

全球大気海洋結合モデルCFESを用いた 実験的季節予測システムの開発

小守 信正¹, 田口 文明^{1,2}, 吉田 聡^{1,3}, 土井 威志¹, 野中正見¹
(1: 海洋機構 APL, 2: 東大 先端研, 3: 京大 防災研)

1 はじめに

海洋研究開発機構アプリケーションラボでは、大気海洋結合モデル SINTEX-F1 を用いた季節予測システム (Luo et al., 2005b,a) を準現業的に運用し¹、熱帯太平洋のエルニーニョ・南方振動現象 (ENSO) やインド洋ダイポールモード現象の予測などで成果を上げている。また最近では、改良・高解像度化した SINTEX-F2 を用いたシステム (Doi et al., 2016) や、さらに初期値化手法として 3次元変分法を適用したシステム (SINTEX-F2 3D-Var; Doi et al., 2017) も試験的に運用している。

このような現象の予測精度を向上させ、また、予測の不確実性まで含んだ情報を提供するためには、特性の異なる複数の数値モデルにより予測を行うことが有効である (e.g., Jin et al., 2008)。そこで本講演では、大気海洋結合モデル CFES (Coupled atmosphere-ocean GCM for the Earth Simulator; Komori et al., 2008) を用い、SINTEX-F1/F2 季節予測システムと同様に海面水温 (SST) だけを観測値へ強く緩和して初期値化を行う実験的季節予測システム CFES ESPreSSO (Experimental Seasonal Prediction System using Surface Observation) について、その概要と予備的な結果を紹介する。

2 実験的季節予測システム

2.1 予測モデル

中解像度版 CFES (e.g., Richter et al., 2010; Taguchi et al., 2012) を用いた。ただし、積雲対流過程を改良するとともに、パラメータの再調整を実施し、また、いくつかの数値的な問題を

修正している。大気部分の解像度は水平 T119 (約 100 km) 鉛直 48 層 (上端は 3 hPa)、海洋部分は水平 1/2° (約 50 km) 鉛直 54 レベルで、大気海洋間の情報交換は 1 時間毎に行う。

2.2 観測データ

緩和させる観測値として、NOAA OISST v2 データの日平均・1/4° (Reynolds et al., 2007; Banzon et al., 2016) および週平均・1° (Reynolds et al., 2002) のプロダクトから、平滑化・内挿により日平均・1/2° の 2 種類のデータを作成した。予測との比較には月平均・1° のプロダクトを使用した。いずれも、SST と海水密接度の両方を利用した。

2.3 初期値化手法

SST を気候値へ緩和した 32 年間の spin-up 積分の後、SST を 2 種類の観測データへそれぞれ 3 種類の強さで緩和する計 6 種類の積分を 1982 年 1 月 1 日から実施し、予測の初期値を作成した。なお、海水が観測されている海域では、密接度に依存した強さで SST を (観測値ではなく) モデルの結氷温度へ緩和している。

2.4 季節予測実験

1983 年以降の各年 3 月 1 日、6 月 1 日、9 月 1 日、12 月 1 日を初期値とする 6 ヶ月間の予測 (それぞれ 6 メンバー、SST の緩和なし) を実施した。以下では主にアンサンブル平均を解析する。なお、統計量は 1983 年から 2015 年までの期間 (33 事例) で計算した。

