

内航船舶で観測した偏流情報を用いた海流予測の高精度化

堀内 一敏* 正 会 員 加納 敏幸** 宮澤 泰正****
正 会 員 佐藤 圭二** 村田 暁紀***

Improvement of current forecast by assimilating observed ship drift data
by Kazutoshi Horiuchi Toshiyuki Kano, *Member* Yasumasa Miyazawa
Keiji Sato, *Member* Akinori Murata

Key Words: Ocean Current Forecast, Ship Drift Data, Assimilation

1. 緒 言

海流予測は、計算機の性能向上のもと、充実してきた衛星観測や現場観測からのデータを取り込み、現実的な予測を行えるようになっており、その情報提供サービスが2006年から実施されている。海流予測情報は、既に航海計画を作成できるレベルには達しているものの、観測データから得られた黒潮流路と一時的に乖離したり、沿岸に発生する黒潮逆流を再現できない場合があるなど、改良の余地があった。このため、「航海・配船計画支援システム導入による船舶からのCO₂排出削減実証事業」の一環で、海流予測情報を更に現実に近いものとするため、内航船舶で観測された偏流データを取り込み、海流予測の高精度化を図った。本報告では、その結果について述べる。

2. 海流予測システム

海流予測システム JCOPE2¹⁾は、海洋大循環モデルに、沿岸海洋と外洋をシームレスに接続するシグマ座標系を鉛直座標とする Princeton Ocean Model (POM) を採用し、日本沿海の予測計算を効率的に行うために、北太平洋全体を表現する比較的粗い格子をもった海洋大循環モデルをまず構築し、その中により高解像度のモデル（水平解像度：約10km）を入れ子状にはめ込み、外側のモデルから側面境界条件を逐次与え、米国の数値天気予報データを外力として駆動し表層近くの海流を予測している。また、衛星や現場の観測データをモデル内に定期的に取り込む（同化する）ことで、現実的な黒潮や中規模渦の位置や大きさを表現するようにしている。

しかし、内航船舶の運航に利用するには、JCOPE2は水平解像度が不十分であり、また、潮汐や河川を新たな外力として導入する必要がある。そこで、日本周辺を対象に水平解像度3kmまで詳細化したうえで、JCOPE2の予測結果を初期・境界条件として与え、潮汐と主要河川を外力として導入したシステム（海流・潮流予測システム JCOPE-T²⁾）の利用を検討した（Fig.1）。海流・潮流予測システムの実行においては、海表面の海流が外力の影響を直接受けるため、毎日、数値天気予報の予報データを更新したうえで、潮流予測情報を更新するようにして予測精度維持に配慮している。

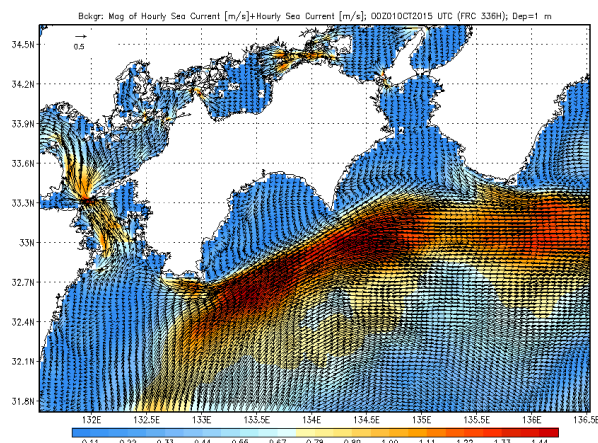


Fig.1 Snap shot of tide resolving ocean current system on 2015/10/10 0:00UTC (vector:direction, color:velocity).

3. 偏流データとモデル海流データとの比較

船舶は、航行中に海流・潮流によって流される。ここでは、(1)式にあるように流される方向と速度を観測データ（対水船速、対地船速）から求めたものを偏流データと呼ぶ。偏流データは、船首方向の成分とその垂直方向の成分に分解して扱うことがある（Fig.2）。

$$V_D = V_{GPS} - V_S \quad (1)$$

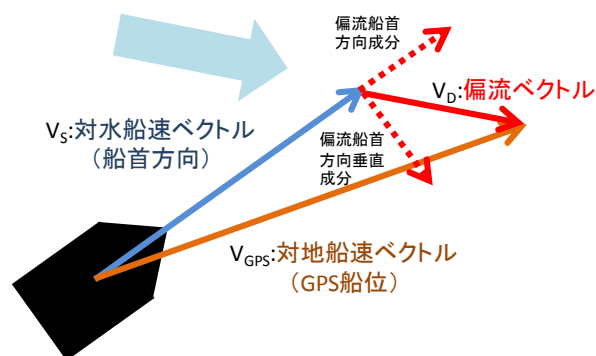


Fig.2 Ship drift data.

