

機関番号：14301
 研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20540422
 研究課題名(和文) 熱帯対流圏における大規模有限振幅不安定モードの力学と、予測可能性への影響評価
 研究課題名(英文) Dynamics of large-scale finite-amplitude unstable mode in the tropical troposphere, and its influence to the predictability
 研究代表者
 向川 均 (MUKOUGAWA HITOSHI)
 京都大学・防災研究所・教授
 研究者番号：20261349

研究成果の概要(和文)：熱帯大気には活発な対流活動を伴う循環変動が存在するが、これまで熱帯大気循環の予測可能性は正しく評価されていなかった。このため、本研究では、熱帯大気循環の予測可能性評価に必要な熱帯域有限振幅不安定モードについて気象庁アンサンブル予報システムを用いて詳しい解析を行い、その力学特性を明らかにした。また、熱帯域大気循環偏差が、中高緯度域の大気循環の予測可能性に及ぼす影響についても評価した。

研究成果の概要(英文)：The predictability of circulation anomalies in the tropics associated with active convection has not been adequately assessed in previous studies. Hence, by the use of an ensemble prediction system of the Japan Meteorological Agency, we make thorough analysis on the evolution of finite-amplitude tropical unstable modes which are necessary to assess the predictability of the tropical atmosphere, and reveal their dynamical properties. We also evaluate the influence of tropical circulation anomalies to the predictability of extratropical atmospheric circulations.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：気象力学

科研費の分科・細目：地球惑星科学、気象・海洋物理・陸水学

キーワード：予測可能性、大気運動、熱帯

1. 研究開始当初の背景

中高緯度大気で卓越する総観規模擾乱は、線型理論により、鉛直シアを伴う帯状風で与えられる基本場において最大発達率を持つ傾圧不安定モードとして理解できることは良く知られている。一方、熱帯大気循環では、降水を伴う湿潤過程が本質的に重要であるため、単純に線型理論を適用すると、最大成長率を持つモードは無限小の空間スケールを持つ「対流モード」となり、熱帯大気循環で卓越するマッデン-ジュリアン振動(MJO)などの惑星規模の「循環モード」の存

在を説明することは、これまで不可能であった。

しかしながら、本研究代表者が実施した、気象庁気候情報課との共同研究で、気象庁ヶ月アンサンブル予報モデルで採用されている初期摂動作成法であるBGM法を改良することにより、赤道大気において時間的に成長する惑星規模の循環モードの存在を世界で初めて示すことができた(Chikamoto, et al., 2007)。しかし、この有限振幅不安定モードの基本場依存性や、成長メカニズムは明らかにされていない。さらには、このような熱

帯域擾乱を初期摂動として与えてアンサンブル予報を行ったときの、熱帯大気循環の予測可能性の評価や、熱帯擾乱が中高緯度大気循環に及ぼす影響などの評価も実施されていない。

2. 研究の目的

上述したような研究背景に基づき、本研究では、当初に、以下の2つの課題を設定し研究を推進することとした。

(1) 熱帯域有限振幅不安定モードの基本場依存性の解明：

気象庁気候情報課の協力により BGM 法を気象庁一ヶ月アンサンブル予報モデルに適用して、過去 10 年程度の長期間にわたる毎日の熱帯域の有限振幅不安定モードを求め、不安定モードの成長率や構造が、熱帯大気循環場、特に、MJO の振幅や位相にどのように依存するのかを解明する。

(2) 熱帯大気循環の予測可能性評価と、熱帯域擾乱が中高緯度大気循環の予測可能性に及ぼす影響：

課題(1)で得られた熱帯域有限振幅不安定モードを、気象庁一ヶ月予報モデルの初期摂動として与え、1 年程度の期間についてアンサンブル予報実験を実施することにより、熱帯大気循環の予測可能性を評価する。また、熱帯域の擾乱が、中高緯度大気循環の予測可能性に与える影響について解析を行う。

