

カルマンフィルタによる2-スケールモデルのデータ同化

露木 義 (気象研究所)

1. はじめに

広域雲解像モデルや大気海洋結合モデルにデータ同化を適用しようとする、マルチスケールへの対応が必要になる。一般に小規模な現象については、領域全体で高頻度・高解像度・高精度の観測データを得ることは困難である。これらの不十分な観測データを大規模な現象の解析に有効に生かせるか否かが、課題の一つであるといえる。

本研究では、カルマンフィルタを簡単な2-スケールモデルに適用して、マルチスケール・データ同化の方法を検討する。時間スケールの大きく異なる現象が含まれていても、カルマンフィルタによれば、データ同化の計算自体に大きな困難はない。

2. 方法

数値モデルには、Lorenz-96 モデルの2-スケール版を用いる。方程式系は以下の通りである。

$$\begin{aligned}\frac{dX_k}{dt} &= -X_{k-1}(X_{k-2} - X_{k+1}) - X_k + F - \frac{hc}{b} \sum_{j=1}^J Y_{jk} \\ \frac{dY_{jk}}{dt} &= -cbY_{j+1k}(Y_{j+2k} - Y_{j-1k}) - cY_{jk} + \frac{hc}{b} X_k \\ (k &= 1, \dots, K; \quad j = 1, \dots, J)\end{aligned}$$

ここで、 X は大規模場、 Y は小規模場の状態変数で、用いたパラメータの値は Lorenz (1996) に従って $K=36$ 、 $J=10$ 、 $F=10$ 、 $h=1$ 、 $b=c=10$ とする。このとき、小規模場の時間・空間スケールと振幅は大規模場の 10 分の 1 になる。時間積分のタイムステップ Δt を 0.005 とし、周期的境界条件を採用する。

データ同化には、大規模場と小規模場の相関を局所的に計算できる LETKF (Hunt et al, 2007) によるアンサンブル・カルマンフィルタを採用する。また、サンプリングエラーのない拡張カルマンフィルタによる計算も行う。大規模場の観測データは K 個の粗い格子点に $10\Delta t$ 間隔であるものとし、観測誤差の大きさを 1 とする。小規模場の観測データの時空間密度と精度を変えて、解析値の精度を比較する。

3. 結果

図 1 は、小規模場の観測データがすべての格子点に Δt ごとにある場合について、観測誤差の大きさを変えたときの大規模場の解析誤差を比較したものである。カルマンフィルタをそのまま適用すると (濃い灰色)、大規模場の解析誤差が小規模場の観測誤差とともに急激に増大し、いずれ大規模場の観測データだけを同化する場合 (破線) よりも精度が悪くなる。一方、解析インクリメントを計算する際に、大規模場と小規模場間のクロス成分を無視すると (薄い灰色)、そのような場合にはより精度の高い解析値が得られる。小規模場の観測誤差を固定して、その時空間密度を上げていく場合にも同じような結果が得られる。アンサンブルメンバー数を増やしても、拡張カルマンフィルタで計算しても、定性的な結果は変わらない。

4. まとめ

2-スケールモデルにカルマンフィルタをそのまま適用するのは、小規模場の観測データの時空間密度と精度が十分でない限り、大規模場の解析に悪影響がある。そのような場合には、解析インクリメントのクロス成分を無視するのが有効であり、データ同化におけるスケール間相互作用は予測ステップでのみ考慮される。また、大規模場の観測データをまず同化し、得られた大規模場の解析値を与えて小規模場の観測データを同化する階層的アプローチによっても、同程度の解析精度が得られる。

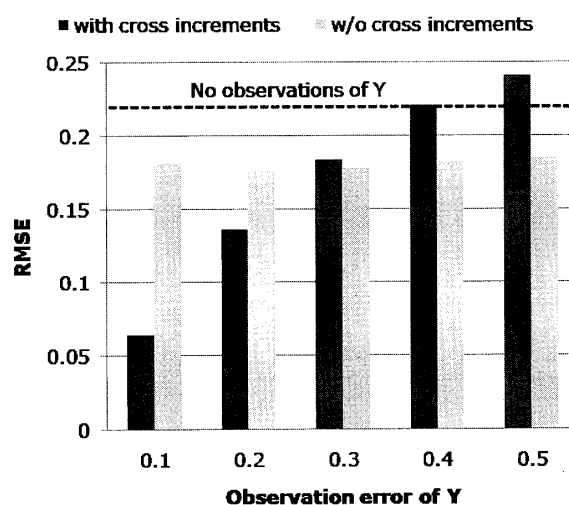


図 1 LETKF (10 メンバー) による大規模場の解析誤差。小規模場の観測誤差による違いを示す。