

中緯度 SST 勾配が移動性擾乱活動に与える影響

小川史明, 西井和晃, 宮坂貴文, 中村尚(東大・理), 吉田(桑野)聡(海洋研究開発機構 ESC)

1. はじめに 中緯度における移動性擾乱活動は傾圧性の高い領域で活発で、その通り道はストームトラックと呼ばれる。傾圧性の指標であるEadyの最大成長率(Eady 1949)は下層の南北気温勾配に比例するため、海盆の西岸における暖流と寒流の合流域である海洋前線帯上で特に大きい。従って海洋前線帯はほぼ直上にストームトラックを形成し、それを通じて大気大循環の形成に能動的に関与する可能性が指摘されてきた。海洋前線帯に伴う南北水温勾配が大気循環に与える影響は、東西一様な海面水温(SST)を与える水惑星実験を行うことによって純粋な形で抽出できる。この研究手法によって、中緯度に海洋前線帯に見られる現実的な水温勾配が存在すると、その緯度付近に明瞭なストームトラックと現実的な極前線ジェットを形成し、また海面からの顕熱フラックスの前線を挟んだ南北差は、擾乱活動に伴う熱輸送で緩和された傾圧性を回復し、ストームトラックの緯度を固定するように働いていることが示された(Nakamura et al. 2008, Hotta and Nakamura 2009)。本研究の目的は、現実的な海洋前線帯の緯度に対する依存性を評価することである。

2. 実験設定 実験に用いたAGCM はAFESである。解像度はT79L56(水平150km 格子相当)で、これは海洋前線帯の効果を再現し得る最低限の解像度であると考えられる。モデルの下方境界条件として東西一様なSSTを与えた。その南北分布は、衛星観測データ(NOAAのOISST)に基づく南インド洋の気候値とした。冬季の分布をモデル南半球に全経度にならって与え、モデル北半球には夏季の分布を南北反転させて与えた(図1a)。標準実験で与えたSST分布では、SST勾配が最大となる海洋前線帯は季節を問わず緯度45°に位置していた。2つの比較実験では、勾配強度を保ったままその位置を人為的に南北に各々10°ずらした(図1b)。各実験では太陽入射角を南半球の冬至に固定して60ヶ月分積分した。移動性擾乱に伴う偏差は周期8日以内の成分として定義した。

EPフラックス(Andrews and McIntyre 1976)の計算においては東西波数4~10の成分を用いた。

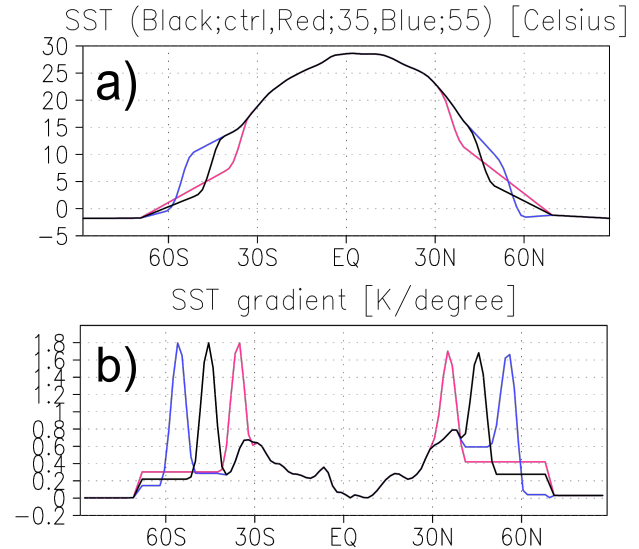


図1.a)下端の境界条件として与えたSST分布。[°C]

b)その南北勾配。[K/degree]

赤:海洋前線帯が35°に存在する場合、

黒:45°に存在する場合、青:55°に存在する場合。

3. 結果 東西平均・気候平均した統計量を比較した(図1)。どの実験においても、下層の傾圧性は海洋前線帯付近で最大となった(図2)。これに対応して、移動性擾乱の活動指標となる対流圏下層での極向き熱輸送も、海洋前線帯付近で最大となる傾向にあった(図3)。ただし、海洋前線が55°にある場合、冬半球では海洋前線付近の擾乱活動がかなり弱くなっていた。これには個々の擾乱への水蒸気供給の多寡が寄与するものと考えられる。また夏半球では、ストームトラック軸が海洋前線よりもかなり赤道側にずれ、35°付近に二次的な極大領域を形成した。

