

夏の循環場の季節予測可能性について

*森正人¹・今田由紀子¹・塩竈秀夫²・渡部雅浩¹・石井正好³・木本昌秀¹
(1:東大大気海洋研究所, 2:国立環境研究所, 3:気象研究所)

1. はじめに

近年、Event Attribution (EA) と呼ばれる試みが世界的に始まっている。ある特定のイベントが地球温暖化によって生じたとは原理的に言えないが、そのイベントの何%が温暖化の寄与であるのかを見積もるという試みである。現状では、大気大循環モデル (AGCM) に観測された海面水温 (SST) を与えたアンサンブル実験と、温暖化による寄与を取り除いた SST を与えたアンサンブル実験の結果を比較することで行われているが、EA 研究では対象としているイベントの再現性が重要で、イベントによっては、大気海洋結合過程を含まない AGCM では再現性が損なわれる可能性がある。

Wang et al. (2005) は、夏季の東アジアモンスーン域において、SST 偏差と降水偏差の局所相関係数が負になる領域が存在することを示し、そこでは大気が海洋を強制していることを指摘した。図 1 は、8 月における SST 偏差と降水偏差の局所相関係数を、観測、AGCM、大気海洋結合モデル (CGCM; モデル・実験の詳細は後述) で比較したものである。観測では北西太平洋の亜熱帯域に広く負相関の領域が広がっており、その様子は AGCM よりも CGCM でより良く再現されていることが分かる。大気海洋結合過程の有無が、この違いを生み出していると考えられるが、そもそも具体的にどのような過程で大気が海洋を強制しているのだろうか? 本研究はそれを明らかにすることを目的とする。

2. モデルと実験の概要

東京大学大気海洋研究所・国立環境研究所・海洋研究開発機構が共同開発した大気海洋結合モデル MIROC5 (以下、MIROC5-CGCM) と、その大気部分からなる大気モデル (MIROC5-AGCM) を用いた。解像度は、大気が T85L40、海洋が約 $1^\circ \times 1^\circ$ (Watanabe et al. 2010) である。MIROC5-CGCM を温室効果ガスなどの歴史的な外部強制で駆動した 20 世紀再現実験 (20C3M; 1950-2010 年; 5 メンバー) と、MIROC5-AGCM を同様の外部強制ならびに観測された海面水温と海水 (HadISST; Rayner et al. 2003) で駆動した AMIP-type 実験 (AMIP; 1949-2012 年; 5 メンバー) を行った。観測データとして、JRA25/JCDAS (Onogi et al. 2007)、GPCP (Adler et al. 2003)、COBE-SST (Ishii et al. 2005)、J-OFURO2 (Tomita et al. 2010)

