

海流予測値と船舶での海流観測値との比較検討

加納 敏幸*・宮澤 泰正**、伊勢谷 沙織***・山崎 英津子****

A Study of Forecast Current Data and Observed Data By Coastal Vessels

Toshiyuki KANO, Yasumasa MIYAZAWA,

Saori ISEYA and Etsuko YAMAZAKI

Abstract

The National Maritime Research Institute has conducted the research and development on "the environmental friendly shipping support system for coastal vessels" supported by NEDO using actual cement tanker and RORO ship cooperate with ship's owners. The present study describes a practical methodology on the ship's log speed estimated by analyzing accumulated actual navigation data of coastal vessels. The estimated values are checked by the relative velocity with respect to water derived from propeller analysis using measured torque of propeller shaft. Comparison of the ship drift and numerical forecast of the surface current suggests that use of higher spatial-temporal resolution in forecasting improves the forecast skill.

Keywords : Ship's log speed, Drift, numerical ocean forecasting

キーワード: , 対水船速、ドリフト、数値海流予測

1. はじめに

地球的規模での温暖化ガス対策への要請が高まる中、船舶についても環境負荷低減が強く求められている。これに呼応して、近年、海流等自然環境に適応した省エネ航海に対する関心が高い。優れた航海計画の立案に当たって航路上において遭遇するであろう気象・海象の予測情報は、基本的且つ重要な情報である。風・波浪に関する予測情報は、これまでの気象関係機関による予測モデルの高度化・高精度化が進められ、2、3日の短期の予報情報は、一定の信頼性をえて航海計画に取り込むことが可能となってきた。

海流については、これまで気象庁・海上保安庁等から月・週毎に概況図が提供され航海に参照されて

きたが、より短い時間間隔で、きめ細かい海流情報が提供されれば、より効果的な航海計画の作成が期待できる。このような状況のなかで、海洋研究開発機構（JAMSTEC）で開発された海流予測システム（JCOPE）から1週間ないしは1日に一度の間隔で詳細な海流予測データが入手できるようになっており運航に活用されることが期待できる。海上技術安全研究所は、日本気象協会、東京海洋大学の協力を得て、平成18年度から20年度まで、NEDOの先導研究により海流予測データを含む気象・海象の予測情報を用いて内航船を対象に最適航海計画支援システムの研究開発を行った。¹⁾ この経験では、黒潮や親潮の主要な流れの傾向は良く捉えているが、岬の回りの流れなどで課題を有するのではないかと印

* 正会員 海上技術安全研究所物流研究センター長 (〒181-0004 東京都三鷹市新川 6-38-1) kano@nmri.go.jp
 ** 非会員 海洋研究開発機構地球環境変動領域 (〒236-0001 横浜市金沢区昭和町 3173-25)
 *** 非会員 電気通信大学大学院電気通信学研究科 (〒182-8585 東京都調布市調布が丘 1-5-1)
 **** 非会員 マリンテクノロジスト (〒135-8533 東京都江東区越中島 2-1-6)

象を持った。本報告では、航海計画に活用するという視点で前報²⁾で述べた船舶での対水船速の観測手法をさらに改善した解析方法により得たデータと JCOPE 海流予測値との比較検討を行ったのでその結果について報告する。

2. 海流予測モデル

海流予測については、JCOPE 等近年研究が大きく進展し、詳細な予測が、週・日毎に可能となってきた。海流予測には、初期値推定のための観測データが不可欠であり、かつ空間的・時間的に稠密な観測データを用いるほど良い予測が期待できる。

