

## 熱帯域季節内振動の活動度と予測可能性との関係

谷口 博・向川 均・近本喜光\*・久保田拓志\*\*・前田修平\*\*\*・佐藤 均\*\*\*・伊藤 明\*\*\*

\* 東京大学気候システム研究センター

\*\* 宇宙航空研究開発機構地球観測研究センター

\*\*\* 気象庁気候情報課

### 要 旨

気象庁の現業1ヶ月アンサンブル予報システムにおいて改良した初期摂動作成スキーム(BGM法)を用いて、熱帯域における季節内振動(MJO)の予測可能性を調査した。最も成長する初期摂動の成長率は、MJOの振幅に対してはほぼ独立である一方で、MJOに伴う対流活発域がインド洋や西部太平洋にあるときには有意に小さくなった。また、この成長率は、北半球冬季と比べて北半球夏季に有意に大きくなる。これらの初期摂動の水平構造は、北半球冬季には東進する東西波数1成分が卓越するのに対し、北半球夏季には東進しない定在成分が顕著となることが明らかになった。

**キーワード：** 予測可能性, 熱帯域季節内振動, アンサンブル予報, 成長モード育成法

### 1. はじめに

Madden-Julian 振動(MJO)として知られている熱帯域季節内振動は、熱帯大気中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り、30日から60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(e.g., Madden and Julian, 1994)。MJOは、日本を含む中高緯度域の大気循環にも大きな影響を与えるため(Waliser et al., 2003; Jones et al., 2004)、その予測可能性を正しく評価することは重要である。また、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傾向に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)。しかしながら、熱帯域の季節内振動の予測精度とMJOの活動度との関係については一貫した結果が得られていないのが現状である(Boer, 1995; Jones et al., 2000; 久保田ら, 2005)。例えば、Jones et al. (2000)は、NCEP 中期予報モデルを用いて、MJOに伴う対流偏差が強い期間に、MJOの予測精度が僅かに良くなることを示した。一方、Boer (1995)は、ECMWFの予報シス

テムでは、MJOの予測精度がMJO自身の活動度にほとんど依存しないことを示している。また、MJOの位相と予測精度との関係については、Jones et al. (2000), Waliser et al. (2003)らによって調べられており、いずれもインド洋域でMJOに伴う発散場がある場合に予測精度が良くなることが示されている。

我々はこれまでの研究で、気象庁現業アンサンブル予報システムで用いられている初期摂動作成スキーム(BGM法; Toth and Kalnay, 1993, 1997)の改良を行い、熱帯域の大気循環場の予測可能性評価に適した初期摂動の作成に成功した(Chikamoto et al., 2007, 以降C07)。そこで本研究では、この改良された初期摂動作成スキームを用いて長期間にわたる初期摂動を作成し、摂動の成長率などの力学的特徴とMJOの活動度との関係について調査を行い、一貫した結果の得られていないMJOの活動度と予測可能性との関係について解析を行う。

### 2. 実験設定と解析手法

#### 2.1 熱帯域初期摂動の作成

本研究で使用したモデルは、2007年4月に更新さ

れ、気象庁現業アンサンブル予報システムで用いられている TL159V0703C (GSM0703) である。初期摂動作成スキームには BGM 法 (Toth and Kalnay 1993, 1997) を用いる。本研究で使用する BGM 法は、C07 と同様の改良が施されている。改良点は以下のとおりである：(1) 緯度 20 度より極側の摂動は 0 とする、(2) 熱帯域 20S-20N における 200-hPa 速度ポテンシャル ( $\chi_{200}$ ) ノルムを用いて摂動を規格化する、(3) ノルムの大きさを  $\chi_{200}$  における気候学的変動の 10.0% とする (本実験では、C07 で得られた空間スケールの大きい「大規模モード」を抽出するために使用するノルムの大きさが C07 とは異なる。C07 と同期の基本場で実行した予備実験によれば、空間スケールの小さな「対流モード」を除去し大規模モードだけを抽出するのに適したノルムの大きさは、 $\chi_{200}$  の気候学的変動の 10.0% 程度である (C07 では、3.3% 程度であった))、(4) 各摂動サイクルにおけるモデル積分時間を 24 時間として摂動を作成する。求めた初期摂動は 4 メンバーである。再解析データ JRA-25/JCDAS (Onogi et al., 2007) の日々の値を初期値に用いて、摂動を加えないコントロールラン 1 ケースと摂動を加えた摂動ラン 4 ケース、の計 5 ケースのアンサンブルメンバを用いる。境界条件として、COBE-SST から計算した日別 SST (日別気候値+初期時刻で計算した気候値からの偏差。予報期間中は固定) を毎時与える。初期摂動作成サイクルでの積分時間 ( $\Delta t$ ) は 24 時間である。初期摂動作成サイクルは 1996 年 4 月 1 日から開始し、2006 年 2 月 28 日までの期間を解析した。

## 2.2 解析手法

予報初期日における MJO の活動度、位相の定義には JRA-25/JCDAS の  $\chi_{200}$  の日平均値を用いる。1996 年~2006 年までの  $\chi_{200}$  の日平均値に 60 日の低域フィルター (Duchon, 1979) を施して気候値を作成する。さらに、気候値からの偏差に対して 30-90 日の帯域フィルターを施す。このようにして得られたデータに対して主成分分析を行い、第一(第二)モード EOF1 (EOF2) の時系数 PC1 (PC2) を用いて求められる

$$\sqrt{(PC1)^2 + (PC2)^2} \quad (1)$$

の値で MJO の活動度を定義する。Wheeler and Hendon (2004) に倣い、式 (1) の 91 日移動平均が予報期間の平均よりも 1.0 標準偏差 ( $1.0\sigma$ ) 上回る (下回る) 期間を MJO の活動の活発期 (衰退期) と定義した。また、MJO の位相は、EOF1, EOF2 の

時系数 PC1, PC2 の符号で定義した。このようにして定義した MJO の活動度、位相毎に初期摂動の成長率を計算し、予測可能性を評価する。初期摂動の成長率は以下のようにして求めた。まず、第  $k$  日における 24 時間 ( $\Delta t$ ) での摂動の成長率  $\alpha_k(\Delta t)$  は、メンバー毎に 20S-20N の領域で平均した  $\chi_{200}$  を用い、以下のようにして計算する：

$$\alpha_k(\Delta t) \equiv \frac{1}{\Delta t} \ln \frac{\|\mathbf{v}'_k(\Delta t)\|}{\|\mathbf{v}_k(0)\|}. \quad (2)$$

