

## リアルタイム-APL モデルアンサンブル季節予測とその応用可能性について

## 課題責任者

Behera Swadhin 海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 アプリケーションラボ

## 著者

土井 威志<sup>\*1</sup>, 森岡 優志<sup>\*1</sup>, Behera Swadhin<sup>\*1</sup><sup>\*1</sup> 海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 アプリケーションラボ

自然災害をもたらす気候変動現象の高精度な事前予測の実現に資するため、日欧協力によって開発された気候モデル SINTEX-F を基にした全球規模のリアルタイム-アンサンブル季節予測システムを開発した。このシステムを更に発展させるための基盤研究は別の所内課題“海洋観測データを融合した確率論的な数理季節予測システムの開発”で行った。本課題では、このシステムを準リアルタイムで運用し、毎月季節予測情報をメールやインターネットを使って配信すると共に、その社会応用可能性を探索することを目的とする。

2020年度は、4年ぶりに発生した負のインド洋ダイポールモード現象の発生予測に成功した。アプリケーションラボのサイトや海洋研究開発機構のコラムで、それら予測情報を世界に先駆けて積極的に配信した。その結果、複数のメディアに取り上げられ、ラボの季節予測のプレゼンス向上に貢献した。

**キーワード：** 季節予測, 準リアルタイム情報配信, インド洋ダイポールモード予測

## 1. 準リアルタイムの季節予測情報の配信

SINTEX-F 季節予測システムは、2005年から準リアルタイムで運用されており、毎月、メールやインターネットを使って季節予測情報を配信している。現在までの実績から、世界でも高い信頼を得ており、そのウェブサイト (<http://www.jamstec.go.jp/aplinfo/sintexf/>) は、毎月約 10000 のアクセスがある (図 1)。

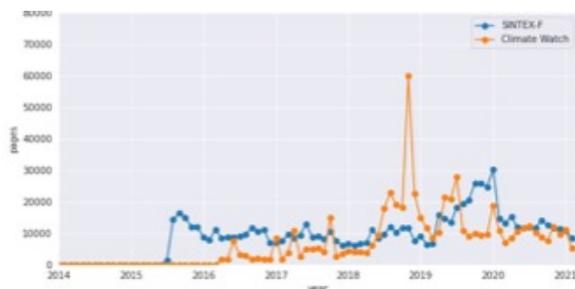


図 1: SINTEX-F 季節予測関連のウェブサイトのアクセス解析(美山透主任研究員の提供)

SINTEX-F のウェブサイトは、研究者にとっては使いやすいものであるが、一般向けの情報配信サイトとしては難解であるとの指摘があった。そこで、季節予測情報を一般向けにわかりやすく解説した記事をブログ形式で配信するサイト“季節ウォッチ”を2016年1月に、新たに開設した (<http://www.jamstec.go.jp/aplinfo/climate/>)。今では、SINTEX-F の従来のサイトと同様に、毎月約 10000 のアクセスがある (図 1)。

二つのウェブサイトを合わせると、毎月約 20000 のアクセスがあるものの、前年と比べてアクセス数が減っていたことがわかった (図 1)。

一方で、アプリケーションラボの多様な予測システムを統合した描画ウェブツールのプロトタイプとして、

2018年に新しく開設した APL Virtual Earth (<http://www.jamstec.go.jp/virtualearth/>) では、2020年度は、前年に比べて大幅にアクセス数が増え、平均すると 3000 程度のアクセスがあった (図 2)。APL Virtual Earth では、ある地域の季節予測情報に簡易に焦点を合わせてズームアップすることが可能だったり、予測情報のダウンロードなどができる機能が搭載されており、それらがユーザーにとって魅力的であったことが推察される。

APL Virtual Earth のアクセス数は増えているものの、季節予測サイト全体としてのアクセス数は、2019年までは順調に増えていたにもかかわらず、2020年になって停滞気味である。今後さらにアクセス数を増やし、季節予測情報のプレゼンスを向上させるための工夫が必要である。

