

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^{*1}, 森岡 優志^{*1}, Venkata Ratnam^{*1}, Swadhin Behera^{*1}, 山形 俊男^{*1}

^{*1} 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。2015年は、過去最大級のエルニーニョ現象と正インド洋ダイポールモード現象が同時発生し、世界の至る処で天候異常を引き起こしたが、その予測に成功した。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。

それらの予測情報をより社会に役立てるため、気候予測情報をベースとした豪州の冬小麦の豊凶予測モデルを開発し、その収量変動の分散の約2割が予測可能であることを示した。この成果は季節予測モデルが食糧安全保障において重要な役割を担えることを実証したことになり、受託中の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] に大きく貢献した。

SINTEX-F による 100km スケールの季節予測情報を、南アフリカを対象に約 10km 間隔の予測情報に力学的にダウンスケーリングする技術を開発した。この成果は、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] に大きく貢献した。

キーワード：季節予測, 社会応用, 気候モデル, 力学的ダウンスケーリング, 農業

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。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], (独) 農業環境技術研究所との共同研究など]。

2. 2015年のエルニーニョ現象と正インド洋ダイポールモード現象の同時発生の予測に成功

2015年の夏は、日本に冷夏をもたらす原因となるエルニーニョ現象と、猛暑をもたらす原因ともなるインド洋のダイポールモード現象の正イベントが同時発生した。SINTEX-F 季節予測システムでは、それらの予測に見事に成功し、多くのメディアに取り上げられた。さらにエルニーニョ現象については、2016年春から次第に減衰し、2016年後半には逆にラニーニャ現象に取って代わられる可能性が高いことを、2015年秋の時点でいち早く国際発信した。これらは、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、積極的に配信し、実社会に活用可能な情報創出に貢献した。各サイトのおよそのアクセス数は以下の通りである。

- 毎月更新する SINTEX-F 季節予測情報 (<http://www.jamstec.go.jp/frcgc/research/d1/iod/seasonal/outlook.html>)- 毎月平均約 8000 アクセス (2015年度累計約 90,000 アクセス)
- JAMSTEC ニュース「予測通りにインド洋ダイポールモード現象が発生か? - これからの季節はどうなる?」2015年7月24日掲載
http://www.jamstec.go.jp/j/jamstec_news/20150724/
累計約 8000 アクセス
- JAMSTEC ニュース「スーパーエルニーニョ現象のこれから~2016年後半にはラニーニャ現象が発生か~」

2015年11月4日掲載

http://www.jamstec.go.jp/j/jamstec_news/20151104/

累計約 11,000 アクセス

以下でそれぞれについて詳しく解説する。

2.1 “スーパーな”エルニーニョ現象の予測

図1aはエルニーニョ現象やラニーニャ現象が発生しているかどうかを判断する際によく使われる指標 Niño3.4 (単位は $^{\circ}\text{C}$)の時間推移を表している。指標 Niño3.4は、熱帯太平洋東部で領域平均した海面水温がどのくらい平年値からずれているか(偏差と呼ぶ)を示す数値である「Niño3.4」が 0.5°C を超える期間が一年以上続く場合にエルニーニョ現象が発生していると思なすことができる。

2015年の春過ぎから「Niño3.4」は 0.5°C を超え、その後急速に発達し、8月は 2°C を超えるまでに至った。春過ぎに熱帯太平洋に出現したエルニーニョ現象が、夏から秋にかけて急速に発達し、非常に強い規模まで発達したことが解る。2015年のエルニーニョは、1982/83年や1997/98年の極めて強いエルニーニョ現象に匹敵する規模で、“スーパーな”エルニーニョと呼ぶ研究者もいる(あるいはSF映画の影響で米国等ではゴジラエルニーニョとも呼ばれて注目された)。

SINTEX-Fによる予測シミュレーションでは複雑な自然現象の不確定性を考慮するために、初期値やモデル設定を僅かに変えた予測実験を9回実施している(アンサンブル予測と呼ぶ)。2015年5月1日を初期値として行ったSINTEX-Fシステムによる予測実験では、Niño3.4が8月には、9アンサンプルの内6つ(約70%の確率)で 2°C を超えると予測していた。従って、今年のエルニーニョ現象が「スーパーエルニーニョ」と言われるまで強く成長することを予測することに成功したと言える。

