

## 黒潮域における海流の漂流予測用データセットの比較<sup>†</sup>

土屋主税<sup>\*1</sup>, 鈴木真子<sup>\*2</sup>

Comparison of datasets for predicting the trajectory of the surface currents in the Kuroshio region<sup>†</sup>

Chikara TSUCHIYA<sup>\*1</sup> and Mako SUZUKI<sup>\*2</sup>

### Abstract

Drift calculations were performed using three datasets of surface currents: i) satellite-derived geostrophic current field by the Copernicus Marine Service (CMEMS), ii) MOVE/MRI.COM-JPN (grid size: 2 km), and iii) MOVE/MRI.COM-WNP (grid size: 0.1 degree). The datasets were evaluated by comparing them with the trajectory of the buoys in the Kuroshio region. The closest prediction was made using the dataset i), and the second closest was given by the dataset ii), though the deviations of differences from the drifters were large. Therefore, the geostrophic current field by the CMEMS and MOVE/MRI.COM-JPN can be said to suitable to be used for the trajectory prediction in the Kuroshio region.

### 1 はじめに

海上保安庁では、漂流ブイ観測による平均的海流（石井・道田, 1986）、亜熱帯反流（道田, 1997）、慣性周期運動（石井, 1998）、伊勢湾北部表層流（戸澤・他, 2001）等の解析を実施してきた。近年では、黒潮を対象に年 2, 3 個のゼニライトブイ社製イリジウム漂流ブイを投入している。これは、自身の位置を 2 時間おきにイリジウム通信で送信するブイである。この漂流ブイには、20 m の深さにドロークを付けている。このことで、風の影響を受けず、海流のみで漂流するようになっている。Fig. 1 に日本周辺海域の 2023 年の漂流ブイの軌跡を示す。

漂流予測とは、海流及び風によって漂流物が移動する位置を予測することで、海上保安庁において、海難救助や油防除のために用いられている

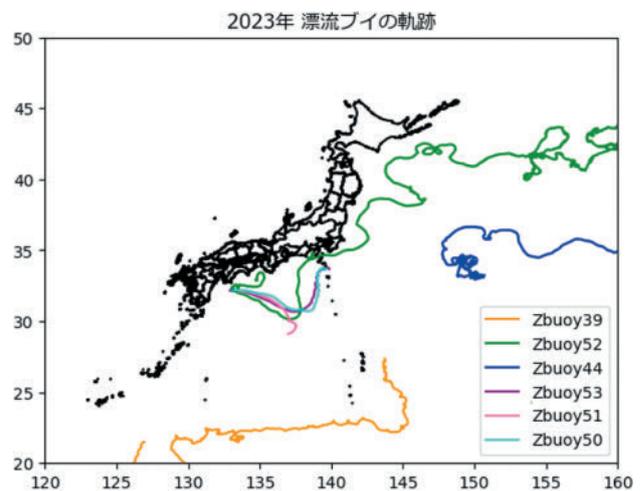


Fig. 1. Trajectories of drifting buoys in 2023.

図 1. 2023 年の漂流ブイの軌跡。

（浅原・他, 2015）。海流、風、海面水温については気象庁から毎日最新のデータが提供されてい

<sup>†</sup> Received July 24, 2024; Accepted October 2, 2024

\* 1 技術・国際課 Technology Planning and International Affairs Division

\* 2 技術・国際課海洋研究室 Ocean Research Laboratory

る。海潮流は、海域ごとに適切なデータを組み合わせ使用している。外洋域の海流については日本沿岸海況監視予測システム格子点値 (MOVE/MRI.COM-JPN) (Hirose et al., 2019), 沿岸域の海流については管区最適化メッシュ, 黒潮域及び黒潮続流域については欧州連合地球観測プログラム (CMEMS) の衛星海面高度計データに基づく地衡流 (以下「CMEMS 地衡流」という。) に加え, 測量船, 民間船舶等による海流観測データを, リアルタイム海況データベースにより組み合わせ海流データセットを作成している (東・他, 2015)。ここで, 黒潮域及び黒潮続流域については CMEMS 地衡流を用いることとしているのは, 海洋速報作成作業における主観解析の結果, 黒潮及び黒潮続流の再現性は MOVE/MRI.COM-JPN よりも CMEMS 地衡流のほうが再現性がよいと判断されていることによる。しかし, 黒潮及び黒潮続流の再現性を MOVE/MRI.COM-JPN と CMEMS 地衡流で客観的に比較したことはない。

そこで, 本報告では, 日本沿岸海況監視予測システム等と CMEMS 地衡流データの黒潮再現性を, 漂流ブイデータを用いて比較する。

## 2 使用するデータ

現在, 漂流予測業務に使用するために, 気象庁から北太平洋域 (10 km メッシュ), 日本域 (2 km メッシュ) の MOVE/MRI.COM-JPN の 50 m 深海流データの 2~5 日後予報値が毎日提供されている。また, 2023 年までは, 移行措置として, 現行の MOVE/MRI.COM-JPN の前身の北西太平洋海洋データ同化システム (0.1 度メッシュ) の 50 m 深海流データの解析値及び 1~3 日後予報値が引き続き提供されていた。漂流予測及び海洋速報作成のための主観解析には, リアルタイム海況データベースの処理速度を考慮して, 日本域 MOVE/MRI.COM-JPN は用いておらず, 北太平洋域 MOVE/MRI.COM-NP を用いている。なお, このようにデータを選択している理由については本稿の範疇を超えるため, 詳述しない。