一方、南北風の分散で評価した圏界面付近の移動性擾乱活動は、海洋前線の位置に対しては下層ほど敏感ではなく、振幅が最大となるストームトラック軸は、どの実験でも両半球とも40~50°の緯度帯に位置した(図4)。これは中緯度の極前線ジェットの緯度と良く対応する。また、擾乱振幅は前線帯が低緯度側に存在するほど大きくなる傾向にあった。冬半球では、どの実験でも2次的な振幅極大が亜熱帯ジェットの緯度付近に見られた。

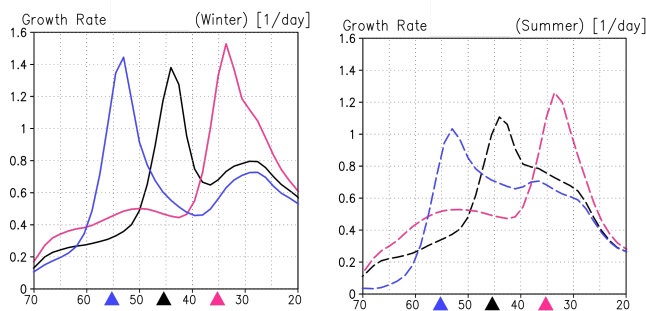


図2.Eadyの最大成長率($\sigma=0.994\sim0.929$).[1/day]
左図: 冬半球, 右図: 夏半球. 以下の図も同様.

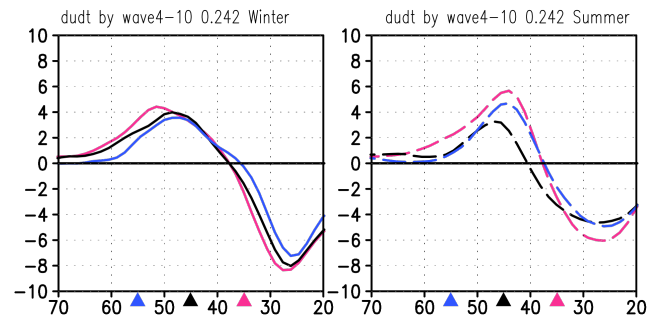


図5.EPフラックスから計算される西風加速度($\sigma=0.242$).[m/s/day]

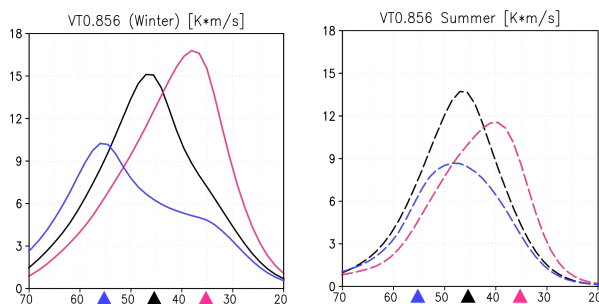


図3.移動性擾乱に伴う下層の極向き熱輸送($\sigma=0.856$).

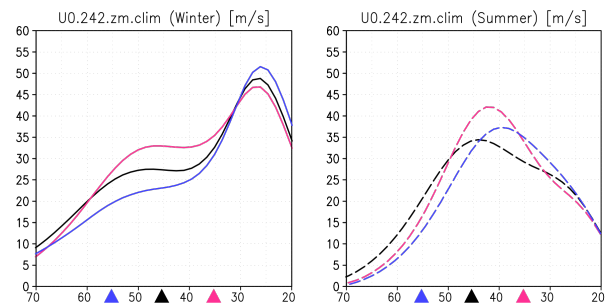


図6.西風風速($\sigma=0.242$).[m/s]

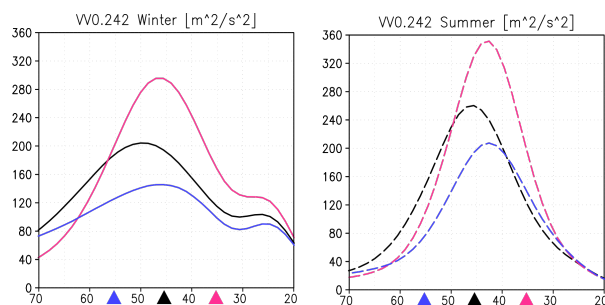
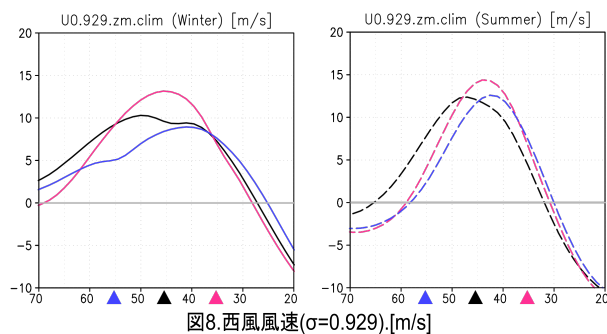
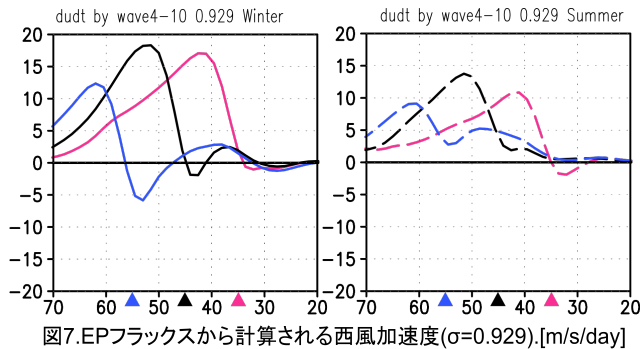


