

# 気象庁季節予報システム JMA/MRI-CPS2

## 高谷 祐平 (気象庁 気候情報課)

### 1. はじめに

気象庁では、平成 22 年 2 月より大気海洋結合モデルを用いた季節アンサンブル予報システム（以下、季節予報システム）を運用しており、その予報結果を 3 か月予報及び暖・寒候期予報、「エルニーニョ監視速報」のエルニーニョ予測に利用している。平成 27 年 6 月には、新しい季節予報システム（JMA/MRI-CPS2）を現業化した（高谷ほか 2015）。JMA/MRI-CPS2 は、エルニーニョ予測モデルを含めて気象庁の大気海洋結合モデルとしては 4 代目、大気モデルを含めた季節予報モデルとしては 5 代目となる。

JMA/MRI-CPS2 では、モデル解像度の増強や海水モデル導入、物理過程改良などの改善を行った。また、1 初期日あたりのアンサンブルメンバー数を 9 メンバーから 13 メンバーに増やすことで初期日数を 6 初期日から 4 初期日に変更して、51 メンバーのアンサンブル予報を行うよう改良した。

本稿では JMA/MRI-CPS2 の概要及び改善点、ハインドキャストに基づく予測精度の評価について紹介する。

### 2. 予測システムの概要

JMA/MRI-CPS2 のシステム構成を第 1 図に示す。大気海洋結合モデル(JMA/MRI-CGCM2)に用いる大気モデルは、気象庁全球モデルの低解像度版をベースに季節予報のために改良・調整を加えたものである。海洋モデル(MRI.COM v3.2; Tsujino et al. 2010)は気象研究所で開発されたものであり、海水モデルを含む。大気初期値には JRA-55 再解析、海洋初期値には全球海洋データ同化システム

第 1 表 気象庁季節予報モデル(JMA/MRI-CGCM2)の概要

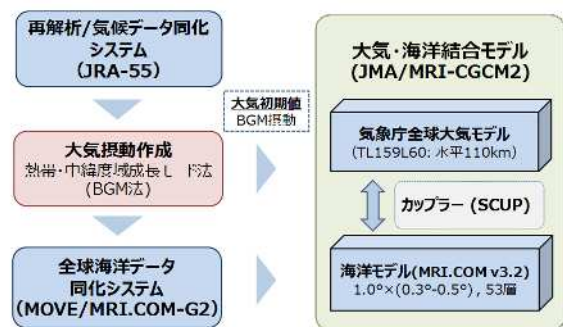
大気モデル	気象庁大気モデル GSM1011C 解像度： TL159 (約 110km) 60 層
海洋モデル	MRI.COM v3 解像度： 東西 1 度，南北 0.3-0.5 度， 52 層 + 海底境界層 1 層
海水モデル	熱力学： Mellor and Kantha (1989) 力学： Hunke and Lipscomb (2006)
大気初期値	JRA-55 (Kobayashi et al. 2015)
海洋初期値	MOVE/MRI.COM-G2 (Toyoda et al. 2015)
アンサンブルメンバー数	リアルタイム： 51 メンバー 13 メンバー × 4 初期日
ハインドキャスト設定	1979-2014 年 (36 年間)， 毎月 10 メンバー

(MOVE/MRI.COM-G2; Toyoda et al. 2013)の解析値を使用する。

#### (1) 大気海洋結合モデルの改良

季節予報システムに使用する大気海洋結合モデル(JMA/MRI-CGCM2)の仕様を第 1 表に示す。大気モデルの水平格子間隔を水平約 180km から 約 110km に、鉛直層を 40 層 (モデルトップ 0.4hPa) から 60 層 (モデルトップ 0.1hPa) に、海洋モデルの南北格子間隔を最大 1 度から 0.5 度に、それぞれ高解像度化した。また、海洋モデルの計算域を全球に拡張し、海水モデルを導入した。これにより、従前のモデルにおいて境界条件として気候値を用いていた 75°N 以北及び 75°S 以南の海域において、海面水温及び海水の時間変化を考慮できるようになった。モデルの物理過程については、大気モデルでは積雲・雲・放射・海面・陸面過程において、海洋モデルでは境界層、放射過程等において、改良が施されています。その他、放射過程における温室効果ガスの考慮の精緻化、気象庁 55 年長期再解析 (JRA-55; Kobayashi et al. 2015) による陸面初期値の利用等の精緻化を行った。

