

## 気象庁 1 か月予報を用いたマッデン–ジュリアン振動の 予測可能性についての研究

久保田拓志・向川均・岩嶋樹也

### 要 旨

気象庁 1 か月予報結果を用いて、2001 年～2004 年冬季における初期値のマッデン–ジュリアン振動 (MJO) の振幅・位相と赤道域の予測精度の関係について調べた。赤道域における 200hPa 発散場  $\chi_{200}$  偏差の 9 日移動平均値に対するアノマリー相関が 0.6 を上回るのは、7 日のリードタイムまでであった。初期値の MJO の振幅が大きいとき、赤道域の予測精度は、5 日のリードタイムまで高い傾向がある。初期値が強い MJO を示す事例で、中央太平洋上に  $\chi_{200}$  正偏差 (発散偏差) があるとき、相対的に予測精度が低い傾向があった。しかし、同じ MJO の位相でも事例ごとに AC が大きく異なるので、さらなる調査が必要である。

キーワード：季節内振動，予測可能性，アンサンブル予報

### 1. はじめに

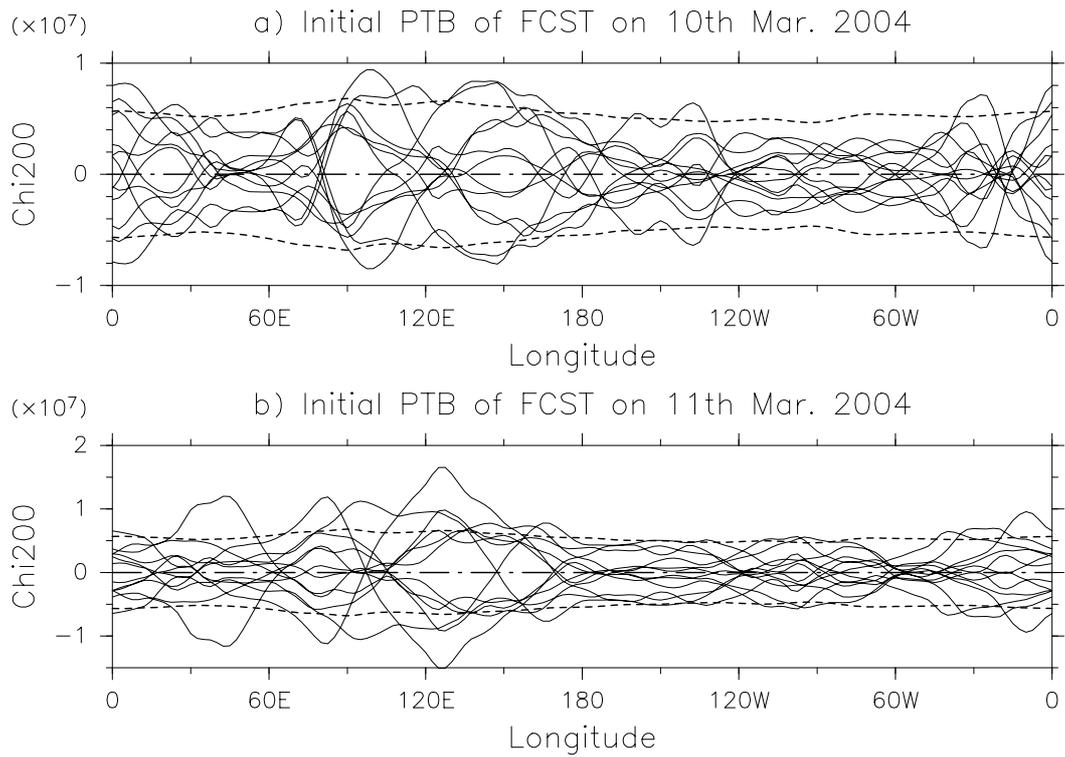
マッデン–ジュリアン振動 (MJO) は、熱帯の季節内の時間スケールにおいて、最も卓越する変動である (e.g., Madden and Julian 1994)。MJO は、30 日から 70 日の周期で、熱帯を東向きに伝播する対流偏差と、それに関連する循環偏差とで特徴づけられる。アジアモンスーンの開始や活動度にも、MJO が強く影響することがよく知られている (e.g., Yasunari 1979, Lau and Chan 1986)。さらに、MJO はオーストラリアモンスーンの開始や変動 (e.g., Hendon and Liebmann 1990) や、熱帯低気圧の発生・発達 (Nakazawa 1986, Liebmann et al., 1994) にも関連している。一方、熱帯域の季節内振動の予測精度が良い場合、日本を含む中高緯度域の予測精度も向上する可能性があることがこれまでの研究により指摘されている (Ferranti et al. 1990, Tsuyuki 1990) ため、MJO の力学的予測可能性を解析することは重要である。

多くの大気大循環モデルは、観測が示す MJO の特徴を再現することができていない (e.g., Slingo et al. 1996)。Jones et al. (2000) は、彼らのモデルでは、MJO の振幅が観測よりも小さく、また

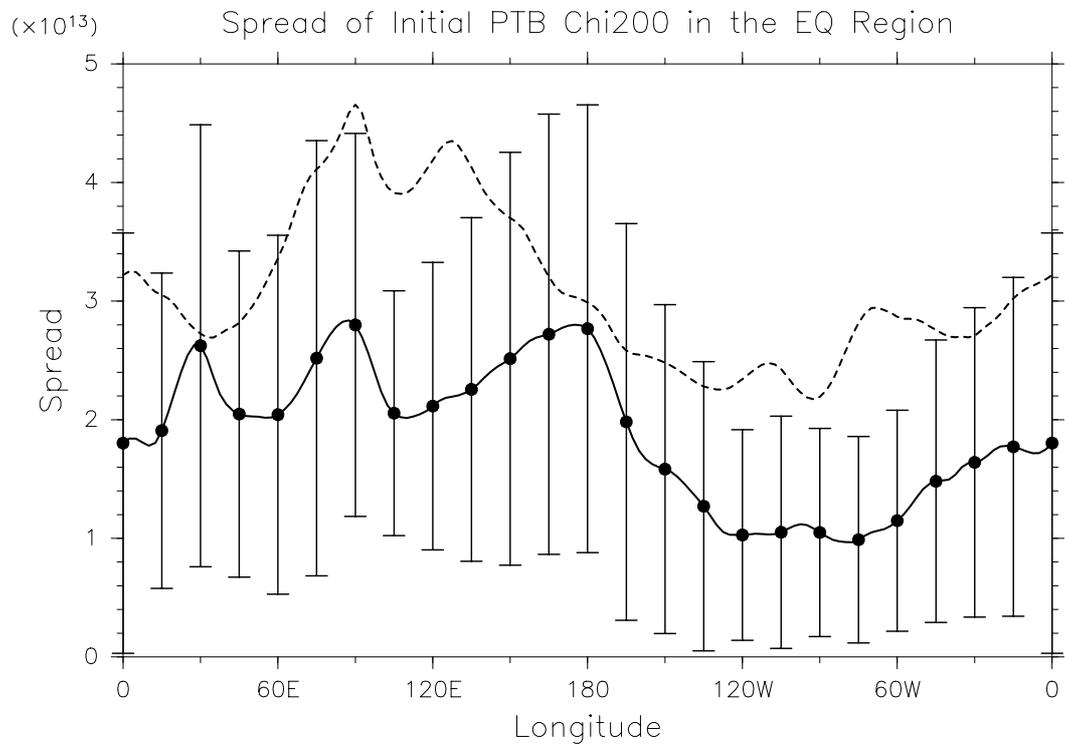
位相速度がより速くなることを指摘している。また、National Centers for Environmental Prediction (NCEP) 中期予報モデルの力学予報では、MJO の予測精度が高いのは、リードタイム 5～7 日までであることも指摘されている (Chen and Alpert 1990, Lau and Chang 1992, Hendon et al. 2000, Jones et al. 2000)。

一方、予測精度と MJO の活動度との関係についても議論の一致はまだ得られていない。例えば、Jones et al. (2000) は、NCEP 中期予報モデルの上部対流圏東西風を用いて、MJO に伴う対流偏差が強い期間に、予測精度がわずかに良くなることを示した。一方、Boer (1995) は、European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) の予報システムでは、予測精度が MJO にほとんど依存しないことを示している。ところが、Hendon et al. (2000) や Lo and Hendon (2000) は、NCEP 中期予報モデルの流線関数を指標とすると、初期時刻に MJO が活発なときより、不活発なときに、予測精度がよいことを示している。

本研究の目的は、北半球冬季の気象庁 1 か月アンサンブル予報を用いて、MJO の予測可能性を調べることである。特に、赤道域の予測精度と初期時刻



**Fig. 1** Examples of initial perturbations in the equatorial region for the EPS-0202. **Fig. 1a** and **Fig. 1b** show perturbations at 12UTC 10th March 2004 and 12UTC 11th March 2004, respectively. Solid lines denote initial perturbations of velocity potential on 200hPa ( $\chi_{200}$ ) averaged over  $10^\circ\text{S}$ - $10^\circ\text{N}$  from all members. Dashed line shows climatological standard deviations of  $\chi_{200}$  in  $10^\circ\text{S}$ - $10^\circ\text{N}$  observed during the boreal winter.



