

## 黒潮水域を中心とした高精度海況日報の作成手法

謝 旭輝<sup>†1,2</sup>, 岩田静夫<sup>2</sup>, 根本雅生<sup>1</sup>, 長島秀樹<sup>1</sup>

### A method for obtaining daily high-resolution sea surface temperature in the KUROSHIO regions

Xuhui XIE<sup>†1,2</sup>, Shizuo IWATA<sup>2</sup>, Masao NEMOTO<sup>1</sup> and Hideki NAGASHIMA<sup>1</sup>

In order to furnish daily high-resolution sea surface temperature (SST) to fishermen, who are always looking for data to help in locating good fishing grounds, a method for obtaining daily SST for each 1/40° grid was presented and discussed. For this purpose, AVHRR SST is very valuable because of the high ground resolution of 1.1km. AVHRR SST, however, cannot be obtained under cloud and this often leads to sporadic SST distribution. To overcome this, we prepared a daily composite SST from SSTs collected in the past 5 days. If an SST was lacking, the SST was interpolated from available SSTs at surrounding grids. The composite SSTs were often different from directly observed SSTs. Accordingly, in order to improve data quality, the daily composite SSTs were compared with SSTs observed directly from boats and buoys along with remotely sensed AQUA/AMSR-E SSTs. Average temperature difference and standard deviation between composite SSTs and the latter two SSTs were calculated. To select high-quality SSTs, composite SSTs with a temperature difference two times larger than the standard deviation were eliminated. At the same time, all selected composite SSTs were corrected by the average temperature difference. These selecting and correcting procedures were reiterated until the standard deviation of the temperature difference became smaller than 0.5°C. Selecting high-quality composite SSTs, however, resulted in a lack of data at some grids. Accordingly, they were interpolated or extrapolated from those at the nearest grids. The composite SSTs were finally corrected using the temperature difference obtained.

**Key words:** sea surface temperature, AVHRR SST, AMSR-E SST

#### はじめに

黒潮水域ではイワシ類, ブリ類, カツオ, サバ類など, 回遊性魚類を対象とした漁業が行われており, 効率のよい操業を行うためには, 的確に漁場を選定することが必要である。

この水域の海況および漁況は黒潮流路の変動に大きく左右されるので, 漁業者は黒潮にみられるさまざまな時空間スケールの変動と沿岸域の海況の短期変動に強い関心を持っている。現在, 和歌山県~千葉県地方水産研究機関では衛星画像を利用し, リアルタイムの詳細な水温分布図を漁業者に提供している。特に和歌山, 三重, 神奈川では,

1日単位で得られた衛星画像を合成して水温分布図を, また, (社)漁業情報サービスセンター(JAFIC)でも毎日得られた画像水温データから最大値を選び, 水温分布図を作成している。しかし, 各機関ともに実測水温による補正をせずに作成しており, そのため表面水温分布のパターンを捉えることは可能であるが, 現場で利用できる海況情報としては十分であるとはいえない。また, 雲域下は欠測となるので, 対象海域全域の水温分布図が作成できないという問題が残されている。

衛星観測水温は, 時空間スケールが細かく優れた情報ではあるが, 船舶観測水温, ブイ観測水温などの実測水温との間にバイアスがある。その主な理由は, 実測水温が数mのbulk水温を観測しているに対し, AVHRR水温(赤外線水温)は海面~数十 $\mu\text{m}$ のskin水温を, AMSR-E水温(マイクロ波水温)が海面~数mmのsub-skin水温を観測しているからである。Yokoyama *et al.* (1995)とGentemann *et al.* (2003)らは, 表層(surface)水温が垂表層(subsurface)水温と比べ, その差が3°C以上になることも珍しくないと述べて

2005年9月13日受付, 2006年3月10日受理

<sup>1</sup> 東京海洋大学 海洋科学部

Department of Ocean Sciences, Tokyo University of Marine Science and Technology, Konan 4-5-7, Minato-ku, Tokyo 108-8477, Japan

<sup>2</sup> (社)漁業情報サービスセンター

Japan Fisheries Information Service Center, Toyomishinko Bldg 6F, Toyomi-cho 4-5, Chuo-ku, Tokyo 104-0055, Japan

<sup>†</sup> xifui2003@yahoo.co.jp

いる。したがって、どの深さの水温を測定するかによって測定値が異なるのが一般的である。また、AVHRRの誤差は昼間で0.5°C、夜間で0.3°Cであることが指摘されている (McClain *et al.*, 1985; May *et al.*, 1998; Reynold and Smith., 1994; Reynolds *et al.*, 2002)。このように測定深度や測定時刻によって、測定水温に差が生じる。そこで、漁業者がもっとも関心を持つ水温情報を作成するためには、漁業者の信頼が高い現場水温 (bulk水温) で衛星観測水温のバイアスを修正する必要がある。

Zhang *et al.* (2004)は、AVHRR水温のバイアスが21年間の平均をとっても0.5°Cを超えている局所域があり、その局所域の一つである北太平洋北西海域では、雲量が季節のバイアスの原因であることを指摘している。さらに、Zhang *et al.* (2005)は、AVHRR水温のバイアスを修正するのに必要な現場データの密度について、1°×1°グリッドで0.1°C水温の精度を向上させるためには10°×10°グリッドに最低でも2個の観測ブイが必要であると述べている。したがって、このような観点からも実測水温を使って衛星水温を補正することが重要になる。また、Reynolds *et al.* (2005)らは赤外水温のみで水温解析を行うよりも、マイクロ波水温と赤外水温を結合した解析水温の方が精度が向上することを示している。