今回の解析では, 日本域の MOVE/MRI.COM-JPN の 50 m 深海流データの 2 日後予報値 (以下「2 km データ」という。), 北西太平洋海洋データ同化システムの 50 m 深海流データの解析値 (以下「0.1 度データ」という。), CMEMS 地衡流データを用いた。それぞれのデータは, 1 日平均値であった。また, 2023 年のうち, 漂流ブイが黒潮に乗っているときのデータのみを解析の対象とした (Table 1)。Zbuoy52 は 2023 年 2 月 22 日から 27 日にかけて黒潮から北に外れ, 駿河湾内を漂っていたため, その期間を解析対象から外した。Zbuoy44 は 2023 年 4 月 3 日から 12 日は黒潮続流から南に外れていたため, その期間を解析対象から外した。

Table 1. Analysis period of drifting buoys.

表 1. 漂流ブイの解析期間。

ブイ	海域	期間
Zbuoy52	高知沖から東北沖まで	2023/2/10-2/21
		2023/2/28-3/9
Zbuoy44	黒潮続流	2023/3/26-4/2
		2023/4/13-4/24
Zbuoy50	高知沖から伊豆諸島まで	2023/12/17-12/31
Zbuoy51	高知沖から紀伊半島沖まで	2023/12/16-12/18
Zbuoy53	高知沖から伊豆諸島まで	2023/12/16-12/31

## 3 解析方法

漂流ブイの各日 0 時の位置から, 海流データを用いて 24 時間の漂流計算を行った。漂流計算は, 時刻  $t + \Delta t$  の位置  $X(t + \Delta t)$  を, 以下の式で求める。  $\Delta t$  は 6 分としている。

$$X(t + \Delta t) = X(t) + (U_c(t) + U_R(t)) \times \Delta t$$

ここで  $U_c(t)$  は全海流,  $U_R(t)$  は海流に相対的な物体の動きである。漂流ブイにドローグをつけているため,  $U_R(t)$  はゼロとした。  $U_c(t)$  として 2 km データ, 0.1 度データ, CMEMS 地衡流データをそれぞれ用いた。

各日 0 時から 24 時間漂流計算を行った結果と, 各日 24 時の漂流ブイの位置の間の距離を計算することで, 各データの海流を評価した。

各日の漂流計算の様子を図示するため、2時間毎に漂流計算の結果を点で表した。これは、漂流ブイの位置報告の時間間隔が2時間であることに対応させた。Fig. 2 に結果の例を示す。

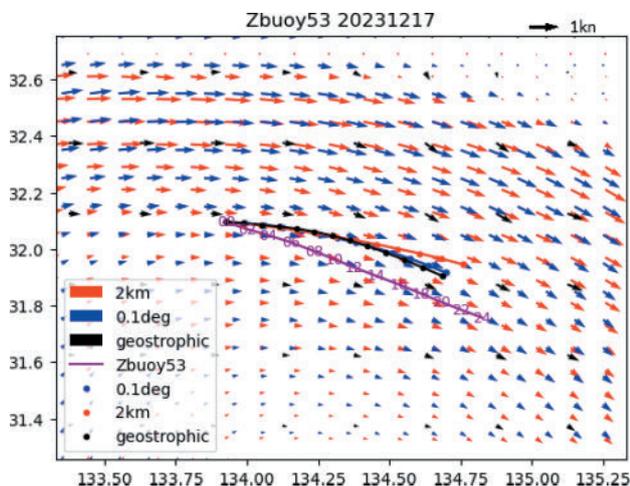


Fig. 2. 2-hourly location (purple numbers) of the buoy Zbuoy53 on 17<sup>th</sup> December 2023 and its 2-hourly location from the trajectory prediction using 2-km data (red), 0.1-degrees data (blue), and CMEMS geostrophic data (black). Arrows show respective currents.

図2. 2023年12月17日のブイ Zbuoy53 の2時間ごとの位置(紫色の数字)と、2 km データ(赤)、0.1度データ(青)、CMEMS地衡流データ(黒)を用いた漂流計算の2時間ごとの位置。矢符でそれぞれの流れを表した。

#### 4 結果

Fig. 3a は2023年2月15日の2 km データを赤い矢符で、漂流ブイ Zbuoy52 の2023年2月10日から2月21日の軌跡を緑色の線で表したものである。2 km データ、0.1度データ、CMEMS地衡流データのそれぞれを用いて、この期間の漂流ブイの各日0時の位置から24時間漂流計算を行った結果と各日24時の漂流ブイの位置の間の距離の時系列を、Fig. 3b に示す。2 km データによる結果との距離を赤で、0.1度データによる結果との距離を青で、CMEMS地衡流データによる結果との距離を黒で描いている。いずれの結果も20～60 km 程度の距離がある。2023年2月18日はどのデータセットの漂流計算結果も漂流