**Fig. 2** Spreads of initial perturbations in the equatorial region for the EPS-0202. Solid line shows mean values and error bars denote standard deviations between the ensemble forecasts. Dashed line shows climatological variances of  $\chi_{200}$  in  $10^\circ\text{S}$ - $10^\circ\text{N}$  observed during the boreal winter.

における MJO の関係について、振幅や位相との関係について詳しく調べる。さらに、ある予測値と 1 日後を初期値とした予測値の間で、特定の日を境に、予測精度が大きく異なる事例について報告する。

## 2. データと解析手法

気象庁 1 か月予報は、毎週、水曜日 12UTC と木曜日 12UTC を初期時刻として実施される。予報期間は 34 日間で、予報には、気象庁全球スペクトルモデルが使用されている。モデルの水平解像度は T106、鉛直層数は 40 層（モデル上端は 0.4hPa）である。気象庁より提供された予報データは 1 日間隔で、緯度・経度はそれぞれ、 $2.5^\circ$  間隔である。

アンサンブル予報は水曜日と木曜日のコントロールランと、それぞれの曜日の 12 摂動ランの全 26 メンバーで実施されている。アンサンブル予報の摂動作成手法は、NCEP で開発された BGM (Breeding of Growing Mode, 成長モード育成) 法 (Toth and Kalnay 1997) である (経田 2000)。BGM 法では、摂動を加えない 12 時間予報と摂動を加えた 12 時間予報を行い、その予報値誤差 (誤差成長) を求める。その誤差成長を規格化・直交化し、これを新たな摂動として繰り返し積分することで各時刻における初期摂動を求める。2001 年 3 月 1 日 ~ 2002 年 2 月 4 日では、摂動を作成する範囲を北緯 20 度以北としている。摂動の 500hPa 高度成分が、気候的変動の 10% の大きさとなるように、全要素・全レベルの摂動の大きさを規格化する。2002 年 2 月 5 日以降 (EPS-0202) では、摂動を作成する範囲を南緯 20 度以北に広げ、また、摂動の規格化定数として、摂動の 500hPa 高度成分が、気候値的変動の 14.5% となる値を採用する。ただし、湿度成分のみ、さらに 40% 大きく (気候的変動の 21% の大きさ) した値を用いている (経田 2002)。EPS-0202 では、熱帯にも初期摂動が広がっている。しかし、南緯 20 度以北の領域における摂動の 500hPa 高度成分のみを用いて規格化するため、変動の大きな中・高緯度域に対応した値となり、得られた摂動は熱帯域で大変大きくなる。

Fig. 1 は、2004 年 3 月 10 日・11 日を初期値とするアンサンブル予報における赤道域の初期摂動を示している。値は 200hPa 面速度ポテンシャル ( $\chi_{200}$ ) である。赤道域の  $\chi_{200}$  の初期摂動の大きさは、気候学的な変動を上回っている。すなわち、解析誤差の水準を大きく超えていることがわかる。ここでは、2004 年 3 月 10 日・11 日の例を示したが、他の予測

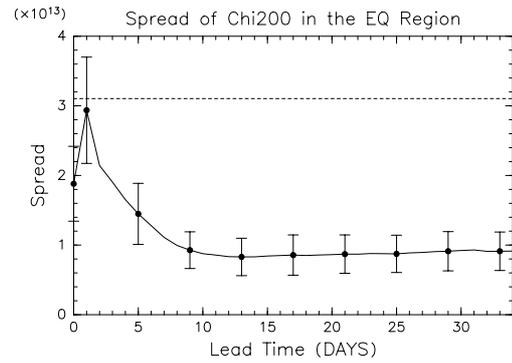


Fig. 3 Variation of spreads of the ensembles in the equatorial  $\chi_{200}$  for the EPS-0202 against lead time (day). Solid line shows values averaged in the EPS-0202 forecasts and error bars denote standard deviations between the forecasts. Dashed line shows climatological variances of  $\chi_{200}$  averaged zonally over  $10^\circ\text{S}$ - $10^\circ\text{N}$  observed during the boreal winter.

でも似た特徴が見られる。そのことは、EPS-0202 における赤道域の初期摂動のスプレッドを示す Fig. 2 からわかる。Fig. 2 の黒線は初期摂動のスプレッドの平均値、エラーバーは予報間の標準偏差の大きさを表す。初期摂動は平均として、アフリカ大陸上や日付変更線付近で大きく、値は気候学的な分散と近い。またエラーバーの上端に注目すると、アフリカ大陸、インド洋、西太平洋で、変動の大きな初期摂動が見られることがわかる。

次に、Fig. 3 は、EPS-0202 における赤道域の  $\chi_{200}$  のスプレッドを表している。図の実線でリードタイムが 0 日のときの値は初期摂動のばらつきを表す。その大きさは、気候学的な分散の 61% である。ただし、Fig. 2 に示したように、初期摂動は特定の領域で極端に大きい場合がある。その後、スプレッドは、リードタイム 1 日で最大となり、リードタイム 10 日まで減少し、それ以降はほぼ一定となる傾向があることがわかる。この図は、初期摂動が赤道域の  $\chi_{200}$  場に対して適切ではないことを示している。以上より、本研究ではコントロールランのみを用いて解析を行った。

本研究では、2001 年 ~ 2004 年の 10 月最終週から 4 月第 2 週まで (合計 72 週)、すなわち、2001 年 10 月 31 日 ~ 2002 年 4 月 11 日、2002 年 10 月 30 日 ~ 2003 年 4 月 10 日、2003 年 10 月 29 日 ~ 2004 年 4 月 8 日を初期値とする、合計 144 個の予測値 (水曜日ラン 72 個・木曜日ラン 72 個) を解析する。気象庁の数値解析予報システムは 2001 年 3 月に大き

く更新 (GSM0103) されたので (気象庁, 2000), ここではそれ以降の期間について解析した。さらに 1 か月予報モデルは, 積雲対流過程として使用されている Prognostic Arakawa-Schubert スキーム (Randall and Pan 1993) に関して 2003 年 6 月に改善されている (GSM0306)。新保ら (2003) は, 変更後は MJO の振幅がやや大きくなり, いくつかの事例で MJO の予報が改善していることを示している。

予測値の検証には, 2001 年 6 月から 2004 年 5 月までの気象庁全球客観解析 (GANAL) データを使用した。本研究では, 熱帯域の対流活動と関連する循環の予測可能性を調べるために,  $\chi_{200}$  について解析を行う。まず, 解析を行う際に, 予測値と解析値から, 季節進行成分を除去し, 偏差成分をとりだした。ここで季節進行は, GANAL データの 3 年平均した日々の場合から求められる, 年平均値, 1 年成分, 半年成分の和として定義した。さらに, MJO の予測可能性を調べるために, モデルの系統誤差を除去した。系統誤差は, 予測値と解析値の差を, 本研究で用いた 144 個の事例を, GSM0103 と GSM0306 で区別して平均し, それをリードタイムごとに計算して求めた。系統誤差の水平パターンは, 前田 (2001) や新保ら (2003) と同様, 予測値において, アフリカ大陸東岸の発散が強すぎる傾向や熱帯東部太平洋から南アメリカ大陸, 大西洋上で収束が強すぎる傾向を示している (図省略)。

低周波フィルターとして, 9 日の移動平均を使用した (cf. Jones et al. 2000)。この際, リードタイム 4 日までの予測値で, 不足分を埋めるために解析値を用いた。従って, この期間で予測精度を過大評価している点に注意する必要がある。

### 3. 気象庁 1 か月予報の結果

#### 3.1 赤道域の予測精度

空間アノマリー相関係数 (AC) を用いて, 北半球冬季における気象庁 1 か月予報の赤道域の予測精度を評価する。ここでは, 低周波フィルターを適用した, 赤道域 ( $10^{\circ}\text{S}$ - $10^{\circ}\text{N}$ ) の  $\chi_{200}$  偏差について調べる。経験的に AC の値が 0.6 以上であれば予測値にスキルがあると評価する。

解析値と予測値の間の赤道域の偏差パターンに関する AC を計算し, 144 個の全事例で平均した。その結果は Fig. 4 の黒線である。平均として, AC はリードタイム 7 日まで 0.6 を上回る。ただ, エラーバーが示すように, 事例ごとのばらつきは大きい。

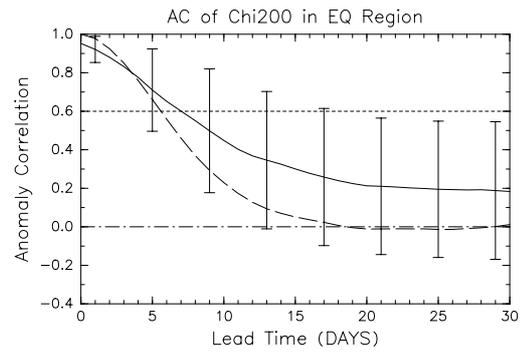


Fig. 4 Anomaly correlations (ACs) of low-pass filtered  $\chi_{200}$  in the equatorial region ( $10^{\circ}\text{S}$ - $10^{\circ}\text{N}$ ) between forecast and analysis as a function of lead-time. The solid line represents values averaged over 144 forecasts, and dashed lines denote ACs for persistence forecasts. Error bars attached in the solid line show the standard deviations.

