

帯状平均場の予測可能性

岩崎聡子 (北大・環境)・山崎孝治 (北大・地球環境)・渡部雅浩 (東大・気候システム)

1. はじめに

SSTによって強制される季節平均場の予測可能性は、両半球各々の冬では eddy 成分が支配的である一方、夏では zonal mean 成分が支配的である (Kumar et al.,2003)。北半球の冬季、ENSO に関係した熱帯 SST 偏差に対して北太平洋やアメリカ北部に大きなインパクトを持つ大気応答 (e.g.PNA) があり、ENSO はこれらの地域の高い予測可能性に寄与している。一方、Schubert et al.(2002) はアンサンブル予報実験とモデルシミュレーションから夏季北半球の季節平均高度場偏差のうち zonal mean 成分が潜在的に最も予測可能性が高いことを示し、zonal mean 変動と SST 強制について示している。

本研究では夏季北半球の1ヶ月平均場の予報においても zonal mean 成分の予測精度が高いことを示し、zonal mean 場に卓越する変動の特性・変動メカニズム・予測可能性について調べる。

使用するデータは主に 1979-2006 年の JRA-25 再解析データと、1982-2001 年の Hindcast 予報データ。Hindcast は各月の 10 日,20 日,末日を初期値とする予報期間 41 日、6hr ごとの子報で、メンバー数 5 のアンサンブル予報である。本研究では各月末日を初期値とする 1ヶ月先までの 24hr ごとの子報データを平均し、月平均場の予報値を作成する。以降の解析では 6,7,8 月の各月平均値を使用する。

まず、Hindcast1ヶ月予報におけるアンサンブル平均夏季月平均高度場の予測精度を図 1 に示す。図 1 は夏季月平均高度場偏差の全成分、zonal mean 成分、eddy 成分それぞれについて、時間に対するアノマリ相関係数を東西平均したものである。熱帯から北半球中緯度では eddy 成分よりも zonal mean 成分の方が予報精度が高く、北半球中緯度の zonal mean 成分は熱帯と同程度の高い予報スキルをもっている。

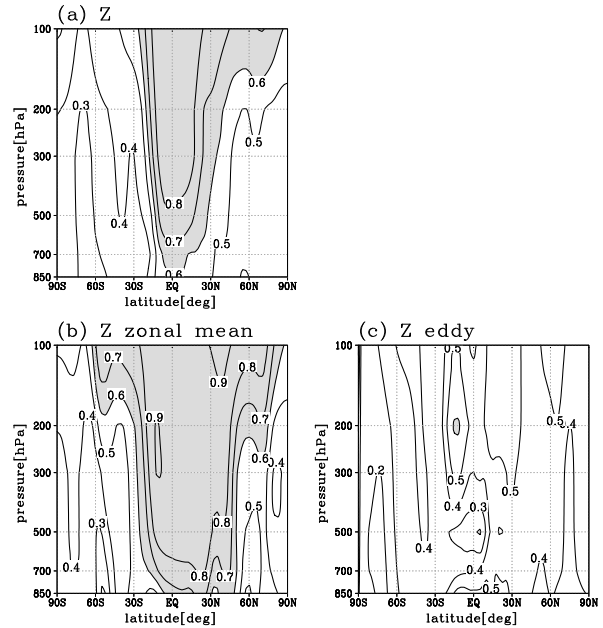


図 1:Hindcast1ヶ月予報の夏季月平均 200hPa 高度のアノマリ相関係数の東西平均、等値線間隔 0.1。陰影はアノマリ相関係数が 0.6 以上の領域。(a) 全成分 (b)zonal mean 成分 (c)eddy 成分

2. 夏の zonal mean 場の変動特性

北半球における zonal mean 場の変動特性を調べるために、再解析データを用いて赤道から 50N まで 10° ごと子の 200hPa zonal mean 高度偏差を参照時系列として、zonal mean 高度場への回帰を行った。結果、30N までの 200hPa zonal mean 高度の変動に対する zonal mean 場の有意な偏差は低緯度の広い範囲に現れる一方、40N,50N の変動に対しては中緯度の狭い範囲に偏差が限られる。また、zonal mean 温度場の回帰偏差も同様の偏差パターンを示す。

以上のことから夏季北半球の zonal mean 場の変動は、低緯度でコヒーレントに変動するパターン (熱帯型変動) と中緯度の狭い緯度帯でのみ変動するパターン (中緯度型変動) に分けて解釈することができる (図 2)。