2013年12月27日から2014年10月31日までに得られた偏流データと海流予測システム JCOPE2 の予測結果から求めた海流データ（モデル海流データ）とを比較した（Fig.3, Fig.4）。強流域でない海域で、モデル海流データがほぼ0 m/sであるのに対して2 m/sを超える偏流データが孤立して存在することから、このデータを異常値とみな

* 株式会社フォーキャスト・オーシャン・プラス

** 国立研究開発法人海上技術安全研究所

*** 電気通信大学 情報理工学研究科

**** 国立研究開発法人海洋研究開発機構

原稿受付（学会にて記入します）

して除いた。一方、1.5 m/s を超え孤立して存在する偏流データは、瀬戸内海等での潮汐流を示している可能性があることから、それを除去するため 800 m 以浅のデータを除いた。その結果、偏流データとモデル海流データとの相関は、0.587、船首方向成分のみとの比較では、0.707 と有意な値を示した (Fig.3, Fig.4)。船首方向に垂直な成分との相関は、0.232 と低く、海流以外の風の影響が示唆されたが、気象庁天気予報の風データとの比較では相関が 0.1 を下回り、風の影響と認めることは難しかった。

海流予測システム JCOPE-T からのモデル海流データとの比較では、偏流データ、船首方向成分のみ、船首方向に垂直な成分のみとの相関が、それぞれ 0.605, 0.708, 0.292 といずれも JCOPE2 よりも高くなり、JCOPE-T の利用可能性が示された。

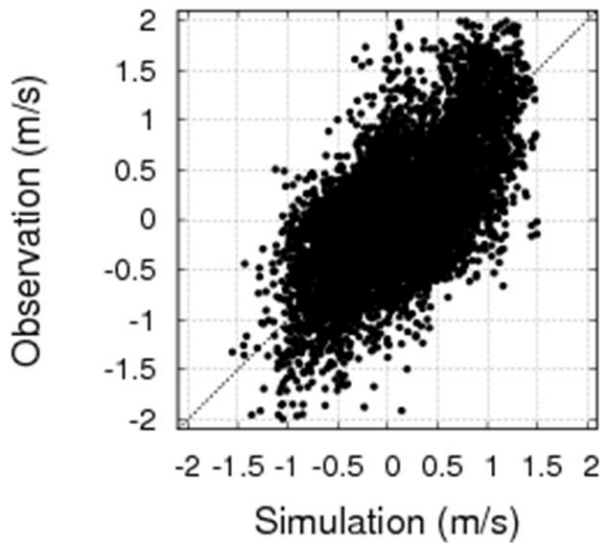


Fig.3 Correlation between corrected ship drift observation data (over 2m/s and its seafloor deeper than 800m) and simulated ocean current at 5m depth.

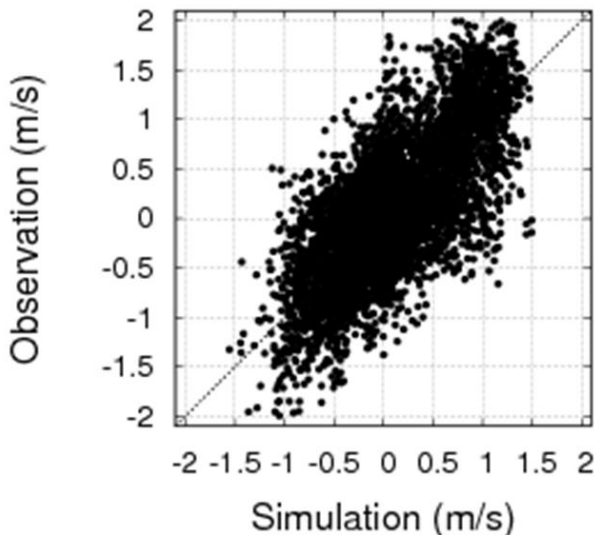


Fig.4 Correlation between corrected ship drift observation data (over 2m/s and its seafloor deeper than 800m) and simulated ocean current at 5m depth along ship navigation direction.