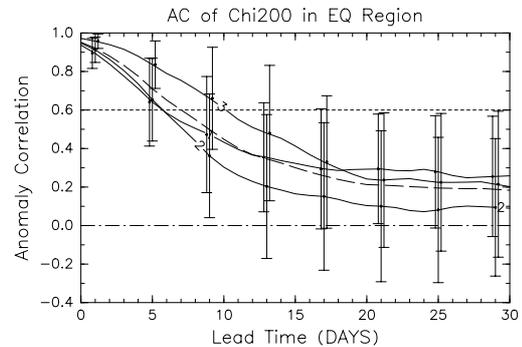
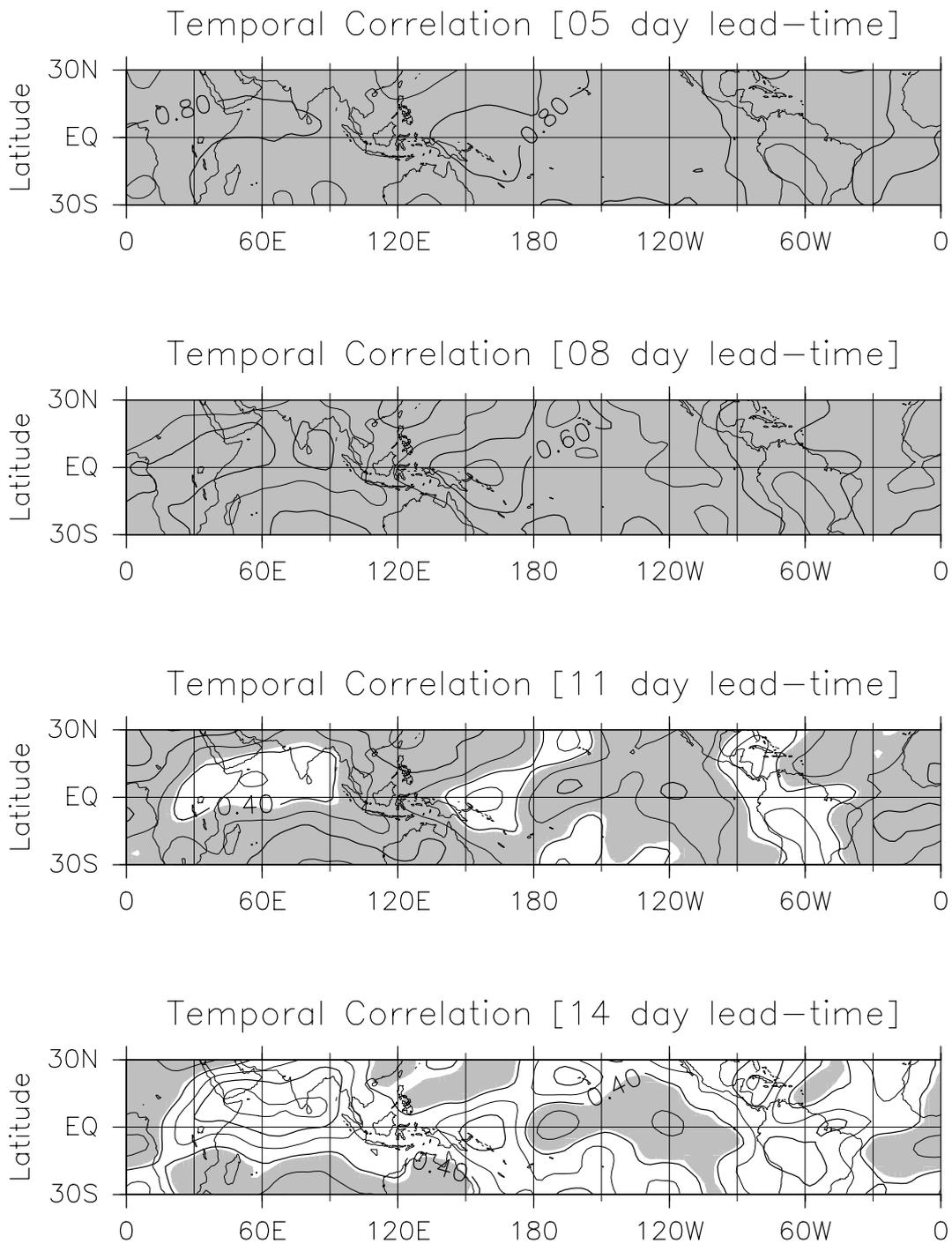


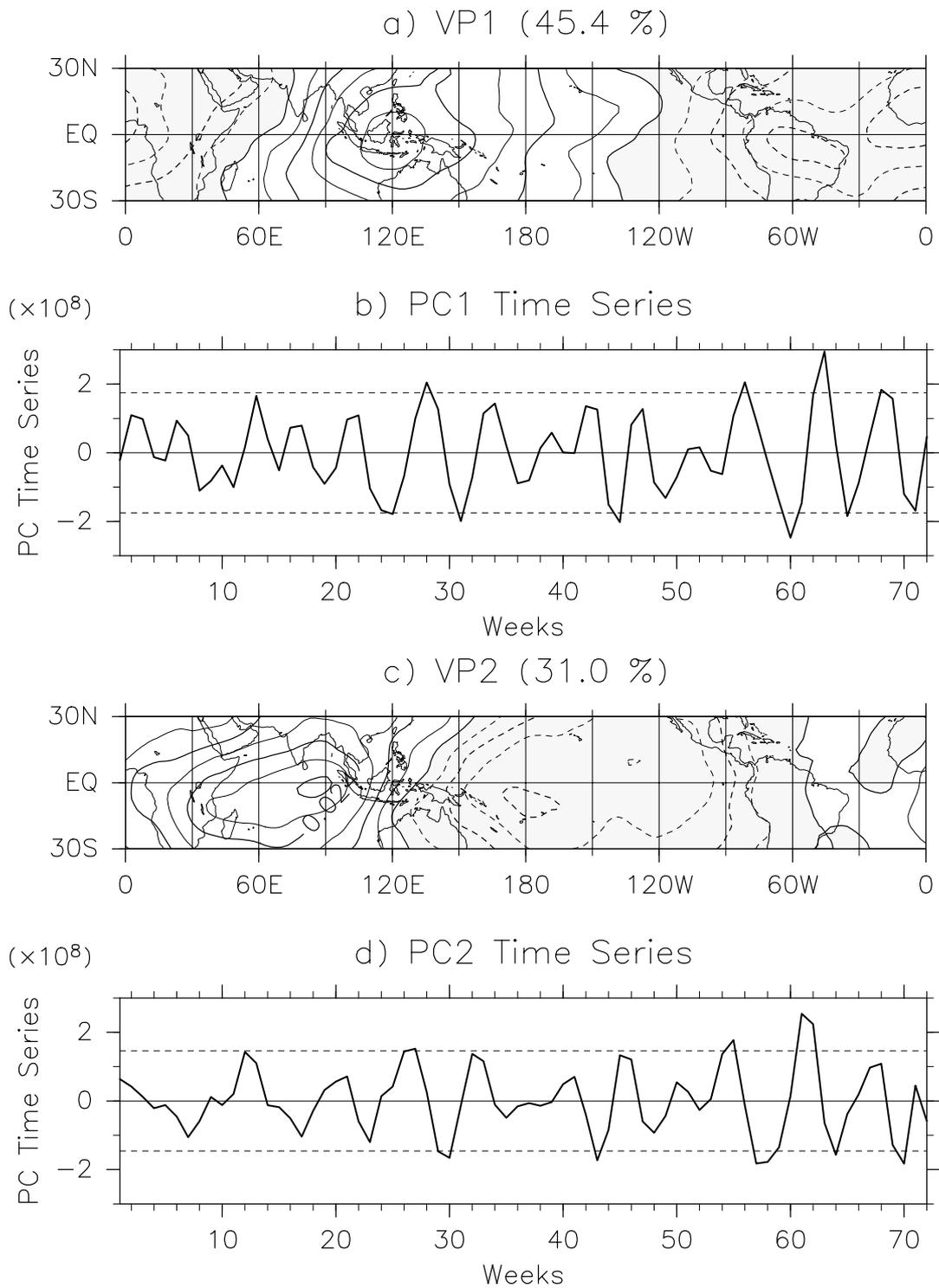
Fig. 5 Yearly averaged ACs of low-pass filtered  $\chi_{200}$  in the equatorial region between forecast and analysis. The number attached on the solid line denote values averaged in Oct. 2001 through Apr. 2002 ("1"), Oct. 2002 through Apr. 2003 ("2"), and Oct. 2003 through Apr. 2004 ("3"). Dashed line represents values averaged over 144 forecasts. Error bars show the standard deviations.

