

順圧大気大循環モデルを用いた EKF と EnKF の比較実験

*近藤 圭一 (筑波大学 生命環境科学研究科), 田中 博 (筑波大学 CCS)

1. はじめに

拡張カルマンフィルタ (以下 EKF) は、カルマンフィルタを非線形モデルに適応したものであるが、一般的な大気大循環モデルはその自由度が数 100 万を超えるため、今日の計算機では実現不可能とされている。また、近年話題のアンサンブル・カルマンフィルタ (以下 EnKF) は Evensen (1994 JGR) によって提唱されたデータ同化法の一つで、日々変化する予報誤差の広がりアンサンブル予報で推定し、EKF を近似したものである。EKF および EnKF は、日々変化する流れに応じた情報を用いることで、データ同化の際に観測に対する最適な重みを求められるため、解析値および予報の精度向上に役立つとされている。また、EnKF はアンサンブル予報を用いた効率的なデータ同化サイクルを構築できるため、将来性が有望視されている。しかしながら、大気大循環モデルにおいては EKF と EnKF が推定する予報誤差の広がり、EKF が実現不可能なため比較されていない。そこで本研究では、EKF の実行できる簡単モデルを用いて、EnKF が EKF をどの程度近似できているか検証した。

2. 方法

本研究で使用する順圧 S-model (Tanaka 2003 JAS) は、従属変数 (u, v, ϕ) を 3 次元スペクトル展開した順圧展開係数 w_i で表される。

$$\frac{dw_i}{d\tau} + i\sigma_i w_i = -i \sum_{jk} r_{ijk} w_j w_k + f_i,$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, 210 \quad (m = 0)$$

変数 w_i は実部と虚部からなるが、これを自由度 410 の実ベクトル $\mathbf{x}$ に書き直して、 $\mathbf{x}$ に対して EKF および EnKF による同化サイクルを行う。

実験には、モデルの完全性を仮定したパーフェクトモデル実験を行った。順圧 S-model の長期積分を真値とし、これに観測誤差程度の乱数を上乗せすることで人為的な観測値を作成した。その上で EKF および EnKF (アンサンブルメンバー数は 20, 50, 100, 410) を用いて 6 時間毎に観測を同化し、それを 30 日間繰り返す。EnKF の手法には LETKF (Hunt 2005 TellusA) を用いた。

3. 結果とまとめ

図 1 は EKF および 100 メンバーの EnKF が収束したと考えられるときの解析誤差共分散行列の固有ベクトルの空間分布である。EKF, EnKF ともに最も卓越

する誤差の分布として傾圧不安定波からなるストームトラックが現れているのがわかる。一方で、北極付近では傾圧不安定波とは異なる誤差のピークが見られる。傾圧不安定波が最も卓越する誤差として現れるのは、順圧 S-model が傾圧不安定のパラメタリゼーションを行っているためと考えられるが、北極での誤差は傾圧不安定波とは異なるため別の要因が考えられる。また、アンサンブルメンバーが 20, 50 のときは、固有ベクトルの分布は図 1 と似ているが、RMSE とスプレッドが一致せず、EnKF が推定する予報誤差の広がりを過小評価している (図は省略)。しかし、100 メンバー以上であれば EnKF は RMSE とスプレッドがほぼ一致し、誤差の広がりを十分に捕らえることができるとわかった。さらに、解析誤差共分散行列の固有値は、第 100 固有値が第 1 固有値の $1/100^2$ になっていること (図は省略) から、アンサンブルメンバーは 100 程度で十分と考えられる。RMSE の比較では、100 メンバー以上の EnKF の性能は EKF と同程度以上であることがわかった。これは、EnKF はモデルの線形化という近似を必要としないため、それを必要とする EKF より性能がよいのではないかと考えられる。

本研究での順圧 S-model を用いた実験では、EnKF が EKF の精度の良い近似を行うには 100 メンバー以上のアンサンブルを必要とすることが示された。しかし、一般的な大循環モデルと相似性があるのかどうかはまだわかっていない。

Eigenvector for Analysis Cov.
EKF vs EnKF (m = 100)

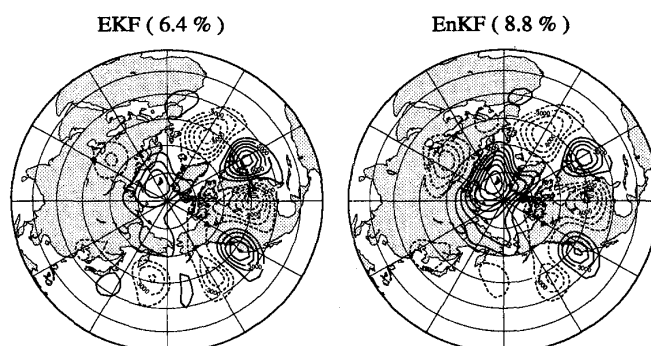


図 1: 解析誤差共分散行列の最も大きい固有値に対する固有ベクトルの空間分布。EnKF のアンサンブルメンバーは 100、括弧内は寄与率。