現行³⁾で利用している観測データは、人工衛星による海面高度（ジオイド面からの偏差）および海水表面温度、及び現場観測点での海水温度、塩分濃度であり、初期値として以下のコスト関数 $J(X)$ を最小化することによって密度構造（水温と塩分）を推定している。

$$J(X) = (X - X^f)^T B^{-1} (X - X^f) + (y_T^o - H_T X)^T R^{-1} (y_T^o - H_T X) + (y_S^o - H_S X)^T R^{-1} (y_S^o - H_S X) + (y_{SSHA}^o - H_{SSHA}(X))^T R^{-1}_{SSHA} (y_{SSHA}^o - H_{SSHA}(X)) + (y_{SST}^o - H_{SST} X)^T R^{-1}_{SST} (y_{SST}^o - H_{SST} X)$$

X ; 状態変数：温度と塩分濃度

X^f ; 最初の予測

y_T^o, y_S^o ; 温度/塩分分布データ

y_η^o ; 海面高度（ジオイド面からの偏差）

$y_{T_s}^o$; 海水表面温度

β ; 背景誤差共分散マトリックス

β は、背景誤差共分散マトリックスを表すが、背景誤差共分散は、観測データの統計解析により求められ、時間的に不変で等方的形状を仮定している。流動はほぼ密度勾配に沿って流れるものとし、暗に準地衡流平衡を仮定している。

2. 船舶での偏流観測

2.1 実験対象船と航路

1) 実験対象船と航路

実験の対象船は、前報²⁾と同様に沿海区域を航行区域とする宇部―千葉・東京間のセメント船と、近海区域を航行区域とする東京―苫小牧・釧路間を航行する RORO 船である（Table1 参照）。両船とも、対水船速計、GPS を装備し、対水船速、対地船速の他、主機関回転数、推進器翼角、軸馬力等の情報を PC に収録した。一般配置を Fig.1、Fig.2 に示す。

Table 1 Main dimensions

	Cement Tanker	RORO ship
L (m)	159.7	161.1
B (m)	24.2	24.0
Gross. Tons	13,787	7,323
MCR (kw)	5,120	16,920

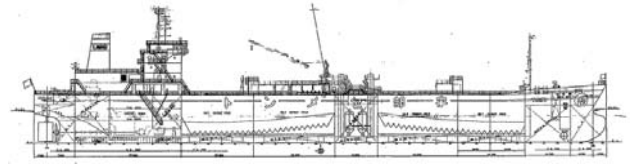


Fig.1 Cement tanker

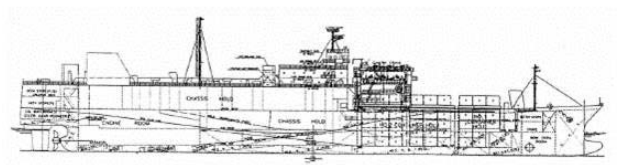


Fig.2 RORO ship

2.2 船舶での観測データ

1) 対象のデータ

前報²⁾では、データの取り扱いに関し、航海開始から 1 時間間隔で取得したデータをすべて同じ位置にいるものと見なしていたため、Fig.3 のように航海時間が長くなるにつれて用いるデータ地点にばらつきが生じていた。

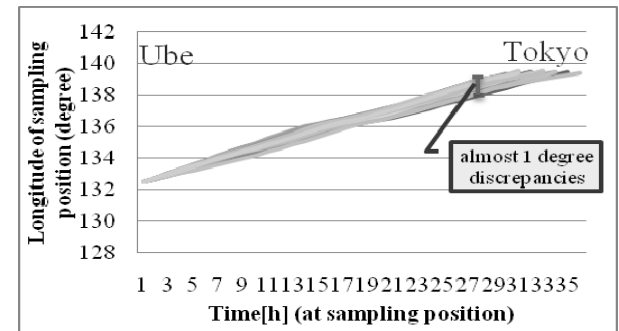


Fig.3 Discrepancies in the sampling data

本報ではサンプルデータ数を増やし、さらに航海のデータ取得位置のばらつきを抑えたデータを用いた。具体的には、サンプル数を少なくとも航海数 30 以上に増やし、一定の時間間隔で取得したデータの代わりに一定の緯度（経度）間隔で取得したデータを用いた。一定の緯度（経度）間隔で取得したデータを用いることで、Fig.4 の下の地図のようにサンプリング地点のばらつきが小さくなり、精度の良い統計処理を行うことができた。

