海上風と潮流の数値予測を考慮した 航海シミュレーション

塩谷 茂明*・陳 瀚**・大澤 輝夫***・小林 英一***

Navigation Simulation Using Numerical Simulation of Winds and Tidal Currents

Shigeaki SHIOTANI, Han CHEN,

Teruo OHSAWA and Eiichi KOBAYASHI

Abstract

In the ships navigation, there are always facing various Atmospheric and Oceanographic phenomenon. As the results, the deviation of ship's route or the ship's speed will also come under the influences. In certain circumstances, these phenomena cause the risk of the shipwreck. Therefore, the meteorological and the oceanographic information become more important to obtain before departing of a ship. In this research, the wind on the ocean was calculated by numerical model of MM5, and the tidal current was calculated by the numerical model of POM by considering the effect of the wind. In latter parts of the research, the numerical simulation of navigation in the bay was carried out.

The effects of the wind and the tidal current to navigation by a small vessel were examined numerically. As results, it was recognized that effects of the wind and the tidal current with the wind to navigation are very large, and these simulation by MM5 and POM for the weather routing of a small vessel is very effective.

Keywords : Numerical navigation, POM model, MM5 model, Weather routing

キーワード : 数値ナビゲーション、POMモデル、MM5モデル、ウエザールーティング

1. はじめに

船舶は運航中に、常に気象・海象の影響下にあり、計画航路からの偏位や速力の低下に遭遇する。特に荒天中では、海難発生に遭遇することもあり得る。したがって、事前に気象・海象を如何に把握するかが重要になる。また、今後予想される石油枯渇による燃料費高騰や石油代替の高価格動力源の導入などの要因から、状況次第で経済的効果の要求度が高まることが予想される。さらに、若年層の人口減に伴う人材不足から船員の高齢化が進み、乗組員の安全対策面からも、沿岸海域航行船舶の最適航法の研究

が今後注目されると考えられる。

本研究では、最終目標である最適航法研究の一環として、沿岸および湾内の航行中の船舶に対する気象・海象下の航海シミュレーションに関して調査する。これまでの研究では、気象・海象の中で海上風及び潮流の数値計算を個別に行い、それぞれの航行船舶への影響を調査した⁽¹⁾。本研究では、海上風が水面付近の潮流に影響することから、風と潮流を連成させて数値計算を行った。これらの気象・海象の中で模擬船舶を航行させた時の航行船舶の船位の予測を行い、風及び潮流の航行船舶への影響を調査し

*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 5-1-1) shiotani@maritime.kobe-u.co.jp

非会員 神戸大学大学院海事科学研究科 *正会員 神戸大学大学院海事科学研究科

た。その結果、風と潮流の連成計算が有効であることがわかったので、報告する。

2. 気象・海象の数値シミュレーション

2.1 風の数値計算

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。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る、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。本研究では、大阪湾を計算対象に、MM5 を用いた海上風の数値計算を行った。

(a) 09:00, Sept. 6, 2004

(b) 09:00, Sept. 8, 2004

Fig.1 Weather chart

Fig.1 に 2004 年 9 月 6 日に発達した強い台風 18 号が九州に接近、7 日に九州北部に上陸し、日本海を通過後温帯低気圧に変化した時の天気図を示す。天気図から大阪湾には九州上陸時に東よりの風、大阪湾に最接近時に南寄りの風、通過後南西の風が吹き、その後温帯低気圧に変化し、気圧配置から弱い北東寄りの風に変化している。

(a) In arriving of the typhoon

(b) In passing of the typhoon

Fig.2 Numerical wind in Osaka Bay by MM5

Fig.2 に大阪湾における海上風の MM5 による数値計算結果を示す。(a)図は台風が日本海の九州北部を東北東に進行時、(b)図は大阪湾に最接近時の大阪湾の海上風である。大阪湾には南寄りの強風が吹いた。

Fig.3 に海上風の数値計算結果の検証のため、明石の観測地における実測データと数値計算結果との比

較を示す。(a)図は観測結果、(b)図は数値計算結果を示す。横軸は時間、縦軸は風速、ベクトル表示は横軸が東西、縦軸が南北と一致し風向を、長さは風速を示す。局所的には両者に差が見みられるが、台風通過時の時系列の比較から、MM5 によるシミュレーション結果は概ね観測と一致しているため、本計算モデルによる数値計算により、海上風の数値予測が可能である。

(a) Observation

(b) Numerical calculation

Fig.3 Comparison of observed and calculated time series of wind in Akashi

2.2 潮流の数値計算

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、広域な海洋循環や沖合の沿岸域の海流及び潮流の計算等に適している。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。

