気候モデル中での海面水温前線帯の気候平均降水帯への影響

西井和晃,中村尚,小川史明(東大・先端研)

1. はじめに

1970 年代からの南極上空の成層圏オ ゾンの減少に伴って, 南半球夏季の西風 軸の極向きシフトを含む対流圏循環のト レンドが引き起こされていることが指摘 されている (e.g., Thompson and Solomon 2002). 小川ら(2013, 本予稿集) は, 成層圏オゾン減少に伴う南半球夏季 の対流圏西風トレンドの形成にとって, 大きな海面水温勾配を伴う中緯度海洋前 線(海面水温前線)が、大気下層の傾圧性を 維持する働きを通じて, 潜在的に重要で あることを,水惑星モデル実験を用いて 示した.しかしながら彼らの実験は大陸 がなく,海面水温が東西一様という理想 化された条件のもとで行われたため、よ り現実的な条件のもとでの、海面水温前 線の重要性を確認する必要がある.

大陸や大気海洋相互作用を含むより現 実的な気候モデル実験結果の解析により, 成層圏オゾンの減少に伴う強制が与えら れている気候モデルは,観測されている 対流圏循環トレンドを再現することが示 されている(Son et al. 2009).本研究の目 的は同様な気候モデルの実験結果を用い て,南半球夏季における対流圏気候平均 場およびトレンド形成への海面水温前線 の重要性を明らかにすることである.よ って本研究のタイトルは「気候モデル中 での海面水温前線の南半球気候平均場及 びトレンドへの影響」がより適切である.

2. 用いたデータ

本研究では、大気海洋結合モデルであ る 23 の CMIP3 および 43 の CMIP5 気候 モデルの実験結果を用いた.期間は 1979/80~1998/98 の夏季 DJF であり、観 測ではオゾンホールに伴う南半球極域成 層圏気温低下トレンドが顕著な期間であ る.比較のために 6 つの大気再解析デー タ (JRA25, JRA55, NCEP/NCAR, MERRA, ERA40, ERAinterim)を用いた.

東西平均した地表温度の南北勾配を各 年の夏季(DJF 平均)で計算し, その南緯 30~55 度間での最大緯度とそこでの値を 中緯度海面水温前線の緯度と強度とした. また,同様に東西平均 850hPa 西風の南 緯 40~80 度間での極大緯度とそこでの値 を西風軸の緯度と強さとした. 中緯度降 水極大緯度も同様に求めた.対流圏上層 の傾圧性を,赤道から南緯25度まで平均 した東西平均 250hPa 気温と, 南緯 75 度 から南極まで平均した東西平均 150hPa 気温との差として求めた.これは、対流 圏上部の傾圧性の強さのトレンドが大き なモデルほど,西風緯度の極向きシフト トレンドが大きいと主張した Wilcox et al. (2012)に倣っている.



図 1. 気候平均に関する散布図. 四角が CMIP3, 菱形が CMIP5, 下三角が再解析. (a)海面水温前線緯度と西風軸緯度(南緯). (b) 対流圏上部の傾圧性(K)と西風軸緯度(南緯). 各パネル上部の値は相関係数. (c)海面水温前 線強度(K/1000km)と西風軸強度(m/s). (d) 対流圏上部の傾圧性(K)と西風軸強度(m/s).

3. 夏季気候平均場

図1a は気候平均した海面水温前線と 西風軸の緯度間の散布図である. 有意な 相関関係が確認され,また西風軸が6~8 度程度海面水温前線の極側に存在する傾 向にある.一方,図1bは対流圏上部傾圧 性と西風軸の緯度間での散布図であり、 こちらも有意な相関がみられる.しかし, 海面水温前線緯度との相関に比べて値が 小さい.一般に、中緯度海面水温前線の 緯度は、地上付近の風によって強くコン トロールされる(e.g., Biastoch et al. 2009)が、水惑星モデル中で与える海面水 温前線の緯度を変化させると、それに追 従するような西風軸の変化することが確 かめられている(Ogawa et al. 2012). こ のため,本研究で用いた大気海洋結合モ デルでは,西風軸と海面水温前線が互い に相互作用する結果としてそれぞれの位 置が決定されていると考えられる.以上 の結果は、上部対流圏での傾圧性で代表 されるような,大気内部の力学のみによ って西風軸の緯度が決まる訳ではないこ とを示唆している. さらに, 西風軸の強 度と海面水温前線の強度の間のモデル間 相関は有意に正である(図 1c). 上部傾圧 性との相関は有意であるものの低い(図 1d)ことから、西風軸強度も大気海洋相互 作用を通じて決定されていることを示唆 している. さらなる解析のために, CMIP5 モデルのうち、夏季気候平均海面水温前 線緯度の高い 20 モデルと低い 20 モデル それぞれの合成図を作成しそれらの差を 求めた(図2). 南半球では海面水温前線の 緯度差と整合的に,特にインド洋と南大 西洋の南緯 40~50 度付近に正偏差がみら れる.興味深いのは、北太平洋と北大西 洋の両方において,西岸境界流とその続 流域で正偏差がみられることである.こ れは,南半球で中緯度海面水温前線の高 緯度にあるモデルほど,北半球でも海面 水温前線が高緯度にある傾向を示してい る.北半球中高緯度において風の有意な 差はほとんどないため(図 2b),海面水温 前線緯度のモデル間の差は,大気モデル 側の違いだけでなく,海洋モデル独自の 海面水温前線形成過程の違いによっても 生じている可能性を示唆している.そし て,海洋内部の過程が西風軸緯度に影響 している可能性も示唆している.