一方、数年前から気象庁、アメリカ海軍 (Rhodes *et al.*, 2002)、東北大学 (Guan and Kawamura, 2004) は日単位の水温分布図を公開している。この中で、気象庁の日報は空間解像度が0.25°であり、漁業者が必要としている水温前線、小規模な渦、水塊分布などの時間空間スケールの詳細な海洋現象が十分表現されているとは言い難い。Reynolds and Smith (1994)や Reynolds *et al.* (2002)らも現場水温とAVHRR水温から最適内挿法を用いて1°×1°グリッドの全世界解析水温を公開しているが ([ftp://ftp.prd.ncep.noaa.gov/pub/cmb/sst/oimonth\\_v2/](ftp://ftp.prd.ncep.noaa.gov/pub/cmb/sst/oimonth_v2/))、彼らも空間解像度が粗いために、黒潮域などの前線域では正確さにかけると述べている。これに対して、東北大学水温 (空間解像度0.05°)、アメリカ海軍のNLOM水温 (空間解像度0.0625°) は気象庁水温に比べて空間解像度が高く、詳細な海洋現象が表現されている。しかし、アメリカ海軍の日報は1日前の情報であり、漁業者が必要としている作成日の情報ではない。また、東北大学のそれは衛星データへの依存度が高いためか、漁業者が関心を示す現場水温との間に幾分かの差があると考えている。このような現状から、現場水温を重視する漁業者のニーズに応じた水温分布図の作成が望まれる。

本研究では、まず気象庁の解析水温で品質チェックした実測水温を用いて、AMSR-E水温を補正し、次にこの補正したAMSR-E水温を準実測水温として、AVHRR水温を補正する新しい海況日報の作成手法について述べる。なお、対象海域は、一都三県の漁業者が要望している対象海域の拡大を考慮し、東経131°~142°の本州南岸域とする。この

海域は数km程度の空間スケールをもつ数日周期の変動が卓越するとされている (松山ほか, 1992; 岩田, 1986; Kitade *et al.*, 1998)。漁海況情報では、漁場形成に深く関わっている数km程度の空間スケールの現象を表現する必要があるため、空間解像度3.5×3.5kmで水温図を作成することにした。

## データと方法

### データの特徴

本研究で使用したデータは、30°N~36°N、131°E~142°Eの範囲で得られた実測水温、気象庁解析水温、人工衛星によるAVHRR水温 (赤外線水温)、AMSR-E水温 (マイクロ波水温) データである。これらのデータの特徴について、以下に述べる。

#### (1) 実測水温データ

日単位のデータとして、房総~熊野灘の定地水温、東京~八丈島フェリー水温、ブイ観測水温 (相模湾: 城ヶ島沖、平塚沖、稲取沖、駿河湾~遠州灘: 波勝沖、御前崎沖、大井川沖、熊野灘: 大王崎沖)、1都6県 (東京都、千葉県、神奈川県、静岡県、愛知県、三重県、和歌山県) 水産試験研究機関が漁船から収集している漁場水温、(社) 漁業情報サービスセンターが収集している漁場水温やフェリー水温などがあげられる。

定地水温は概ね1m以浅の深さで、観測ブイの水温は1~5mの深さで測定されている。また、フェリーの水温は4~5m程度の深さで得られている。漁場水温は漁船の大きさによって測定深度が多少異なるものの、概ね1~2mの深さで測定されている。冬季には混合層が深くなるので、ブイ観測、フェリー観測、漁船観測などで得られた水温と表面水温との差は小さい。しかし、成層構造がもっとも発達する7月下旬~9月上旬には、表面と3~5m深との水温差は大きくなる。また、データは漁場や、フェリー航路上に集中する傾向にあり、データの欠測域がかなり広くみられる。

#### (2) 気象庁解析水温データ

気象庁では、0.25°グリッドでの解析水温を毎日公表している (<http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/db/kaikyo/ocean/daily/dailysst.html>)。このデータセットはAVHRR水温、AMSR-E水温、ブイ水温などを用いたもので、信頼性が高いとされている。本研究では実測水温データの品質管理に用いる。しかし、空間スケールが27kmであるため、前線などの位置情報を必要とする漁海況日報に使用するには分解能が粗過ぎる。

#### (3) NOAA/AVHRR水温データとAQUA/AMSR-E水温データ

NOAA/AVHRR水温データはMcClain *et al.* (1985)のアルゴリズムによって作成されたMCSSTを使用した。データセットの空間解像度は約1.1kmであり、細かい渦の変化、

前線域を捉えることが可能であり、漁場選定には有用な情報である。しかし、雲域下ではデータが得られないという欠点がある。特に雲の多い梅雨期には欠測点が多く、満足な水温分布図を得ることは難しい。

AQUA/AMSR-E水温データは、風速17m/sec以上、強雨域などの気象条件が悪い場合を除くと、雲の影響を受けずに観測することができる。しかし、空間解像度は40~50kmと粗く、漁場形成に関する小規模な渦や前線域を捉えることは難しい。また、沿岸域では陸域のマイクロ波放射が大きいのでデータが得られない。本研究では柴田(1996)のアルゴリズムによって作成されたLevel2SSTのAMSR-E水温を使用した。

**作成手法**

前述したように漁業者が必要としている実測水温(bulk SST)は海域を広くカバーできない。そこで、当日9時までに取得した実測水温データをもとに、広域で観測できるAMSR-E水温(sub-skin SST)データとAVHRR水温(skin SST)データをbulk水温で補正し、黒潮水域の高精度海況日報を作成する手法について検討した。作成手法はFig. 1に示すように、3段階のプロセスから構成されている。

実測水温データは観測機器、測定深度、観測時間が統一されておらず機器による誤差、測定深度による差、日変化による差などが含まれるので、データの品質管理が必要になる。そこで、第一段階として、信頼性の高い気象庁の解析水温を用いて、実測データの品質管理を行った。

実測水温の測点密度は、漁業者がもっとも必要としている漁場付近やフェリーの航路上で高くなっているが、その他の海域では密度が低く、あるいは空白域がみられる。この空白域を埋めるために、毎日安定して得られるAMSR-E水温データを活用する。当日を含む過去3日間のAMSR-E水温データを使って重みをつけて合成すると、沿岸域を除いて、ほぼ全域で日々の水温データが得られるため、第二段階では、AMSR-E水温データから当日の合成水温図を作成したのち、品質管理した実測水温データを使い、AMSR-E水温のバイアス補正を行った。次に、気象庁の解析水温を用いて、AMSR-E水温の品質管理を行った。