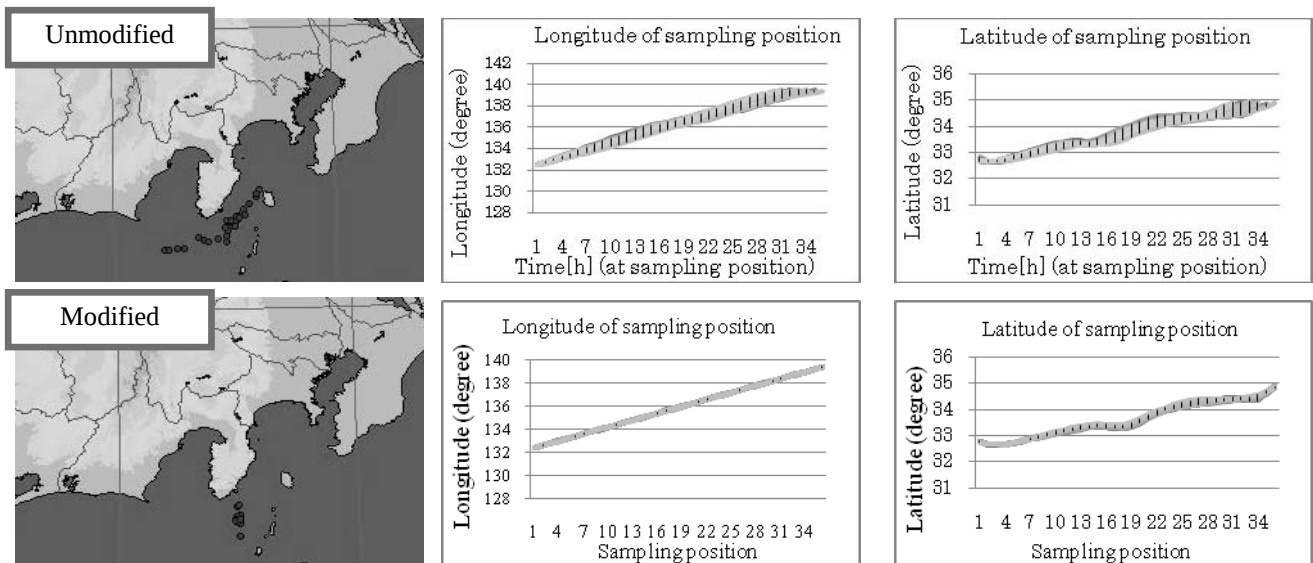


Fig.4 Comparison of unmodified sampling data and modified sampling data

2) LOG 船速計測値とプロペラから算出した対水船速推定値

本報告において、船舶の観測値を基に算出したドリフト値と海流解析値とを比較するが、その船舶の観測値として LOG 船速計による対水船速の観測値と、推進器性能曲線から推定した対水船速の 2 種類を用いる。LOG 船速計による観測値は定常的な誤差を含むため、海流解析値との比較には誤差修正をした値を用いる。また推進器から推定した対水船速は、軸馬力、推進器回転数を計測し、推進器の性能(Kq)曲線から推定する。

Fig.5、Fig6、はセメント船および RORO 船について 2 種の対水船速を基に算出した複数のドリフト値の平均を表し、縦軸は進行方向のドリフトの強さ、横軸は抽出地点の緯度（経度）を示している。これらの図から、推進器を流速計と見なして得た対水船速は LOG 船速計の補正観測値とよく一致していることがわかる。宇部・東京間の両者の相関は、0.990 ととても良い一致を示している。また、東京・苫小牧間の両者の相関も 0.984 と良い一致を示している。

(後述の Table.1 及び Table.2 参照)