ここで、 $\mathbf{v}_k(0)$  は  $t=0$  (予報開始日  $k$ ) における  $\chi_{200}$  (初期摂動)、 $\mathbf{v}'_k(\Delta t)$  は  $t=\Delta t$  における  $\chi_{200}$  ( $t=\Delta t$  後の摂動) である。 $\|\cdot\|$  は 20S-20N における  $\chi_{200}$  の RMS (自乗平均) で定義したベクトル・の大きさ (ノルム) を表す。一方、 $N$  日間での成長率は、24 時間での成長率  $\alpha_k(\Delta t)$  を用いて、

$$\alpha_k(N\Delta t) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \alpha_k(\Delta t), \quad (3)$$

と定義した。

## 3. 結果

### 3.1 熱帯域季節内振動の活動度と初期摂動の成長率との関係

改良した初期摂動作成スキームを用いて得られた初期摂動の成長率は、全期間平均で 0.1 (1/day) となった。このことは、得られた初期摂動が全期間を通じて平均的に不安定であることを示唆しており、C07 の結果とも整合的である。次に、初期摂動の成長率と MJO の活動度との関係を Fig. 1 に示す。Fig. 1 の赤(青)丸印は、初期日が MJO 活発期(不活発期)である場合の誤差成長評価期間に対する 1p 摂動の成長率 (3) の平均値を示している。MJO の活動度 (活発期、不活発期) の判定規準を  $\pm 1.0\sigma$  とした場合には、MJO の活動度に依らず全評価期間にわたって平均成長率に有意な差は見られない。以上の特徴は、MJO の活動度を評価する際の指標には依らない。850-hPa, 200-hPa の東西風と OLR の結合 EOF の時系数を用いて定義した Wheeler and Hendon (2004) の MJO index を使用して同様の解析を行ったところ、 $1.0\sigma$  基準で MJO の活動度を区別した場合には、活動度により平均成長率に有意な差は見られなかった (図は示さない)。

### 3.2 熱帯域季節内振動の位相と初期摂動の成長率との関係

Fig. 2 は、初期摂動作成期間 (1996 年 4 月 1 日から

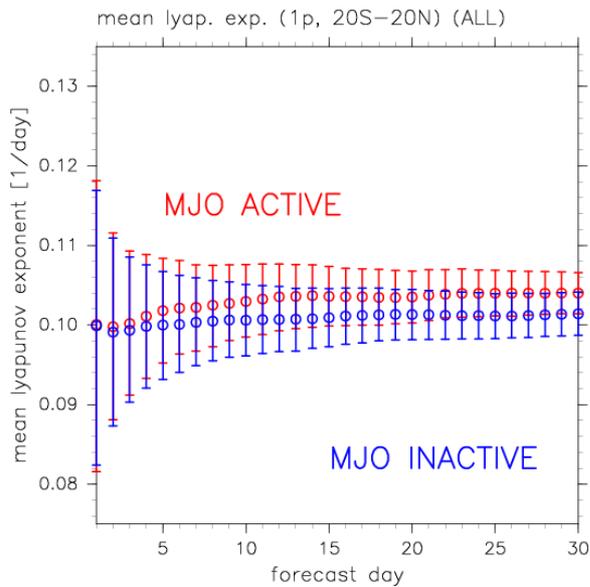


Fig. 1 The time-mean growth rate of the leading tropical bred vector (1stBV) for each MJO activity; active:  $>1\sigma$ , inactive:  $<-1\sigma$ . Horizontal and vertical axes are evaluation period (day) and time-mean growth rate (1/day). Red and blue circles indicate the time-mean growth rate for the periods of active MJO and inactive MJO, respectively. Error bar shows 95% confidence interval estimated by random-sampling method.

2006年2月28日)のJRA-25/JCDAS再解析データの $\chi_{200}$ の気候値からの偏差に対し30-90日の帯域フィルタを施したデータに対する主成分分析結果であ

る。良く知られているように、西太平洋の海洋大陸上で変動の大きい第一モードと、インド洋域に変動の中心域が存在する第二モードの構造が現れている。この第一、第二モードの時系数(PC1, PC2)の符号により、基本場(背景場)のMJOの位相を定義し、

$$\sqrt{(PC1)^2 + (PC2)^2} \geq 1.0 \quad (4)$$

の基準を満たすMJO活発期の各位相毎に求めた1p摂動の平均成長率をFig. 3に示す。このFig. 3から、インド洋域に発散場があるとき(PC2-)に、最も初期摂動の平均成長率が小さいことがわかる。次いで、西太平洋の海洋大陸上が発散場にあるとき(PC1+)に、初期摂動の平均成長率が小さくなる。但し、MJOの活動度毎に初期摂動の成長率を評価した場合と比べて、平均値のばらつき(エラーバー)が大きく、有意な差が認められるのは評価期間0~15日程度である。

### 3.3 初期摂動の時空間構造 -活動度毎の違い-

3.1節で得られた結果の解釈を行うため、最も成長するアンサンブルメンバの初期摂動(1p)の $\chi_{200}$ 偏差について主成分分析を実施した。Fig. 4は、全期間にわたって実施した初期摂動(1p)の $\chi_{200}$ 偏差に対する主成分分析の結果である。C07と同様に、得られた初期摂動は水平スケールの大きな「大規模モード」の特徴を有しており、「対流モード」とは異なる。また、第一、第二モードは、Fig. 2と同様に、

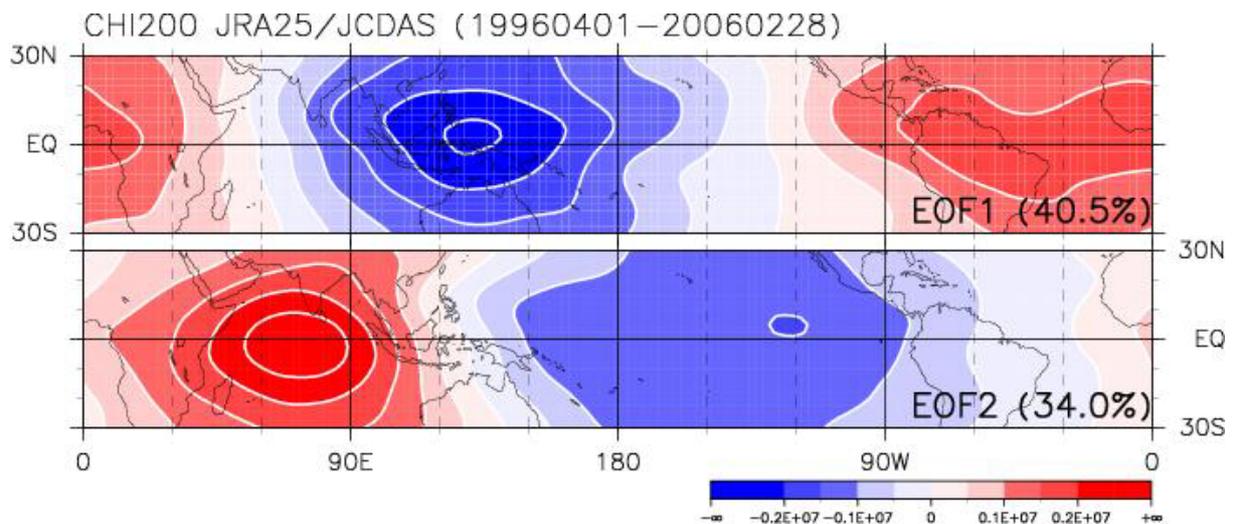


Fig. 2 The leading eigenvectors 1 (top, EOF1) and 2 (bottom, EOF2) of principal components of  $\chi_{200}$  with 30-90 day filtered for the period from April 1, 1996 to February 28, 2006 by JRA-25/JCDAS data. EOF1 and EOF2 accounted for 40.5% and 34.0%, respectively. Blue and red end of the spectrum indicate the region of divergence and convergence of velocity field, respectively. The contour intervals are  $5.0 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ .

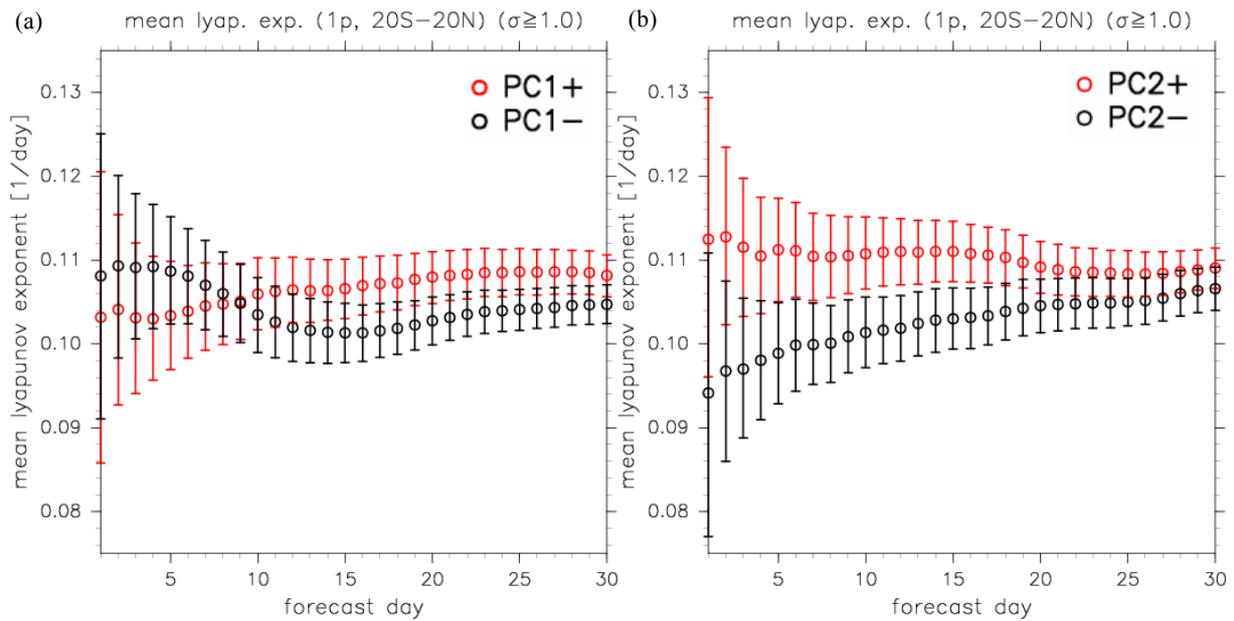


Fig. 3 The time-mean growth rate of 1stBV for each MJO phase in active phase. Horizontal and vertical axes are evaluation period (day) and time-mean growth rate (1/day). Red and black circles indicate the time-mean growth rate for positive score phase and negative score phase of principal components of velocity potential anomalies of 200-hPa (Fig. 2), respectively. Error bar shows 95% confidence interval estimated by random-sampling method. (a) For absolute value of EOF1 (Fig. 2, top) score (PC1) > 1 case, (b) for absolute value of EOF2 (Fig. 2, bottom) score (PC2) > 1 case.

それぞれ西太平洋の海洋大陸付近、インド洋域で収束/発散場が卓越する構造をもつ。同様の主成分分析を Fig. 1 の活発期と不活発期に分けて実施した結果を Fig. 5, 6 に示す。初期摂動の構造 (Fig. 5, 6) は、活動度に依らず Fig. 4 と同様の大規模構造が存在する。第一、第二モードの寄与率も、Fig. 5 と Fig. 6 で大差はない (活発期の寄与率の差がやや小さい)。次に、活動度毎の初期摂動の時空間構造と他の物

理量との関係を示す事例を Fig. 7 と Fig. 8 に示す。MJO 活発期 (Fig. 7a, Fig. 8a) の初期摂動では、東西波数 1 型の構造が明瞭に現れ、15 日～20 日程度で地球を周回する様子が見える。C07 で指摘されたように、初期摂動の東進速度はおおよそ 30 m/s であり、降水活動を伴わない乾燥ケルビン波と似た構造を持っている。MJO 不活発期 (Fig. 7b, Fig. 8b) の初期摂動の構造においても波数 1 型の構造が表れているものの、

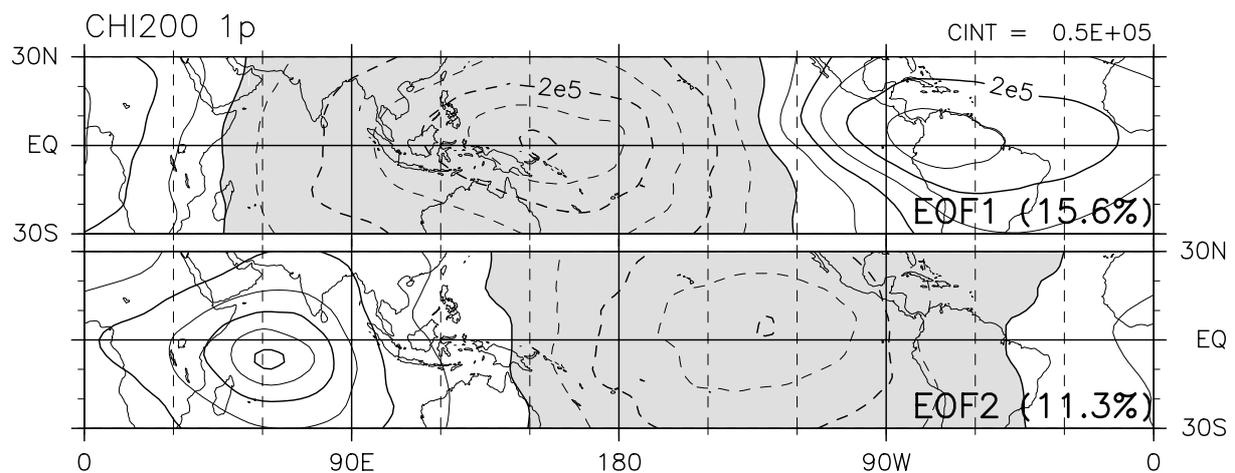


Fig. 4 The leading eigenvectors 1 (top, EOF1) and 2 (bottom, EOF2) of principal components of 1stBV anomalies from April 1, 1996 to February 28, 2006. EOF1 and EOF2 accounted for 15.6 % and 11.3 %, respectively. A shaded area indicates the region of divergence of velocity field. The contour intervals are  $5.0 \times 10^4 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ .

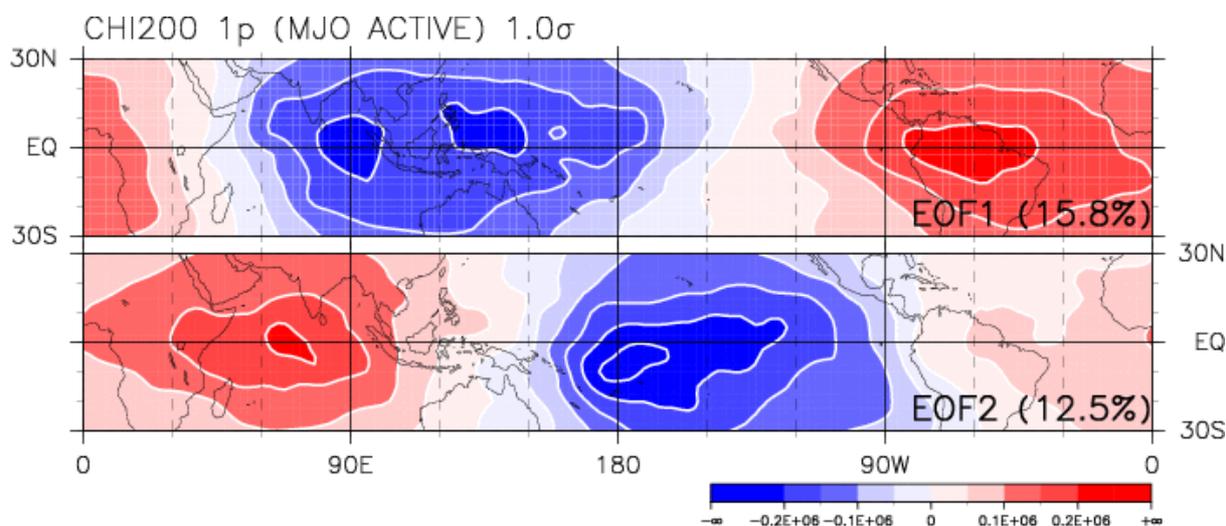


Fig. 5 Same as Fig. 4, but for MJO active phase case. EOF1 and EOF2 accounted for 15.8 % and 12.5 %, respectively. Blue and red end of the spectrum indicate the region of divergence and convergence of velocity field, respectively. The contour intervals are  $5.0 \times 10^4 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ .

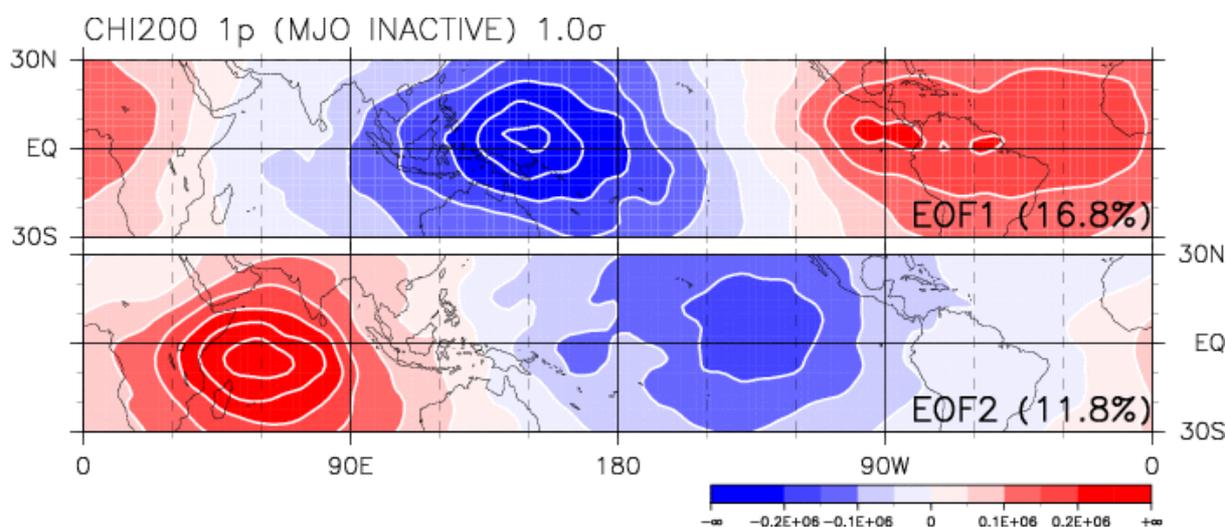


Fig. 6 Same as Fig. 5, but for MJO inactive phase case. EOF1 and EOF2 accounted for 16.8 % and 11.8 %, respectively. The contour intervals are  $5.0 \times 10^4 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ .

地球を周回するような東進構造や降水活動との関連性も明瞭に見ることが出来ない（初期摂動の時空間スペクトルに於いても活動度の差による明瞭な違いは存在しなかった。図は示さない）。これらの点で、今回の実験で得られた初期摂動は、活動度に依らず C07 と同様の特徴を持っていることが示唆される。

### 3.4 初期摂動の時空間構造 -位相毎の違い-

3.2 節の結果を考察する手掛かりとするため、JRA-25/JCDAS の  $\chi_{200}$  偏差の主成分分析から得られる各スコア (PC1, PC2) が極値をとるとき (Fig. 7

や Fig. 8 の赤/青色の曲線が極値を取る日時) の初期摂動 (1p) の構造とその背景場 (基本場) の構造それぞれの合成図を作成した (Fig. 9)。Fig. 9 をみると、初期摂動 (1p) の平均成長率が最も小さかった PC2- の位相では、初期摂動と背景場の構造はインド洋から西太平洋域にかけて逆位相の関係にあったことがわかる。これに対し、平均成長率が大きかった PC1- や PC2+ の位相では、主としてインド洋域で初期摂動と背景場に同位相の構造が存在し、PC2- とは異なる特徴が見られた。