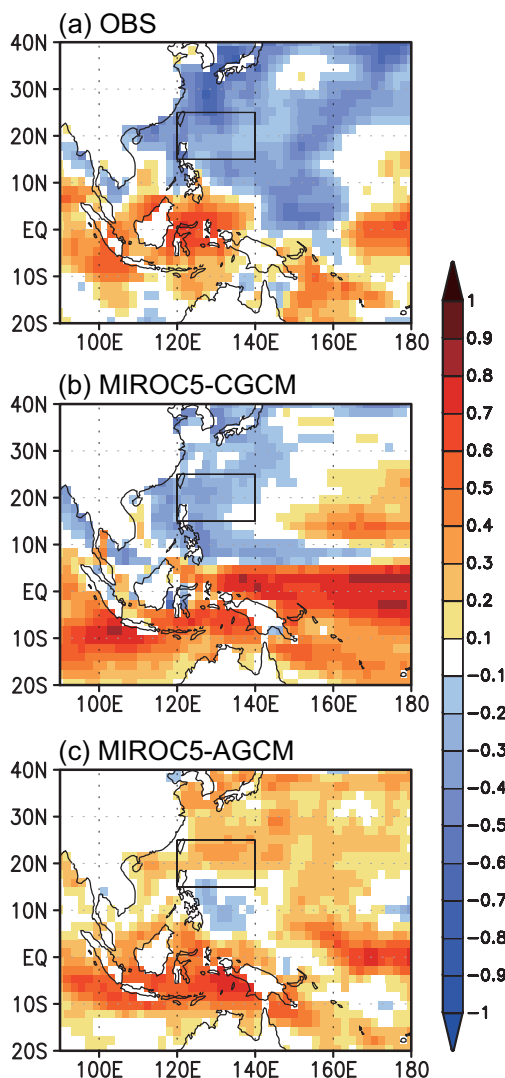


図 1: 8 月における SST 偏差と降水量偏差の局所相関係数。(a) 観測、(b) MIROC5-CGCM、(c) MIROC5-AGCM。期間は 1979-2010 年。観測は COBE-SST と GPCP を使用。インデックスを作成した領域を四角で示す。

も用いた。

3. 結果

主要な変動を取り出すために、観測で局所相関係数が負かつ降水量の多い領域 (120-140E, 15-25N) で平均した降水量偏差からインデックスを作成し、観測、MIROC5-CGCM、MIROC5-AGCM それぞれについて、インデックスに対する各種変数の回帰分析 (8 月、期間は 1979-