3. 研究の方法

本研究では、アンサンブル予報での初期摂動作成法の一つである BGM (Breeding of Growing Mode) 法を数値予報モデルなど適用して、熱帯大気循環に伴う惑星規模の有限振幅の不安定モードを抽出し、その時空間構造や基本場依存性を明らかにすることや、熱帯擾乱が中高緯度大気循環に及ぼす影響を評価することを目的としている。このため、以下の方法により研究を進めた。

(1) 気象庁 1 ヶ月予報モデルに BGM 法を適用して、1996 年 4 月 1 日から 2006 年 2 月 28 日までの期間について毎日の有限振幅熱帯域不安定擾乱を作成する。また、Gram-Schmidt の直交化法を適用し、第 2 成長モードまで求める。

(2) 得られた日々の不安定擾乱について、熱帯域の主要変動モードである MJO との関係に着目し、Chikamoto, et al. (2007) と同様の解析を行う。

(3) 手法(1)に従い気象庁 1 ヶ月予報モデルに BGM 法を適用して得られた毎日の熱帯域不安定擾乱を用いて、気象庁 1 ヶ月予報モデルによるアンサンブル予報実験を実施する。このアンサンブル予報実験の実施期間は、MJO が比較的活発であった 2003 年 11 月から 2004 年 2 月の 4 ヶ月間とし、この期間中、30 日積分を毎日実施する。また、アンサンブルメンバー数は、初期摂動を含まないコントロールラン 1 メンバーと摂動ラン 4 メンバーの合計 5 メンバーとし、初期摂動の大きさは熱帯域における 200hPa ベクトルポテンシャルの気候学的変動量の 10%とする。

(4) 気象庁気候情報課で実施されたハインドキャストアンサンブル実験結果を用いて、MJO が中高緯度における主要変動モードである Pacific/North American (PNA) パターンの予測可能性に及ぼす影響や、熱帯擾乱が日本の夏季の天候を支配する変動パターンである Pacific-Japan (PJ) パターンの予測に及ぼす影響を解析する。

4. 研究成果

本研究では、以下の成果を得た。

(1) 1996 年 4 月 1 日から 2006 年 2 月 28 日の全期間で平均した熱帯域有限振幅不安定モードの成長率は、0.1 (1/day) で Chikamoto et al. (2007) と同様である。

(2) 熱帯域有限振幅不安定擾乱の第 1 成長モードの成長率は、MJO の振幅に対してほぼ独立である (図 1 参照)。

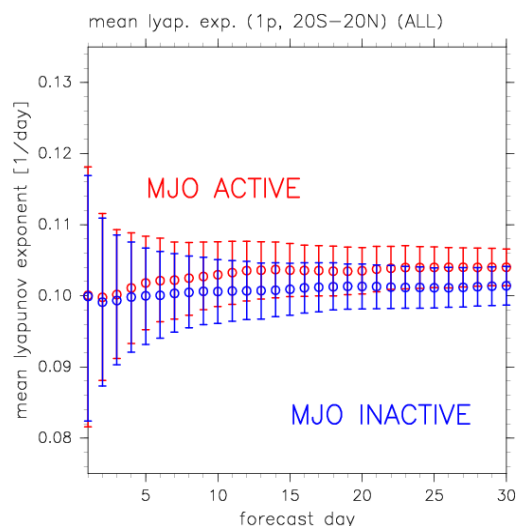


図 1 熱帯域不安定擾乱の第 1 成長モードの成長率。赤 (青) 色の丸印は MJO の活動が活発 (不活発) な期間の成長率の平均値、エラーバーは平均値の統計的存在範囲 (95%有意性) を示す。横軸は予測期間。

