

中緯度大気海洋結合変動が季節予測可能性に与える影響

課題責任者

中村 尚 東京大学 先端科学技術研究センター

著者

中村 尚 東京大学 先端科学技術研究センター

西井 和晃 三重大学 大学院生物資源学研究科

田口 文明 海洋研究開発機構 アプリケーションラボ

小坂 優 東京大学 先端科学技術研究センター

季節平均した大気循環変動の潜在的予測可能性への熱帯や中緯度の海面水温変動からの寄与の定量的評価のため、従来の研究よりも高い解像度の海面水温観測データを境界条件として与えた大気大循環モデルのアンサンブル実験を行った。その海面水温分布は衛星観測に基づく32年分で、(1) 全球で年々変動あり、(2) (1)と同様だが中高緯度で南北方向に平滑化、(3) 中高緯度は気候値固定で熱帯のみ変動あり、(4) 熱帯は気候値固定で中高緯度のみ変動ありの4種類である。各水温分布につき10メンバーのアンサンブル実験を実施した。従来の研究では、エルニーニョ・南方振動など熱帯海洋変動からの遠隔影響が中緯度北太平洋域の大気循環変動の予測可能性に寄与することが示されていた。本研究では、特に北西太平洋で中緯度の海洋変動が熱帯海洋変動と同等に寄与し得ることが初めて示された。また、中緯度海洋前線に伴う水温勾配を平滑化した実験で北太平洋域での予測可能性が減少したことから、海洋前線の大気循環変動への影響が明らかにされた。さらに、大気循環の潜在的予測可能性への中緯度海洋変動からの寄与を評価する際には、高い解像度の海面水温データを与えた数値実験が必要であることも示した。

キーワード： 中高緯度大気海洋結合, 予測可能性, アンサンブル実験, 大気大循環モデル, エルニーニョ・南方振動, 中緯度海洋前線帯

1. はじめに

温室効果気体の増加に伴う気候変化やそれに伴う極端な異常気象の発現が世界各地で顕在化しつつある。その一方、大気・海洋は内包する様々な過程の多階層相互作用に伴って常に変動して、(自然)気候変動と付随する天候異常をもたらしている。防災・減災のために世界各地の季節予報の可能性を評価するには、各地で観測される月・季節平均の大気循環偏差(平年値からの揺らぎ)が海面水温や海水分布の変動への応答としてどの程度説明され得るかを評価する必要がある。その重要な指標として「潜在的予測可能性 (potential predictability)」がある。これは、大気に比べてゆっくりと変動する海面水温や海水分布の偏差が仮に完全に把握できたとしたときに、それに対する大気応答が全変動に占める割合であり、観測された海面水温と海水分布を下方境界条件として与えて大気大循環モデル (AGCM: Atmospheric General Circulation Model) によるアンサンブル積分を行う“AMIP (Atmospheric Model Intercomparison Project) 実験”から評価できる。この際、アンサンブル平均場の年々変動は水温(海水)変動に対する大気応答として潜在的に予測可能な「強制応答」成分、その平均の周りのメンバー間のばらつきは、季節予報の困難な「内部変動」成分と見做せる。潜在的予測可能性が低い地域では、強制応答成分の変動に比べ内部変動による揺らぎが卓越するため、予測のS/N比が低く、数値的季節予報が難しいと考えられる。従来の研究では(例えば、Zheng et al. 2000 [1])、水温偏差に対し

て積雲対流活動が敏感に応答する熱帯域では、エルニーニョ・南方振動 (ENSO) など大気海洋結合変動が卓越して潜在的予測可能性が高く、かつその影響が「大気の架け橋」を介して及ぶ中緯度太平洋域でもやや高いが、その他の中高緯度域では潜在的予測可能性が著しく低いことが示されている。