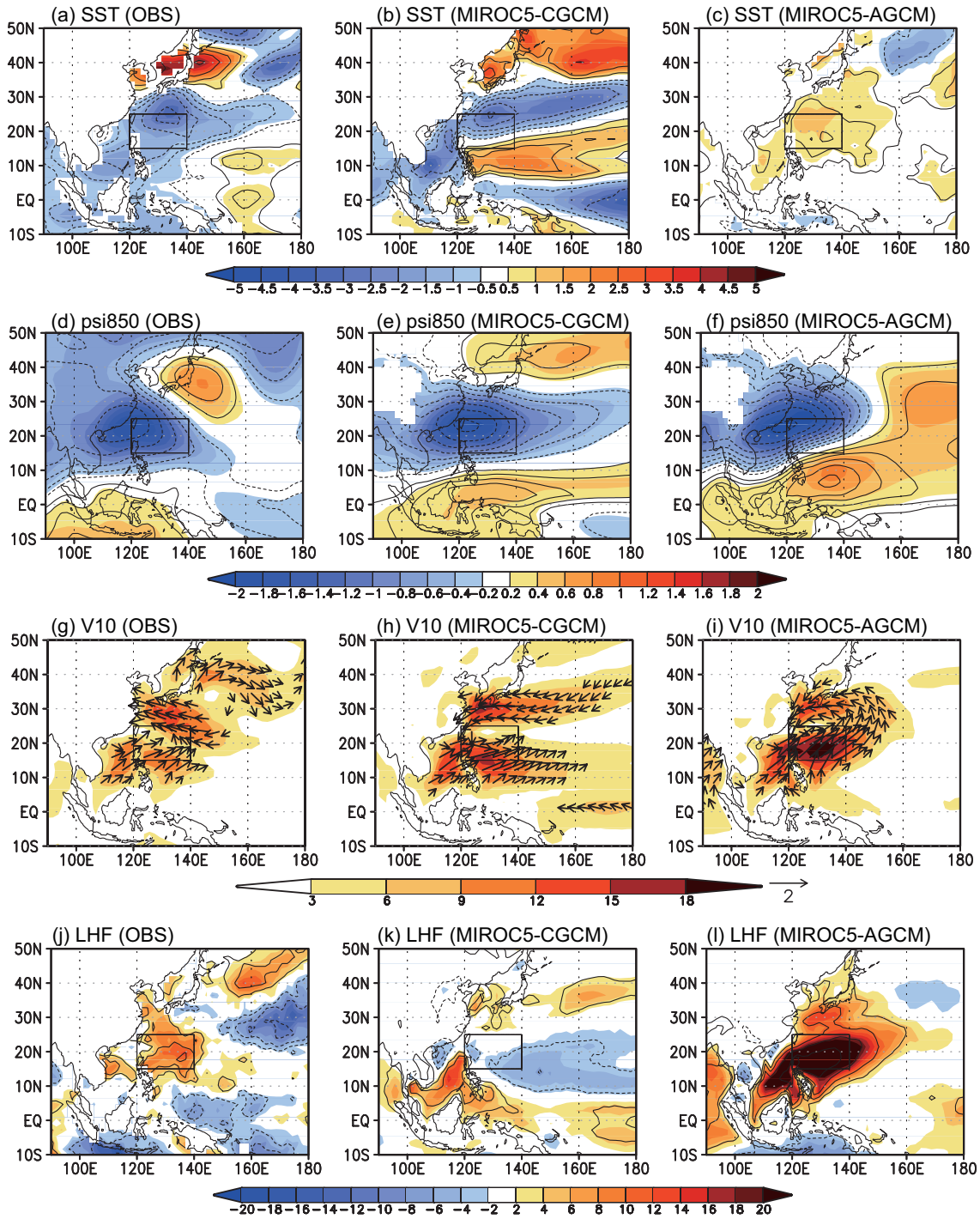


図 2: 8 月における降水量インデックスとの相関・回帰係数分布。等値線が相関係数 (間隔 0.1)、色が回帰係数。期間は 1979-2010 年。(左列) 観測、(中列) MIROC5-CGCM、(右列) MIROC5-AGCM。(a-c) SST($1 \times 10^{-1} \text{K}$)、(d-f) 850hPa 流線関数 ($1 \times 10^6 \text{m}^2 \text{s}^{-1}$)、(g-i) 10 メートル風 (ベクトル) ならびに風速 ($1 \times 10^{-1} \text{ms}^{-1}$)、(j-l) 潜熱フラックス (Wm^{-2})。観測の潜熱フラックスには J-OFURO2(1988-2006 年) を使用。

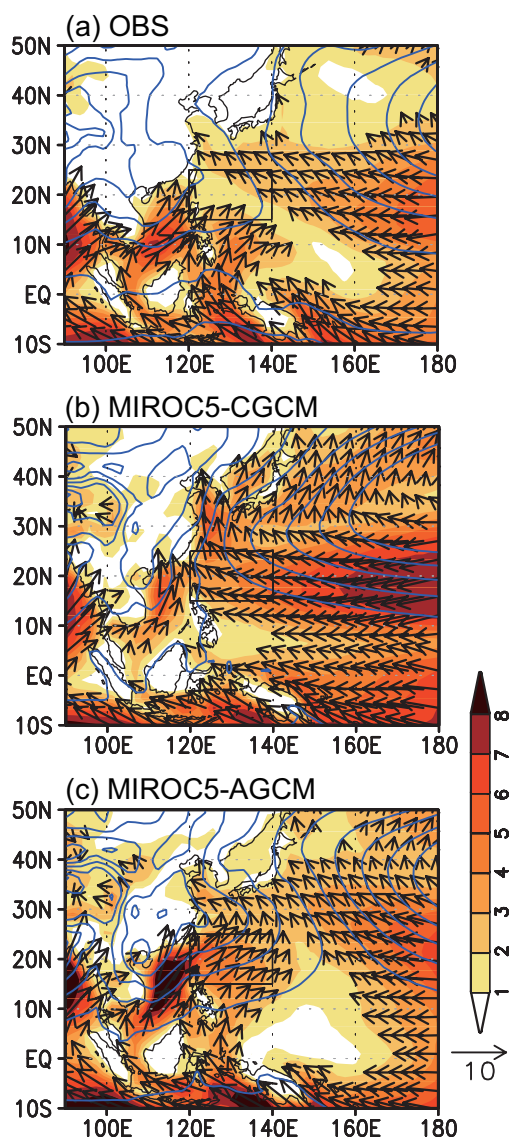


図 3: 8 月における 10 メートル風 (ベクトル)、風速 (色: ms^{-1})、SLP (等値線: 間隔 4hPa) の気候値。(a) 観測、(b) MIROC5-CGCM、(c) MIROC5-AGCM。期間は 1979-2010 年。