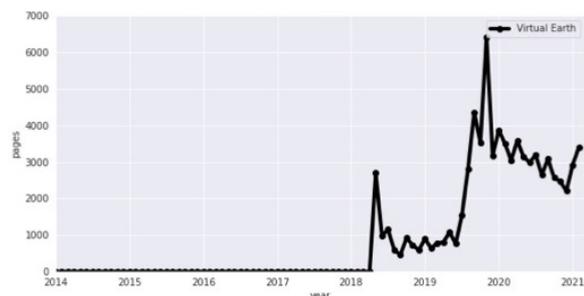


図 2: APL Virtual Earth のウェブサイトのアクセス解析(美山透主任研究員の提供)

## 2. インド洋に 4 年ぶりの負のダイポールモード現象が発生

2017年、2018年、2019年と 3年連続で正のダイポールモード現象が発生していたが、2020年は、2016年以來、4年振りに負のダイポールモード現象が発生した(例えば、

2020年に新たに開設された気象庁のウェブサイト：  
[https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/db/climate/iod/iod\\_data.html](https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/db/climate/iod/iod_data.html)。

負のインド洋のダイポールモード現象は、熱帯インド洋で見られる気候の内部変動現象で、数年に1度くらいの頻度で、夏から秋にかけて発生する。ダイポールモード現象には正と負の現象があり、特に負の現象が発生すると、熱帯インド洋の南東部で海面水温が平年より高く、西部で海面水温が低くなる。この水温変動によって、通常時でも東インド洋で活発な対流活動が、さらに活発となり、インドネシアやオーストラリアで雨が多くなる傾向がある。一方で、東アフリカでは干ばつが発生する傾向がある。例えば、2016年に負のダイポールモード現象が発生した際は、東アフリカの多くの地域で深刻な干ばつが発生し、食料や飲み水の安全が脅かされた(Lu et al. 2018) [1]。負の現象の日本への影響はまだよく分かっていない(正の現象発生時は、日本は猛暑になりやすい傾向があるので、その逆のインパクト、すなわち日本の夏を不順にする影響があることが予想されるが、サンプル数が少なく、統計的に明確な関係が見出されていないのが現状である)。

インド洋ダイポールモード現象は、最先端の科学技術でも、数ヶ月前から事前に予測することが難しいとされている。その中で、SINTEX-F 予測シミュレーションは、数ヶ月前からインド洋ダイポールモード現象の発生予測に成功した実績がある。例えば、2019年の6月ごろから発生した正のダイポールモード現象の予測に2018年11月頃から成功した(Doi et al. 2020 [2]; 詳しくは、プレスリリース「2019年スーパーインド洋ダイポールモード現象の予測成功の鍵は熱帯太平洋のエルニーニョモード現象」  
[http://www.jamstec.go.jp/j/about/press\\_release/20200406/](http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20200406/))

SINTEX-F 予測シミュレーションを使って、2020年のインド洋ダイポールモード現象の発生を、2020年5月1日時点で予測したのが、図3である。強さの不確実性は残るものの、2021年の夏から秋にかけて負のインド洋ダイポールモード現象が発生する確率がかなり高いと予測していた。

このような情報をもとに、2020年5月に、JAMSTEC コラム「今夏、インド洋に負のダイポールモード現象が発生か？」  
[http://www.jamstec.go.jp/j/jamstec\\_news/20200518/](http://www.jamstec.go.jp/j/jamstec_news/20200518/) を発表した。Yahoo ニュースの記事(<https://news.yahoo.co.jp/byline/moriakira/20200522-00179815>) や ブルーバックスの記事(<https://gendai.ismedia.jp/articles/-/73698>) などにも取り上げられた。