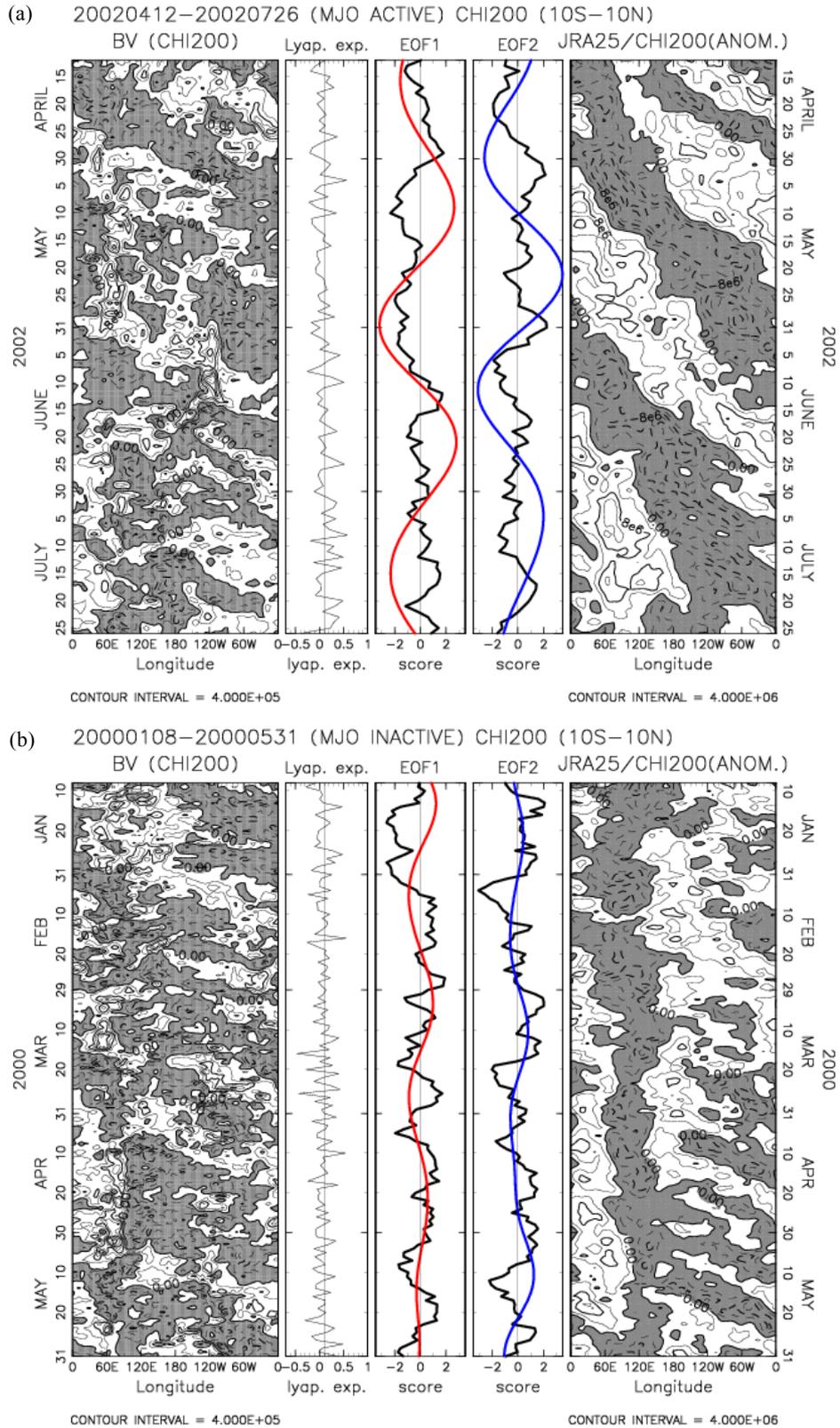


Fig. 7 Hovmoller diagram of  $\chi_{200}$  of 1stBV averaged over the 10S-10N region, growth rate of 1stBV, score of EOF1, score of EOF2 (black: 1stBV, blue: JRA-25), and hovmoller diagram of  $\chi_{200}$  anomalies of JRA-25 averaged over the 10S-10N region from the left, respectively. (a) Apr 12, 2002–July 26, 2002 for the case of active MJO phase, (b) Jan 8, 2000–May 31, 2000 for the case of inactive MJO phase. The contour intervals of left (right) hovmoller diagrams are  $4.0 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  ( $4.0 \times 10^6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ). A shaded area indicates the region of divergence of velocity field.

