

# 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

Swadhin Behera      海洋研究開発機構   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>, Ingo Richter<sup>\*1</sup>, Swadhin Behera<sup>\*1</sup>, 山形 俊男<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> 海洋研究開発機構 アプリケーションラボ

大気海洋結合大循環モデル SINTEX-F を基盤と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ステークホルダーに配信した。2016 年は、前半に過去最大級のエルニーニョ現象が急速に衰退し、後半にラニーニャモドキ現象が発生した。また秋には負のインド洋ダイポールモード現象が発生した。これらの気候変動現象は世界の至る所で天候異常を引き起こしたが、その発生・衰退予測に成功した。アプリケーションラボのサイトや海洋研究開発機構のニュースサイトで、それら予測情報を世界に先駆けて積極的に配信した。特に 2016 年 4 月から、毎月の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”を新たに開設した。約 1 年で 20 以上の記事を配信しており、毎月約 7000 近くのアクセスがある。SINTEX-F の従来のサイトと合わせると、毎月約 14000 のアクセスがある。

キーワード：季節予測, 情報発信

## 1. 課題概要

“自然災害をもたらす現象の高精度な事前予測の実現（第 3 期中期計画前文）”に資するため、我々は、日欧協力によって開発された大気海洋結合大循環モデル 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“SINTEX-F 季節予測システム”を開発した（Luo et al. 2005[1]）。2005 年から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ステークホルダーに配信しており、現在までの実績から、世界でも高い信頼を得ている（<http://www.jamstec.go.jp/frcgc/research/d1/iod/seasonal/overview.html>）。このシステムを更に発展させるための基盤研究は別課題“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”で行っている。それとは別に、本課題では、季節予測情報を“社会に利活用可能な付加価値情報を創出するため（第 3 期中期計画 5-②-ハ）”、オペレーション化させた季節予測システムを準リアルタイムに運用し、その予測精度を検証する。さらに、これら季節予測情報を“効果的に社会に還元する具体的な方法（第 3 期中期計画 5-②-ハ）”について、推進中の受託研究、共同研究と連携し発展させる『環境研究総合推進課題 [2-1405, 最近頻発し始めた新しい自然気候変動現象の予測とその社会応用]、SATREPS 感染症課題 [南部アフリカにおける気候予測モデルをもとにした感染症流行の早期警戒システムの構築]、国立研究開発法人農業環境技術研究所との共同研究など』。

本年度は、特に一般向けの情報配信を強化した。

## 2. 季節ウォッチの開設

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ステークホルダーに配信しており、現在までの実績から、世界でも高い信頼を得ている。そのサイト（<http://www.jamstec.go.jp/frcgc/research/d1/iod/seasonal/overview.html>）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、毎月の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”を新たに開設した（<http://www.jamstec.go.jp/aplinfo/climate/>）。2016 年 4 月から開設し、約 1 年で 20 以上の記事を配信した。季節ウォッチは毎月約 7000 近くのアクセスがあり、SINTEX-F の従来のサイトと合わせると、毎月約 14000 のアクセスがある（図 1）。

## 3. 季節予測の検証

### 3.1 2016 年夏の予測

図 2 は、エルニーニョ現象やラニーニャ現象の発生を判断する際によく使われる指標 Nino3.4（熱帯太平洋東部で領域平均した海面水温がどの程度平年値からずれているか（偏差と呼ぶ）を示す数値。単位は℃）の 2016 年の推移を表している。青が観測、つまり実際の値である。2015 年末から発生していたエルニーニョ現象は、年が明けて、その勢力は次第に弱まり、今年 5 月には終息した。それから指標 Nino3.4 は冷え続け、8-9 月にかけてエルニーニョ現象とは逆の現象であるラニーニャ現象（ある

いはラニーニャモドキ現象)のような状態が弱いながらも発生した。2016年5月1日時点でのアプリケーションラボの予測シミュレーションの結果は赤線で示してある。青線と赤線はよく一致している。アプリケーションラボの予測システムがエルニーニョ予測に関して世界最先端であることは既に学術的にも認められている (Luo et al. 2005; Jin et al. 2008[1, 2])

