

平成21年6月23日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19740297

研究課題名（和文） 大気循環の階層的な不安定構造に関する研究

研究課題名（英文） Hierarchical unstable structures in atmospheric general circulation

研究代表者

山根 省三 (YAMANE SHOZO)

同志社大学・理工学部・准教授

研究者番号：10373466

研究成果の概要：地球を取り巻く大気の運動は不規則であり、様々な時間・空間スケールの現象が存在する。このような大気場の中で発達する微小な擾乱の地理的分布・空間構造の特徴を大気大循環モデルの数値実験を通して調べた結果、擾乱のエネルギーが比較的小さいときは熱帯の対流活動に伴う擾乱の発達が顕著となり、擾乱のエネルギーが比較的大きいときは中緯度帯の移動性高・低気圧に伴う擾乱の発達が顕著となる傾向があることが分かった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,800,000	0	1,800,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,800,000	300,000	3,100,000

研究分野：数物系科学

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：気象学、大気現象、予測可能性、不安定、アンサンブル、大気大循環モデル、リアプロフ指数、階層構造

1. 研究開始当初の背景

地球を取り巻く大気の運動は不規則であり、カオス的であることが知られている。この大気の不規則性をもたらす要因としては、順圧不安定や傾圧不安定、対流不安定、地形性不安定など、様々な時空間スケールの大気不安定が挙げられる。それぞれの不安定の特徴やそれに伴う大気現象の発生・発達・消滅機構については、理想化された、あるいは、線形化された状況下での理論的研究により深く理解されている。しかし、現実の大気の

循環は、様々な時空間スケールの大気現象から構成されており、様々な時空間スケールの不安定が同時に存在した状態にある。このような階層的な不安定構造が存在する状況においては、微小な摂動の線形発達を考えるだけでなく、有限振幅の摂動の非線形発達を考慮に入れて、スケールの異なる不安定間の相互作用について議論を展開してゆく必要がある。この有限振幅のアプローチにより、現実大気不安定性や予測可能性に関する理解が深まるものと期待される。

2. 研究の目的

本研究は、大気大循環モデルの成長モード育成法の数値実験を通して、大気の循環場に見られる階層的な不安定構造の特徴を定量的に把握することを目的とする。成長モード育成法は、現在、気象庁とアメリカ気象局で行われているアンサンブル予報の初期値構成に採用されている手法であり、この手法を大気モデルに適用することによりモデル内で発達する有限振幅の摂動を抽出することができる。成長モード育成法のパラメータを系統的に変化させて数値実験を行うことにより、大気の循環場で発達する有限振幅の摂動の振幅に対する依存性を明らかにしてゆく。この研究により、様々な現象が共存する現実大気の予測可能性の理解を深めることができると考えている。

3. 研究の方法

大気大循環モデル AFES (AGCM for the Earth Simulator; Ohfuchi et al. 2004) を用いて成長モード育成法 (Toth and Kalnay 1993, 1997) の数値実験を行う。モデルの解像度は、大気循環の階層的な不安定構造が十分に表現できるよう、比較的高解像度とする (T159/L48: 水平 80 km、鉛直 48 層)。成長モード育成法では、基準解に沿って摂動を進展させるが、摂動の振幅が大きくなり過ぎないように、ある時間間隔ごとに摂動の振幅をある決まった大きさに調整することを行う。本研究では、この時間間隔 (調整するサイクルの時間) を 6、12、24 時間と変化させ、摂動の振幅を、摂動の全球平均エネルギーの平方根が 0.5 、 1 、 2 、 4 ms^{-1} となるように変化させた全部で 12 (3×4) ケースの実験を行う。海面水温と海水の分布の観測値を境界条件として与えて、適当な初期値からモデルを 3 カ月積分したもの (2006 年 1 月 1 日から 4 月 1 日までのハインドキャスト・ラン) を本実験の基準解とする。最初の 2 カ月間はモデル積分の安定化の期間と見なし、3 月 1 日から 4 月 1 日までの基準解に対して成長モード育成法を適用する。解析には、摂動の振る舞いが落ち着いたと思われる最後の 10 日間 (3 月 22-31 日) の計算結果を用いる。気象庁やアメリカ気象局で行われているアンサンブル予報のための成長モード育成法では、同時に複数の摂動の発展を取り扱うが、ここでは、摂動の個数を 1 とする。つまり、基準解と摂動を加えた解の 2 メンバーのアンサンブル実験とする。

この実験から計算される摂動は、有限振幅の条件のもとで基準解に沿って最も発達する摂動であり、条件の異なる 12 ケースの実験から計算される摂動の違いは、摂動の発達の非線形性に起因するものと解釈される。