図4.移動性擾乱に伴う南北風の分散($\sigma=0.242$).

次に、移動性擾乱活動に伴う平均流加速をEPフラックスの発散を調べることによって評価した。上層においては各実験で中緯度のほぼ決まった緯度帯で加速が見られた(図5)。これはEPフラックスのY成分の発散が示す西風運動量極向き輸送の寄与が大きい。また、加速は低緯度実験ほど大きい。これは上層のストームトラック活動度の強さと整合的である。加速の極大緯度は、中緯度の西風極大緯度にほぼ一致する(図6)。これは、加速が上層における極前線ジェットの形成に寄与することを示唆する。また、冬半球において亜熱帯ジェットが低緯度実験ほど弱いことに対しては擾乱活動に伴う減速が整合的である。

一方、下層においては、前線帯のやや極側に加速の極大が見られ(図7)、EPフラックスのZ成分の発散が示す極向き熱輸送の寄与が大きい。これは、下層の移動性擾乱活動に伴う活発な熱輸送に対して、温度風平衡を保つためにシアアが弱められようとする結果であると解釈できる。海上偏西風は海洋前線帯のやや極側で強まる傾向があり(図8)、加速の寄与が示唆される。夏半球55° 実験においては、偏西風軸が赤道側に偏倚していたが、これは下層擾乱活動の偏倚に伴い二次的な加速が見られる緯度付近である。



4. まとめ 海洋前線帯の緯度を南北に 10° 変化させると、下層のストームトラック軸はほぼそれに追従する。これは、海洋前線を挟んだ海洋からの熱供給差による地表傾圧性維持作用の反映と考えられる。一方、西風が幅広い緯度帯に分布する上層ではその敏感性は顕著でなかった。また、海洋前線帯の南北変位に対する移動性擾乱の活動度の変化は下層ではあまり系統的でなく、上層では前線帯が赤道側にあるほど活発だった。

一方、移動性擾乱活動は上空で亜熱帯ジェットから西風運動量を中緯度に輸送して極前線ジェットの形成に寄与し、さらに中緯度下層における活発な熱輸送を通じて上空のジェットの運動量を下向きに輸送することで、海洋前線帯のやや極側における海上偏西風の強化に寄与することが示唆された。今後の課題は、背景場から移動性擾乱へのエネルギー変換効率、移動性擾乱へ水蒸気供給と降水帯の形成、循環の変動モードの振幅や持続性について調べることによって上記の結果を力学的に解釈することである。

参考文献

- Andrews, D. G., and M. E. McIntyre, 1976: Planetary waves in horizontal and vertical shear: The generalized Eliassen-Palm relation and the mean zonal acceleration. *J. Atmos. Sci.*, **33**, 2031-2048.
- Eady, E. T., 1949: Long waves and cyclone waves. *Tellus*, **1**, 33-52.
- Hotta, D., and H. Nakamura, 2009: On the significance of sensible heat supply from the ocean in the maintenance of mean baroclinicity along storm tracks. *J. Climate*, submitted.
- Nakamura, H., T. Sampe, Y. Tanimoto, and A. Shimpo, 2004: Observed associations among storm tracks, jet streams and midlatitude oceanic fronts. *Earth's Climate: The Ocean-Atmosphere Interaction*, C. Wang, S.-P. Xie and J. A. Carton, Eds., Geophys. Monogr., No. 147, American Geophysical Union, 329-345.
- Nakamura, H., T. Sampe, A. Goto, W. Ohfuchi, and S.-P. Xie, 2008: On the importance of midlatitude oceanic frontal zones for the mean state and dominant variability in the tropospheric circulation. *Geophys. Res. Lett.*, **35**, L15709, doi:10.1029/2008GL034010.