インド洋ダイポールモード現象の指標 DMI (熱帯インド洋の海面水温偏差の東西差を示す数値。単位は $^{\circ}\text{C}$ )をみると (図3)、6月から7月にかけて負のイベントが急速に発達し、8、9月と強い勢力を保っていることが分かる。2016年5月1日時点でのアプリケーションラボの予測シミュレーションの結果 (赤線) は、観測 (青線) の傾向を概ね予測できており、負のイベントの発生予測に成功したと言える。しかし7、9月の振幅を過少評価していた。インド洋ダイポールモード現象の予測は、エルニーニョ現象の予測に比べて難しく未だ科学的にもチャレン

ジングな課題とされている。アプリケーションラボではその予測精度向上のための努力を続けている (別課題“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”を参照)。

次に、2016年夏 (6-8月平均) における地上気温の平年値からの差を比べた。図4左は実際の状況 (正確には米国 NCEP/NCAR から配信される再解析データ) で、暖 (寒) 色が平年より気温が高 (低) いことを示す。図4右が2016年5月1日からの予測値である (つまり5/1時点から2-4ヶ月先の将来予測)。世界のほとんどの地域で気温が平年より高めになると予測していたが、概ね成功したと言える。例えば、アフリカ北部、ロシア、中国、北米大陸、ブラジル、豪州で平年より高温であることが予測できている。しかし、残念ながらナミビアを中心としたアフリカ南西部や西アフリカの一部、欧州の一部、中東の一部やインド北部、日本の本州域などの予測は外れている。

最後に2016年夏 (6-8月平均) における降水量の平

## Seasonal prediction

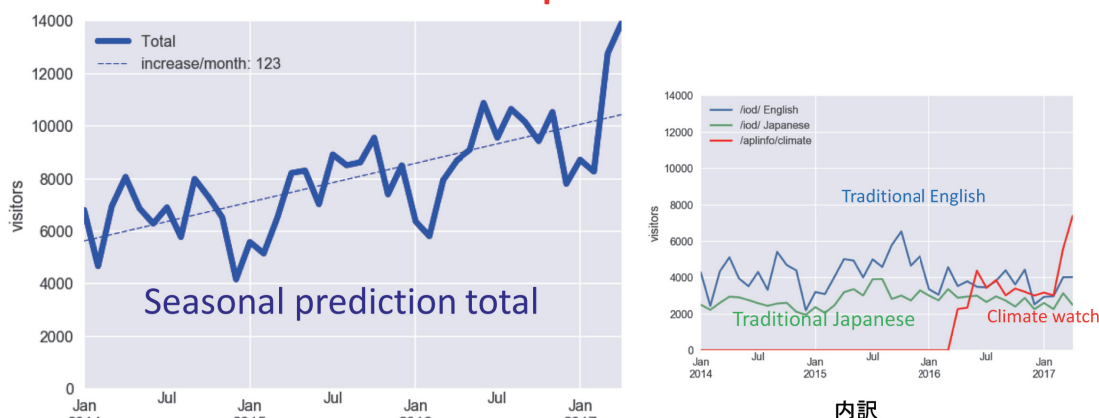


図1 SINTEX-F 季節予測関連のウェブサイトのアクセス解析 (美山主任研究員の提供)

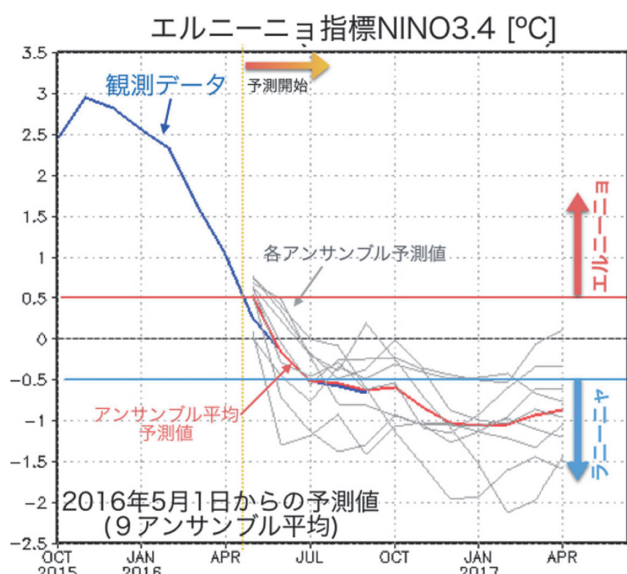


図2 エルニーニョ/ラニーニャ現象の指標Nino3.4 (単位は $^{\circ}\text{C}$ )の現在までの推移と2016年5月1日から開始した予測値の比較。青色の線が観測値、グレーの線が僅かに異なる条件で計算した9つの予測値、赤色の線が9つの予測値の平均値。

