽⁶⁾. 近年, そのモデルが一般公開されたことから, 多くの研究者によって使用されている.

POM の基礎方程式は, 連続の式と Navier-Stokes 方程式で, 次式で与えられる.

$$\frac{\partial \mathbf{D} \mathbf{U}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{D} \mathbf{V}}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad (6)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \mathbf{U} \mathbf{D}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{U}^2 \mathbf{D}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{U} \mathbf{V} \mathbf{D}}{\partial y} + \frac{\partial \mathbf{U} \omega}{\partial \sigma} - \mathbf{f} \mathbf{V} \mathbf{D} \\ & + \mathbf{g} \mathbf{D} \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\mathbf{g} \mathbf{D}^2}{\rho_0} \int_{\sigma}^0 \left[\frac{\partial \rho'}{\partial x} - \frac{\sigma'}{\mathbf{D}} \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial x} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' \\ & = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{\mathbf{K}_M}{\mathbf{D}} \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \sigma} \right] + \mathbf{F}_x \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \mathbf{V} \mathbf{D}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{U} \mathbf{V} \mathbf{D}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{V}^2 \mathbf{D}}{\partial y} + \frac{\partial \mathbf{V} \omega}{\partial \sigma} + \mathbf{f} \mathbf{U} \mathbf{D} \\ & + \mathbf{g} \mathbf{D} \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{\mathbf{g} \mathbf{D}^2}{\rho_0} \int_{\sigma}^0 \left[\frac{\partial \rho'}{\partial y} - \frac{\sigma'}{\mathbf{D}} \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial y} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' \\ & = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{\mathbf{K}_M}{\mathbf{D}} \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial \sigma} \right] + \mathbf{F}_y \end{aligned} \quad (8)$$

ここに, (\mathbf{U}, \mathbf{V}) は潮流の水平速度成分, ω は σ 面上の法線方向の速度成分である. \mathbf{D} は潮位を考慮した水深, \mathbf{f} はコリオリ係数, \mathbf{g} は重力の加速度, \mathbf{F}_x , \mathbf{F}_y は水平方向の粘性拡散係数, \mathbf{K}_M は海底の摩擦係数である.

波浪の数値計算の代表的モデルとして, WAM, SWAN 等がある. 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. ここでは沿岸域を対象とするため, SWAN で行った. 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⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾.

SWAN の基礎方程式は 2 次元の波浪作用密度スペクトル $\mathbf{N}(\sigma, \theta)$ に関する平衡方程式であり, 直交 2 次元 (x, y) 空間上では, 次式で表される.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{N} + \frac{\partial}{\partial x} (\mathbf{c}_x \mathbf{N}) + \frac{\partial}{\partial y} (\mathbf{c}_y \mathbf{N}) + \frac{\partial}{\partial \sigma} (\mathbf{c}_\sigma \mathbf{N}) \\ & + \frac{\partial}{\partial \theta} (\mathbf{c}_\theta \mathbf{N}) = \frac{\mathbf{S}(\sigma, \theta)}{\sigma} \end{aligned} \quad (9)$$

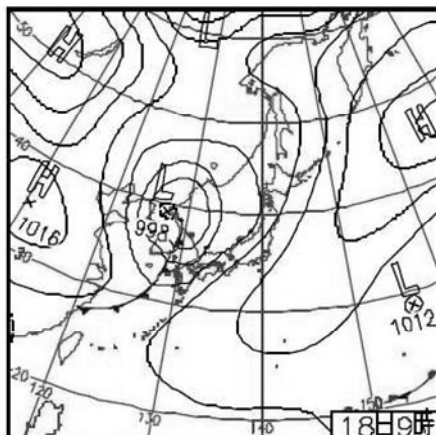
ここに, \mathbf{c}_x , \mathbf{c}_y , \mathbf{c}_σ , \mathbf{c}_θ はそれぞれ実空間 x , y 及びスペクトル空間 σ , θ 上での伝搬速度である. 各成分波の位相速度 \mathbf{c} と群速度 \mathbf{c}_g , 定常流流速ベクトル $\mathbf{U} = (\mathbf{U}, \mathbf{V})$, 波数ベクトル $\mathbf{\kappa} = (\mathbf{k}_x, \mathbf{k}_y)$ である. 右辺の $\mathbf{S}(\sigma, \theta)$ はこのシステムの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, 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の和であらわされる.