4. 偏流データの同化

宮澤らは、漂流ブイデータに対して地衡流成分のみの同化を提案している³⁾。この手法は追加的に機能拡張が可能なることから、今回、これを採用した。JCOPE2 の三次元変分法データ同化において、(2)式に示すコスト関数を最小にするような密度場、水温、塩分場を求め、次の予測の解析値に用いる手法である。

$$\sum_{i=1}^N \frac{1}{2Err_i^2} (D_i - (Ug(SDH)_i \cos \theta_i + Vg(SDH)_i \sin \theta_i))^2 \quad (2)$$

ここで、 D_i 、 θ_i 、 Err_i は、 N 個の偏流データの速度、方向、観測誤差をそれぞれ示す。 $Ug(SDH)$ 、 $Vg(SDH)$ は、海洋大循環モデルの力学的海面高度 SDH から算出した地衡流を示す。 SDH は、水深 1500~800m 以浅の水温、塩分から算出しているため、同化によって水温、塩分を修正することになる。

2013 年 12 月 27 日から 2014 年 10 月 31 日までに観測された全ての偏流データを同化し、それによる黒潮流軸の表現精度を調べた。海上保安庁「海洋速報」(観測値)からのモデル海流の緯度方向のズレを比較した結果、同化による大きな改善が 2014 年 9 月 14 日前後に見られた (Fig.5)。

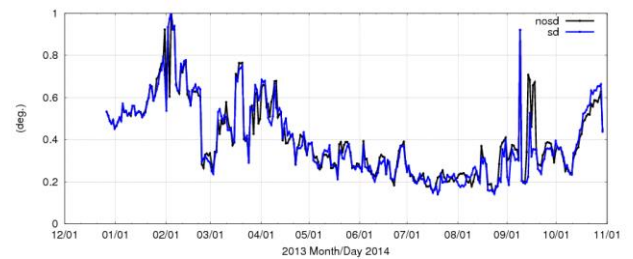


Fig.5 Comparison of the Kuroshio path latitude position without(black) and with (blue) assimilation.

この日の前後数日に得られた偏流データ数は多く (Fig.6)、そのデータにより、Fig.7 に示すように房総半島南沖で黒潮流路が現実に近い方向に修正されたことがわかる。

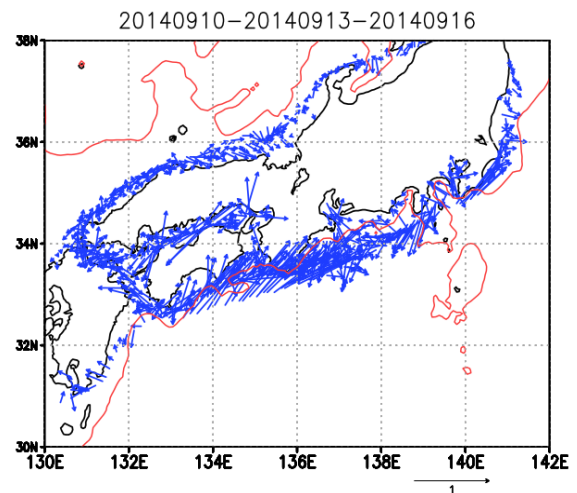
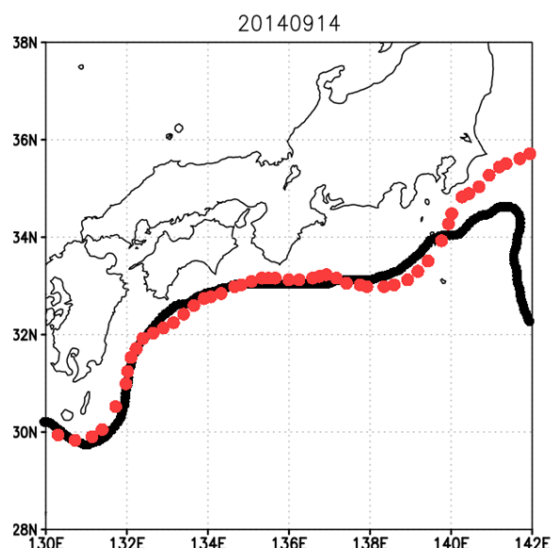
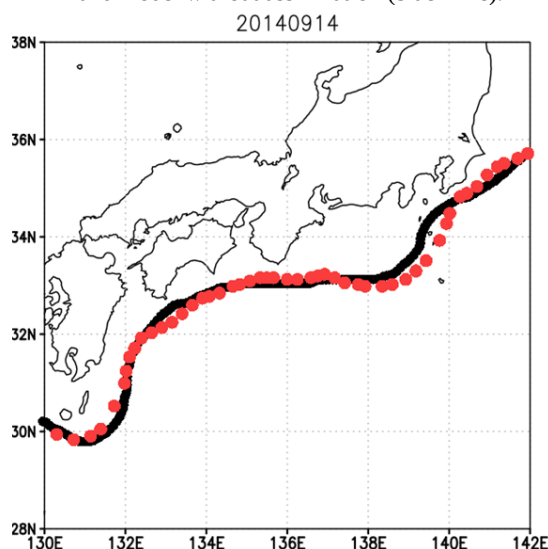


