

ひまわり海面水温データを用いた新たな海況解析方法[†]

笠石昌史*, 中畑孝太*

New analytical system for monitoring ocean conditions especially the sea surface temperature,
with the aid of the remote sensing products of Himawari[†]

Masafumi KASAIISHI* and Kota NAKAHATA*

Abstract

We have used the remote sensing products for sea surface temperature (SST) provided by the artificial satellites to monitor SST and to perceive ocean currents around Japan, as well as to publish the Quick Bulletin of Ocean Conditions. In September 2022, we changed the method from using the SST observed by NOAA and MetOp to using the SST observed by Himawari-8. We had directly received the signals of SST data observed by NOAA and MetOp using an analytical system with parabolic antenna. We replaced that with the new system which receives SST data observed by Himawari-8 provided by the Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) via an internet site. The replacement could reduce cost and workload for maintenance. In this report, we describe the outline of our new system for monitoring SST and the characteristic of the new SST images.

The new system receives the SST products observed by Himawari-8 from JAXA. The observation interval of Himawari-8 is every 10 minutes. The high frequency observation could reduce data blanks in a one-day composite image caused by cloud coverages in comparison with the previous products. The daily average value was selected for composite SST images in order to avoid improbable SST patterns resulting from the comparison with the daily maximum and minimum values.

To assure the accuracy of the new SST images, we compared the new product against SST datasets based on the result of direct observation in several cases. The anomaly between new images and the CTD dataset of the Chiba light beacon in the Tokyo bay is approximately $\pm 0.6^{\circ}\text{C}$ among the $10 - 28^{\circ}\text{C}$ in SST. In other case, the anomaly compared with the SST datasets of Kuroshio-Bokujo buoys off the coast of Shikoku is approximately -1.1°C and mostly accorded at 17°C and 29°C of buoy-observed temperature, respectively. When comparing the water temperature data of NOAA and Metop with the water temperature data of Himawari-8, it was found that Himawari-8 was approximately 0.7°C lower at water temperature 28°C , and approximately 0.4°C at water temperature 5°C .

[†] Received August 26, 2022; Accepted October 4, 2022

* 大洋調査課 Offshore Surveys Division

1 はじめに

海上保安庁海洋情報部では、これまで米国海洋大気庁の気象衛星 NOAA と欧州宇宙機構の気象衛星 MetOp の信号をパラボラアンテナで受信し、海況解析に使用していた。しかし、保守及び費用面の負担軽減を図るため、2022年9月以降の解析においては、宇宙航空研究開発機構（JAXA）が配信する気象衛星ひまわりが観測した海面水温データ（SST-H8）をインターネットからダウンロードし、利用する方針となった。本稿では、ひまわりの海面水温プロダクトを利用した新たな海面水温の解析装置の概要と、海面水温データの利用方法、我が国周辺におけるひまわりの海面水温の特性について紹介する。

2 海況把握に使用している衛星の観測データ

海洋情報部では、日本周辺の海面水温・海流を解析し、水温図と海流図からなる海洋速報を平日の毎日作成し、インターネットサイトで公開している。海況監視衛星受信・解析装置では、衛星（NOAA 及び MetOp）で観測された海面水温プロダクトを受信するとともに期間合成処理（1日間と3日間）を行い、海面水温・海流の解析に使用する衛星観測海面水温の数値ファイルと画像ファイルを作成している。

水温図は、この海況監視受信・解析装置で作成された衛星観測海面水温に加えて、直近8日間の船舶及び定置ブイ・漂流ブイの水温データ、JAXA 提供の水循環変動観測衛星「しずく」（GCOM-W1）に搭載された高性能マイクロ波放射計（AMSR2）水温データを合成することで作図されている。海洋情報部で使用している周波数 6.9 GHz における AMSR2 水温データの空間分解能は 24 km 以上と低い、ある程度の雲域（雲に覆われて観測できなかった領域）でも観測できる強みがあり、海面水温のデータ欠測部分を補うことができる（JAXA「GCOM-W1」データ利用ページ参照）。

海流図は、衛星観測海面水温の画像データ上に直近8日間の船舶や定置ブイ・漂流ブイ、沿岸の

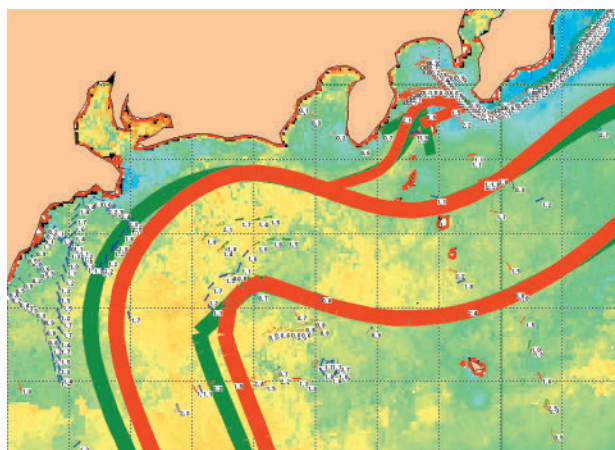


Fig. 1. Making image of the sea current map in QBOC. Background color image is SST obtained by the remote sensing data. Arrows are current speed and direction observed by ships and buoys. Green and red thick lines are flow path of Kuroshio at previous and present moment, respectively.