大気初期値及び海洋初期値を作成する海洋データ同化解析は、従前の長期再解析 (JRA-25) に代えて JRA-55 を使用する。海洋データ同化解析では、解析域を全球に拡張し、海水モデルの初期値も作成するようにした。但し、海水密度、海水厚等の観測データは同化に用いない。そのほか、海洋データ同化解析の統計量の改良、バイアス補正スキームの導入、FGAT (First Guess at Appropriate Time) スキーム (Lorenz and Rawlins

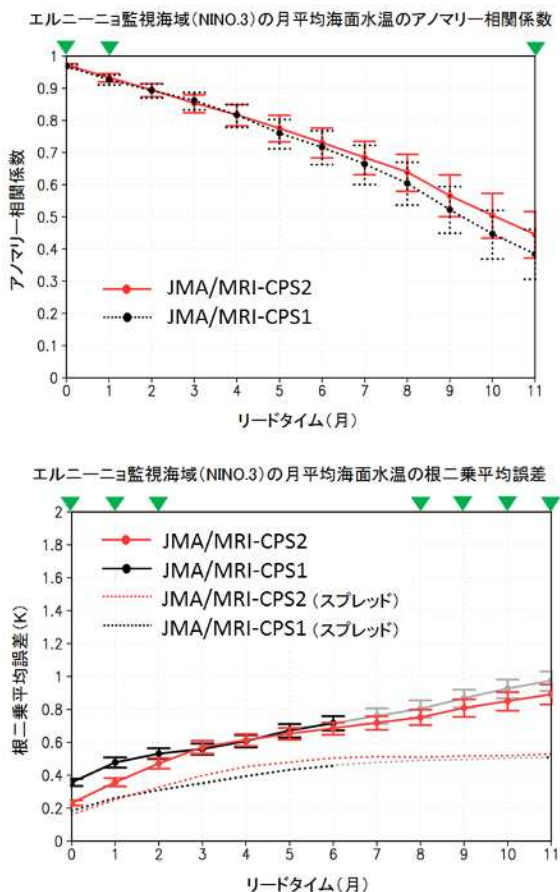


第 1 図 JMA/MRI-CPS2 のシステム構成

2005)の導入などの精緻化を行った。

### (2) アンサンブル手法の改良

JMA/MRI-CPS2 では旧システム(JMA/MRI-CPS1)と同様に時間ずらし平均法(Lagged Average Forecast method; LAF法; Huffman and Kalnay 1983)と成長モード育成法(Breeding of Growing Mode method; BGM法; Toth and Kalnay 1993)を併用する。初期日あたりのアンサンブルメンバー数を9メンバーから13メンバーに増やし、連続した5日間隔の4初期日分の予測結果を用いて、全部で51メンバーのアンサンブルを構成するように変更した。また、確率的物理過程強制法(stochastic physics; 米原 2010)を適用し、モデルの不確実性を考慮できるようになった。



第2図エルニーニョ監視海域の月平均海面水温の予測精度(上段: アノマリー相関係数、下段: 根二乗平均) 30年(1981-2010)各月を初期月とする10メンバーアンサンブル平均予測を評価。緑の三角は信頼度95%で有意に改善したことを示す。