ブイの24時の位置から離れている。2023年2月18日は、漂流ブイは黒潮に乗って北上しているものの、3つのデータセット全てで初期位置が黒潮から西に外れており、北上速度が非常に遅かった(Fig. 4)。このため、この日のみ大きな差が出ている。

Fig. 3c は2023年3月4日の2 km データと漂流ブイ Zbuoy52 の2023年2月28日から3月9日の軌跡を表したものである。2 km データ、0.1度データ、CMEMS地衡流データのそれぞれを用いて、この期間の漂流ブイの各日0時の位置から24時間漂流計算を行った結果と各日24時の漂流ブイの位置の間の距離の時系列を、Fig. 3d に示す。黒潮統流域に移ると、漂流計算の結果と漂流ブイの24時の位置の距離が離れる傾向にある。2023年3月2日から4日は2 km データが最も距離が小さい。Fig. 5 に2023年3月4日の漂流ブイの軌跡と各データによる漂流計算の軌跡を示す。関東地方沖では、2 km データ以外の黒潮の北上が東側に回り込みすぎて、黒潮の再現性が悪いように見える。このことから、この期間に2 km データが最も距離が小さかったと考えられる。

Fig. 6a は2023年3月30日の2 km データと、漂流ブイ Zbuoy44 の2023年3月26日から4月2日の軌跡をオレンジ色の線で表したものである。2 km データ、0.1度データ、CMEMS地衡流データのそれぞれを用いて、この期間の漂流ブイの各日0時の位置から24時間漂流計算を行った結果と各日24時の漂流ブイの位置の間の距離の時系列を、Fig. 6b に示す。Fig. 6c は2023年4月18日の2 km データと漂流ブイ Zbuoy44 の2023年4月13日から4月24日の軌跡を表したものである。2 km データ、0.1度データ、CMEMS地衡流データのそれぞれを用いて、この期間の漂流ブイの各日0時の位置から24時間漂流計算を行った結果と各日24時の漂流ブイの位置の間の距離の時系列を、Fig. 6d に示す。2023年4月19日の2 km データの漂流計算結果と24時の漂流ブイの位置の距離が非常に大きくなっている。Fig. 7 に

