

# 1. ENSO の監視と予測

安田 珠 幾\*

## 1. はじめに

ENSO (El Niño-Southern Oscillation) は、太平洋赤道域の日付変更線付近から南米沿岸にかけての海面水温が高く(低く)なる「エルニーニョ(ラニーニャ)現象(El Niño/La Niña events)」と、それに伴って海面気圧の東西勾配が小さく(大きく)なる「南方振動(Southern Oscillation)」で特徴づけられる太平洋熱帯域の大気海洋結合現象である。ENSOは熱帯域だけでなく中緯度域から高緯度域へと全球の天候に影響を及ぼす。また、ENSOは半年から1年程度持続する現象であるため、天候への影響が季節から年の規模で続くこととなり、世界の社会・経済活動にも大きな影響を与える。最近では、2014年から2016年にかけて発生した強いエルニーニョ現象(第1図)は、世界や日本の天候にも影響を与えた。ENSOは、半年程度先であれば数値モデルによる予測が十分可能であり(第2図; Takaya *et al.* 2017)、季節から年の規模の気候予測の重要な判断材料となる。

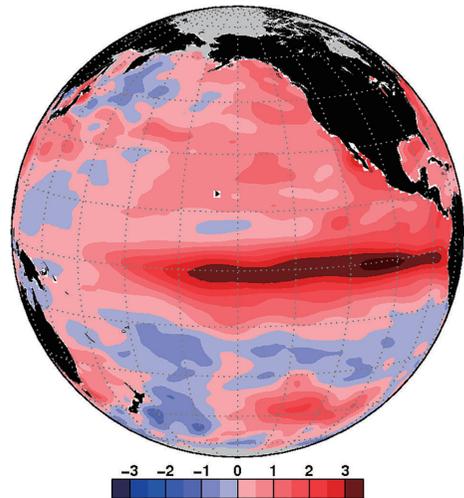
## 2. 気象庁における ENSO の監視と予測

気象庁では、世界的な海洋観測システムや国際的な気候変動研究への貢献や季節予報の精度向上のため、1992年10月に ENSO の実況と今後の見通しをまとめた「エルニーニョ監視速報」の発表を開始した。当時は、実況に基づいて今後の見通しを判断していたが、その後、後述する海洋データ同化システムや大気海洋結合モデルの開発が進められ、1999年8月には、大気海洋結合モデルによる ENSO の予測情報が初めて

「エルニーニョ監視速報」に掲載された。その後、世界的な海洋観測網の整備や海洋データ同化システム、エルニーニョ予測システムの改善により、海洋解析や ENSO の予測精度は着実に向上した。

## 3. ENSO の監視

ENSO の推移を把握するには、海面水温データが不可欠である。気象庁では、海面水温の現場観測データを使用して最適内挿法により全球海洋1度格子の解析値を求めている(COBE-SST; Ishii *et al.* 2005)。使用する観測データは、気象庁独自の観測だけでなく、世界中の観測船、一般船舶、ブイ、フロートなどによって観測されたデータを使用している。解析は、

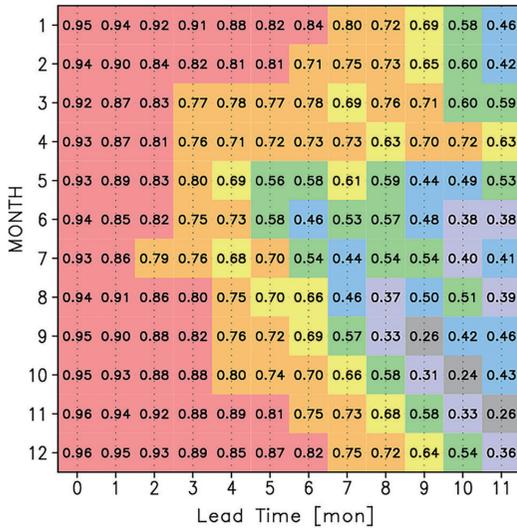


第1図 2014年から2016年にかけて発生したエルニーニョ現象の最盛期である2015年12月における海面水温偏差分布(°C)。平年値は1981~2010年の30年平均値である。