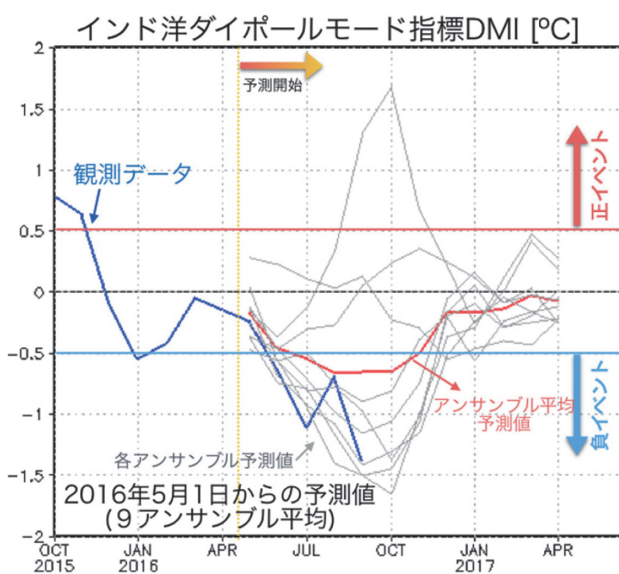


図3 図1と同様だが、インド洋ダイポールモード現象の指標DMIについての図 (単位は $^{\circ}\text{C}$ )



## 2016年6-8月で平均した地上気温の平年値からの差 [°C]

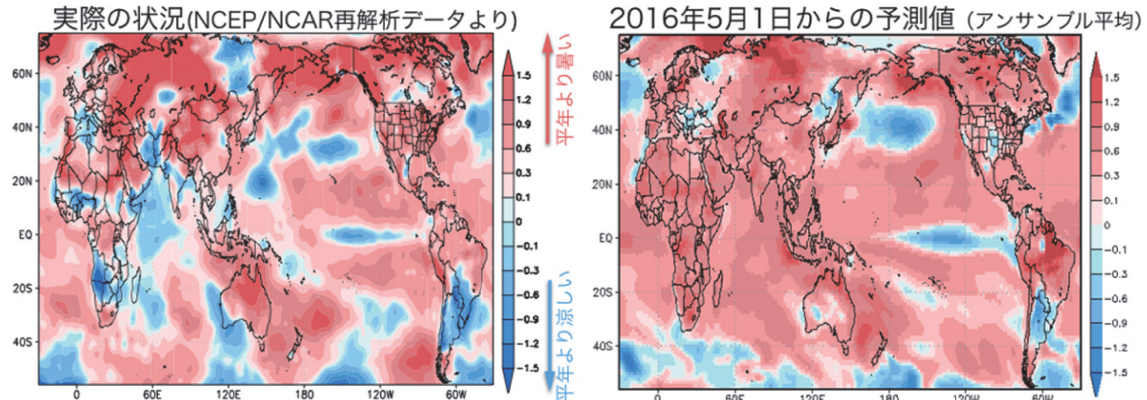


図4 2016年夏(2016年6月から7月の平均)における地上気温の平年値からの差(単位は°C)。左図は実際の状況(正確にはNCEP/NCAR再解析データ)で、右図が2016年5月1日からの予測値。