- (3) MJOに伴う対流活発域がインド洋や西太平洋に存在するときには熱帯域不安定擾乱の成長率は有意に小さくなる(図2参照)。

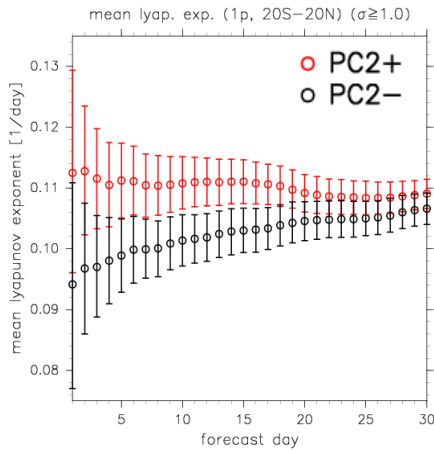


図2 MJOに伴い、インド洋付近の対流が活発なとき(黒丸)と不活発なとき(赤丸)の熱帯域不安定擾乱第1成長モードの成長率。横軸は予測期間。エラーバーは、それぞれの期間での平均値の統計的存在範囲(95%有意性)を示す。

- (4) 熱帯域不安定擾乱の成長率は、北半球冬季と比べ北半球夏季に有意に大きくなる(図3参照)。

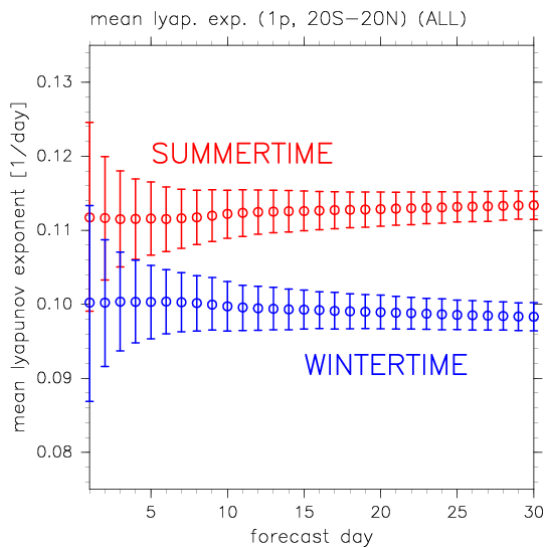


図3 熱帯域不安定擾乱第1成長モードの成長率の季節依存性。赤(青)色は北半球の夏季(冬季)。横軸は予測期間。エラーバーは、それぞれの期間での平均値の統計的存在範囲(95%有意性)を示す。

- (5) 熱帯域不安定擾乱は、北半球冬季では、Chikamoto et al. (2007)の結果と同様に、東進する東西波数1成分が卓越するが、北半球夏季には東進しない定在波成分が顕著になる。

- (6) 熱帯域不安定擾乱の線型発達期間は2日から3日程度であり、中高緯度域における不安定モードの典型的な線型発達期間と同程度であることがわかった。また、熱帯域不安定擾乱の時間発展を解析することにより、擾乱の非線型発達段階では、擾乱は停滞して発達する傾向にあることが示唆された。これは、Chikamoto, et al. (2007)が示した線型段階での擾乱の特徴である、東西波数1の波動性擾乱が30m/sで東進するという傾向とは異なっている。

- (7) 予報初期日に大振幅のMJOが存在する場合、予報7日目までのPNA indexの予測誤差は大きくなる。この両者の関係は統計的に有意である。

- (8) PJパターンに伴うフィリピン沖での850-hPa高度場偏差の予測誤差の大きさは、MJOの位相と有意に関連していることが示された。すなわち、MJOに伴う北アフリカからインド洋の領域における大気下層での発散(収束)偏差と、北西太平洋から中央太平洋領域での大気下層の収束(発散)偏差が存在するとき、フィリピン沖での850-hPa高度場偏差の予測誤差は有意に小さくなる。また、MJOに似た熱帯域における速度ポテンシャル場の東西波数1の構造は、亜熱帯北西太平洋域での850-hPa高度場の予測誤差と統計的に有意な関係を持つことが明らかになった。

このように本研究によって、有限振幅を持つ熱帯域不安定擾乱の詳細な線形力学特性や、その季節及び基本場依存性が明らかになった。また、熱帯域擾乱が中高緯度大気循環における主要変動モードの予測可能性に与える影響について新しい知見を得ることができた。今後は、熱帯域不安定擾乱の非線形発達についてより詳細な解析を行う必要がある。また、MJO自体の予測可能性を評価するには、より長期間の予報データを解析することが必要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計18件)