Fig.6 Composite map of drift observation data (vector length: speed, vector direction: drift direction) for 3 assimilation cycles around 9/14/2014.



(a) the Kuroshio path of observation (red dots) and model without assimilation (black line).



(b) Kuroshio path of observation (red dots) and model with assimilation (black line).

Fig.7 Assimilation effects on 9/14/2014.

また、相関係数及び RMS 誤差に基づき、偏流データ全体に加え、このうち船首方向成分のみ、船首方向垂直成分のみの 3 種類の同化の効果を定量的に評価した (Table.1)。特に船首方向成分のみの同化では、結果が大きく改善していることがわかる。

Table.1 Assimilation result of drift data over 2m/s and its sea floor deeper than 800m.

	偏流データ同化	船首方向成分同化	船首方向垂直成分同化
相関係数	0.600 →0.609	0.722 →0.735	0.240 →0.239
RMS 誤差 (m/s)	0.414 →0.409	0.431 →0.422	0.397 →0.395

5. 結 言

JCOPE2 システムで従来から行ってきた衛星データや現場観測データ (水温、塩分) に加えて、沿岸域を航行する内航船の偏流データを同化して、その効果を評価した。

相関係数及び RMS 誤差に基づいた定量的評価では、偏流データ及びその船首方向成分の同化で改善が見られた。定性的評価では、偏流データが黒潮流軸に伴う強い流速を捉えた場合、同化が適切に行われ、明らかな流路表現の改善がみられた。偏流の船首方向成分の同化は、偏流データ全体の同化に比べて定量的評価ほどの大きな違いは見られなかった。

今後は、同化・予測サイクルを継続し、偏流データ同化による修正が蓄積されることによる改善についても評価する必要がある。また、沿岸海域では外洋に比べ現象の時空間スケールが小さく、非等方、かつ時間的に変動する場合が多い。想定する時空間スケールが等方的で時間的に変化しない三次元変分法とは異なる同化手法に関しても検討及び適用を進めていく必要がある。

謝 辞

本事業は、環境省の CO₂ 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業「航海・配船計画支援システム導入による船舶からの CO₂ 排出削減実証事業」の一環として実施されたものであり、環境省地球温暖化対策課、国土交通省安全・環境政策課、普及検討委員会、宇部三菱セメント、出光興産、旭タンカー、日本通運、宇部興産海運、鶴丸海運、日本海運等、多くの関係者にご支援、ご協力頂いた。ここに記して感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- 1) Y. Miyazawa, *et.al.*: Water mass variability in the western North Pacific detected in a 15-year eddy resolving ocean reanalysis, *Journal of oceanography*. Vol. 65, pp. 737-756, 2009.
- 2) S. M. Varlamov, *et.al.*: M2 baroclinic tide variability modulated by the ocean circulation south of Japan, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, Vol. 120(5), pp. 3681-3710, 2015.
- 3) 宮澤泰正 *et.al.*: 外洋から沿岸に向けたモデリングの取り組み, 沿岸海洋研究, 第52号 (2), pp. 131-137, 2015.