

1 か月予報初期摂動の改良について

佐藤 均・前田修平・伊藤 明(気象庁・気候情報)・
近本喜光・向川 均(京大・防災研)・久保田拓志(大阪府立大)

1. はじめに

気象庁1か月アンサンブル予報では、初期摂動作成手法として、BGM (Breeding of Growing Mode, 成長モード育成) 法 (Toth and Kalnay 1993, 1997) を用いている。現業の初期摂動作成法の仕様は表1のとおり、摂動を作成する範囲を南緯20度以北とし、摂動の500hPa高度成分(以後、Z500)が気候学的変動の14.5%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している。ただし、湿度成分のみ、さらに40%大きく(気候学的変動の21%の大きさ)する(経田2002)。このようにして作成された初期摂動は、Z500成分を用いて規格化しているため、変動の大きな中高緯度に対応した値となり、熱帯域では振幅が大きすぎる問題がある(例えば、久保田ら2005)。

そこで、京都大学防災研究所と気象庁地球環境・海洋部の共同研究「熱帯域における季節内振動の予測可能性評価」では、気象庁現業予報モデルにおけるBGM法を改良し、熱帯域に適した初期摂動を作成した(近本ら2007)。ここでは、共同研究で得られた初期摂動の現業1か月予報への利用に向けた調査結果について報告する。

2. 現業利用のための検討

2. 1 実験設定

熱帯域で作成する初期摂動を新たに利用するために、現業システムを改良して表2のような仕様を考える。まず、北半球中高緯度域の摂動は、これまでの現業摂動と同様Z500をノルムとし、ノルムの大きさや摂動サイクル間隔は変更しない。ただし、摂動作成範囲を北緯20度以北とする。一方、熱帯域の摂動

は、共同研究と同様に、ノルムを200hPa速度ポテンシャル(以後、 $\chi 200$)とし、摂動作成範囲を南緯20度～北緯20度、摂動サイクルは24時間とする。この際のノルムの大きさについては、現業利用に適した値を次節で検討する。また、中高緯度域と熱帯域で各々求めた初期摂動をどのように組み合わせるのかについて、2.3で検討する。

今回の実験では、ブリーディングサイクルを2003年10月15日から開始し、2003年11月1日～2004年1月31日の期間を解析した。使用した予報モデルは、T106L40V0305(GSM 0305)である。

表1 現業の初期摂動作成法の仕様

	中高緯度+熱帯
摂動範囲	20S～90N
ノルム	Z500
ノルムの大きさ	気候学的変動の14.5%
摂動サイクル	12時間
直交化間隔	24時間

表2 改良版初期摂動作成法の仕様

	中高緯度	熱帯
摂動範囲	20N～90N	20S～20N
ノルム	Z500	$\chi 200$
ノルムの大きさ	気候学的変動の14.5%	気候学的変動の20%
摂動サイクル	12時間	24時間
直交化間隔	24時間	24時間

2. 2 熱帯摂動のノルムの大きさ

近本ら(2007)は、熱帯摂動のノルムの大きさを気候学的変動の0.1%～14.5%の間で変化させ、摂動の成長モードを調査した。その結果、ノルムの大きさが気候学的変動の1%以下では対流モードであるが、3.3～14.5%では大

きな東西スケールを持った成長率約 0.1/日の不安定モード(Large-scale Mode)であることを示した。現業利用には後者の摂動を考えるが、予報誤差に比べてスプレッドが小さい傾向にある。そこで、摂動の特性が変わらない範囲で、ノルムの大きさをより大きく設定し、より適切なスプレッドを得ることを考える。

図1は、ノルムの大きさを気候学的変動の0.1%~50%まで変化させたときの、熱帯摂動T1pの期間平均成長率である。エラーバーは近本ら(2007)と同様に計算した。ノルムの大きさが気候学的変動の3.3~20%の範囲では、成長率は0.1前後の正の値であるが、50%まで大きくするとほぼ0になる。これはT2p摂動に関しても同様であった(図略)。また、これらの初期摂動を用いたアンサンブル予報において、ノルムの大きさが20%以下ならば、スプレッドが予報時間とともに成長することが確認された(図略)。このように、ノルムの大きさが気候学的変動の20%程度ならば、近本ら(2007)の示したLarge-scale Modeの特性は変わらないといえる。よって、現業用摂動のノルムの大きさには、気候学的変動の20%の値を採用する。

