

# 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(II)

小守信正<sup>1</sup>, 田口文明<sup>2</sup>, 吉田聡<sup>1,3</sup>, 土井威志<sup>1</sup>, 野中正見<sup>1</sup>  
(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<sup>1</sup>, 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 (IOD) 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-F2-3DVAR; 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、アンサンブル予測のメンバー数を増加させたり (e.g., Doi et al., 2019), 特性の異なる複数の数値モデルを用いて予測を行うことが有効である (e.g., Jin et al., 2008)。

昨年度の研究会では、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 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した。本講演では、アンサンブルメンバー数を6から12へ増強した改良版の CFES ESPreSSO について、SINTEX-F2/F2-3DVAR システムとの比較を行い、部署内マルチモデルアンサンブル (MME) により予測精度が向上するかどうかを確認する。

## 2 CFES ESPreSSO

### 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・再解析データ

NOAA OISST v2 データセットの日平均・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。いずれも、SST と海水密接度 (SIC) の両方を利用した。予測との比較には、月平均・1° の SST プロダクトおよび NCEP/NCAR 再解析データセット (Kalnay et al., 1996) の月平均 2 m 気温を使用した。

### 2.3 初期値化手法

SST のみを観測値へ緩和している。ただし、観測された SIC が 0.15 以上の海域では、SIC 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することにより、間接的に海水の初期値化を行っている。

SST を気候値へ緩和した 32 年間の spin-up 積分の後、SST と SIC のそれぞれ 2 種類の観測データを利用し、3 種類の強さで緩和する計 12 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。

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

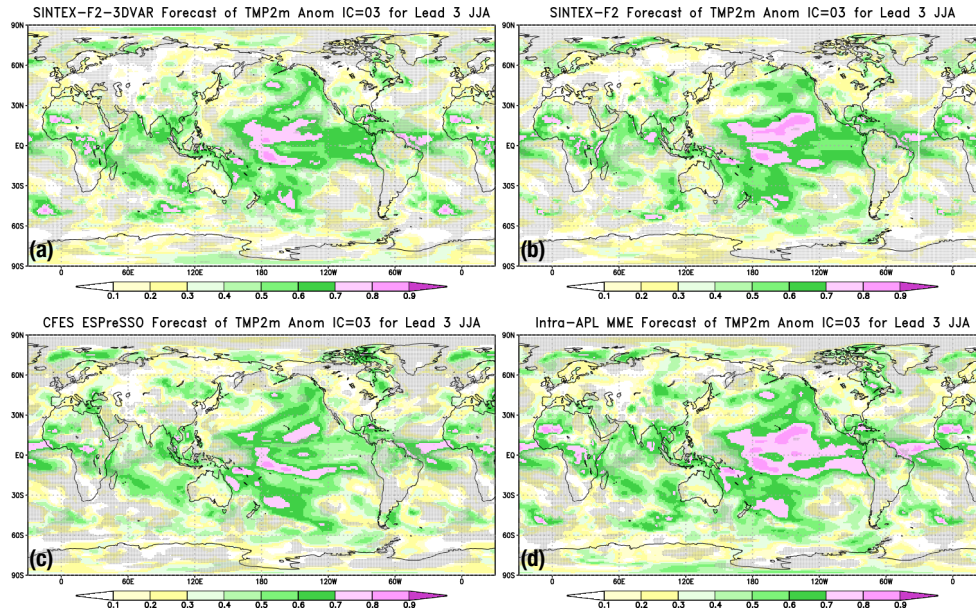


図1: JJA 平均 2 m 気温の NCEP/NCAR 再解析と 3 月からの予測との偏差相関係数 (ACC). (a) SINTEX-F2-3DVAR システム, (b) SINTEX-F2 システム, (c) CFES ESPreSSO, (d) 部署内 MME. 灰色のハッチは、持続予測よりも ACC が低い領域を表す。

## 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 12 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。

## 3 マルチモデルアンサンブル

詳細は割愛するが, SINTEX-F1 システムは 9 メンバー, SINTEX-F2/F2-3DVAR システムは 12 メンバーでの 2 年予測を毎月行っている。

部署内 MME は, SINTEX-F2/F2-3DVAR および CFES ESPreSSO それぞれのシステムの予測バイアスを除去した後, 計 36 メンバー分のアンサンブル平均として計算した。

## 4 結果

### 4.1 3ヶ月平均 2 m 気温の予測スキル

JJA 平均 2 m 気温の NCEP/NCAR 再解析と各システムによる 3 月からの予測との偏差相関係数 (ACC) を図 1 に示す。システム間で, 海洋内部の観測データの同化の有無などに起因すると

考えられる違いは見られるものの, 全体的な構造は比較的良好に似ている。また, 部署内 MME (図 1d) では, 個々のシステム (図 1a, b, c) に比べ, 東部熱帯太平洋域などで ACC が改善していることが確認できる。

図 2 に, DJF 平均 2 m 気温の NCEP/NCAR 再解析と各システムによる 9 月からの予測との ACC を示す。この場合も, システム間で全体的な構造はよく似ており, また, 部署内 MME (図 2d) により ACC は全体的に改善している。ただし, 東部熱帯太平洋域では, 個々のシステム (図 2a, b, c) でも既に ACC が高かったこともあつたか, MME による改善は顕著ではない。

### 4.2 2019 年冬季の ENSO・IOD 予測

ここでは, ENSO の指標として Niño3.4 海域 (170°–120°W, 5°S–5°N) 平均 SST 偏差を, IOD の指標として東アフリカ沖の西極 (50°–70°E, 10°S–10°N) とスマトラ沖の東極 (90°–110°E, 10°S–0°) の SST 偏差の差で定義される Dipole Mode Index (DMI; Saji et al., 1999) を使用し, 2018 年 9 月から各システムで予測した結果を図 3 に示す。