図1. 黒潮流路の解析の様子。図の背景は衛星の海面水温、矢符は船舶・ブイの海流、緑の太線は前号の黒潮流路、赤の太線は今号の黒潮流路を示す。

短波レーダーの海流データを重ね、AMSR2 水温データや特定の地点の潮位、海洋モデルの計算結果を参考にしながら、黒潮等の主要海流の位置を推定して作図している（Fig. 1）。

3 ひまわりの海面水温データの特性

3.1 データ入手方法

海洋情報部では、従来 NOAA と MetOp から海面水温データの信号を青海庁舎屋上に設置したパラボラアンテナで直接受信し、海況監視衛星受信・解析装置で数値データと画像データに変換することで、海況解析に使用してきた。しかし、本装置は大型かつ特殊性が高いため、保守や費用面で大きな負担があり、この低減が課題となっていた。そこで、JAXA が提供している気象衛星ひまわりの海面水温プロダクトを海況解析業務に利用し、海洋速報という形で公表してよいか打診したところ、標準的なデータであれば無料で使用可能との回答があったことから、2022年9月から「JAXA ひまわり モニタ」からインターネット回

線を通じてプロダクトをダウンロードし、海況解析に使用することになった。

3.2 空間分解能

ひまわりに搭載された可視赤外放射計 (AHI) の空間分解能は約 2 km であり, NOAA 及び MetOp が運用する改良型超高分解能放射計 (AVHRR) の約 1.1 km と比較して低い。海流図で表示する主要海流は, ある程度の幅があり (黒潮は模式的に 40 海里幅の矢印で表示), ひまわりの空間分解能より十分大きい。ひまわりの水温データで試験的に海況解析を行ったところ, 約 2 km メッシュの水温データでも十分海流解析が可能であり, 海況解析に影響がなかった。

3.3 高頻度観測による雲の遮蔽の減少

NOAA と MetOp が運用する衛星の観測頻度は, 日本周辺において, 両者あわせて 1 日あたり約 10 回である。一方, ひまわりの観測頻度は日本周辺で 10 分間隔であり, 1 日間合成画像で比較すると雲域の減少が期待できる。Fig. 2 (a) は, 2022 年 7 月 11 日の本州南方の NOAA と MetOp の 1 日間合成画像, Fig. 2 (b) は同日のひまわりの画像である。両者を比較すると, (a) の雲域の割合は約 26%, (b) は約 16% であり, ひまわりでは雲域による欠測域が大幅に減少していることがわかる。なお, 7 月 10 日から 7 月 14 日までの 5 日間の平均では, それぞれ約 39%, 約 16% であった。

雲域が広範囲に広がっている場合, AMSR2 の観測による補完があったとしても, 衛星水温データは広範囲で欠測となり, 水温図や海流図の精度が低くなる。ひまわりでは, 従前に比べ欠測範囲が狭くなるため, 水温図や海流図の精度向上が期待できる。

3.4 ひまわり海面水温と定点における直接観測データとの比較

ひまわり海面水温データの妥当性を検証するため, ひまわりと現地での直接観測の水温データを

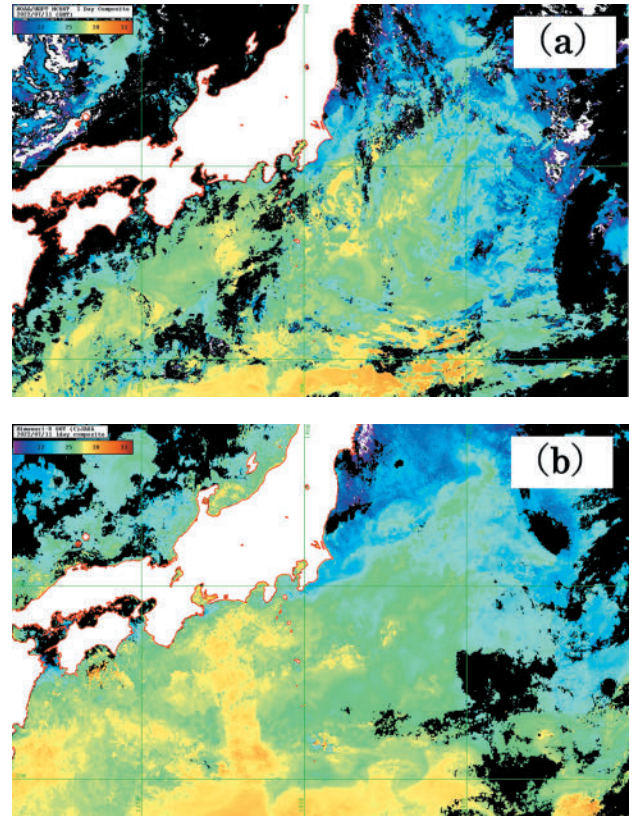


Fig. 2. The one-day composite SST image around south of Honshu on Jul. 11, 2022. Areas shown black in those images indicates no-data zone due to cloud-blocking. (a) NOAA and MetOp. (b) Himawari-8.

図 2. 2022 年 7 月 11 日の本州南方の海面水温 1 日間合成画像。黒い領域は雲の影響でデータがない領域を示す。(a) NOAA と MetOp。(b) ひまわり 8 号。

比較した。Fig. 3 は, 千葉灯標に設置された東京湾モニタリングポスト (北緯 35 度 34 分, 東経 140 度 3 分) で観測された表層水温 (SLT-CLB) と SST-H8, Fig. 4 は, 四国沖の黒潮牧場 10 号ブイ (北緯 33 度 1 分, 東経 134 度 7 分) で観測された表層水温 (SLT-KB10) と SST-H8, Fig. 5 は, 同 13 号ブイ (北緯 32 度 23 分, 東経 132 度 52 分) で観測された表層水温 (SLT-KB13) と SST-H8 との比較である。

本調査時は, SST-H8 の日平均値を計算するプログラムが開発中であったため, SST-H8 の日平均値を用いた比較ができなかった。このため, 各定点観測データとの比較には毎日 4 時刻 (日本中央標準時の 2 時, 8 時, 14 時, 20 時) の 1 時間