¹<http://www.jamstec.go.jp/apl/j/> から閲覧可能

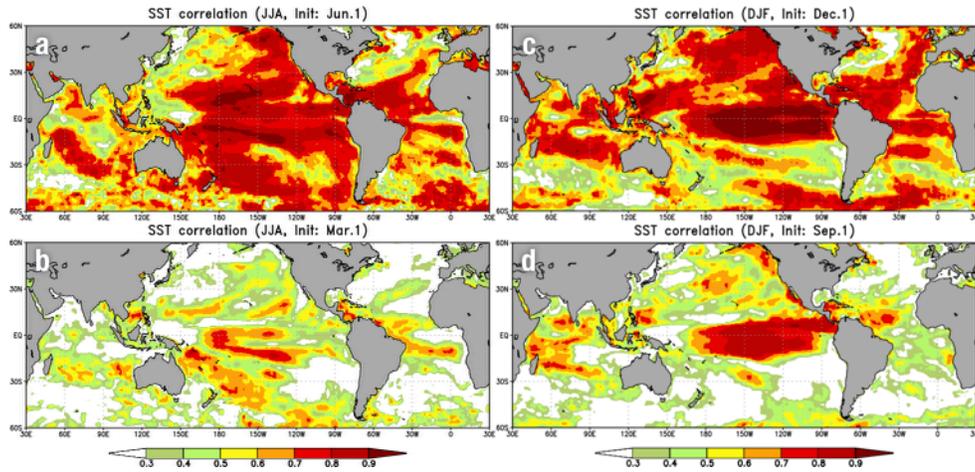


図1: (a, b) JJA, (c, d) DJF で3ヶ月平均した SST の観測 (OISST) と予測との偏差相関係数。初期日は (a) 6月1日, (b) 3月1日, (c) 12月1日, (d) 9月1日。

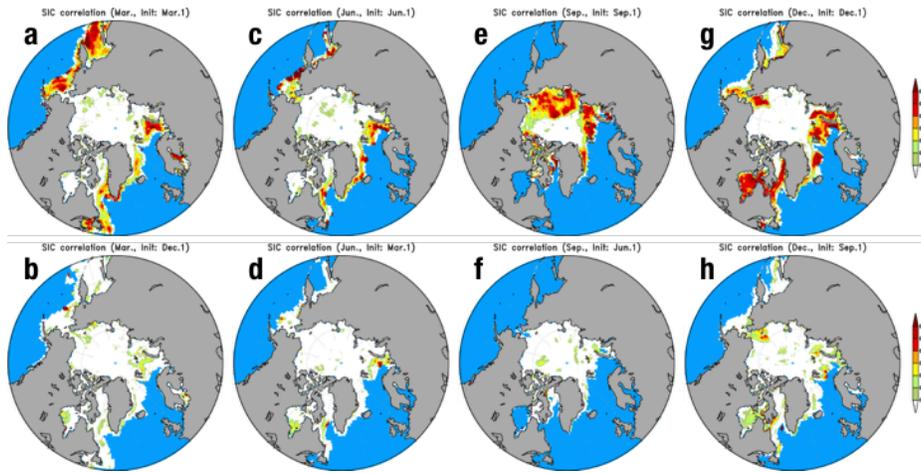


図2: (a, b) 3月, (c, d) 6月, (e, f) 9月, (g, h) 12月の北極海における月平均海水氷接度の観測 (OISST) と予測との偏差相関係数。線形トレンドは除去している。初期日は (a, d) 3月1日, (c, f) 6月1日, (e, h) 9月1日, (g, b) 12月1日。

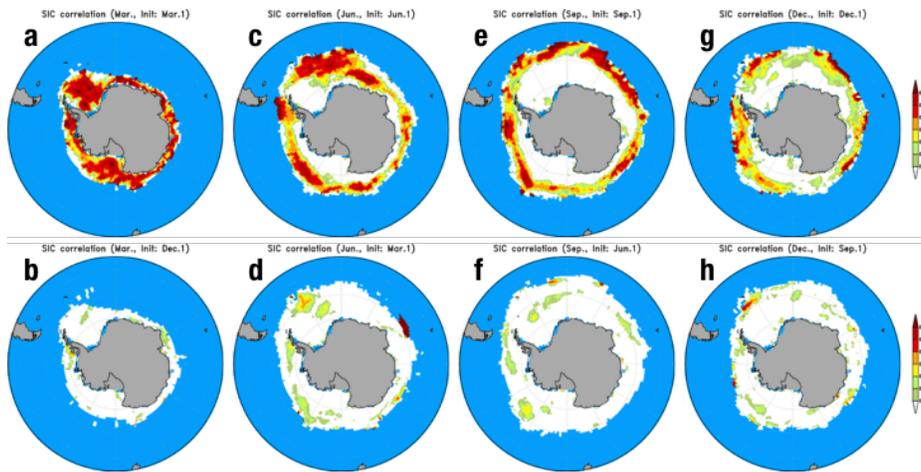


図3: 図2に同じ, ただし南大洋。

3 結果

3.1 3ヶ月平均 SST の予測スキル

各季節 (MAM, JJA, SON, DJF) 毎に 3ヶ月平均した SST の観測 (OISST) と対応する予測との差 (図は省略) には、赤道太平洋の冷舌が強過ぎるというバイアスが見られる。加えて、暖水プール域には顕著な高温バイアス、夏半球中緯度域には顕著な低温バイアスが存在する。