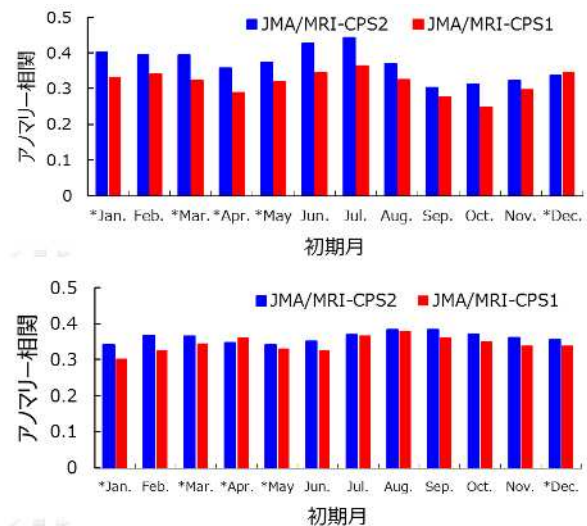
### 3. ハインドキャストによる精度評価

#### (1) エルニーニョ監視海域の海面水温の予測精度

過去の事例を対象として予報を行うハインドキャスト実験(高谷 2012)を実施し、予測精度を評価した。前節で述べた改良により、JMA/MRI-CPS2ではJMA/MRI-CPS1に比べエルニーニョ現象をはじめとする海洋及び大気の年々変動の予測精度が全般的に改善された。第2図に新旧システムによるNINO.3海域(5°S-5°N, 150°-90°W)月平均海面水温の予測値とCOBE-SST解析値(Ishii et al. 2005)のアノマリー相関係数を示す。リードタイムが長い予測で予測精度が改善していることがわかる。特に新システムでは春季を跨ぐ予測について精度が改善した(図略)。

#### (2) 地上気温(2m気温) 降水量の予測精度

大気の予測精度についても全般的に改善された。第3図にリードタイム1か月の3か月平均2m気温アノマリー相関係数の北半球(20°-90°N)平均、及びリードタイム1か月の3か月平均降水量アノマリー相関の熱帯(20°S-20°N)平均を示す。検証に用いたデータは、2m気温はJRA-55再解析、降水量はGPCPバージョン2月平均降水量解析値である(Huffman et al. 2009)。北半球の2m気温、



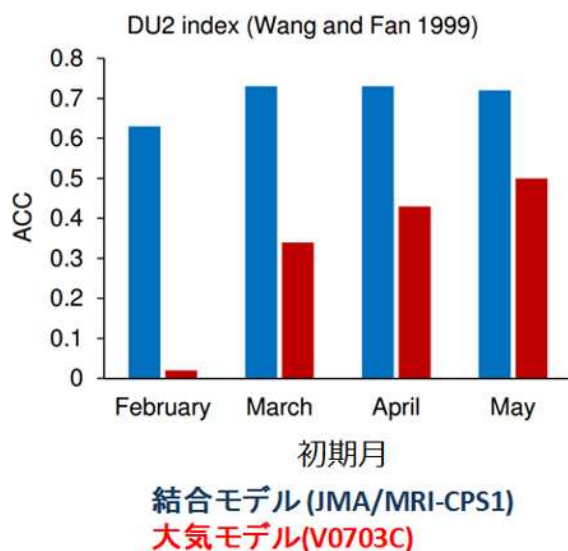
第3図 各月を初期値とする大気の予測精度(アノマリー相関係数)

(上段) リードタイム1か月の3か月平均2m気温アノマリー相関係数の北半球(20°-90°N)平均、(下段) リードタイム1か月の3か月平均降水量アノマリー相関の熱帯(20°S-20°N)平均。30年(1981-2010)各月を初期月とする10メンバーアンサンブル平均予測を評価。

及び熱帯の降水量の予測精度はほぼ全ての月で改善していることがわかる。地上気温では、6月、7月を初期値とする夏季の予測精度が向上しているが、これには、海洋モデルの全球領域への拡張及び海氷モデルの導入による寄与があると考えられる。

### (3) その他の改善

上述した以外の要素についても全体的には改善している。また、リードタイムの長い季節予報の予測精度に対するインパクトは限定的ではあるが、マッデン・ジュリアン振動の予測(Wheeler-Hendon インデックス; Wheeler and Hendon 2004; Gottschalck et al. 2010)のスコアも改善した。Wheeler-Hendon インデックスの2変数相関が0.5になるリードタイムが2日程度伸びた(図略)。夏季アジアモンスーンの予測精度に関しては、新旧モデルは同程度である。例えば、夏季3か月平均の北西太平洋アジアモンスーン指数(DU2 インデックス; Wang and Fan 1999)の予測精度は、大気モデルを用いた季節予報システムに比べ大幅に改善した(第4図<sup>1</sup>)。大気海洋結合モデルを用いた新旧システムの予測にみられる高い夏季アジアモ



