
 報 告

北西太平洋モデル (MRI.COM-WNP) を利用した 関東・東海・北陸周辺海域における海面水温予測の検証

吉田 久美*・平原 幹俊**

要 旨

東京管区気象台は、関東・東海・北陸周辺海域の海面水温・海流情報の作成・提供を担当しており、地域におけるユーザーとの対話を重ねながら、ニーズの把握とニーズを踏まえた情報の改善に取り組んできた。本稿では、ユーザーからの要望を受けて実施した調査の内容を報告する。

気象庁ホームページでは、日本近海に東西 10° × 南北 5° の 10 の矩形海域を設定し、それぞれの海域で平均した海面水温解析値と北西太平洋モデルによる海面水温予測値を時系列グラフとして提供している。2013 年度以降に行った関東・東海・北陸地方のユーザーとの対話では、この海域区分について細分化の要望があった。そこで、関東・東海・北陸周辺海域を細分化した場合について、現行の海況予測システムによる海面水温予測値の精度を検証した。また、現行システムの予報初期値作成手法を高度化し、海面境界条件を高解像度化した WNP-4DVAR システムによる海面水温予測値についても検証した。その結果、WNP-4DVAR システムの予測期間である 10 日後までは、現行システムと比較して予測精度が改善されることが分かった。

1. はじめに

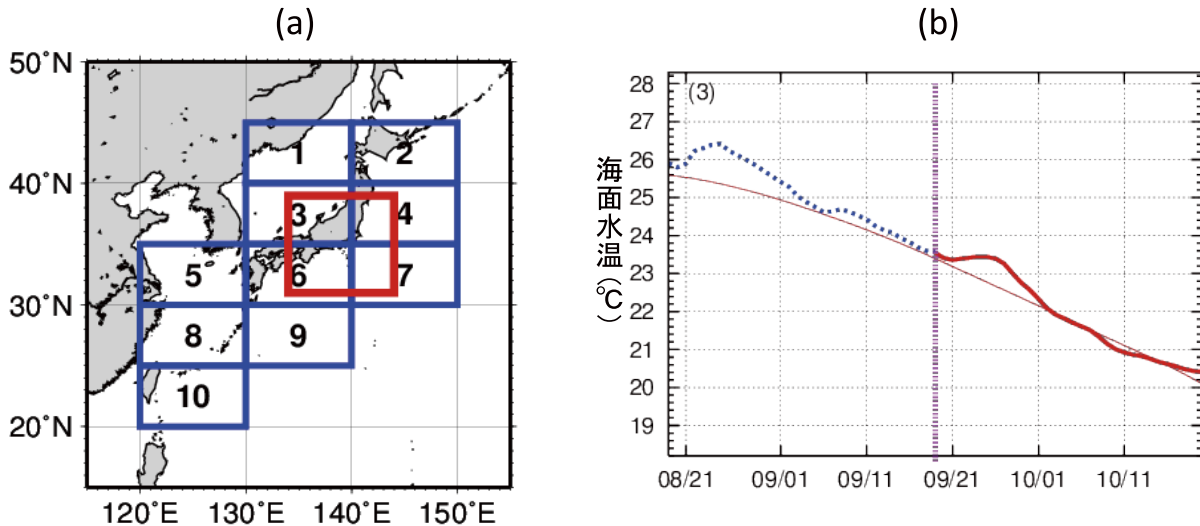
気象庁では、気象庁ホームページの「海洋の健康診断表」¹や、海洋観測データ及び解析値を提供する NEAR-GOOS データベース (栗原, 1998 ; 吉田, 2006) の運用により海洋情報の提供を行っている。これらの海洋情報の普及啓発・利活用促進は、海洋情報の提供における課題の 1 つと考えて取り組みを進めているところである。2013 年 10 月 1 日に管区気象台・沖縄気象台に地球環境・海洋課が発足したことを契機に、より地域に密着した取り組みを行うことで効率的・効果的な利活用促進を目指しており、2013 年度には地域にお

ける海洋情報のユーザーとの対話を重点的に行った。対話で得られた地域におけるユーザーの利用状況とニーズについては、吉田ほか (2015) にまとめられているとおりである。

関東・東海・北陸周辺海域の情報提供を担当している東京管区気象台では、2013 年度以降、関東・東海・北陸地方のユーザーとの対話を重ねながら、ニーズの把握とニーズを踏まえた情報の改善に取り組んできた。関東・東海・北陸地方のユーザーからの要望の 1 つに、気象庁ホームページで提供している海面水温 1 か月予報の時系列グラフの海域の細分化があった。海面水温 1 か月予報

* 東京管区気象台気象防災部地球環境・海洋課 (現地球環境・海洋部海洋環境解析センター)

** 地球環境・海洋部海洋気象課海洋気象情報室
(平成 29 年 9 月 27 日発行)¹ <http://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/shindan/index.html>

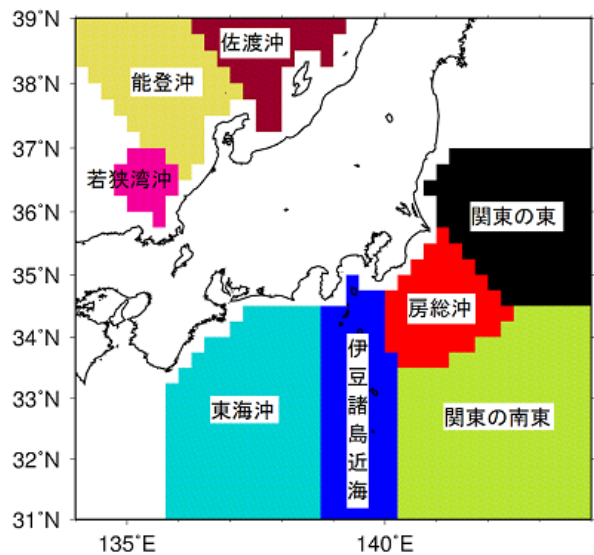


第1図 (a) 海面水温1か月予報の時系列グラフの海域図(青枠). 赤枠は東京管区気象台担当海域を示す. (b) 海域3の時系列グラフの例. 青点線は過去1か月の海面水温実況値, 赤太線は向こう1か月の海面水温予報値, 赤細線は平年値を示す. (<http://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/db/kaiyo/ocean/forecast/month.html>)

の時系列グラフでは、第1図aに青枠で示す東西10°×南北5°の10の海域について、海域平均した海面水温の過去1か月の経過と向こう1か月の予想の時系列を提供している(第1図b). 第1図aの赤枠で示している東京管区気象台の担当海域は、海域3, 4, 6, 7が対応するが、各々、東京管区担当海域以外の海域も含む。例えば、本州東方の海域4は、145°E以東に暖水渦が存在して渦周辺で海面水温が高くなると、沿岸に近い東京管区担当海域で海面水温が低い場合でも、海域4の平均としては海面水温が高いという場合がある。このようなことから、第1図aに示す海域分けは十分ではなく、海域細分化を進める意義が高いと考えた。

海域細分化は、まず、実況値(過去の経過)について行った。2015年9月に、海洋の健康診断表の関東・東海・北陸周辺海域の診断で、第2図で示す各海域の海面水温実況値の時系列グラフの提供を開始した。第2図の各海域は、東京管区気象台が海洋の健康診断表で用いている関東・東海・北陸周辺海域の海域名を基準に設定した。

1か月予報の時系列グラフの予報値は、気象庁で運用している北西太平洋モデル(石崎ほか, 2009; MRI.COM-WNP²; 以下、単にモデルと呼



第2図 東京管区気象台担当海域を細分化した海域図.