比較として, Fig. 4 の青破線で, 持続予報の AC を示した。リードタイム 5 日まで以降は, 1 か月予報の AC が, 持続予報の AC より大きくなる。

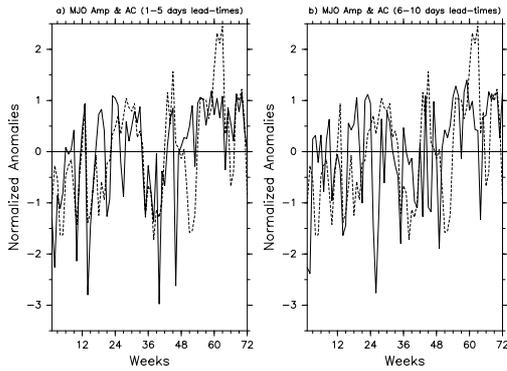
次に, AC を冬季ごとに平均し, 年による違いを調べた。Fig. 5 から, 予報間のばらつきが大きいものの, 2003 年 10 月~2004 年 4 月の予測値の予測精度が高い傾向があることがわかる。これは, 前述したモデルの改良や初期値の改良が関係していると考えられる。また, 2003 年 10 月~2004 年 4 月は MJO の活発期であるので, 第 3.2 節で示す MJO の



**Fig. 6** Temporal correlation of low-pass filtered  $\chi_{200}$  between forecast and analysis. Figures are provided every three days between 5 days and 14 days lead-times. The contour interval is 0.1. Shading indicates values greater than the 99% confidence level (0.42, the degree of freedom is 34.).



**Fig. 7** Principal component analysis of intraseasonally bandpass filtered  $\chi_{200}$  anomalies in the tropics (30°S-30°N). a) 1st eigenvector, b) PC1 time series, c) 2nd eigenvector, d) PC2 time series. Dashed lines along the horizontal axis in b) and d) indicate 1.5 standard deviations. Negative values are stippled.



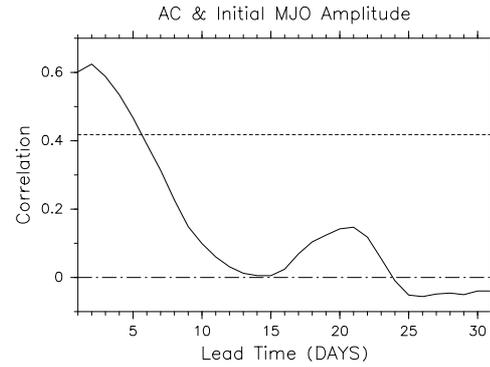
**Fig. 8** The amplitude of the MJO (dashed lines) and ACs (solid lines) averaged for 1-5 days lead-times (a) and for 6-10 days lead-times (b). Horizontal axis denotes weeks. Variables are normalized by their standard deviations.

振幅との関係が関連していると考えられる。

各リードタイムごとに、全事例で計算される予測値偏差と解析値偏差との相関係数を熱帯域 (30°S-30°N) で求めた (Fig. 6)。リードタイム 5 日では、赤道域の、特に、南アメリカ大陸上で、相対的に値が小さい。リードタイム 8 日では、赤道西太平洋や南アメリカ大陸上で、0.5 を下回る領域が見られる。この赤道域で相関が小さい特徴は、予測期間が長くなるに従い、東西方向に広がる。

### 3.2 予測精度と初期値の MJO の振幅

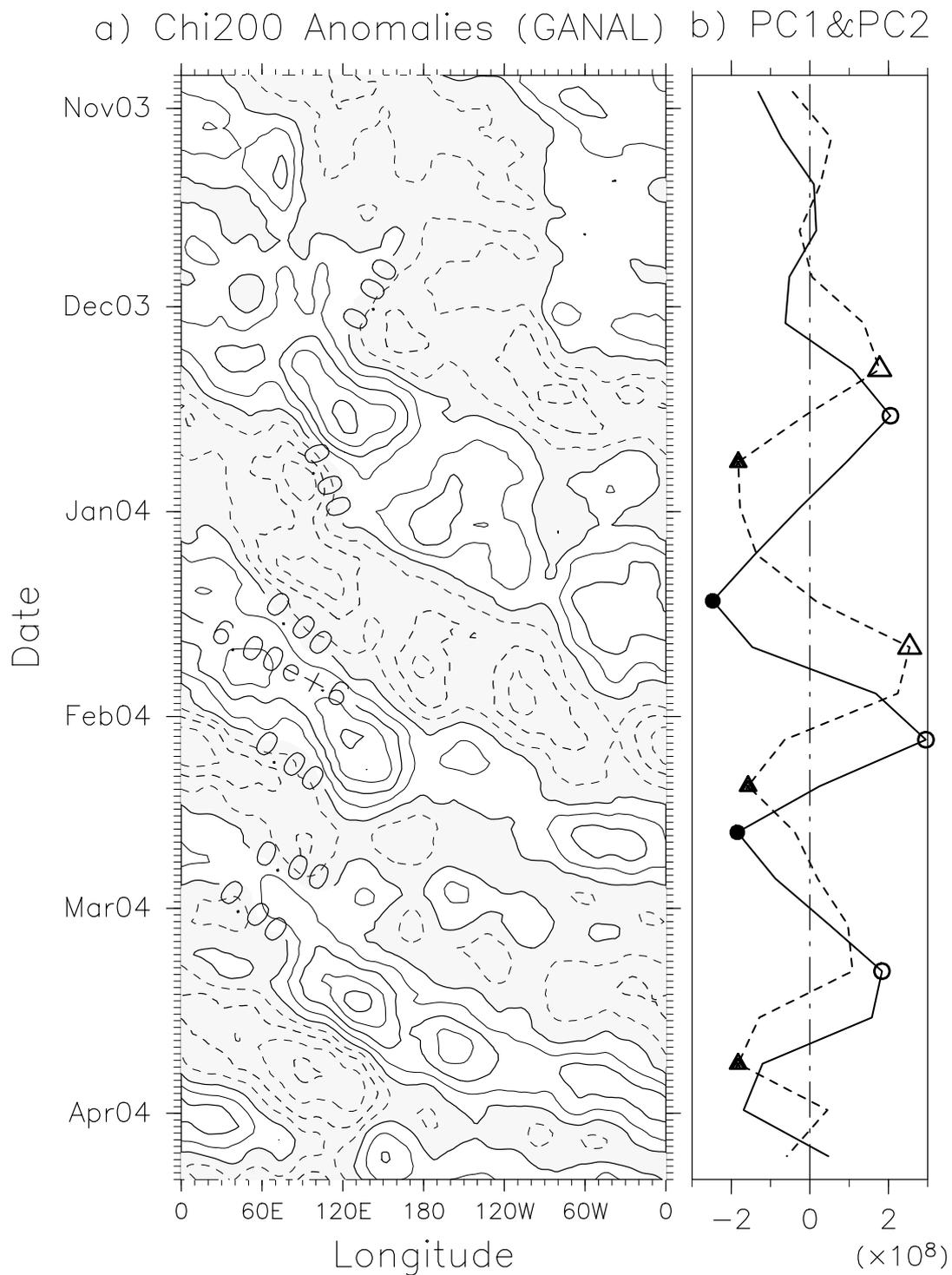
予測精度と初期値における MJO の振幅との関係を調べる。MJO の振幅は次のように定義した。週平均した GANAL データを用いて、2001~2004 年の 10 月最終週から 4 月第 2 週 (合計 72 週間) で、熱帯域 (30°S-30°N) の  $\chi_{200}$  偏差に対して、主成分解析を行った (Fig. 7)。なお、季節内時間スケールについて調べるため、偏差に対して 3 週間から 14 週間のバンドパスフィルターを適用した。第 1 固有ベクトル (Fig. 7a) と第 2 固有ベクトル (Fig. 7c) の寄与率は、それぞれ、44.5 % と 31.0 % である。これらの固有ベクトルは、MJO のパターンとしてよく知られている (e.g. Lorenc 1984)。ここで、MJO の振幅  $A(t)$  を、第 1 主成分と第 2 主成分の時系列によって、 $A(t) = [PC1^2(t) + PC2^2(t)]^{1/2}$  (cf. Matthews 2000) と定義する。Fig. 8 の赤線は MJO の振幅  $A(t)$  を示している。この振幅と、前節で計算した AC の関係を調べる。ここでは、同じ週で AC を平均し、週ごとの予測精度について解析する。