また10月1日からの予測では、初冬に極大を迎えたスーパーエルニーニョ現象が冬の終わりから急速に勢力を弱め、2016年の後半には逆のラニーニャ現象が発生すること予測した。世界の現業予報機関は半年から1年程

度先のエルニーニョ予報を実施しているが、SINTEX-F予測システムではエルニーニョ・ラニーニャ現象を2年前から予測する性能があり(Luo et al. 2007[1])、世界で唯一2年先のエルニーニョ予測情報を毎月配信している。1997年のスーパーエルニーニョ現象は、1998年の春に急激に衰退し、1999年1月にはラニーニャ現象が発生した。SINTEX-Fはその予測にも成功した実績があり、2015年のスーパーエルニーニョ現象が2016年の終わりにラニーニャ現象に位相シフトする予測の信頼性が高い。一連の成果はJAMSTECニュース「スーパーエルニーニョ現象のこれから～2016年後半にはラニーニャ現象が発生か～」(2015年11月4日掲載)で発表した。

2.2 正のインド洋ダイポールモード現象の予測

インド洋にもエルニーニョ現象に匹敵する重要な気候変動現象が存在する。インド洋ダイポールモード現象と呼ばれる現象で、正のイベントが発生すると、熱帯インド洋の西部で海面水温が平年に比べて暖かく、東部で冷たくなる(負のイベントでは逆)。図1bはインド洋ダイポールモード現象の発生を判断するのに使われる指標DMIの時間推移を表している。DMIは熱帯インド洋西部と東部の海面水温偏差の差で定義され、エルニーニョ現象の指標と同様に、DMIが 0.5°C を超える期間が一年以上続く場合に正のイベントが、逆に -0.5°C を超える期間が続くと負のイベントが発生していると思なす。今年の7月の終わりから8月にかけて正のインド洋ダイポールモード現象が発生したが、SINTEX-Fシステムはその予測にも成功した(図1b)。2015年5月1日を初期値として行ったSINTEX-Fシステムによる予測実験では、インド洋ダイポールモード指標が8月には、9アンサンプルの内5つ(約60%の確率)で 0.5°C を超えると予測していた。一連の成果はJAMSTECニュース「予測通りにインド洋ダイポールモード現象が発生か? - これからの季節はどうなる?」2015年7月24日掲載で発表した。