4. 研究成果

12 ケースの成長モード育成法の計算から見積もられる摂動の成長率 (リアプノフ指数) は、摂動の振幅が小さいほど、また、調整するサイクルの時間が短いほど、大きくなる傾向がある (図 1)。特に、6 時間サイクルのときの摂動の成長率の摂動の振幅に対する依存性は大きく、振幅が 0.5 ms^{-1} と 4 ms^{-1} の摂動が e 倍となる時間は、それぞれ、約 0.8 日と約 3 日と見積もられる。この二つのケースの摂動の空間構造には、それぞれ、振幅が 0.5 ms^{-1} の摂動は下部対流圏の熱帯に大きなエネルギーを持ち、振幅が 4 ms^{-1} の摂動は上部対流圏の中・高緯度帯に大きなエネルギーを持つという特徴がみられる (図 2)。これらの摂動の全エネルギーに占める運動エネルギー、熱エネルギー、水蒸気エネルギーの割合は、それぞれ、前者が 49%、14%、37% であり、後者が 70%、14%、15% である。以上のことから、前者では雲の発生を伴うような対流不安定に関連した摂動の発達が卓越しており、後者では傾圧不安定に伴う摂動の発達が卓越していることが示唆される。

成長モード摂動の振幅に対する依存性は摂動の卓越波数にも見られる。図 3 に 6 時間サイクルの摂動の運動エネルギー・スペクトルを示す。摂動の振幅が小さいほど卓越波数は大きくなる傾向がある。この結果は、摂動の発達の階層構造を示唆している。摂動の振幅が比較的小さいときは、局所的に急発達する摂動の卓越が見られ、摂動の振幅が比較的大きくなると、成長率は小さくなるものの、より大きな空間スケールで発達する摂動の卓越が見られる。これは、局所的に急発達する大気現象が含み得るエネルギーには上限があり、それを越える摂動のエネルギーは、より大きなエネルギーを持つ、より大規模な空間スケールの大気現象へと移ってゆくものと解釈される。

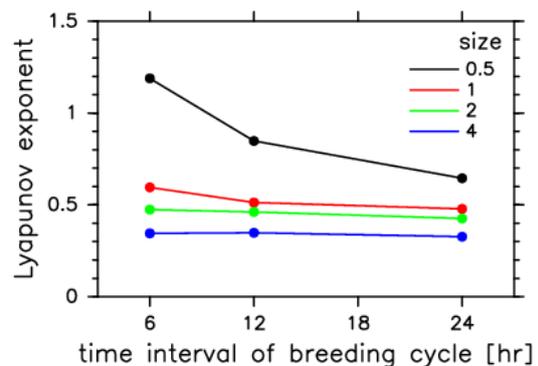


図 1: 12 ケースの実験の摂動の成長率 (日^{-1} ; リアプノフ指数)。摂動の振幅により色付けをしている (黒 0.5 ms^{-1} 、赤 1 ms^{-1} 、緑 2 ms^{-1} 、青 4 ms^{-1})。横軸はサイクルの時間間隔を表す。

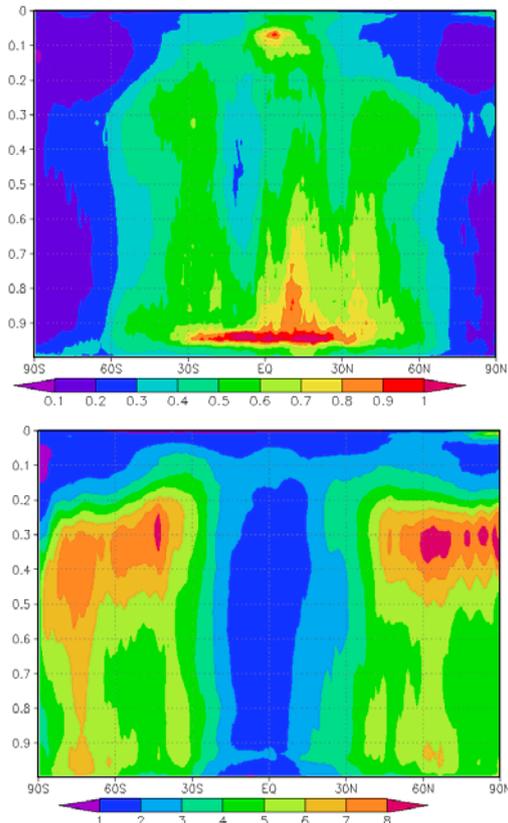


図2: 期間3月22-31日の摂動の全エネルギーの帯状・時間平均平方根[ms⁻¹]の緯度-高度(σ座標)分布。6時間サイクルの摂動の振幅が(上)0.5 ms⁻¹と(下)4 ms⁻¹のケースについて示す。