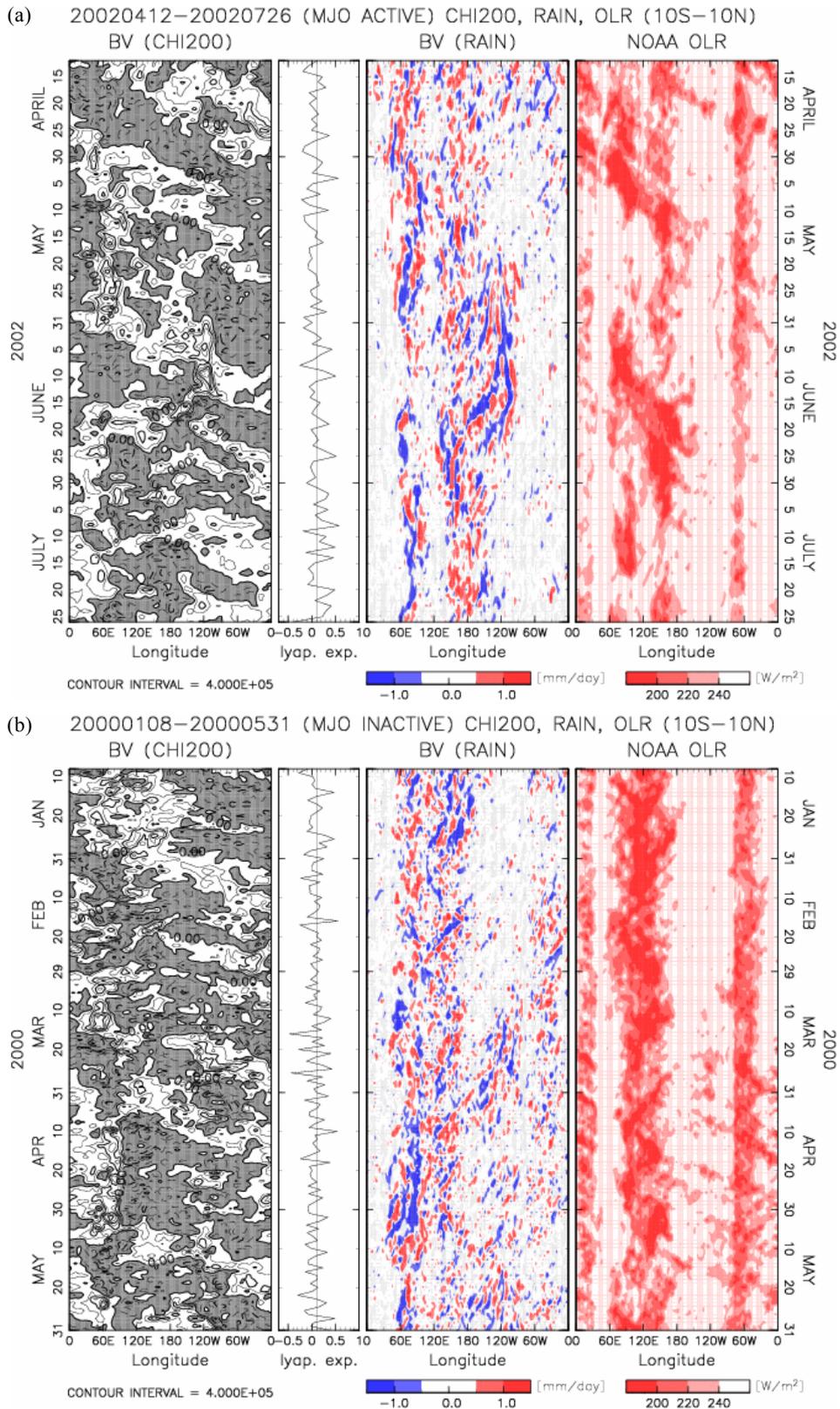


Fig. 8 Hovmoller diagram of  $\chi_{200}$  of 1stBV averaged over the 10S-10N region, growth rate of 1stBV, hovmoller diagram of total precipitation of the bred vector averaged over the 10S-10N region, and hovmoller diagram of NOAA OLR ( $\leq 240 \text{ W m}^{-2}$ ) averaged over the 10S-10N region from the left, respectively. (a) Apr 12, 2002–July 26, 2002 for the case of active MJO phase, (b) Jan 8, 2000–May 31, 2000 for the case of inactive MJO phase. The contour intervals of  $\chi_{200}$  BV are  $4.0 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ . A shaded area of  $\chi_{200}$  BV indicates the region of divergence of velocity field.

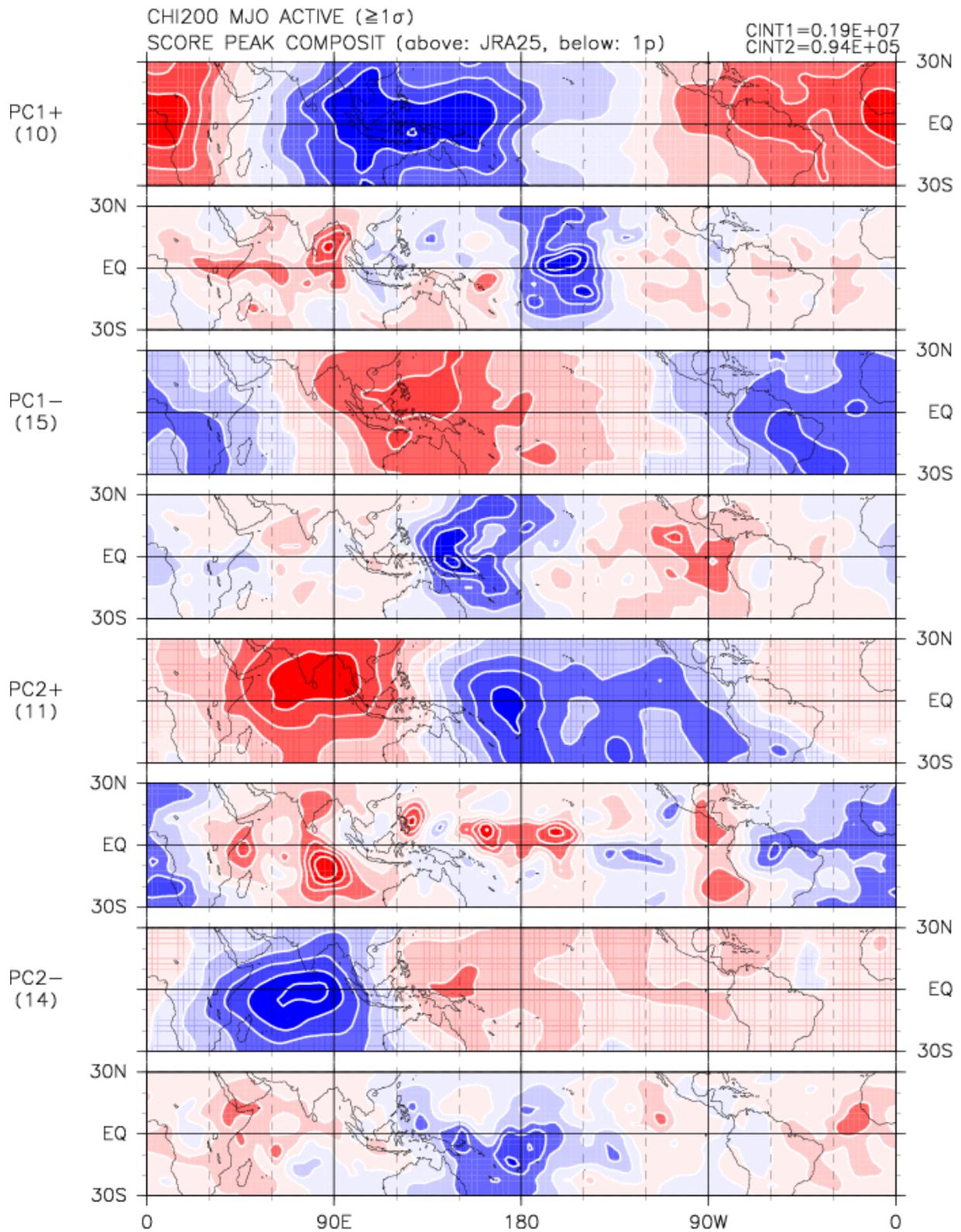


Fig. 9 Composite figures of horizontal structures of 1stBV and basic state (JRA-25) of  $\chi_{200}$  by each score peak of leading mode (EOF1, EOF2) in  $\chi_{200}$  of JRA-25. Background  $\chi_{200}$  (basic state) of “PC1+”, 1stBV of “PC1+” phase, basic state of “PC1-”, 1stBV of “PC1-” phase, basic state of “PC2+” phase, 1stBV of “PC2+” phase, basic state of “PC2-” phase, 1stBV of “PC2-” phase in order from top figure. Blue and red end of the spectrum indicate the region of divergence and convergence of velocity field, respectively. The contour intervals are  $1.9 \times 10^6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  (basic state) and  $9.4 \times 10^4 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  (1stBVs).