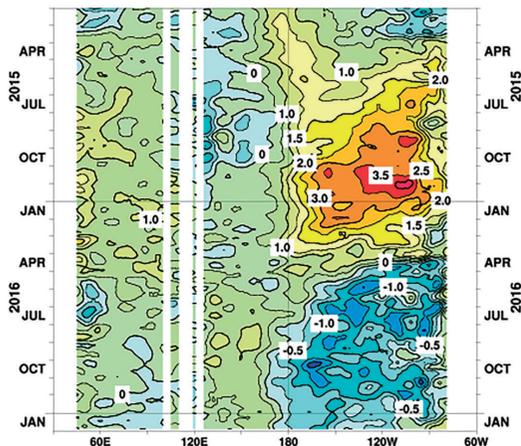
\* 気象庁地球環境海洋部気候情報課(現:気象庁気象研究所)。

tyasuda@mri-jma.go.jp

© 2019 日本気象学会



第2図 気象庁エルニーニョ予測（季節予報）システムによるNINO3海域（5°S-5°N, 150°-90°W）の海面水温予測のアノマリー相関係数。縦軸は予測対象月，横軸はリードタイム。1981~2010年の再予報実験（10メンバー）に基づく。Takaya *et al.* (2017) より。



第3図 インド洋から太平洋の赤道に沿った海面水温年平均偏差の経度時間断面図。太線は1°C毎，細線は0.5°C毎の等値線を示す。平年値は1981~2010年の30年平均値である。

前日までの30日間の日毎の海面水温を対象として毎日行っている。観測データの入手には遅延があるため，入手次第解析に反映し，30日間，同じ日の解析を繰り返し実行し，30日後にはできるだけ多くの観測データを反映した解析値を得られるようにしている。第3図に，海面水温解析によって作成された赤道に沿った海面水温偏差の経度時間断面を示す。

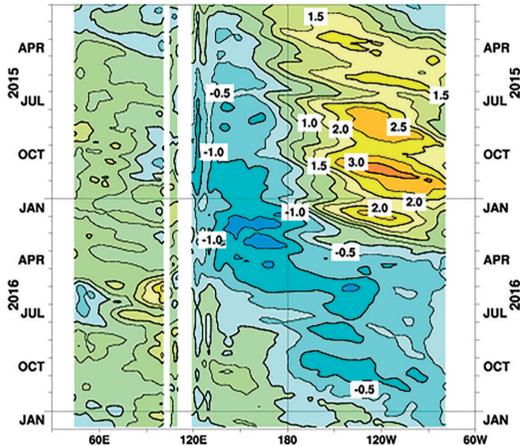
ENSOは，その名が示すように，海面水温だけでなく，海洋表層水温や風，対流活動などの太平洋熱帯域の大気海洋が相互作用して変動する。海洋内部の観測データは量が少なく時空間的にも偏った分布をしている。そのため，観測データだけで海洋内部の変動を連続的に把握することは難しい。気象庁では海洋データ同化システム（MOVE/MRI.COM-G2；Toyoda *et al.* 2013）を運用し，時空間的に均質な海洋データを5日毎に作成，ENSOに伴う海洋表層の変動を監視している。作成した海洋解析値はENSOの監視に使用されるだけでなく，エルニーニョ予測（季節予報）システムの海洋初期値としても使用されている。第4図に，海洋データ同化システムによって作成された赤道に沿った海洋表層300 mの平均水温偏差の経度時間断面を示す。

ENSOに伴う大気の変動は，主に気象庁で毎日運用されている気象庁55年再解析（JRA-55；Kobayashi *et al.* 2015）を用いて監視している。JRA-55は，ENSOをはじめとする気候変動の監視やエルニーニョ予測（季節予報）システムの気象初期値にも使用されている。

また，インド洋熱帯域の海面水温がENSOと関連して変動し，西太平洋熱帯域の大気変動にも影響を与えることが明らかとなっている（Xie *et al.* 2009など）。気象庁では，2010年から，インド洋から太平洋にかけての熱帯域の大気海洋変動の監視も行っている。これらの情報は，ENSO等の熱帯域の大気海洋変動が日本を含む世界の天候への影響を理解する上で欠くことのできないものとなっている。

#### 4. ENSOの予測

「エルニーニョ監視速報」では前月の実況と半年先までのENSOの見通しを毎月10日頃に発表している。この見通しはエルニーニョ予測（季節予報）システムによる予測結果に基づいている。現在のエルニーニョ予測システム（JMA/MRI-CPS2；Takaya *et al.* 2017）は，2015年6月に運用を開始したもので，3か