図3で示した通り、黒色の線で示した観測データと、紫色の線で示したアンサンブル平均値の予測値がよくあっており、予測は的中したと言える。

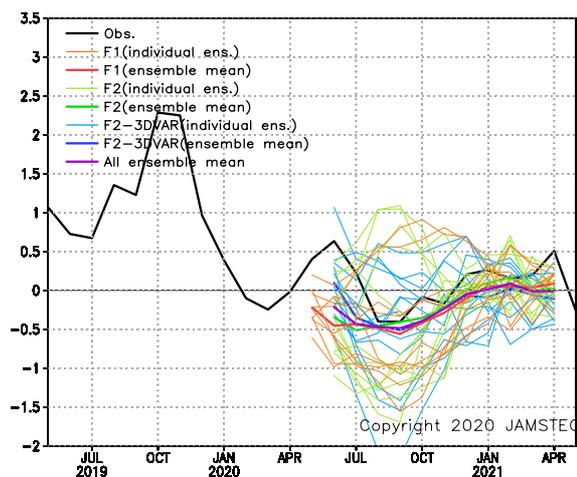


図3:インド洋ダイポールモード現象の指数DMI (西インド洋熱帯域の海面水温異常の東西差を示す数値で、単位は $^{\circ}\text{C}$ )。-0.5 $^{\circ}\text{C}$ を下回れば、負のダイポールモード現象が発生していると考えられます。黒線が観測。2020年5/1時点で予測したのが色線。従来のSINTEX-F (赤色の線:アンサンブル平均値、橙色の線:各予測アンサンブルメンバー, Luo et al. 2005 [3])、モデルを改良したSINTEX-F2 (緑色の線:アンサンブル平均値、黄緑色の線:各予測アンサンブルメンバー, Doi et al. 2016 [4]) や、海洋初期値作成プロセスを高度化したSINTEX-F2-3DVAR (青色の線:アンサンブル平均値、水色の線:各予測アンサンブルメンバー, Doi et al. 2017 [5]) の結果。紫色の線は全ての予測アンサンブルの平均値。このように、気候モデルを用いた数理的な予測実験ではそれぞれの予測システムで初期値やモデルの設定を様々な方法で少しずつ変えて、33通りの予測実験を行ったが(アンサンブル予測と呼ぶ)、50%以上のアンサンブルメンバーが、今夏から秋にかけて、負のインド洋ダイポールモード現象の発生を予測した。

### 3. 太平洋にラニーニャ現象が発生

太平洋では、2020年の晩夏から秋にかけてラニーニャ現象が発生した(図4)。冬にはラニーニャモードキ現象へと形を変えていった。

SINTEX-F 予測シミュレーションを使って、2020年5月1日時点で予測した結果を見ると、ほとんどのアンサンブルメンバーが平年並の状態になることを予測しており、晩夏からラニーニャ現象の発生を予測していたのは33メンバー中、2メンバーであった(図4)。

春の時点のエルニーニョ予測は難しいことが知られており(春の予測バリアーと呼ばれている)、SINTEX-F 予測シミュレーションでもその傾向が見られる(Doi et al. 2020 [2])。予測の改善の余地があるのか、あるいは潜在的に予測が難しいイベントであったのか、さらに検証を進める必要がある。

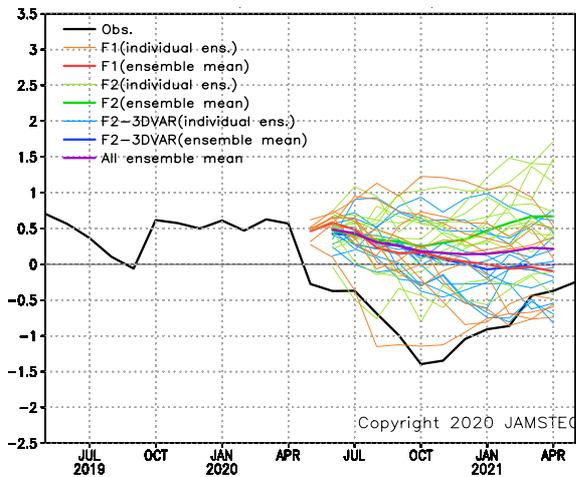


図 4: 図 3 と同様だが、エルニーニョ現象の指数 Nino3.4 (太平洋熱帯域の中央部から東部にかけて領域平均した海面水温の平年からの異常値で、単位は $^{\circ}$ C)。

#### 4. 2020年5月1日時点での、2020年秋(9-11月)平均の予測

2020年5月1日時点での、2020年秋(9-11月)平均の予測(アンサンブル平均値)の成否を、再解析データや観測データを使って検証した。

気温を比較すると、再解析データでは、カナダ、南アメリカ大陸の南部、ユーラシア大陸の中央付近、アフリカ南部の西岸域などで、気温が平年より低かったが、アンサンブル平均値では、予測できていなかった。一方で、その他の多くの地域が平年より気温が高かったことは概ね予測と一致していた(図5)。

