

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

中村 尚（東京大学先端科学技術研究センター）

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が海面水温 (SST) や海水の分布の変動への応答としてどの程度説明され得るのかを評価する必要がある。

それに関する重要な指標として「潜在的予測可能性 (potential predictability)」がある。これは、SST や海水分布の偏差が完全に把握できたとして、それに対する大気応答が実際の変動を説明できる割合であり、観測された SST (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) のアンサンブル積分を行う「AMIP 実験」から評価できる。このとき、アンサンブル平均場の変動が水温 (海水) 変動への潜在的に予測可能な「大気応答」成分、その平均周りのメンバー間のばらつきが予測不能な「内部変動」成分と認識される。潜在的予測可能性が低い地域では、「大気応答」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、予報可能シグナルの S/N 比が低く、数値的季節予報が難しいと評価される。従来の研究では (例えば、Zheng et al. 2000 J.Clim.)、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、その影響が「大気の架け橋」と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 SST データは現場観測に基づくために解像度が低く、大気へ大量の熱・水蒸気を供給する西岸境界流やそれに伴う水温前線帯がきちんと表現さ

れていない。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 J.Clim.) や大気海洋結合モデル CFES の長期積分の解析 (Taguchi et al. 2012 J.Clim.) から見出した。なお、従来の AGCM の解像度は水温前線帯の影響を表現するには不十分である。そこで本課題では、過去 30 年蓄積された衛星観測による高分解能の SST 偏差を AFES に与えたアンサンブルに基づき、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調が潜在的予測可能性に及ぼす影響も評価する (補助資料 1)。

2. 数値実験

アンサンブル実験には AFES 中解像度版 (T119、鉛直 56 層) を用いた (補助資料 2)。下方境界条件として衛星観測による OISST データを 30 年分与えた。この解像度は 0.25° で、水温前線から大気循環への強制が捉えられている。一方、感度実験では空間平滑化した SST 場を与えることで、水温前線からの影響を人為的に除去した。参照実験は全球に OISST を与えた「GOGA 実験」で、加えて数種の感度実験を実施した。この中には、熱帯 ($20^\circ\text{N} \sim 20^\circ\text{S}$) のみに OISST 観測値、中高緯度域に気候値をそれぞれ与える「TOGA 実験」、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「MOGA 実験」をそれぞれ実施した。さらに、GOGA 実験に対応させ、中高緯度域のみ水温勾配を人為的に平滑化させた「中緯度 SST 平滑化実験」も実施した。これら 4 種については、いずれも現時点で 10 メンバーの積分が完了しており、今年度末までに 5 メンバーが追加される予定である。さらに、平滑化領域を北太平洋、北大西洋に限定した実験も各々 5 メンバー実施している。

3. 結果

以下、北太平洋中緯度にて大気の内部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実験の気候平均場において、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（補助資料3）。

下図には、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の「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、予測可能性は概ね0.8超で非常に高い。対照的に、緯度20°以上の亜熱帯・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（30～45°N）では0.5～0.6とかなり高い。また、亜熱帯南太平洋（20～35°S）においても予測可能性が比較的高いが、冬季（6～8月）には0.5～0.7にまで上昇する（図略）。これらは先行研究の結果と整合的で、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、太平洋亜熱帯・中高緯度域の予測可能性がTOGA実験ではかなり低化しており、単純な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、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0.3～0.5の予測可能性の極大

が見られ、中緯度SST変動が持続的な大気循環偏差を強制し得ることを意味している。実際、この予測可能性の極大は(a)GOGA実験で現れた極大域の西半分に対応するが、この予測可能性が(b)中高緯度のみSST勾配を平滑化した実験でやや低化することから、水温前線の寄与の重要性が初めて確認された。

ただし、(a)GOGA実験で見られた極大域の東半分は(d)MOGA実験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。例えば、単位標準偏差の赤道中東部のSST変動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SSTからの正のフィードバックの重要性を示唆している（補助資料4）。

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SST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SST変動からの寄与が重要なことが初めて明らかにされた。さらに、黒潮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（補助資料5）。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（T239; 40km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。