しかし、従来の評価に使用された海面水温データは現場観測に基づくために解像度が低く、またAGCMの解像度も低かったため、大気へ膨大な熱・水蒸気を集中的に供給する西岸境界流やそれに伴う水温前線帯の影響が正しく表現されていなかった。近年、本課題に関わる研究グループは、中緯度の水温前線帯の変動が大気循環偏差を強制し得ることを、AFESを用いたAGCM実験 (Okajima et al. 2014 [2]) や大気海洋結合モデルCFESの長期積分の解析 (Taguchi et al. 2012 [3]) から見出した。このような知見に基づき、本課題では従来の評価よりも高解像の大気大循環モデル (AFES) を使い、過去32年蓄積された衛星観測による高分解能の海面水温で駆動するアンサンブル実験に基づき、中緯度大気場の潜在的予測可能性を再評価することを目的とする。さらに、我々が提示した中緯度前線帯がストームトラックやジェット気流に与える影響により、「大気の架け橋」を介した熱帯の変動の中緯度への遠隔影響が被る変動が潜在的予測可能性に及ぼす影響も評価する。

2. 数値実験

アンサンブル実験には AFES 中解像度版 (T119: 水平解像度 100km 相当、鉛直 56 層) を用いた。下方境界条件として衛星観測による OISST データを 32 年分与えた。このデータの解像度は 0.25° で、この実験により海面水温前線帯から大気循環への強制が捉えられている。参照実験は全球に OISST を与えた「Global Ocean-Global Atmosphere (GOGA) 実験」であり、それに加えて前述の数種の感度実験を実施した。一つは熱帯 ($20^\circ \text{N} \sim 20^\circ \text{S}$) のみに OISST 観測値 (年々変動あり)、中高緯度域にその気候値 (年々変動なし) をそれぞれ与える「Tropical Ocean-Global Atmosphere (TOGA 実験)」, もう一つは逆に中高緯度域には OISST 観測値、熱帯域のみに気候値を与える「Midlatitude Ocean-Global Atmosphere (MOGA 実験)」である。さらに、GOGA 実験において中高緯度域のみ南北水温勾配を人為的に平滑化させた「中緯度海面水温平滑化実験」も実施した。また、平滑化領域を北太平洋、北大西洋に限定した実験も実施している。平成 27 年度にはこれら 6 種についてそれぞれ 10 メンバーの積分が完了している。来年度以降さらにメンバー数を増加させる予定である。各実験のアンサンブル平均の経年変動分散と GOGA 実験の全アンサンブルメンバーの経年変動分散の比として潜在的予測可能性を評価した。対象としたのは各地の天候に密接に関わる対流圏下層 850hPa の気温変動である。

3. 結果

以下、北太平洋中緯度にて大気の内変動や熱帯からの遠隔影響が顕著な北半球冬季 (12 ~ 2 月) の季節平均場の潜在的予測可能性に関する結果を紹介する。まず、GOGA 実験の気候場において、対流圏上層・下層の偏西

風や各海盆のストームトラック活動、さらには降水量分布もかなり良く再現されていることを確認した (図略)。

図 1 には、4 種の AFES アンサンブル実験に基づく冬季平均の 850hPa 気温の変動について潜在的予測可能性の評価を示す。熱帯では季節平均の大気変動が海洋変動と強く結合するため、予測可能性は MOGA 実験を除き概ね 0.8 超で非常に高い。対照的に、緯度 20° より極側の亜熱帯・中高緯度域では予測可能性が大幅に低下する傾向にあるものの、中緯度北太平洋 ($30 \sim 45^\circ \text{N}$) では $0.5 \sim 0.6$ とかなり高い。また、亜熱帯南太平洋 ($20 \sim 35^\circ \text{S}$) においても予測可能性が比較的高く、冬季 (6 ~ 8 月) には $0.5 \sim 0.7$ にまで上昇する (図略)。これらは先行研究の結果と総合的で、太平洋亜熱帯・中高緯度域の予測可能性の高まりは ENSO の遠隔影響を反映したものと解釈されてきた。