3. 数値計算条件と計算結果

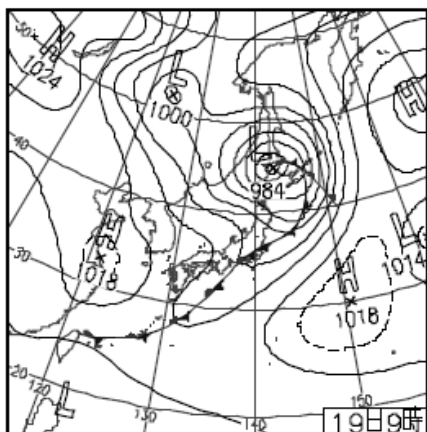
本研究では, 大阪湾を計算対象に, 海上風, 潮流及び波浪の数値計算を行った. 計算時間は発達した低気圧が日本海を通過した 2005 年 5 月 18 日 03 時から 5 月 19 日 15 時までの 36 時間とした.

計算期間中の天気図を Fig.1 に示す. (a) 図の 5 月 18 日に日本海に発達した低気圧があり, 温暖前線と寒冷前線の間に位置する西日本には南寄りの風が強吹した. (b) 図の日本海を低気圧が通過後の 5 月 19 日では弱い北寄りの風が吹いた.

今回用いた風の計算領域に, 西日本全域を覆う親領域とその内部の大阪湾を含む小領域の二つの計算領域を設定した. 親領域の水平解像度が $3\text{km} \times 3\text{km}$ で 198×198 の格子数, 小領域の水平解像度が $1\text{km} \times 1\text{km}$ で 120×120 の格子数である. 鉛直方向に 23 層を設定した. 計算は 2way ネスティングの方法により, 親領域の計算結果をタイムステップ 9 秒で小領域に与え, また逆に小領域でのタイムステップ 3 秒で計算した結果を親領域にフィードバック



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

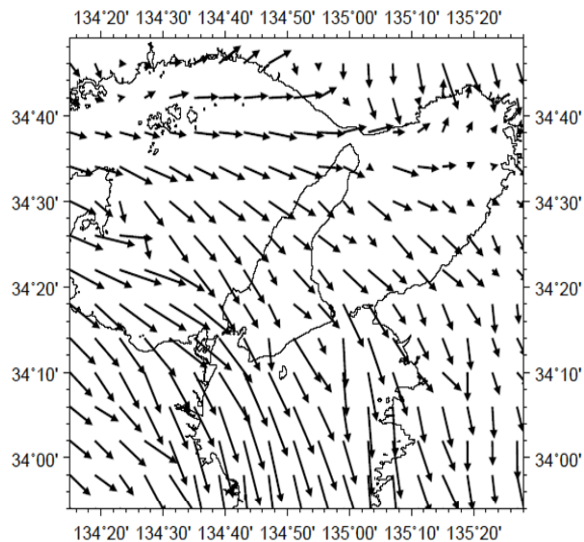


(b) At 09:00, May 19, 2005

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

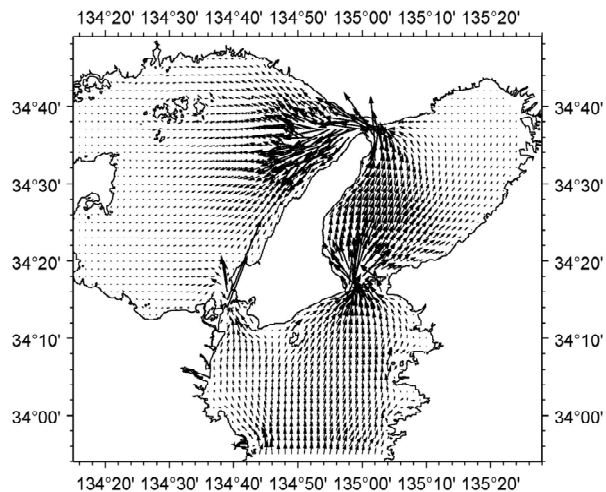
クしている。

親領域の初期・境界条件に、大気データは気象庁発行のメソ客観解析データ (MANAL, 6 時間間隔, 10km 格子, 20 層), 海水温度は米国国立環境予報センターの全球客観解析データ (NCEP, $1^\circ \times 1^\circ$, 1 日 4 回, 00Z, 06Z, 12Z, 18Z) を用いた。地表面の標高データは米国地質調査所 USGS が提供するデータを用いた。