なお、ドリフトの強さ = $V_{gps} - V_{log}$

V_{gps} : 船舶に搭載された GPS による計測値

V_{log} : 船舶に搭載された LOG 船速計による計測値である。

さらに Fig.7 はセメント船の 30 個の各航海データについて、1 航海毎に 2 種類の方法から算出されたドリフト値の相関をとったものをヒストグラムにまとめたものである。この図から、全体の 8 割の航海

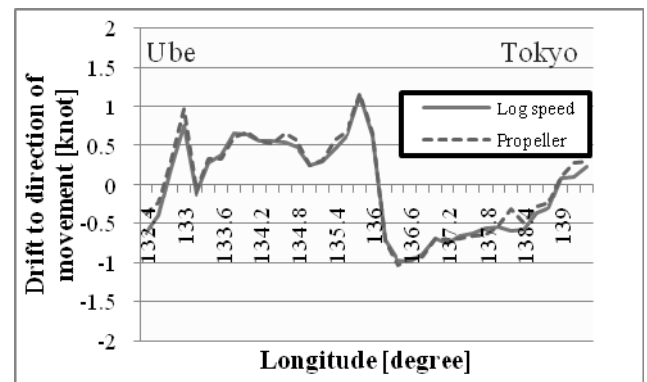


Fig.5 Comparison of drift from log speed and estimated by propeller analysis of the cement tanker (from Ube to Tokyo)

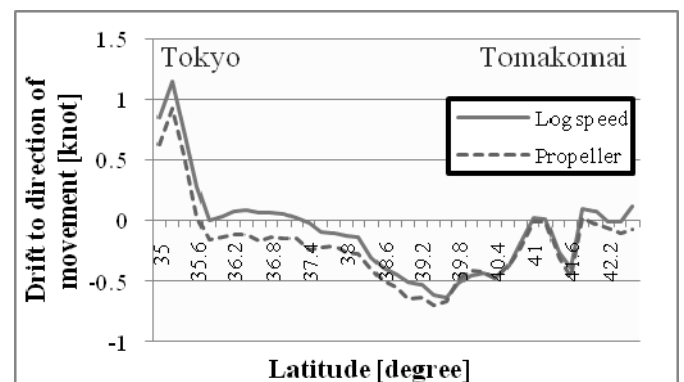


Fig.6 Comparison of drift from log speed and estimated propeller analysis of the RORO ship (from Tokyo to Tomakomai)

データにおいて、LOG 船速計の測定値と推定値から算出したドリフト値は、相関係数 0.8 をこえる強い相関を示していることがわかる。

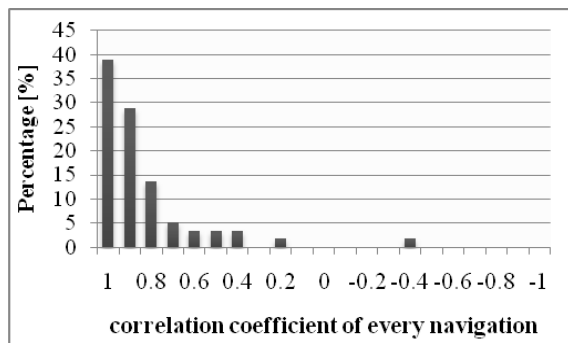


Fig.7 Correlation of the drift value of log speed and by propeller analysis

4. 海流予測値と船舶での観測値との比較

4.1 比較検討対象データ

海流予測値と船舶の偏流観測値との比較として、①10km グリッドで推定された海流予測値（潮汐修正済み事後解析値）の船舶進路方向（偏流）成分②誤差修正をした LOG 船速と GPS 船速から算出したドリフト及び③軸馬力、推進器翼角を計測し、船型要素と推進器の性能曲線から推定した対水船速から算出したドリフトを比較する。