興味深いのは、GOGA 実験と TOGA 実験の比較である。先行研究と同様、熱帯域の予測可能性は両実験でほぼ同一である。しかし、先行研究とは異なり、TOGA 実験では北太平洋亜熱帯・中高緯度域の予測可能性がかなり低下しており、ENSO の遠隔影響のみでは説明できないことを示している。実際、対流圏中層の気圧変動に着目した従来の評価とは異なり、MOGA 実験では中緯度北太平洋域に約 $0.3 \sim 0.5$ の予測可能性の極大が見られ、中緯度海面水温変動が対流圏下層に持続的な気温偏差を強制し得ることが示された。この予測可能性の極大は GOGA 実験 (図 1 a) で現れた極大域の西半分に対応するが、この海域の予測可能性が中高緯度海面水温平滑化実験 (図 1 b) でやや低下することから、水温前線の寄与の重要性が確認できる。

ただし、GOGA 実験 (図 1 a) で見られた極大域の東半

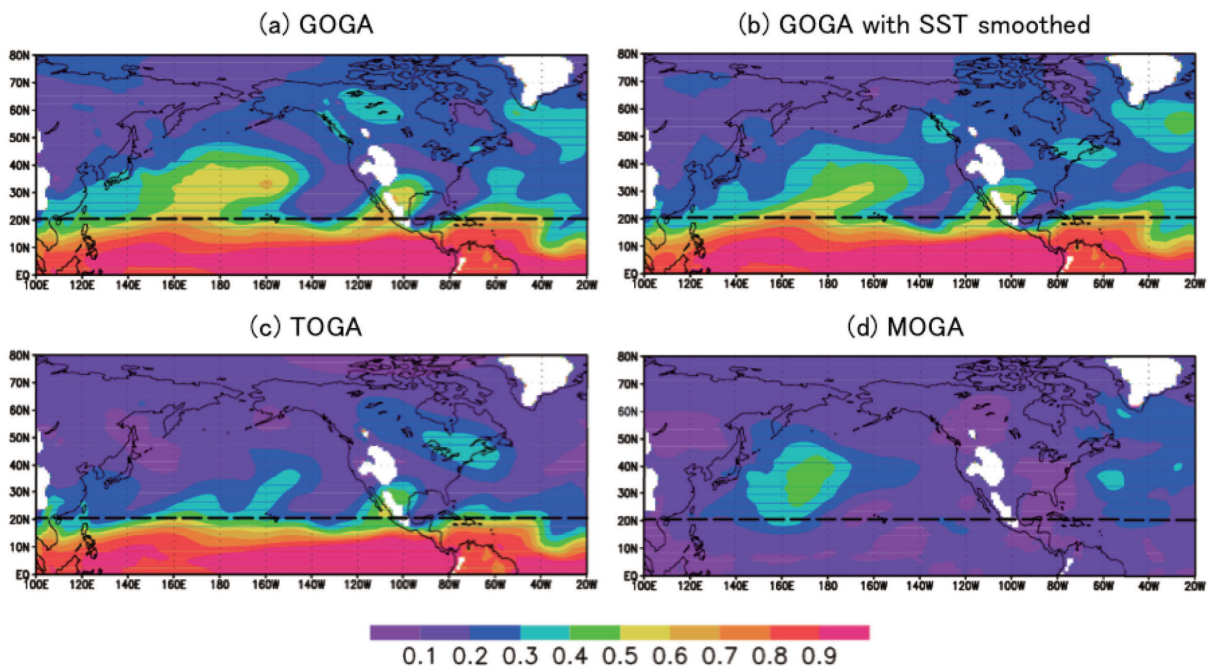


図 1 OISST を下方境界条件として与えた AFES の 10 メンバーのアンサンブル実験に基づく冬季 (12 ~ 2 月) 850hPa 気温についての「潜在的予測可能性」の分布。

(a) GOGA 実験、(b) 中高緯度 (緯度 20° 以上) の海面水温勾配を人為的に平滑化した GOGA 実験、(c) TOGA 実験、(d) MOGA 実験。黒破線は 20°N の緯度線。