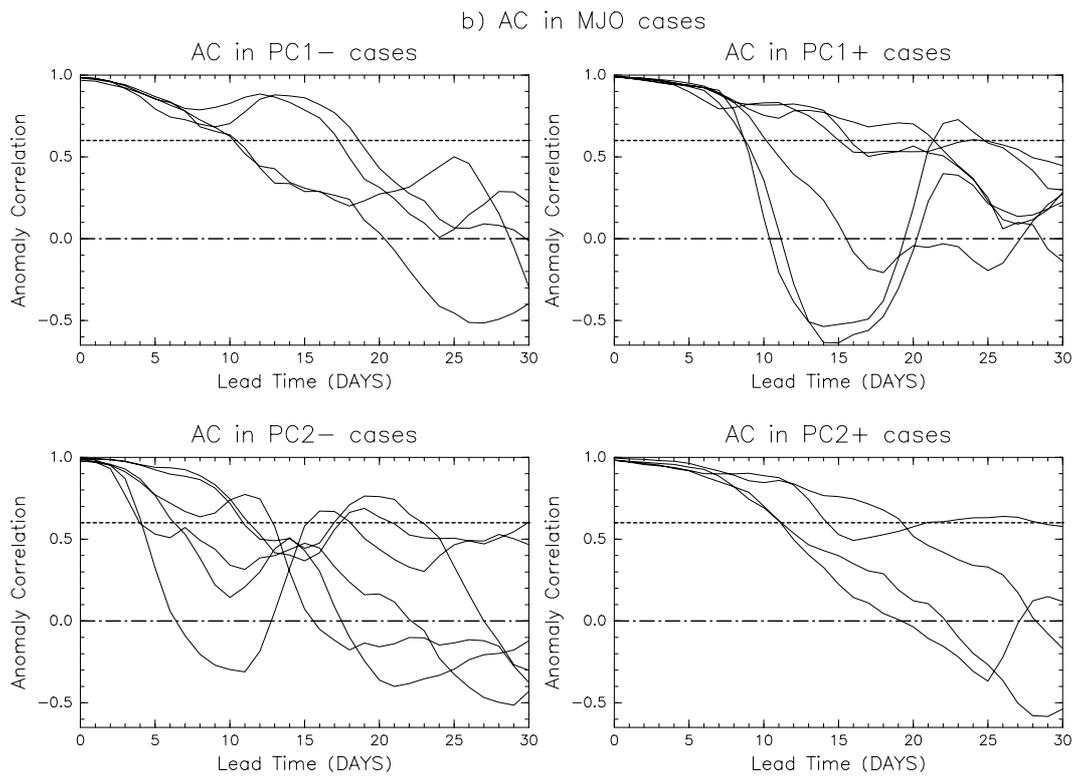
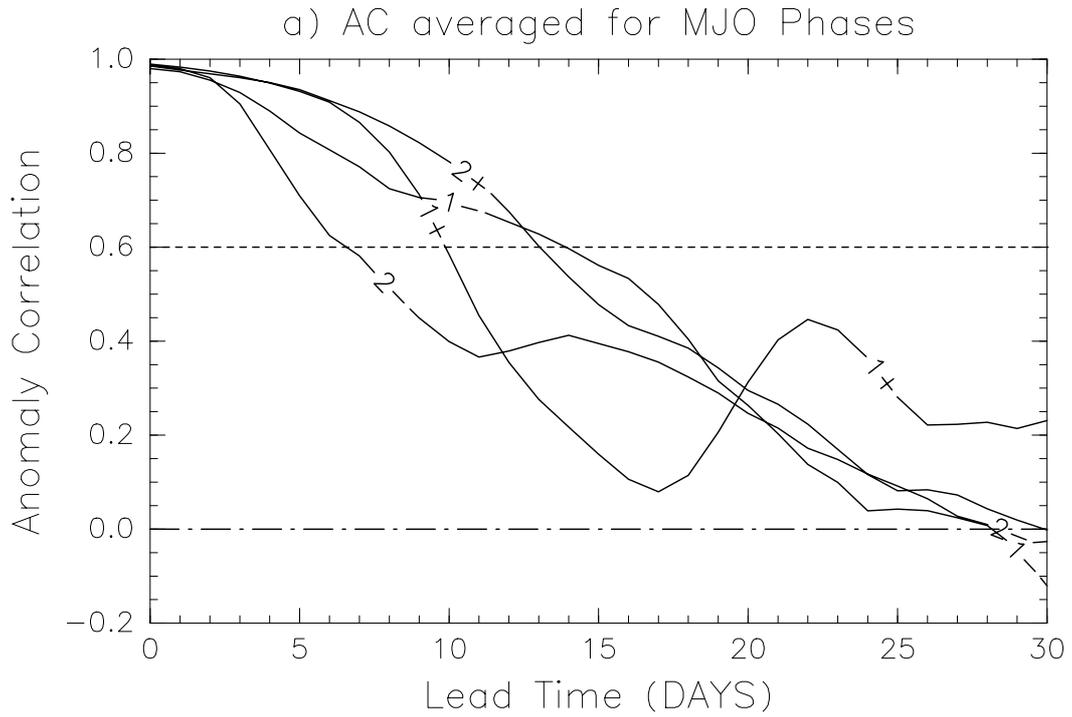
**Fig. 9** Correlation between the ACs and the initial MJO amplitudes as a function of lead-time. The horizontal dashed line denotes 99 % confidence level.

Fig. 8a と b の黒線は、それぞれ、リードタイム 1~5 日、リードタイム 6~10 日で平均した AC の大きさを示している。リードタイム 1~5 日 (Fig. 8a) では、AC と MJO の振幅との相関係数は 0.57 であり、MJO の予測精度はその振幅と関連していることがわかる。振幅の自己相関係数における  $e$ -folding time から、3 週間ごとに独立したイベントが起こると仮定すると、99% 有意水準は 0.42 である。従って、初期値における MJO の振幅が大きいとき、気象庁 1 か月予報モデルの MJO の予測は、予報の初期 (1~5 日) によりことを示している。これは Jones et al.(2000) の結果と一致している。なお、2003 年 6 月以前のみで計算した相関係数は 0.57、それ以降のみで計算した相関係数もまた 0.55 であり、この特徴は共通している。一方、リードタイム 6~10 日 (Fig. 8b) では、両者の相関係数は 0.23 で、有意水準を下回るため、この関係は見られない。

次に、AC の大きさと初期値の MJO の振幅の間の相関係数を、リードタイムごとに調べた。Fig. 9 で示されているように、相関係数はリードタイム 5 日まで有意である。なお、低周波フィルターを適用していない予測値を用いて Fig. 9 と同様の解析を行ったところ、リードタイム 6 日まで相関係数は有意であった。これは、両者の関係が、9 日の移動平均をする際に、初期のリードタイムで使われた解析値によるものではないことを確認している。以上から、初期値の MJO の振幅が大きいとき、気象庁 1 か月予報における MJO の予測は、リードタイム 5 日までではよい傾向があるが、それ以降のリードタイムでは MJO の振幅と予測精度に有意な関係は見られないことがわかった。



**Fig. 10** a) Longitude-time diagrams of low-pass filtered  $\chi_{200}$  anomalies in the equatorial region ( $10^{\circ}\text{S}$ - $10^{\circ}\text{N}$ ) by the GANAL Dataset. Negative values are stippled. b) PC timeseries as shown in **Fig. 7**. Circles and triangles represent the weeks selected for initial conditions with the strong MJO events.



**Fig. 11** ACs averaged in different MJO phases. The ACs are calculated in the same way as in **Fig. 4**. a) “1+”, “1-”, “2+”, and “2-” denote values averaged in cases of PC1+, PC1-, PC2+, and PC2-, respectively. b) ACs shown for cases in four phases.

### 3.3 予測精度と初期値のMJOの位相

予測精度と、初期値のMJOの位相の間の関係を、2003年10月27日～2004年4月11日を初期値とする予測値について調べた。ここで、強いMJOの活動度をもつ期間を、第1、もしくは、第2主成分スコアが、標準偏差の1.5倍を上回るときと定義する (cf. Hendon et al., 2000)。なお、この標準偏差は72週で計算した値である (Fig. 7b, dの横軸に平行な点線)。すなわち、第1主成分が標準偏差の1.5倍を上回るとき (PC1+・Fig. 10bの白丸)、第1主成分が標準偏差の-1.5倍を下回るとき (PC1-・Fig. 10bの黒丸)、第2主成分が標準偏差の1.5倍を上回るとき (PC2+・Fig. 10bの白三角)、第2主成分が標準偏差の-1.5倍を下回るとき (PC2-・Fig. 10bの黒三角)、の4つの位相について調べた。2週以上連続して基準値を上回る場合は、最も大きなスコアの週を選択した。PC1+, PC1-, PC2+, PC2-として、それぞれ、6(3)、4(2)、4(2)、6(3)個の予測値(週)を得た。

Fig. 11aは、4つの各位相で平均したACの大きさを示している。この図から、PC2+ (“+”の文字がある線)が最も高く、PC2- (“-”の文字がある線)が最も低い傾向があることがわかる。PC2+は、熱帯インド洋上に発散偏差、熱帯中央太平洋上に収束偏差がある事例、PC2-はその逆符号のパターンである。しかし、PC1+, PC1-, PC2+でACの違いは小さい。Fig. 11bは、各位相ごとの予測値に対するACを示しているが、事例間のばらつきが非常に大きい。この位相の違いについては、その要因を含めてさらに詳細な解析をする必要がある。

### 4. 2004年3月10日・11日の予測値の事例解析

2004年3月10日を初期値とする予測 (Run1) のACと、2004年3月11日を初期値とする予測 (Run2) のACを示したのが、Fig. 12である。ここで、ACを予測値と解析値の赤道域 $\chi_{200}$ 偏差で計算しているが、低周波フィルターは使用していない。なお、実際の日付にあわせて、Run2のACをRun1のACから、1日ずらして示している。ACはともに、3月22日 (Run1のリードタイム12日)まで、0.6を上回り、また両者の違いが少ない。ところが、3月22日以降、Run1のACで高い値が続くが、Run2のACは急激に減少する。この特徴について、どのような状況であったのかについて調べた。なお、本節では、リードタイムによる違いを詳細に示すために低周波フィルターは使用しない。