これまでの研究では、風と潮流の数値シミュレーションは個別に実施したが、本研究では風の影響を考慮した潮流の数値シミュレーションが目的であり、MM5 により計算した海上風の計算結果を逐次 POM に入力して潮流の計算を行った。潮流に海上風による海面付近の吹送流が加わるため、より一層現実的な潮流の再現が可能となる。

計算領域は海上風の数値計算と同様に大阪湾を選定した。潮流の数値計算に必要な初期計算データとして、大阪湾の水深データには、海上保安庁水路部発刊

のデータに基づき、格子間隔が東西、南北方向に 450 m×450m、格子数が340×220の格子を生成した。Z方向の格子数は5層、 σ 座標を使用のため最上層の格子間隔は5mである。境界条件には瀬戸内海の高松及び太平洋側の小松観測点で得られた台風接近時の海上

(a) Takamatsu

(b) komatsu

Fig.4 Time series of tidal elevation on boundary condition of calculated region

(a) Flood

(b) Ebb

Fig.5 Vector distribution of tidal current in Osaka Bay

Fig.6 Vector distribution of tidal current considering wind on the sea in Osaka Bay

Fig.7 Comparison of Time series of observed and simulated tidal elevations

風の計算とおよそ同じ 2004 年 9 月 4 日 00 時から 2004 年 9 月 9 日 00 時までの 120 時間の観測の水位データを設定した。Fig.4 に境界条件である二地点の観測水位の時系列を示す。境界条件にこれらの潮位変動を課し、初期条件は計算領域内の潮位及び潮流の流速成分を 0 に設定した。

Fig.5 に海上風を考慮しない場合の上げ潮(a)及び下げ潮(b)時の大阪湾の潮流の流速ベクトル分布を

示す。明石海峡、鳴門海峡及び友ヶ島水道の狭隘部で潮流が強くなっている。

Fig.6 に海上風を考慮した潮流の数値計算結果を示す。(a)及び(b)とも Fig.5 の図と同時刻に対応している。海上風を考慮することにより、台風通過時に強い南風が大阪湾に連吹したことから海面近傍の表層流に吹送流が加わり、流れがわずかに強まり、風が起因の北向きの流れが表れている。

POM による潮流の数値計算の検証に、和歌山及び洲本における潮位の観測データと数値計算結果を比較した。

Fig.7 に和歌山及び洲本における観測及び数値計

Table 1 Principal properties of Fukaemaru

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

算結果による潮位の時系列を示す。両者を比較すると、和歌山ではほとんど定性、定量的にほとんど一致している。洲本では、潮位変動は定性的に一致するが、高潮時に定量的に両者に僅かな差が見られる。以上の結果から、航海シミュレーションが目的の POM による潮位の予測は概ね良好であることが分かった。

3. 航海シミュレーション

大阪湾内の海上風及び潮流の数値計算結果に基づき、これら気象・海象の状況下で模擬船舶を航行する航海シミュレーションから、気象・海象が航行船舶に与える影響の数値シミュレーション予測を行った。

ウェザールーチングにおいて、航行船舶の正確な船位の確定は、気象・海象の影響による船舶の横流れや船速低下あるいは増加等の予測から推定するため、極めて重要である。気象・海象の船体に与える流体力の理論的推定法に、通常よく利用されている船舶操縦性理論である MMG を、ここでは用いた。MMG は日本造船学会試験水槽委員会第 2 部会の下に「操縦運動の数学モデル検討グループ（略称 MMG）」により、船の操縦運動を運動方程式に基づいて流体力学的に計算するための数学モデルである。航海シミュレーションは模擬船舶に神戸大学海事科学研究科付属練習船「深江丸」を用いて実施した。深江丸の主要項目を Table. 1 に、Fig. 8 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。

航海シミュレーションは大阪湾南部の友ヶ島の北の経度 135° 、緯度 $34^{\circ} 20'$ から、針路 30° 、船速を 9 ノットに設定した。航海中の 5 分間は気象・海象及び船舶の設定は変わらないとして 5 分ごとに計算し、深江丸を 1 時間航走した。台風が日本海を通過時に大阪湾に強い南風が吹き、船舶周辺の潮流は流向が南流、流速が 0.5 ノットの時に出航した。

Fig. 9 に設定航路及び風を考慮しない場合と考慮した場合の潮流場の航海シミュレーションの航跡を示す。実線が設定航路、点線がシミュレーション結果による航跡を示す。これまでの研究で気象・海象で最も影響が強い潮流は大阪湾内の中央部で微小であるため、潮流の影響が小さく、船舶船位の偏位量が僅かで微小である。図示するとほとんど差が見られないために、左図の小さな矩形内部を矢印で拡大した図を右図に部分的に表示した。(a) 図は風のみシミュレーション結果で、横流れ量は北に角度にし