## 2016年6-8月で平均した降水量の平年値からの差 [mm/day]

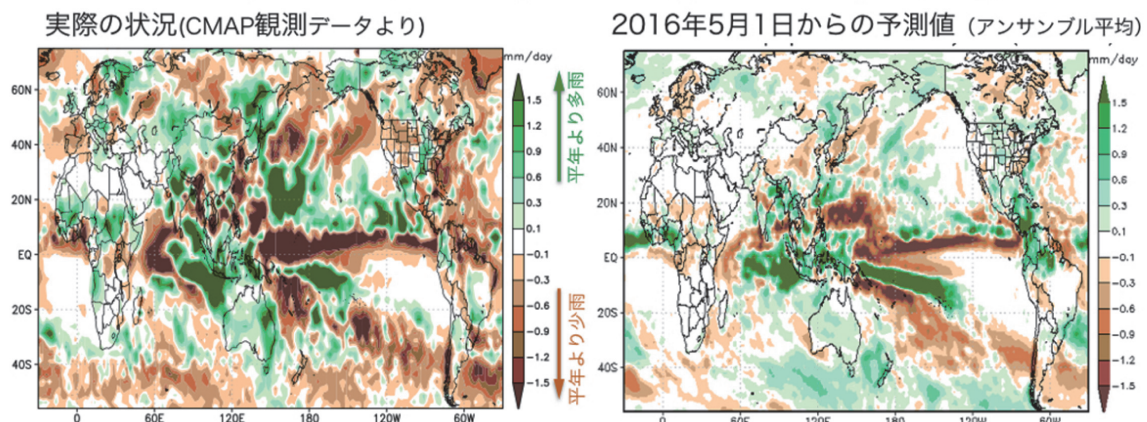


図5 2016年夏(2016年6月から7月の平均)における降水量の平年値からの差(単位はmm/day)。左図は実際の状況(正確にはCMAP観測データ)で、右図が2016年5月1日からの予測値。

年値からの差を比べた。図5左は実際の状況(正確にはCMAPと呼ばれる観測データ)で、緑(茶)色が平年より多雨(少雨)であることを示す。図5右が2016年5月1日からの予測値である。熱帯太平洋上や熱帯インド洋上の降水分布はよく似ており、上述したラニーニャ(あるいはラニーニャモドキ)現象や負のインド洋ダイポールモード現象の特徴がよく予測できている。陸上では、インドネシアの多雨傾向が予測できた(インドネシアの「日刊邦字新聞」じゃかるた新聞でも取り上げられた <http://www.jakartashimbun.com/free/detail/31897.html>)。しかし、ブラジル北部の少雨、豪州東部の多雨、日本を含む中緯度域の降水分布などについては、予測が外れていることが分かった。

## 3.2 2016/17年冬の予測

エルニーニョモドキ・ラニーニャモドキ現象の指標であるEMI(熱帯太平洋中央部の海面水温偏差が東部と西部の海面水温偏差と比べてどの程度温まっているかを示す数値。単位は°C)をみると(図6)、2016年9月から2017年2月までの熱帯太平洋の状態は「ラニーニャモドキ現象」が発生している状態であることが確認できた。2016年11月1日時点でのアプリケーションラボの予測シ

ミュレーション(赤色の線)は、観測(青色の線)の傾向を概ね予測できていた。このようなモドキ現象の予測精度の向上に資する研究は、環境研究総合推進費(2-1405)「最近頻発し始めた新しい自然気候変動現象の予測とその社会応用」(研究代表者:山形 俊男; <http://www.jamstec>。

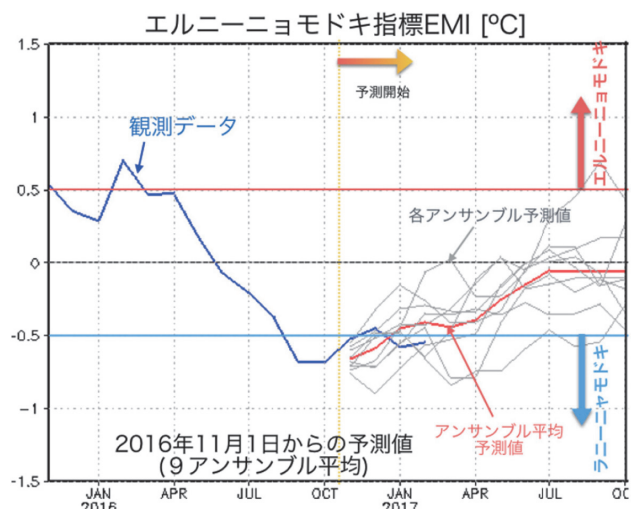


図6 図2と同様だが、エルニーニョモドキ/ラニーニャモドキ現象の指標EMIについての図(単位は°C)。2016年11月1日から開始した予測値の比較。

go.jp/apl/ertdf2-1405/) で実施した。その成果の一部は Doi et al. (2016[3]) として出版されている。

インド洋ダイポールモード現象の指標 DMI をみると (図 7)、6 月から 7 月にかけて負のイベントが急速に発達し、8 月から 10 月と強い勢力を保っていることが分かる。2016 年 11 月 1 日時点でのアプリケーションラボの予測シミュレーションの結果 (赤色の線) は、観測 (青色の線) の傾向を概ね予測できており、負のイベントの急激な衰退予測に成功した。