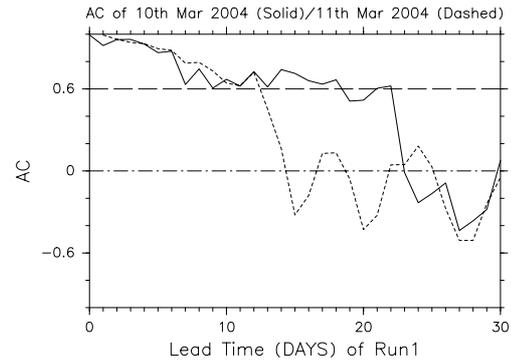


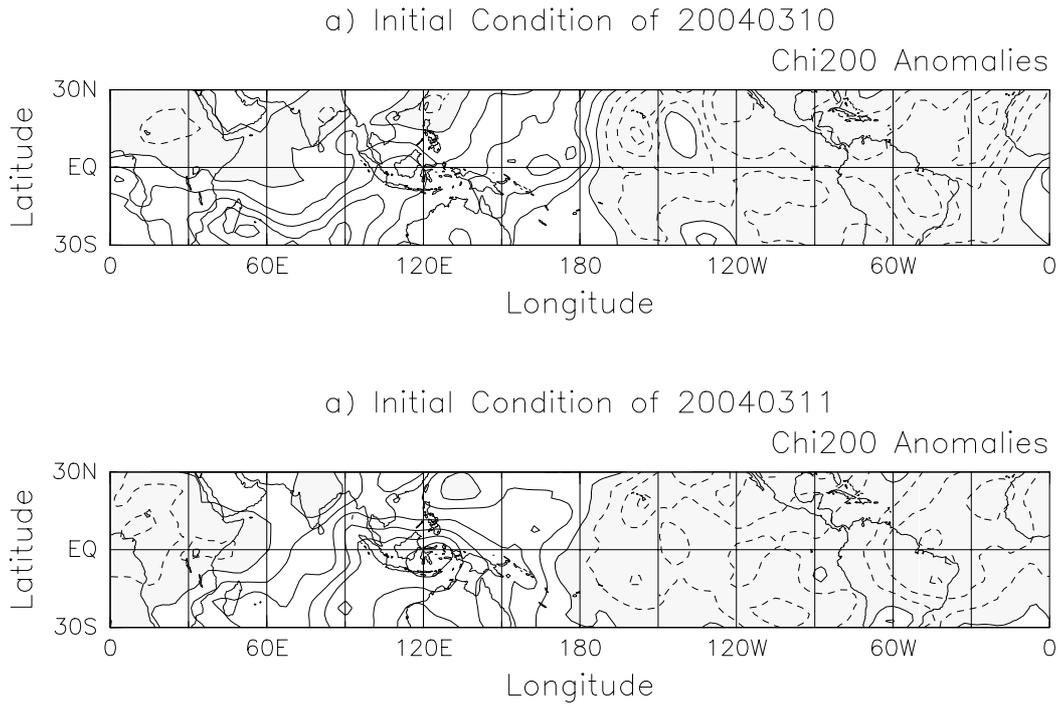
Fig. 12 ACs for no-time-filtered  $\chi_{200}$  anomalies in the equatorial region (10°S-10°N). Solid line shows ACs for Run1 (the initial date was 12UTC 10th Mar. 2004), and dashed line shows ACs for Run 2 (the initial date was 12UTC 11th Mar. 2004).

Fig. 13はRun1とRun2の初期値の $\chi_{200}$ 偏差を示している。3月10日に、熱帯南半球インド洋から海洋大陸上に発散偏差、南アメリカ大陸上に収束偏差がある。3月11日には、海洋大陸上に発散偏差があり、前日より値が大きい。また東西波数1の特徴が熱帯全体に広がっている。

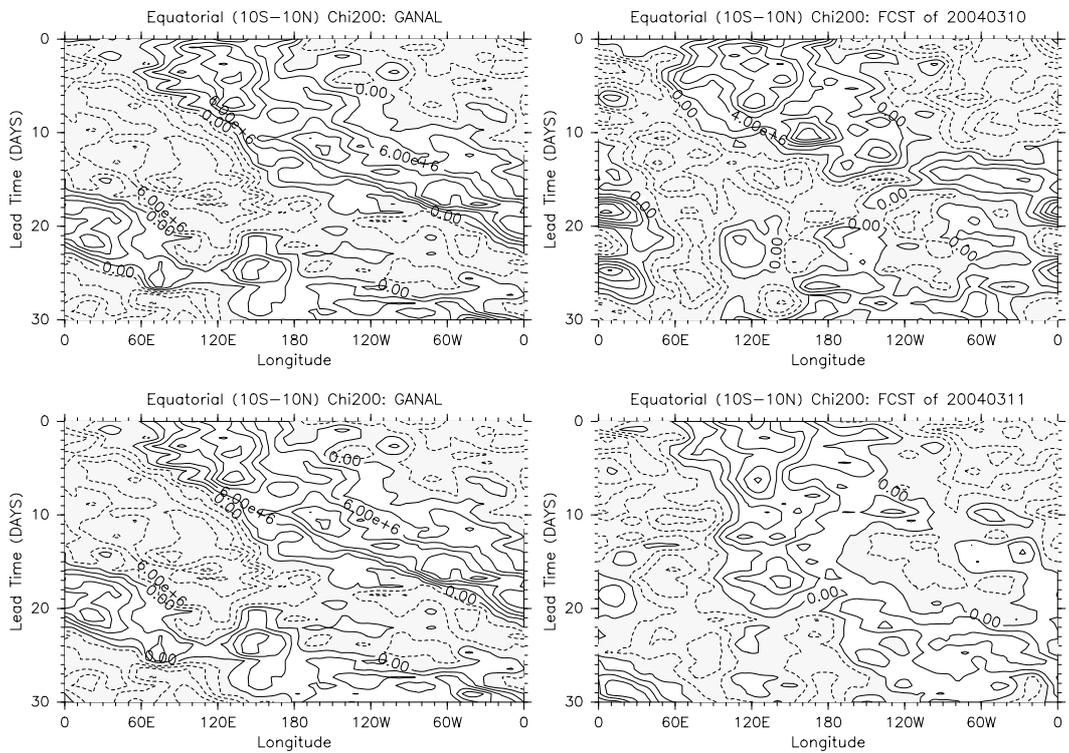
Fig. 14は解析値と予測値の赤道域の経度時間断面図を示している。まず、解析値に注目する。この予測期間において、初期には、海洋大陸上にある発散偏差が、約3m/sでゆっくりと東進している。3月22日 (Run1のリードタイム12日)付近で、よく知られた、日付変更線付近で位相速度が速くなる特徴が見られ、それ以降、約25m/sで東進する。従って、上記でACの違いの分岐点となった3月22日は、この位相速度が変化する特徴と関連していることが考えられる。

次に、予測値について調べると、Run1で、偏差の大きさが解析値に比べて小さいものの、日付変更線付近からアフリカ大陸上まで発散偏差が東進する特徴が見られる。この特徴は、Run2にはなく、発散偏差はリードタイム18日以前には海洋大陸上でほぼ停滞し、それ以降に東進する。

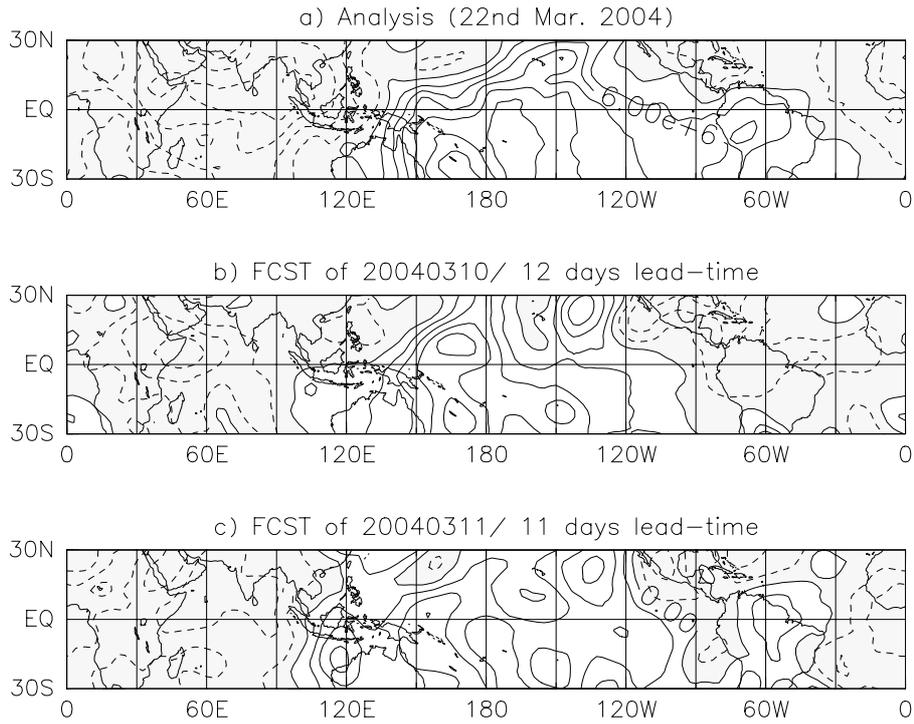
この違いについて、平面図でさらに示す。Fig. 15は、ACの違いが生じる直前の3月22日 (Run1のリードタイム12日)の $\chi_{200}$ 偏差である。解析値 (Fig. 15a)では、日付変更線付近で最大となる東西波数1の $\chi_{200}$ 偏差が顕著である。3月22日の予測値 (Fig. 15b, c)はともに、偏差の大きさが小さいものの、東西波数1の構造を示している。ただし、Run2の速度ポテンシャル偏差はRun1より小