ぶ)による海面水温予測値を用いている。石崎ほか(2010)は、第1図aに示す10海域を対象とした海面水温予報値の海域平均値を検証し、冷水域と暖水域の混在する本州東方(海域4)で大きな誤差を示すことを報告した。このことから、前述したように海域を細分化することで暖水渦などの現象を評価できる可能性がある一方で、局所的な現象の予測が海域平均値の予測に大きな影響を与えるようになるために、海域平均値の予測誤差

² Meteorological Research Institute Community Ocean Model-Western North Pacific

が大きくなる可能性も否定できない。したがって、海域を細分化した予測値の提供の検討にあたっては、細分化した各海域の予測精度を確認する必要があると考えた。

本稿では、第 2 図に示す各海域の海面水温予測値の提供について検討することを目的として、検証を行った結果を報告する。現行 1 か月予報では、同化手法として 3 次元変分法を用いた北西太平洋海洋データ同化・予報システム (WNP-3DVAR システム; 以下, 3DVAR と略す) の結果を用いている。一方、気象庁では、瀬戸内海監視予測システム (平原ほか, 2017) の一部として、4 次元変分法を用いた同化・予報システム (WNP-4DVAR システム; 以下, 4DVAR と略す) を試験運用しており、日本近海の海況情報や全国の沿岸防災情報の高度化を目指して開発を進めている日本沿岸海況監視予測システム (坂本ほか, 2013) でも 4DVAR と同様の同化手法を採用している。そこで、4DVAR による予測精度も検証し、現行の 3DVAR の結果と比較した。

以下、第 2 章では、検証を行った 3DVAR と 4DVAR の 2 つのシステムの概要をまとめ、両者の違いを示す。第 3 章で検証方法を述べ、第 4 章で検証結果を報告し、第 5 章で考察を述べる。最後に第 6 章でまとめを述べる。

2. WNP-3DVAR システム (3DVAR) と WNP-4DVAR システム (4DVAR) の違い

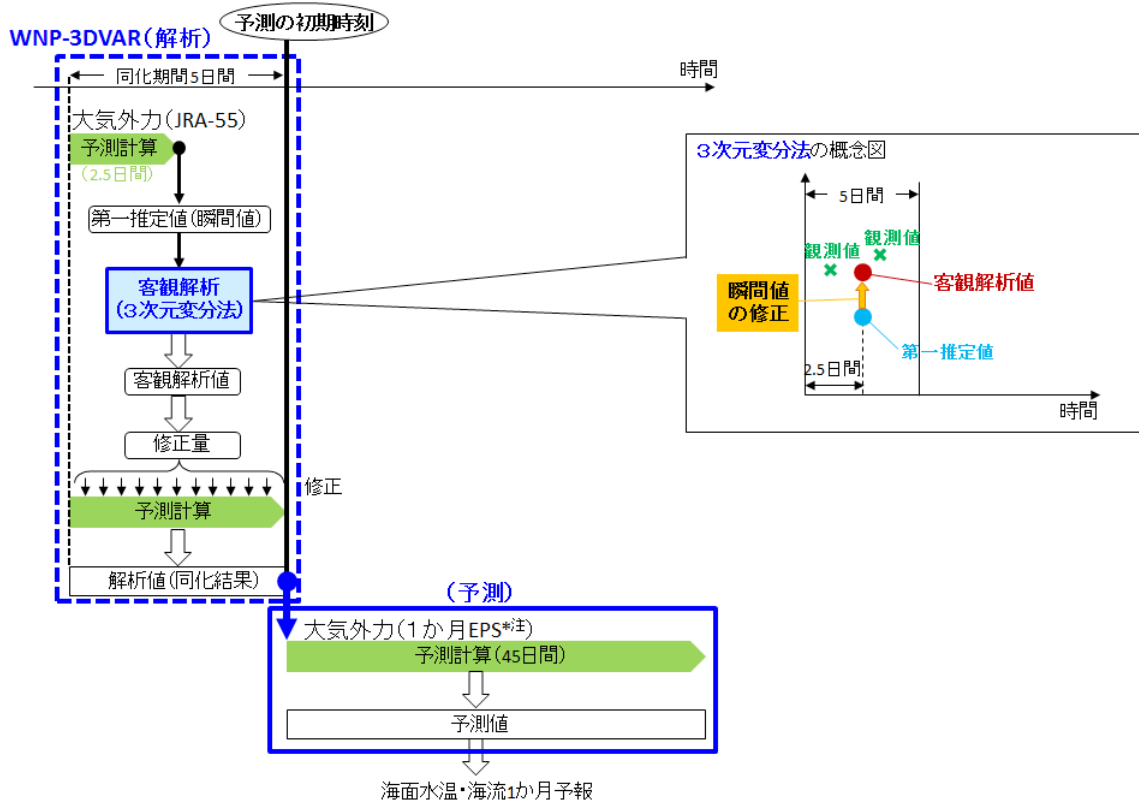
本稿では 3DVAR と 4DVAR の海面水温予測の検証結果を比較するので、これら 2 つのシステムの違いについて本章でまとめておく。詳細は平原ほか (2017) を参照されたい。第 3 図に 3DVAR と 4DVAR の概念図を示す。両者で使用するモデルは共通である。計算領域は $117^{\circ} \text{E} \sim 160^{\circ} \text{W}$, $15^{\circ} \text{N} \sim 65^{\circ} \text{N}$ の北西太平洋で、水平解像度は日本近海で 0.1° , 50°N 以北で南北 $1/6^{\circ}$, 160°E 以東で東西 $1/6^{\circ}$ である。鉛直方向には、深さ 6000m までに 54 層を有している。両者の主な相違点は、同化手法の違いによって予報初期値が異なることと、境界値として与える大気外力である。また大気外力の違いに伴って予測期間も異なる。

まず、同化手法の違いについて述べる。3DVAR (第 3 図 a) では、同化期間が 5 日である。前回の同化結果を初期値として 2.5 日間予測計算して得られる瞬間値を第一推定値とし、5 日間の観測データを用いて 3 次元変分法により水温・塩分の客観解析を行う。得られた客観解析値と第一推定値の差から水温・塩分の修正量を求め、同化期間である 5 日間に修正量を割り振って修正を加えながら再び前回の同化結果を初期値とした 5 日間の予測計算を行い、最終時刻の瞬間値を 1 か月予報 (海面水温予測) の初期値とする。

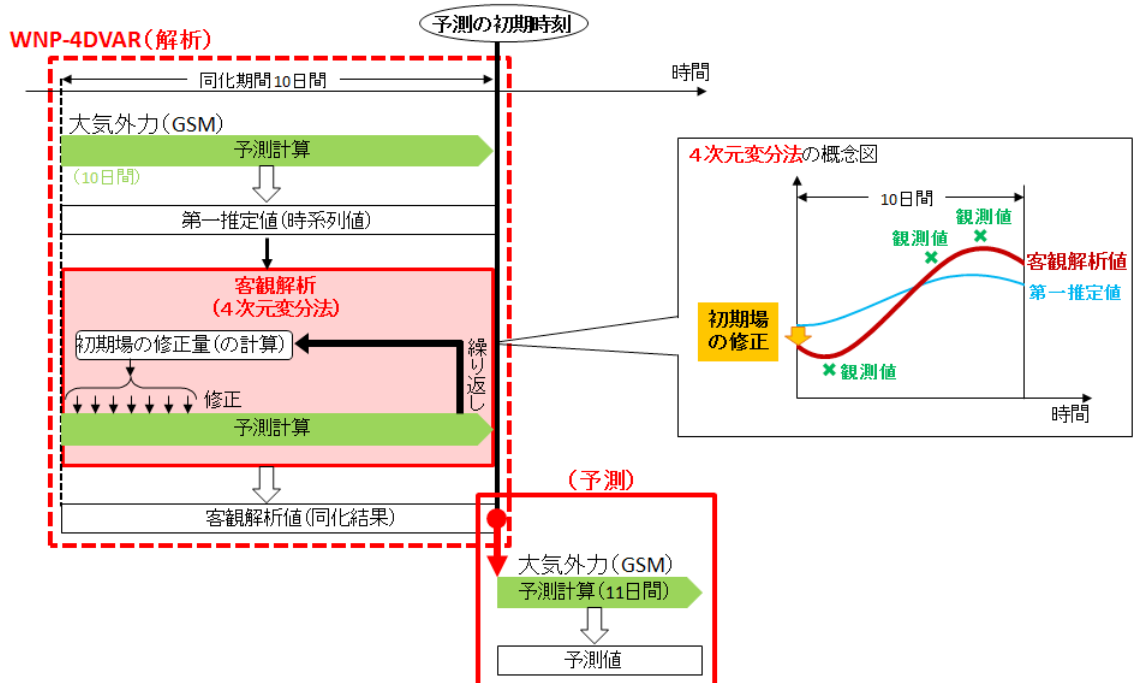
一方、4DVAR (第 3 図 b) では、同化期間が 10 日で、客観解析の手法として、観測データの観測日も考慮する 4 次元変分法を用いている。4 次元変分法では同化期間内の場の時間発展が観測に合うように初期場を最適化する。客観解析の第一推定値は、前回の同化結果を初期値とした 10 日間の予測計算による水温・塩分の時系列値である。この第一推定値と 10 日間の観測データを用いて、水温・塩分の初期場の修正量を算出し、その修正を加えながら再度 10 日間の予測計算をする。この修正量の計算と修正を加える予測計算を一定の基準を満たすまで繰り返し、最後の予測計算で得られた結果を客観解析値とする。修正を加える予測計算では、同化期間の初期に修正を加えた後は、モデルの力学にしたがった予測計算を実行するので、11 日予測の初期値として用いる同化期間最後の瞬間値は力学的整合性の取れたものとなる。