最後に、2016/17 年冬 (2016 年 12 月から 2017 年 2 月の平均) における地上気温の平年値からの差を比べた。図 8 左は実際の状況 (正確には米国 NCEP/NCAR から配信される再解析データ) で、右図が 2016 年 11 月 1 日からの予測値である (つまり 11/1 時点から 2-4 ヶ月先の将来予測)。実際の状況では、熱帯太平洋ではラニーニャモード現象が発生しており綺麗な三極構造が見える (西部: 暖、中央部: 冷、東部: 暖)。予測値を見ると、熱帯太平洋西部から中央部は実際の状況と整合的だが、東部の暖水が現れていない。また陸上をみると、例えば、ユーラシア大陸東部、北米大陸の中央から東部、北欧、アフリカ中央

部などが平年より高温であることが予測できていた。また豪州西部が涼しい夏になったことも予測できていた。しかし、ユーラシア大陸の西部、北米大陸の西部、インド、豪州東部、ブラジル北部などの予測は外れている。

予測の検証は、更なる予測精度の向上に向けた研究のために重要な作業である。観測データによる検証こそが予測科学を強く鍛えてくれると言える。このようなプロセスで発展してきたのが毎日の生活に欠かせない天気予報である。季節予測研究もこのような検証に基づいた研究開発を地道に展開していくことで、社会へのよりよいサービスを可能にしていくであろう。

予測は現象の物理的理解の結晶である。予測のはずれにはまだ理解しきれていない何かが隠されていると考えられる。アプリケーションラボでは、このような予測の検証を基盤に、予測外れの理由を解明し、予測を改善する研究を続けている。例えば、予測を外してしまうメカニズムの理解や、予測シミュレーション技術の発展 (気候モデルや初期値の取り扱いなど)、あるいは予測が潜在的にどこまで可能なかの理論的解明などを進めている。特に海洋の初期値作成スキームの開発について、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” で実施中なので参照して頂きたい。

## 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, L'OCEAN, and MPI のモデリングチーム) に多大なる貢献をして頂いた。本研究は環境研究総合推進費 (2-1405: “最近頻発し始めた新しい自然気候変動現象の予測とその社会応用”) や、AMED-JICA が推進する SATREPS 感染症課題 [南部アフリカにおける気候予測モデルをもとにした感染症流行の早期警戒システムの構築] の補助を受けている。

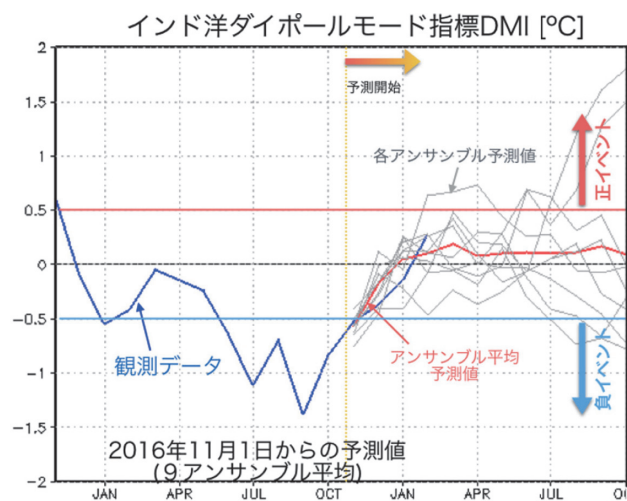


図 7 図 6 と同様だが、インド洋ダイポールモード現象の指標 DMI についての図 (単位は  $^{\circ}\text{C}$ )