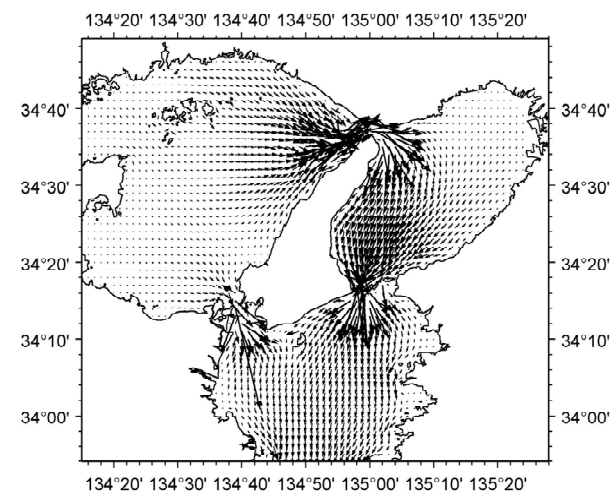


(b) At 09:00, May 19, 2005

Fig.2 Numerical wind in Osaka Bay by MMS

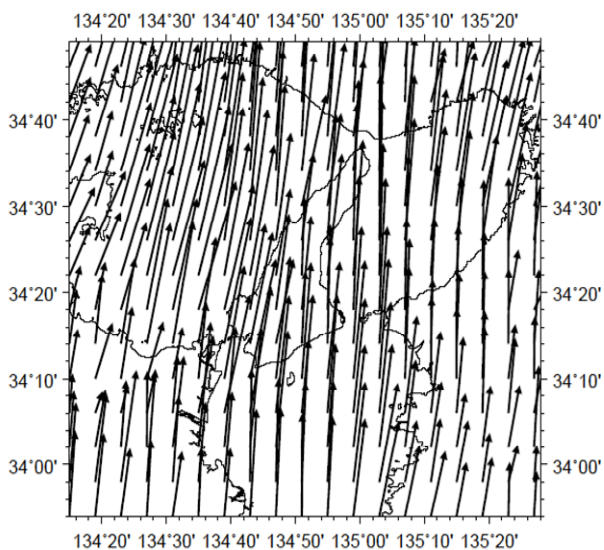


(a) Flood tide



(b) Ebb tide

Fig.3 Simulated tidal velocity vector in Osaka Bay



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

Fig.2 に MMS により数値計算された大阪湾における海上風の分布例を示す。(a) 図は Fig. 1 (a) の天気図に相当した気象状況で、計

算開始から 13 時間後の 2005 年 5 月 18 日 16 時の海上風の様子を示す。日本海を発達した低気圧が通過し、天気図に示す温暖前線と寒冷前線の間に挟まれた大阪湾では、暖域に向かって強い南風が吹いている。予測された平均風速は 21.3kn, 平均風向は 189° である。(b)図は Fig. 1 (b)の天気図に相当し、計算開始から 30 時間後の 2005 年 5 月 19 日 9 時の海上風の様子を示す。寒冷前線通過後に北西風が吹き、予測された平均風速は 7.9kn, 平均風向は 314° である。

POM による大阪湾内の潮流の数値計算を行った。格子生成に必要なデータに、水深データは日本海洋データセンター(JODC)の日本周辺 500m メッシュ海底地形データ、海岸線の地形データは米国国家地理データセンター(NGDC)の地形データを使用した。これらのデータを格子生成用フリーソフト GMT(Generic Mapping Tools)に入力し生成した。本研究のように最適航海に必要な潮流計算では、湾全体の流れの大勢が得られ、海況や環境問題を対象とした局所的な渦や乱れ等の詳細な微小流れを必要としない。したがって、x-y 面の水平方向の格子は物体適合座標でなく、一定間隔格子のレギュラー格子を用いた。z 方向は水深が場所により変化するため、 σ 座標を採用したので、格子は不等間隔格子である。