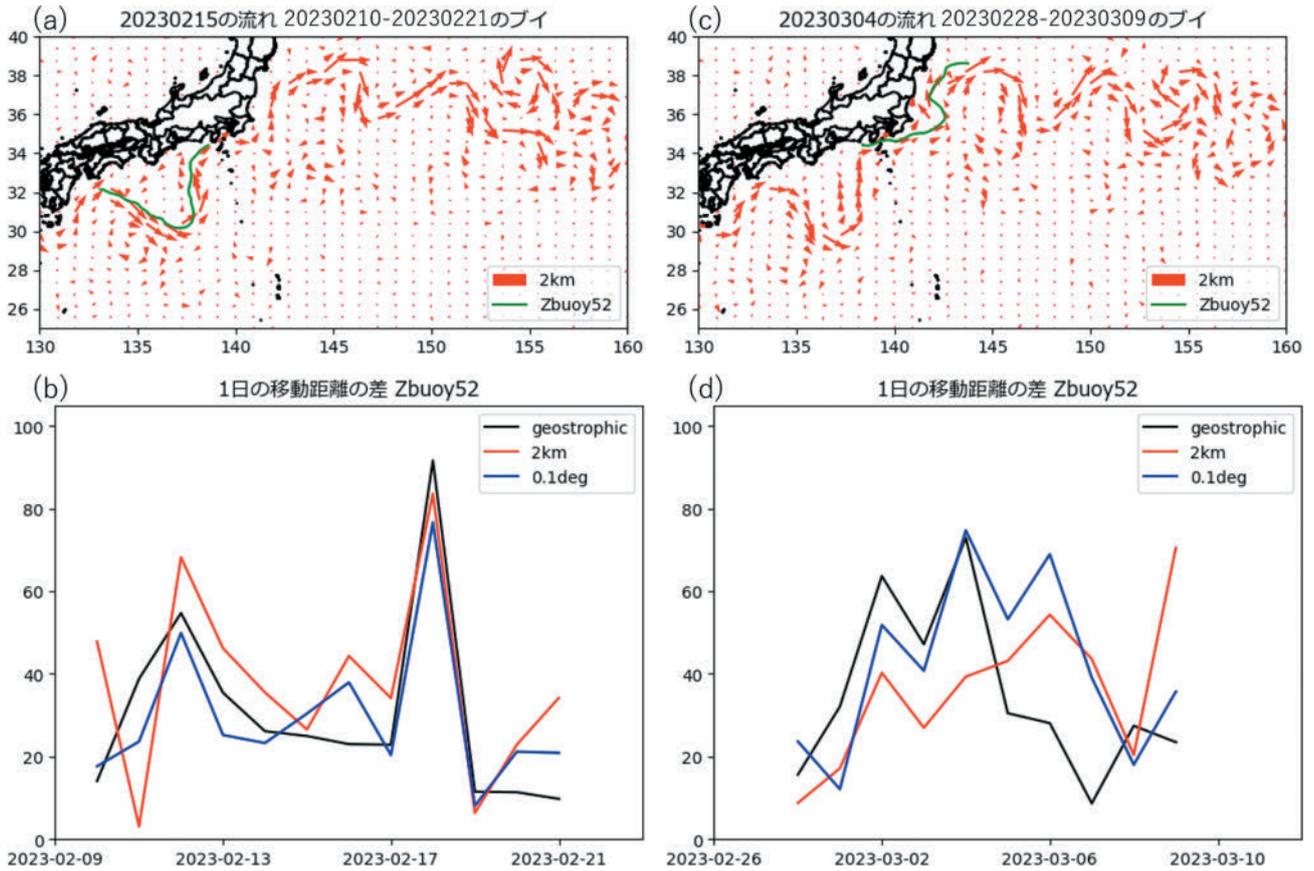


Fig. 3. (a) 2-km data (red) on 15<sup>th</sup> February 2023 and the trajectory of the buoy Zbuoy52 (green) from 10<sup>th</sup> to 21<sup>st</sup> February 2023. (b) The time series of the distance between the result of the trajectory prediction of 24 hours from 0am on each day using 2-km data (red), 0.1-degree data (blue), and CMEMS geostrophic current data (black) and the location of the buoy on 12am on each day. (c) 2-km data (red) on 4<sup>th</sup> March 2023 and the trajectory of the buoy Zbuoy52 (green) from 28<sup>th</sup> February to 9<sup>th</sup> March 2023. (d) The same thing as Fig. 3b but the time period is the same as Fig. 3c.

図 3. (a) 2023 年 2 月 15 日の 2 km データ (赤) と、漂流ブイ Zbuoy52 の 2023 年 2 月 10 日から 2 月 21 日の軌跡 (緑). (b) 2 km データ (赤), 0.1 度データ (青), CMEMS 地衡流データ (黒) のそれぞれを用いて、この期間の漂流ブイの各日 0 時の位置から 24 時間漂流計算を行った結果と各日 24 時の漂流ブイの位置の間の距離の時系列. (c) 2023 年 3 月 4 日の 2 km データ (赤) と、漂流ブイ Zbuoy52 の 2023 年 2 月 28 日から 3 月 9 日の軌跡 (緑). (d) 図 3b に同じだが、期間は図 3c に同じ.

2023 年 4 月 19 日の漂流ブイの軌跡と各データによる漂流計算の軌跡を示す. 漂流ブイは東北東方向にほぼ直線的に移動している. CMEMS 地衡流データは、漂流ブイの位置より少し北側を中心として東北東方向に強い流れがある一方、2 km データは反時計回りの渦を形成し、2 km データを用いた漂流計算結果は北西方向に大きく外れている. 0.1 度データは漂流ブイの位置より少し北側に流れの強い軸があり、この軸における流向が、下流から上流に向かって、東南東から東北東にゆるやかに変化するカーブを描いている. この

例では、2 km データの黒潮続流の渦の位置がずれていたため、漂流計算の結果と 24 時のブイの位置の距離が非常に大きくなった. 同様の傾向は前日の 2023 年 4 月 18 日にもみられた.

Fig. 8a は 2023 年 12 月 22 日の 2 km データと、漂流ブイ Zbuoy50 の 2023 年 12 月 17 日から 12 月 31 日の軌跡を水色の線で、漂流ブイ Zbuoy51 の 2023 年 12 月 16 日から 12 月 18 日の軌跡をピンク色の線で、漂流ブイ Zbuoy53 の 2023 年 12 月 16 日から 12 月 31 日の軌跡を紫色の線で、それぞれ表したものである. 2 km データ、0.1 度

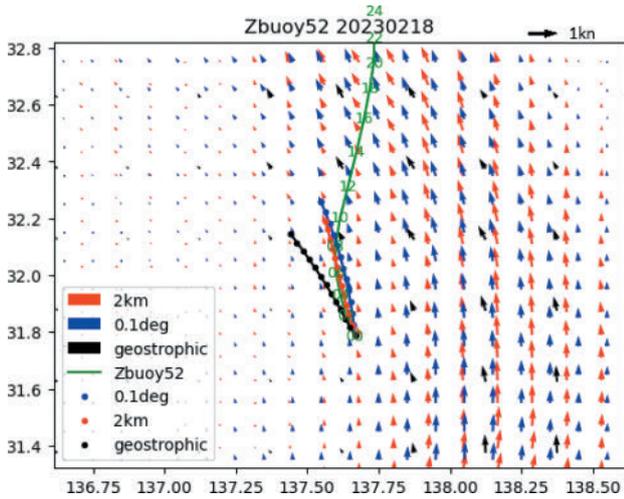


Fig. 4. The same as Fig. 2 but the buoy is Zbuoy52 (green) and the date is 18<sup>th</sup> February 2023.  
 図4. 図2に同じだが、ブイはZbuoy52 (緑) で、2023年2月18日のもの。