第三段階では、第二段階で得られた補正済みAMSR-E水温データと品質管理した実測水温を用いて、AVHRR水温データを補正し、3.5kmグリッド毎の黒潮水域水温分布図を作成した。また、本手法によって作成した水温図の精度について実測水温と一日ごとに比較し、年間を通してのバイアスとRMSEをもとめ、考察において検討した。

**結果**

**現場観測データの品質管理 (第一段階)**

データの品質管理はBoyer and Levitus (1994)に習い複数のデータセットを利用することに起因する重複データを取り除いたのち、気象庁の解析水温を参照データとして、高品

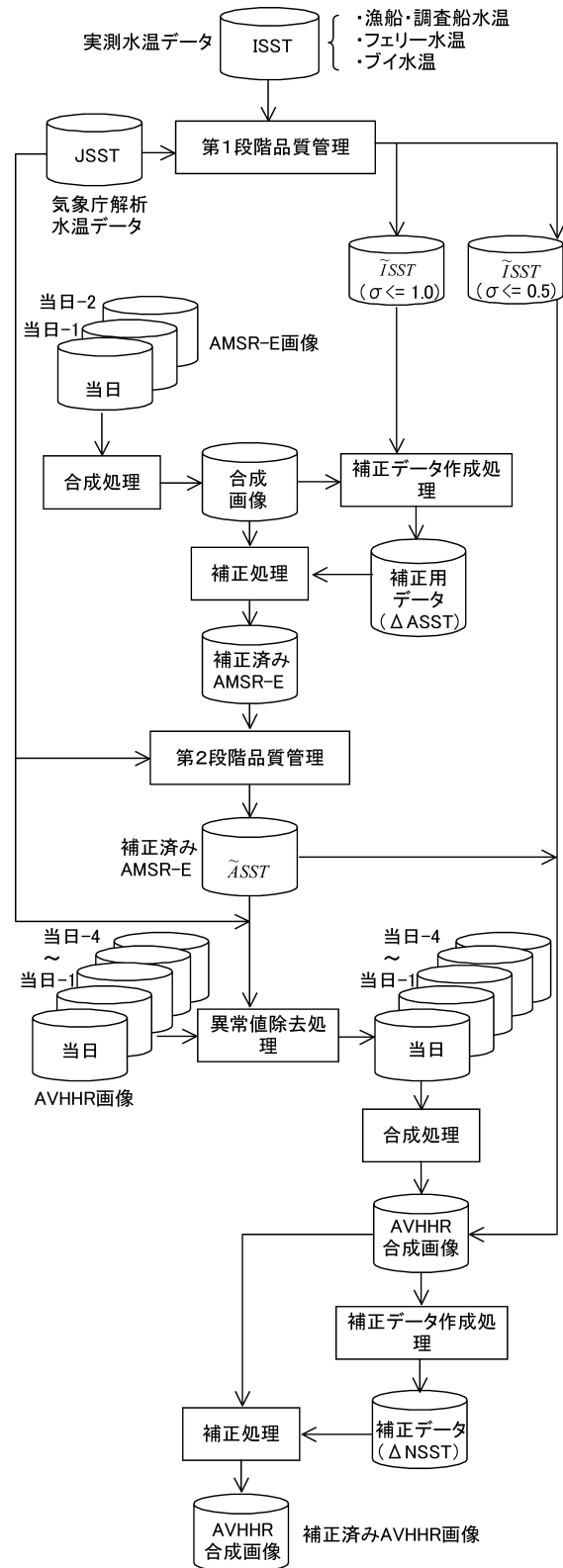
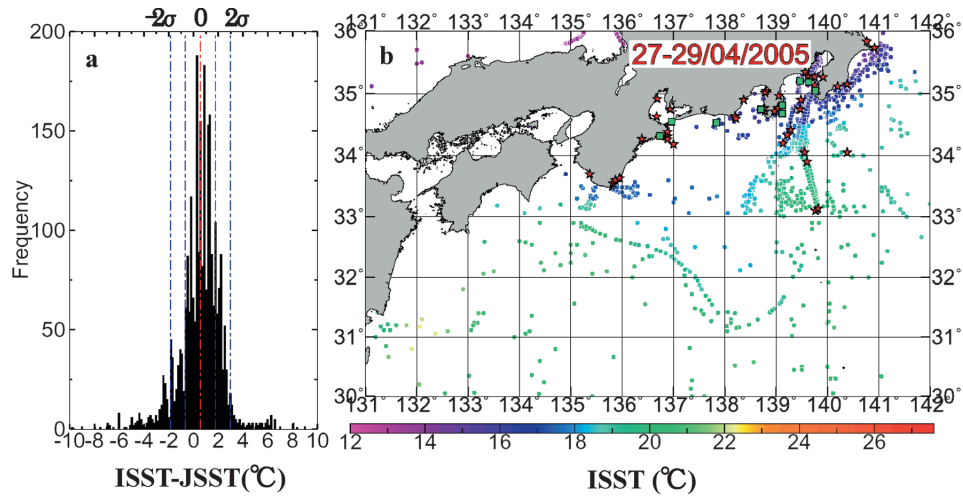


Figure 1. Flowchart for acquiring horizontal distribution of high-resolution daily SST.





**Figure 2.** a) Frequency distribution of  $\Delta JSST$  that is temperature difference between directly observed in situ SST (ISST) and SST published by Japan Meteorological Agency (JSST). These data are collected from 27 to 29, April, 2005. b) Distribution of high-quality in situ SST (ISST) selected on condition that  $\Delta JSST$  ( $=ISST-JSST$ ) is smaller than  $2\sigma$ . Red star ★ and green quadrangle ■ stand for mooring and buoy observation stations.