降水量を比較すると、観測データでは、インドネシア付近が多雨であったことが確認でき、アンサンブル平均値でも、それをよく予測できていた(図6)。これは、負のインド洋ダイポールモード現象の予測に成功していたことに起因すると考えられる。一方で、南アメリカ大陸の西岸域では、乾燥傾向であったものの、その予測はできていなかった。これは、ラニーニャ現象の予測に失敗していたことに起因すると考えられる。その他、中高緯度の多くの地域で、観測と予測の不一致が確認でき、降水量の季節予測が未だチャレンジングな段階であることが確認された。

今後、どのようなプロセスで、予測が外れてしまったのか、アンサンブルメンバーの中に予測が成功していたメンバーはあったのか、予測の改善の余地があるのか、あるいは潜在的に予測が難しいイベントであったのかなどについて、さらに検証を進める必要がある。

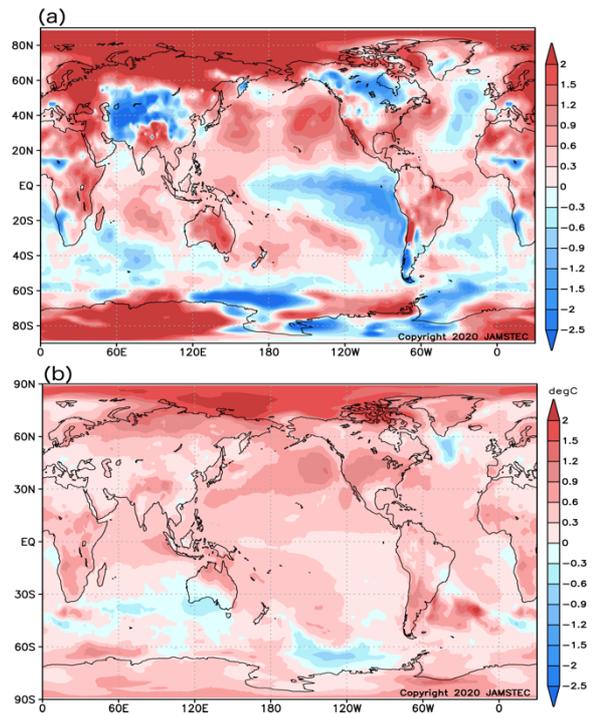


図 5: (a) 2020年秋(9-11月)平均の地上2m気温偏差(1983-2015年で平均した値からの差で、単位は $^{\circ}$ C)。NCEP/NCAR再解析データを使用。(b) (a)と同様だが、2020年5月1日時点での予測値(33アンサンブル平均値)。