分は MOGA 実験 (図 1d) からでは説明できない。実は、ENSO の遠隔影響としての大気偏差が中緯度水温偏差を介して強化されているのである。実際、中東部赤道太平洋の海面水温変動の単位標準偏差に対する中緯度北東太平洋域での 500hPa 高度変動の線形回帰係数は、(c) TOGA 実験で -20m 程度であるのに対し、(a) GOGA 実験では -30m 程度に増大している。これは ENSO の遠隔影響により北太平洋に形成された海面水温偏差からの正のフィードバックの重要性を示唆している (図略)。

4. まとめと今後への発展

上記のように、従来よりも解像度の高い AGCM と海面水温データを用いた評価から、太平洋亜熱帯・中高緯度域の冬季平均下層気温の予測可能性に同海域の海面水温変動からの寄与が重要なことが初めて示された。さらに、黒潮続流域の変動が局所的な降水変動の予測可能性を高めることも初めて確認された (図略)。次年度は更なる評価のため、AFES 高解像度版 (T239: 40km 相当) を用いた実験を来年度に実施の予定である。また、CFES 中解像度版 (T119: 100km 相当) を用いたペースメーカー実験も開始する予定である。

謝辞など

本稿でご紹介した AFES の実験は全て地球シミュレータで実施した。

文献

- [1] Zheng, X., H. Nakamura, and J. A. Renwick, “Potential Predictability of Seasonal Means Based on Monthly Time Series of Meteorological Variables”, *Journal of Climate*, 15, 2591-2604, 2000.
- [2] Okajima, S., H. Nakamura, K. Nishii, T. Miyasaka, and A. Kuwano-Yoshida, “Assessing the importance of prominent warm SST anomalies over the midlatitude North Pacific in forcing large-scale atmospheric anomalies during 2011 summer and autumn”, *Journal of Climate*, 27, 3998-3903, 2014.
- [3] B. Taguchi, H. Nakamura, M. Nonaka, N. Komori, A. Kuwano-Yoshida, K. Takaya, and A. Goto, “Seasonal evolution of atmospheric response to decadal SST anomalies in the North Pacific subarctic frontal zone: Observations and a coupled model simulation”, *Journal of Climate*, 25, 111-139, 2012.

Impacts of Extratropical Coupled Ocean-Atmosphere Variability on Seasonal Predictability

Project Representative

Hisashi Nakamura Research Center for Advanced Science and Technology, University of Tokyo

Authors

Hisashi Nakamura Research Center for Advanced Science and Technology, University of Tokyo

Kazuaki Nishii Graduate School of Bioresources, Mie University

Bunmei Taguchi Application Laboratory, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Yu Kosaka Research Center for Advanced Science and Technology, University of Tokyo

A set of ensemble experiments using an atmospheric general circulation model (AGCM) has been performed to evaluate the role of oceanic variability in potential seasonal predictability of atmospheric circulation variability. The AGCM is forced with satellite-observed high-resolution sea surface temperature (SST) that includes interannual variability in some regions while being masked with climatological SST elsewhere. Previous studies have shown that tropical oceanic variability, including El Niño-Southern Oscillation, contributes to the atmospheric potential predictability over the midlatitude North Pacific. We, for the first time, show that midlatitude oceanic variability also contributes to the atmospheric potential predictability, especially over the western North Pacific. We also show that smoothing midlatitude SST gradient reduces the atmospheric potential predictability, indicative of the importance of the variability of midlatitude SST front in modulating the atmospheric circulation. Our results suggest that high-resolution SST boundary condition needs to be prescribed in AGCMs when evaluating the role of the midlatitude ocean in the atmospheric potential predictability.