観測された 3ヶ月平均 SST の年々変動 (図は省略) は、JJA には東部赤道太平洋の沿岸域に、DJF には中央赤道太平洋域に極大を持つのにに対し、予測ではいずれの季節も 120°W 付近に極大を持ち、季節によるパターンの違いが明瞭ではない。また、北太平洋中緯度域の変動が弱い。

3ヶ月平均 SST の観測と予測との偏差相関係数 (ACC) を図 1 に示す。熱帯太平洋の予測スキルには、先行研究と同様に、北半球の晩冬から予測した夏季 (JJA) の値 (図 1b) よりも晩夏から予測した冬季 (DJF) の値 (図 1d) の方が高いという明瞭な季節性が見られる。

3.2 月平均海水密度度の予測スキル

図 2, 3 に、それぞれ北極海と南大洋における月平均海水密度度の観測と予測との ACC を示す。予測開始から 1ヶ月目 (図 2, 3 上段) には、年々変動の大きい海域では比較的高い ACC を示しており、海水密度度自体は観測値へ緩和していないものの、海水密度度の『初期値化』という観点では (それなりに) 成功していると言えよう。一方、予測開始から 4ヶ月目 (図 2, 3 下段) になると、有意な ACC を示す海域はほとんど存在せず、海水密度度の『予測』という観点では成功しているとは言い難い。将来的には、海水厚の情報を利用するなどシステムの改良が必要である。

3.3 2018 年冬季の ENSO 予測

ENSO の指標として、2017 年 9 月 1 日から予測した Niño3.4 海域 (170°W–120°W, 5°S–5°N) 平均 SST 偏差の時系列を図 4 に示す。図 4a に示した既存の SINTEX-F ファミリー (F1, F2, F2 3D-Var) は中立ないし弱い La Niña 傾向を予測しており、この事例では比較的システム間の差

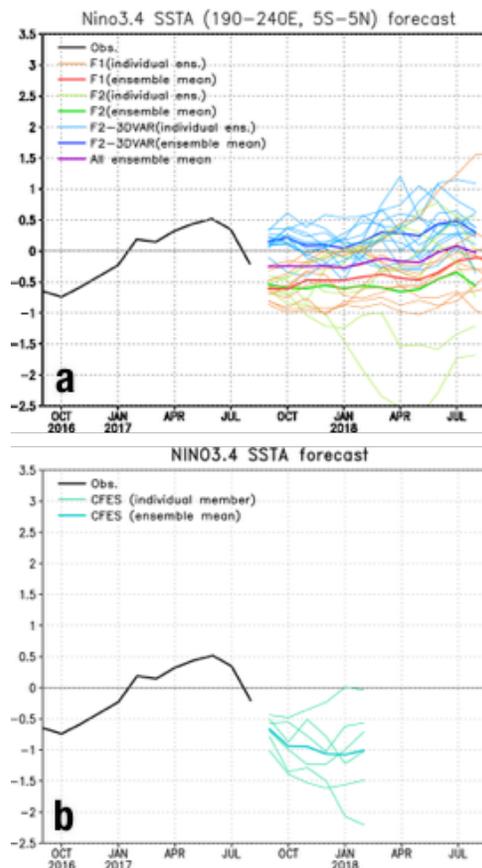


図 4: Niño3.4 海域 (170°W–120°W, 5°S–5°N) で平均した SST 偏差の観測 (黒線) および 2017 年 9 月 1 日からのアンサンブル予測 (色、太線はアンサンブル平均、細線は各メンバー)。(a) SINTEX-F ファミリー、(b) CFES EPreSSO。

が大きい。一方、CFES EPreSSO (図 4b) は、モデル解像度・初期値化手法の面で SINTEX-F2 と最も近いシステムであるが、中程度の La Niña を予測しており、SINTEX-F ファミリーとはやや異なる特性を示している。

4 まとめと今後の課題

大気海洋結合モデル CFES を用いた実験的季節予測システム CFES EPreSSO を構築し、1983 年以降、6 メンバーでの 6ヶ月予測を 3ヶ月毎に実施した。SST のみを観測値へ緩和する簡便な初期値化手法を用いているものの、熱帯太平洋の予測はある程度可能であり、また既存の SINTEX-F ファミリーとは少し異なる特性を持つことを示した。

今後は、アンサンブルメンバー数を倍程度に増強するとともに、システム間で予測が系統的に異なる場合の要因解明や、海水の初期値化が季節予測に与える影響の評価などを行う予定である。