4.2 宇部・東京航路での観測データ

1) 対象のデータ

沿海区域を航行区域とする宇部―千葉・東京間の載貨重量 2 万トンのセメント船について、2008 年 1 月から 12 月まで計測した航海データを扱った。宇部から東京への航海データ、東京から宇部への航海データがそれぞれ 30 航海分あり、それぞれ経度 132.4 度から 139.4 度まで 0.2 度刻みで 36 地点をサンプルとして抽出した。

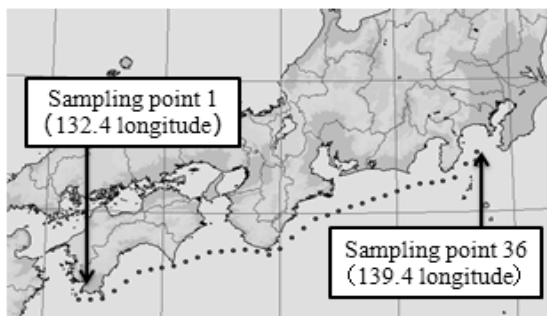


Fig.8 Sampling point (Ube – Tokyo)

2) 考察

Fig.9、Fig.10 にそれぞれ宇部から東京への航海、東京から宇部への航海についての結果を示す。LOG 船速とプロペラから算出されたドリフトの値は良く一致（相関が 0.99; Table.2 参照）しているが、JCOPE

の海流予測値と船舶での観測値（LOG 船速および推進器解析による対水船速）とを比較すると、海流予測値は、観測値の傾向を概ね表現している（相関が 0.71～0.89）が 0.7 ノット程度大きい。

また、東経 133 度から 136 度にかけてドリフト値の形状が往復で異なるが、これは東京から宇部への航海は、黒潮を避け宇部から東京への航海に比べて比較的沿岸近くに入り込んだ経路をとるためと考えられる。このような場所では、黒潮の主流に比較しスケールの小さな流れとなり予測精度が悪くなると予想される。海流予測値と観測値との相関でみても、復航での相関は 0.71 だが、黒潮の主流付近を航行する往航では 0.88 と比較的良好一致を示している。

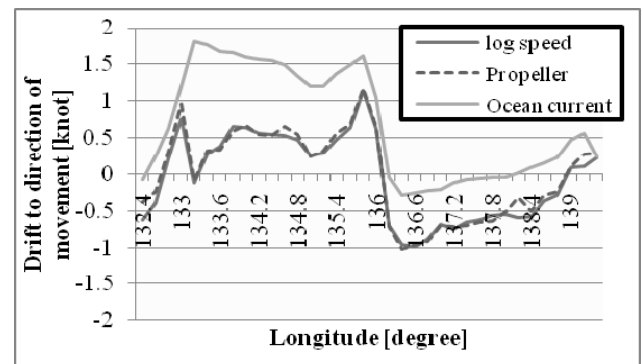


Fig.9 Drift comparison (Ube to Tokyo)

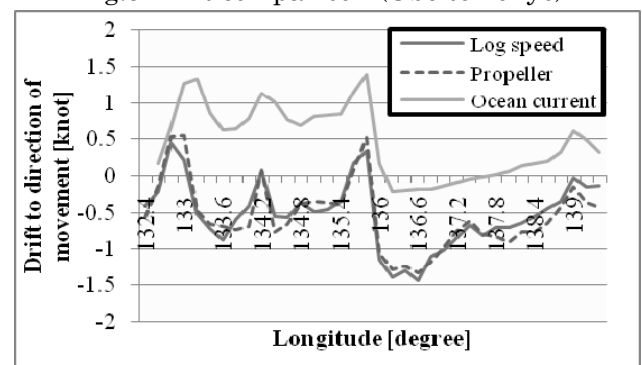


Fig.10 Drift comparison (Tokyo to Ube)

Table.2 Correlation coefficient (Ube – Tokyo)

	Ube to Tokyo	Tokyo to Ube
Log speed - Propeller	0.99	0.95
Log speed - Ocean current	0.89	0.71
Propeller - Ocean current	0.87	0.70