2010 年) を行った。図 2a-c は、SST との回帰係数分布を観測、各モデルで比較したものである。観測ならびに MIROC5-CGCM では、インデックスを定義した領域周辺で回帰係数が負になっているのに対し、MIROC5-AGCM では応答の符号が逆になる傾向にあり (降水量偏差が正の時は SST 偏差も正)、図 1 の結果と矛盾無い。

降水インデックスと 850hPa 流線関数偏差の回帰係数分布 (図 2d-f) は、観測ならびに MIROC5-CGCM で PJ パターン (e.g., Kosaka and Nakamura 2006) 的な波列パターンを示し、領域での降水量偏差が PJ と密接に関係していること

を示唆している。一方、MIROC5-AGCM では観測に比べ PJ 的な構造の再現性が低い。領域周辺での低気圧性循環偏差は地表面にも及んでおり (図 2g-i)、観測に着目すると、領域での降水量偏差が正 (負) の場合に、この低気圧性偏差は気候学的な風 (図 3a) を強化 (弱化) するように働いており、領域周辺で正 (負) の上向きの潜熱フラックスをもたらしている (図 2j)。正 (負) の潜熱フラックスはそこでの SST 偏差の低下 (上昇) を意味するので、これが、降水量偏差と SST 偏差が負相関になる一因だと考えられる。

一方、MIROC5-CGCM では、赤道域からフィリピン東岸へ伸びる気候学的な地表風が再現されておらず、また太平洋高気圧の西への張り出しが観測よりも強くなるバイアスがあることから、フィリピン東岸において東風になっている (図 3b)。そのため、地表面に低気圧性循環偏差が励起された時に、フィリピン東岸で風偏差は気候学的な風をむしろ弱化させるセンスに働き、そこで蒸発が抑えられる傾向になっている (図 2k)。しかしながら、そこで SST は負偏差を示しており (図 2b)、蒸発以外のプロセスが負の SST 偏差を強制していることが示唆される。

そこで、降水インデックスと放射フラックスについても回帰分析を行った。正味の地表面短波放射フラックス偏差 (下向き正) を見ると (図 4a)、領域での降水量偏差が正の時に、大気から海洋へ入る短波フラックスが領域を中心に減少していることが分かる。また、clear sky の場合にはシグナルが見られなくなることから (図 4b)、この結果は雲による日傘効果で SST が下がることを意味している。一方、長波放射フラックスは、雲ならびに水蒸気が存在することによる温室効果で、正の SST 偏差を強制するセンスであるが (図省略)、定量的には短波による強制の 1/10 程度と小さい。従って、MIROC5-CGCM では、活発な対流活動による下向きの短波放射フラックスの抑制が、負の SST 偏差を強制していると言える。この過程は観測でも重要だと考えられる。

一方、MIROC5-AGCM は大気海洋結合過程を含んでいないため、循環偏差に伴う蒸発が過大になってしまい (図 2l)、観測や MIROC5-CGCM に比べて領域での降水量の年々変動が激しくなる (図省略)。また、SST 偏差と降水量偏差が正相関をとる傾向にあるため、たとえ観測された SST 偏差を与えたとしても、対流活動による循環応答偏差が観測と逆符号になってしまう傾向にあり、夏の東アジア域のような大気海洋相互作用が重要となる場所で EA 研究を行う場合には大気海洋結合モデルを用いる必要があると考えられる。しかしながら、現象の