### 3.5 初期摂動の季節依存性

初期摂動(1p)の成長率の季節依存性を Fig. 10 に示す。全期間の初期摂動の成長率を、北半球の夏季(5~10月)と冬季(11~4月)で分類し、Fig. 1と同様にして、誤差評価期間毎に平均値を求めた。その結果、初期摂動の成長率は北半球の夏季と比べて冬季に有意に小さくなる、という季節依存性が存在することが明らかになった(Fig. 10)。この要因を探るため、季節毎に初期摂動(1p)の主成分分析と時空間スペクトル解析を行った。その結果、活動度毎に分類した3.3節の場合と同様に、初期摂動の構造は季節に依らず波数1型の大規模構造が卓越していることがわかった(Fig. 11)。また、初期摂動の時空間スペクトル(Fig. 12)をみると、冬季の初期摂動は8日から30日程度の日数で地球を東進するモードが卓越していた。一方、夏季のモードは12日から30日程度で地球を周回し、冬季と比べて東進伝播速度の小さい停滞型のモードが多く含まれるという特徴が見られた。

### 4. まとめと議論

改良した初期摂動作成スキームを用いて、気象庁現業アンサンブル予報システムにより長期間にわたる初期摂動を作成し、熱帯域季節内振動の活動度や位相と熱帯域大気循環場の予測可能性との関係について調べた。また、初期摂動の成長率の季節依存性についても調査し、熱帯域大気循環場の予測可能性の季節依存性についても調べた。

本実験で得られた初期摂動の成長率は、全期間平均で0.1(1/day)となった。このことは、得られた初期摂動が熱帯域の大気循環場に対して平均的に不安定であることを示唆しており、C07の結果とも整合的である。また、初期摂動は大規模な波数1型の水平構造を持ち、熱帯域大気循環場の予測可能性評価に適した初期摂動が作成されていることも確認した。

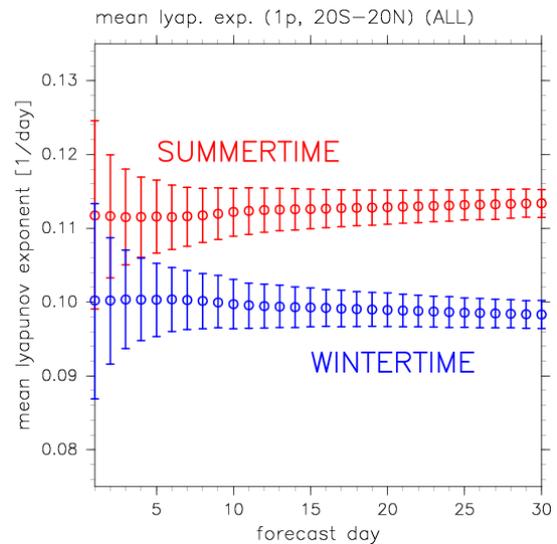


Fig. 10 Seasonal dependence of time-mean growth rate of 1stBV. Horizontal and vertical axes are evaluation period (day) and time-mean growth rate (1/day). Red and blue circles indicate the time-mean growth rate for the boreal summer (May – October) and boreal winter (November – April), respectively. Error bar shows 95% confidence interval estimated by random-sampling method.

熱帯域季節内振動の活動度と初期摂動の成長率との関係では、MJOの活動度(振幅)に対して成長率の変動はほぼ独立であることが明らかとなった。このことは、MJOの活動度と熱帯域大気循環場の予測精度は独立な関係にあることを示唆しており、Boer(1995)の結果を支持するものである。初期摂動の構造はMJOの活動度に依らず波数1型の成分が卓越し、降水活動を伴わないで東進する乾燥ケルビン波(Milliff and Madden, 1996)に似た特徴を持つ。ただしMJO活発期に得られた初期摂動は東進伝播が明瞭に見られるのに対し、MJO不活発期の初期摂動には活発期ほど明瞭な東進伝播が見られず、その水平構造はMJO活発期と比べてやや小さい。

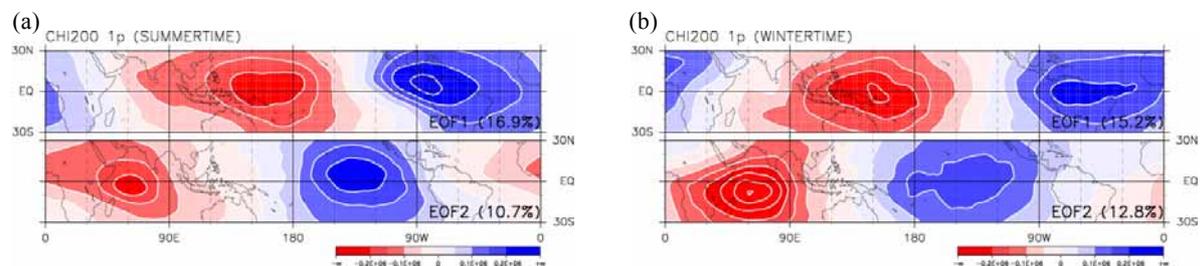


Fig. 11 Same as Fig. 4, but for (a) the boreal summer case (May – October) and (b) the boreal winter case (November – April). EOF1 and EOF2 accounted for 16.9 % and 10.7 % in (a) and for 15.2 % and 12.8 % in (b), respectively. Blue and red end of the spectrum indicate the region of divergence and convergence of velocity field, respectively. The contour intervals are  $5.0 \times 10^4 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ .

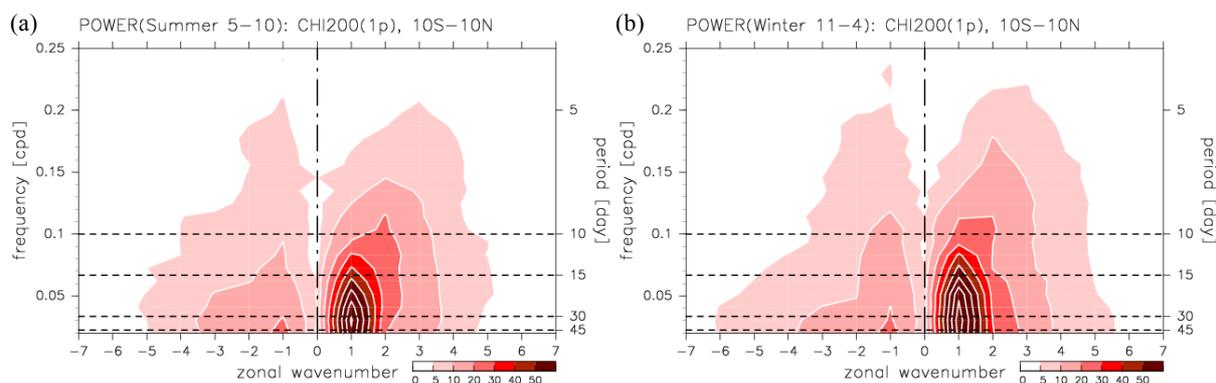


Fig. 12 The space-time spectrum of  $\chi_{200}$  of the tropical bred vector averaged over the 10S–10N region. (a) The boreal summer case (May – Oct) and (b) the boreal winter case (Nov – Apr). The spectral power is calculated in the section of 102 days and is smoothed with a 1-3-5-3-1 filter in frequency and with daily moving averaged in each season case. The horizontal and vertical axes are zonal wave number and frequency (cycle per day), respectively. Positive (negative) zonal wave numbers indicate eastward (westward) propagation. The contour intervals of spectrum  $> 50$  are 10.0.