4.3 東京・苫小牧航路での観測データ

1) 対象のデータ

東京―苫小牧・釧路間を航行する RORO 船について、2008 年の 1 月から 12 月まで計測した航海データを扱った。東京から苫小牧への航海データは 83 航海分、苫小牧から東京への航海データは 59 航海

分であり、それぞれ緯度 35.0 度から 42.6 度まで 0.2 度刻みで 39 地点をサンプルとして抽出した。

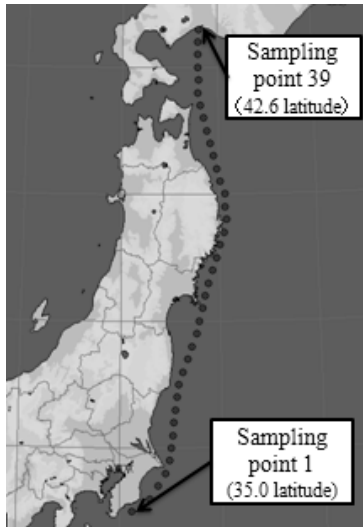


Fig.10 Sampling point (Tokyo – Tomakomai)

2) 考察

親潮の場合、JCOPE の海流予測値と船舶での観測値 (LOG 船速および推進器解析による対水船速) とを比較すると、これら 3 つの傾向は相関が 0.82 (Table.3 参照) と良く合致する。やや観測値よりも滑らかな軌跡を描いているが、先述したセメント船のような一定量のドリフトの差がみられない。

ただし、38 度半までは 3 つの値は良く合致しているが、39 度から 41.5 度にかけて 2 つの観測値と海流解析値の値には 0.5 ノット程度の差がみられる。さらに、2 つの観測値の 41.6 度付近でのドリフトのピークが、海流解析値では少し手前の 41.4 度付近に表れていることが見て取れる。Fig.12 には、東北域での海流の様子を示している。この図から理解されるように 41.5 度付近ではごく沿岸に近い津軽暖流の影響により、これが造る比較的小さな流れが形成されるため、10km の分解能の海流解析値ではこれを表現しきれていないことが考えられる。

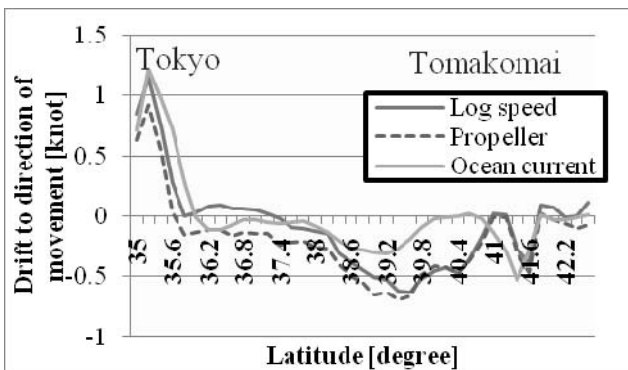


Fig.11 Drift comparison (Tokyo - Tomakomai)

Table.3 Correlation coefficient
(Tokyo - Tomakomai)

	Tokyo - Tomakomai
Log speed - Propeller	0.98
Log speed - Ocean current	0.82
Propeller - Ocean current	0.82

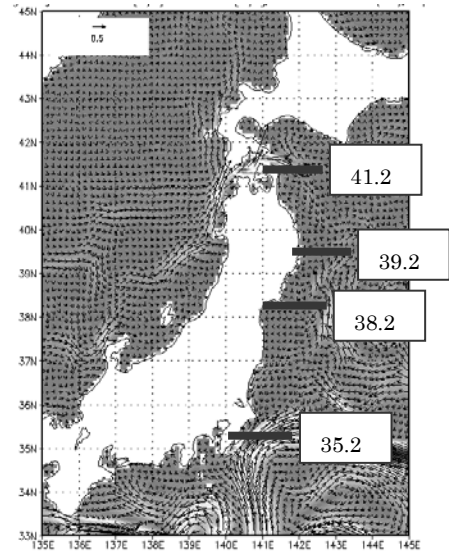


Fig.12 Ocean current

4.4 海流予測値と船舶での観測値

これまで述べてきたように、10km グリッドでの海流予測値に関し、黒潮については、流速の変化傾向は良く表現できるが 0.7 ノット程度大きく推測されることや親潮については、流速の変化傾向を上手く捉えているなどの特性を良く理解した上で用いるのであれば、航海計画立案時の支援情報として十分に利用可能なデータとなっていると考えられる。