格子数は x, y, z 方向に 293, 221, 10, 格子間隔は水平の x, y 方向に一定間隔の角度表示で 0.25 分 (約 463m), z 方向は不等間隔である。計算領域の境界条件は、開境界で簡単のため M_2 潮の潮位を入力、海岸線で no-slip 条件を課した。計算のタイムステップは 60sec, 計算時間は M_2 潮の約 5 周期分を計算した。

Fig.3 は計算海域全体の潮流の流速ベクトルを示す。(a)図は上げ潮、(b)図は下げ潮時である。上げ潮時は友島水道を大阪湾に、また鳴門海峡を播磨灘に潮流が流入し、明石海峡は西流、下げ潮時はそれぞれ逆の流れとなり、 M_2 潮の周期に応じて転流している。大阪に面する沿岸の浅瀬で流れはほとんど小さい。POM を用いた大阪湾全体の潮流シミュレーションの計算結果を観測結果から求めた M_2 潮と比較すると、潮流、潮汐の計算が十分な精度で再現できることが解った。

SWAN を用いた大阪湾の波浪の数値シミュレーションを行った。計算海域内の水深の計算格子間隔は $\Delta x = \Delta y = 50m$, 格子数は 1270×1270 であるが、波浪計算では、このような詳細な解像度は必要でなく、格子間隔を $\Delta x = \Delta y = 1007.9m$, 格子数 64×64 とした。