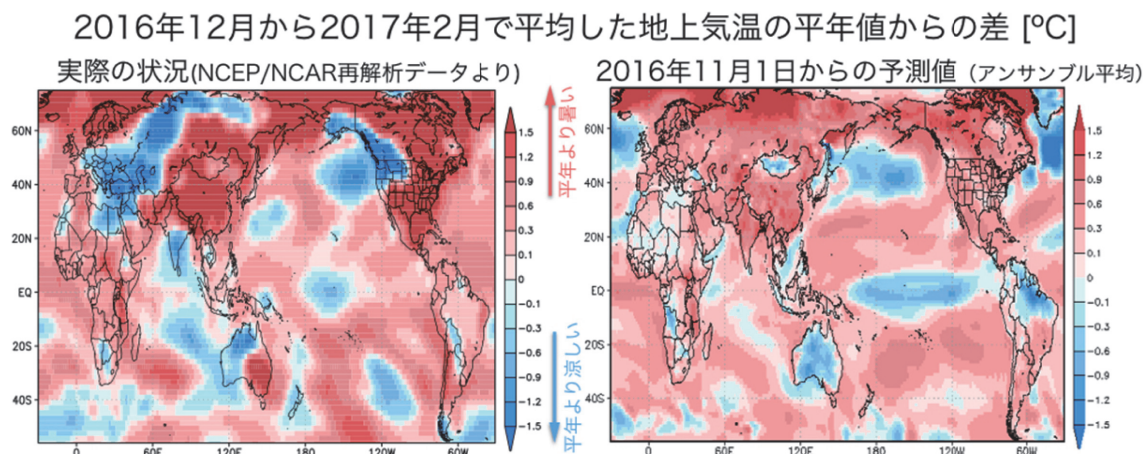


図 8 2016/17 年冬 (2016 年 12 月から 2017 年 2 月の平均) における地上気温の平年値からの差 (単位は  $^{\circ}\text{C}$ )。左図は実際の状況 (正確には米国 NCEP/NCAR から配信される再解析データ) で、右図が 2016 年 11 月 1 日からの予測値。



## 文献

- [1] 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. Clim.*, 18, 4474-4494.
- [2] Jin, E. K., and coauthors, 2008: Current status of ENSO prediction skill in coupled ocean-atmosphere models, *Clim. Dyn.*, 31, 647-664.
- [3] Doi, T., S. K. Behera, and T. Yamagata, 2016: Improved seasonal prediction using the SINTEX-F2 coupled model, *J. Adv. Model. Earth Syst.*, DOI: 10.1002/2016MS000744

# A Real-time APL Model Ensemble Seasonal Prediction System and Its Application

Project Representative

Swadhin Behera      Application Laboratory, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Authors

Takeshi Doi<sup>\*1</sup>, Yushi Morioka<sup>\*1</sup>, Ingo Richter<sup>\*1</sup>, Swadhin K. Behera<sup>\*1</sup> and Toshio Yamagata<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> Application Laboratory, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

We have been conducting seasonal predictions every month using the SINTEX-F1 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/frcgc/research/d1/iod/e/seasonal/outlook.html>). In 2016, we experienced an abrupt decay of an extremely strong El Niño event and an occurrence of a negative Indian Ocean Dipole event. The SINTEX-F system successfully had predicted them. We had provided the information through not only our traditional websites for researchers, but also our new website “Climate Watch” for general people.

**Keywords:** Seasonal Prediction, Societal Application

## 1. New website “Climate Watch”

We have opened a new website “Climate Watch” to provides seasonal climate prediction information based on the SINTEX-F system developed at JAMSTEC/APL (Luo et al. 2005[1]). The webpage is updated at the end of each month. Now, we have more than 7000 hits per one month on that website (Fig. 1).

## 2. Verifying the 2016 prediction

### 2.1 2016 summer

Figure 2 below shows how the Niño 3.4 index has evolved from October 2015 to September 2016. The Niño 3.4 index is calculated by averaging sea-surface temperature (SST) anomalies over the eastern and central tropical Pacific, and it is one of the most important indicators for the state of the El Niño-Southern Oscillation (ENSO). The blue line shows the Niño 3.4 index as calculated from observations, which we take as our reference. From the end of 2015, El Niño started weakening

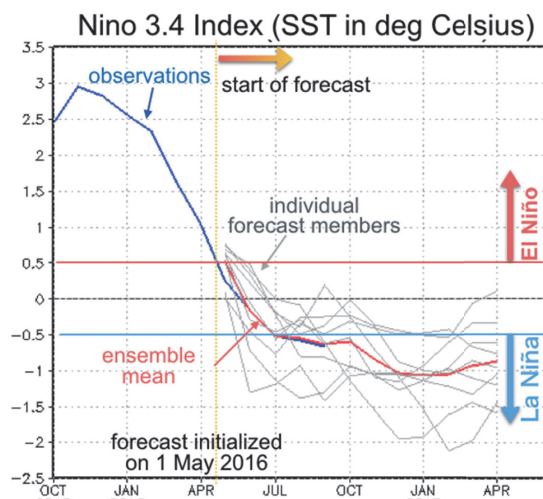


Fig. 2 The Niño 3.4 index is an area average of SST in the central and eastern equatorial Pacific. Here we show the departure of this index from average conditions (aka anomalies). The units are degrees Celsius.



