

夏（6～8月）の帯状平均場の季節予測

前田修平、伊藤明、松下泰広
気象庁気候情報課

1. はじめに

気象庁では、2003年3月からの3か月予報への力学的手法の導入に先立ち、予測精度の確認を目的とした力学的季節予報実験を行った。多数の過去事例を対象とし、気象庁の大気大循環モデルに下部境界条件として予報初期の海面水温平年偏差を持続させて与えた120日積分で、積分開始時点で知りうる情報のみを用いた、いわゆるハインドキャストタイプの実験である。ここではその結果に基づき北半球夏（ここでは6～8月）の帯状平均場の予測精度について報告する。

Schubert et al. (2002) は、観測された海面水温を与えた大気モデルの長期ランの結果を用いて、高度場の予測可能性を帯状平均とそれからの偏差の成分とに分けて調べ、夏の予測可能性はほとんど帯状平均成分にあること、帯状平均場ならば中緯度でも予測可能性が高いことを示した。逆にいうと、帯状平均場を予測できないと夏の予報は出来ない、ということである。そこでわれわれの予報実験についても、まず、帯状平均場の予測精度を調べることにした。

2. 力学的季節予報実験の仕様

実験の対象は1984年～2001年の18年間で、毎月月末12Zを初期値とする18年×12か月＝216事例の120日予報を行う。実験に用いる数値予報モデルは、2003年3月からの力学的季節予報で現業運用している大気大循環モデル(T63L40V0103)である(伊藤ら, 2003)。5メンバーのアンサンブル予報で、アンサンブル手法はSV法(高野, 1994)である。大気の初期値は1984～1993年はヨーロッパ中期予報センター(ECMWF)の15年(1979～93年)再解析値(ERA15)、1994～2001年は気象庁の全球客観解析値(GANAL)を用いる。また10hPa未満の大気の初期値は、96年末までは米国環境予測センター(NCEP)の成層圏解析を使い、97年以降は気象庁の上部成層圏解析(村上, 1997)を用いる。積雪深や土壌水分などの陸面状態の初期値は、93年まではERA15で陸面モデルを強制して作成した値を用い(徳広, 2001)、94年以降は84～93年までの10年平均値を用いる。海面水温は、93年まではNCEPの解析値(Reynolds and Smith, 1994)を用いて、94年以降は気象庁の解析値(野村, 1996)を用いる。海面水温偏差を求めるための平年値は現業数値予報で用いているNCEPの解析値の1981～1993年までの12年間の平均値で、予報期間中は初期値の海面水温偏差を持続させる。

本報告では、この実験のうち4月30日12Zを初期値とするリードタイム31日の90日平均場、すなわち6～8月(JJA)の3か月平均場の予測を対象とし、帯状平均場の予測精度について述べる。検証データとしては、大気循環場についてはNCEP/NCARの再解析

値 (Kalnay et al., 1996) および気候解析用の解析値 (ここでは併せてCDASと呼ぶ) を用いる。降水量については、CMAP (Xie and Arkin, 1997) を用いる。

3. 結果

まず、帯状平均高度の予測可能性を示す。予測可能性の指標は数種類あるが、ここではRowell et al. (1995) に従う。彼らは、以下のように大気的全分散 V をアンサンプル平均の年々変動から見積もられる予測可能な変動 S^2 (シグナル) とアンサンプルメンバー間の分散から見積もられる予測不可能な変動 N^2 (ノイズ) に分けた。

$$N^2 = \frac{1}{m(n-1)} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (x_{i,j} - \bar{x}_i)^2 \quad (1)$$

$$s_{em}^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (\bar{x}_i - \bar{x})^2 \quad (2)$$

$$S^2 = s_{em}^2 - \frac{1}{n} N^2 \quad (3)$$

$$V = S^2 + N^2 \quad (4)$$

ここで、 N^2 はアンサンプルメンバー間の不偏分散の平均値を表し、 s_{em}^2 はアンサンプル平均の不偏分散を表している。また、 m は予報事例の年数 (ここでは18年)、 n はアンサンプルメンバー数 (ここでは5個) を表し、 $x_{i,j}$ は i 事例のアンサンプルメンバー j のデータ、 \bar{x}_i は i 事例のアンサンプル平均、 \bar{x} はアンサンプル平均の m 個の予報事例の平均である。式 (3) の右辺の第2項は、アンサンプルメンバー数が少ないために s_{em}^2 に含まれている予測不可能な変動を除去するためのものである。ここで、全分散 V に対する予測可能な分散 S^2 の比を $R = \frac{S^2}{V}$ と定義し、 R を指標に予測可能性を評価する。