大気外力は、3DVAR の解析期間では、JRA-55 (Kobayashi *et al.*, 2015) の毎 3 時間値を用いている。3DVAR の予測期間では、1 か月アンサンブル予報システム (1 か月 EPS; 平井ほか, 2014) の日平均値を与えるが、予測期間はじめの 7 日目までは JRA 延長予報 (JRA-55 の解析値を初期値とした予報計算) との重みつき平均、1 か月 EPS 予報期間 (34 日) の終わりの 5 日間は JRA-55 気候値との重みつき平均、その後は JRA-55 気候値としている。一方、4DVAR では、解析期間と予測期間ともに空間分解能の高い全球数値予報システム (GSM; 米原, 2014) の毎 3 時間値を与える。そのため、4DVAR の予測期間は GSM の予測期

(a) WNP-3DVARシステム(「3DVAR」)



(b) WNP-4DVARシステム(「4DVAR」)



予測計算 : モデル(MRI.COM-WNP)の計算

第3図 (a) WNP-3DVAR システムと (b) WNP-4DVAR システム (本稿での略称は「3DVAR」と「4DVAR」) の概念図。各計算の内容は本文と本文に記載した文献を参照。

(*注) 3DVAR の予測計算の大気外力は、2017年3月以降、全球EPSに変更されている。

間と同じ11日間である。なお、3DVARによる海面水温1か月予報の大気外力は、2017年3月以降、1か月EPSから全球EPS（新保，2016）に変更されている。

3. 検証方法

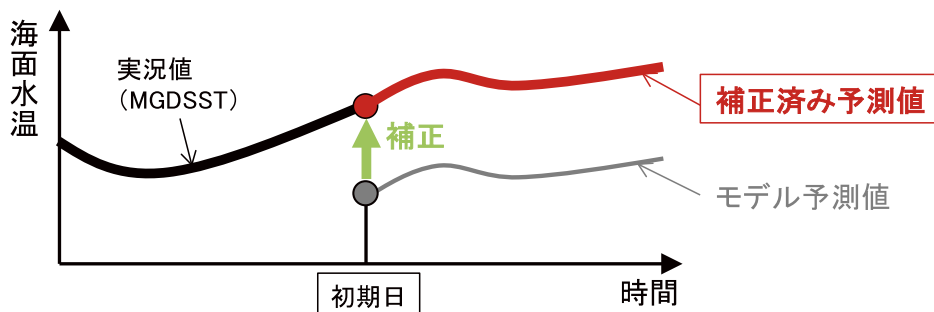
海洋気象情報室の数値予報ルーチンとして実行された3DVARと4DVARの予測計算の結果のうち、2015年5月10日～2016年6月19日を初期日とする予測計算結果を検証した。モデル第1層の0.5m深水温を海面水温として扱い、日平均海面水温の真値としては、気象庁で開発した全球日別海面水温解析（MGDSST；栗原ほか，2006）を用いた。モデル予測値は解像度 0.1° の格子点値であるため、MGDSSTの 0.25° 格子に内挿した後、比較のための処理を行った。3DVARの予測期間は45日間であるが、今回の検証では30日後までを対象とした。

まず、モデルの海面水温予測値に初期日のMGDSSTとの差分を用いて補正を加えた。第4図は補正方法の概念図である。予報初期値は、初期日の00UTCの値であり、そこから24時間予測計算を行った結果の日平均が初期日のモデルの海面水温予測値（日平均値）である。「初期日のモデル海面水温予測値とMGDSSTの差」をモデルの「初期バイアス」とする。第5図及び第6図に、3DVARと4DVARにおける初期バイアスを検証期間について平均したものを示す。全体的には4DVARの方が3DVARに比べて差が小さくなっ

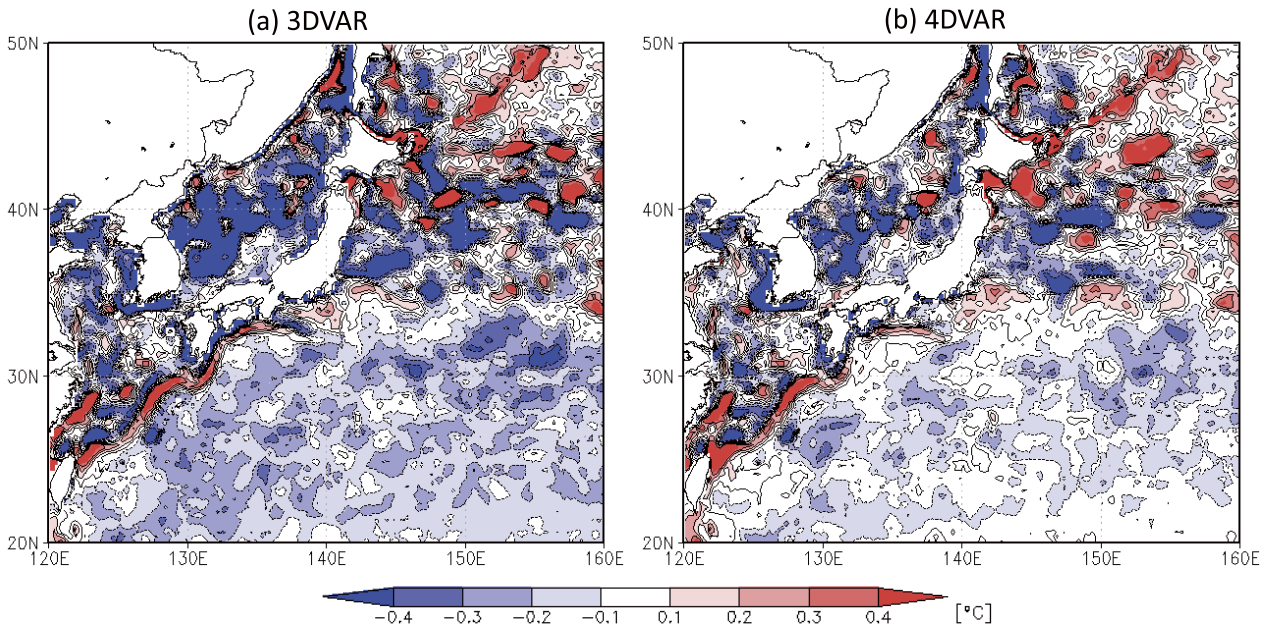
ているものの、4DVARでも房総沖周辺で 0.2°C 以上の初期バイアスが見られる。検証においては、予測期間（3DVARでは初期日から30日後まで、4DVARでは10日後まで）の海面水温予測値から予測計算ごとに求めた初期バイアスを差し引いたものを用いた。この補正方法は、現行1か月予報（第1図10海域の時系列予報）でも用いている。以下、この補正済みの予測値を単に「予測値」とする。

次に、第2図に示す海域について、3DVAR及び4DVARの海面水温予測値の海域平均値を求め、MGDSSTの海域平均値と比較し、海面水温予測値の平均誤差（以下、バイアス）及び2乗平均誤差の平方根（以下、RMSE）を計算した。