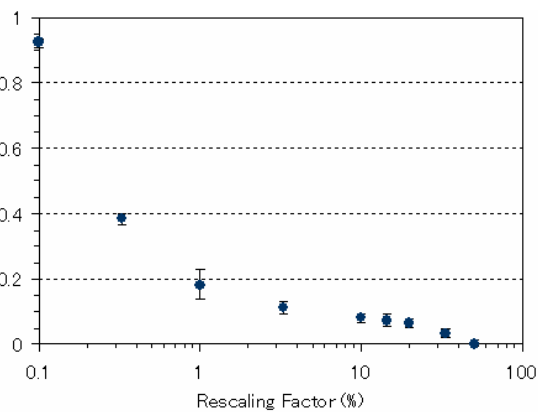


図1 ノルムの大きさに対する熱帯摂動 T1p の成長率(day⁻¹)
2003/11/1~2004/1/31の92日間平均。

2.3 摂動の組み合わせ方

改良した初期摂動を予報に用いる際には、熱帯域と北半球中高緯度域でそれぞれ求めた摂動を線形結合して利用することになる。そこで、熱帯域と中高緯度域の摂動をどのように組み合わせるかについて、検討する必要がある。ここでは、組み合わせ方の候補として、以下の3つのパターンを考え、予報精度の比較実験を行う。

① 熱帯重視型

熱帯のコントロールと摂動(T00, T1p, T1m, T2p, T2m)に対して、中高緯度摂動(E1p, E1m, E2p, E2m)をそれぞれ掛け合わせた合計20メンバー。

② 中高緯度重視型

中高緯度摂動20個(E1p, E1m, ..., E10p, E10m)に対して、熱帯摂動(T1p, T1m, T2p, T2m)をランダムに1つ組み合わせた合計20メンバー。

③ 中高緯度のみ型

中高緯度摂動20個(E1p, E1m, ..., E10p, E10m)のみを使った合計20メンバー。

これら20個の摂動メンバーとコントロールの計21メンバーにより、2003年11月20日~2004年1月22日の毎週木曜を初期値として、30日積分のアンサンブル予報実験を行った。

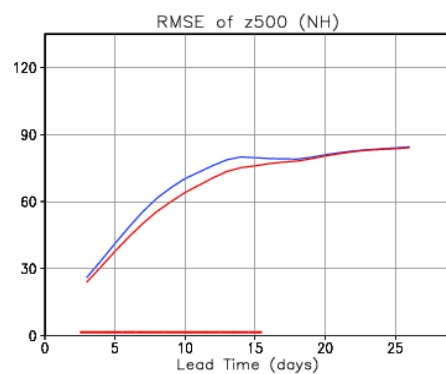


図2 北半球域(北緯20度以北)Z500のRMSE(m)熱帯重視型(青)と中高緯度重視型(赤)の比較。
横軸上の赤線は危険率5%で差が有意であることを示す。

まず、熱帯重視型と中高緯度重視型の北半球域 Z500 の予報精度の比較を図 2 に示す。中高緯度の摂動をより多く使う中高緯度重視型のほうが、予報期間前半の RMSE が小さいことが分かる。また、熱帯域(南緯 20 度～北緯 20 度)の χ 200 の予報精度(図略)は、両者の差は小さいが、中高緯度重視型のほうがやや良い。

次に、熱帯摂動の有無の違いである中高緯度重視型と中高緯度のみ型の比較(図略)では、北半球域 Z500 の予報精度ではほとんど差がなく、熱帯域 χ 200 の予報精度は熱帯摂動の入っている中高緯度重視型がやや良い結果であった。

中高緯度域の摂動は、成長率が大きく、多くの成長モードが存在すると考えられる。実際に、予報精度の評価としても、中高緯度域の摂動をより多く使う組み合わせが良い結果となった。また、熱帯摂動を使うことで、熱帯域を中心に予報精度が向上する。よって、現業用摂動としては、中高緯度域の摂動をより多く使い、熱帯摂動と組み合わせた、中高緯度重視型が最も良いと考えられる。

3. 改良版初期摂動を用いた 1 か月予報実験

前章で決定した改良版初期摂動を用いてアンサンブル 1 か月予報実験を行い、ルーチンと予報精度の比較を行った。対象期間は、2003 年 11 月～2004 年 1 月とし、ルーチンの仕様に合わせて毎週水曜・木曜を初期値とする。LAF 法を併用し、メンバー数は両日合わせて 26 メンバーである。