て $0^{\circ} 41' 08''$ 、航程差は 0.0063 km 短い。(b) 図は風を考慮した潮流のみのシミュレーション結果で横流れ量は北に $0^{\circ} 29' 22''$ 偏位し、航程差は 0.2405 km 長い。(c) 図は風と風を考慮した潮流を合算したシミュレーション結果で、横流れ量は北に $1^{\circ} 06' 42''$ 偏位し、航程差は 0.2564 km 長い。(d) 図は風と風を考慮しない潮流とのシミュレーション結果で、横流れ量は北に $0^{\circ} 26' 76''$ 偏位し、航程差は 0.1294 km 長い。

以上の航海シミュレーションから、南風の影響により船舶は北に偏し(a)、弱い南向きの潮流が強い風の影響により微少な北寄りの吹送流となって船舶に小さな北向きの変位量を与えている(b)。風及び風の影響を受けた僅かな北向きの潮流が重複し船舶は北寄りに大きく偏し(c)、風の影響と風を考慮しない南向きの潮流とが干渉し、船舶に微少な北寄り変位を与えている。このように、風を考慮した潮流の場合、風の強弱及び風向と、潮流の速度及び流向との相乗及び相反効果により、船舶の変位量が異なり、速力変化にも影響することがわかった。

4. 結論

本研究では、気象・海象である潮流・風の数値予測及び潮流・風を考慮した航海シミュレーションを行い、航行船舶の変位量及び船速影響について、詳細に検討した。本研究で得られた主要な結論は以下の通りである。

(1) MM5 による海上風のシミュレーションと観測値との比較から、2004 年 9 月に上陸した台風 18 号が大阪湾周辺を通過した様子を十分再現することができた。MM5 による沿岸海域の海上風の風向及び風速が概ね十分な精度で予測できることが明らかになった。

(2) 計算領域の境界条件に従来の研究では M_2 潮の潮位を課していたが、現地の観測潮位の入力で、POM による現実的な潮流の数値シミュレーションが可能となった。

(3) 従来の研究では、潮流及び風の数値シミュレーションは個別に実施していた。MM5 で計算した風のデータを POM に挿入することで、風の影響を考慮した潮流の数値シミュレーションが可能となった。

(4) 航海シミュレーションを行った結果、風を考慮した潮流が航行船舶の変位量及び速度変化に影響することを確認した。

本研究の航海シミュレーションでは、気象・海象の中で、潮流及び風が対象であった。今後の展望として、風により生成される波浪の数値予測もこれら

(a) Wind

(b) Tidal current with wind

(c) Tidal current with wind and wind

(d) Tidal current without wind and wind

Fig. 9 Navigational simulation in numerical tidal current and wind

と組み合わせることにより、より正確かつ高度な気象・海象情報の提供による数値航海シミュレーションを実施の予定である。

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・ルーティングに関する研究、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一、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）：

ここで言う風の影響とは、風による吹走流でしょうか？それとも船体そのものに対する風圧でしょうか？又は両方が考慮されているのでしょうか。？とすると、それぞれの計算過程にどのように入力されているのでしょうか。

塩谷茂明：

ご討論ありがとうございます。

風の影響を考慮した潮流とは、潮流の計算時に風のデータを入力するため、吹走流が加わったものになります。MMG で船位の予測計算をする場合、風そのもの、風を考慮した潮流をデータとして入力して計算していますので、両方考慮した計算となっています。

五十嵐耕（海上保安庁）：

沿岸部における最適航法研究を目的とされていますが、本シミュレーションにおいて、「沿岸部」という条件をどのように取り扱っているのか、あるいはどのように取り込んでいく考えなのかを、ご教示願います。

塩谷茂明：

ご討論ありがとうございます。

沿岸部として、湾内、瀬戸内海及び太平洋沿岸域など陸地に近い海域を対象と考えています。潮流の場合は、水深や陸地の境界条件などが関係します。風の場合も陸地と海上との境界条件などに関係します。さらに、波浪の場合は浅水影響や陸地の境界条件等を考慮します。従いまして、大洋中でなく、陸地に近く、潮流、風及び波浪が陸地や浅瀬によって複雑に変化する状況も考慮したいと考えています。

堀晶彦（海技大学校）：

潮流の流向と風向の関係により波が大きくなる事があるが、そのような予測は可能でしょうか。

塩谷茂明：

ご討論ありがとうございます。

数値計算として、複雑な現象であるため、難しい問題と思います。我々の研究では、波浪予測は SWAN モデルを用いて実施しています。確か、こ

のモデルは計算の中にオプションとして含まれていると思いますが、実際の計算は現在残念ながら実施していません。今後検討したいと考えています。