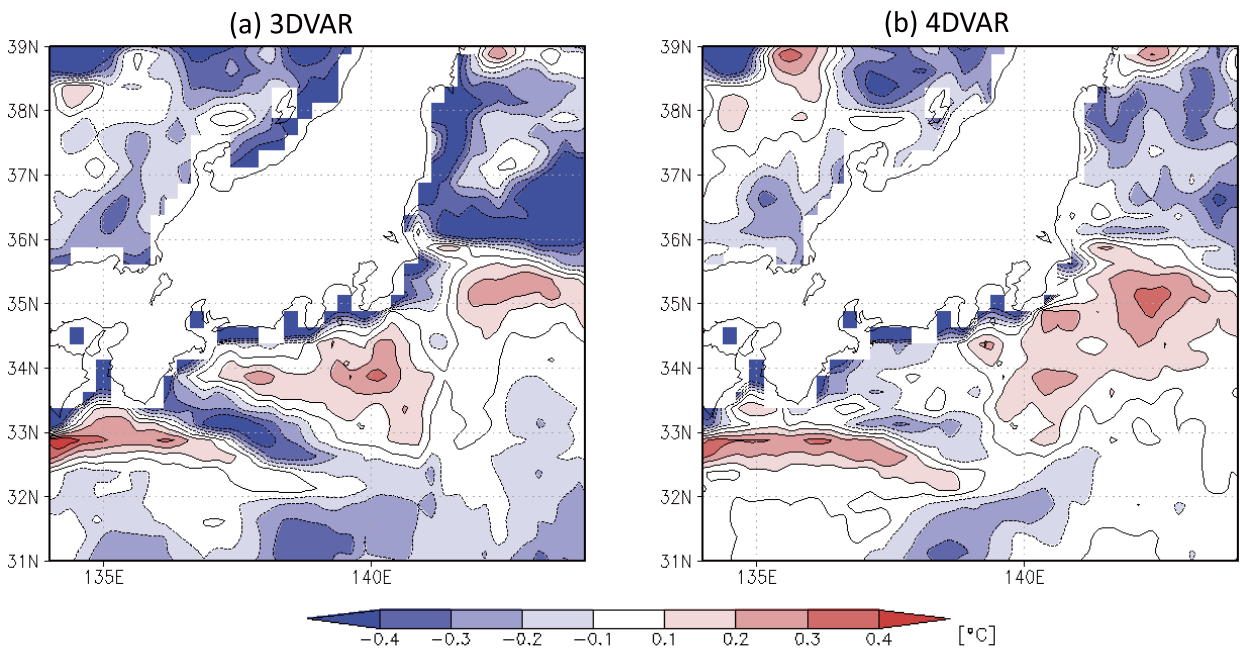
なお、気象庁では、2017年3月に海面水温1か月予報の時系列グラフの実況値の変更を行い、解像度 0.25° のMGDSSTから静止気象衛星ひまわり8号の海面水温データを用いて解析した結果である解像度 0.1° のHIMSSTに更新した。この変更に伴い、東京管区気象台の海域図も第2図から若干変更されているが、各海域の違いはMGDSSTの 0.25° 格子で1格子以下の違いであり、各海域の面積の変化量は各海域の面積に比べて僅かである。今回の検証では、MGDSSTを真値として用いたために2017年3月以前の海域分けを使用した。海面水温予測の検証という本稿の目的からすれば、結果に大きな影響はないと考える。



第4図 モデル海面水温予測値の補正方法の概念図。



第5図 (a) 3DVAR と (b) 4DVAR による初期バイアス（海面水温予測値を補正しない場合の初期日におけるバイアス）の検証期間における平均。



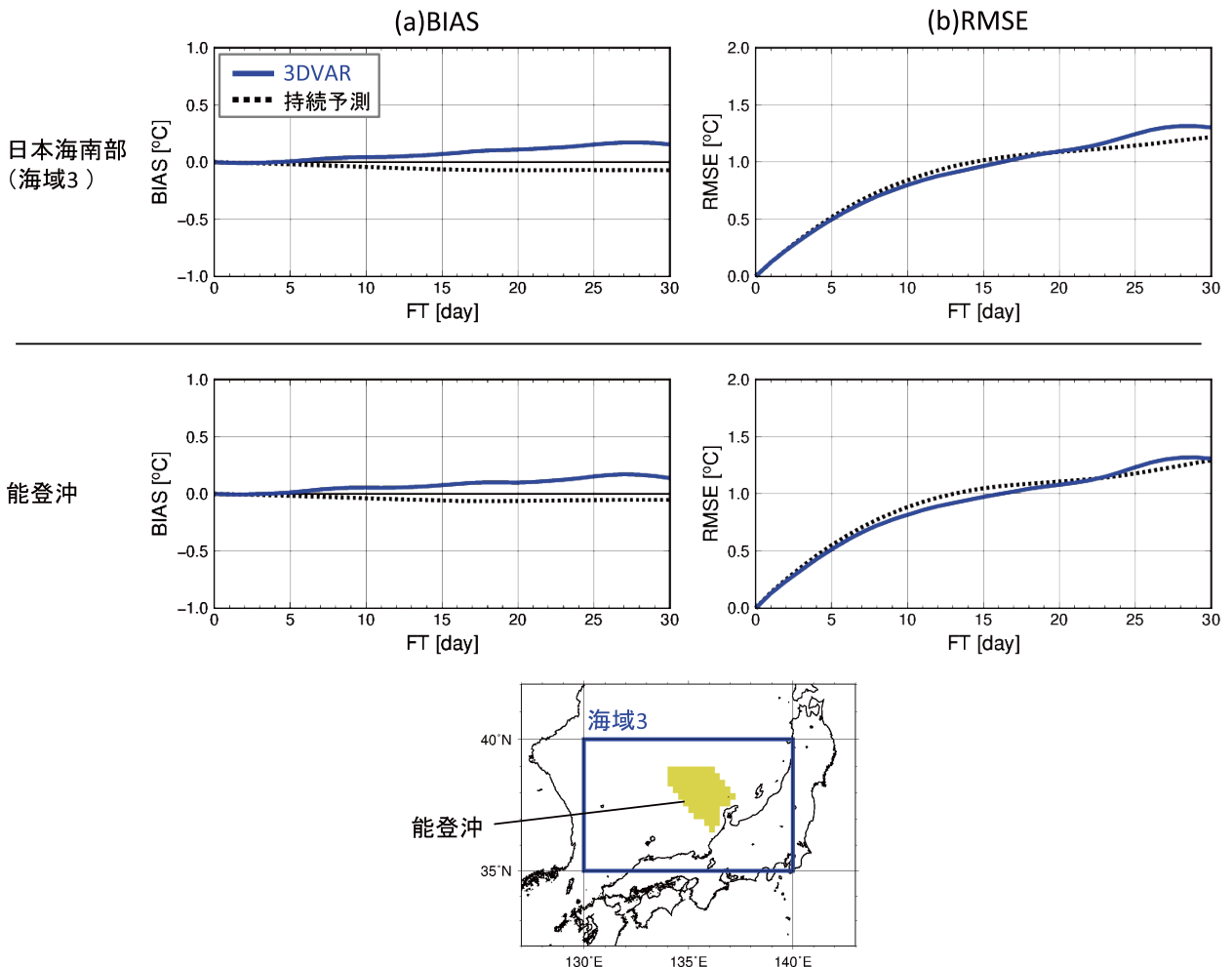
第6図 第5図と同じ。ただし、東京管区気象台担当海域を拡大。

4. 検証結果

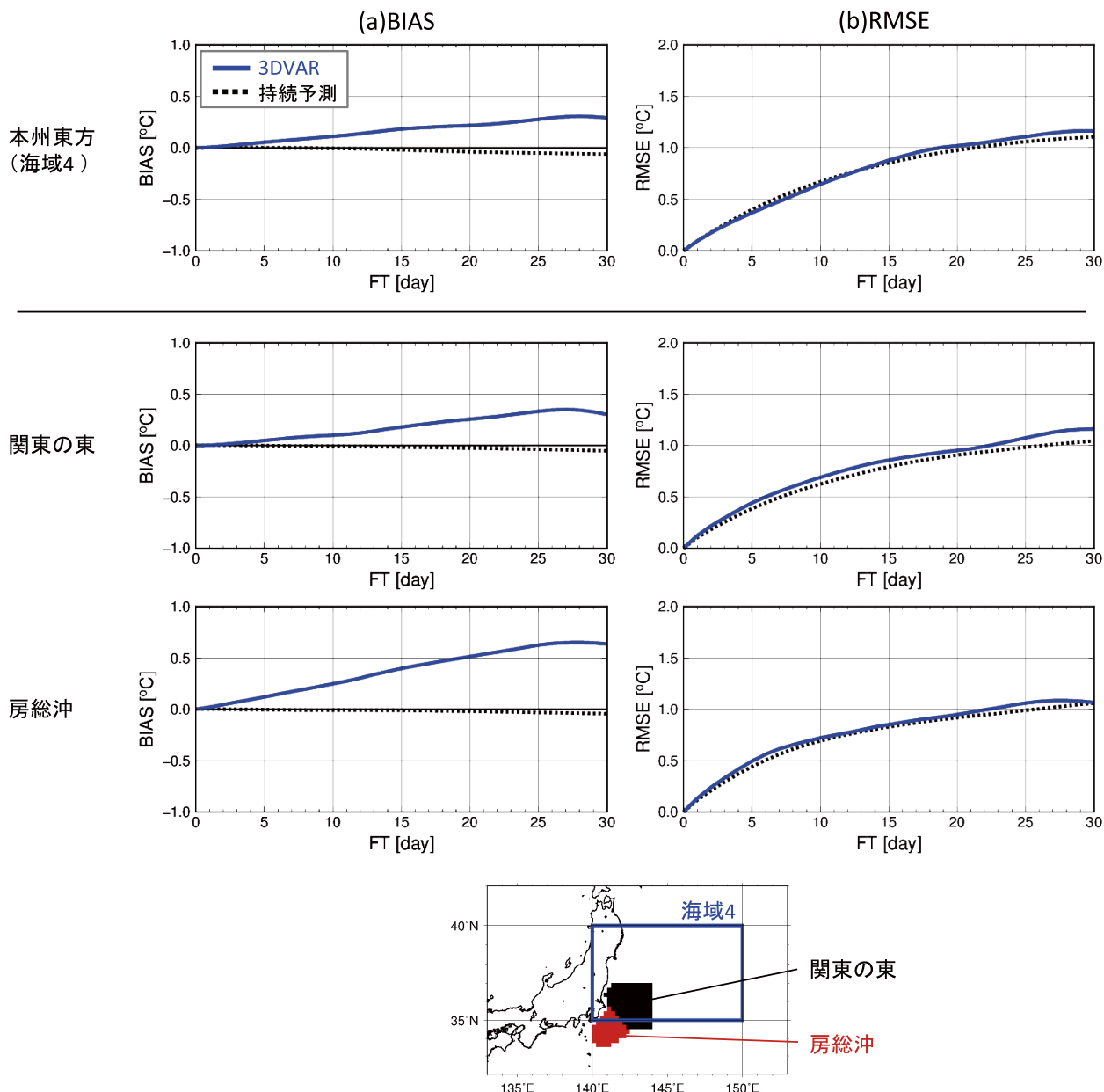
まず、海面水温1か月予報で使用している3DVARについて、海域を細分化することにより、バイアスとRMSEがどのように変わるかを検証した。予報初期日のMGDSSTの平年偏差を平年値に加えた「偏差持続予測値」（以下、持続予測）のバイアス及びRMSEを比較に用いた。