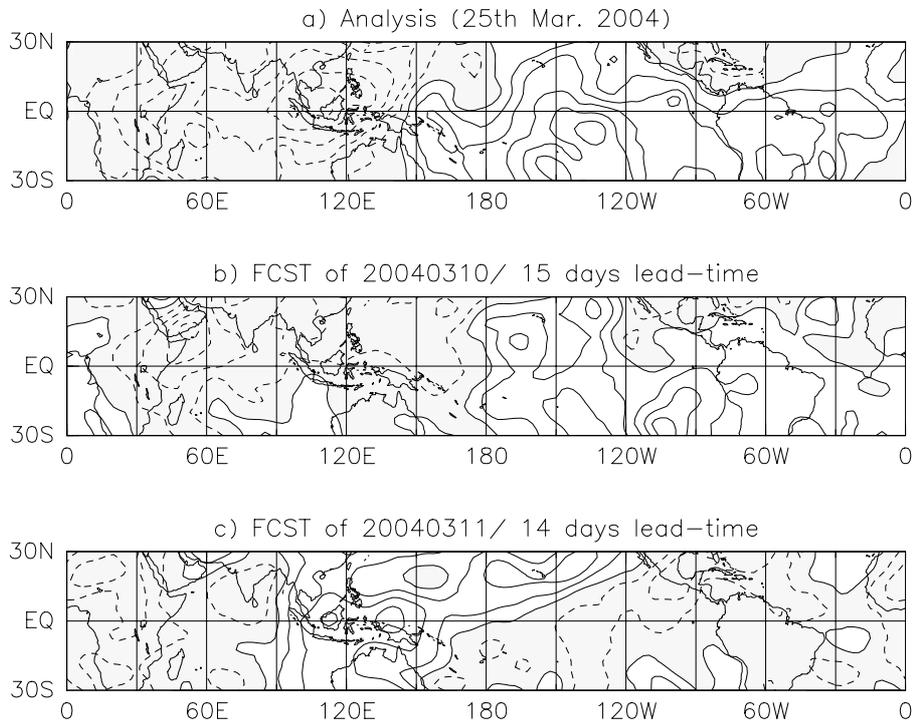
**Fig. 13**  $\chi_{200}$  anomalies on a) 10th Mar. 2004 and b) 11th Mar. 2004. Negative values are stippled.



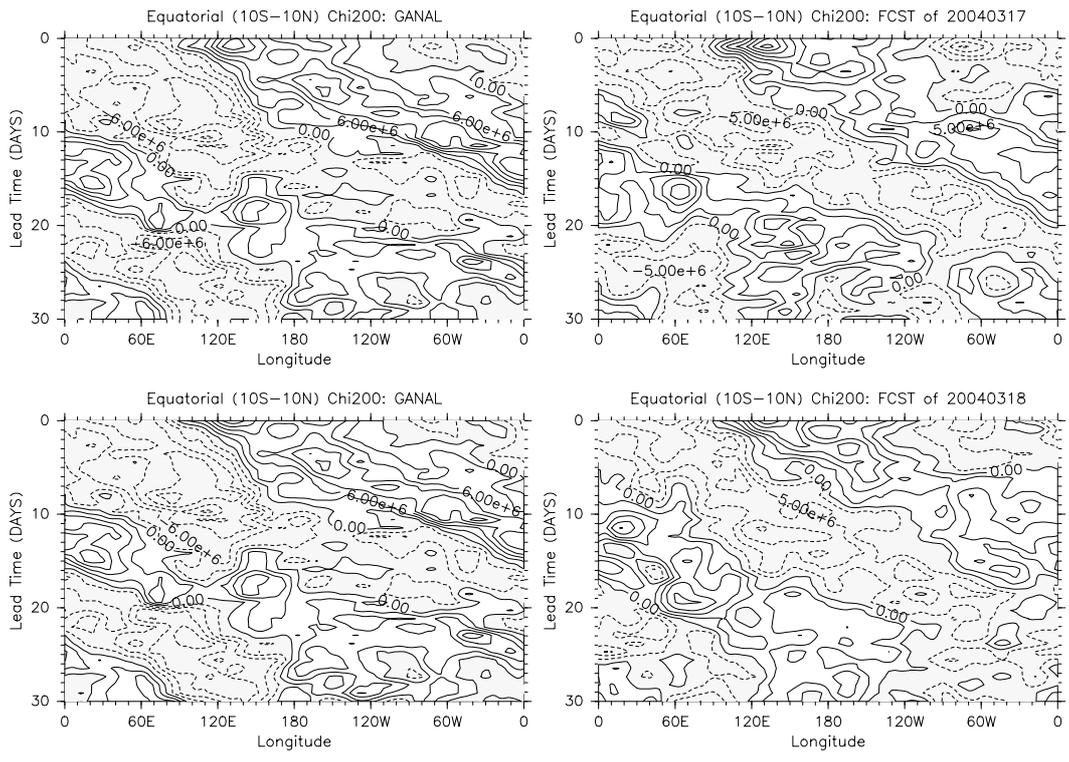
**Fig. 14** Hövmeller diagrams of equatorial  $\chi_{200}$  anomalies. Upper (lower) right panel shows the results of Run1 (Run2). Panels in the left column show the analyses during the corresponding period. Negative values are stippled.



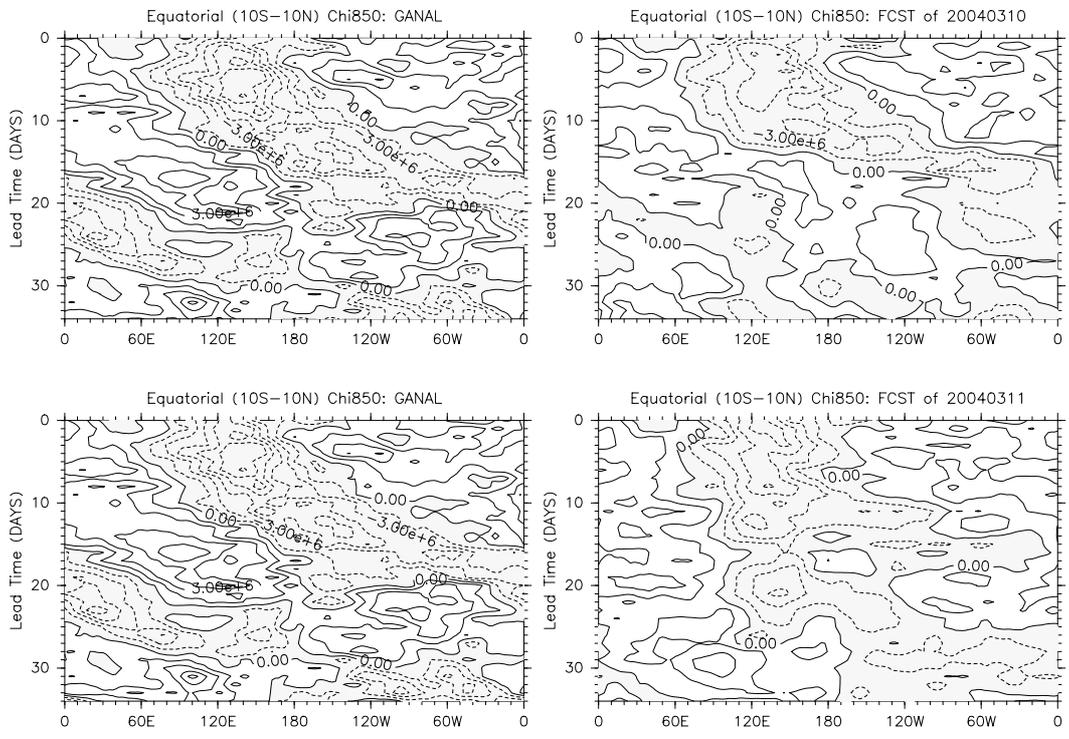
**Fig. 15**  $\chi_{200}$  anomalies on 22nd Mar. 2004. a) the analysis, b) 12-day forecast of Run1, c) 11-day forecast of Run2. Negative values are stippled.



**Fig. 16**  $\chi_{200}$  anomalies on 25nd Mar. 2004. a) the analysis, b) 15-day forecast of Run1, c) 14-day forecast of Run2. Negative values are stippled.



**Fig. 17** Same as **Fig. 14**, except that the initial dates are 17th Mar. 2004 and 18th Mar. 2004. Negative values are stippled.



**Fig. 18** Same as **Fig. 14**, except that the variables are velocity potentials on 850 hPa. Negative values are stippled.

