

線型性を保持した解析インクリメントの解析

・石橋俊之(気象庁数値予報課)

1 はじめに

ある解析システムの中で各観測データセットが解析結果にどのような影響を与えているかを評価する方法について考える。観測データセットの解析への影響を評価する一般的な方法としては観測システム実験(Observing System Experiment: OSE)がある。OSEでは評価したい観測データセットの有無による解析場の差からデータセットが解析場に与える影響を評価する。この場合は以下で述べるようにデータセットの変化だけでなく、解析システムの変化による解析場の変化も合わせて評価している。ここではこれとは対照的に純粋にデータセットだけの影響を評価することを考える。

2 観測データセットの解析場への影響の評価

カルマンゲイン(K)が陽に構成されている場合には

$$\delta x = BH^T(HBH^T + R)^{-1}d \equiv kd \quad (1)$$

ここで、d, B, H, R δx は各々、d値、背景誤差、観測演算子、観測誤差、解析インクリメント。

(Kalnay 2003 等を参照)から明らかなようにD値(観測値から第一推定値を引いた値)に対して解析インクリメント(解析値から第一推定値を引いた値)は線形である。このため特定のデータセットの解析への影響を見ることは容易である。しかし、実際の大気解析では離散化した大気自由度が大きいこと等からKを陽に構成しないで変分法で解く。この場合も解いている問題は(1)式と同一であるので、暗にKが構成されていると考えることができる。観測データが2つのデータセットA, Bからなる場合を考えると、変分法でA(B)だけ同化した場合、AとBを共に同化した場合の解析は、

$$\begin{aligned} \delta x_{A+B} &= BH_{A+B}^T(H_{A+B}BH_{A+B}^T + R_{A+B})^{-1}d_{A+B} \\ \delta x_A &= BH_A^T(H_A BH_A^T + R_A)^{-1}d_A \\ \delta x_B &= BH_B^T(H_B BH_B^T + R_B)^{-1}d_B \end{aligned} \quad (2)$$

(2)式ではBの変化はなしとしたが変化しても良い。(1)式からKはRとBとHから構成されているため、データセットを変えるとRやBが変わりKも変化することに注意すると、

$$\delta x_{A+B} \neq \delta x_A + \delta x_B \quad (3)$$

であり、解析インクリメントとD値の関係は非線形である。これは、データセットA, Bを独立に同化した場合に同程度の解析精度の向上が得られる場合でも、AとBをともに同化した場合に一方だけ同化した場合の2倍の改善が得られる保証はないことを意味している。このような非線形性は実際のOSEで確認されている(Dumelow 2005)。ただし通常のOSEでは同化サイクルを実施するので非線形モデルによる積分の効果も入る。OSEの目的は非線形効果まで含めた効果を評価することである。

3 線型性を保持した観測データの影響解析

線型性を保持するには影響を評価したいデータセット以外のD値を0として同化する。

$$\begin{aligned} \delta x_{cA} &= BH_{A+B}^T(H_{A+B}BH_{A+B}^T + R_{A+B})^{-1}d_{cA} = K_{A+B}d_{cA} \\ \delta x_{cB} &= BH_{A+B}^T(H_{A+B}BH_{A+B}^T + R_{A+B})^{-1}d_{cB} = K_{A+B}d_{cB} \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、d c Aは、データセットA以外の観測データのD値を0としたD値ベクトル、 δx_{cA} はd c Aから得られる解析インクリメントである。この場合はA, Bでカルマンゲインの形は不変であるためD値に対して解析インクリメントは線形である。

$$\delta x_{A+B} = \delta x_{cA} + \delta x_{cB} \quad (5)$$

したがってある解析システムの中で特定のデータセットの解析への影響はこの方法で評価できる。

4 線型性を保持した解析インクリメントの解析の例

気象庁の全球解析に線形解析を適用した。まず、観測データを輝度温度観測(TB)とそれ以外(NOTB)の2つに分けて線型性を確認する。図1(上図)から線形性がほぼ正確に成り立っていることがわかる。また、TB, NOTBによる解析インクリメントの分布を図1(中下図)に示す。また、変分法バイアス補正の補正係数について輝度温度以外の観測(非 VarBC 観測)からの寄与があることも確認された(図略)。

5 結論

同化システムの中で特定の観測データセットの影響を見るために線型性を保持した感度解析について考察し、実際の気象解析で線型性の保持を確認した。

図1 上段:太黒線は全データ同化、灰+はNOTB、灰口はTB以外のD値を0とした場合、黒○はNOTB+TB。横軸は緯度、縦軸はインクリメント。中段はTB、下段はNOTBのインクリメント分布。いずれもモデル20面(500hPa付近)の気温のインクリメント。