第7図に日本海南部（第1図の海域3）と細分化した海域の1つである「能登沖」における初期日から30日後までのバイアス及びRMSEを示す。日本海南部の海域を細分化しても、バイアス、RMSEともに大きく変わらないことが分かる。持続予測と比較すると、バイアスは3DVARの方が大きいですが、RMSEは同程度である。

次に、太平洋の海域について、第8図に本州東方（第1図の海域4）と細分化した海域である「関東の東」及び「房総沖」における30日後までのバイアス及びRMSEを示す。関東の東及び房総沖のRMSEは、海域4のRMSEと同程度である。太平洋のほかの細分海域でもRMSEは3DVARの方が持続予測に比べて大きい。持続予測と同程度で、細分化によりRMSEが顕著に大きくなる海域は見られなかった。一方、予測期間が長くなると正バイアスが大きくなる特徴は海域の細分化で顕著になり、房総沖のバイアスは、20日後に+0.5℃まで大きくなる。ほかにも、伊豆諸島近海など黒潮が流れる海域で大きな正バイアスが見られた（図略）。この黒潮流路付近で正バイアスが



第7図 日本海南部（第1図の海域3）、能登沖における3DVARによる海面水温予測と持続予測の (a) バイアスと (b) RMSE の予測時間に対する変化。各海域の位置を最下段に示す。



第8図 本州東方（第1図の海域4），関東の東，房総沖における3DVARによる海面水温予測と持続予測の(a) バイアスと(b) RMSEの予測時間に対する変化。各海域の位置を最下段に示す。

大きくなる問題を解決するために、4DVARによる海面水温予測の提供を検討することにし、以下、10日後までの予測について比較検証を行った。

第9図に4DVARの10日後までのバイアスとRMSEについて、3DVAR及び持続予測と比較した結果を示す。日本海の海域では、3DVARと4DVARでバイアスの正負が逆になるが、RMSEに大きな差は見られなかった。持続予測と比較すると、バイアスは持続予測が最も小さいが、

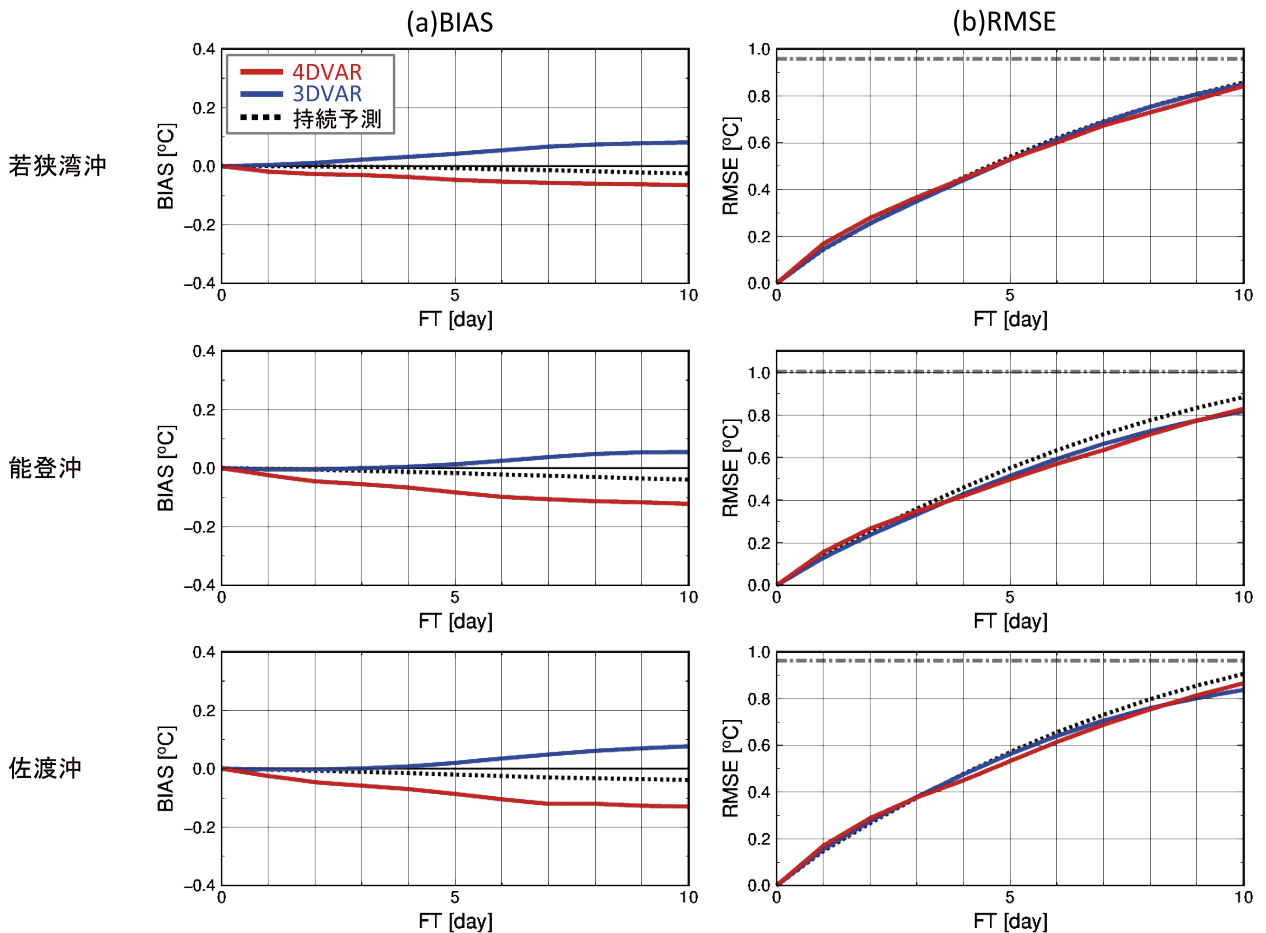
RMSEは3DVARと同様に若狭湾沖では持続予測と同程度、能登沖と佐渡沖では持続予測より小さかった。太平洋の海域では、4DVARでも予測期間が長くなるほど正バイアスが大きくなるが、3DVARに比べると小さいことが分かる。房総沖の10日後の正バイアスは、3DVARの半分以下になる。RMSEも、関東の南東を除いて3DVARより小さく、房総沖、伊豆諸島近海及び東海沖では10日後のRMSEが10%程度も小さくなる。また、