CFES ESPreSSO は, 2019 年 2 月にかけて,

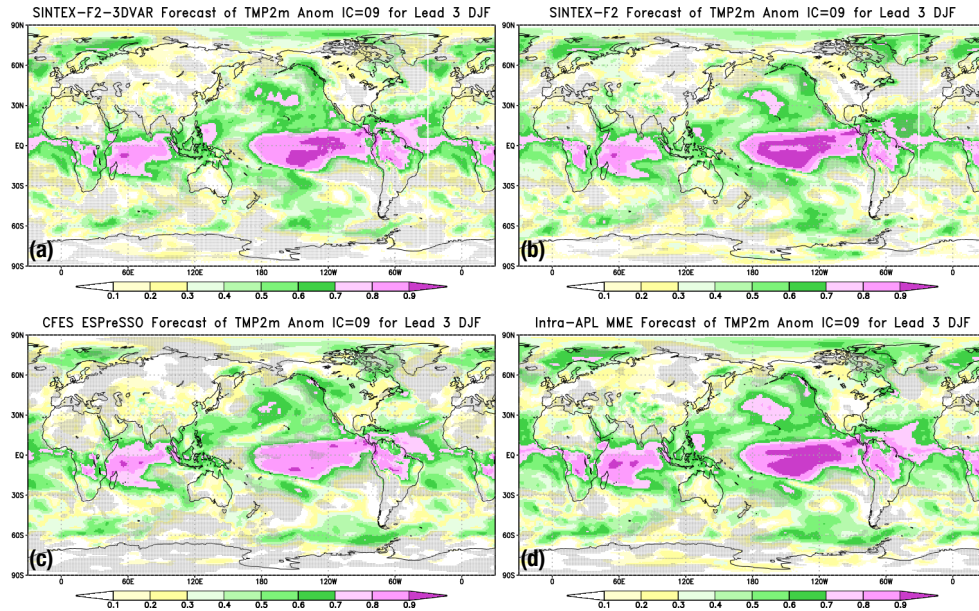


図2: 図1と同じ, ただし9月から予測したDJF平均2m気温.

SINTEX-F ファミリーよりやや強めの El Niño を予測しており, メンバー間のバラツキも小さい (図3a). また, メンバー間のバラツキは大きいものの, SINTEX-F ファミリーと同様に, 正のIODの終息を予測している (図3b).

## 5 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 ESPreSSOを構築し, 1983年以降, 12メンバーでの6ヶ月予測を3ヶ月毎に実施した. NCEP/NCAR再解析データとのACCで評価した3ヶ月平均2m気温の予測スキルは, SINTEX-F2/F2-3DVARシステムと比較的似た空間構造を持つこと, また部署内MMEにより予測スキルはやや向上することを確認した.

今後は, マルチモデルによる予測の多様性が予測スキルに与える影響の評価や, システム毎の予測精度を考慮したMME平均の構築を進めるとともに, SINTEX-Fファミリーと同程度の長期間(2年)・高頻度(毎月)の予測実験を実施することを検討している.

## 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(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., S. K. Behera, and T. Yamagata, 2019: Merits of a 108-member ensemble system in ENSO and IOD predictions. *J. Climate*, **32** (3), 957–972, doi:[10.1175/JCLI-D-18-0193.1](https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0193.1).
- Doi, T., A. Storto, S. K. Behera, A. Navarra, and T. Yamagata, 2017: Improved prediction of the

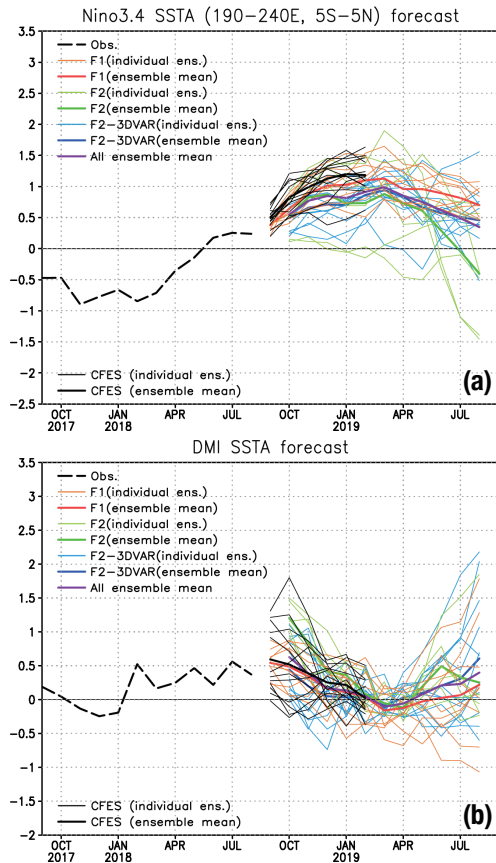


図 3: (a) Niño3.4 海域平均 SST 偏差と (b) DMI の 2018 年 8 月までの観測 (破線) および各システムによる 9 月からのアンサンブル予測 (実線)。太線はアンサンブル平均, 細線は各メンバーを表す。

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).

Kalnay, E., and Coauthors, 1996: The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77** (3), 437–471, doi:[10.1175/1520-0477\(1996\)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2).

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).

Saji, N. H., B. N. Goswami, P. N. Vinayachandran, and T. Yamagata, 1999: A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature*, **401**, 360–363, doi:[10.1038/43854](https://doi.org/10.1038/43854).

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).