そこで、赤道と 40N の 200hPa zonal mean 高度を参照時系列とし、それに対する回帰を熱帯型、中緯度型変動として各々の変動の 3 次元的

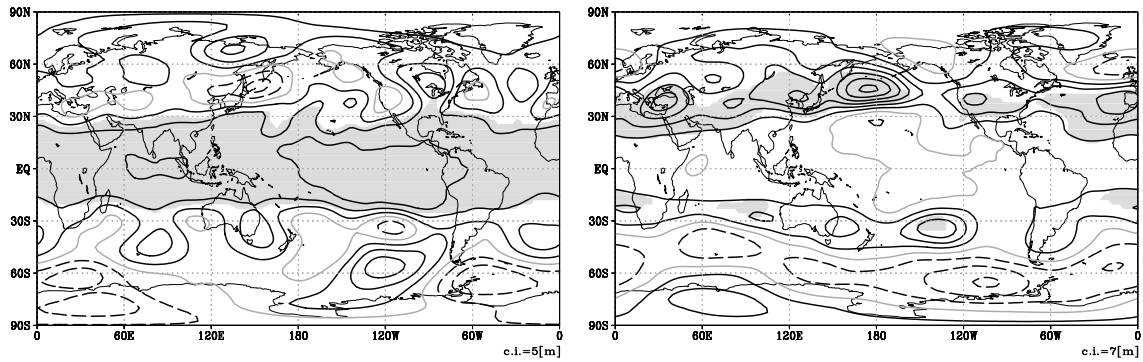


図 3:(左) 夏季月平均 200hPa zonal mean 高度偏差 (赤道) に対する 200hPa 高度場偏差の回帰。等値線間隔 3m, 陰影は 95% の有意水準を満たす領域。(右)(左) と同様。ただし 40N の 200hPa zonal mean 高度偏差に対するもの。

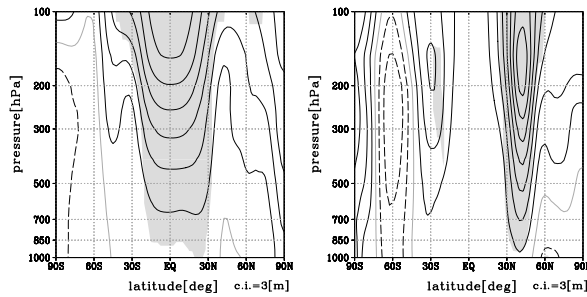


図 2:(左) 夏季月平均 200hPa zonal mean 高度偏差 (赤道) に対する zonal mean 高度場偏差の回帰。等値線間隔 3m, 陰影は 95% の有意水準を満たす領域。(右)(左) と同様。ただし 40N の 200hPa zonal mean 高度偏差に対するもの。

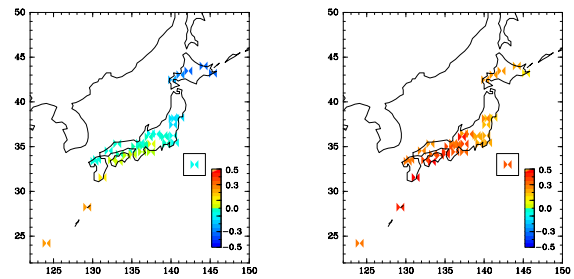


図 4:(左) 夏季月平均 200hPa zonal mean 高度偏差 (赤道) と日本の地上気温との相関係数。□内は 39 地点平均気温との相関。(右)(左) と同様。ただし 40N の 200hPa zonal mean 高度偏差に対するもの。

構造を調べた。ここで、2つの参照時系列の相関係数は 0.11 と小さく、これらの変動は独立とみなすことができる。

200hPa 高度場への回帰では、熱帯型の変動に対しては低緯度の広い範囲で東西一様な偏差を示す一方、中緯度型の変動に対しては北半球中緯度の狭い範囲で波列状の偏差を示す(図 3)。これらの偏差パターンは 200hPa 高度場(40S-80N の水平面)に対する EOF1, EOF2 として取り出せ、参照時系列と時係数 PC の相関係数はそれぞれ 0.97, 0.76 と高い値を示す。よって zonal mean 変動に伴う 200hPa 高度場の変動は、夏季月平均場に卓越する変動である。また、zonal mean 変動は地域的な気候変動とも関係を有することが知られている (Barnston 1994; Hoerling et al. 2001)。本研究においても、中緯度型変動は日本 (特に西日本) の地上気温と有意な相関を示している (図 4)。

3. 夏の zonal mean 場の変動メカニズム

ここでは帯状平均降水量の変化と eddy の作用による zonal mean 変動のメカニズムを示す。

まず、帯状平均降水量の変化は熱帯型・中緯度型変動に寄与する。熱帯型の変動では熱帯の帯状平均降水量が増加すると、非断熱加熱により正の温度偏差がつけられる。中緯度型変動では、20N 付近の帯状平均降水量が増加すると、上昇流が強化され、40N 付近で下降流となる子午面循環偏差が生じ、中緯度では断熱昇温により正の温度偏差が生じる。