本年 7 月から、3km グリッドでの稠密な予測計算を行った海流推測値が入手可能となった。比較のため、Fig.13 に 10km グリッドと 3km グリッドで予測計算を行った結果を図示する。

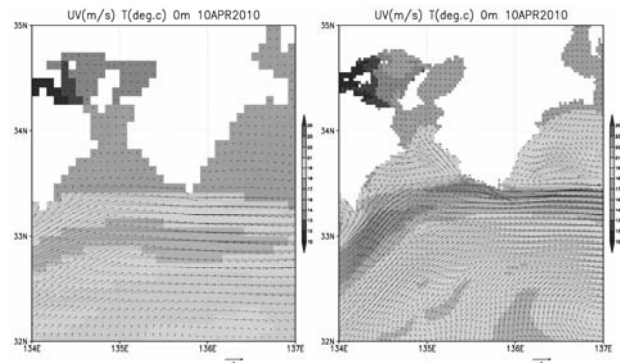


Fig.13. Estimated Current
10km (1/12deg.) grid 3km (1/36 deg.) grid

まだデータの蓄積量が少ないので船舶の観測データと詳細な検討を行った訳ではないが、本予測データを、黒潮部分について解析してみると、これまでの10kmグリッドの予測データと比較して0.6ノットの改善が見込まれた。また、紀伊半島回りの流れも改善されているように見える。いずれにしても、この時間的・空間的分解能の細かい海流予測値と船舶での観測値との比較・検討を行うことが望まれる。

このように空間的・時間的に稠密な海流予測が可能になれば、航海毎での海流予測値と船舶での観測値の比較において強い相関が期待できる。

4.5 今後の展開

しかしながら、岬等の突端部を回るような渦に起因するような小さなスケールの流れに課題が残っていると考えられる。このような、小さなスケールの流れの予測は、1kmグリッドの採用などより詳細な計算を行う方向が考えられる。Fig.14は、1kmグリッドにて予測計算を行った結果を示している。岬の東側には、南側の黒潮本流から北西方向に分岐するより小さなスケールの分枝流が表現されているが、こうした小さなスケールの海流変動は時間スケールも黒潮本流の流路変動時間スケール（数十日）に比べるとより短い時間スケール（数日）で変動する。

筆者等は、このような小さなスケールの流れに関し、海流予測モデルの中で背景誤差共分散が時間的に変化する動的な同化手法を導入する等新たなモデルを構築する必要があると考えている。また、そのようなモデルではデータ同化のため多くの動的なデータを必要とし、衛星、観測所での観測データに加え、数多くの船舶で観測されたデータは極めて貴重な観測データとなることが期待される。

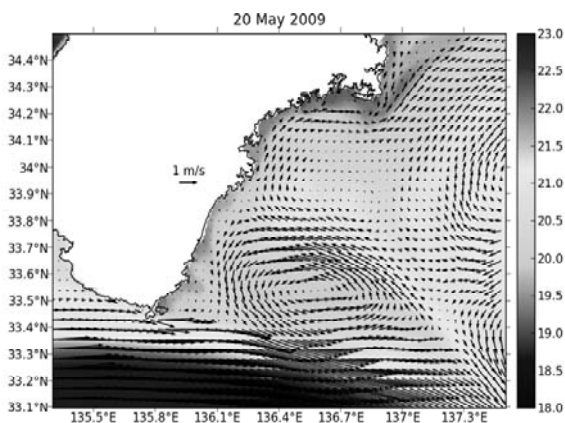


Fig.14 An example snapshot of warm streamer simulated by 1km grid model

JAMSTEC に於いて、動的なデータ同化手法であ

るアンサンブル・カルマンフィルターを用いた革新的な海流予測モデルが開発中であり、このモデルでは、多くの船舶で観測したリアルタイムの偏流データを取り込むことで、小さなスケールの流れについても予測精度の向上が期待される。