Fig. 1 The number of visitors on the SINTEX-F websites (by Dr. Miyama)

and eventually terminated in May of 2016. Temperatures in the region continued to drop and weak La Niña-like conditions (the opposite phase of El Niño) settled in sometime in August or September. The red line shows the SINTEX-F prediction initialized from 1 May 2016. The match between the prediction and the observations is striking. This once more showcases the high skill of SINTEX-F in the tropical Pacific (previously documented, e.g., by Luo et al. 2005; Jin et al. 2008[1, 2]).

As shown by the Dipole Mode Index (DMI; Fig. 3), the negative IOD event rapidly developed in June and July, and kept going strongly in August and September. The SINTEX-F prediction did a reasonable job at predicting the development of the event, but severely underestimated its amplitude in July and September. Predicting the IOD is much harder than predicting El Niño. Exactly why that is the case is an area of current research, in which we are actively involved (please refer to another ES project report for “Development of a probabilistic numerical seasonal prediction system with ocean observation”).

Figure 4 compares the surface air temperature anomalies

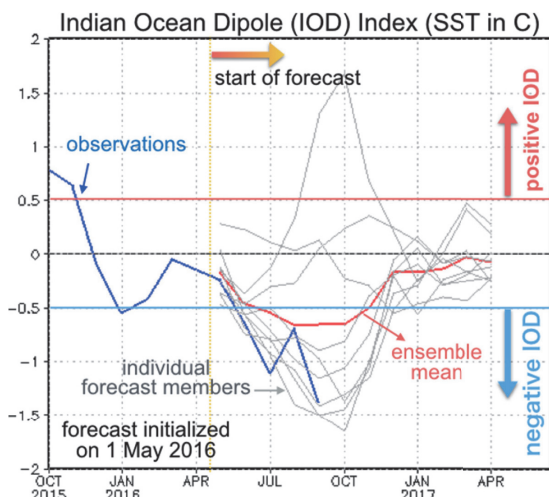


Fig. 3 The Dipole Mode Index (DMI) measures the SST difference between the western and the eastern equatorial Indian Ocean. Units are degree Celsius.

in the NCEP/NCAR reanalysis (a product that combines observations and model simulation to obtain a best estimate of climate conditions) and the SINTEX-F predictions, both averaged from June through August. The model (right panel; initialized on 1 May) predicted warmer than average temperatures in most regions and, by and large, this is what actually occurred (according to the reanalysis data). For example, the predicted warm anomalies over northern Africa, Russia, China, northern America, Brazil and Australia are all validated by the reanalysis data. Unfortunately, the model was also wrong in a number of places, including southwestern Africa, parts of Europe, parts of India, and Japan’s Honshu (main) island.

## 2.2 2016/17 winter

The left panel of Fig. 5 shows the surface air temperature anomalies in the NCEP/NCAR reanalysis, while the right panel shows the SINTEX-F predictions. Both are averaged from December through February. Since the model was initialized on 1 November, 2016, it had to predict temperatures 2 to 4 months ahead. The observations (or rather reanalysis) show a clear tripole structure in the tropical Pacific, with cool temperature anomalies in the center flanked by warm anomalies to the west and east. The model correctly predicted the conditions in the western and central Pacific, but failed to produce the warm anomalies in the east. Over land, the model correctly predicted warmer than average temperatures in places like Asia, the eastern and central parts of North America, northern Europe, and central Africa. It also succeeded in predicting the cooler than average summer in western Australia. On the other hand, the model failed in several regions, including southern and central Europe, the Middle East, India, eastern Australia, and northern Brazil.

For researchers, prediction verification offers the opportunity to identify areas that are in need of further improvement. The comparison between forecast and observation forms the