さい。

次に、Fig. 16 は 3 日後の、3 月 25 日の  $\chi_{200}$  偏差を示している。解析値は 150W ~ 120W で最大となる東西波数 1 の構造で特徴づけられている。Run1 の予測値 (Fig. 16b) は、偏差の大きさが小さいが、解析値と同様に、熱帯中・東部太平洋で発散偏差となる特徴を示す。しかし、Run2 (Fig. 16c) の発散偏差は海洋大陸上に限られている。

翌週の予測値について調べた。Fig. 17 は、2004 年 3 月 17 日・18 日を初期値とする予測値と、対応する期間の解析値の経度時間断面図を示している。3 月 17 日・18 日からの予測値はともに、発散偏差が日付変更線付近から東進する特徴を示している。またリードタイム 15 日以降の、アフリカ大陸上からインド洋上を東進する擾乱の特徴も予測値で見ることができる。Run1 のリードタイム 12 ~ 15 日に相当するのは、3 月 17 日からの予測値のリードタイム 5 ~ 8 日である。3 月 17 日からの予測値のこの期間においても、偏差が小さくなっている。

なお、この特徴が上部対流圏に限られたものかどうかを調べるために、850hPa 面速度ポテンシャル ( $\chi_{850}$ ) を調べた。Fig. 18 は赤道域  $\chi_{850}$  偏差の経度時間断面図を示している。 $\chi_{200}$  偏差と対応していて、Run1 で収束偏差が日付変更線付近から大西洋上まで東進するが、Run2 では、そのような特徴は見られない。

## 5. まとめ

2001 年 ~ 2004 年の北半球冬季の期間で、気象庁 1 か月予報結果を用いて MJO の予測可能性を調べた。赤道域で低周波フィルターを施した 200hPa 面速度ポテンシャル偏差に対する AC の平均値は、リードタイム 7 日まで 0.6 を上回った。2003 年 10 月 ~ 2004 年 4 月の予測値の予測精度は他の冬季より高い傾向がある。熱帯領域内では、赤道上で、相対的に早いリードタイムで、予測精度が下がる傾向がある。

次に、予測精度と初期値の MJO との関係調べた。まず、熱帯域で、季節内時間スケールの  $\chi_{200}$  偏差に対して主成分解析を行った。その第 1 主成分と第 2 主成分に基づいて定義した MJO の振幅と予測精度の関係調べた。リードタイム 1 ~ 5 日では、AC の変動は MJO の振幅の変動と、統計的に有意に関連していた。これは、初期時刻における MJO の振幅が大きいとき、気象庁 1 か月予報の赤道域の予測がよいことを示している。しかし、この関係は 5 日より長いリードタイムでは見られなかった。

次に、初期値の MJO の位相に対して、予測精度がどのように依存するのかわ、第 1 主成分と第 2 主成分の時系列を用いて事例を選択的に合成することで調べた。その結果、熱帯インド洋上に発散偏差、熱帯中央太平洋上に収束偏差がある場合が相対的に予測精度が高く、その逆パターンの場合が低い傾向が見られた。しかし位相間の違いは小さく、事例ごとのばらつきが大きいため、さらに詳細な解析が必要である。

2004 年 3 月 10 日を初期値とする予測 (Run1) と 3 月 11 日を初期値とする予測 (Run2) に関する事例解析を行った。3 月 22 日 (Run1 のリードタイム 12 日) 以降、Run1 で高い値が続くが、Run2 の AC は急激に減少する。3 月 22 日付近で、MJO に伴う発散偏差が日付変更線付近で位相速度が速くなる特徴が見られる。Run1 で、偏差の大きさが解析値に比べて小さいものの、日付変更線付近からアフリカ大陸上まで発散偏差が東進する特徴が見られる。この特徴は、Run2 にはなく、発散偏差が海洋大陸上でほぼ停滞している。3 月 17 日・18 日からの予測値はともに、発散偏差が日付変更線付近から東進する特徴を示し、このような違いはない。 $\chi_{850}$  偏差は  $\chi_{200}$  偏差と対応していて、この違いは対流圏全体の変動に関連していることがわかる。

## 謝 辞

データを提供して頂いた、気象庁数値予報課ならびに気候情報課の皆様へ深く感謝いたします。図の作成には地球流体電脳ライブラリを用いました。

## 参考文献

- 気象庁, 2000: 新しい数値解析予報システム, 平成 12 年度数値予報研修テキスト, 気象業務支援センター.
- 経田正幸, 2000: 週間アンサンブル予報システムの性能, 平成 12 年度数値予報研修テキスト, 86-93, 気象業務支援センター.
- 経田正幸, 2002: 週間アンサンブル予報, 平成 14 年度数値予報研修テキスト, 30-34, 気象業務支援センター.
- 新保昭彦, 佐藤均, 古林絵里子, 2003: 1 か月予報の改善, 平成 15 年度季節予報研修テキスト, 15-23, 気象業務支援センター.
- 前田修平, 2001: モデルの系統誤差, 平成 13 年度季節予報研修テキスト, 36-42, 気象業務支援セ

- ンター.
- Boer, G. J., 1995: Analyzed and forecast large-scale tropical divergent flow. *Mon. Wea. Rev.*, **123**, 3539–3553.
- Chen, T.-C., and J. C. Alpert, 1990: Systematic errors in the annual and intraseasonal variations of the planetary-scale divergent circulation in NMC medium-range forecasts. *Mon. Wea. Rev.*, **118**, 2607–2623.
- Ferranti, L., T. N. Palmer, F. Molteni, and E. Klinker, 1990: Tropical-extratropical interaction associated with the 30-60 day oscillation and its impact on medium and extended range prediction. *J. Atmos. Soc.*, **47**, 2177–2199.
- Hendon, H. H., and B. Liebmann, 1990: A composite study of onset of the Australian summer monsoon. *J. Atmos. Soc.*, **47**, 2227–2240.
- Hendon, H. H., B. Liebmann, M. Newman, and J. D. Glick, 2000: Medium-range forecast errors associated with active episodes of the Madden-Julian oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 69–86.
- Jones, C., D. E. Waliser, J.-K. E. Schemm, and W. K. M. Lau, 2000: Prediction skill of the Madden and Julian oscillation in dynamical extended range forecasts. *Clim. Dyn.*, **16**, 273–289.
- Lau, K.-M. and P. H. Chang, 1986: Aspects of the 40-50 day oscillation during the northern summer as inferred from outgoing longwave radiation. *Mon. Wea. Rev.*, **114**, 1354–1367.
- Lau, K.-M. and F. C. Chang, 1992: Tropical intraseasonal oscillation and its prediction by the NMC operational model. *J. Climate*, **5**, 1365–1378.
- Liebmann, B., H. H. Hendon, and J. D. Glick, 1994: The relationship between tropical cyclones of the western Pacific and Indian Oceans and the Madden-Julian oscillation. *J. Meteor. Soc. Japan*, **72**, 401–412.
- Lo, F. and H. H. Hendon, 2000: Empirical extended-range prediction of the Madden-Julian oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 2528–2543.
- Lorec, A. C., 1984: The evolution of planetary-scale 200 mb divergent flow during the FGGE year. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **110**, 427–441.
- Madden, R. A. and P. R. Julian, 1994: Observation of the 40-50 day tropical oscillation — A review. *Mon. Wea. Rev.*, **122**, 814–837.
- Matthews, A. J., 2000: Propagation mechanisms for the Madden-Julian oscillation. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **126**, 2637–2652.
- Nakazawa, T., 1986: Intraseasonal variations of OLR in the tropics during the FGGE year. *J. Meteor. Soc. Japan*, **64**, 17–34.
- Randall, D. A. and D.-M. Pan, 1993: Implementation of the Arakawa-Schubert cumulus parameterization with a prognostic closure. *The representation of cumulus convection in numerical models.*, **American Meteorological Society**, 137–147.
- Slingo, J. M. and coauthors, 1996: Intraseasonal oscillations in 15 atmospheric general circulation models: results from an AMIP diagnostic subproject. *Clim. Dyn.*, **12**, 325–357.
- Toth, Z. and E. Kalnay, 1997: Ensemble forecasting at NCEP and the breeding method. *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 3297–3319.
- Tsuyuki, T., 1990: Prediction of the 30-60 day oscillation with JMA global model and its impact on extended-range forecasts. *J. Meteor. Soc. Japan*, **68**, 183–201.
- Yasunari, T., 1979: Cloudiness fluctuations associated with the Northern Hemisphere monsoon. *J. Meteor. Soc. Japan*, **58**, 225–229.

## Predictability of the Madden and Julian Oscillation in JMA one-month forecasts

Takuji KUBOTA, Hitoshi MUKOUGAWA, Tatsuya IWASHIMA

### Synopsis

Predictability of the Madden and Julian Oscillation (MJO) is investigated using Japan Meteorological Agency (JMA) operational 1-month forecasts for Northern Hemisphere winter seasons during 2001-2004. The anomaly correlations (ACs), which are utilized as a measure of forecast skill, for low-pass filtered velocity potential on 200 hPa surface ( $\chi_{200}$ ) anomalies in equatorial region are above 0.6 until 7 days lead-time. ACs tend to become larger than the averaged values when the MJO is active. Relatively skill-less forecasts are found for the initial conditions with divergent anomalies over the Central Pacific, although the number of examined cases is not large enough to deduce a rigorous result for the relationship between forecast skill and the phase of the MJO. A large difference between the AC values with the initial conditions on Wednesday and Thursday is found for runs with initial dates of 10th/11th March 2004. This result suggests that the representation of eastward propagating disturbance over the tropical eastern Pacific is a key for the extended-range prediction of MJO.

**Keywords :** Madden and Julian Oscillation, Predictability, Ensemble forecast