これらの3海域の10日後のRMSEは、3DVARでは持続予測より大きい、4DVARでは持続予測より小さい。

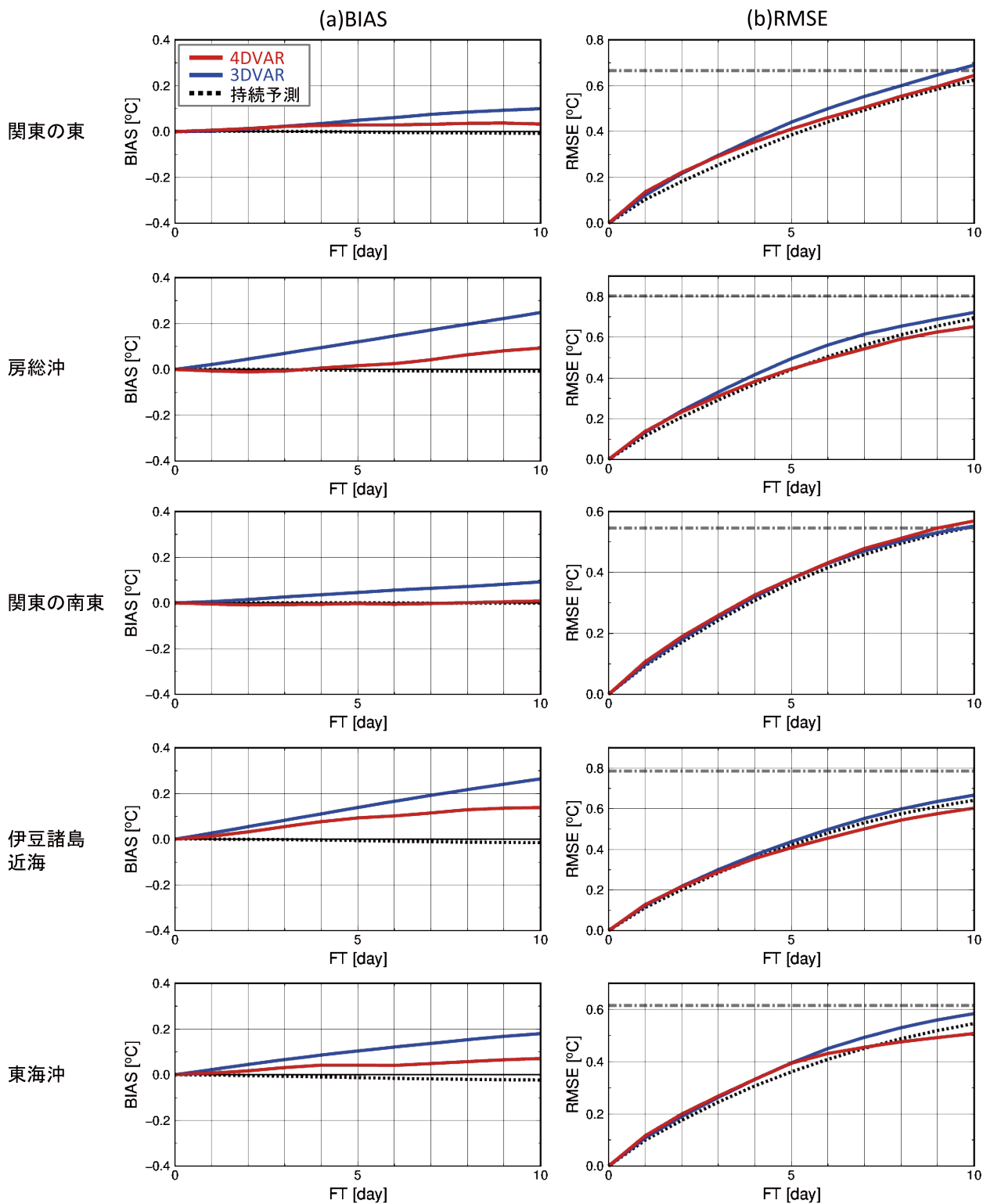
第9図bには、各海域における検証期間のMGDSST（実況値）の平年偏差の標準偏差も示している。平年偏差の標準偏差は、SSTの変動が平年値に対してどの程度ばらつくかを示す指標であり、この値よりも予測値のRMSEが小さい予測期間では予測が有用であると言える。どの海域も、10日後までのRMSEは概ね平年偏差の標準偏差を下回り、10日後までの予測が有用であることを示す。

各海域における予測のアノマリー相関（第10

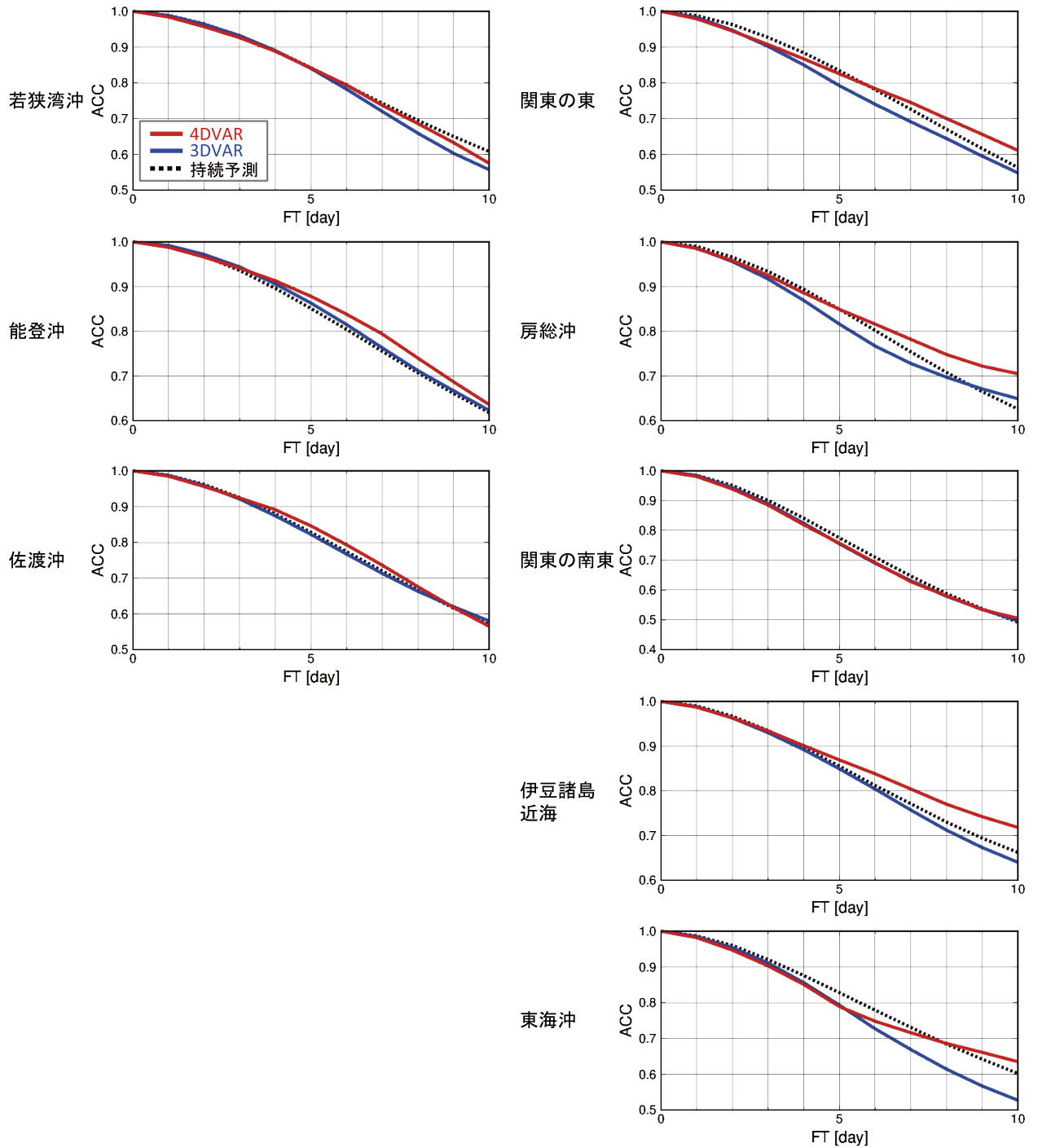
図）は、相関が最も弱い関東の南東でも10日後で0.5であった。多くの海域で、3DVARに対して4DVARで改善がみられ、伊豆諸島近海及び東海沖では、4DVARの10日後のアノマリー相関は、3DVARに比べて0.1程度も改善され、持続予測を上回るようになる。関東の東及び房総沖でも同様に4DVARでの改善がみられるほか、日本海の能登沖や佐渡沖では改善幅は小さいものの、4DVARが持続予測を上回る期間もある。全体として見れば、4DVARのアノマリー相関は、関東の南東を除けば0.6以上であり、この点からも4DVARによる10日後までの予測が十分に有意であると言える。



第9図 各海域における10日後までの4DVAR（赤線）と3DVAR（青線）による海面水温予測と持続予測（黒点線）の(a)バイアス及び(b)RMSEの予測時間に対する変化。(b)における一点鎖線は、検証期間におけるMGDSST（実況値）の平年偏差の標準偏差を示す。



第9図 (続き) 各海域における10日後までの4DVAR(赤線)と3DVAR(青線)による海面水温予測と持続予測(黒点線)の(a)バイアス及び(b)RMSEの予測時間に対する変化。(b)における一点鎖線は、検証期間におけるMGSST(実況値)の平均偏差の標準偏差を示す。



第10図 各海域における10日後までの4DVAR（赤線）と3DVAR（青線）による海面水温予測と持続予測（黒点線）のアノマリー相関係数.