第4図 インド洋から太平洋の赤道に沿った海洋表層300 mの平均水温平年偏差の経度時間断面図。太線は1°C毎、細線は0.5°C毎の等値線を示す。平年値は1981~2010年の30年平均値である。

月予報や暖・寒候期予報などの季節予報システムと同じシステムである。

エルニーニョ予測（季節予報）システムに使用している大気海洋結合モデル（JMA/MRI-CGCM2）は、水平解像度約110 km、鉛直60層の大気モデル、水平解像度東西1°、南北0.3~0.5°、鉛直52層の海洋モデルで構成される。予測は13メンバーずつ5日間隔で実行され、15日前までの4初期分の予測を合わせて全51メンバーのアンサンブル予測を実施している（最も古い初期値日の予測は12メンバー分）。予測の初期値はJRA-55及びMOVE/MRI.COM-G2によって解析された大気海洋場を使用している。

なお、「エルニーニョ監視速報」で発表するENSOの見通しは、エルニーニョ予測システムによる予測結果に基づいて、再予報実験で評価した予測精度を考慮して決定している。

## 5. ENSOの監視と予測に関する国際協力

ENSOの監視と予測は単一の現業機関の努力だけで達成できるものではなく、観測・海洋解析・予測の国際協力の重要性は年々増している。エルニーニョ予測を運用している世界の代表的な現業機関として、国際的な貢献を続けていくことは重要な役割の一つである。

海洋データ同化システムを用いた海洋解析では、世界各国の観測船、一般船舶、漂流ブイ、定置ブイ、ブ

ロファイリングフロート、人工衛星等の海洋データをリアルタイム又は準リアルタイムに取得しており、海洋解析の国際的な相互比較も実施されている（Xue *et al.* 2017）。ENSOの監視・予測やメカニズム解明には、特に太平洋熱帯域に展開されている係留ブイ観測網（TAO/TRITONアレイ）による海洋表層と海上気象の観測が不可欠である。TAO/TRITONアレイは、社会的に大きな影響を与えた1982/83年のエルニーニョ現象の後に計画・整備され、現在はNOAAが165°E以東のブイ（TAO）を、JAMSTECが165°E以西のブイ（TRITON）を維持管理している。また、2000年代に入り、Argoと呼ばれる海洋中層フロートが国際的な協力により全球に展開され、主要な海洋観測システムの一つになった。近年、ブイアレイの維持管理に必要な船舶航海のための予算削減によるブイの削減危機が問題となっている。今後は国際的な枠組みの中で、複数の海洋観測システムを維持管理していくことが必要になる（Cravatte *et al.* 2016）。

ENSOは世界の天候に影響を及ぼすため、多くの国の気象機関や大学、研究所で予測が行われている。その手法は、大きく大気海洋結合モデルや統計モデルに分けられる。気象庁では、異常気象情報センター（Tokyo Climate Center：TCC）を通じて世界の気象機関に対してENSOの監視・予測情報を発表している。世界気象機関（WMO）は、国連の政府機関の自然災害の軽減に関する作業部会への貢献として、多くの気象機関、水文機関、専門家等の寄与に基づいてENSO実況及び予測情報「WMO El Niño/La Niña Update」を概ね3か月に1度発表している。また、米国の気候と社会に関する国際研究所（IRI）では、複数のモデル予測に基づいた確率予測を毎月発表している。気象庁は、これらの機関にも情報を提供し、ENSOの予測の発表に寄与している。

## 6. おわりに

ENSO予測は比較的高い予測精度を持つが、発生時期や規模の予測など、世界各国で実施されるENSO予測に共通の課題が存在する。また、1970年代以降、比較的強いエルニーニョ現象が発生するとともに、熱帯太平洋の大気海洋はエルニーニョ的な状態となった。その後、2000年代に入ると、エルニーニョ現象の振幅は小さく、ラニーニャ的な状態となった。ENSO予測には、このようなENSO特性の十年規模の変調や十年規模の気候変動も影響している（Barn-

ston *et al.* 2012など).