Fig.4 に MMS モデルによる風の数値シミュレーションから得られた大阪湾の波浪の数値シミュレーション結果を示す。(a)図は

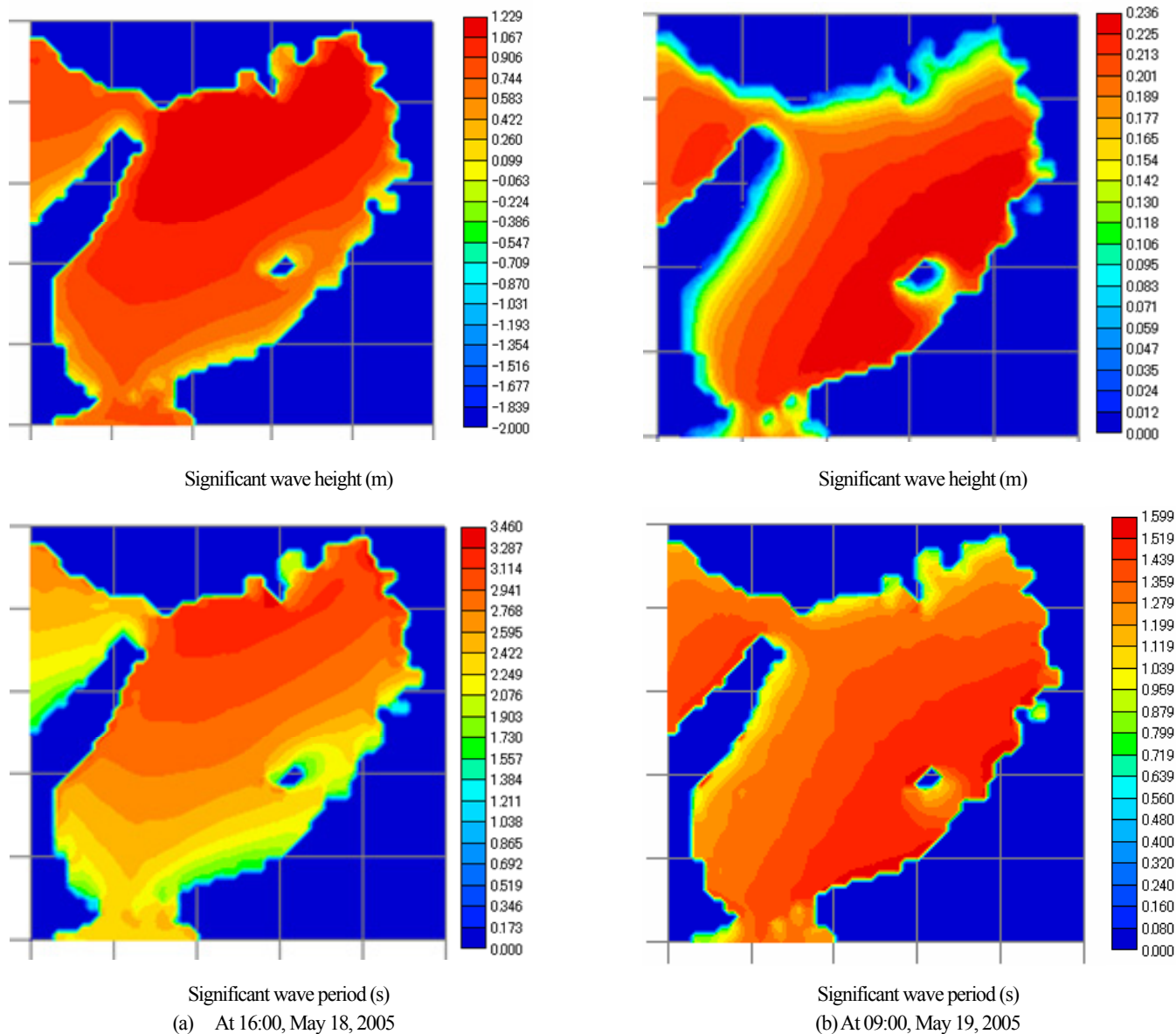


Fig.4 Simulated ocean waves in Osaka Bay

Fig.2(a), (b)図は Fig.2(b)で示す風場の平均風向, 風速の風が一定に吹いた時に大阪湾で十分発達した波である. それぞれ上図は有義波高, 下図は有義波周期を示す. (a)図では, 大阪湾に吹く南風により, 湾奥に向かって次第に有義波高が高くなり, 最大約 1.3m, 有義波周期が 3.5s に成長している. (b)図では, 北西の風により, 吹送距離が長くなる湾内の南東海域に高波高域が見られる.

大阪湾内の波浪観測地点は少なく, シミュレーションと現地観測結果との厳密な比較は容易でないが, 気象条件から波浪を比較すると, 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.

以上, 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.

4. 数値ナビゲーション

航行船舶は絶えず気象・海象に支配され, 設定航路からの横流れや速度変化が生じる. 気象・海象の影響を考慮した正確な船位予測はウエザールーチングシステムの構築に極めて重要であり, また, 横流れ量が最小になる航路上に沿った正確な航法も可能である. 本研究では, 船位の予測手法として, 船舶工学分野で一般に利用されている操縦運動数学モデル(MMG)を適用した⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾.

船の操縦性能を論じる場合, MMG では船体と共に移動する船体固定座標系での記述が好都合であり, 船体運動方程式を空間固定座標系から船体固定座標系 x, y, z に変換して作成する.

$$\left. \begin{aligned} (m + m_x) \dot{u} - (m + m_y) vr &= X \\ (m + m_y) \dot{v} + (m + m_x) ur &= Y \\ (I_{zz} + J_{zz}) \dot{r} &= N \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

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, r は旋回運動の角速度である.

(9)式右辺の船に働く力 X, Y およびモーメント N を船体に働く力, プロペラ, 舵, スラスタが発生する力, 風波, その他の外力による力に分けると次式で表される.

$$\left. \begin{aligned} X &= X_H + X_P + X_R + X_T + X_A + X_W + X_E \\ Y &= Y_H + Y_P + Y_R + Y_T + Y_A + Y_W + Y_E \\ N &= N_H + N_P + N_R + N_T + N_A + N_W + N_E \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

ここに, H, P, R, T, A, W, E は船体(Hull), プロペラ(Propeller), 舵(Rudder), スラスタ(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, 船体に働く流体力を計算した. 風圧力は船体水線上側面投影面積, 風圧力係数等を用いて計算した. 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⁽¹²⁾.

本研究では, 数値ナビゲーションの供試船として, 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⁽¹³⁾. Table 1 に深江丸の主要項目を示す. 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.

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.5 に発達した低気圧が日本海を通過し(Fig.1(a)), 大阪湾に強い南風が吹き(Fig.2(a)), 波浪が発達した波浪場(Fig.4(a))と潮流場(Fig.3)の数値

Table 1 Principal properties of Fukamaru

item	
L. O. A. (m)	49.95
L. P. P. (m)	45
B. Mld. (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

