

## Breeding法のアンサンブル摂動生成におけるStochastic seedingの効果

三好建正（気象庁数値予報課）、Eugenia Kalnay（メリーランド大学）

現業アンサンブル予報では、計算資源の限界からメンバー数が限られ、通常多くても100メンバー程度が限界である。このように非常に限られたサンプルでアンサンブル予報を行う場合、よりよい初期摂動を用いることが、アンサンブル予報の精度や有用性に直結する。ランダムに生成された初期摂動は、最初の数時間は通常成長しない。そのような摂動を用いては、よいアンサンブル予報はできない。

Toth and Kalnay (1993)により提唱されたBreeding法は、低コストで成長モードを得る効率的な方法である。気象庁や、米国の現業数値予報センターであるNCEPでは、Breeding法を現業的に使っている。初期摂動をランダムに与え、Breedingサイクルを行うことで、線形モデルにおけるLyapunov Vector (LV) の非線形拡張であるBred Vector (BV) を得る。線形モデルでは、ランダムな初期摂動から始めると、単一のLeading LV (LLV) に収束することが知られている。この意味で、複数のBVが互いに似ると考えるのは、自然な発想である。Kalnay et al. (2002)は、モデルの非線形効果により、単一のLeading BV (LBV) に収束することはないことに言及しており、実際NCEPの現業BVは互いに異なっている。気象庁では、複数のBVが似た構造を持つことを避けるため、Breedingサイクルで直交化のプロセスを行っている (Kyouda and Kusunoki 2002)。Annan (2003)は、Breeding法における直交化の優位性に言及している。

一方、Corazza et al. (2002)は、Breedingサイクルで小さなランダム摂動を与え、アンサンブル予報の情報を3次元変分法の背景誤差に取り込んだデータ同化サイクルが大きく安定化する結果を得た。これは、小さなランダム摂動が日々の流れに応じた摂動をより正確に捕らえるのに役立っていることを示す。

我々はこれをより詳細に調べるため、通常のBVに加え、Breedingサイクルに直交化を施した直交化BVと、ランダム摂動を与えたBVを、Lorenzの40変数モデル (Lorenz 1996) 上で生成し、比較した。それぞれ5メンバーのBreedingサイクルを行って得られたBVを示したのが、図1である。この低次元モデルでは完全に5つのBVが一致し、一つのLBVに収束している。直交化することで、それぞれ異なる形状を示すが、驚くべきことに、ランダム誤差を与えたBVも変数番号10~20あたりに似たような変動シグナルを捕らえている。このシグナルはBVでは失われており、高次の直交化BVに含まれるものである。小さなランダム摂動が、Breedingサイクルに刺激を与え、新たな種 (seed) を植えつけていると解釈できる。この意味から、Breedingサイクルでランダム摂動を与えるプロセスを、Stochastic seedingと呼んでいる。

直交化して得られる高次のLeading成分は、高次に

なるほど摂動成長率が低くなるが、Stochastic seedingによって得られるBVは、各メンバーに順序付けがないため、完全に対等である (メンバー対称性)。また、このように流れに応じた日々の誤差をより正確に捉えることが、アンサンブルを用いた様々な技術に有用であり、アンサンブル・カルマンフィルタの性能向上に役立つことも確かめられている (Miyoshi 2005; Whitaker and Hamill, pers. comm.)

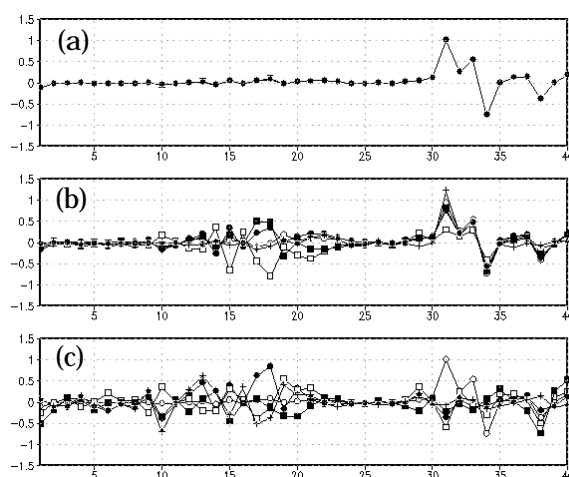


図1 5メンバーのBV。(a)~(c)は、BV、ランダム摂動を与えたBV、直交化BVをそれぞれ示す。横軸は変数の番号を示す (合計40変数)。

### 参考文献

- Annan, J. D., 2004: On the Orthogonality of Bred Vectors. *Mon. Wea. Rev.*, **132**, 843-849.
- Corazza, M, E. Kalnay, D. J. Patil, E. Ott, J. Yorke, I. Szunyogh, M. Cai, 2002: Use of the breeding technique in the estimation of the background error covariance matrix for a quasigeostrophic model, AMS Symposium on Observations, Data Assimilation and Probabilistic Prediction, Orlando, Florida, 154-157.
- Kalnay, E., M. Corazza, and M. Cai, 2002: Are bred vectors the same as Lyapunov vectors?. AMS Symposium on Observations, Data Assimilation and Probabilistic Prediction, Orlando, Florida, 173-177.
- Kyouda, M. and S. Kusunoki, 2002: Ensemble Prediction System. Outline of the Operational Numerical Weather Prediction at the Japan Meteorological Agency, Appendix to WMO Numerical Weather Prediction Progress Report, 59-63.
- Lorenz, E. N., 1996: Predictability: A problem partly solved. Proc. Seminar on Predictability, Vol. 1, ECMWF, Reading, Berkshire, UK, 1-18.
- Miyoshi, T., 2005: Ensemble Kalman filter experiments with a primitive-equation global model. Doctoral dissertation, University of Maryland, College Park, 197pp.
- Toth, Z. and E. Kalnay, 1993: Ensemble Forecasting at NMC: The Generation of Perturbations. *Bull. A. Met. Soc.*, **74**, 2317-2330.