以上の結果をアンサンブル解析値 ALERA (AFES-LETKF Experimental ReAnalysis) から見積もられる解析誤差分布の特徴と比較することにより、大気を持つ不安定性と現実大気の予測可能性との対応関係について考察を行った。アンサンブル解析値 ALERA は、大気大循環モデル AFES (解像度 T159/L48) と実際の観測データを用いて実験的に行われたアンサンブル手法のデータ同化(局所アンサンブル変換カルマンフィルタ: LETKF)により作成された再解析データセットであり、ある時刻の解析が40個の独立した解析値からなるという特徴がある(Miyoshi et al. 2007)。この40個の解析値のアンサンブルにより解析値に含まれる誤差の確率的分布が表現される。成長モード育成法の解析期間と同じ期間(2006年3月22-31日)のALERA解析値から見積もられる解析誤差の全球平均エネルギーの平方根は4.3 ms⁻¹であり、この値は成長モード育成法の実験で設定した摂動の振幅よりもやや大きい。ただし、ALERAの解析誤差の分布は、観測地点の分布に大きく依存し、熱帯と南半球の中緯度帯に大きな

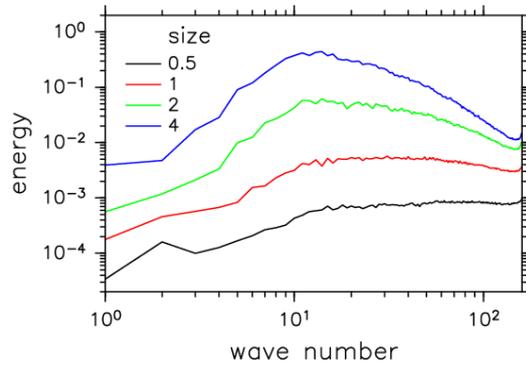


図3: 6時間サイクルの摂動の大気中層(σ=0.5)における運動エネルギー・スペクトル。期間3月22-31日の平均を示す。摂動の振幅により色付けをしている(黒0.5 ms⁻¹、赤1 ms⁻¹、緑2 ms⁻¹、青4 ms⁻¹)。横軸は波数を表す。

振幅を持つ特徴があるため、成長モード育成法の実験結果をそのままALERAの解析誤差の結果に対応させることは妥当ではない。解析領域を南半球中・高緯度帯(南緯20-90度)、熱帯(南緯20度-北緯20度)、北半球中・高緯度帯(北緯20-90度)の三つに分けて、アンサンブル解析値の500 hPa高度場の経験的直交関数系展開(EOF解析)を行うことにより、それぞれの領域の解析誤差の特徴を調査した。その結果、南半球の解析誤差の卓越波数は北半球よりも小さく、また、熱帯の解析誤差は中・高緯度帯よりも高波数領域に比較的大きなエネルギーを持つことが分かった。これらの結果は、中・高緯度帯よりも熱帯で卓越する摂動の方が空間スケールが小さく、摂動のエネルギーとともに摂動の卓越波数が減少するという成長モード育成法の実験結果と矛盾しない。また、500 hPa高度場のEOFの空間構造は、どの領域においてもモードの番号とともに卓越波数が増加する傾向が見られたが、その増加傾向は熱帯で小さいことが分かった。この結果は、熱帯の現実的な解析誤差を適切に表現するためには、中・高緯度帯よりも多くのアンサンブル数を必要とすること示唆しているものと考えられる。

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 3件)

- ① Jun Inoue, Takeshi Enomoto, Takemasa Miyoshi, and Shozo Yamane: Impact of observations from Arctic drifting buoys on the reanalysis of surface fields. Geophysical Research Letters,

- ② Takemasa Miyoshi and Shozo Yamane: Local ensemble Kalman filtering with an AGCM at a T159/L48 resolution. Monthly Weather Review, 135, 11, 3841-3861, (2007), 査読あり.
- ③ Takemasa Miyoshi, Shozo Yamane, and Takeshi Enomoto: Localizing the error covariance by physical distances with a local ensemble transform Kalman filter (LETKF). Scientific Online Letters on the Atmosphere, 3, 89-92, (2007), 査読あり.

〔学会発表〕(計 1 件)

- ① 山根省三: 実験的再解析データALERAの解析誤差分布の特徴について. 日本気象学会 2008 年度秋季大会、2008 年 11 月 21 日、仙台.

〔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〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山根 省三 (YAMANE SHOZO)
同志社大学・理工学部・准教授
研究者番号: 10373466

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者