日本の季節予報では、ENSOが主要な予測因子となっており、ENSO予測の重要性は大きい。しかしながら、ENSOの時空間変化は各事例によって異なり (Capotondi *et al.* 2015)、世界の天候への影響も同じではない。さらに、エルニーニョもどき (Ashok *et al.* 2007) やインド洋ダイポールモード (Saji *et al.* 1999) など、世界の天候へ影響する熱帯域の現象が報告されている。このことは、ENSOも含めた熱帯域の海面水温の時空間変動をさらに高い精度で予測することが必要であることを示している。

このようなENSO予測の精度向上には、ENSOメカニズムのさらなる理解と大気海洋結合モデルによるこれらメカニズムの再現、最適な大気海洋初期値の作成が求められる。気象庁も、ENSOの監視予測を実施する現業機関として、今後も大気海洋結合モデルや大気海洋データ同化手法を着実に改善し、精度の高い監視予測情報を発信していきたい。

#### 参 考 文 献

- Ashok, K., S. K. Behera, S. A. Rao, H. Weng and T. Yamagata, 2007: El Niño Modoki and its possible teleconnection. *J. Geophys. Res.*, **112**, C11007, doi: 10.1029/2006JC003798.
- Barnston, A. G., M. K. Tippett, M. L. L'Heureux, S. Li and D. G. Dewitt, 2012: Skill of real-time seasonal ENSO model predictions during 2002-2011. Is our capability increasing? *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **93**, 631-651.
- Capotondi, A., A. T. Wittenberg, M. Newman, E. Di Lorenzo, J.-Y. Yu, P. Braconnot, J. Cole, B. Dewitte, B. Giese, E. Guilyardi, F.-F. Jin, K. Karnaukas, B. Kirtman, T. Lee, N. Schneider, Y. Xue and S.-W. Yeh, 2015: Understanding ENSO diversity. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **96**, 921-938.
- Cravatte, S., W. Kessler, N. Smith, S. Wijffels and contributing authors, 2016: First Report of TPOS 2020. GOOS-215, 200 pp. <http://tpos2020.org/first-report/> (2018.10.15閲覧).
- Ishii, M., A. Shouji, S. Sugimoto and T. Matsumoto, 2005: Objective analyses of sea-surface temperature and marine meteorological variables for the 20th century using ICOADS and the Kobe Collection. *Int. J. Climatol.*, **25**, 865-879.
- Kobayashi, S., Y. Ota, Y. Harada, A. Ebata, M. Moriya, H. Onoda, K. Onogi, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, K. Miyaoka and K. Takahashi, 2015: The JRA-55 reanalysis: General specifications and basic characteristics. *J. Meteor. Soc. Japan*, **93**, 5-48.
- 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.
- Takaya, Y., S. Hirahara, T. Yasuda, S. Matsueda, T. Toyoda, Y. Fujii, H. Sugimoto, C. Matsukawa, I. Ishikawa, H. Mori, R. Nagasawa, Y. Kubo, N. Adachi, G. Yamanaka, T. Kuragano, A. Shimpo, S. Maeda and T. Ose, 2018: Japan Meteorological Agency/Meteorological Research Institute-Coupled Prediction System version 2 (JMA/MRI-CPS2): Atmosphere-land-ocean-sea ice coupled prediction system for operational seasonal forecasting. *Clim. Dyn.*, **50**, 751-765.
- Toyoda, T., Y. Fujii, T. Yasuda, N. Usui, T. Iwao, T. Kuragano and M. Kamachi, 2013: Improved analysis of seasonal-interannual fields using a global ocean data assimilation system. *Theor. Appl. Mech. Japan*, **61**, 31-48.
- Xie, S.-P., K. Hu, J. Hafner, H. Tokinaga, Y. Du, G. Huang and T. Sampe, 2009: Indian Ocean Capacitor Effect on Indo-Western Pacific Climate during the Summer following El Niño. *J. Climate*, **22**, 730-747.
- Xue, Y., C. Wen, A. Kumar, M. Balmaseda, Y. Fujii, O. Alves, M. Martin, X. Yang, G. Vernieres, C. Desportes, T. Lee, I. Ascione, R. Gudgel and I. Ishikawa, 2017: A real-time ocean reanalyses intercomparison project in the context of Tropical Pacific Observing System and ENSO monitoring. *Clim. Dyn.*, in press. doi:10.1007/s00382-017-3535-y.