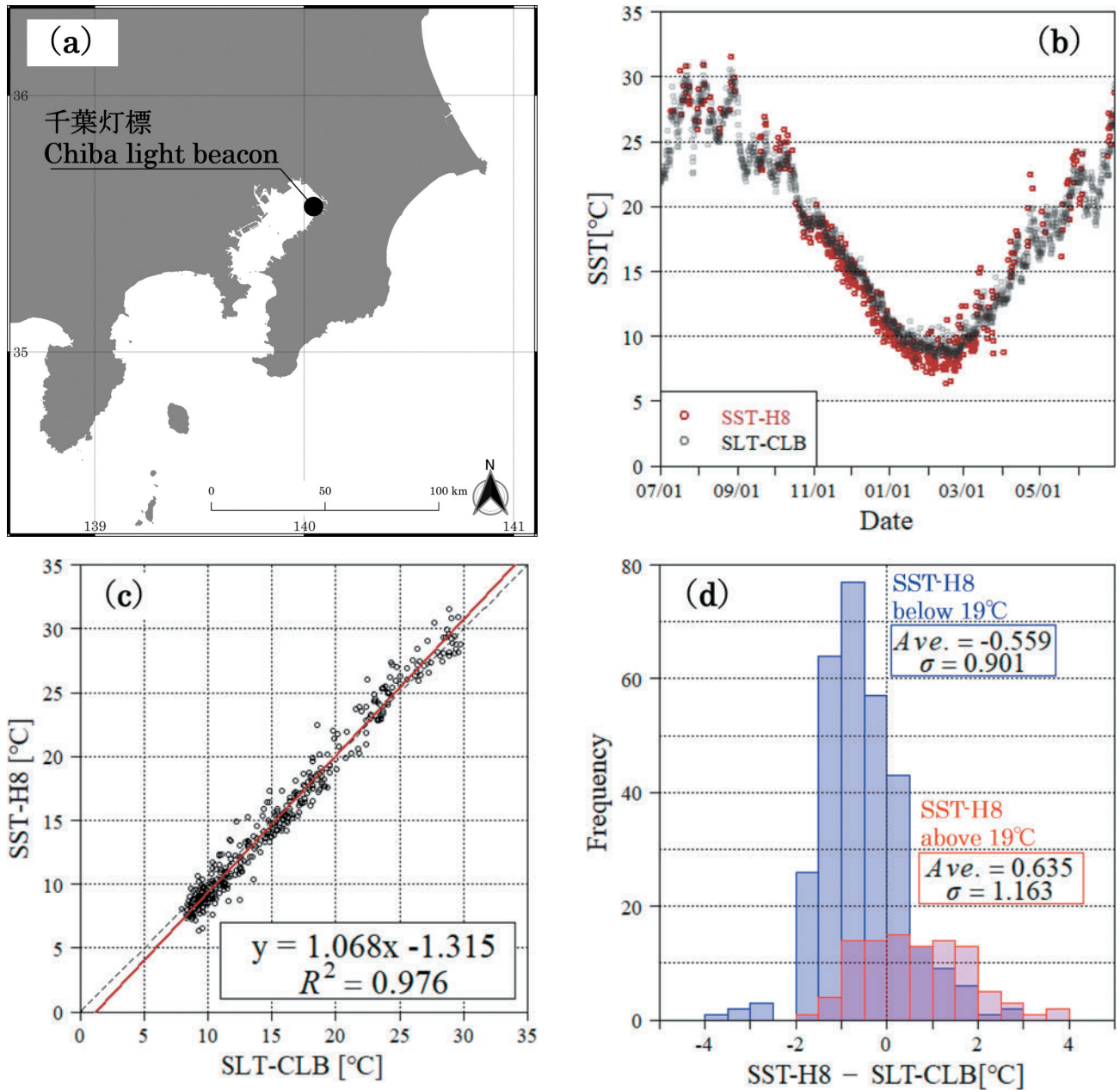


Fig. 3. Comparison between surface water temperature (about 10 cm below the surface) observed by CTD at Chiba light beacon (SLT-CLB) and SST observed by Himawari-8 (SST-H8) during Jul. 2021 to Jun. 2022.

- (a) The location of Chiba light beacon.
- (b) Time series of SLT-CLB and SST-H8 during Jul. 2021 to Jun. 2022 at every 2:00, 8:00, 14:00 and 20:00 (JST). Black open dot indicates SLT-CLB. Red solid dot indicates SST-H8.
- (c) Correlation plot between SLT-CLB and SST-H8. Red line indicates linear regression.
- (d) Histogram of differences between SLT-CLB and SST-H8. Red and blue bars indicate frequency distributions in the case of above 19°C and below 19°C of SST-H8, respectively.

図3. 2021年7月から2022年6月までの、千葉灯標モニタリングポストのCTDで観測された表層水温 (SLT-CLB) とひまわり8号による海面水温 (SST-H8) の比較。

- (a) 千葉灯標の位置。
- (b) 毎日2時、8時、14時、20時の水温時系列変動。黒：千葉灯標。赤：ひまわり8号。
- (c) ひまわり8号と千葉灯標の水温相関図。赤色の線：回帰直線。
- (d) ひまわり8号と千葉灯標の水温差の頻度分布。赤：SST-H8が19°C以上の場合。青：SST-H8が19°C未満の場合。