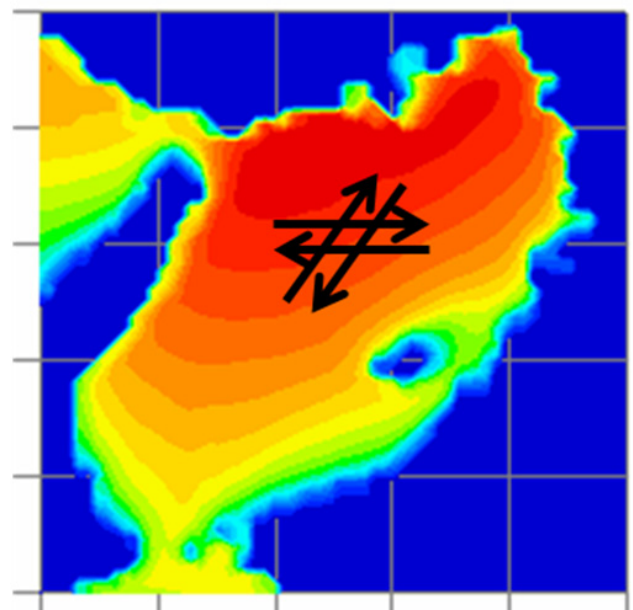


Fig.5 Virtual rout in numerical navigation

シミュレーションの中を, 供試船深江丸が航海する 4 種類の仮想航路を示す. 深江丸の真針路は $045^\circ, 225^\circ, 090^\circ$ 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, 潮流は上げ潮(北流)で 0.5m/s (約 1 ノット) である.

Fig.6 に数値計算された気象・海象下で, MMG 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航行海域中の緯度, 経度である. 図中の実船は設定仮想航路であり, 気象・海象の影響がない場合, 供試船はこの線上を航行する. 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. 波と船首方位との相対関係から, (a)図は追い波, (b)図は向かい波中の航行である. 潮流, 風及び波浪の強さ, 船首方位との相対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. 二番目の影響は波浪であり, 風の影響が最も小さい. 風, 波浪及び潮流の全てを考慮した航海への影響について, 実船実験の検証が今後の課題であるが, 本研究で構築した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. 結言

数値計算から得られた気象・海象の影響下の航海シミュレーションを数値ナビゲーションと称し、航行船舶の船位の計算を気象・海象の船体を与える流体力の理論的推定法である船舶操縦性理論のMMGを用い計算した。

シミュレーション結果によると、海上風、潮流及び波浪の航行船舶への影響を十分表現でき、精度の高い船位予測が可能になることが解った。今後、数値ナビゲーションの検証として、実船を用いた実証実験を行う所存である。

本研究は、平成 20 年度に文部科学省から採択された運営費交付金特別教育研究推進「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」により実施された。

参考文献

- (1) James, R. W., "Application of Wave Forecasts to Marine Navigation," U. S. Naval Oceanographic Office, SP-1, (19), p.
- (2) ウェザー・ルーチング研究グループ, "ウェザー・ルーチング—気象情報に基づく最適航法—," 成山堂, (1992), p.
- (3) 夏, 塩谷, 小林, 若林, "リアルタイム気象海象データを考
- (4) Reisner, J., Rasmussen, R.M., Brijntjes, R.T., "Explicit Forecasting of Supercooled Liquid Water in Winter Storms Using the MM5 Mesoscale Model," Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 124B(1998), pp.1071-1107.
- (5) Jimmy D., Dave G, et al., "PSU/NCAR Mesoscale Modeling System, Tutorial Class Notes and Users' Guide, MM5 Modeling System Version 3," [http:// www.mmm. ucar. edu/ mm5/ mm5-home.html/](http://www.mmm.ucar.edu/mm5/mm5-home.html/), (2005).
- (6) George L. and Mellor, 2004, "Users' Guide for a Three-Dimensional, Primitive Equation, Numerical Ocean Model," [http://www.aos. princeton. edu /WWWPUBLIC/ htdocs.pom.](http://www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/htdocs.pom.), (2004), p.56.
- (7) 小林, "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).
- (8) WAMDI Group, "The WAM model – A Third Generation Ocean

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, "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, 243(2005), pp.159-166.