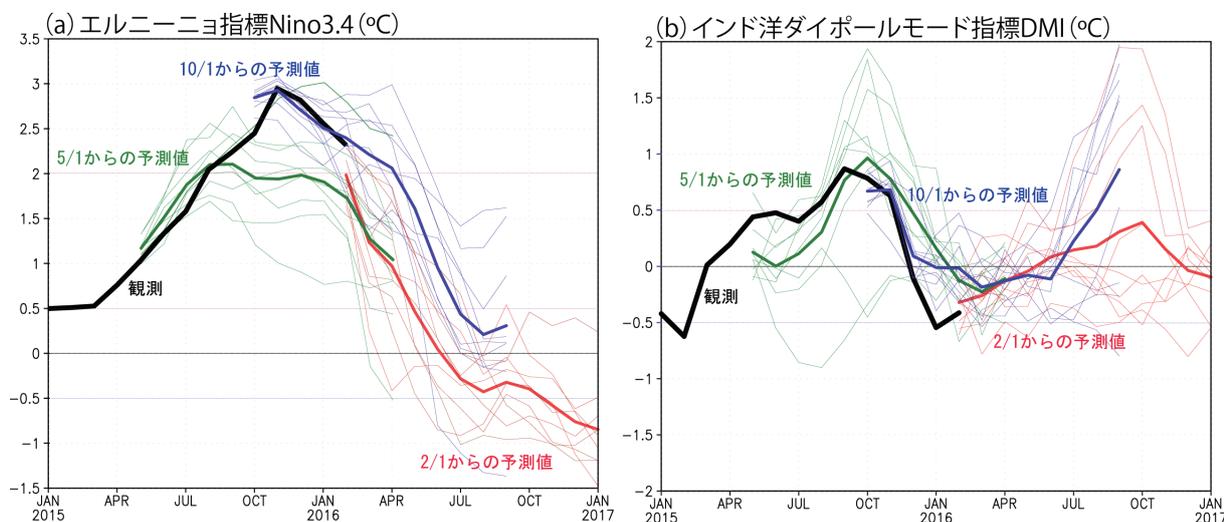


図1 (a) Niño3.4の推移。黒が観測データ、緑が2015年5/1時点のSINTEX-Fによる予測値(細線;各アンサンプルの予測値、太線;アンサンプル平均値)。青は2015年10/1時点、赤は2016年2/1時点の予測値。(b) aと同様だが、DMIについて。

3. 気候予測情報をベースとした豪州の冬小麦の豊凶予測

気候変動の予測情報をより社会に役立てるため、気候予測情報をベースとした豪州の冬小麦の豊凶予測可能性を調べた。最近30年間のオーストラリアの冬小麦収量の年々変動を調べ、インド洋ダイポールモード現象が、エルニーニョ現象やエルニーニョモドキ現象よりも収量に強い影響を及ぼすことを世界で初めて明らかにした(図2)。正のインド洋ダイポール現象が発生した年には、収量は平均的に約30%減少し、逆に負のイベントが発生した年には収量は平均的に約10%増加する傾向にある。

冬小麦収量の年々変動 y' は4-5月平均のインド洋ダイポールモード指標 DMI の値 (DMI_{O-AM}) を観測データから得ることで、収量変動の14.5%が以下の関係式で予測可能であることを明らかにした。

$$y' = -0.7 - 2.57 * \times DMI_{O-AM} \quad (2)$$

また、SINTEX-F 季節予測システムを使って、4/1 から9-11月平均のDMI値を予測 (DMI_{p-SON}) することで、収量変動の分散の15.3%が以下の関係式で予測できることを見出した。

$$y' = -0.6 - 12.2 * \times DMI_{p-SON} \quad (3)$$

6-8月平均のエルニーニョモドキ指標EMIと11月-翌年2月平均のエルニーニョ指標Niño3もSINTEX-F季節予測システムを使って4/1から予測し、上記の式に線形回帰で加えたところ収量変動の分散の17.7%を予測できた。

オーストラリアの冬小麦の豊凶予測にはインド洋ダイポールモード現象の発生予測の成功が鍵であることがわかった。一連の成果は季節予測モデルが食糧安全保障において重要な役割を担えることを実証したことになる。(Yuan and Yamagata 2015[2]) としてNature社のScientific Reportsで発表し、受託中の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]に大きく貢献した。

4. 力学的ダウンスケーリング手法の開発

SINTEX-F 予測システムで得られる100kmスケールの季節予測情報を、WRF 領域モデルで、南アフリカに対して約10kmスケールの予測情報に変換する力学的ダウンスケーリング手法を開発した。

南アフリカを対象とし、SINTEX-F2 季節予測システムのアウトプットを数10kmから数km間隔で、湿度、気温、日射量等を力学的にダウンスケーリングし、詳細な予測情報を作成することに成功した。南アフリカにおける感染症流行にとって重要な南半球の夏(12-2月平均)の降水量を11/1から予測した場合の予測スキルを、雨量観測データを用いて検証した(図3)。SINTEX-F2システムによる予測値(絶対値)をWRF 大気領域モデルに代入し力学的ダウンスケーリング(WRFsint)すると、経年変動の予測スキルが南アフリカ中央部で大幅に向上した。一方で、マラリアが流行する南アフリカ北東部のリンボポ州での予測スキルは向上しなかった。そこで、SINTEX-F2システムによる予測値の気候値に見られるシステムティックなバイアス(気候ドリフト)を補正し、力学的ダウンスケーリング(WRFsintcorr)すると、リンボポ州での予測スキルが向上することを確認した。この成果は、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]に大きく貢献した。以上の成果は(Ratnam et al. 2016[3])として国際専門誌J.Climateで発表した。