5. 考察

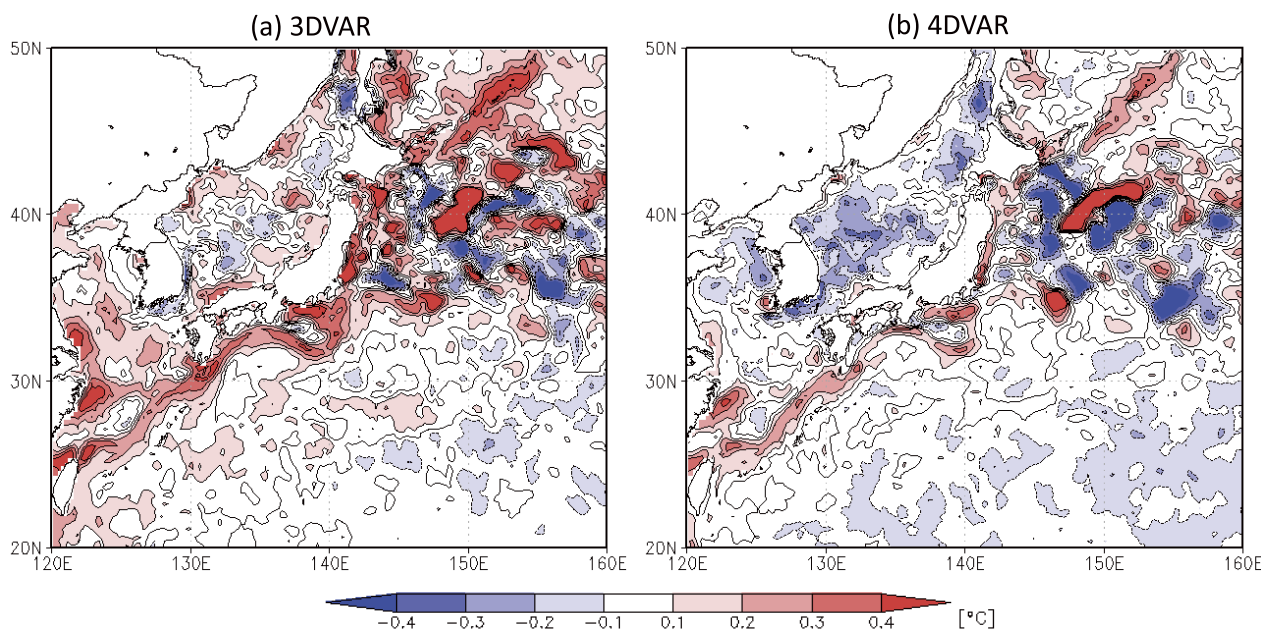
第4章で述べたように、日本海の細分化した3海域全てにおいて、予測値のバイアスは、3DVARで正となるのに対して、4DVARでは負となる。日本近海における10日後予測値のバイアスの分布（第11図）を見ると、4DVARでは日本近海全体で3DVARのバイアスを負の側にシフトしたような分布になることが分かる。一方、第5図で示した初期バイアスは、3DVARの方が4DVARに比べて全体的に負の側に偏っており、10日後予測値のバイアスとは逆の傾向を示す。

初期バイアスの違いには、同化手法と大気外力の両方の影響があると考えられる一方で、10日後には初期日に比べて同化手法の違いの影響の割合は小さくなり、大気外力の違いの影響の方が支配的になると考えられる。したがって、初期日と10日後で日本海の海域のバイアスの正負が逆になることや、日本近海全体で4DVARの予測バイアスが3DVARに比べて負の側にシフトして見えるのは、両者の同化手法の違いよりも、大気外力の違いによる可能性が高い。ただし、同化手法の違いと大気外力の違いの各々の影響の評価には、どちらか一方のみを変えた予測実験の検証が必

要である。10日後予測値のバイアスだけでなく、初期バイアスの違いへの同化手法の違いの寄与を評価するにも、同化手法のみを変えた計算が必要となる。

また、モデル予測値を初期バイアスで補正したことが初期日と10日後のバイアスの変化に影響を与えた可能性も否定できないが、補正しない場合の10日後のバイアス（図略）を見ると、補正前後の予測バイアスの違いは海域によって異なり、海域ごとに初期バイアスによる補正の寄与が異なることが示唆される。

今回の検証では、4DVARによる海面水温予測は、3DVARよりも精度が改善されていることを確認できた。ただし、バイアスは持続予測よりも大きく、RMSEも海域によっては依然持続予測と同程度に大きいことに留意を要する。しかし、一方で、持続予測は現在の平年偏差が持続するという予測であり、例えば平年値を下回った状態から急激に海面水温が上昇するといった平年と異なる変化をする場合には予測できない。例として、第12図に2015年10月16日を初期日とした佐渡沖における4DVARによる予測と持続予測の比較を示す。この事例では、初期日時点で平年値を下回



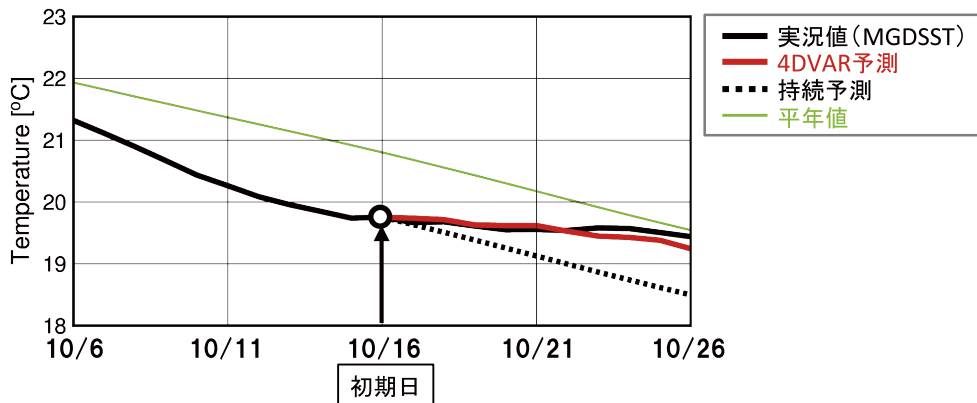
第11図 (a) 3DVAR と (b) 4DVAR による10日後の海面水温予測の日本近海におけるバイアス。

っているため、持続予測は平年値を下回る状態が続く予測となる。一方、実況では、10月16日から17日にかけて日本海は高気圧に覆われるなど、16日以降は気象への正味の熱フラックスが平年値を下回る状態が続いたため、平年では海面水温が下がる時期にもかかわらず、実況の海面水温は下がらずに平年値に近づいた。4DVARでは、GSMで予測される大気外力を与えているため、向こう10日間は水温がほとんど下がらないことを予測できている。この例のように、4DVARは、持続予測が本質的に予測できない変化を予測できるポテンシャルを持っている。