R は、モデルが完全でアンサンプルメンバー数が無限大の場合にはアンサンプル平均予報と実況の相関係数を与える (杉, 2002)。図1は、予報実験の結果から求めたJJAの帯状平均高度場の R である。 R は熱帯を中心に大きく高緯度側に向かうに従い小さくなる。亜熱帯から中緯度にかけては北半球側の方が南半球側よりも大きく、北緯40度でも0.6以上の領域がひろがっている。

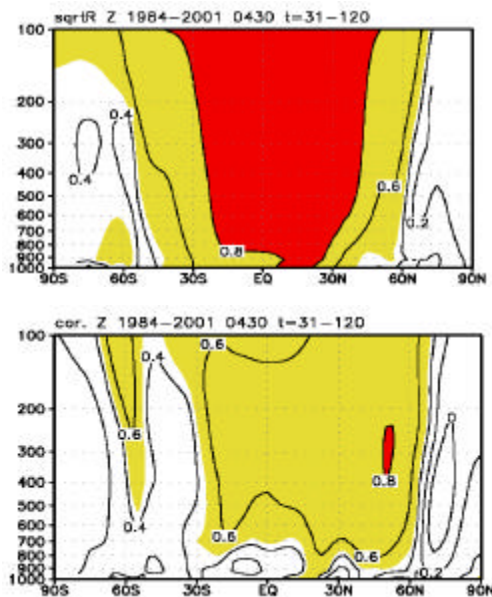


図1 带状平均高度の予測可能性と予測精度
 4月30日初期値の夏(JJA)の90日平均場の予測
 上) 予測可能性 (R)。等値線間隔 0.2。
 下) 予測精度 (アンサンブル平均予報と実況との相関係数)。等値線間隔 0.2。危険率 5%で相関が有意な領域に影。

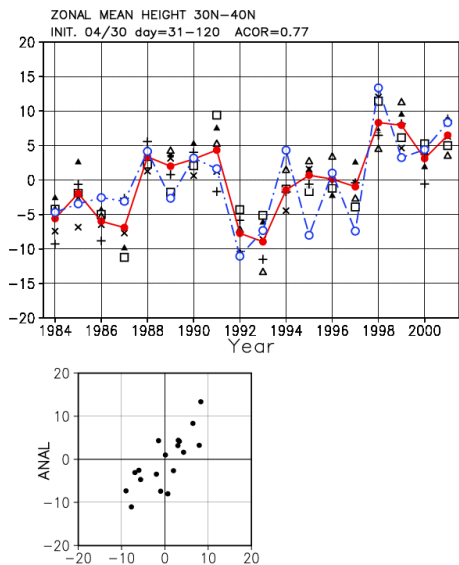


図2 带状平均した 500hPa 高度偏差 (30°N ~ 40°N の平均高度偏差) の予測。4月30日初期値の31~120日平均場。
 上) 年々変動の時系列。実線はアンサンブル平均値、一点破線は解析値の年平均偏差。 ×印は各メンバーを表す。横軸は初期値の年 (例えば 1984 は 1984年5月31日初期値の1~90日平均場の予報) を表す。図の右上の数字は予報値と解析値の年々変動の相関係数を表す。
 下) 散布図。横軸がアンサンブル平均予報値、縦軸が解析値。

図1下は、带状平均高度のアンサンブル平均予報と実況との相関係数で、予測精度をあらわす。予測可能性の指標から予想されるとおり予測精度は熱帯で高く高緯度で低い。また、亜熱帯や中緯度では北半球側の方が南半球側よりも予測精度が高い。図2は北緯30~40度で平均した带状平均500hPa高度平年偏差の予測と実況の1984~2001年の時系列と散布図を示す。500hPa高度は気象庁の季節予報の現業でよく使う物理量である。時系列図を見ると、年々変動に比べアンサンブルメンバー間のばらつきが小さく、確かに予測可能性が高いことがわかる。アンサンブル平均予報と実況の相関係数は0.77と高く、1998年以降の上昇傾向のみでなく、年々変動の傾向もよく予測している。このように北半球夏のの中緯度の带状平均高度は、予測可能性も高いし実際の予測精度も高い。

4. 議論

なぜ、北半球夏のの中緯度の带状平均高度の予測精度が高いのだろうか。中緯度における季節平均場の予測可能な変動成分は、主に、エルニーニョ現象などの熱帯域における海面水温の変動に伴う大規模な対流活動の変動に対する、中緯度大気の応答である。このことは带状平均場についても同様であると考えられる。带状平均場では、熱帯域の大規模な対流活動の変動の直接的な

影響はハドレー循環の変動として現れる。ハドレー循環の変動はそれに伴う角運動量輸送の変動をとおして、亜熱帯ジェットに影響を与え、亜熱帯ジェットの変動は中緯度の循環に影響を与える。そこで、中緯度の帯状平均高度の予測精度について考察するにあたり、まず、中緯度の高度場と東西風・子午面循環との関係を調べることにする。