質実測水温データを抽出した。

まず、実測水温 (ISST) と気象庁解析水温 (JSST) の差 ( $\Delta JSST$ ) を求めた。一例として、2005年4月27日～29日の  $\Delta JSST$  の頻度分布を Fig. 2a に示した。  $\Delta JSST$  の平均 ( $\overline{\Delta JSST}$ ) は  $0.53^\circ\text{C}$  で、ISST が JSST より高く、標準偏差 ( $\sigma$ ) は  $1.32^\circ\text{C}$  となっていた。次に、 $2\sigma$  以上の実測水温を取り除き、各  $\Delta JSST$  から  $\overline{\Delta JSST}$  を差し引き、新しい  $\Delta JSST$  とした。この操作を  $\sigma \leq 1.0^\circ\text{C}$  になるまで繰り返し、第二段階に用いる ISST データセットを作成した。

このようにして、残された実測水温の空間分布を Fig. 2b に示した。元のデータ数が 2573 に対し、最終的なデータ数は 2273 となり、全体の 87% であった ( $\sigma = 0.95^\circ\text{C}$ )。この品質管理された ISST を用いて  $0.001^\circ \times 0.001^\circ$  グリッドの空間解像度のデータを作成した。なお同一グリッド内の ISST は平均値を求めた。このような操作により、最終的に ISST のデータのあるグリッド数は 993 個になり、これらのデータを品質管理された実測水温データとした。

なお、Fig. 1 に示すように第一段階の作業の中で第三段階に用いる  $\sigma \leq 0.5^\circ\text{C}$  の ISST データセットも作成した。

#### AMSR-E 水温の補正 (第二段階)

ここでは、AMSR-E 水温の  $1/16^\circ$  グリッドの 3 日間合成図を、以下の手続きで作成した。日報作成当日とその前 2 日間の計 3 日分の AMSR-E 水温データを使用し、各グリッドで得られる当日 (n) の AMSR-E 水温を ASST として、3 日間のデータから、当日の重みを付けた水温 ( $\bar{ASST}$ ) を

$$\bar{ASST}(n) = (2ASST(n) + ASST(n-1) + ASST(n-2)) / 4 \quad (1)$$

として求めた。

次に対象グリッドと隣接する  $3 \times 3$  個のグリッド (約

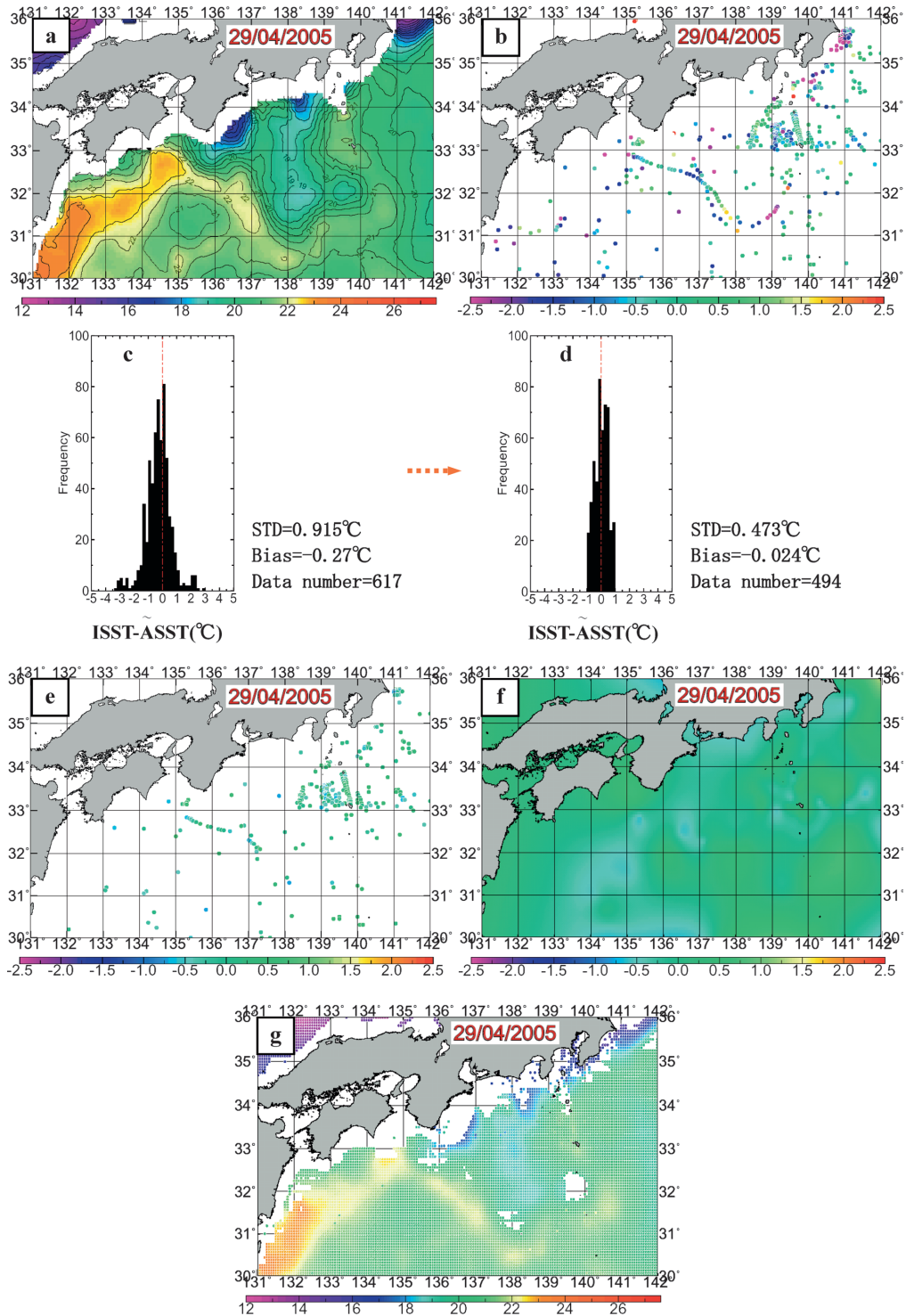
$21 \text{ km} \times 21 \text{ km}$ ) の水温を用いて空間的な平滑化を行った。また、データが存在しないグリッドはその周囲の  $3 \times 3$  個のグリッドにおける水温データの平均値を用いて内挿した。