一方、熱帯域季節内振動の位相と初期摂動の成長率との関係には明瞭な違いが見られた。MJOに伴う対流圏上層の発散域がインド洋域にあるとき、初期摂動の成長率が有意に小さくなることが示された。また、西太平洋の海洋大陸上に発散場があるときも、それに次いで初期摂動の成長率が小さくなる。このことは、インド洋域でMJOが発達期にある時に、熱帯域大気循環場の予測精度が最も良くなり、西太平洋の海洋大陸上をMJOイベントが通り過ぎるまでの期間は、高い予測精度が持続する可能性を示唆している。これらの結果は、Jones et al. (2000) や Waliser et al. (2003) らの結果とも一致する。Waliser et al. (2003) は、MJO 活発期に予測精度が良いという結果と、MJO イベントの持続性との関係について指摘しており、MJO イベントの東進伝播がインド洋域から西太平洋域にまで達する場合には、予測可能な期間が長くなる可能性があることを示唆している。本実験で得られた結果でも、Waliser et al. (2003) の示唆した状況と同様のことが起こっているのかもしれない。初期摂動の水平構造と背景場の水平構造との関係に位相による明瞭な違いが存在していることも今回の実験で明らかとなった。初期摂動と背景場の関係に関する研究はこれまで殆どなされておらず、その予測可能性に対する影響については良くわかっていないのが現状である。更なる調査が必要であろう。

また、初期摂動の成長率には明瞭な季節依存性が存在し、夏季と比べて冬季の方が有意に小さくなる。このことは、熱帯域大気循環場の予測精度は夏季よりも冬季の方が良くなることを示唆する。得られた初期摂動が季節に依らず波数1型の大規模構造を持

つことに加えて、冬季には東進伝播成分が卓越するのに対し、夏季には定在する成分が冬季よりも多く含まれるという特徴も明らかとなった。本実験で得られた初期摂動を用いて長期間にわたる予報実験を実施し、初期摂動の時間発展や線形性について調査を行い、本実験で得られた結果を検証する必要がある。熱帯域の初期摂動が中緯度の大気循環場に与える影響に関して調査することも今後の課題である。

## 謝辞

気象庁現業アンサンブル予報システムを使用させて頂いた気象庁気候情報課の皆様には深く感謝します。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

- Boer, G. J. (1995): Analyzed and forecast large-scale tropical divergent flow, *Mon. Weather Rev.*, Vol. 123, pp. 3539-3553.
- Chikamoto, Y., Mukougawa, H., Kubota, T., Sato, H., Ito, A. and Maeda, S. (2007): Evidence of growing bred vector associated with the tropical intraseasonal oscillation, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 34, L04806, doi:10.1029/2006GL028450.
- Duchon, C. E. (1979): Lanczos filtering in one and two dimensions, *J. Appl. Meteor.*, Vol. 18, pp. 1016-1022.
- Ferranti, L., Palmer, T. N., Molteni, F. and Klinker, E. (1990): Tropical-extratropical interaction associated with the 30--60 day oscillation and its impact on me-

- dium and extended range prediction, *J. Atmos. Sci.*, Vol. 47, pp. 2177-2199.
- Jones, C., Waliser, D. E., Schemm, J. E. and Lau, W. K. (2000): Prediction skill of the Madden and Julian oscillation in dynamical extended range weather forecasts, *Clim. Dyn.*, Vol. 16, pp. 273-289.
- Kubota, T., Mukougawa, H. and Iwashima, T. (2005): Predictability of Madden and Julian oscillation in JMA one-month forecasts, *Annals of Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.*, Vol. 48B, pp. 475-490.
- Madden, R. A. and Julian, P. R. (1994): Observation of the 40-50 day tropical oscillation. A review, *Mon. Weather Rev.*, Vol. 122, pp. 814-837.
- Milliff, R. F. and Madden, R. A. (1996): The existence and vertical structure of fast, eastward-moving disturbances in the equatorial troposphere, *J. Atmos. Sci.*, Vol. 53, pp. 586-597.
- Onogi, K., Tsutsui, J., Koide, H., Sakamoto, M., Kobayashi, S., Hatsushika, H., Matsumoto, T., Yamazaki, N., Kamahori, H., Takahashi, K., Kadokura, S., Wada, K., Kato, K., Oyama, R., Ose, T., Mannoji, N. and Taira, R. (2007): The JRA-25 Reanalysis, *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol. 85, pp. 369-432.
- 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*, Vol. 68, pp. 183-201.
- Toth, Z. and Kalnay, E. (1993): Ensemble forecasting at NMC: The generation of perturbations, *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, Vol. 74, pp. 2317-2330.
- Toth, Z. and Kalnay, E. (1997): Ensemble forecasting at NCEP and the breeding method, *Mon. Weather Rev.*, Vol. 125, pp. 3297-3319.
- Waliser, D. E., Lau, K. M., Stern, W. and Jones, C. (2003): Potential predictability of the Madden-Julian Oscillation, *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, Vol. 84, pp. 33-50.
- Wheeler, M. and Hendon, H. H. (2004): An all-season real-time multivariate MJO index: Development of an index for monitoring and prediction, *Mon. Weather Rev.*, Vol. 132, pp. 1917-1932.

### **Dependence of the Predictability of the Tropical Intraseasonal Oscillation on its Activity**

Hiroshi TANIGUCHI, Hitoshi MUKOUGAWA, Yoshimitsu CHIKAMOTO\*,  
Takuji KUBOTA\*\*, Shuhei MAEDA\*\*\*, Hitoshi SATO\*\*\* and Akira ITO\*\*\*

\* Center for Climate System Research, University of Tokyo

\*\* Earth Observation Research Center, Japan Aerospace Exploration Agency

\*\*\* Japan Meteorological Agency

### **Synopsis**

The predictability of the tropical intraseasonal oscillation (MJO) is examined by using a new BGM method for the operational 1-month ensemble prediction system of the Japan Meteorological Agency. The growth rate of the first bred vector (1stBV) is almost independent of the amplitude of the MJO while the growth rate of 1stBV becomes significantly smaller when the active convective region associated with the MJO resides over the Indian Ocean and the western Pacific. The growth rate of 1stBV for the boreal summer is significantly larger than that for the boreal winter; zonal wavenumber 1 components propagating eastward dominate the 1stBV during the boreal winter while in the boreal summer standing wave components become distinct in the horizontal structure of the perturbation.

**Keywords:** predictability, tropical intraseasonal oscillation, ensemble forecast, BGM