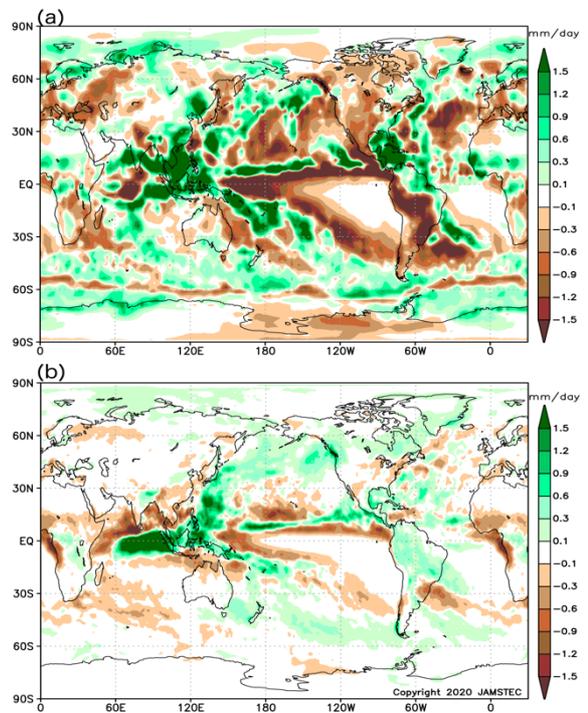


図 6: 図 5 と同様だが、降水量について(単位は $^{\circ}$  mm/day)。CMAP 観測データを使用。

### 3. 季節予測システム「SINTEX-F Family システム」 へ新たに海氷密接度を同化した 12 アンサンブル F2si を追加

今年度から、初期値に SST だけでなく、海氷密接度を同化した 12 アンサンブルメンバー “F2si” (Morioka et al. 2019 [6]) の準リアルタイムに予測結果も確認できるようになった。SINTEX-F Family の Web サイト (<http://www.jamstec.go.jp/aplinfo/sintexf/seasonal/outlook.html>) で、「Model」と書かれたプルダウンメニューで、選択可能になった。

例えば、2020 年 11 月 1 日時点で、2020 年 12 月の気温の予測値を比較すると、海氷密接度を初期値化することで、カナダ、南極大陸などの気温予測が大きく変わることが確認できた(図 7)。このケースに限っていえば、カナダの高温偏差は、F2si システムの方がよく予測できていた。一方で、ユーラシア大陸の低温偏差は、どちらのシステムでも予測ができていなかった。今後、海氷密接度を初期値化することで、どのようなプロセスを介して、予測精度がどの程度向上するのかを検証し、さらに予測を改善する余地があるかなどを調べていく必要がある。

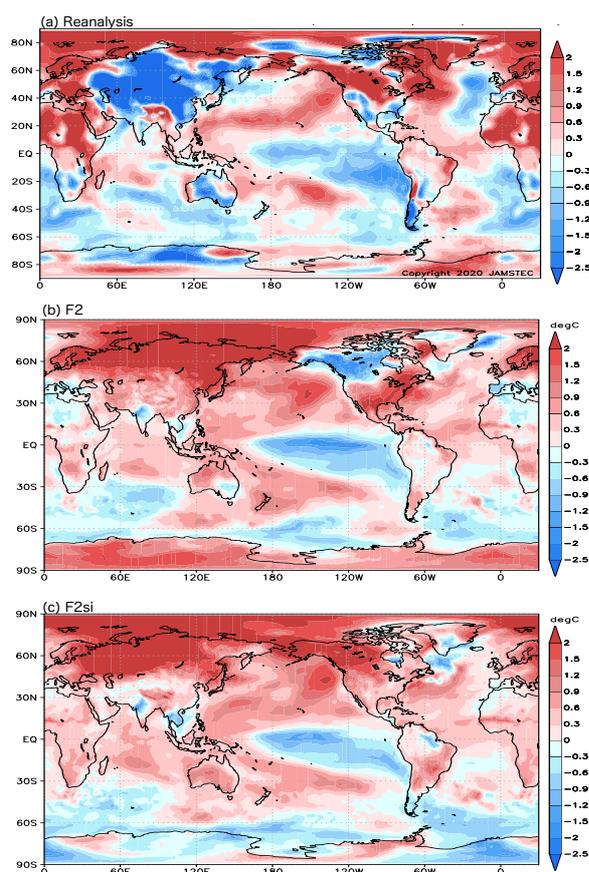


図 7: (a) 2020 年 12 月の地上 2m 気温偏差。NCEP/NCAR 再解析データより (単位は $^{\circ}$ C)。 (b) 2020 年 11 月 1 日時点での、2020 年 12 月の地上 2m 気温偏差の予測値 (単位は $^{\circ}$ C)。上段は、海面水温のみを初期値化した 12 アンサンブル

ルメンバー “F2” で平均した予測値 (Doi et al. 2016 [4])。 (c) (b) と同様だが、海面水温に加えて、海氷密接度を初期値化した 12 アンサンブルメンバー “F2si” で平均した予測値 (Morioka et al. 2019 [6])。

### 謝辞

SINTEX-F 予測システムのプロトタイプ開発に Jing-Jia Luo 博士, Sebastian Masson 博士, 佐々木亘博士, および欧州の共同研究者 (INGV/CMCC, LOCEAN/IPSL, and MPI-M のモデリングチーム) に多大なる貢献をして頂いた。