- ① Y. Chikamoto, Y. Tanimoto, H. Mukougawa, and M. Kimoto 2010: Subtropical Pacific SST variability related to the local Hadley circulation during the premature stage of ENSO, J. Meteor. Soc. Japan, 88, 183-202, 査読有。
- ② K. Takemura and H. Mukougawa, 2010: Predictability during the onset period of a

- Euro-Atlantic blocking event during 12-21 December 2007, SOLA, 6, 109-112, 査読有.
- ③ 向川均・佐治憲介・小寺邦彦, 2010: 成層圏でのプラネタリー波の反射と関連する帯状構造, 京都大学防災研究所年報, 53B, 307-312, 査読無.
- ④ 竹村和人・向川均, 2010: アンサンブル予報データを用いたブロッキング形成期の予測可能性に関する解析, 京都大学防災研究所年報, 53B, 321-327, 査読無.
- ⑤ 竹村和人・向川均, 2010: 気象庁週間アンサンブル予報データを用いたブロッキング形成期の予測可能性評価, 平成 21 年度「異常気象と長期変動」研究集会報告, 18-23, 査読無.
- ⑥ 佐治憲介・向川均・小寺邦彦, 2010: 成層圏でのプラネタリー波の反射と関連する帯状風構造, 平成 21 年度「異常気象と長期変動」研究集会報告, 81-84, 査読無.
- ⑦ 一丸知子・廣岡俊彦・向川均, 2010: 2009 年 1 月大規模突然昇温の特徴とその予報について, 平成 21 年度「異常気象と長期変動」研究集会報告, 90-93, 査読無.
- ⑧ H. Mukougawa, T. Hirooka, and Y. Kuroda, 2009: Influence of stratospheric circulation on the predictability of the tropospheric Northern Annular Mode, Geophys. Res. Lett., 36, L09914, doi:10.129/2008GL037127, 査読有.
- ⑨ K. Sakurai, and H. Mukougawa, 2009: Characteristics of the meso-scale environments of storms associated with typhoon-spawned tornadoes in Miyazaki, Japan, SOLA, 5, 5-8, doi:10.2151/sola.2009-002, 査読有.
- ⑩ 櫻井溪太・向川均, 2009: 宮崎県で発生した台風に伴う竜巻の発生環境場, 京都大学防災研究所年報, 52B, 403-412, 査読無.
- ⑪ 向川均・林麻利子, 2009: 熱帯季節内振動が PNA パターンの予測可能性に及ぼす影響, 京都大学防災研究所年報, 52B, 413-419, 査読無.
- ⑫ 向川均・林麻利子, 2009: MJO が PNA パターンの予測可能性に及ぼす影響, 平成 20 年度「異常気象と長期変動」研究集会報告, 5-10, 査読無.
- ⑬ 一丸知子・廣岡俊彦・向川均, 2009: 2001-2006 年冬季北半球成層圏循環の予測可能性について, 平成 20 年度「異常気象と長期変動」研究集会報告, 35-40, 査読無.