次に、中緯度型変動では水平面で波列状の変動を示すことから、eddy からの作用が考えられる。しかしこれらの eddy 成分の相関は小さく、同時性が小さいことから、eddy が組織的に zonal mean 場を駆動しているとは考えにくい。そこで、個々の波が全体として zonal mean 変動に作用している可能性を考える。中緯度型変

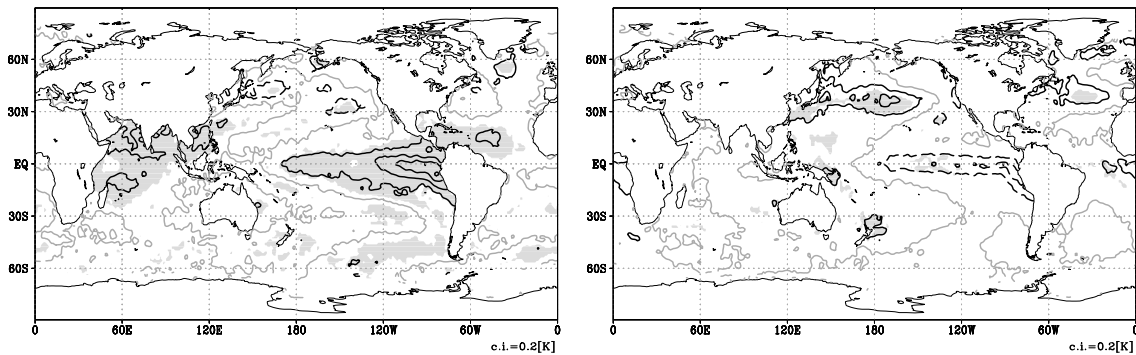


図7:(左) 夏季月平均 200hPa zonal mean 高度偏差 (赤道) に対する SST の回帰。等値線間隔 0.2K, 陰影は 95% の有意水準を満たす領域。(右)(左)と同様。ただし 40N の 200hPa zonal mean 高度偏差に対するもの。

動の zonal mean 東西風と EP-flux の回帰偏差を図5に示す。中緯度型変動の zonal mean 東西風回帰偏差は温度風平衡を満たすように 40N の南側で負偏差、北側で正偏差 (ジェットの内偏) となっている。一方、EP-flux 発散の回帰偏差は中緯度で zonal mean 東西風の回帰偏差と同符号を示すことから、eddy が zonal mean 東西風偏差に作用していると考えられる。

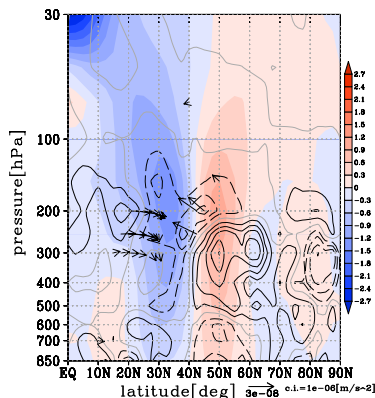


図5:夏季月平均 200hPa zonal mean 高度偏差 (40N) に対する zonal mean 東西風偏差の回帰 (shaded) と EP-flux の回帰 (vector, 95% の有意水準を満たすもののみ表示)、EP-flux 発散の回帰 (contour, 等値線間隔 3m)。EP-flux は daily データから計算した。

4. 夏の zonal mean 場の予測

zonal mean 変動の参照時系列として用いた赤道と 40N の 200hPa zonal mean 高度偏差の予報時系列 (アンサンブル平均と各 5 メンバー) と解析値の時系列を図6に示す。赤道、40N の時系列ともにアンサンブル平均予報と解析値の相関係数は 0.89 であり、変動を予測できている。また、予報場において 200hPa 高度場 (40S-80N の水平面) に卓越する変動を EOF1,2 として取

り出すと、解析場と同様な熱帯型変動 (EOF1) と中緯度型変動 (EOF2) の構造を示す。さらに、時係数 PC1,2 のアンサンブル平均と参照時系列のアンサンブル平均予報時系列との相関係数も各々 0.98, 0.82 の高い値を示している。これらの結果から、月平均場の予報において zonal mean 変動とそれに伴う水平面の変動がよく予測できている、さらにメンバー間のばらつきも小さいことから zonal mean 変動が SST によって駆動されている可能性が高いと考えられる。