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。

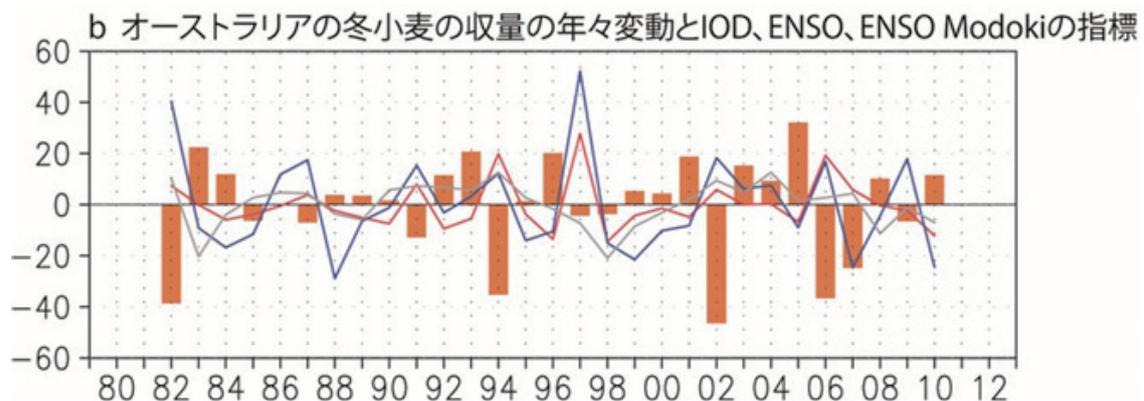


図2 オーストラリアの冬小麦の収量の年々変動のパーセンテージ(オレンジ色の棒グラフ)とIOD(赤線)、ENSO(青線)、ENSO Modoki(灰色線)の指標。比較を見やすくするために、図ではIOD(赤線)、ENSO(青線)、ENSO Modoki(灰線)の指標値は15倍にしている。

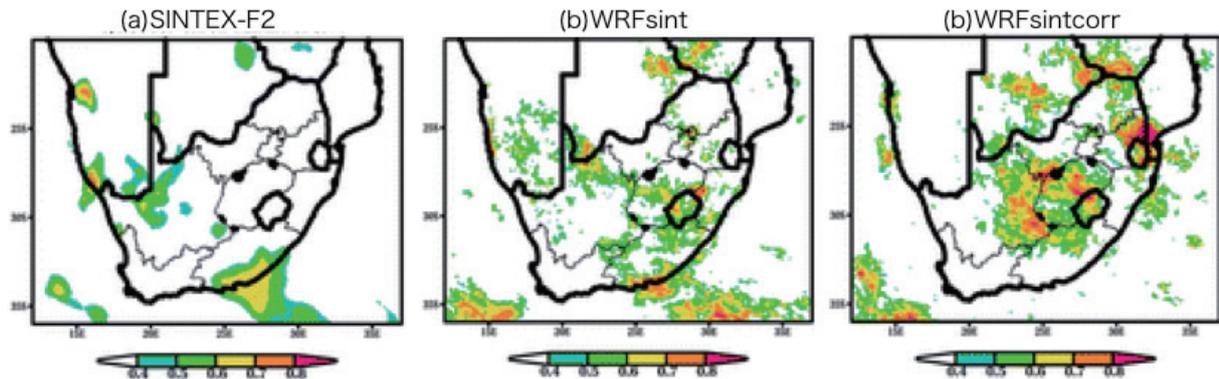


図3 南半球の夏（12-1月平均）の降水量を11/1から予測した場合の予測スキル。観測と予測値（アンサンブル平均）の相関係数の水平図。値が1に近い程予測精度が高い。左が SINTEX-F2 システムの結果、中が SINTEX-F2 システムによる予測値（絶対値）を WRF 大気領域モデルに代入し力学的ダウンスケーリング（WRFsint）した結果、右が SINTEX-F2 システムによる予測値の気候値に見られるシステムティックなバイアス（気候ドリフト）を補正し、力学的ダウンスケーリングした結果（WRFsintcorr）。