5. 結論

航路上に黒潮と親潮の流れの影響を大きく受ける内航の RORO 船とセメント船の航海データから対水船速を検討した結果

(1) 推進器(プロペラ)を流速計と見なした解析を行った対水船速は、詳細な検討を行った結果、対水船速計の船速と良く一致し、本手法の有用性が示された。対水船速計の設備していない船舶においても対水船速を評価することができ、実海域での推進性能を合理的に求めることが期待できる。

(2) JAMSTEC の JCOPE による海流予測値は、「航海計画立案支援」という観点では、黒潮と親潮の主軸の流れを良く表現しており、特性を良く理解した上で用いるのであれば、航海計画立案時の支援情報として実用的な観点から利用可能と考えられる。

さらに、これまでの10kmグリッドから3kmグリッドでの予測データが本年夏から入手可能となっておりより良い状況が整いつつある。まだデータの蓄積量が少ないので詳細な検討を行った訳ではないが、3kmグリッドでの予測データを1ヶ月間、黒潮部分について解析してみると、0.7ノットの偏差があったものが0.6ノット改善され偏差が0.1ノット程度となることが期待できる。

(3) しかしながら、航海に利用する上で、小さなスケールの流れを十分に表現できていないことが今後の課題として残っている。このような小さなスケールの流れの予測には、海流予測モデルにおいて背景誤差共分散が時間的に変化するデータ同化手法を導入する等新たなモデルを構築する必要がある。

(4) このようなモデルでは、多くの船舶で観測したリアルタイムの偏流データを取り込むことで、小さなスケールの流れについても予測精度の向上が図れる。本研究成果の活用が期待できる。

謝辞

本研究の実施にあたり、宇部興産海運今澄常務取締役、日本海運宮澤常務他、船社、船長他乗組の方々には大変お世話になりました。データ計測については、海上技術安全研究所の小林(充)、佐久間氏が船主、乗組の方々の協力を得て精力的に計測を行った結果です。ここに記して御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 小林充他,「航海計画支援システムの実船実験と評価」, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 8 号, 151-154PP, 2009 年 5 月
- (2) 加納敏幸他,「内航船の航海データから見た対水船速の一考察」日本航海学会論文集, 第 122 号, 235-241PP, 2010 年 3 月.
- (3) Miyazawa, Y., R. Zhang, X. Guo, H. Tamura, D. Ambe, J.-S. Lee, A. Okuno, H. Yoshinari, T. Setou, and K. Komatsu, 2009: Water mass variability in the western North Pacific detected in a 15-year eddy resolving ocean reanalysis, J. Oceanogr., 65, 737-756.

質疑応答

嶋田 陽一 (神戸大学) :

海面高度計データは陸から沖合へとどれくらいの距離でモデルに使っているのか？

宮澤 泰正 :

現状の海面高度計データは沿岸付近の精度に問題があるので、水深 200m 以浅の海域で観測されたデータは用いていません。したがって、大陸棚斜面より沖側でのデータをモデルに同化していることになります。

石田廣史 (神戸大学) :

東京-苫小牧航路の Log 船速と推進器解析による観測値に差があるように見えるが如何か？

加納敏幸 :

この航路に投入される RORO 船は、東京において給油し苫小牧では給油しないので、東京から苫小牧を経て東京に到着するまでの間、トリムが徐々に生じておりこの影響が出ていると考えられ、計測自体は良い一致を見ているものと考えている。