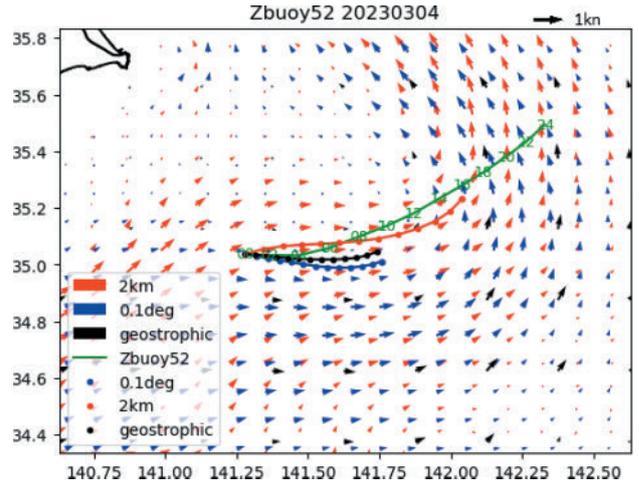


Fig. 5. The same as Fig. 4 but the date is 4<sup>th</sup> March 2023.  
 図5. 図4に同じだが、2023年3月4日のもの。

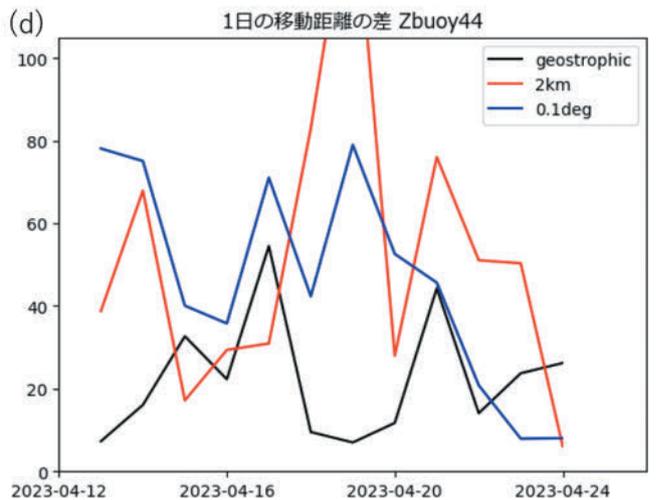
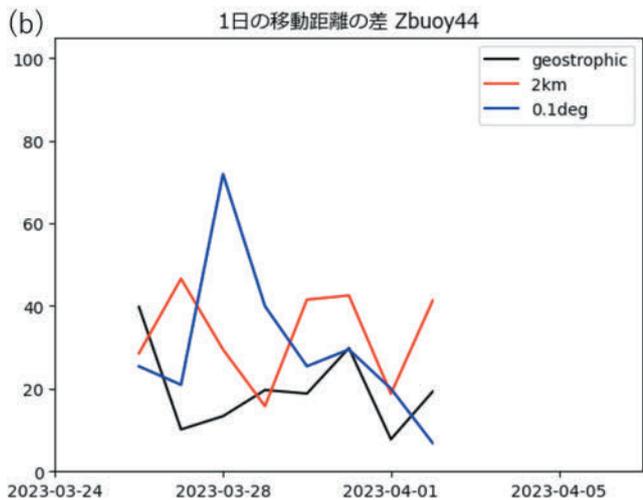
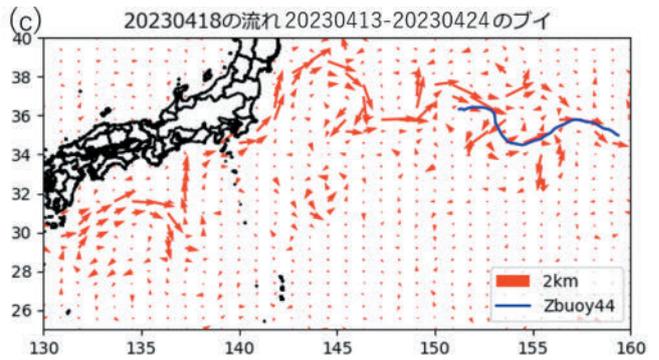
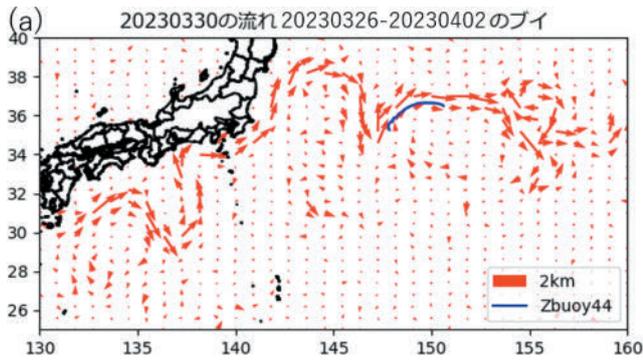


Fig. 6. (a) 2-km data (red) on 30<sup>th</sup> March 2023 and the trajectory of the buoy Zbuoy44 (brown) from 26<sup>th</sup> March to 2<sup>nd</sup> April 2023. (b) The same as Fig. 3b but the period is the same as Fig. 6a. (c) 2-km data (red) on 18<sup>th</sup> April 2023 and the trajectory of the buoy Zbuoy44 (brown) from 13<sup>th</sup> to 24<sup>th</sup> April 2023. (d) The same thing as Fig. 6b but the time period is the same as Fig. 6c.