Keywords: extratropical ocean-atmosphere coupling, potential predictability, atmospheric general circulation model, El Niño-Southern Oscillation, extratropical oceanic front

1. Introduction

“Potential predictability” (PP) is a quantity that evaluates how much of monthly or seasonal-mean atmospheric variability is explained by external forcing, including the variability of sea surface temperature (SST) and sea ice. This can be estimated by ensemble experiments using AGCMs with observed SST and sea ice prescribed as their lower boundary conditions. Interannual variability of the simulated ensemble-mean fields can be considered as *predictable* atmospheric “response” to SST and sea ice variability, while variability across the ensemble members as seasonally *unpredictable* “internal variability”. It has been shown that the atmospheric PP is large over the tropics where atmospheric convective rainfall is sensitive to local SST variability, while it is moderate over the extratropical North Pacific where tropical ocean variability affects the atmospheric circulation through “atmospheric bridges” and is very low in other extratropical regions (Zheng et al. 2000[1]). In earlier studies, however, resolution of SST was relatively low, which cannot well represent SST fronts associated with western boundary currents, leading to potential underestimation of heat fluxes from the ocean to the atmosphere, and thereby their impact on the atmospheric circulation. Our recent studies have shown that variability of the extratropical SST fronts can significantly modulate the atmospheric circulation (Okajima et

al. 2014 [2]; Taguchi et al. 2012 [3]). We here reevaluate the role of the extratropical ocean variability in the atmospheric PP using a modern AGCM forced with satellite-observed SST data, which has a higher resolution than previously used.

2. Experimental design

We use AFES (AGCM For Earth Simulator) configured at horizontal resolution T119 (~100 km), with 56 vertical levels covering from the surface to ~0.1hPa. The prescribed SST data is OISST compiled on a 0.25°×0.25° grid. Our 10-member ensemble experiments consist of four types according to the prescribed SST as follows: (i) “Global Ocean-Global Atmosphere (GOGA) experiment” forced with observed SST globally, (ii) “GOGA with smoothed SST” (same as (i) but with meridionally smoothed SST in midlatitudes), (iii) “Tropical Ocean-Global Atmosphere (TOGA) experiment” with interannually-varying SST only in the tropics and daily climatological SST in the extratropics, and (iv) “Midlatitude Ocean-Global Atmosphere (MOGA)” with interannually-varying SST only in the extratropics and climatological SST daily in the tropics. For each of the SST settings, PP was evaluated as the ratio of interannual variance of ensemble mean of an experiment to that of all member variability of GOGA.