謝辞

OISST データは NOAA/OAR/ESRL PSD のウェブサイト [<http://www.esrl.noaa.gov/psd/>] から取得した。1987, 1988, 2009 年の補正済みデータは小川史明博士（ベルゲン大学）のご厚意により提供いただいた。本研究は JSPS 科研費 (26610146, 17K05663) および国立極地研究所一般共同研究 (28-22) の支援を受けた。数値計算には地球シミュレータを利用した。

参考文献

- Banzon, V., T. M. Smith, T. M. Chin, C. Liu, and W. Hankins, 2016: A long-term record of blended satellite and in situ sea-surface temperature for climate monitoring, modeling and environmental studies. *Earth Syst. Sci. Data*, **8**, 165–176, doi:[10.5194/essd-8-165-2016](https://doi.org/10.5194/essd-8-165-2016).
- Doi, T., S. K. Behera, and T. Yamagata, 2016: Improved seasonal prediction using the SINTEX-F2 coupled model. *J. Adv. Model. Earth Syst.*, **8** (4), 1847–1867, doi:[10.1002/2016MS000744](https://doi.org/10.1002/2016MS000744).
- Doi, T., A. Storto, S. K. Behera, A. Navarra, and T. Yamagata, 2017: Improved prediction of the Indian Ocean Dipole Mode by use of subsurface ocean observations. *J. Climate*, **30** (9), 7953–7970, doi:[10.1175/JCLI-D-16-0915.1](https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0915.1).
- Jin, E. K., and Coauthors, 2008: Current status of ENSO prediction skill in coupled ocean–atmosphere models. *Climate Dyn.*, **31** (6), 647–664, doi:[10.1007/s00382-008-0397-3](https://doi.org/10.1007/s00382-008-0397-3).
- Komori, N., A. Kuwano-Yoshida, T. Enomoto, H. Sasaki, and W. Ohfuchi, 2008: High-resolution simulation of the global coupled atmosphere–ocean system: Description and preliminary outcomes of CFES (CGCM for the Earth Simulator). *High Resolution Numerical Modelling of the Atmosphere and Ocean*, K. Hamilton, and W. Ohfuchi, Eds., Springer, New York, NY, chap. 14, 241–260, doi:[10.1007/978-0-387-49791-4_14](https://doi.org/10.1007/978-0-387-49791-4_14).
- Luo, J.-J., S. Masson, S. Behera, S. Shingu, and T. Yamagata, 2005a: Seasonal climate predictability in a coupled OAGCM using a different approach for ensemble forecasts. *J. Climate*, **18** (21), 4474–4497, doi:[10.1175/JCLI3526.1](https://doi.org/10.1175/JCLI3526.1).
- Luo, J.-J., S. Masson, E. Roeckner, G. Madec, and T. Yamagata, 2005b: Reducing climatology bias in an ocean–atmosphere CGCM with improved coupling physics. *J. Climate*, **18** (13), 2344–2360, doi:[10.1175/JCLI3404.1](https://doi.org/10.1175/JCLI3404.1).
- Reynolds, R. W., C. Liu, T. M. Smith, D. B. Chelton, M. G. Schlax, and K. S. Casey, 2007: Daily high-resolution-blended analyses for sea surface temperature. *J. Climate*, **20** (22), 5473–5496, doi:[10.1175/2007JCLI1824.1](https://doi.org/10.1175/2007JCLI1824.1).
- 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** (13), 1609–1625, doi:[10.1175/1520-0442\(2002\)015<1609:AIISAS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<1609:AIISAS>2.0.CO;2).
- Richter, I., S. K. Behera, Y. Masumoto, B. Taguchi, N. Komori, and T. Yamagata, 2010: On the triggering of Benguela Niños: Remote equatorial versus local influences. *Geophys. Res. Lett.*, **37** (20), L20604, doi:[10.1029/2010GL044461](https://doi.org/10.1029/2010GL044461).
- Taguchi, B., H. Nakamura, M. Nonaka, N. Komori, A. Kuwano-Yoshida, K. Takaya, and A. Goto, 2012: Seasonal evolutions of atmospheric response to decadal SST anomalies in the North Pacific subarctic frontal zone: Observations and a coupled model simulation. *J. Climate*, **25** (1), 111–139, doi:[10.1175/JCLI-D-11-00046.1](https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00046.1).