### 文献

- [1] Lu, B., Ren, H.L., Scaife, A.A. et al. An extreme negative Indian Ocean Dipole event in 2016: dynamics and predictability. *Clim Dyn* 51, 89-100, 2018
- [2] Doi, T., S. Behera, T. Yamagata, “Predictability of the super IOD event in 2019 and its link with El Nin Modoki”, *Geophysical Research Letters* (47), e2019GL086713, 2020
- [3] Luo, J.-J., S. Masson, S. Behera, S. Shingu, and T. Yamagata, “Seasonal climate predictability in a coupled OAGCM using a different approach for ensemble forecasts”, *Journal of Climate* (18), 4474-4494, 2005
- [4] Doi, T., S. K. Behera, and T. Yamagata, “Improved seasonal prediction using the SINTEX-F2 coupled model”, *Journal of Advances in Modeling Earth Systems* (8), 1847-1867, 2016
- [5] Doi, T., A. Storto, S. K. Behera, A. Navarra, and T. Yamagata, “Improved prediction of the Indian Ocean Dipole Mode by use of subsurface ocean observations”, *Journal of Climate* (30), 7953-7970, 2017
- [6] Morioka, Y., Doi, T., Iovino, D. et al. “Role of sea-ice initialization in climate predictability over the Weddell Sea”, *Sci Rep* 9, 2457, 2019

# A real-time APL model ensemble seasonal prediction system and its application

Project Representative

Swadhin Behera Application Laboratory, Research Institute for Value-Added-Information Generation, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Authors

Takeshi Doi \*<sup>1</sup>, Yushi Morioka \*<sup>1</sup>, Swadhin Behera \*<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup> Application Laboratory, Research Institute for Value-Added-Information Generation, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

We have been conducting seasonal predictions every month using the SINTEX-F seasonal prediction system on the Earth Simulator and providing a real-time outlook of seasonal to interannual climate prediction on our website (<http://www.jamstec.go.jp/aplinfo/sintexf/e/seasonal/outlook.html>). In 2020, the system successfully predicted occurrence of a negative Indian Ocean Dipole event. We provided the information through our open websites not only for researchers, but also for general public. We have also started to provide a real time seasonal prediction by “F2si”, which uses sea surface temperature as well as sea ice concentration for the initialization, as one of SINTEX-F multi model ensemble systems.

**Keywords** : Seasonal prediction, Indian Ocean Dipole,

## 1. Prediction of a negative Indian Ocean Dipole in 2020

The Indian Ocean Dipole (IOD) is an intrinsic air-sea coupled climate phenomenon in the tropical Indian Ocean, of which name was introduced because of the dipolar structure of both oceanic and atmospheric anomalies along the equator. A negative IOD is associated with a warming off the Sumatran coast and a cooling over the western equatorial Indian Ocean (Fig. 1). For example, a super negative IOD event occurred in 2016, which was the strongest negative IOD in the period since 1980 (Lu et al. 2018 [1]). It led to the East African drought in 2016. As reported by the Inter-Agency Working Group (IAWG) in December 2016, over 15 million people in Somalia, Ethiopia and Kenya were experiencing devastating drought, food insecurity and unsafe drinking water. The successful prediction of such a super event at long lead time may contribute to reducing the risks of socioeconomic losses by introducing suitable measures for adaptation.

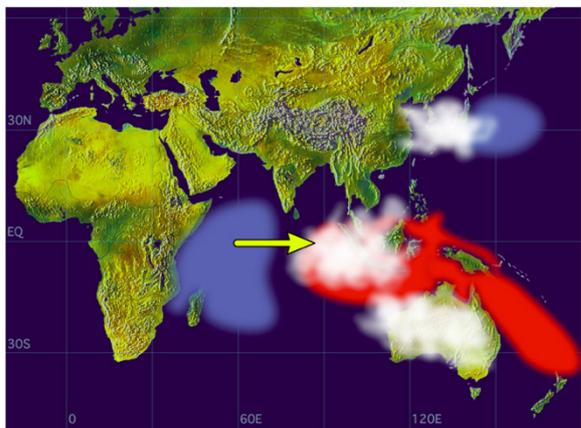


Figure 1: Schematic figure of a negative Indian Ocean Dipole (positive/negative sea surface temperature anomalies: red/blue; above-normal-rainfall anomalies: white; surface wind anomalies: arrow, respectively)

4 years after the 2016 negative IOD event, a negative Indian Ocean Dipole occurred in 2020, which was not so strong. The JAMSTEC/APL multi model ensemble system “SINTEX-F Family” (Doi et al. 2020 [2]) successfully predicted occurrence of a negative Indian Ocean Dipole event in 2020 one season ahead (Fig. 2). We provided the information through our open websites not only for researchers, but also for general public.