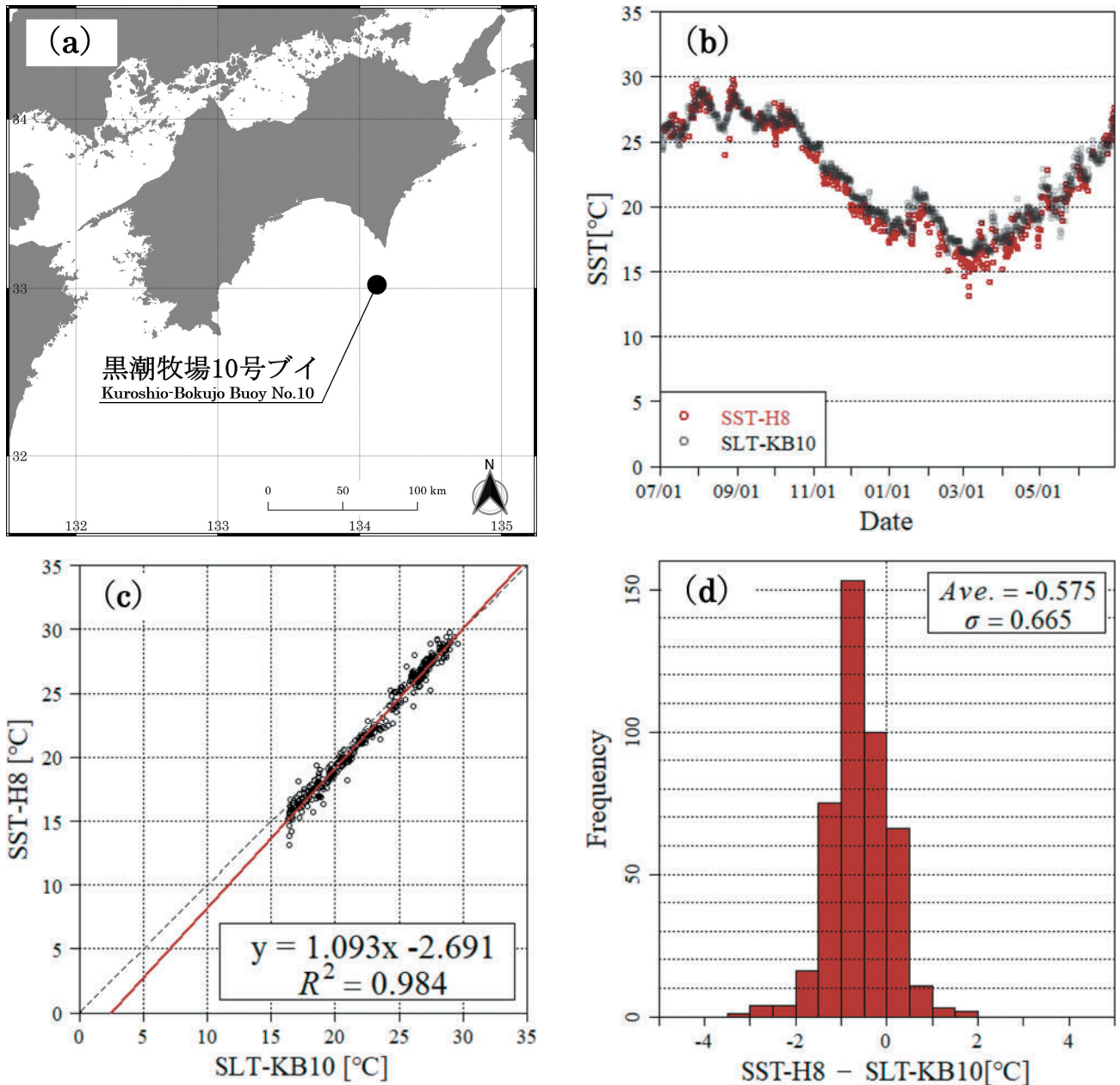


Fig. 4. Comparison between surface water temperature observed at Kuroshio-Bokujo Buoy No. 10 (SLT-KB10) and SST-H8 during Jul. 2021 to Jun. 2022.

- (a) The location of Kuroshio-Bokujo Buoy No. 10.
- (b) Time series of SLT-KB10 and SST-H8 during Jul. 2021 to Jun. 2022 at every 2:00, 8:00, 14:00 and 20:00 (JST). Black open dot indicates SLT-KB10. Red solid dot indicates SST-H8.
- (c) Correlation plot between SLT-KB10 and SST-H8. Red line indicates linear regression.
- (d) Histogram of differences between SLT-KB10 and SST-H8.

図4. 2021年7月から2022年6月までの、黒潮牧場10号ブイで観測された表層水温（SLT-KB10）とSST-H8の比較。

- (a) 黒潮牧場10号ブイの位置。
- (b) 毎日2時、8時、14時、20時の水温時系列変動。黒：黒潮牧場10号ブイ。赤：ひまわり8号。
- (c) ひまわり8号と黒潮牧場10号ブイの水温相関図。赤線：回帰直線。
- (d) ひまわり8号と黒潮牧場10号ブイの水温差の頻度分布。