図6. (a) 2023年3月30日の2 km データ (赤) と、漂流ブイ Zbuoy44 の2023年3月26日から4月2日の軌跡 (茶色). (b) 図3bに同じだが、期間は図6aに同じ. (c) 2023年4月18日の2 km データ (赤) と、漂流ブイ Zbuoy44 の2023年4月13日から4月24日の軌跡 (茶色). (d) 図6bに同じだが、期間は図6cに同じ.

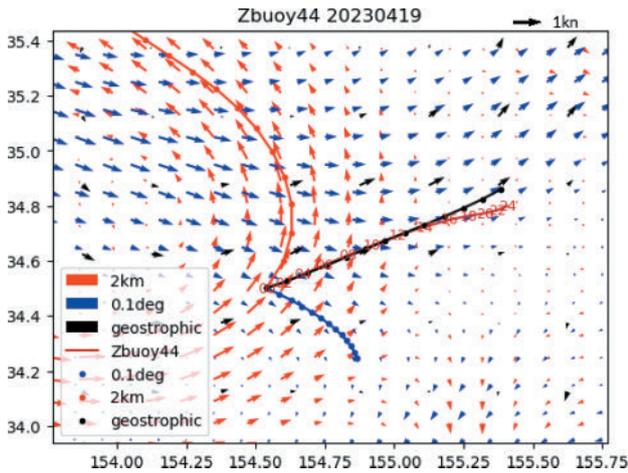


Fig. 7. The same as Fig. 2 but the buoy is for Zbuoy44 (brown) and the date is 19<sup>th</sup> April 2023.

図7. 図2と同じだが、ブイはZbuoy44（茶色）で、2023年4月19日のもの。

データ、CMEMS地衡流データのそれぞれを用いて、この期間の漂流ブイ Zbuoy50, 51, 53 の各日0時の位置から24時間漂流計算を行った結果と各日24時の漂流ブイの位置の間の距離の時系列を、それぞれ Fig. 8b, Fig. 8c, Fig. 8d に示す。いずれの結果も20～60 km程度の距離があり、黒潮続流に比べ距離が小さい。

### 5 考察

各日0時の位置から24時間漂流計算を行った結果と各日24時の漂流ブイの位置の間の距離について、2 km データ、0.1 度データ、CMEMS 地衡流データのそれぞれを用いた場合ごとに、平均と標準偏差を求めた (Table 2)。CMEMS 地衡流データの場合が最も小さく、平均 22.4 km であった。前述したように、2023 年 2 月 18 日、2023 年 4 月 18 日、2023 年 4 月 19 日は一部のデータで距離が非常に大きくなることから、平均と標準偏差を求める計算から除外してみた。すると、2 km データの平均値が 32.3 km から 29.6 km へ少し小さくなり、また、全てのデータの標準偏差が小さくなった。いずれの場合も、標準偏差は 13 km ～ 22 km と、平均値に比肩するほど大きく、ばらつきが大きいことが分かる。

ちなみに、海流のみの場合の1日の漂流誤差を

Table 2. The average and standard deviation of the distance between the results of the 24-hour trajectory prediction from 0am on each day using 2-km data, 0.1-degree data, and CMEMS geostrophic current and the location of drifting buoy at 12am. The average and standard deviation are also written excluding data on 18<sup>th</sup> February, 18<sup>th</sup> April, and 19<sup>th</sup> April 2023.

表2. 各日0時の位置から24時間漂流計算を行った結果と各日24時の漂流ブイの位置の間の距離について、2 km データ、0.1 度データ、CMEMS 地衡流データのそれぞれを用いた場合ごとに求めた平均と標準偏差。平均と標準偏差を計算する際に、2月18日、4月18日、4月19日を除外したパターンも掲載した。

	平均	標準偏差	2/18, 4/18, 4.19を除外	
			平均	標準偏差
CMEMS地衡流	22.4 km	15.6 km	21.8 km	13.6 km
2 km データ	32.3 km	22.7 km	29.6 km	17.1 km
0.1度データ	28.2 km	19.6 km	26.7 km	18.2 km

IAMSAR マニュアル (国際航空海上捜索救助マニュアル. International Maritime Organization, 2022) を参考に計算すると、13.3 km となる。今回の漂流計算が数 knot の黒潮上を漂流する漂流物について漂流計算しているため、この漂流誤差よりも大きな距離となっても不思議ではないと考えている。

各日0時の位置から24時間漂流計算を行った結果と各日24時の漂流ブイの位置の間の距離の平均からは、CMEMS 地衡流データが、黒潮を最もよく再現していると評価することができる。ただし、距離のばらつきがいずれのデータセットでも非常に大きいことから、2 km データ、0.1 度データでも、同程度の黒潮再現性があると言ってよいように思われる。