一例として、Fig. 3a に 2005 年 4 月 29 日の AMSR-E 水温の合成結果 ASST を示した。この図は前述したように、4 月 27～29 日の 3 日間の AMSR-E 水温を用いて作成したものである。沿岸域は空白となっているが、これは AMSR-E 水温の測定不能海域を表わしている。また、データの空間解像度が粗いため、詳細な水温分布は分からない。

品質チェックされた ISST と  $\bar{ASST}$  の差 ( $ISST - \bar{ASST}$ ) を  $\Delta ASST$  とし、その空間分布を Fig. 3b に、 $\Delta ASST$  の頻度分布を Fig. 3c に示した。全データ数は 617 であり、データ密度は南西海域では低く、関東近海、伊豆諸島から紀伊半島沖合にかけて高くなっていった (Fig. 3b)。  $\Delta ASST$  の平均値 ( $\overline{\Delta ASST}$ ) は  $-0.27^\circ\text{C}$  ( $ISST < \bar{ASST}$ )、 $\sigma = 0.92^\circ\text{C}$  であった (Fig. 3c)。ここで  $\Delta ASST \geq 2\sigma$  以上のデータを除去し、 $\Delta ASST$  の平均値が 0 になるように ASST に平均値を加算した。相模湾における表面水温の日周変化は  $0.3^\circ\text{C}$  程度 (近藤ほか, 1972; 岩田, 1994) といわれていることから、ここでは  $0.5^\circ\text{C}$  を一つの目安として  $\Delta ASST$  の標準偏差 ( $\sigma$ ) が  $0.5^\circ\text{C}$  以下になるまで、この計算を繰り返した。この過程で多数のデータが除去され、最終的に残ったデータ 494 個の空間分布図を Fig. 3e に示した。データは漁場域である伊豆諸島海域に集中していた。このようにして得られた  $\Delta ASST$  の頻度分布を Fig. 3d に示した。このときの平均値は  $-0.02^\circ\text{C}$ 、 $\sigma = 0.47^\circ\text{C}$  であった。

以上の手順で求めた  $\sigma \leq 0.5^\circ\text{C}$  の  $\Delta ASST$  を使って、 $1/16^\circ$  グリッドの  $\Delta ASST$  の空間データを作成した。グリッドの中にデータが 2 個以上存在する場合は平均値を求め、グ





**Figure 3.** a) 3-day composite image of AMSR-E SST ( $\tilde{A}SST$ ) on 17, May, 2005. Color bar shows temperature range from 12 to 27°C and temperature contour interval is 0.5°C. b) Distribution of  $\Delta ASST$  that is temperature difference between high-quality in situ SST (ISST) and 3-day composite AMSR-E SST ( $\tilde{A}SST$ ). c) Frequency distribution of  $\Delta ASST$  that is temperature difference between high-quality in situ SST (ISST) and 3-day composite AMSR-E SST ( $\tilde{A}SST$ ). d) Frequency distribution of  $\Delta ASST$  after  $\Delta ASST$  larger than  $0.5\sigma$  are removed. e) Distribution of  $\Delta ASST$  after  $\Delta ASST$  larger than  $0.5\sigma$  are removed. f)  $\Delta ASST$  interpolated every  $1/16^\circ$  grid by using on  $\Delta ASST$  smaller than  $0.5\sigma$  as shown in Fig. 3b). g) Distribution of AMSR-E SST after correction by using  $\Delta ASST$  as shown in Fig. 3f and also quality controlled in situ SST.

リッド内にデータがない場合には、2次元スプライン補間法によって内挿し、 $1/16^\circ$ 全グリッドにおける $\Delta$ ASSTを求めて、ASSTの補正データとした(Fig. 3f).

これらの補正データを用いてASSTを補正し、さらに、気象庁解析水温(JSST)を用いて補正済みAMSR-E水温(ASST)の品質管理を行った。このときにJSSTとASSTの差の標準偏差( $\sigma$ )が $\sigma \leq 0.5^\circ\text{C}$ になるまでASSTをさらに補正した。最終的に得られたASSTの分布をFig. 3gに示した。白色域はデータの空白域であり、九州東岸から遠州灘に至る沿岸域と沖合域の3ヵ所に空白域が分布していた。

### 高精度水温データの作成 (第三段階)

第二段階で作成した $1/16^\circ$ グリッドのAMSR-E水温図は、海況の概況を捉えることができるものの、漁場という狭い範囲で操業する漁業者にとっては、より空間解像度の高い水温分布図が有用である。そこで、空間解像度が高い(約 $1.1\text{ km}$ ) AVHRR水温データを使い、 $1/40^\circ$ グリッドのAVHRR水温合成図を作成する。この場合、AVHRR水温データの品質を高める必要があるため、後述するように、第二段階で求めたASSTとISSTを参照した。

過去数年間にわたって蓄積されたAVHRR画像データを検索した結果、黒潮水域全域が5日間にわたって画像データが得られないということはなかった。そこで、日報当日とその前4日間の計5日分のデータを使って合成し、日々の水温分布図の基礎とした。

次に、ASSTとJSSTを参照して異常値を除去したAVHRR水温データをもとに、当日を含む過去5日間のデータを使って $1/40^\circ$ グリッドの水温合成図を作成した。この合成に際し、次の式(2)により時間の重み付けを行うと共に、 $3.5\text{ km}$ の空間平均を施し、データが存在しないグリッドでは内挿を行った。時間の重み付けは、以下のとおりである。当日( $n$ )の水温 $\tilde{\text{NSST}}(n)$ は、AVHRR水温を $\text{NSST}(n)$ とするとき、

$$\tilde{\text{NSST}}(n) = (4\text{NSST}(n) + 2(\text{NSST}(n-1) + \text{NSST}(n-2)) + (\text{NSST}(n-3) + \text{NSST}(n-4))) / 10 \quad (2)$$

で求めた。

第一段階で品質管理した $\sigma \leq 0.5^\circ\text{C}$ のISSTと第二段階で品質管理したASSTを準実測水温データ( $\tilde{\text{ISST}}$ )とし、第二段階と同様な方法でAVHRR水温を補正した。