第4図 北西太平洋アジアモンスーン指数(DU2 インデックス; Wang and Fan 1999)の予測精度 30年(1981-2010)各月を初期月とする10メンバーアンサンブル平均予測によるリードタイム1か月の3か月平均予測値を評価。

<sup>1</sup> この結果は、旧システム(JMA/MRI-CPS1)と従来の大気モデル(V0703C)のシステムの予測精度であることに注意。

ンスーンの予測精度は夏季アジアモンスーンの予測における大気・海洋結合モデルの優位性を示すものである。

### 4. おわりに

気象庁は新季節予報システム(JMA/MRI-CPS2)を2015年6月に現業化した。JMA/MRI-CPS2では ENSO、3か月予測、暖寒候期予測の予測精度の向上が得られた。今後は、次期システムに向けて更なる大気・海洋結合モデルの高解像度化、海洋同化システムの高度化、物理過程の精緻化などに取り組む予定である。

季節予報の社会的、経済的価値を高めるために、応用分野においてもいくつかの進展がある。例えば、平成27年12月にECMWFが主導するEUROSIPマルチモデル・アンサンブルに気象庁のシステムが加入することが承認された。これにより世界で最も精度の良いマルチモデル・アンサンブルシステムの結果を参照、解析することが可能になる。また、季節予報の応用としては、台風の季節予報について調査研究を進めている。今後も予報システムの精度向上に向けた開発を続けていくことはもちろんのことであるが、それと同時に付加価値を生む予測情報の検討も行っていく。

### 参考文献

- 気象庁, 2006: 気候解析用全球海面水温解析データ(COBE-SST)の特徴. 気候系監視報告別冊第12号.
- 高谷祐平, 2012: 再予報・ハインドキャスト. 天気, **59**, 493-495.
- 高谷祐平, 石川一郎, 遠藤新, 竹川元章, 2015: 新季節アンサンブル予報システムの更新, 平成27年度季節予報研修テキスト, 気象庁, 1-110.
- 米原仁, 2010: 週間アンサンブル予報へのモデルアンサンブル手法の導入. 平成22年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 62-65.
- Gottschalck, J. et al., 2010: A Framework for Assessing Operational Model MJO Forecasts: A Project of the CLIVAR Madden-Julian Oscillation Working Group. *Bull. Amer. Met. Soc.*, **91**, 1247-1258.
- Huffman R. N. and E. Kalnay, 1983: Lagged average forecasting, an alternative to Monte Carlo forecasting, *Tellus*, **35A**, 100-118.
- Huffman, G. J, R. F. Adler, D. T. Bolvin, G. Gu 2009: Improving the Global Precipitation Record: GPCP Version 2.1. *Geophys. Res. Lett.*, **36**, L17808, doi:10.1029/2009GL040000.
- Hunke, E. C, and W. H. Lipscomb, 2006: *CICE: the*

*Los Alamos Sea Ice Model Documentation and Software User's Manual*, 59 pp.

- 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.
- Lorenc, A. C. and F. Rawlins, 2005: Why does 4D-Var beat 3D-Var? *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **131**, 3247-3257.
- Mellor, L. G., and L. Kantha, 1989: An ice-ocean coupled model. *J. Geophys. Res.*, **94**, 10937-10954.
- Toth, Z. and E. Kalnay, 1997: Ensemble forecasting at NCEP and the breeding method. *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 3297-3319.
- 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. *Theoretical and Applied Mechanics Japan*, **61**, 31-48, doi: 10.11345/nctam.61.31.
- Tsujino, H., T. Motoi, I. Ishikawa, M. Hirabara, H. Nakano, G. Yamanaka, T. Yasuda, and H. Ishizaki, 2010: Reference manual for the Meteorological Research Institute Community Ocean Model (MRI.COM) Version 3. *Tech. Rep. of MRI*, **59**, 241 pp.
- Wheeler, M. C. and Harry H. Hendon, 2004: An All-Season Real-Time Multivariate MJO Index: Development of an Index for Monitoring and Prediction. *Mon. Wea. Rev.*, **132**, 1917-1932.