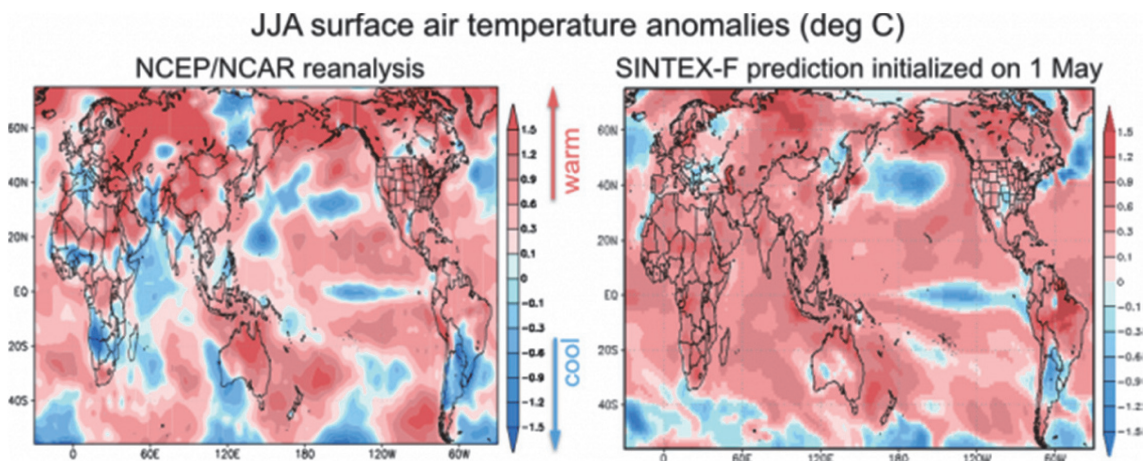


Fig. 4 Surface air temperature anomalies for the period June through August from NCEP/NCAR reanalysis (left) and the SINTEX-F prediction initialized on 1 May (right). Blue shading means cooler than average, red shading means warmer than average.

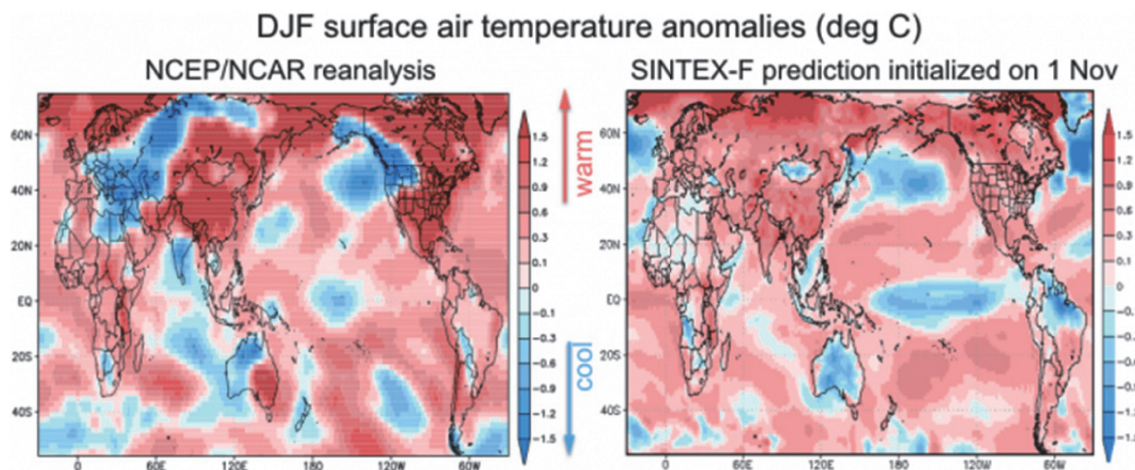


Fig. 5 Surface air temperature anomalies for the period December 2016 through February 2017 from NCEP/NCAR reanalysis (left) and the SINTEX-F prediction initialized on 1 November 2016 (right). Blue shading means cooler than average, red shading means warmer than average.

basis for predictability research and future development. The improvement of weather forecasts, which have become an indispensable part of our lives, was achieved through similar methods. We hope that, based on our prediction verification efforts, we will be able to gradually improve our model and provide an improved service to society.

#### Acknowledgement

We are grateful to Drs. Wataru Sasaki, Jing-Jia Luo, Sebastian Masson, and our European colleagues of INGV/CMCC, L'OCEAN, and MPI for their contribution to developing the prototype of the systems. This research was supported by the Environment Research and Technology Development Fund (2-1405) of the Ministry of the Environment, Japan, the Japan Agency for Medical Research and Development (AMED) and Japan International Cooperation Agency (JICA) through the Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development (SATREPS) project for iDEWS South Africa.

#### References

- [1] 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. Clim.*, 18, 4474-4494.
- [2] Jin, E. K., and coauthors, 2008: Current status of ENSO prediction skill in coupled ocean-atmosphere models, *Clim. Dyn.*, 31, 647-664.