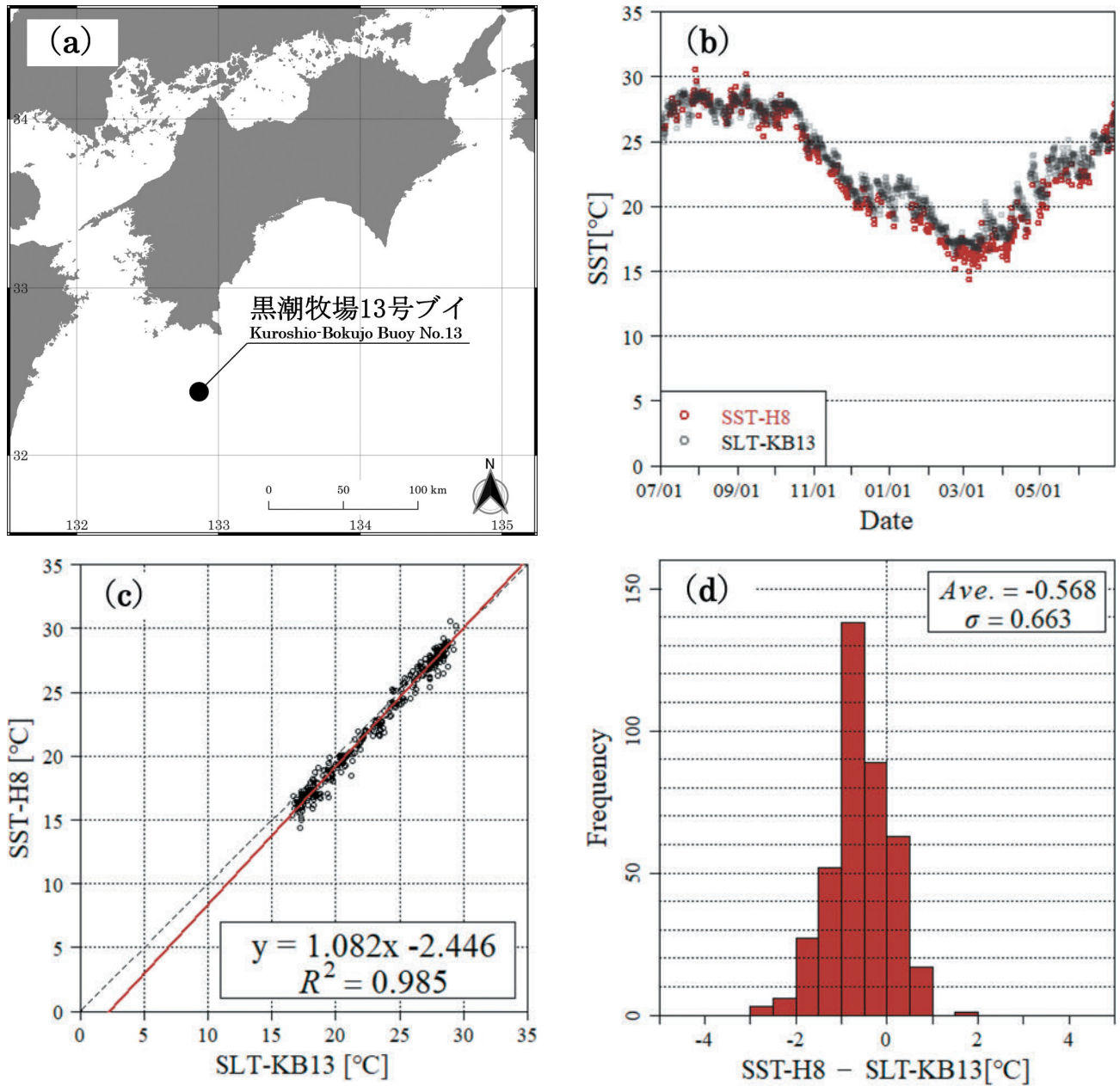


Fig. 5. Comparison between surface water temperature observed at Kuroshio-Bokujo Buoy No. 13 (SLT-KB13) and SST-H8 during Jul. 2021 to Jun. 2022.

- (a) The location of Kuroshio-Bokujo Buoy No. 13.
- (b) Time series of SLT-KB13 and SST-H8 during Jul. 2021 to Jun. 2022 at every 2:00, 8:00, 14:00 and 20:00 (JST). Black open dot indicates SLT-KB13. Red solid dot indicates SST-H8.
- (c) Correlation plot between SLT-KB13 and SST-H8. Red line indicates linear regression.
- (d) Histogram of differences between SLT-KB13 and SST-H8.

図 5. 2021 年 7 月から 2022 年 6 月までの、黒潮牧場 13 号ブイで観測された表層水温 (SLT-KB13) と SST-H8 の比較。

- (a) 黒潮牧場 13 号ブイの位置。
- (b) 毎日 2 時、8 時、14 時、20 時の水温時系列変動。黒：黒潮牧場 13 号ブイ。赤：ひまわり 8 号。
- (c) ひまわり 8 号と黒潮牧場 13 号ブイの水温相関図。赤線：回帰直線。
- (d) ひまわり 8 号と黒潮牧場 13 号ブイの水温差の頻度分布。

値を用いた (Figs. 3 (b) - 5 (b)). 比較期間は、2021年7月から2022年6月までの1年間である。

Fig. 3 (a) は、千葉灯標の位置、Fig. 3 (b) は、SLT-CLB と SST-H8 の水温の推移を示す。SLT-CLB は、海面下約 10 cm 以内で測定している。千葉灯標の位置する東京湾では、一般に夏季は冬季に比べ晴天率が低いいため、同位置の夏季 (4-9 月) における SST-H8 のデータは冬季 (10-3 月) よりも少ない。Fig. 3 (c) は、SLT-CLB と SST-H8 の水温相関図である。SLT-CLB と SST-H8 との比較では、水温が 19°C の場合、水温差はほとんどないが、水温 28°C の場合、SST-H8 が 0.6°C 程度高く、水温 10°C の場合、SST-H8 が 0.6°C 程度低いことがわかる。Fig. 3 (d) は、SLT-CLB と SST-H8 の水温差の出現頻度を表すヒストグラムである。水温 19°C 以上では水温差の平均値が約 +0.6°C、水温 19°C 未満では平均値が約 -0.6°C であり、水温が高い場合は SST-H8 が SLT-CLB より高くなり、水温が低い場合は逆の傾向を示すことがわかる。なお、SLT-CLB と SST-H8 の水温差の標準偏差は約 1.1°C、SLT-CLB と SST-H8 の両方の水温データがある日時の SLT-CLB の平均水温は約 15°C である。

Fig. 4 (a) は、黒潮牧場 10 号ブイの位置、Fig. 4 (b) は、SLT-KB10 と SST-H8 における水温の推移を示す。同様に、Fig. 5 (a) は、黒潮牧場 13 号ブイの位置、Fig. 5 (b) は、SLT-KB13 と SST-H8 における水温の推移を示す。両観測点における夏季の SST-H8 データは、冬季より少なくなる傾向がみてとれるが、千葉灯標ほど顕著ではない。また、冬季でも温暖な海域のため、水温 16°C 以下のデータはなく、平均水温は約 23°C である。