図 3、図 4 には、ルーチン予報と改良版初期摂動を用いた予報(改良版と呼ぶ)のスペルッドと RMSE の比較を示す。熱帯域の χ 200(図 3)では、ルーチンの過大な初期摂動を改良したことにより、改良版のスペルッドは時間とともに成長するようになった。また、改良版の RMSE は予報初期の改善が有意である。この結果は、流線関数など他の要素でも同様である。

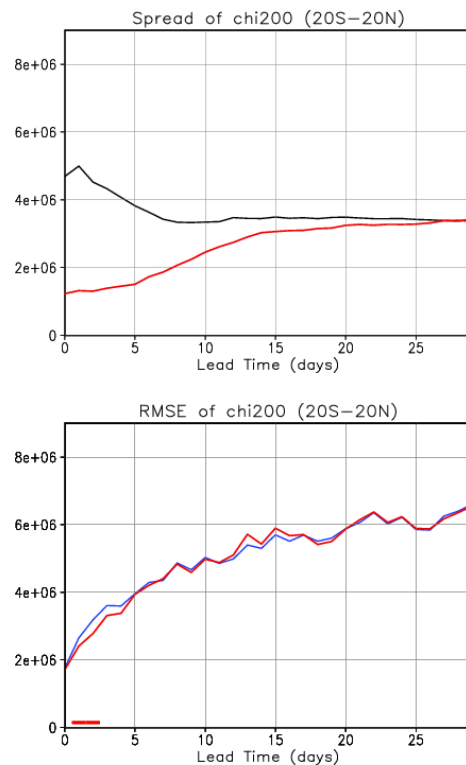


図 3 熱帯域の χ 200 のスペルッド(上)と RMSE(下) ルーチン: 黒(青)、改良版: 赤
RMSE の横軸上の赤線は危険率 5%で差が有意。

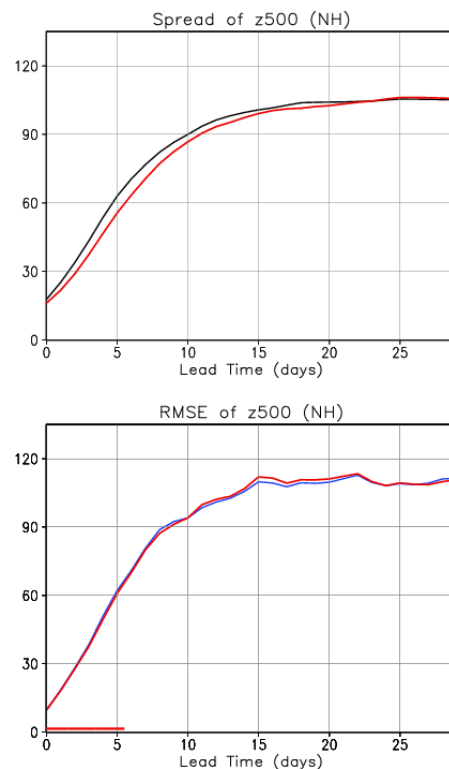


図 4 北半球域の Z500 のスペルッド(上)と RMSE(下) その他は図 3 と同様。

北半球域の Z500(図4)では、1週目を中心として RMSE の改善が見られる。日本域の結果でも同様である。

このように、改良版初期摂動を用いた予報では、予報精度がいずれも改善する結果が得られた。ただし、予報誤差に比べてスプレッドがやや小さく、スプレッドが予報誤差を十分に表現しきれていない傾向にある。

