

地球シミュレータを使った局所アンサンブル変換カルマンフィルタの完全モデル実験

*三好建正（気象庁数値予報課）、山根省三（千葉科学大学／地球環境フロンティア）

Miyoshi (2005)は、アンサンブル・カルマンフィルタ (Ensemble Kalman Filter: EnKF) を低解像度 (T30L7) の全球モデルに適用し、良好な結果を得た。Whitaker and Hamill (2005)は、T62のNCEP全球予報システム (GFS) に実際の観測データを使ったEnKF実験を行い、良好な結果を報告している。このほか、Szunyoghらメリーランド大学のグループもT62のNCEP GFSを用いた実観測データ同化に成功した (Kalnay, 私信)。このように、これまでのEnKF研究で報告された良好な結果は、T62程度以下の全球モデルを用いたものである。一方、現業センターで運用されているデータ同化やアンサンブル予報システムの解像度は、少なくともT106程度である。解像度が高いことで、相応の詳細な物理過程を含み、小スケールの現象が表現されるようになると、誤差の自由度の増大、ひいてはEnKFに必要なアンサンブルメンバー数の増大が懸念される。解像度の増加に伴うメンバー数増大の有無は、計算コストの面で実用上重大な問題である。このため我々は、地球シミュレータを使って、T159L48という現業システム程度の解像度のAFESモデル (Ohfuchi et al. 2004) を使い、局所アンサンブル変換カルマンフィルタ (Local Ensemble Transform Kalman Filter: LETKF, Hunt 2005) の実験を行うことで、解像度の増加に伴う必要メンバー数の問題について調べた。

LETKFシステムは、Miyoshi (2005)が開発したLEKFシステムを基に、並列化及びチューニング等を行って開発した。LETKFはLEKFの並列計算機親和性を保持したままコア部分の計算を効率化し、LEKFより数倍程度高速化したアルゴリズムである。我々のシステムでは、80メンバー以上で99.99%程度の並列化率を達成し、メンバー数と同じノード数を使って、1回のLETKFに要する計算時間は4分以下となった。

実験は、完全モデルを仮定したOSSE (Observing Systems Simulation Experiment) に基づき、Miyoshi (2005)と同様、メルカトル図法で全球様な規則的な観測網を用いた (5x5x4グリッドに1点)。OSSEでは、AFESの長期ランを真の時間発展と仮定することで、これを観測地点に内挿し観測誤差に相当するランダムノイズを加えて観測データを生成する。真の格子点値が与えられているので、明確な検証ができる。本実験においては、共分散膨張は適用せず、局所化パラメータは11x11x5のlocal patch、水平2グリッド、鉛直1グリッドの局所化スケールに固定した。この条件で、アンサンブルサイズを変えて実験した。サイクル始めの初期アンサンブルは、長期ランから同じ季節の任意の時刻の場を取った。観測誤差は、東西風、南北風とも1.0 m/s、気温、地表面気圧、比湿についてそれぞれ1.0 K, 1.0 hPa, 0.1 g/kgとした。

図1に、各メンバー数の地表面気圧解析場の全球領域の二乗平均平方根誤差(RMSE)の時系列を示す。10

メンバーでもフィルターは発散せず、解析誤差は観測誤差と似たレベルである。20メンバー以上用いると、フィルターの安定性が大きく向上し、誤差レベルが半分以下になる。メンバー数を増やすことで、よりよいフィルター性能が得られる。ここには示さないが、局所化パラメータへの依存性は無視できず、メンバー数毎にチューニングを行う必要がある。

T159L48のAFESを用いたLETKF実験で、10メンバーでも安定したフィルター性能が得られ、20メンバー以上では、全球平均の解析誤差が観測誤差の半分以下に抑えられる良好な性能が得られた。また、計算時間も数分程度であった。このことから、解像度の増加に伴う必要メンバー数の顕著な増大はなく、計算時間も合わせ、計算コストの面からEnKFシステムの実用可能性を示したものとといえる。

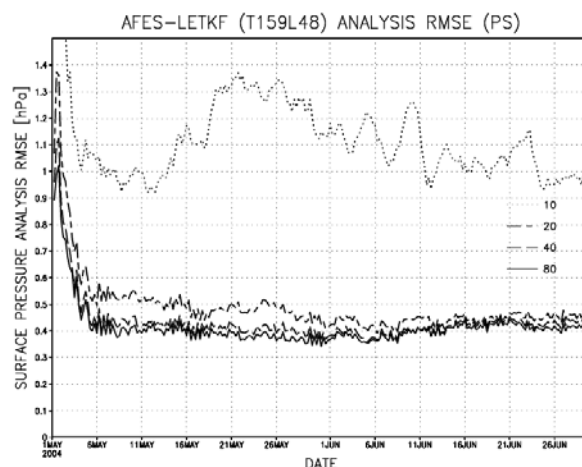


図1 地表面気圧の全球平均解析誤差の時系列。各線は、上から10, 20, 40, 80の各メンバー数を表す。

謝辞

大淵濟、榎本剛 (ESC)、竹内義明、小泉耕 (数値予報課) の各氏との有意義な議論や支援等に感謝する。本実験では、海洋研究開発機構の支援により、地球シミュレータを利用した。

参考文献

- Hunt, B. R., 2005: Efficient Data Assimilation for Spatiotemporal Chaos: a Local Ensemble Transform Kalman Filter. arXiv:physics/0511236v1, 25pp.
- Miyoshi, T., 2005: Ensemble Kalman filter experiments with a primitive-equation global model. Doctoral dissertation, University of Maryland, College Park, 197pp.
- Ohfuchi, W., H. Nakamura, M. K. Yoshioka, T. Enomoto, K. Takaya, X. Peng, S. Yamane, T. Nishimura, Y. Kurihara, and K. Ninomiya, 2004: 10-km mesh meso-scale resolving simulations of the global atmosphere on the Earth Simulator: Preliminary outcomes of AFES (AGCM for the Earth Simulator). J. Earth Simulator, 1, 8–34.
- Whitaker, J. S. and T. M. Hamill, 2005: Ensemble Data Assimilation in the NCEP GFS. preprint.