

## 温帯及び熱帯低気圧に関する成長モードの比較 Comparison of growing modes for extra-tropical and tropical disturbances

○中下早織・榎本 剛

○Saori NAKASHITA, Takeshi ENOMOTO

We applied the breeding method to the generation of ensemble perturbations in a regional forecast model. Using this system, ensemble forecast experiments were conducted from August 30, 2022, when an extra-tropical cyclone and a tropical cyclone existed simultaneously in the computational domain over east Asia, to identify the growing modes for each disturbance. The uncertainty of the tropical cyclone in terms of kinetic energy is found to be large near the centre in the lower troposphere. Although all members underestimate the strength of the tropical cyclone, its growing modes yield a meridional spread of tracks. On the other hand, specific humidity has a large variance around a dry air mass entering the extra-tropical cyclone. The perturbations in moisture are found to affect the developing rate of the cyclone by modulating lower tropospheric stability below this air mass.

### 1. はじめに

台風や温帯低気圧などの擾乱の発生・発達メカニズムに対する予測可能性を調べるには、決定論予報に加えてアンサンブル予報実験を行うことが重要である。アンサンブル予報の初期値は、アンサンブルメンバー同士が十分にばらつくだけでなく、メンバー間のばらつきの中に予報誤差の発達しやすい方向を捉えるように与える必要がある。メソスケールの擾乱のより詳細な構造を解像するために領域モデルでアンサンブル実験を行う場合、全球アンサンブルからのダウンスケーリングで初期値を作成することが最も簡単であるが、その初期値は必ずしも領域モデルの解像度や特性に即した成長構造を含んでいるとは限らない。

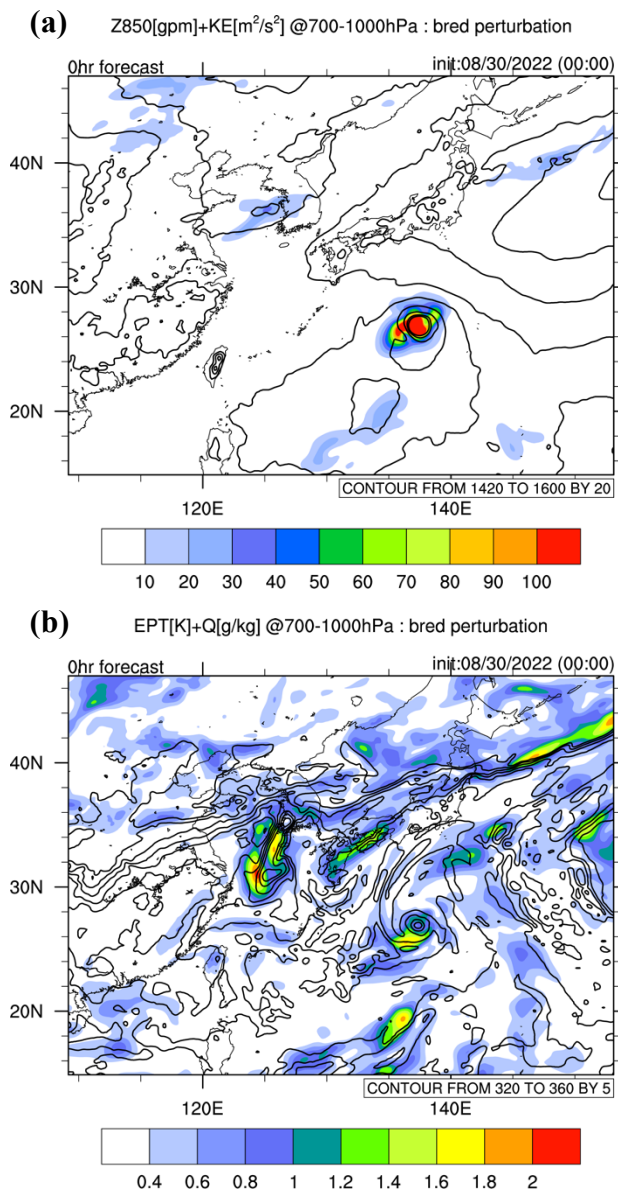
本研究では、かつて現業の全球アンサンブル予報の初期値作成に用いられていた成長モード育成法<sup>[1]</sup>を利用して、領域モデルのアンサンブル初期値を生成する。本発表では、温帯低気圧と熱帯低気圧が同時期に日本周辺に発生していた2022年8月30日を対象としたアンサンブル実験を行い、それぞれの擾乱に対する成長構造について考察する。