文献

- [1] Luo, J.-J., S. Masson, S. Behera, and T. Yamagata 2008: Extended ENSO predictions using a fully coupled ocean-atmosphere model. *J. Climate*, 21(1), 84-93.
- [2] Yuan, C., and T. Yamagata, 2015: Impacts of IOD, ENSO and ENSO Modoki on the Australian Winter Wheat Yields in Recent Decades. *Sci. Rep.*, 5, 17252, doi:10.1038/srep17252.
- [3] Ratnam, J. V., S. K. Behera, Doi, T., S. B. Ratna, and W. A. Landman, 2016: Improvements to the WRF seasonal hindcasts over South Africa by bias correcting the driving SINTEX-F2v CGCM fields, *J. Climate*, 29, 2815-2829.

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^{*1}, Yushi Morioka^{*1}, Venkata Ratnam^{*1}, Swadhin K. Behera^{*1} and Toshio Yamagata^{*1}

^{*1} 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 2015, an extremely strong El Niño event and a positive Indian Ocean Dipole event co-occur and influence on abnormal weather and climate in the world. The SINTEX-F system successfully had predicted it and the information was provided on our websites and the JAMSTEC news sites.

Beyond the climate variables predictions, we also explored the seasonal predictability of the Australian wheat yield variations based on the SINTEX-F seasonal prediction, and found that about 20% of the observed year-to-year wheat yield variances is predictable from the April 1st initialization.

In an attempt to provide about 10 km-scale forecast of the austral summer precipitation over South Africa, we developed the dynamical downscaling system of SINTEX-F2v forecasts (100 km-scale) using the WRF model. It successfully improved the skill scores of summer rainfall over South Africa.

Keywords: Seasonal Prediction, Societal Application, Climate Model, Dynamical Downscaling, Agriculture

1. Prediction of the super El Niño and the positive Indian Ocean Dipole in 2015

Figure 1a shows monthly averaged time series of the El Niño Index (Niño3.4: SST anomalies averaged over 150°-90°W and 5°S-5°N, °C). Niño3.4 developed rapidly from May 2015, and reached above 2 °C in August 2015. Some researcher called the extremely strong event as “super” El Niño. The SINTEX-F1 system successfully predicted the occurrence of the super El

Niño in the August from the 2015 May 1st initialization.

In the boreal summer of 2015, the positive Indian Ocean Dipole co-occurred with the super El Niño. This is also successfully predicted by the SINTEX-F1 system from the 2015 May 1st initialization (Fig. 1b).

Those information was provided on our website and the JAMSTEC News Site.