2005年4月29日の場合を例として、4月25から29日までの5日間に得られたAVHRRの水温合成画像( $\tilde{\text{NSST}}$ )をFig. 4cに示した。4月29日の $\tilde{\text{ISST}}$ と $\tilde{\text{NSST}}$ の差を $\Delta\text{NSST}$ ( $=\tilde{\text{ISST}} - \tilde{\text{NSST}}$ )とし、 $\Delta\text{NSST}$ の中で $2\sigma$ 以上のデータを除去し、バイアスを補正して新しい $\Delta\text{NSST}$ とした。次に、この新しいデータの頻度分布を調べ、再び $2\sigma$ 以上のデータを除去してバイアスを補正した。この操作を $\sigma \leq 0.5^\circ\text{C}$ になるまで繰り返した。この例では最終的にデータ数は15225、 $\sigma = 0.47^\circ\text{C}$ で、バイアスは $-0.069^\circ\text{C}$ となった。

このようにして、最終的に得られた $\Delta\text{NSST}$ の空間分布をFig. 4aに示した。この図にみられる $\Delta\text{NSST}$ の空白域は2次元スプライン補間法によって補間し、 $1/40^\circ$ の全グリッドにおける補正データを作成した(Fig. 4b)。以上の手順によって得られた補正データを用い、AVHRR水温図を作成した(Fig. 4d)。

補正前の水温分布図(Fig. 4c)と比較すると、全体のパターンはよく似ているが、詳細にみると水温分布に相違がみられる。例えば、補正前では $34^\circ\text{N}$ 、 $137^\circ\text{E}$ から $31.5^\circ\text{N}$ 、 $139^\circ\text{E}$ 付近に分布している黒潮大蛇行によって囲まれた $18 \sim 18.5^\circ\text{C}$ 台の低水温域は、補正後では $18.5 \sim 19^\circ\text{C}$ 台とやや高くなっていて、また、 $33^\circ 30' \text{N} \sim 31^\circ 40' \text{N}$ 、 $139^\circ\text{E} \sim 140^\circ\text{E}$ の海域での水温分布は、補正後の方が約 $0.5^\circ\text{C}$ 低くなっていて、

### 考察

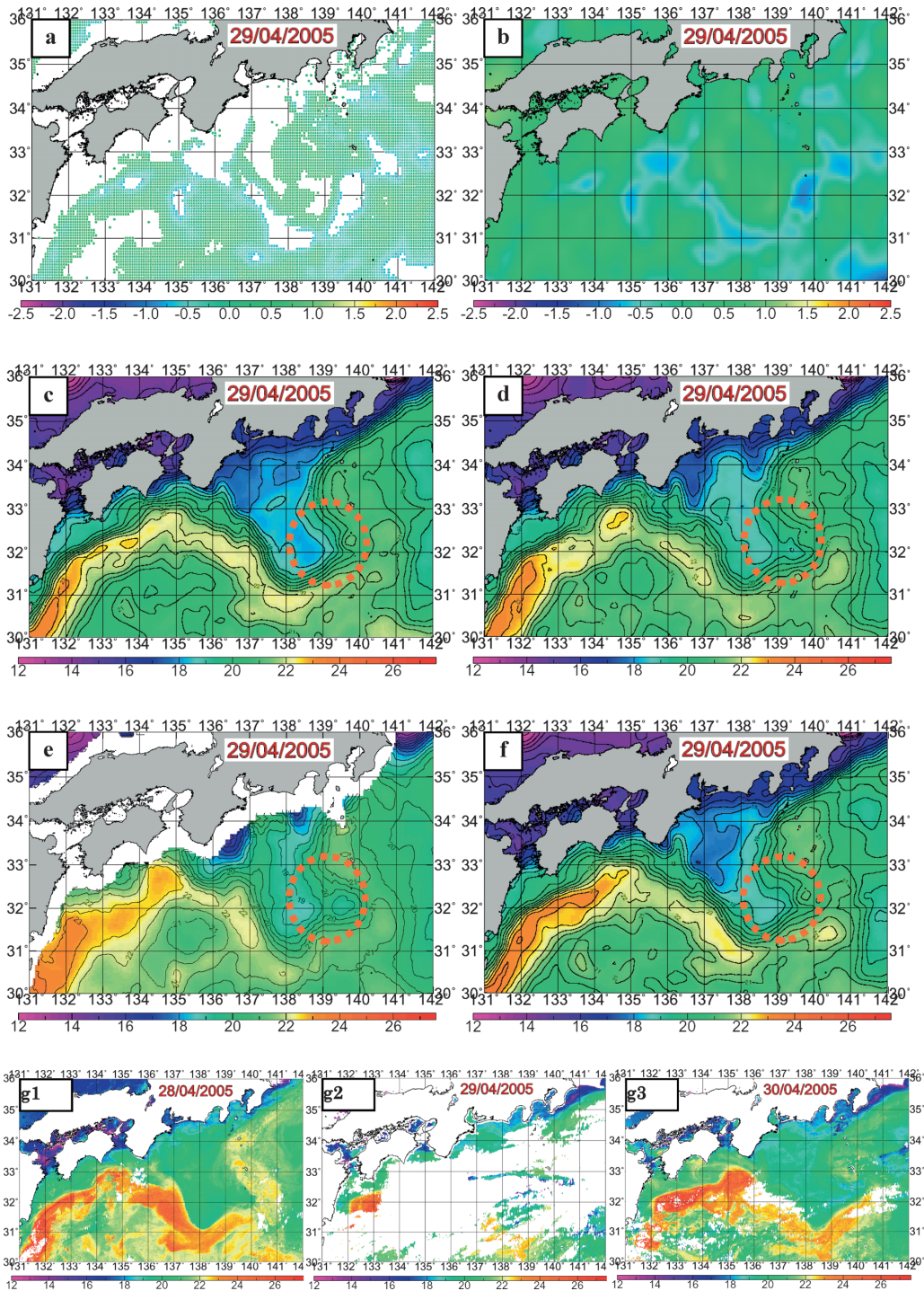
2005年4月29日を例に、実測水温と補正前と補正後のAVHRR水温の関係をそれぞれFig. 5a, 5bに示した。補正前のAVHRR水温と実測水温のバイアスは $-0.423^\circ\text{C}$ 、RMSEは $0.847^\circ\text{C}$ であるが、補正後にはバイアスが $0.081^\circ\text{C}$ に、RMSEは $0.370^\circ\text{C}$ となっていた。バイアス、RMSEとも補正後に小さくなっていることがわかった。