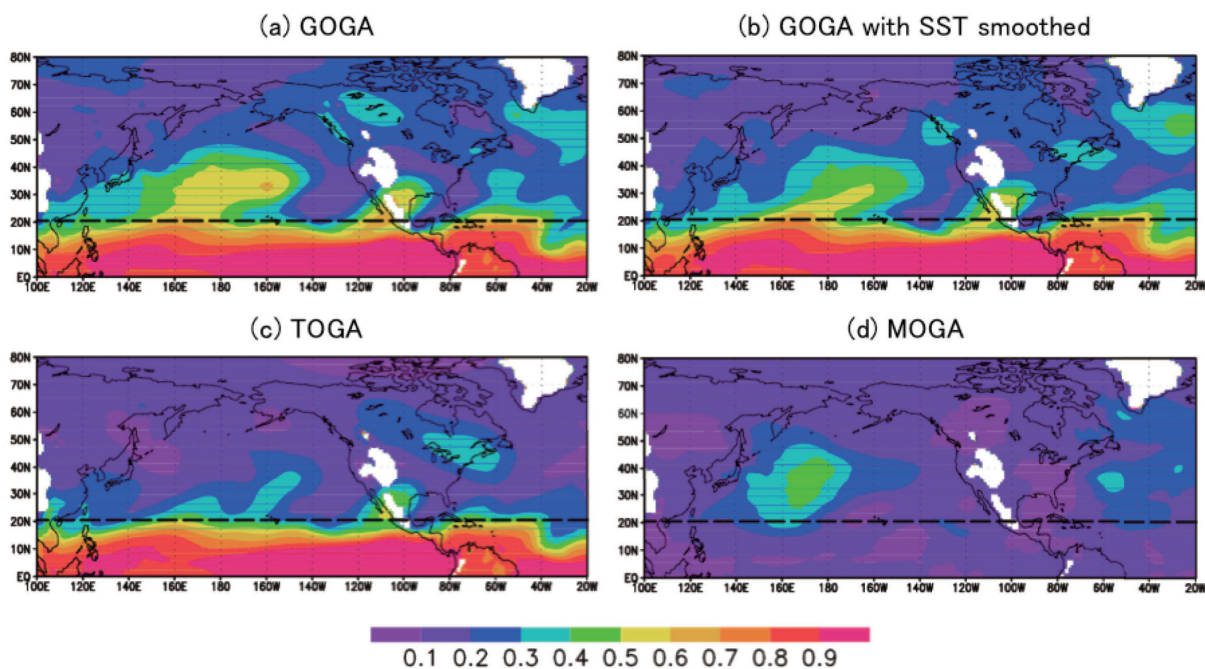


Fig. 1 Potential predictability (PP) of 850-hPa temperature evaluated by 10-member ensemble AGCM experiments.

(a) GOGA experiment, (b) GOGA experiment with smoothed SST gradient in the extratropics, (c) TOGA experiment, (d) MOGA experiment. Black dashed lines indicate 20°N.

3. Results

We focus on PP in boreal winter (averaged from December to February), when both atmospheric internal variability and remote influence from the tropics are prominent. Figure 1 shows PP of winter-mean 850-hPa temperature for each experiment. Except for MOGA, the predictability is high in the tropics ($PP > 0.8$) because the winter-mean atmospheric variability couples strongly with the oceanic variability. In the extratropics ($> 20^\circ\text{N}$), the predictability is lower except the North Pacific where PP reaches 0.5~0.6. This result is consistent with the previous studies where the relatively high potential predictability in the subtropical and extratropical North Pacific is attributed to remote influence of ENSO.

A comparison between the GOGA (Fig. 1a) and TOGA (Fig. 1c) experiments reveals that PP is lower in the subtropical and extratropical North Pacific in the TOGA experiment than in the GOGA experiment, which cannot be explained by remote influence from ENSO. In the MOGA experiment (Fig. 1d), PP reaches 0.3~0.5 in the North Pacific, suggesting that the extratropical SST variability can induce persistent atmospheric anomalies. Furthermore, the maximum of PP in the extratropical North Pacific decreases if the extratropical SST is meridionally smoothed (Fig. 1b), which suggests an important role of SST fronts in the winter seasonal predictability.

4. Conclusions

By conducting a set of ensemble AGCM experiments forced with various SST boundary conditions, we have demonstrated a significant role of extratropical SST variability in the PP of the extratropical atmospheric temperature. We also found that variability of the Kuroshio/Oyashio Extensions can enhance predictability of local precipitation (not shown). We plan to repeat the experiments using a higher-resolution AGCM and coupled GCM, which should evaluate more realistic role of fine structure of SST variability and the air-sea interaction.

References

- [1] Zheng, X, H. Nakamura, and J. A. Renwick, "Potential Predictability of Seasonal Means Based on Monthly Time Series of Meteorological Variables", *Journal of Climate*, 15, 2591-2604, 2000.
- [2] Okajima, S., H. Nakamura, K. Nishii, T. Miyasaka, A. Kuwano-Yoshida, "Assessing the importance of prominent warm SST anomalies over the midlatitude North Pacific in forcing large-scale atmospheric anomalies during 2011 summer and autumn", *Journal of Climate*, 27, 3998-3903, 2014.
- [3] B. Taguchi, H. Nakamura, M. Nonaka, N. Komori, A. Kuwano-Yoshida, K. Takaya, A. Goto, "Seasonal evolution of atmospheric response to decadal SST anomalies in the North Pacific subarctic frontal zone: Observations and a coupled model simulation", *Journal of Climate*, 25, 111-139, 2012.