### 2. モデルの仕様と実験設定

本研究では予報モデルとしてNCEPで開発された領域スペクトルモデルであるRSM/MSM<sup>[2]</sup>を用いる。このモデルはハワイやアラスカの領域予報モデルとして現業で利用されていた。静力学版(RSM)と非静力学版(MSM)の切り替えが可能

であり、全球または比較的粗い解像度の領域モデルの予報を基本場として、基本場からのずれの時間発展を計算する摂動法を用いている。本研究では水平解像度27 kmの外側領域(D1)と水平解像度9 kmの内側領域(D2)の2つの領域で計算を行った。D1の基本場はGFSの予報値(水平解像度0.25度)を用いる。アンサンブル実験では、D1に対して成長モード育成法を適用し、D2での実験はD1からのダウンスケーリングで行う。

成長モード育成法では、コントロール予報と摂動を与えた予報の差をスケールリングして次の時刻の初期値に加え、再び摂動を加えた初期値からの予報を行うサイクルを繰り返すことで成長ベクトルを得る。本研究ではコントロールをGFSからのダウンスケーリング予報とする。サイクル開始時刻(8月29日0000 UTC)から予報の初期時刻(8月30日0000 UTC)まで6時間サイクルを4回行なう。最初に与える任意の摂動は、過去(2017~2021年)の8月のGFS予報値からランダムに選んだ日付の12時間予報の差とする。摂動の大きさを測る指標には乾燥全エネルギーを用い、スケールリングの大きさは全球アンサンブル予報初期値のエネルギー統計と同等になるように $3.0 \text{ J/kg/m}^2$ とした。このサイクルを、任意に与える摂動を変えて10回行い、10メンバーの初期値を生成した。本研究では基本場に対する摂動は考慮せず、D1のアンサンブルメンバーの基本場は全てコントロール予報と同じGFS予報値とした。



**Fig. 1:** Initial ensemble spread of (a) kinetic energy and (b) specific humidity in terms of 1000–700 hPa layer mean. Black contours indicate the ensemble mean of (a) geopotential height and (b) equivalent potential temperature at the 850 hPa surface, respectively.

### 3. 結果

本発表ではD2での48時間アンサンブル予報実験の結果に着目する。成長モード育成法で捉えられた成長モードのエネルギーは対流圏上層と中下層に2つのピークを持ち、中下層の成長率が大きかった。中下層でのアンサンブルスプレッドの水

平分布を見ると、運動エネルギーのスプレッド (Fig. 1a) は予報期間を通して台風と熱帯低気圧の近傍で大きい。温帯低気圧近傍では擾乱の発達に伴ってスプレッドが大きくなっていく。これらはそれぞれの擾乱の発達に伴う不確実性を表していると考えられる。台風に対するスプレッドは極大を示すが、アンサンブル予報の台風進路は南北にばらつくものの、中心気圧はばらつきが小さくコントロール予報を含む全メンバーで実況よりも強度を過小評価していた (図略)。

次に比湿のスプレッド (Fig. 1b) を見ると、初期暖域側に貫入した低相当温位気塊に対しても大きくなっている。この低相当温位気塊は気温よりも周囲との比湿の差によって特徴づけられる。この乾燥空気塊に対する摂動は下層の安定度に影響を与え、乾燥空気塊の東側での対流活動の活発化に寄与していたと考えられる (図略)。したがって、温帯低気圧暖域側への乾燥空気塊の貫入に伴う不確実性は低気圧の発達度合いと関連し、成長モードはそれを捉えていると示唆される。

領域モデルに対する成長モード育成法により、温帯低気圧と熱帯低気圧のそれぞれの擾乱の発達に伴う不確実性と擾乱に対して流入する乾燥空気に対する不確実性を捉えることができた。特に乾燥空気がそれぞれの擾乱に及ぼす影響についてはより詳細な調査が求められる。

### 謝辞

NCEP RSM/MSM は Henry Juang 博士より提供していただいた。本研究は科研費 22J21757、19H05698、19H05605、21K03662 の助成を受けた。

### 参考文献

- [1] Toth, Z. and E. Kalnay, 1997: Ensemble Forecasting at NCEP and the Breeding Method. *J. Atmos. Sci.*, **52**, 1434-1456.
- [2] Juang, H.-M., 2000: The NCEP mesoscale spectral model; a revised version of the nonhydrostatic regional spectral model, *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 2329-2362.