次に、1年間を通して水温図を作成し、水温精度について検討した。Fig. 6は2004年10月1日から2005年9月30日までの1年分のAVHRR補正水温と品質管理された実測水温の差のRMSEの時系列である。RMSEはスパイク状に小刻みに変化し、 $0.4^\circ\text{C}$ を越える時があるものの、概ね $0.2 \sim 0.4^\circ\text{C}$ の範囲にあった。また、一年間のRMSEの平均は $0.276^\circ\text{C}$ であった。このことは、季節に関わりなく実測水温に基づいたAVHRR水温補正法が有効であることを示している。

これまで述べてきたように、本論文で用いた水温図作成手法はAMSR-Eマイクロ波水温を中間に用いた3段階の方法であった。しかし、より簡単な方法として、AMSR-E水温を使わずに直接AVHRR水温を実測水温で補正することが考えられる。ここでは、AVHRR水温を準実測データで補正した水温分布図と実測データのみによって補正した水温分布図を比較した。Fig. 4fは、実測水温のみで補正した4月29日の水温分布図であり、4月28日、29日、30日に得られたAVHRR水温の未補正の原画像をそれぞれFig. 4g1, g2, g3に示した。4月29日のAVHRRの画像は、雲域が広範囲に分布していた(Fig. 4g2)。したがって、5日間コンポジットしたFig. 4cの画像は、Fig. 4g1に示した4月28日以前の水温パターンに強く依存していることがわかった。

さらに、Fig. 4fに示した赤丸の海域に注目し、実測水温のみによるAVHRR水温補正と本研究で用いた準実測水温によるAVHRR水温の補正(Fig. 4d)について比較すると、Fig. 4dでは遠州灘沖冷水の南端部が赤丸で示した海域まで





**Figure 4.** a) Distribution of  $\Delta$ NSST that is temperature difference between quality controlled  $\tilde{\text{SST}}$  ( $\tilde{\text{ISST}}$ ) and SSTs obtained by AVHRR ( $\tilde{\text{NSST}}$ ), after  $\Delta$ NSST larger than  $0.5\sigma$  are removed. b)  $\Delta$ NSST interpolated every  $1/40^\circ$  grid by using only  $\Delta$ NSST smaller than  $0.5\sigma$  as shown in Fig. 3a. Color bar ranges from  $-2.5$  to  $2.5^\circ\text{C}$ . c) 5-day composite image of NSST on Apr. 29, 2005. Color bar ranges from 12 to  $27^\circ\text{C}$ , temperature contour interval is  $0.5^\circ\text{C}$ . d) 5-day composite  $\tilde{\text{NSST}}$  on Apr. 29, 2005 corrected by using  $\Delta$ NSST as shown in Fig. 4b. Color bar and temperature contour are the same as in c). e) 3-day composite ASST on Apr. 29, 2005. Color bar and temperature contour are the same as in c). f) 5-day composite NSST corrected by directly observed SSTs. Color bar and temperature contour are the same as in c). g1, g2 and g3) Original image of NOAA/AVHRR SST obtained on 28, 29 and 30, respectively, April, 2005.



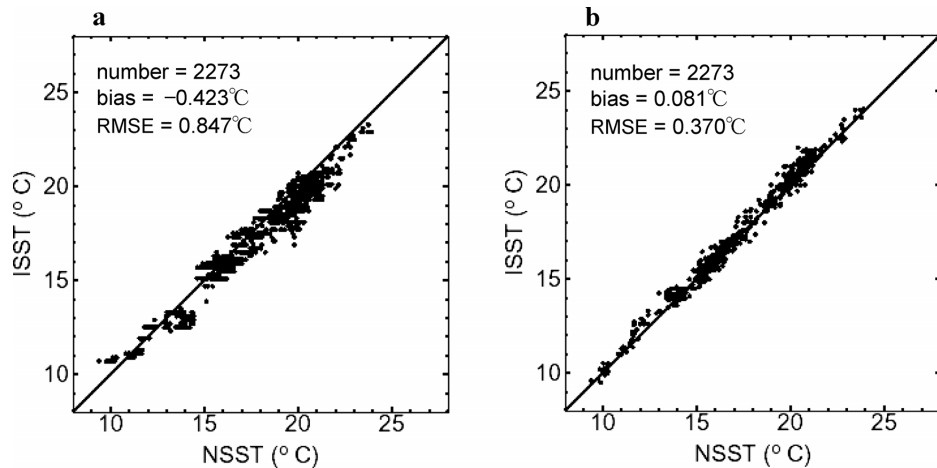


Figure 5. a) Comparison of ISST with 5-day composite NSST. b) Comparison of ISST with corrected 5-day composite NSST.

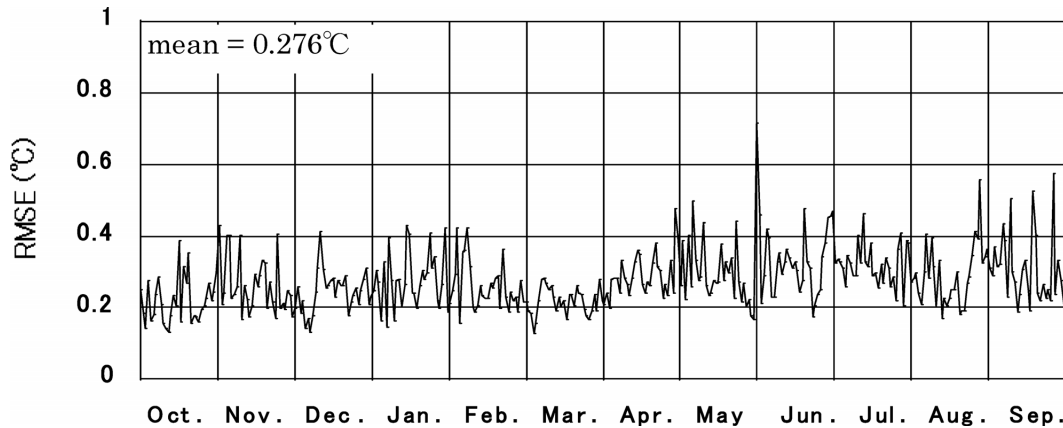


Figure 6. Time series of RMSE of difference between ISST and corrected NSST from Oct. 1, 2004 to Sep. 30, 2005.

