

全球プリミティブ方程式モデルを使ったアンサンブル・カルマンフィルタ実験

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

アンサンブル・カルマンフィルタ (Ensemble Kalman Filter: EnKF) は、日々の流れを考慮した高度なデータ同化手法である。カルマンフィルタ (Kalman 1960) は、線形モデルで誤差がガウス分布の場合に最適となるデータ同化手法だが、誤差共分散行列を陽に扱う必要があるため、大気力学モデルのような膨大な次元を持つモデルには直接適用できない。このため、数少ないアンサンブルメンバーを用いて共分散行列を推定する EnKF の手法が Evensen (1994) により考案され、多くの実装方法が提唱されている (Tippett et al. 2003)。EnKF の解説は、三好 (2005) を参照されたい。

EnKF の異なる実装方法はそれぞれ独立に提唱・実験されており、同条件で複数の方法を比較実験した研究はこれまで論文として発表されていない。そこで我々は、2つの異なる EnKF の手法を、Lorenz の 40 変数モデル (Lorenz 1996) 及び低解像度 (T30L7) の全球プリミティブ方程式モデル (SPEEDY モデル, Molteni 2003) に適用した。実装した 2つの EnKF の手法は、Whitaker and Hamill (2002) による逐次的アンサンブル平方根フィルタ (Serial EnSRF) と、Ott et al. (2004) による局所 EnKF (LEKF) である。実験は、モデルの完全性を仮定した OSSE の手法に基づく。真の状態をそれぞれのモデルを用いて生成し、これに観測誤差に相当する乱数を加えて観測データを擬似生成し、同化する。システムや実験の詳細等は、Miyoshi (2005) を参照されたい。

まず、Lorenz の 40 変数モデルに適用した結果について述べる。40 変数のうち 20 変数について、観測誤差標準偏差 1.0 の観測があると仮定した。3次元変分法 (3D-Var) を使って、解析 RMSE (平方根平均二乗誤差) 1.15 を得た。アンサンブルメンバー数を 8 に固定し、パラメータを調整して得られた最良の結果は、Serial EnSRF は 0.34、LEKF は 0.33 となった。0.01 の差は優位な差とは言えず、双方とも 3D-Var を大きく上回る同等の結果が得られたと結論できる。

次に、SPEEDY モデルに適用した結果について述べる。観測点は、図 1 に示すように取った。観測誤差標準偏差は、風は東西・南北成分とも 1m/s、気温は 1K、地上気圧は 1hPa、比湿は 0.1g/kg とした。2ヶ月分計算し、後半 1ヶ月の平均を取って、解析 RMSE を計算した。解析 RMSE は、数値予報精度の指標として標準的に用いられる 500hPa 高度場で示す。3D-Var では、31m となった。EnKF の結果は、表 1 に示す。これは、アンサンブルメンバー数を固定し、局所化パラメータを最適化して得たものである。共分散膨張は、Miyoshi and Kalnay (2005) による動的推定を適用した。2つの EnKF は 3D-Var を大きく上回り、互いに明確な差は見られず、Lorenz モデルと同様の結果が得られた。

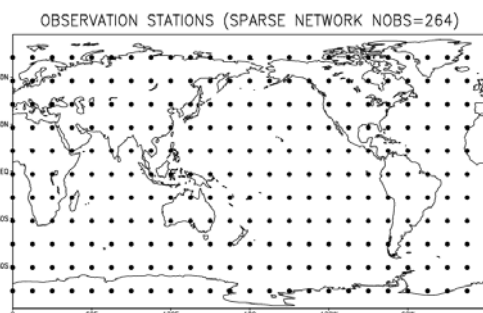


図1 観測点の分布。全格子点の約6%をカバー。

表1 SPEEDYモデルでのEnKFの成績 (500hPa高度場の解析RMSE[m])

メンバー数	Serial EnSRF	LEKF
10	9.2	10.7
20	5.7	4.6

参考文献

- Kalman, R. E., 1960: A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems. *J. Basic Eng., Trans. ASME*, 35-45.
- Lorenz, E., 1996: Predictability - A problem partly solved. Proc. Seminar on Predictability, Reading, United Kingdom, ECMWF, 1-18.
- Miyoshi, T., 2005: Ensemble Kalman filter experiments with a primitive-equation global model. Doctoral dissertation, University of Maryland, College Park, 197pp.
- 三好建正, 2005: アンサンブル・カルマンフィルタ-データ同化とアンサンブル予報の接点-. *天気*, **52**, 93-104.
- Miyoshi, T. and E. Kalnay, 2005: A technique to objectively estimate the covariance inflation parameter within ensemble Kalman filtering. *Mon. Wea. Rev.*, submitted.
- Molteni, F., 2003: Atmospheric simulations using a GCM with simplified physical parameterizations. I: model climatology and variability in multi-decadal experiments. *Clim. Dyn.*, **20**, 175-191.
- Ott, E., B. R. Hunt, I. Szunyogh, A. V. Zimin, E. J. Kostelich, M. Corazza, E. Kalnay, D. J. Patil, and J. A. Yorke, 2004: A local ensemble Kalman filter for atmospheric data assimilation. *Tellus*, **56A**, 415-428.
- Tippett, M. K., J. L. Anderson, C. H. Bishop, T. M. Hamill, and J. S. Whitaker, 2003: Ensemble Square Root Filters. *Mon. Wea. Rev.*, **131**, 1485-1490.
- Whitaker, J. S. and T. M. Hamill, 2002: Ensemble Data Assimilation without Perturbed Observations. *Mon. Wea. Rev.*, **130**, 1913-1924.