- ⑭ K. Kodera, H. Mukougawa, and S. Itoh, 2008: Tropospheric impact of reflected planetary waves from the stratosphere, Geophys. Res. Lett., 35, L16806, doi:10.129/2008GL034575, 査読有.
- ⑮ 向川均・黒田友二・廣岡俊彦, 2008: 対流圏北半球環状モードの予測可能性に及ぼす影響, 京都大学防災研究所年報, 51B, 355-363, 査読無.
- ⑯ 正木岳志・岩嶋樹也・向川均, 2008: JRA-25 再解析データに基づく Hadley 循環の長期変化に関する研究, 京都大学防災研究所年報, 51B, 365-375, 査読無.
- ⑰ 風本圭佑・向川均, 2008: ブロッキングと成層圏突然昇温との関連, 京都大学防災研究所年報, 51B, 377-386, 査読無.
- ⑱ 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, 2008: 熱帯域季節内振動の活動度と予測可能性との関係, 京都大学防災研究所年報, 51B, 387-397, 査読無.
- [学会発表] (計 30 件)
- ① 田中智之・向川均, 夏季北西太平洋域の循環偏差が中高緯度大気循環の予測に及ぼす影響について, 2010 年度日本気象学会関西支部第 3 回例会, 2011 年 3 月 4 日, 京都.
- ② 長田翔・向川均・黒田友二, 成層圏突然昇温が北半球環状モードの予測可能性に与える影響 --2009 年・2010 年冬季の比較解析, 2010 年度日本気象学会関西支部第 3 回例会, 2011 年 3 月 4 日, 京都.
- ③ 田中智之・向川均, 夏季北西太平洋域の対流活動が中高緯度大気循環の予測に及ぼす影響について, 平成 22 年度防災研究所年次研究発表会, 2011 年 2 月 22 日, 宇治.
- ④ 向川均・長田翔・黒田友二, 成層圏突然昇温と北半球環状モードの予測可能性, 平成 22 年度防災研究所年次研究発表会, 2011 年 2 月 22 日, 宇治.
- ⑤ T. Hirooka, T. Ichimaru, Y. Harada, H. Naoe, and H. Mukougawa, A comparison of stratosphere-troposphere dynamical coupling during vortex-splitting major stratospheric sudden warmings in the Northern and Southern Hemispheres, 2010 Meeting of the Americas, 2010 年 8 月 10 日, Foz do Iguassu, Brazil.
- ⑥ 向川均・佐治憲介・小寺邦彦, 成層圏でのプラネタリー波の反射と関連する帯状風構造, 平成 21 年度防災研究所年次研究発表会, 2010 年 2 月 24 日, 宇治.
- ⑦ 竹村和人・向川均, 週間アンサンブル予報データを用いたブロッキング形成期の予測可能性評価, 平成 21 年度防災研究所年次研究発表会, 2010 年 2 月 24 日, 宇治.
- ⑧ T. Hirooka, T. Ichimaru, and H. Mukougawa, Vortex splitting of the major stratospheric sudden warming in January 2009 and its predictability, AGU 2009 Fall Meeting, 2009 年 12 月 18 日, San Francisco, USA.