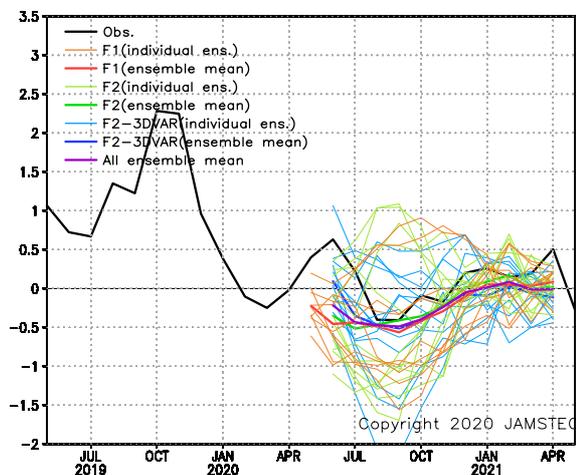


Figure 2: Monthly Indian Ocean Dipole Mode Index (DMI) in 2020 ( $^{\circ}\text{C}$ ) from the observational data of NOAA OISSTv2 (black) and the prediction issued on 1 May 2020 with the 9-ensembles by the F1 (thin orange, each ensemble member; thick red, ensemble mean, Luo et al. 2005 [3]), the 12-ensembles by the F2 (thin right green, each ensemble member; thick green, ensemble mean, Doi et al. 2016 [4]), the 12-ensembles by the F2-3DVAR (thin right blue, each ensemble member; thick blue, ensemble mean, Doi et al. 2017 [5]), and the all ensemble mean (thick purple, “SINTEX-F Family” (Doi et al. 2020 [2])). DMI is defined as the SST anomaly difference between the western pole

off East Africa (50–70°E, 10°S to 10°N) and the eastern pole off Sumatra (90–110°E, 10°S to equator).

Figure 3a shows a horizontal map of precipitation anomaly averaged from September through November 2020. It shows above-normal rainfall over Indonesia, probably due to occurrence of the negative Indian Ocean Dipole. That was successfully predicted by the SINTEX-F system (Fig. 3b). However, there is disagreements between the observation and the prediction over East Africa, Australia, and East Asia, which is suggested to be partly influenced by the IOD. We need further analysis to understand teleconnection patterns from negative IOD events and their potential predictability.

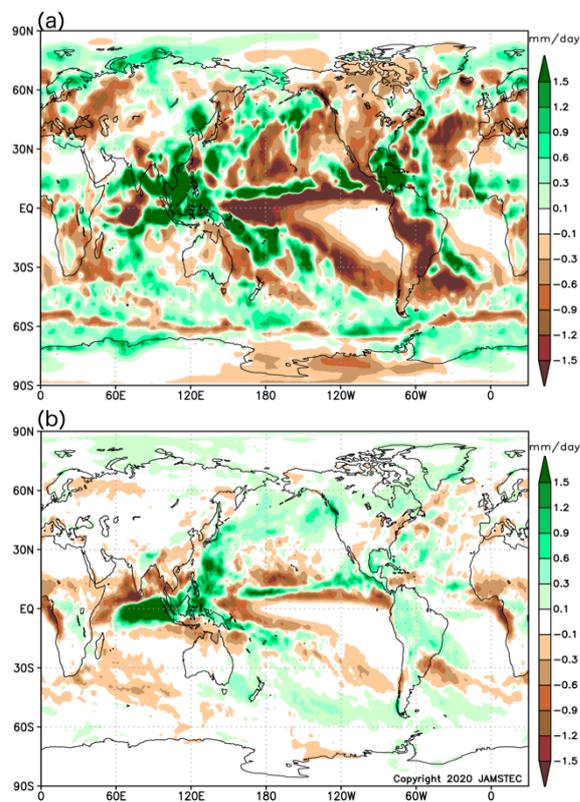


Figure 3: (a) a horizontal map of precipitation anomaly averaged from September through November 2020 (mm/day) by the CMAP data. (b) Same as (a), but for prediction issued on May 1<sup>st</sup> by the SINTEX-F Family system (ensemble mean).