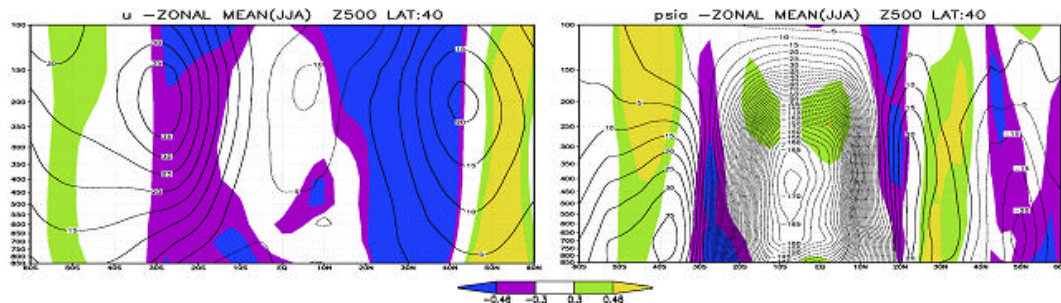


図3 夏(JJA)の北緯40度の帯状平均500hPa高度と東西風・質量流線関数との相関係数。影が相関係数で、危険率5%で相関が有意な領域を黄色と青色で示す。黄緑は0.3以上、紫は-0.3以下。
 左) 東西風。実線は、東西風の18年平均値で、等値線間隔は5m/s。
 右) 質量流線関数。実線は、質量流線関数の18年平均値で、等値線間隔は $5 \times 10^9 \text{kg/s}$ 。

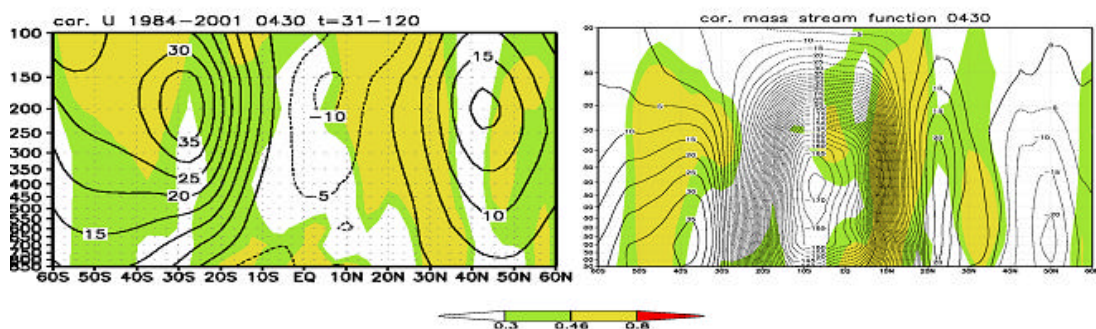


図4 夏(JJA)の東西風・質量流線関数の予測精度(アンサンブル平均予報と実況との相関係数)。影が相関係数で、危険率5%で相関が有意な領域を黄色で示す。黄緑は0.3以上。
 左) 東西風。実線は、東西風の18年平均値で、等値線間隔は5m/s。
 右) 質量流線関数。実線は、質量流線関数の18年平均値で、等値線間隔は $5 \times 10^9 \text{kg/s}$ 。

図3左は、北緯40度における帯状平均500hPa高度と帯状平均東西風との相関係数である。北半球では亜熱帯ジェットを中心より南で負相関、北で正相関となっており、高度の変動がジェット軸の南北の変動と関係していることがわかる。図3右は、北緯40度における帯状平均500hPa高度と質量流線関数との相関係数である。北半球側のハドレー循環の上昇流側に負の相関、北縁の下降流に正の相関域が見られ、高度の変動がハドレー循環の南北シフトと関係していることがわかる。図4は、東西風と質量流線関数の予測精度(アンサンブル平均予報と実況との相関係数)である。どちらの要素も図3で示した北緯40度における帯状平均500hPa高度と関係のある領域で精度が高い。つまり、中緯度の高度場の変動と関連のある北半球側の亜熱帯ジェット及びハドレー循環の

南北のシフトがよく予測されていることがわかる。

北半球側におけるハドレー循環の南北のシフトがよく予測されているので、対応する熱帯の対流活動もよく予測されていることが考えられる。図5には、熱帯の対流活動の指標として帯状平均した降水量について、その平年値、北緯40度における帯状平均500 hPa高度との関係、予測精度(アンサンブル平均予報と実況との相関係数)を示す。夏(JJA)の帯状平均した降水量は、平年では北緯10度付近がピークである。北緯40度における帯状平均500 hPa高度との関係は、このピークの北側で正、ピークを含む南側で負である。このことは、ハドレー循環と同じく対流活動のピークが北(南)にシフトしている年には、中緯度の帯状平均高度が高く(低く)なりやすいことを示している。予測精度を見ると、特に、北緯40度における帯状平均500 hPa高度の変動と関連がある北緯20~25度にかけて精度が高い。