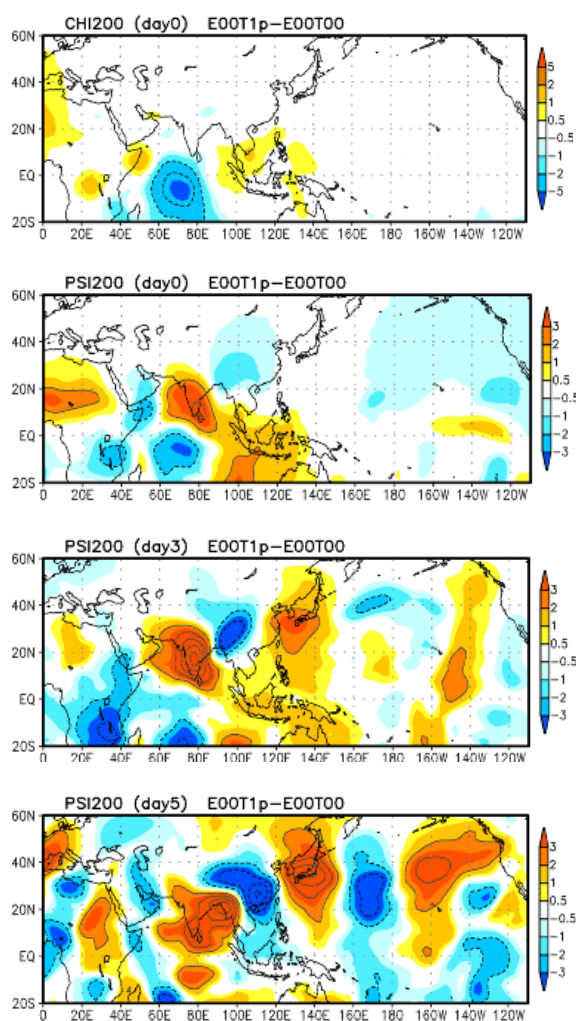


図5 熱帯の初期摂動が中緯度に影響を与えた事例
2003年12月18日を初期値とした摂動ラン(熱帯摂動1p)の結果。上から、200hPa速度ポテンシャル(χ 200)の初期摂動、200hPa流線関数(ψ 200)の初期摂動、3日後、5日後の摂動。単位は $10^6\text{m}^2/\text{s}$ 。

4. 予報事例

ここでは、熱帯の初期摂動が中緯度に影響を与えている事例を紹介する。図5は、2003年12月18日を初期値とする、熱帯のみの初期摂動を与えた摂動ラン(T1p)の初期時刻から予報5日目までの摂動成分である。200hPa速度ポテンシャルでは、インド洋に発散の摂動が与えられ、解析(図略)の発散中心(海洋大陸付近)を西にずらすような初期摂動となっている(図5最上段)。これに対応して、200hPa流線関数の摂動(二段目以下)は、インド付近に高気圧が形成され、時間とともにアジアジェットに沿って下流に伝播し、日本を含む中緯度域に達している。このように、インド洋に与えられた初期摂動が、数日後には日本にも影響することを示している。

5. まとめと議論

京都大学防災研究所と気象庁地球環境・海洋部の共同研究において、熱帯域に適した初期摂動を作成し、これを現業1か月予報システムに組み込むための調査を行った。改良版初期摂動による1か月予報実験の結果、予報期間前半を中心として予報精度の改善が確認された。ただし、予報誤差に比べてスプレッドが小さい傾向にある。これについては、初期摂動だけではなく、stochastic physics法(Buizza et al. 1999)やSSTアンサンブルなど、予報の不確実性を適切に表現する方法をさらに検討する必要がある。

今回改良した初期摂動は、熱帯域と北半球中高緯度域で独立に求めた摂動を重ね合わせている。境界域(北緯20度)付近で悪影響がないかどうか、現業化に向けてさらに調査したい。また、現在運用中の現業システムでの検証も行った上で、今年度末の現業化を予定している。

謝辞

今回の研究集会参加にあたり、東京大学気候システム研究センターより旅費の補助を受けました。感謝いたします。

参考文献

- Buizza, R., M. Miller, and T.N. Palmer, 1999: Stochastic representation of model uncertainties in the ECMWF ensemble prediction system. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **125**, 2887-2908.
- 近本喜光, 向川均, 谷口博, 久保田拓志, 前田修平, 佐藤均, 伊藤明, 2007: 熱帯季節内振動に伴う不安定摂動の力学的特徴. 平成18年度「異常気象と長期変動」研究集会報告書.
- 久保田拓志, 向川均, 岩嶋樹也, 2005: 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. 京都大学防災研究所年報, **48B**, 475-490.
- 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, 気象庁予報部, 30-34.
- Toth, Z. and E. Kalnay, 1993: Ensemble forecasting at NMC: The generation of perturbations. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **74**, 2317-2330.
- Toth, Z. and E. Kalnay, 1997: Ensemble forecasting at NCEP and the breeding method. *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 3297-3319.