Fig. 4 (c) は、SLT-KB10 と SST-H8、Fig. 5 (c) は、SLT-KB13 と SST-H8 の水温相関図である。両者とも、水温が 29°C の場合、水温差はほとんどないが、水温 17°C では SST-H8 が 1.1°C 程度低い。Fig. 4 (d) は SLT-KB10 と SST-H8、Fig. 5 (d) は、SLT-KB13 と SST-H8 の水温差の出現頻度を表すヒストグラムである。両者とも、平均値

が約 -0.6°C であり、標準偏差は約 0.7°C である。低温域のデータが無いため、Fig. 3 (d) の様に温度帯別でのヒストグラムは作成していない。

これらの比較から、SST-H8 は定点観測の水温とほぼ同じか、少し低い傾向 (水温差は +0.6°C から -1.1°C の間) であること、水温が低くなるほど、SST-H8 と実測の差が大きくなる傾向があることが分かった。

NOAA と MetOp の海面水温 (SST-N/M) と定点観測の水温データの比較は、習田 (2009) が調査をしている。同文献では、2004 年から 2005 年にかけての瀬戸内海と宇和海の沿岸における 23 地点の SST-N/M と現場水温を比較している。SST-N/M と現場水温の水温差は、23 地点の平均では 0.0°C、最大の地点でも $\pm 0.6^\circ\text{C}$ 未満であったことが述べてある。

「JAXA ひまわりモニタ」の検証のページでは、北緯 60 度から南緯 60 度まで、東経 80 度から西経 160 度までの広範な領域で、NOAA で公開されている実測の水温データ (iQuam_v2.1) と SST-H8 の比較結果を公表している。検証のページの内、L3 ver.2.0 と記載があるものが 1 時間値の比較である。2022 年 6 月の 1 時間値での検証では、iQuam_v2.1 と比較して、水温 17°C では水温差がないものの、水温 25°C では SST-H8 が 0.3°C 程度低く、水温 10°C では SST-H8 が 0.3°C 程度高いことを示している。ただし、同検証に用いている iQuam_v2.1 は 20°C 以上のものが多いため、全体の平均では、SST-H8 が iQuam_v2.1 に比べ 0.3°C 程度低くなっている。

3.5 期間合成データ作成方法の検討

海洋情報部では、これまで海況解析や水温図の作成に、SST-N/M の日平均値を使用してきたが、SST-H8 への切り替えにあたり、期間合成に使用する海面水温値について、日あたりの最低値 (日最低値)、平均値 (日平均値)、最高値 (日最高値) の 3 つを検討した。Fig. 6 は、沖縄周辺において、SST-H8 の日最低値、日平均値、日最高値のそれぞれ採用・合成した画像と SST-N/M の日

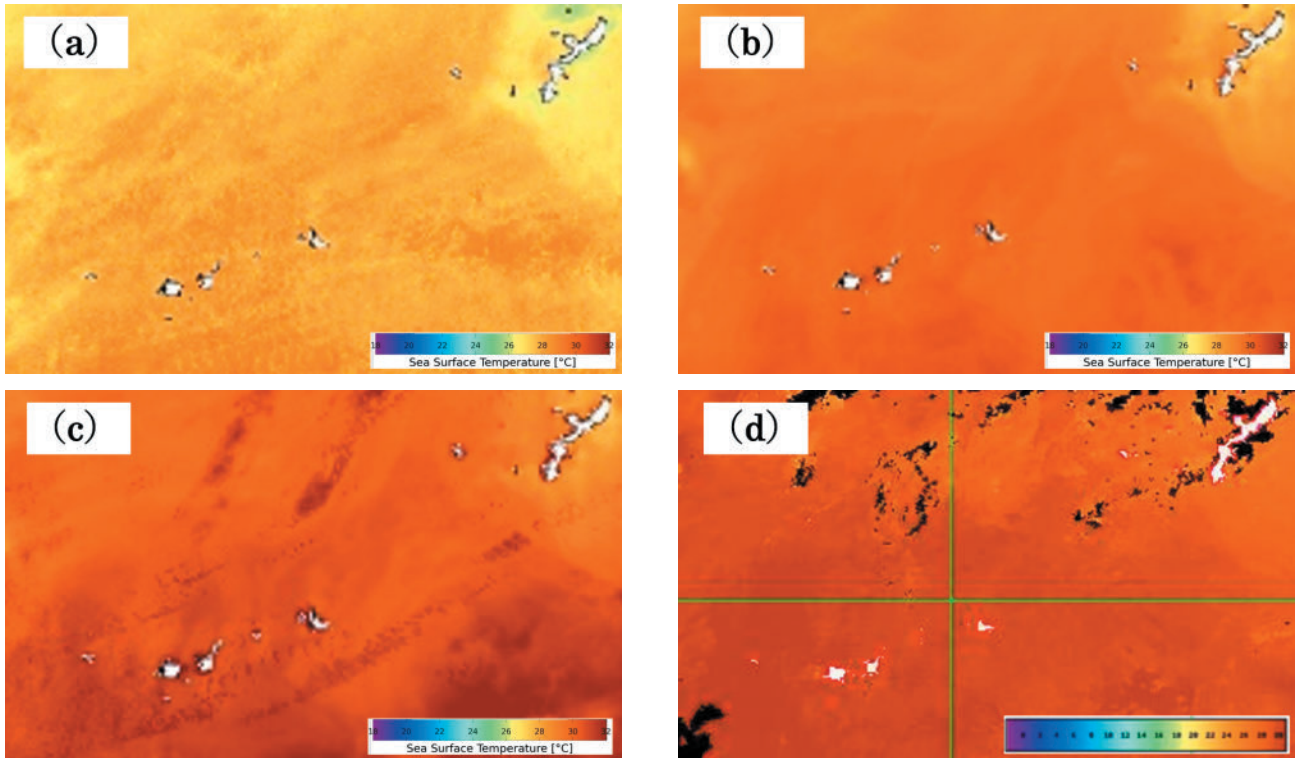


Fig. 6. The one-day composite SST image around Okinawa on Jul. 11, 2022.