深く浸入し、その結果 Fig. 4f に比べて前者の方が  $0.5^{\circ}\text{C}$  程度低かった。29日の AMSR-E コンポジット画像 (Fig. 4e) と 30日の AVHRR 画像 (Fig. 4g3) をみると、29日にこの海域の水温が低下したことは明らかであった。このように、雲の存在によって AVHRR 画像が得られない場合、AMSR-E 水温を含んでいる準実測水温データを利用して AVHRR 水温を補正する手法は、実測水温のみで補正する手法よりも優れていることがわかった。

以上のように本研究に用いた手法により、漁業者にとってより有益な漁海況日報を作成することができるが、改善すべき点が残されている。本手法は実測水温の精度と密度に依存するため、より高密度で精度の高い実測水温が必要になる。とくに沿岸域では、AMSR-E 画像が取得できないこともあり、沿岸域での観測施設の整備が望まれる。また、本研究では黒潮水域を研究対象としたが、本手法を用いるのに十分な実測水温データを収集することができれば、日本周辺海域のどこにでも適用することが可能である。

### 謝辞

本研究を進めるにあたり、懇切なるご指導を頂いた杉原滋彦博士、東京海洋大学の松山優治教授、JAXA の柴田 彰博士、山梨正人氏に心から感謝の意を表す。そして、本研究を進めるにあたり、AMSR-E 水温を提供して頂いた JAXA の関係各位および実測水温データを提供して頂いた都県水産研究機関の関係各位と漁業者の方々に感謝する。また、本研究に対して、多大なご助言とご協力を頂いた JAFIC の中園博雄氏、矢野泰隆氏に感謝する。また、本稿作成にあたり、適切なコメントを頂いた、東京海洋大学海洋科学部鳴海吉洋氏に感謝する。

### 引用文献

- Boyer, T. P. and S. Levitus (1994) Quality control and processing of historical oceanographic temperature, salinity, and oxygen data. NOAA Technical Report NESDIS, **81**, 64 pps.
- Gentemann C. L., C. J. Donlon, A. Stuart-Menteth and F. J. Wentz (2003) Diurnal signals in satellite sea surface temperature measurements.

- Geophys. Res. Lett., **30**, 1140.
- Guan L. and H. Kawamura (2004) Merging Satellite Infrared and Microwave SSTs: Methodology and Evaluation of the New SST. *J. Oceanogr.*, **60**, 905–912.
- 岩田静夫 (1986) 相模湾の海況の短期変動に関する研究. 神奈川県水産試験場論文集, **3**, 1–66.
- 岩田静夫 (1994) 定地水温を使った海況図解析. 神奈川県水産試験場報告, **15**, 55–59.
- 近藤純正, 内藤玄一, 藤縄幸雄 (1972) 海水温度の平日周期変化. 海と空, **48**, 53–59.
- Kitade, Y., M. Matsuyama, S. Iwata and I. Watabe (1998) SDP and LP fluctuation observed along the coast of sagami bay. *J. Oceanogr.*, **54**, 297–312.
- 松山優治, 岩田静夫, 前田明夫, 鈴木 享 (1992) 相模湾の急潮. 沿岸海洋研究ノート, **30**, 4–15.
- May, D. A., M. M. Parmenter, D. S. Olszewski and B. D. McKenzie (1998) Operational processing of satellite sea surface temperature retrievals at the Naval Oceanographic Office. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **79**, 397–407.
- McClain, E. P., W. G. Pichel and C. C. Walton (1985) Comparative performance of AVHRR-based multichannel sea surface temperatures. *J. Geophys. Res.*, **90**, 11587–11601.
- Reynolds, R. W. and T. M. Smith (1994) Improved global sea surface temperature analyses using optimum interpolation. *J. Climate*, **7**, 929–948.
- Reynolds, R. W., N. A. Rayner, T. M. Smith, D. C. Stokes and W. Wang (2002) An improved in situ and satellite SST analysis for climate. *J. Climate*, **15**, 1609–1625.
- Reynolds, R. W., H. Zhang, T. M. Smith, C. L. Gentemann and F. J. Wentz (2005) Impacts of in situ and additional satellite data on the accuracy of a sea-surface temperature analysis for climate. *Int. J. Climatol.*, **25**, 857–864.
- Rhodes, R. C., H. E. Hurlburt, A. J. Wallcraft, C. N. Barron, P. J. Martin, E. J. Metzger, J. F. Shriver, D. S. Ko, O. M. Smedstad, S. L. Cross and A. B. Kara (2002) Navy real-time global modeling systems. *Oceanography*, **15**, 29–43.
- 柴田 彰 (1996) 海面のマイクロ波放射計リモートセンシング. 気象研究ノート, **187**, 53–63.
- Yokoyama, R., S. Tanba and T. Souma (1995) Sea surface effects on the sea surface temperature estimation by remote sensing. *Int. J. Remote Sens.*, **16**, 227–238.
- Zhang, H., R. W. Reynolds and T. M. Smith (2004) Bias characteristics in the AVHRR sea surface temperature. *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L01307.
- Zhang, H., R. W. Reynolds and T. M. Smith (2005). Adequacy of the in situ observing system in the satellite era for climate SST., *J. Atmos. Oceanic Tech.*, **23**, 107–120.