今回漂流計算に使用した2 km データ、0.1 度データは50 mの深さの海流である一方、評価基準として用いた漂流ブイはそのドローグが20 mの深さにあり、20 mの流れを観測している。2 km データ、0.1 度データは漂流予測の現業で使用しているデータであり、今回の検証用に現業とは別の深さのデータを揃えることはできなかった。

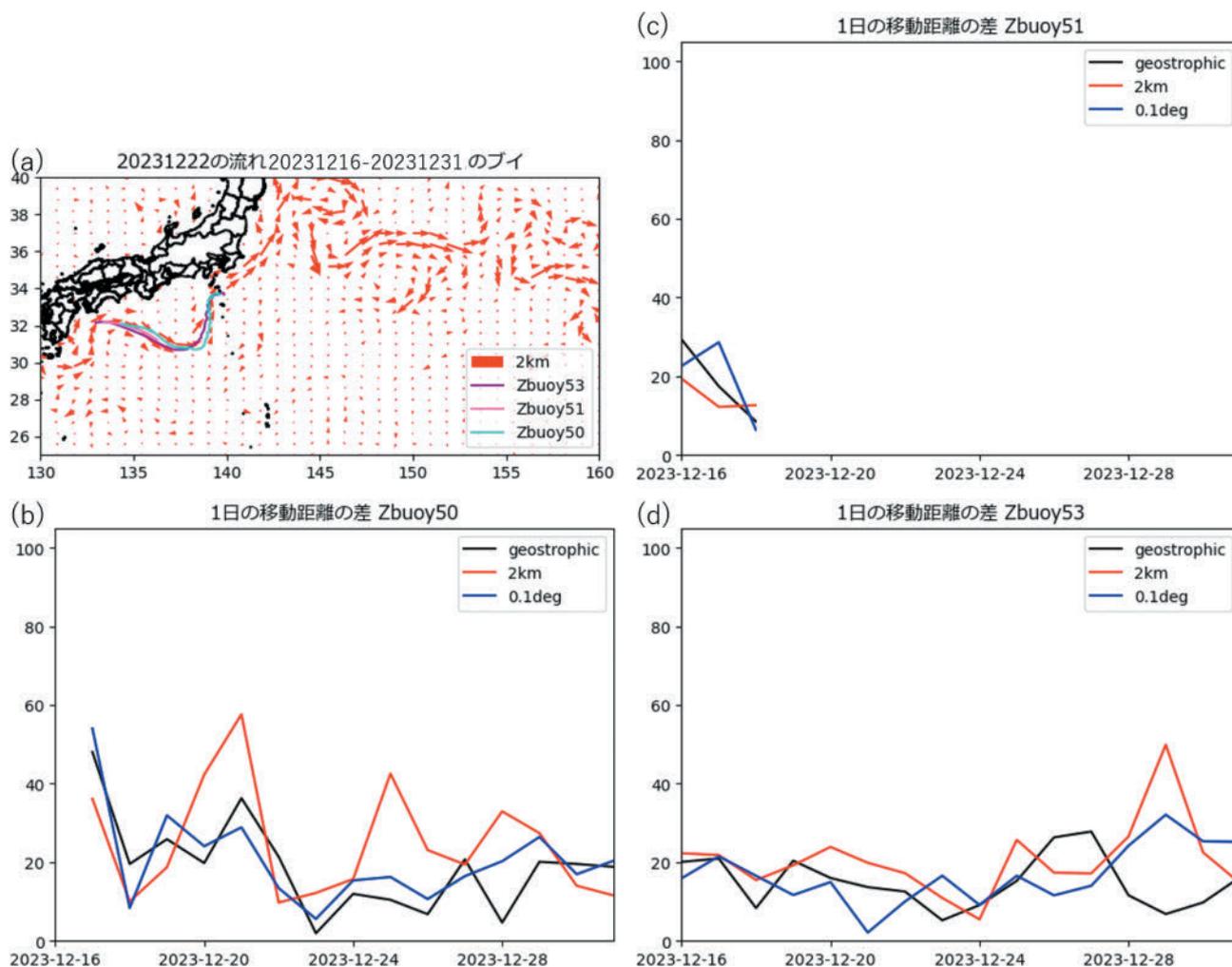


Fig. 8. (a) 2-km data (red) on 22<sup>nd</sup> December 2023 and the trajectory of the buoy Zbuoy50 (cyan) from 17<sup>th</sup> to 31<sup>st</sup> December 2023, the buoy Zbuoy51 (pink) from 16<sup>th</sup> to 18<sup>th</sup> December 2023, and the buoy Zbuoy53 (purple) from 16<sup>th</sup> to 31<sup>st</sup> December 2023. (b) The same as Fig. 3b but the period is the same as Fig. 8a for the buoy Zbuoy50. (c) The same as Fig. 3b but the period is the same as Fig. 8a for the buoy Zbuoy51. (d) The same as Fig. 3b but the period is the same as Fig. 8a for the buoy Zbuoy53.

