

4次元の背景誤差共分散行列を使った4D-Varによるアンサンブル生成と決定論的解析

石橋俊之(気象研究所 台風研究部)

1. 研究背景と目的

4次元変分法(4D-Var)やアンサンブルカルマンフィルタ(EnKF)のようなデータ同化システム(DAS)において、背景誤差共分散行列(**B**)は解析精度を決める重要な要素の1つである。**B**の実際の構築は、背景誤差統計の時空間(またはスペクトル)一様性を仮定して、そこでの平均に還元するか、 $O(100)$ 程度の小さな統計サンプルに先験的情報を付加して期待値計算を近似することで行われてきた。前者は変分法、後者はEnKFを解法とする。双方の手法の発展により、近年、後者で求めた**B**を変分法の中で使用することで、単独の場合より精度の良い解析を得られることが示され(Buehner *et al.* 2010)(ハイブリッドDAS)、現業DASとしての利用が始まっている(Wang *et al.* 2013 他)。

本研究は、ハイブリッドDASの精度向上を目的とする。このために、アンサンブル生成と決定論的な解析を共に4D-Varで行うDASの開発を行う。

2. 方法

はじめに用語の定義をする。解析スキームを“aD-bcDB-d”のように表す。aは最適化する空間の次元、bは最適化方法、cは背景誤差共分散の次元、dは背景誤差共分散の性質で時空間平均はC、アンサンブルはEと記す。例えば、従来の随伴モデルを使った強拘束の4D-Varは、4D-Var3DB-C、Buehner *et al.* (2010)の4次元**B**を使う手法は、4D-Var4DB-Eと表記される。

本研究では、気象庁全球4D-Varをベースに4D-Var4DB-ECを構築し、決定論的解析とアンサンブル生成を共に行う。4D-Var3DB-ECにはスイッチで切り替えられるように構築している。また、異なるアンサンブル生成手法であるEnKF(観測空間で計算分割)との比較が可能である。**B**のアンサンブル表現は、**B**の根による変数変換に帰着するが、これについては複数の定式化(Lorenc (2003)等)がある。本研究では見通しの良い形に定式化しなおした。4D-Var4DBで大きな計算コストを占める変数変換について計算モードの縮減を行っている。また、4次元のアンサンブルデータの出力はMPI分割することで負荷を軽減している。

3. 初期結果と今後の展望

4D-Var4DB-ECの基本的な性質を見るために、62メンバの4D-Var4DB-E(アウトターはT1319、解析はT1159のインクリメント法)を実行した。図1は、解析に使用する水平局所化行列のモード数と変分法のコスト関数の最小値探索の関係である。積算寄与率50%までのモードを使用する場合、99%まで使用する場合に比べ、コストの最小値が大きく、解析に必要な自由度が得られないことがわかる。一方、90%と99%の差は

小さい。図2は帯状平均した背景誤差標準偏差である。EnDA等で把握している解析誤差の空間分布と整合している。

これまでの研究では、4D-Var4DB-ECの決定論的解析の精度は4D-Var3DB-ECを上回らない。これは4DBが弱拘束として機能するほどに高精度ではないことから妥当である。一方で4DBが持つ小さな計算コストと随伴コード不要という性質は、非晴天域の輝度温度データの利用やそれに不可欠な基本場の更新に適しているなどのポテンシャルがある。また、4DBの精度向上はアンサンブル生成を通じて、既存の3DBなハイブリッドDASの改善にも直結するものである。新規観測のテストベッドとしての機能も果たせる可能性がある。

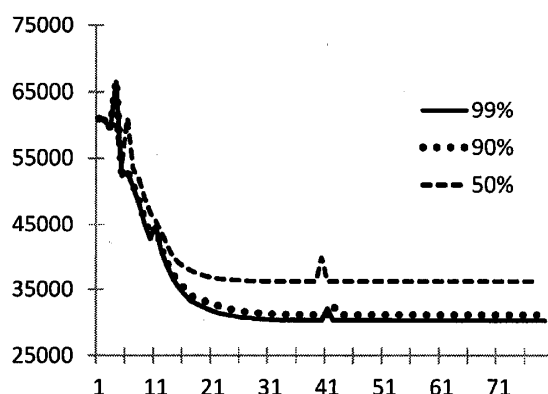


図1 解析に用いる水平局所化行列のモード数とコスト関数の最小化過程。縦軸はコストの値、横軸は最適化回数。

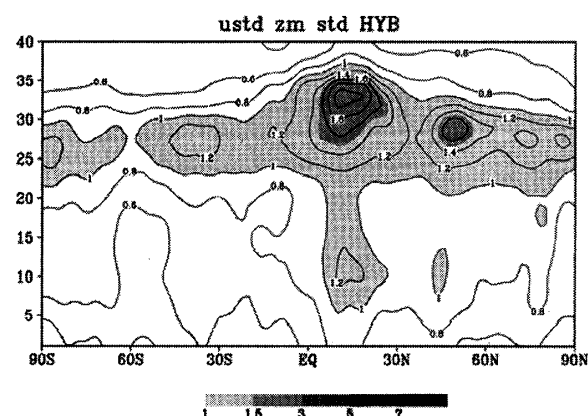


図2 帯状平均した東西風速の背景誤差標準偏差の緯度高度分布。縦軸は高度で地上から約50hPaまでを示している。