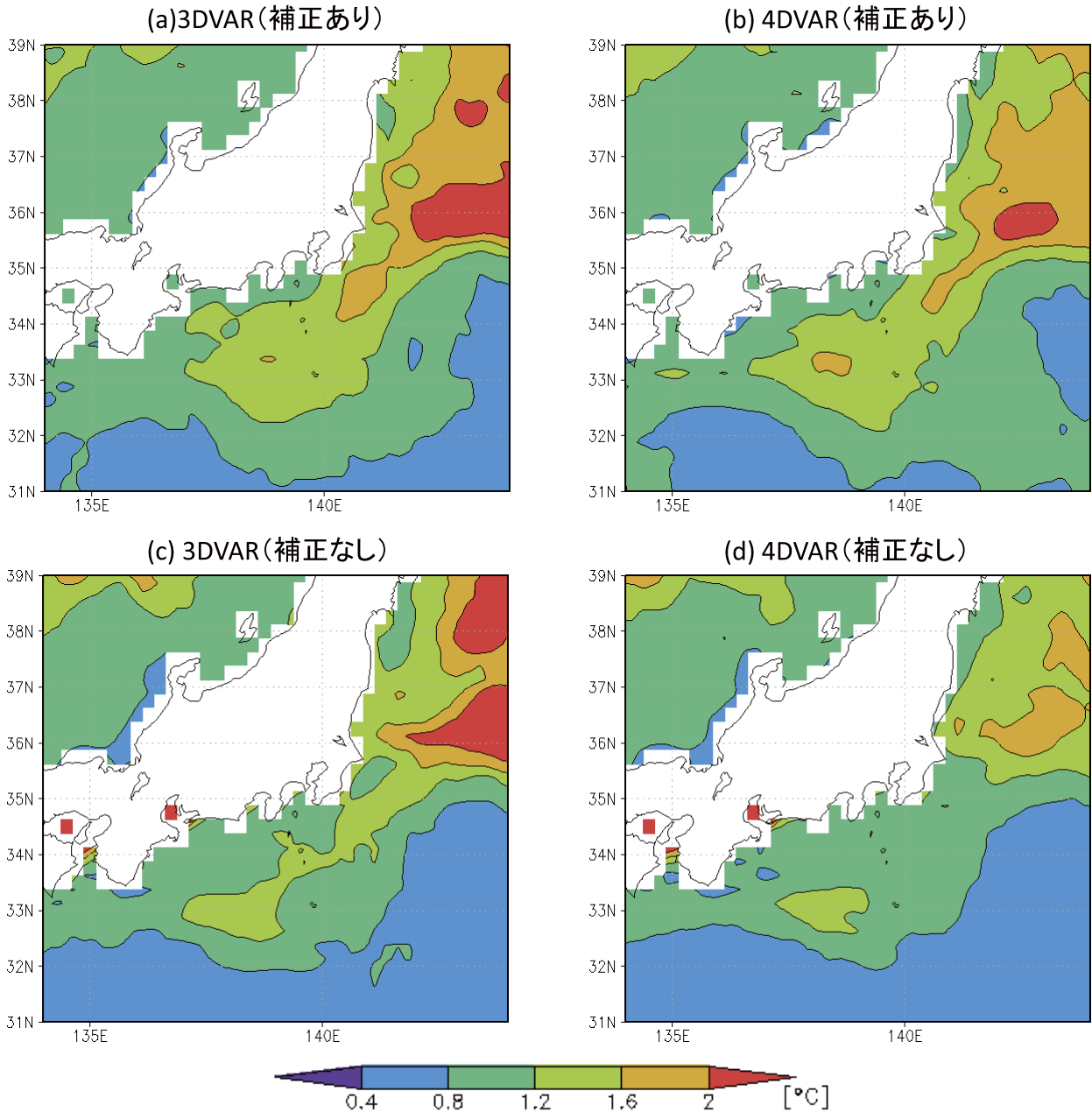
4DVARによる海面水温予測の精度を更に改善する方法として、毎日実行する初期日の異なる予測結果を、時間ずらし平均法(Lagged Averaged Forecast Method; LAF法)のアンサンブル予測として利用することが考えられる。ただし、4DVARにおける予測期間が11日間であるため、10日後の予測については最新の予測計算の1系列しか存在しない。多メンバーのアンサンブル予測を実施するためには、11日後以降の大気外力

として全球EPSを用いるなどにより、予測期間を延長する必要がある。

また、モデルによる海面水温予測値を初期バイアスで補正する方法についても改善の余地があると考えられる。今回は、現行1か月予報と同じ方法により、初期バイアスを全予測期間の補正に用いたが、補正した場合と補正しない場合で10日後予測値のRMSEの分布を比較すると(第13図)、房総沖から東海沖にかけての海域では、補正ありの予測値のRMSEが補正なしより大きい。4DVARでは、その違いがより顕著で、関東の東でも補正ありのRMSEが補正なしより大きい。海域平均で見ると、房総沖から東海沖にかけての海域では、予測期間が5日より長くなると補正ありのRMSEが補正なしより大きく(図略)、初期バイアスによる補正は予測期間とともにスコアを改悪する。予測期間とともに補正量を小さくする方法や、あるいはモデルの特性を考慮したMOS(Model Output Statistics)等のより高度な方法での補正によって、6日後以降の予測精度を改善できる可能性がある。



第12図 佐渡沖における2015年10月16日を初期日とした4DVARによる海面水温予測(赤線)と持続予測(黒点線)の比較。2015年10月6日～26日の海面水温実況値(MGDSST解析値, 黒太線)及び平年値(緑線)に重ねて示す。



第13図 10日後の海面水温予測のRMSEの比較. (a) 3DVAR 補正あり, (b) 4DVAR 補正あり, (c) 3DVAR 補正なし, (d) 4DVAR 補正なし.

6. まとめ

東京管区気象台担当海域を主な対象として、気象庁で運用している海洋モデルMRI.COM-WNPを用いた2種類の海況予測システムによる海面水温予測値の検証を行った。一方は海洋データ同化システムの同化手法として3次元変分法を用いたWNP-3DVARシステム、もう一方は4次元変分法を用いたWNP-4DVARシステムである。両者は同化手法のほかに境界値として与える大気外力が

異なる。

検証の結果、WNP-3DVARシステムとWNP-4DVARシステムのどちらについても、海域の細分化によって予測精度が大きく悪化する海域はなかった。ただし、WNP-3DVARシステムでは、予測期間が長くなるにつれて黒潮流路付近の海域で顕著な正バイアスが見られた。この黒潮流路付近の海域における正バイアスは、WNP-4DVARシステムで改善されることが分かった。太平洋の

海域を中心に、WNP-4DVAR システムでは WNP-3DVAR システムに比べて予測精度が改善されることを確認した。WNP-4DVAR システムの 10 日後のアノマリー相関は、多くの海域で持続予測を上回ることが分かった。

以上より、東京管区気象台では、担当海域を細分化して、WNP-4DVAR システムによる予測を含む海面水温時系列図等を 2017 年 4 月から試験的に作成している。これらについて、関係機関から意見を聴取し、気象庁で開発を進めている日本沿岸海況監視予測システムの改善事項として役立てていく予定である。

謝辞

調査にあたり、地球環境・海洋部海洋気象課海洋気象情報室海況班の皆様からデータの提供など多大なご支援をいただいた。気象研究所海洋・地球化学研究部（現気候研究部）の高槻靖氏からは WNP-4DVAR システムのアンサンブル利用による海面水温予測の精度向上についてご教示をいただいた。また、本稿をまとめるにあたっては、地球環境・海洋部海洋気象課及び東京管区気象台の多くの方から有益なコメントをいただいた。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 平原幹俊・檜垣将和・桜井敏之・小林健作・小林熙 (2017)：瀬戸内海監視予測システムの概要。測候時報, 84, 33-59.
- 平井雅之・宮岡健吾・佐藤均・杉本裕之・南敦・松川知紘・高谷祐平・新保明彦 (2014)：1 か月アンサンブル予報システムの変更の概要。平成 26 年度季節予報研修テキスト。
- 石崎士郎・大森正雄・伊藤渉・吉岡典哉 (2010)：北西太平洋版新海洋データ同化システム (MOVE/MRI.COM-WNP) における予測結果の検証。測候時報, 77, S59-69.
- 石崎士郎・曾我太三・碓氷典久・藤井陽介・辻野博之・石川一郎・吉岡典哉・倉賀野連・蒲地政文 (2009)：MOVE/MRI.COM の概要と現業システムの構築。測候時報, 76, 特別号, S1-S15.
- Kobayashi, S., Y. Ota, Y. Harada, A. Ebita, M. Moriya, H.

Onoda, K. Onogi, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, K. Miyaoka, and K. Takahashi (2015): The JRA-55 Reanalysis: General Specifications and Basic Characteristics. J. Meteor. Soc. Japan, 93, 5-48, doi:10.2151/jmsj.2015-001.

栗原幸雄 (1998)：北東アジア地域海洋観測システム (NEAR-GOOS)。測候時報, 65, 特別号, S151-S154.

栗原幸雄・桜井敏之・倉賀野連 (2006)：衛星マイクロ波放射計、衛星赤外放射計及び現場観測データを用いた全球日別海面水温解析。測候時報, 73, 特別号, S1-S18.

坂本圭・山中吾郎・辻野博之・中野英之・平原幹俊 (2013)：水平解像度 2km の日本近海モデルの開発 - 次世代日本沿岸監視予測システムに向けて。測候時報, 80, 特別号, S99-S109.

新保明彦 (2016)：全球アンサンブル予報システムの概要。平成 28 年度季節予報研修テキスト。

米原仁 (2014)：改良された全球数値予報システムの特長 (1.1 変更の概要)。平成 26 年度数値予報研修テキスト, 1-3.

吉田隆 (2006)：NEAR-GOOS の現状と課題。沿岸海洋研究, 44, 45-48.

吉田隆・遠峯勉・諸岡浩子・片山恭男・高谷祐吉・永井千春・藤本敏文・永井直樹 (2015)：海洋情報の利活用促進に関するユーザーとの対話。測候時報, 82, 1-14.