

神戸大学工学部 学生会員 ○黒澤 賢太

神戸大学大学院工学研究 正会員 内山 雄介

1. 研究背景及び目的

近年、船舶から排出される温室効果ガスの削減に向けた燃料消費効率の向上が強く求められており、そのための技術として海流などの海象気象情報を有効利用するウェザールーティング（以下、WR と呼称）に大きな期待が寄せられている。WR では専門機関が公表する海象気象予報データを利用することを前提としている。しかしながら、例えば瀬戸内海などに見られる狭い海域や水路を通過する内航船航路では、微細な地形の影響を受けて時々刻々と変化する潮流が流れに対して支配的になるため、上記の公表データでは時空間的解像度が不十分な場合がある。そこで本研究では、WR のための新しい航路選定アルゴリズムを開発し、いくつかの事例に適用してその有用性を検証するとともに、航行中の船舶上で海況予報を行うための軽量の WR 用海洋モデルを構築し、その妥当性について検討した。

2. 最適航路評価法

本研究では、グラフ探索アルゴリズムの一つである Dijkstra 法を一般化した A*法をベースにルーティング計算モデルを開発した。A*法では、目的地までの期待値であるヒューリスティック関数 h を導入することで大規模なノード・リンク構造を持つ海洋での経路探索を実用的な計算時間で行うことができる。通常の A*法では h として単にユークリッド距離を用いて最短経路を探索するが、本研究ではさらに地球の球面効果と船舶の速度に影響を

与える海流の効果を h に組み入れた。その結果、本 WR システムでは、出発地と目的地の 2 点間の最短距離経路、エンジン開度を一定として求める最短時間経路、海流に対する相対船速を一定として求める最小燃費経路の 3 通りの経路を探索することが可能となった。

3. 外航船航路への適用

まず、開発した WR システムを東京・沖縄間の外航船航路に適用し、日本列島の太平洋沿岸を北上する黒潮による経路選択への効果を考慮した 3 通りの最適航路選択法について解析を行った（図-1）。最短距離経路は、陸地を避けながら出発地と目的地を結ぶ単純な最短距離経路となるため、ほぼ直線的になっている。最短時間経路は、最短距離経路に比べると順方向の黒潮を多く利用しており、移動時間は約 4 時間短縮された。最小燃費経路は、九州南岸沖から遠州灘に至るまでの長距離にわたって黒潮を利用した航路となり、燃費は 17.6%向上するという結果になった。

4. 潮流を考慮した内航船経路探索

航海中の船舶上で簡易に実行することを目標に、軽量化した WR 用のコンパクト海洋モデルを構築し、瀬戸内海航路に適用した。JCOPE2（水平解像度約 10 km）にネストさせた ROMS を用いて、瀬戸内海全域を水平格子 2 km、鉛直 20 層の粗い格子で表現し、計算条件を一部簡素化することにより、1 日分の海流予測が市販のノートパソコンを使って約 4 分で完了するように設計した。

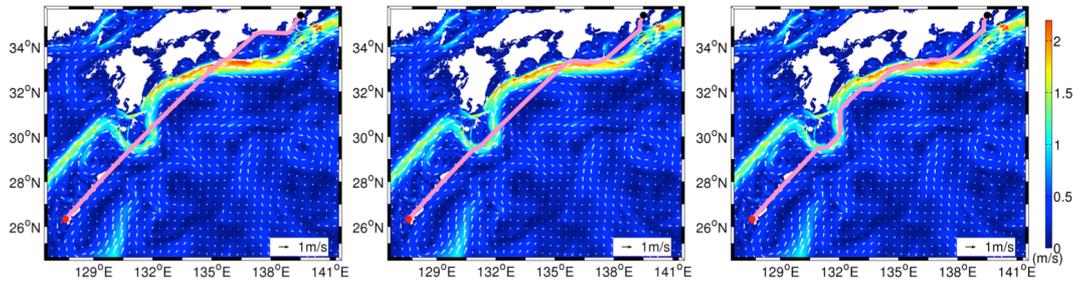


図-1 沖縄から東京へ向かう外航船航路への適用例（左から最短距離，最短時間，最小燃費法による）

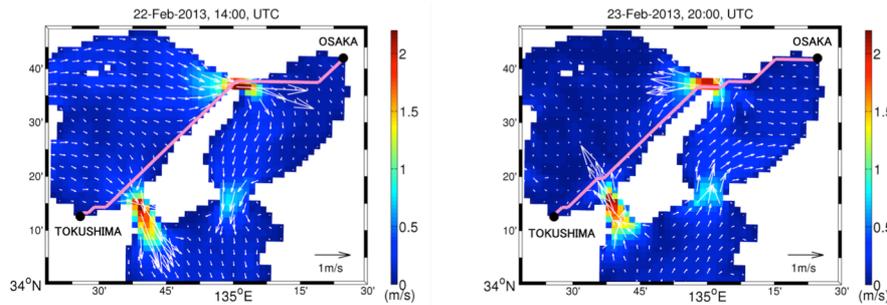


図-2 大阪から徳島へ向かう内航船航路への適用例．左：12 時出航・14 時における表層流速分布，右：18 時出航・20 時の状況．マゼンタ線は最短時間経路，矢印は 1 時間平均表層流ベクトル．

コンパクト海洋モデルと WR を統合した経路評価の一例として，大阪から徳島に向かう瀬戸内海における内航船航路を取り上げる．ここでは最短時間経路法を用い，海況予報計算結果に基づき 1 時間毎のリルーティングを用いて探査を行った．2013 年 2 月 22 日 12 時 (UTC) および同日 18 時に大阪を出航した場合の経路を見ると (図-2)，航路，移動距離，移動時間はほぼ変わらないが，18 時出航の場合に燃料消費効率が 15.4% も向上するという結果を得た．12 時，18 時に出航した船がそれぞれ明石海峡を通過する 14 時，20 時における表層流速の一時間平均値の分布 (図-2) から，12 時出航の船が明石海峡付近を通過する時には進行方向に対して逆向きの潮流が，また，燃費が向上した 18 時出航のケースでは海峡通過時に進行方向と同方向の潮流が形成されていることが分かる．さらに，燃料消費効率と出航時刻の関係と，明石海峡における流速の時間変化を見ると (図-3)，両者は 2 時間程度の位相差を保持しながらほぼ

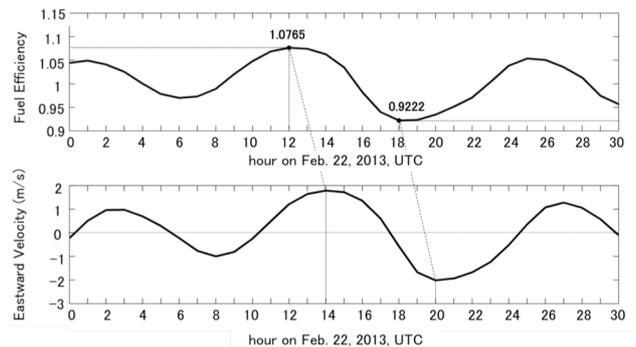


図-3 燃料消費効率と出航時刻 (12 時および 18 時) の関係 (上)，明石海峡における東向き流速の時間変化 (下)．

同様に変動している．つまり，明石海峡通過時の潮流を効率的に利用することで燃料消費効率が向上したことが分かる．

詳細な潮流予報によって航路選択結果に大きな差が出るため，コンパクト海洋モデルの WR との統合は船舶の最適航路探査に対する一つの方向性を示しているといえる．

参考文献

- 1) 内山・多田 (2015)，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，71:2，I_383-I_388．