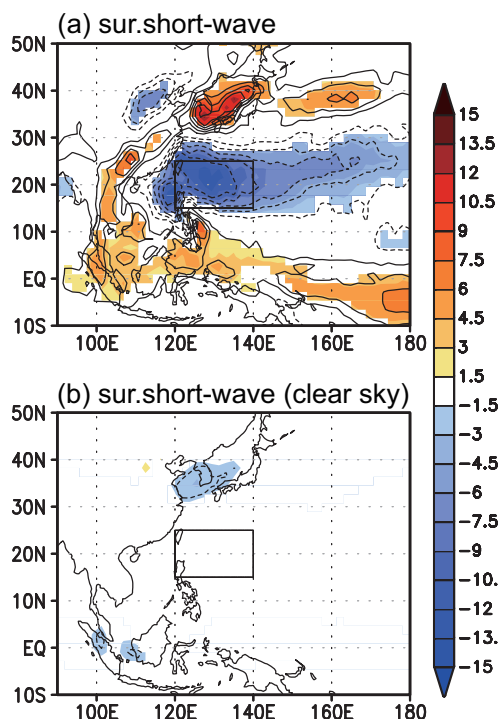


図 4: Fig.2 と同じ。ただし、MIROC5-CGCM の (a) 正味の地表面短波放射フラックス (Wm^{-2})、(b) 晴天の場合の正味の地表面短波放射フラックス。

再現性に対する結合モデルのモデルバイアスの問題も無視できず、バイアス低減のために、データ同化手法などを用いた新たな EA 研究の方法論の確立が必要だと考えられる。

謝 辞

本研究は「21 世紀気候変動予測革新プログラム」ならびに「気候変動リスク情報創生プログラム」として行われたもので、文部科学省のサポートを受けた。

参考文献

- Adler RF, Huffman GJ, Chang A, Ferraro R, Xie PP, Janowiak J, Rudolf B, Schneider U, Curtis S, Bolvin D, Gruber A, Susskind J, Arkin P, Nelkin E, 2003 : The version-2 global precipitation climatology project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979-present). *J. Hydrometeorol.*, **4**, 1147-1167
- Ishii M, Shouji A, Sugimoto S, Matsumoto T, 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
- Kosaka Y, Nakamura H, 2006 : Structure and dynamics of the summertime Pacific-Japan

teleconnection pattern. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **132**, 2009-2030

Onogi K, Tsutsui J, Koide H, Sakamoto M, Kobayashi S, Hatsushika H, Matsumoto T, Yamazaki N, Kamahori H, Takahashi K, and others, 2007 : The JRA-25 reanalysis. *J. Meteor. Soc. Japan*, **85**, 369-432

Rayner, NA, Parker DE, Horton EB, Folland CK, Alexander LV, Rowell DP, Kent EC, Kaplan A., 2003 : Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. *J. Geophys. Res.*, **108**(D14), 4407

Tomita H, Kubota M, Cronin MF, Iwasaki S, Konda M, Ichikawa H, 2010 : An assessment of surface heat fluxes from J-OFURO2 at the KEO and JKEO sites. *J. Geophys. Res.*, **115**(C3), C03018

Wang B, Ding Q, Fu X, Kang IS, Jin K, Shukla J, Doblas-Reyes F, 2005 : Fundamental challenge in simulation and prediction of summer monsoon rainfall. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L15711

Watanabe, M., T. Suzuki, R. O'ishi, Y. Komuro, S. Watanabe, S. Emori, T. Takemura, M. Chikira, T. Ogura, M. Sekiguchi, K. Takata, D. Yamazaki, T. Yokohata, T. Nozawa, H. Hasumi, H. Tatebe, and M. Kimoto, 2010 : Improved climate simulation by MIROC5: Mean states, variability, and climate sensitivity. *J. Climate.*, **23**, 6312-6335, DOI 10.1175/2010JCLI3679.1