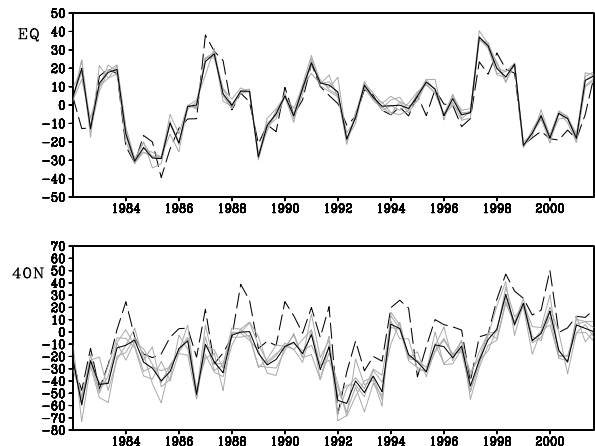


図6:(上) 夏季月平均 200hPa zonal mean 高度偏差 (赤道) の時系列。Hindcast アンサンブル平均 (黒実線)、アンサンブルメンバー (灰色実線)、JRA 解析値 (黒破線) (下)(上)と同様。ただし 40N の 200hPa zonal mean 高度偏差の時系列。

解析場の zonal mean 変動に対する SST 回帰偏差を図7に示す。熱帯型変動に対しては東部熱帯太平洋とインド洋で SST 正偏差、中緯度型変動に対しては東部熱帯太平洋で SST 負偏差と太平洋・大西洋中緯度で SST 正偏差となっている。これらの SST 偏差は Hindcast 予報場に対

する回帰偏差でも見られ、先行研究 (Schubert et al. 2002; Lau et al. 2006) の結果とも対応する。またラグ相関回帰より、熱帯型変動は El Nino(La Nina) 偏差の豪退期の SST 偏差と、中緯度型変動は La Nina(El Nino) 偏差の最盛期～発達期の SST 偏差と相関をもつことが分かった。さらに、アンサンブルモデル実験でこれらの SST 偏差に対して各々の高度場変動を再現することができた。

5. まとめ

夏季北半球において予測可能性の高い zonal mean 場の変動を低緯度でコヒーレントに変動するパターン (熱帯型変動) と、中緯度の狭い緯度帯でのみ変動するパターン (中緯度型変動) に分けて解釈し、各々の 3次元構造・変動メカニズム・予測精度・SST 強制について調べた。

zonal mean 変動に伴う 200hPa(水平面) の変動は熱帯型では低緯度の広い範囲で zonal な変動を示し、中緯度型では中緯度の狭い範囲で波列状の変動を示す。これらは夏季に卓越する変動 (EOF1,2) と一致する。

zonal mean 変動のメカニズムについて、熱帯型変動では熱帯での降水が増えると非断熱加熱により正の温度偏差がつくられる。中緯度型変動では 20N 付近で降水が増え上昇流が強まると、40N 付近で下降流となり中緯度の温度正偏差がつくられる。また、中緯度型変動では eddy との相互作用も不可欠である。

これらの zonal mean 変動は Hindcast1ヶ月予報でよく予測できている。またメンバー間のばらつきが小さいことから、これらの変動が SST によって強制されていると考えられる。熱帯型変動は東部熱帯太平洋とインド洋での SST 正偏差、ENSO イベントの豪退期の SST 偏差で駆動される。中緯度型変動は東部熱帯太平洋の SST 負偏差と太平洋中緯度の SST 正偏差、ENSO イベントの最盛期～発達期の SST 偏差が関係している。

謝辞

今回の研究集会への参加にあたり旅費の補助を受けました。感謝致します。

Hindcast 予報データを提供していただいた気象庁気候情報課に感謝いたします。

参考文献

- Kumer, A., S. D. Schubert and M. S. Suarez, 2003: Variability and predictability of 200-mb seasonal mean heights during summer and winter. *J. Geophys. Res.*, **108** (D5),4169,doi:10.1029/2002JD002728.
- Schubert, S. D., M. Suarez, P. J. Pegion, M. K. Kistler and A. Kumar, 2002: Predictability of zonal means during boreal summer. *J. Clim.*,**15**,420-434.
- Bernston, A. G., 1994: Linear statistical short-term climate predictive skill in the Northern Hemisphere. *J. Clim.*,**7**,1513-1564.
- Hoerling, M. P., A. Kumer, J. Witaker, and W. Wang, 2001: The midlatitude tropospheric warming during 1998-2000. *Geophys. Res. Lett.*,**28**,755-758.
- Lau N.-C., A. Leetmaa, and M. J. Nath, 2006: Attribution of atmospheric variations in the 1997-2003 period to SST anomalies in the Pacific and Indian Ocean basins. *J. Clim.*,**19**,3607-3628.