図 2. CMIP5 の気候平均海面水温前線緯度 の高い20モデルと低い20モデルの合成図の 差(太線). 陰は 90 および 95%有意な領域. 細線はモデル平均. (a) 地表温度(K). (b)850hPa 西風(m/s). (c) 降水(mm/day).

南半球の降水分布差は南緯 60 度付近 で正,50 度付近で負を示す(図 2c).これ らの偏差は西風偏差とほぼ対応している (図 2b).これは海面水温前線緯度の高い モデルではストームトラック活動の極大 緯度も高いためと考えられる.実際に, 日平均 SLP の8 日以下周期擾乱の分散で 見積もったストームトラック活動の極大 緯度,および降水極大緯度は,海面水温 前線緯度と高い相関を示す(図 3).(なお日 平均 SLP 場は入手可能なモデルのみで計 算を行った).



図 3. 図1と同様. (a)海面水温前線緯度と ストームトラック活動極大緯度(南緯). (b) 海面水温前線緯度と降水極大緯度(南緯).

4. 夏季トレンド

トレンドに関する,海面水温前線緯度 と西風軸緯度の相関は弱いながらも有意 である.しかし CMIP5 間で相関はほぼ無 く,散布図をみると,CMIP3 の3つの

"outliers"が大きな相関を作っているこ とがわかる(図 4a). 一方,対流圏上層の 傾圧性と西風軸緯度のトレンド間の相関 は有意な正を示していることから(図 4b), オゾン減少に伴う極側での低温トレンド のモデル間ばらつきが、対流圏上層の傾 圧性の変化を通じて, 西風軸緯度トレン ドのばらつきにある程度寄与しているこ とが示される. 海面水温前線の影響をみ るために、対流圏上層の傾圧性のトレン ドが有意なモデルのみを用いて海面水温 前線強度と西風トレンドの散布図を作成 すると, 傾圧性トレンドが正にも関わら ず, 少なからぬモデルが負の西風軸緯度 トレンドを示すことがわかる(図 4c). し かしこれらは海面水温前線の強度が約 9 K/1000km 以下のモデルに限られている. このことは,海面水温前線が十分強くな いモデルでは、上層の傾圧性トレンドの 強制に対する西風応答が強くないため, モデルによっては西風応答がノイズに隠 されてしまう可能性を示唆している.

5. まとめ

本研究では南半球の海面水温前線の夏 季気候平均循環場,およびオゾンホール に伴う対流圏トレンド形成に対する重要 性を気候モデル比較によって示唆した. 今後は,黒潮親潮続流や湾岸流といった 強い中緯度海面水温前線の存在する北太 平洋および北大西洋でどうような傾向が 示されるか調査したい.



図 4. (a,b) 図1と同様.ただしトレンドに 関する散布図. (a)海面水温前線緯度(南緯 /yr)と西風軸緯度(南緯/yr).(b) 対流圏上層 の傾圧性トレンド(K/yr)と西風軸緯度(南緯 /yr).(c)図 5.気候平均海面水温前線強度 (K/1000km)と西風軸緯度(南緯/yr)のトレ ンドの間の散布図.上層の傾圧性トレンドが 99%有意なモデルのみ示す.,

参考文献

- Biastoch, A, CW Boning, FU Schwarzkopf, and J. R. E. Lutjeharms, (2009), *Nature*, 462(7272), 495-498.
- Ogawa, F, H Nakamura, K Nishii, T Miyasaka, and A Kuwano-Yoshida, (2012), *Geophys. Res. Lett.* **39**, L05804.
- Son, SW, NF Tandon, LM Polvani, and DW Waugh, (2009), Geophys. Res. Lett., 36, L15705.
- Thompson, DWJ, and S Solomon, (2002), *Science*, **296**, 895-899.
- Wilcox, LJ, AJ Charlton-Perez, and LJ Gray, (2012), J. Geophys. Res., 117, D13115.