- SINTEX-F seasonal outlook on “<http://www.jamstec.go.jp/>

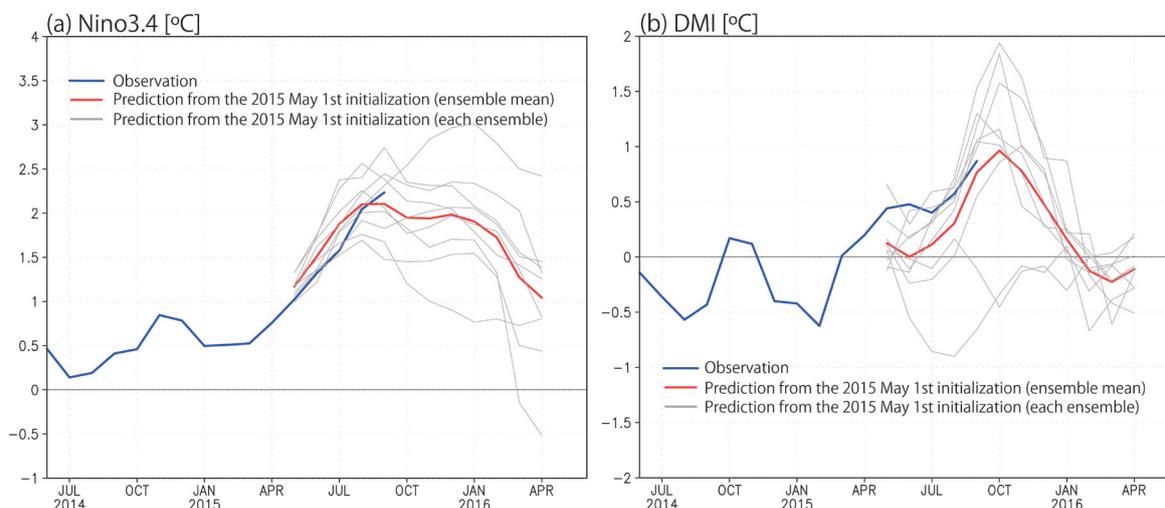


Fig. 1 (a) Niño3.4 (°C). Blue and red lines indicate observation and the prediction from the 2015 May 1st initialization (9 ensemble mean predictions in red, and each ensemble prediction in gray). (b) Same as (a), but for the Indian Ocean Dipole Index (SST difference between the western and eastern Indian Ocean. Unit is °C).

frgc/research/d1/iod/e/seasonal/outlook.html”

- JAMSTEC News “Future outlook for Super El Niño-Signs of La Niña in late 2016 ” http://www.jamstec.go.jp/e/jamstec_news/20151104/
- JAMSTEC News “Signs of Indian Ocean Dipole Emergence As Predicted
- Prospects of the coming season ” http://www.jamstec.go.jp/e/jamstec_news/20150724/

2. Prediction of the Australian Winter Wheat Yields based on seasonal climate prediction (Yuan and Yamagata 2015[1])

Impacts of the Indian Ocean Dipole (IOD), two different types of El Niño/Southern Oscillation (ENSO): canonical ENSO and ENSO Modoki, on the year-to-year winter wheat yield variations in Australia have been investigated (Fig. 2). It is found that IOD plays a dominant role in the recent three decades; the wheat yield is reduced (increased) by -28.4% (12.8%) in the positive (negative) IOD years. The predicted September-November IOD indices by the SINTEX-F ocean-

atmosphere coupled model initialized on April 1st just before the sowing season explain about 20% of the observed year-to-year wheat yield variances. The present study may lead to a possible scheme for predicting wheat yield variations in Australia in advance by use of simple climate mode indices.

3. Improvements to the WRF Seasonal Hindcasts over South Africa by Bias Correcting the Driving SINTEX-F2v CGCM Fields (Ratnam et al. 2016[2])

In our pursuit to improve the seasonal forecasts over South Africa, we carried out dynamical downscaling of the 1-month-lead SINTEX-F2v CGCM forecasts using the WRF Model. To do away with the systematic biases of the SINTEX-F2v CGCM we configured an experiment wherein the WRF Model was forced by the mean bias-corrected SINTEX-F2v CGCM fields. The mean bias correction was to replace the SINTEX-F2v 6-hourly climatology with the corresponding 6-hourly ERA-Interim climatological fields. But the evolution of SINTEX-F2v anomalies remained the same in both experiments. Evaluation of the anomaly correlation coefficients (ACC) between the model