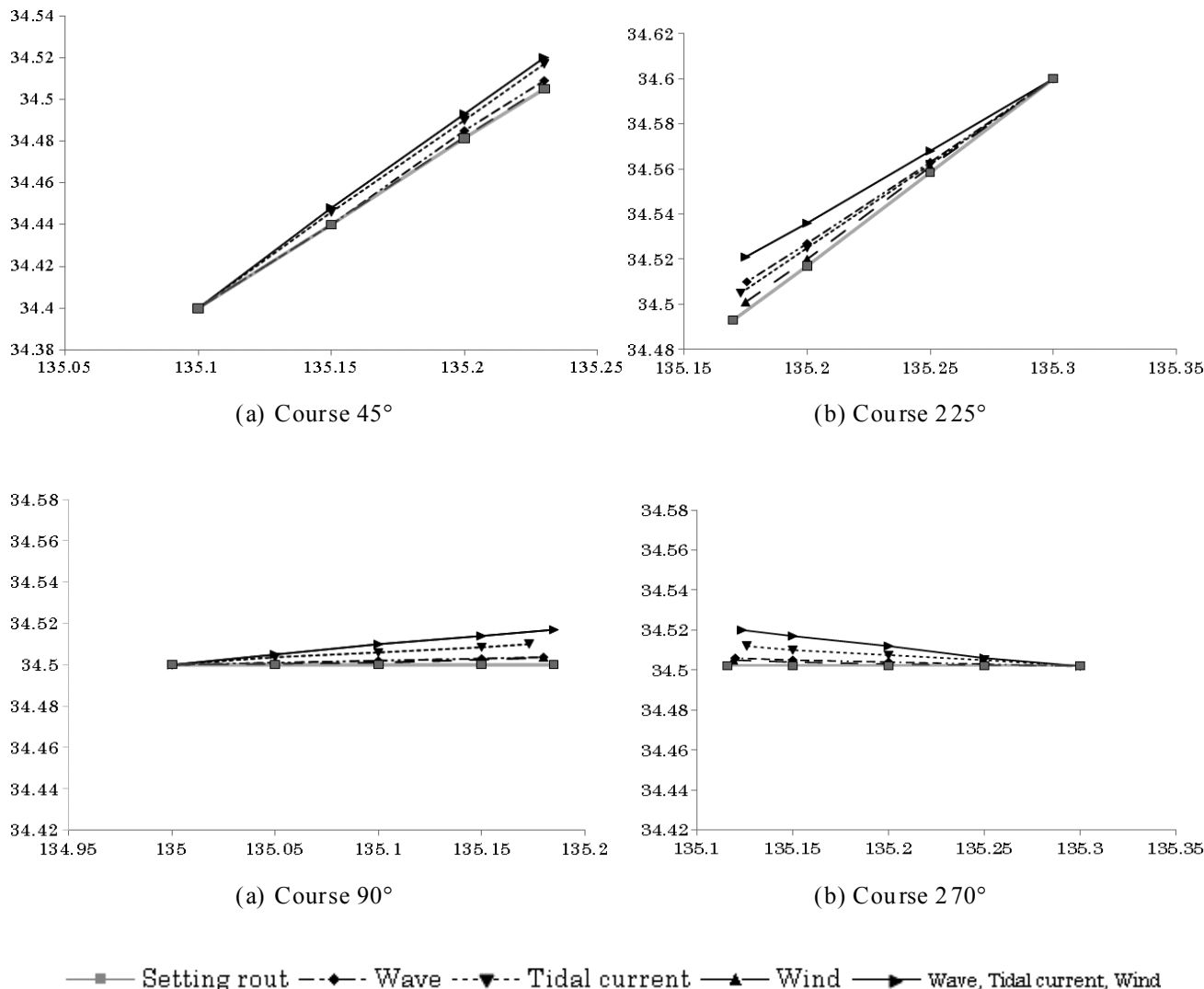


Fig.6 Numerical simulation of navigation by Fukamaru in Osaka Bay

- Wave Prediction Model,” Journal of Physical Oceanography, No. 18(1988), pp.1775-1810.
- (9) 小林, 座波, 安田, “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, 50(2003), pp.181-185.
 - (10) 小川, “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, (1981), pp.9-26.
 - (11) 小瀬, 湯室, 吉村, “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, (1981), pp.28-81.
 - (12) RIOS グループ, “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/>, (2008)
 - (13) Haibo X, Shigeaki S., Eiichi K. and Nobukazu W., “Estimation of Ship’s Course for Sailing on Route by Navigation Simulation in Coastal Water,” Journal of Japan Institute of Navigation, 115(2006), pp.51-57.