- (a) Daily minimum SST of Himawari-8.
- (b) Daily average SST of Himawari-8.
- (c) Daily maximum SST of Himawari-8.
- (d) Daily average SST of NOAA and MetOp.

図 6. 2022 年 7 月 11 日の沖縄近海の海面水温 1 日間合成画像。

- (a) 日最低水温 (ひまわり 8 号)。
- (b) 日平均水温 (ひまわり 8 号)。
- (c) 日最高水温 (ひまわり 8 号)。
- (d) 日平均水温 (NOAA と MetOp)。

平均値を合成した画像である。それぞれを比較した結果、海況解析にはムラの少ない、不自然な様子のない日平均値を採用することとした。

次に、Fig. 7 (a) に示す範囲内で SST-N/M と SST-H8 の緯度経度 10 分毎の海面水温データを比較した。Fig. 7 (b) は、SST-N/M と SST-H8 の水温相関図である。採用したデータは、雲の影響が少ない 2022 年 1 月 9 日と同年 7 月 11 日の日平均水温である。暖色系の領域は事例数が多く、寒色系の領域は事例数が少ないことを示している。相関図から、水温 28℃では SST-H8 が 0.7℃程度低く、水温 5℃では SST-H8 が 0.4℃程度低いことがわかった。Fig. 7 (c) は、SST-N/M と SST-H8 の水温差のヒストグラムである。水温差の平均値

は約 -0.6°C 、標準偏差は約 1.6°C である。この比較では、 27°C から 30°C の事例数が多いため、この温度領域の水温差がヒストグラムで顕著に表れている。

4 おわりに

本稿では、ひまわり海面水温を使用する新たな海況解析の仕組みと、同データの特性を紹介した。

SST-H8 と SST-N/M や定点観測のデータとの水温差は、最大で 1°C 程度であった。また、定点観測データとの水温差の標準偏差も最大で 1°C 程度であり、ばらつきが小さいことがわかった (Table 1)。

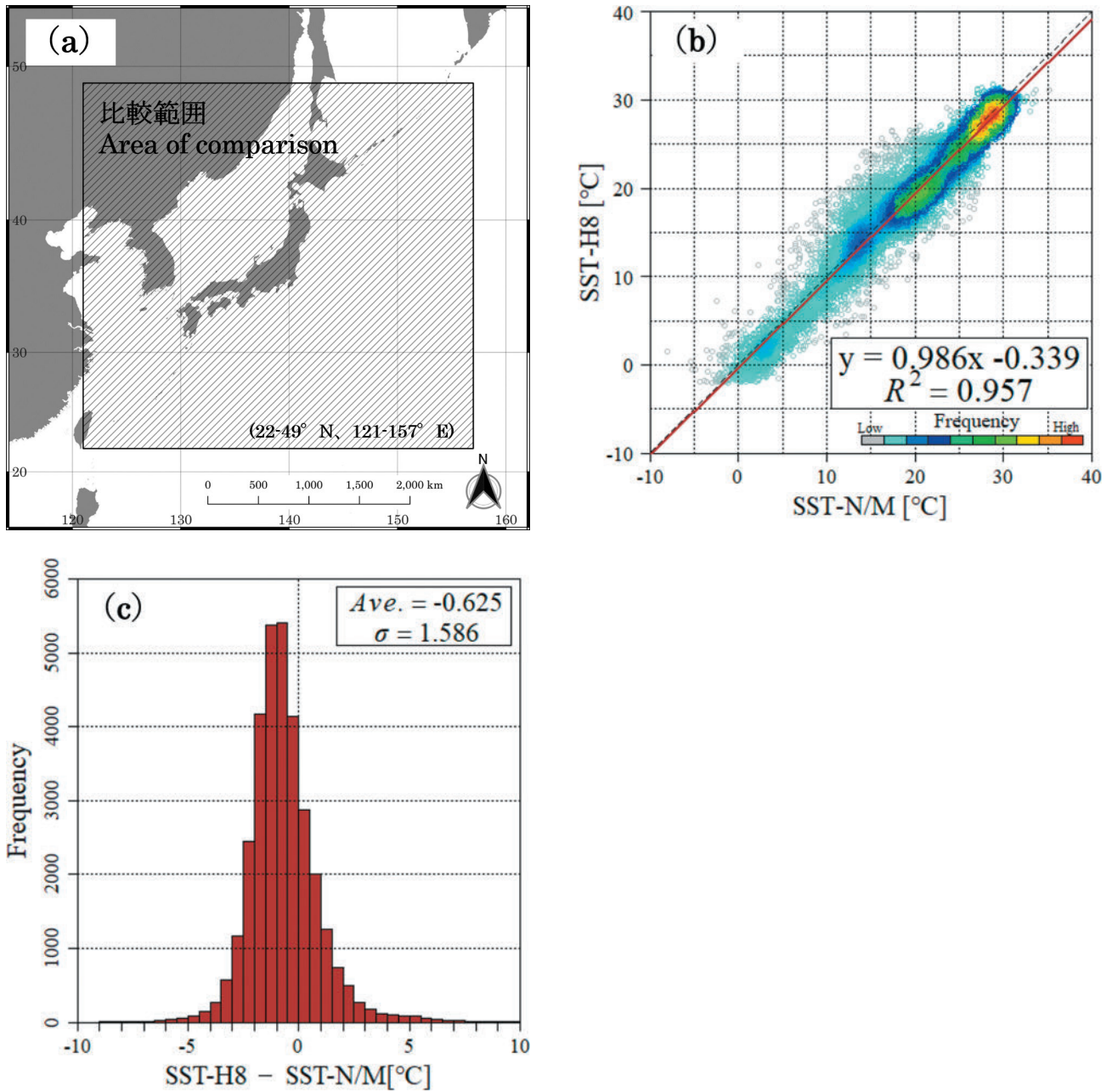


Fig. 7. Comparison between SST observed by NOAA/MetOp (SST-N/M) and SST-H8 at Jan. 9, 2022 and Jul. 11, 2022.