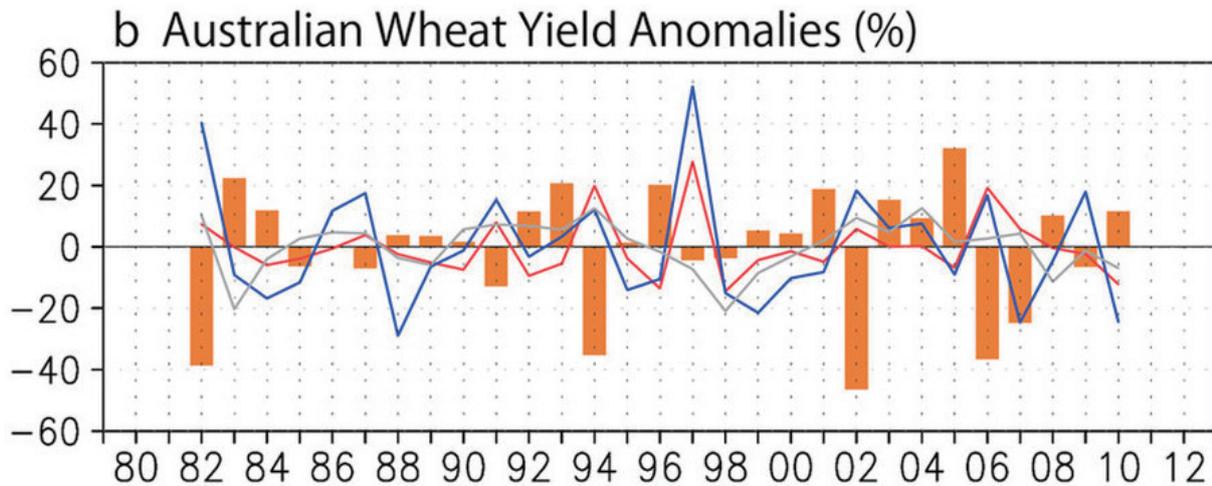


Fig. 2 Time series of the year-to-year anomalous percentages (%) of the Australian winter wheat yields with the three-month-running mean indices of IOD (DMI, red line), canonical ENSO (Niño3, blue line) and ENSO Modoki (EMI, gray line). The September-November DMI (red, °C), November-January Niño3 (blue, °C) and June-August EMI (gray, °C) are superimposed after multiplied by 15. Years in the X-axis denote the years when the wheat is sowed.

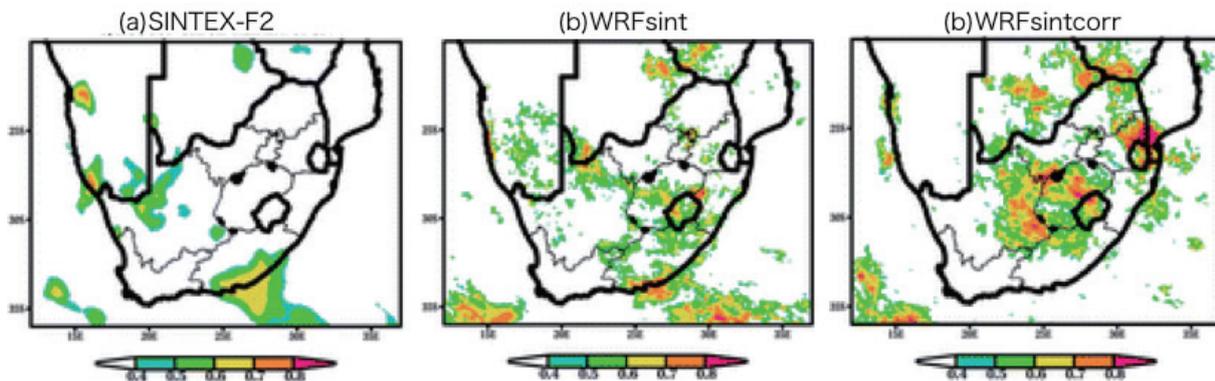


Fig. 3 (a) ACC of the ensemble mean SINTEX-F2v forecast anomalies with respect to the observational data of the GPCP. (b) As in (a), but for the ACC of the WRF forecast anomalies driven by SINTEX-F2v. (c) As in (b), but for the ACC of the WRF forecast anomalies driven by the bias corrected SINTEX-F2v.

forecast anomalies and the verifying datasets showed that the WRF Model driven by the bias-corrected SINTEX-F2v fields had the higher skill in precipitation forecast compared to both the SINTEX-F2v and the WRF Model forced by the uncorrected SINTEX-F2v fields (Fig. 3).

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] Yuan, C., and T. Yamagata, 2015: Impacts of IOD, ENSO and ENSO Modoki on the Australian Winter Wheat Yields in Recent Decades. *Sci. Rep.*, 5, 17252, doi:10.1038/srep17252.
- [2] Ratnam, J. V., S. K. Behera, Doi, T., S. B. Ratna, and W. A. Landman, 2016: Improvements to the WRF seasonal hindcasts over South Africa by bias correcting the driving SINTEX-F2v CGCM fields, *J. Climate*, 29, 2815–2829.