これらの結果は、北半球夏の中緯度の帯状平均高度の予測精度が高い理由として、熱帯域における帯状平均した対流活動の変動と、それがハドレー循環の変動をとおして中緯度の帯状平均場の変動に与える影響が予測できている、ことが考えられることを示している。今後、運動量輸送や熱輸送など、関連するプロセスをきちんと調べたい。

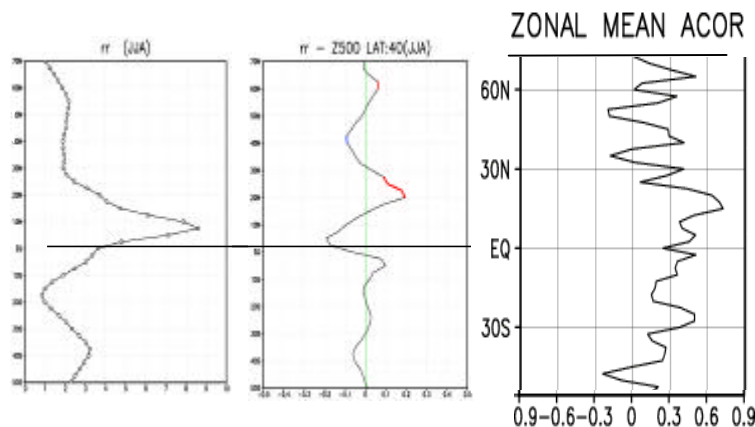


図5 夏(JJA)の帯状平均降水量。

左) 18年平均値で、単位は mm/day。

中) 北緯40度の帯状平均500hPa高度からの回帰で、単位は mm/day。危険率5%で有意な領域は赤。

右) 予測精度(アンサンブル平均予報と実況との相関係数)。

5. まとめ

気象庁の大気大循環モデル(T63L40V0103)を用いた季節予報実験の結果に基づき、帯状平均場の予測精度を調べた。実験設定は以下のとおりで、4月末を初期値とするリードタイム31日の90日平均場、つまり夏(JJA)の予測を調査対象とする; 1984

～2001年の18年間、毎月月末初期値、予報初期の月のSST 平年偏差持続、アンサンブルメンバー数5個。結果は以下のとおりである。

1) 北半球では、中緯度でも帯状平均高度がよく予測できていた。

2) 中緯度の高度の年々変動と関係の深い、亜熱帯ジェット、ハドレー循環、および帯状平均した熱帯域の対流活動の年々変動も予測できていた。

1)と2)の結果は、SSTを与えた気象庁の大気大循環モデルは、熱帯域における帯状平均した対流活動の年々変動と、それがハドレー循環の変動をとおして中緯度の帯状平均場の変動に与える影響が予測できている、ことを示唆している。

参考文献

- 伊藤明、前田修平、松下泰広、2003：力学的季節予報実験の検証、平成14年度全国季節予報技術検討会資料、気象庁気候・海洋気象部、45-69。
- 杉正人、2002：季節予報の技術的背景とその展望、平成14年度季節予報研修テキスト、気象庁気候・海洋気象部、2-7。
- 高野清治、1994：アンサンブル予報、平成6年度長期予報研修テキスト、気象庁予報部、14-28。
- 徳広貴之、2001：陸面モデルオフライン実験の検証、平成13年度季節予報研修テキスト、気象庁気候・海洋気象部、51-57。
- 野村厚、1996：SST・海氷、数値予報課報告・別冊第42号、気象庁予報部、62-78。
- 村上成教、1997：上部成層圏解析、数値予報報告・別冊第43号、気象庁予報部、87-101。
- Kalnay, E., and Coauthors, 1996: The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. Bull. Amer. Meteor. Soc., 77, 437-471.
- Reynolds, R. W., and T. M. Smith, 1994: Improved global sea surface temperature analysis using optimum interpolation. J. Climate, 7, 929-948.
- Rowell, D. P., C. Folland, K. Maskell, and N. Ward, 1995: Variability of summer rainfall over tropical north Africa(1906-92): Observations and modeling. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 121, 669-740.
- Schubert, S. D., M. J. Suarez, P. J. Pegion, and M. A. Kistler, 2002: Predictability of zonal means during boreal summer. J. Climate, 15, 420-434.
- Xie, P. and P. Arkin, 1997: Global precipitation: A 17 year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates and numerical model outputs. Bull. Amer. Meteor. Soc., 78, 2539-2558. Tsuyuki, T., and K. Kurihara, 1989: Impact of convective activity in the western tropical Pacific on the East Asian summer circulation. J. Met. Soc. Japan, 67, 231-247.