- ⑨ 佐治憲介・小寺邦彦・向川均, 成層圏でのプラネタリー波の反射と関連する帯状風構造, 日本気象学会 2009 年度秋季大会, 2009 年 11 月 26 日, 福岡.
- ⑩ 一丸知子・廣岡俊彦・向川均, 2009 年 1 月大規模突然昇温の特徴とその予報について, 日本気象学会 2009 年度秋季大会, 2009 年 11 月 26 日, 福岡.
- ⑪ 竹村和人・向川均, ブロッキング形成期の予測可能性に関する事例解析, 日本気象学会 2009 年度秋季大会, 2009 年 11 月 25 日, 福岡.
- ⑫ 佐治憲介・向川均・小寺邦彦, 成層圏でのプラネタリー波の反射と関連する帯状風構造, 平成 21 度「異常気象と長期変動」研究集会, 2009 年 10 月 30 日, 宇治.
- ⑬ 一丸知子・廣岡俊彦・向川均, 2009 年 1 月大規模突然昇温の特徴とその予報について, 平成 21 度「異常気象と長期変動」研究集会, 2009 年 10 月 30 日, 宇治.
- ⑭ 竹村和人・向川均, 気象庁週間アンサンブル予報データを用いたブロッキング形成時の予測可能性評価, 平成 21 度「異常気象と長期変動」研究集会, 2009 年 10 月 29 日, 宇治.
- ⑮ T. Ichimaru, T. Hirooka, and H. Mukougawa, Variability of predictability limits in the Northern Hemisphere stratosphere during winter, 15th Conference on Middle Atmosphere, 2009 年 6 月 12 日, Stowe, VT, USA.
- ⑯ H. Mukougawa and M. Hayashi, On the influence of the tropical intraseasonal oscillation to the predictability of the Pacific/North American pattern, 2nd international workshop on prevention and mitigation of meteorological disasters in southeast Asia, 2009 年 3 月 5 日, Bandung, Indonesia.
- ⑰ 向川均・林麻利子, 熱帯季節内振動が PNA パターンの予測可能性に及ぼす影響, 平成 20 年度防災研究所年次研究発表会, 2009 年 2 月 25 日, 京都.
- ⑱ 櫻井溪太・向川均, 宮崎県で発生した台風に伴う竜巻の発生環境場, 平成 20 年度防災研究所年次研究発表会, 2009 年 2 月 25 日, 京都.
- ⑲ T. Ichimaru, T. Hirooka, and H. Mukougawa, Predictability of stratospheric circulations in Northern Hemisphere winters from 2001 to 2006, AGU 2008 Fall Meeting, 2008 年 12 月 16 日, San Francisco, USA.
- ⑳ 向川均・林麻利子, MJO が PNA パターンの予測可能性に及ぼす影響, 平成 20 年度「異常気象と長期変動」研究集会, 2008 年 10 月 31 日, 宇治.
- 一丸知子・廣岡俊彦・向川均, 2001-2006 年冬季北半球の成層圏循環の予測可能性について, 平成 20 年度「異常気象と長期変動」研究集会, 2008 年 10 月 31 日, 宇治.
 - 向川均・林麻利子, MJO が PNA パターンの予測可能性に及ぼす影響, 研究会「長期予報と大気大循環」, 2008 年 10 月 2 日, 東京.
 - K. Kodera, and H. Mukougawa, Intercontinental tropospheric teleconnection by planetary wave reflection in the stratosphere, 4th SPARC general assembly, 2008 年 9 月 1 日, Bologna, Italy.
 - H. Mukougawa, Y. Kuroda, and T. Hirooka, Influence of stratospheric circulation on the predictability of the tropospheric northern annular mode, 4th SPARC general assembly, 2008 年 9 月 1 日, Bologna, Italy.
 - T. Hirooka, T. Ichimaru, and H. Mukougawa, Predictability of stratospheric circulations during recent sudden warming events, 4th SPARC general assembly, 2008 年 9 月 1 日, Bologna, Italy.
 - H. Mukougawa, Y. Kuroda, and T. Hirooka, Predictability of stratosphere-troposphere dynamical coupling examined by JMA 1-month ensemble forecast dataset, Workshop on the stratosphere-troposphere dynamical coupling and its role in climate variations and change, 2008 年 7 月 30 日, 京都.
 - 林麻利子・向川均, MJO が PNA パターンの予測可能性に及ぼす影響, 日本気象学会 2008 年度春季大会, 2008 年 5 月 21 日, 横浜.
 - 正木岳志・岩嶋樹也・向川均, JRA-25 再解析データに基づく Hadley 循環の長期変化に関する研究, 日本気象学会 2008 年度春季大会, 2008 年 5 月 21 日, 横浜.
 - 風本圭佑・向川均・黒田友二・廣岡俊彦, 初冬におけるブロッキングと成層圏突然昇温との関連に関する解析, 日本気象学会 2008 年度春季大会, 2008 年 5 月 18 日, 横浜.
 - 櫻井溪太・向川均, 日本における竜巻を伴う雷雨の発生環境場とポテンシャル予報に関する研究 ～宮崎県で発生した台風に伴う竜巻の発生環境場～, 日本気象学会 2008 年度春季大会, 2008 年 5 月 18 日, 横浜.
- [図書] (計 0 件)
- [産業財産権]
- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)
- [その他]

ホームページ等

<http://www.dpac.dpri.kyoto-u.ac.jp/top/mjojoint.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

向川 均 (MUKOUGAWA HITOSHI)

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号：20261349

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

佐藤 均 (SATO HITOSHI)

気象庁・地球環境・海洋部・技官