## 2. SINTEX-F2si system

We have started to provide a real time seasonal prediction by “F2si”, which uses sea surface temperature as well as sea ice concentration for the initialization (Morioka et al. 2019 [6]), as one of SINTEX-F multi model ensemble systems.

For example, Figure 4 shows prediction of 2m air temperature anomaly in December 2020 issued on November 1<sup>st</sup> 2020 by “F2” and “F2si”. We can see some difference over Canada and Antarctic regions. We need further analysis to understand the

differences from a viewpoint of influences of sea ice concentration.

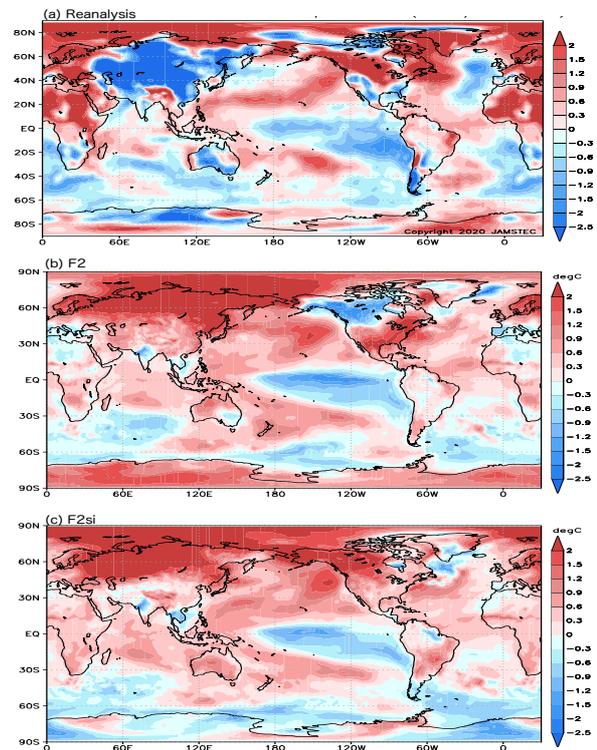


Figure 4: (a) 2m temperature anomaly in December 2020 by NCEP/NCAR reanalysis data (°C) and its prediction issued on November 1<sup>st</sup> 2020 by (b) the F2 (12 ensemble mean) and (c) the F2si (12 ensemble mean).

## References

- [1] Lu, B., Ren, H.L., Scaife, A.A. et al. An extreme negative Indian Ocean Dipole event in 2016: dynamics and predictability. *Clim Dyn* 51, 89–100, 2018
- [2] Doi, T., S. Behera, T. Yamagata, “Predictability of the super IOD event in 2019 and its link with El Nin Modoki”, *Geophysical Research Letters* (47), e2019GL086713, 2020
- [3] Luo, J.-J., S. Masson, S. Behera, S. Shingu, and T. Yamagata, “Seasonal climate predictability in a coupled OAGCM using a different approach for ensemble forecasts”, *Journal of Climate* (18), 4474–4494, 2005
- [4] Doi, T., S. K. Behera, and T. Yamagata, “Improved seasonal prediction using the SINTEX-F2 coupled model” *Journal of Advances in Modeling Earth Systems* (8), 1847–1867, 2016
- [5] Doi, T., A. Storto, S. K. Behera, A. Navarra, and T. Yamagata, “Improved prediction of the Indian Ocean Dipole Mode by use of subsurface ocean observations”, *Journal of Climate* (30), 7953–7970, 2017
- [6] Morioka, Y., Doi, T., Iovino, D. et al. “Role of sea-ice initialization in climate predictability over the Weddell Sea”, *Sci Rep* 9, 2457, 2019