図 8. (a) 2023 年 12 月 22 日の 2 km データ (赤) と、漂流ブイ Zbuoy50 の 2023 年 12 月 17 日から 12 月 31 日の軌跡 (水色)、漂流ブイ Zbuoy51 の 2023 年 12 月 16 日から 12 月 18 日の軌跡 (ピンク)、漂流ブイ Zbuoy53 の 2023 年 12 月 16 日から 12 月 31 日の軌跡 (紫). (b) 図 3b に同じだが、期間は図 8a の漂流ブイ Zbuoy50 に同じ. (c) 図 3b に同じだが、期間は図 8a の漂流ブイ Zbuoy51 に同じ. (d) 図 3b に同じだが、期間は図 8a の漂流ブイ Zbuoy53 に同じ.

た. このため、今回の結果には、深さの違いによる誤差の増大の効果が一部含まれているかもしれない. また、20 m の深さでは海上を流れる風により駆動される吹送流が、弱いものの一定の強さを持つが、50 m の深さでは吹送流の影響を受けない. 吹送流の向きは深度に依存して異なり、海上風の風向とも異なる. 結果として 20 m 深と 50 m 深の海流は流向・流速が若干異なると思われる

ため、これも誤差の要因の一つと考えられる.

漂流予測業務におけるデータ利用の観点からは、CMEMS 地衡流データでも 2 km データでも、黒潮域の漂流予測の使用には差し支えないと言ってよいように思われる. 日本域の MOVE/MRI.COM-JPN の 50 m 深海流データは、2 ~ 5 日後予報値が毎日提供されている一方、CMEMS 地衡流は前日までのデータしかないため、長期間の漂

流予測を精度よく実施するには、黒潮域及び黒潮続流域においても CMEMS 地衡流ではなく日本域の MOVE/MRI.COM-JPN の使用が望まれる。また、外洋域の海流データを日本域の MOVE/MRI.COM-JPN で統一できれば、現在のように多数のデータを他のサーバで組み合わせるという手間がなくなり、サーバ管理の観点で魅力的である。

## 6 まとめ

漂流予測用データセットを評価するため、黒潮を対象に年 2、3 個投入している漂流ブイの 2023 年のデータを用いた。漂流ブイの各日 0 時の位置から、3 種類の海流データ、日本域の MOVE/MRI.COM-JPN の 50 m 深海流データの 2 日後予報値、北西太平洋海洋データ同化システムの 50 m 深海流データの解析値、CMEMS 地衡流を用いて 24 時間の漂流計算を行った。各日 0 時から 24 時間漂流計算を行った結果と、各日 24 時の漂流ブイの位置の間の距離を計算した。

各日 0 時の位置から 24 時間漂流計算を行った結果と各日 24 時の漂流ブイの位置の間の距離は、平均は CMEMS 地衡流が最も小さく、ただし、すべてのデータセットでばらつきが大きかった。したがって、全てのデータセットにおいて、漂流予測にける使用の観点では、同程度の黒潮再現性があると言ってよいように思われる。

## 謝 辞

気象庁大気海洋部業務課には、現業で用いている漂流予測用データセットの漂流予測業務以外の目的での使用の許諾を頂いた。

## 文 献

浅原悠里・東 吉一・森岡裕詞・入澤沙弥・増山昭博 (2015) 漂流予測プログラム Ver 6.0 の紹介, 海洋情報部研究報告, 52, 107-113.

International Maritime Organization (2022) IAMSAR manual volume 2: mission coordination, International Maritime Organization, London.

石井春雄 (1998) 漂流ブイの軌跡に見られた慣性周期運動, 水路部研究報告, 34, 65-70.

石井春雄・道田 豊 (1986) 漂流ブイの軌跡から求めた平均的海流, 水路部技報, 4, 57-61.

道田 豊 (1997) 漂流ブイによる亜熱帯反流の観測, 水路部研究報告, 33, 21-30.

戸澤 実・木村琢磨・山崎哲也・小嶋哲哉 (2001) 伊勢湾北部の漂流ブイによる表層流観測, 水路部技報, 19, 51-54.

東 吉一・熊川浩一・浅原悠里・瀬尾奏子・入澤沙弥 (2015) 海況リアルタイムデータベースの概要, 海洋情報部研究報告, 52, 114-122.

Hirose, N., N. Usui, K. Sakamoto, H. Tsujino, G. Yamanaka, H. Nakano, S. Urakawa, T. Toyoda, Y. Fujii, and N. Kohno (2019) Development of a new operational system for monitoring and forecasting coastal and open-ocean states around Japan, *Ocean Dyn.*, 69, 1333-1357, doi:10.1007/s10236-019-01306-x.

## 要 旨

3つの海流データセット、i) 欧州連合地球観測プログラム (CMEMS) の衛星海面高度計データに基づく地衡流、ii) MOVE/MRI.COM-JPN (2 km 格子)、iii) MOVE/MRI.COM-WNP (0.1 度格子) を用いて漂流計算を行い、黒潮域における漂流ブイの軌跡と比較することで、漂流予測用データセットの評価を行った。最も良い予測を行ったのは i) で、次が ii) であったが、各データセットともばらつきが大きかった。したがって、CMEMS 地衡流も、MOVE/MRI.COM-JPN も、黒潮域の漂流予測の使用には差し支えないと行ってよい。