- (a) The area of comparison between NOAA/MetOp and Himawari-8.
- (b) Correlation plot between SST-N/M and SST-H8. The color of the dots indicates high or low frequency (Color bar at the bottom right of the figure). Red line indicates linear regression.
- (c) Histogram of differences between SST-N/M and SST-H8.

図7. 2022年1月9日と2022年7月11日のNOAA/MetOpの表面海水温 (SST-N/M) とSST-H8の比較.

- (a) 比較範囲.
- (b) ひまわり8号とNOAA/MetOpの水温相関図. 点の色は頻度の高低 (カラーバーは図の右下), 赤色の線は回帰直線を示す.
- (c) ひまわり8号とNOAA/MetOpの水温差の頻度分布.

Table 1. The differences and their standard deviation values between SLT-CLB, SLT-KB10, SLT-KB13, SST-N/M and SST-H8.

表 1. 現地観測水温及び SST-N/M と SST-H8 との差とその標準偏差.

	Difference with SST-H8 (°C)	Average difference with SST-H8 (°C)	Standard deviation (°C)
SLT-CLB	-0.6 (at 10°C) +0.6 (at 28°C)	-0.3	1.1
SLT-KB10	-1.1 (at 17°C) 0.0 (at 29°C)	-0.6	0.7
SLT-KB13	-1.0 (at 17°C) -0.1 (at 29°C)	-0.6	0.7
SST-N/M	-0.4 (at 5°C) -0.7 (at 28°C)	-0.6	1.6

期間合成手法を検討した結果、日平均値を使用することで、日最高値や日最低値を使用した場合と比べ、不自然なムラが少なくなり、スムーズな画像が生成されることがわかった。

ひまわり海面水温への変更による影響は、水温のずれが概ね 1°C 以下とわずかであり、海洋速報の作成にはほとんど影響ないと考えられる。この変更の利点は、従前より保守や費用面の負担が小さいほか、雲の遮蔽の影響が小さくなるため、水温図や海流図の精度の向上が期待できることである。一方、欠点は従前より空間分解能が悪くなるが、海洋速報の作成には特に問題ないと考えられる。

謝 辞

筆者（笠石）は、2021 年 4 月より、気象庁大気海洋部より海上保安庁海洋情報部に出向し、大洋調査課業務に従事させていただいています。本稿では、2022 年 9 月に海洋速報の作成に使用する衛星データが、NOAA と MetOp からひまわりに変更するにあたり、海上保安庁のみなさまにお知らせしたいという観点から執筆しました。

本報告へ投稿する機会をいただきました森岡主任大洋調査官、石田大洋調査官、大洋調査課各諸氏に感謝いたします。千葉灯標の水温データについては、福本大洋調査官から多くの助言をいただきました。本調査にて使用した黒潮牧場ブイの水温データは、高知県水産振興部漁業振興課の漁海況情報システムを利用させていただきました。本調査にて使用したひまわり海面水温データ

は、宇宙航空開発研究機構（JAXA）の分野横断型プロダクト提供サービス（P-Tree）より提供を受けました。

ひまわり海面水温のデータを用いた海況解析方法について、JAXA と気象庁に貴重な助言をいただきました。ここに記してあらためて謝意を表します。

文 献

- 習田恵三 (2009) 現場値との比較から見た NOAA-MCSST 解析値の特性及びその効果的な利用法の紹介, 海洋情報部研究報告, 45, 34-52.
- JAXA, 「GCOM-W1」データ利用ページ, https://www.eorc.jaxa.jp/AMSR/satellite/gcom-w_ja.html.
- JAXA, 「ひまわりモニタ」検証ページ, <https://www.eorc.jaxa.jp/cgi-bin/ptree/validation/sst.cgi>.

要 旨

海上保安庁海洋情報部では、2022 年 9 月から、JAXA が運営する「ひまわりモニタ」から、気象衛星ひまわりで観測した海面水温をインターネット回線でダウンロードし、海況監視と海洋速報作成に使用することにした。この方法の導入により、従前の外国衛星 NOAA と MetOp のデータを使用する方法より、保守や費用の負担が軽減できた。本稿では、海洋速報における海面水温データ利用方法とひまわり海面水温の特性について紹介する。

ひまわりは、日本周辺での撮影間隔が 10 分と高頻度のため、従前の NOAA と MetOp に比べ雲の遮蔽によるデータの欠如が減少する。このため、水温図や海流図の精度の向上が期待できる。東京湾モニタリングポスト千葉灯標の水温データと比較した結果、水温 10°C 以上 28°C 以下の範囲で、±0.6°C 以内で一致した。四国沖の黒潮牧場ブイと比較した結果、水温 29°C ではほぼ一致するが、水温 17°C ではひまわりが 1.1°C 程度低く

なった。ひまわりの日平均水温の画像は、日最高及び日最低水温の画像に比べ、ムラが少ないため、海況監視に良いことがわかった。

NOAA と MetOp の水温データとひまわりの水温データを比較したところ、水温 28℃ でひまわりが 0.7℃ 程度低く、水温 5℃ でひまわりが 0.4℃ 程度低いことがわかった。