

# 気象研究所における 全球大気データ同化研究

石橋俊之 気象研究所 台風研究部 第一研究室 ishibasi@mri-jma.go.jp i. はじめに

- ii. 随伴演算子による観測データのインパクト評価
- iii. 複数のOSSE手法による仮想観測システムの評価
- iv. 真値代替場の生成
- v. まとめ

2

4

# はじめに

- 気象研究所では、2011年度から全球大気データ同化の高度化に関す る研究を実施している。
- このために、気象庁の現業の全球大気解析予報システムの実験システム(NAPEX)を2009~2010年度に気象研究所に移植(MRI-NAPEX)。



1

# 随伴演算子による 観測データのインパクト評価





### 観測データインパクトの2種類の定義



## ADJ-based estimation



### ADJ-based estimation

接線形近似の下では AD-based method は以下のように定式化される。

・ 予報誤差のスカラー関数 F:  $F \equiv e^{f^{T}} C e^{f}$ ・ 解析(データ同化)による F の変分  $\delta F \cong 2(\mathbf{MKd})^{T} C \mathbf{M} e_{b} + (\mathbf{M} \delta \mathbf{x})^{T} C(\mathbf{M} \delta \mathbf{x})$   $= \mathbf{d}^{T} \left\{ 2\mathbf{K}^{T} \mathbf{M}^{T} C \mathbf{M} e_{b} + \mathbf{K}^{T} \mathbf{M}^{T} C \mathbf{M} \delta \mathbf{x} \right\} \equiv \mathbf{d}^{T} \mathbf{g}$ C: 計量 M: 接線形モデル e<sup>f</sup>: forecast error  $\mathbf{e}_{b}$ : background error  $\delta x$ : analysis increment d: 観測t-第一推定値

各項はTL近似における一次の量の内積である。(摂動δxが無限小ではないため。)

・ ある観測データPのインパクトは、次式のように計算される。

$$\delta F_P \equiv \sum_{r \in P} g_r \ d_r$$

8



### ADJ-based estimation in JMA global 4D-Var

### 月平均空間分布 航空機観測







- ほぼ半数の観測データは予報誤差を減らし、半分は増やしている。
- PDFの傾きは SONDEの方が AMSU-Aより小さい。
- この傾きの違いは、RとBの関係、1観測のもつ実際の情報量によるものと考えられる。

# 応用例: 真値代替場の生成



Adjoint methodによる評価に基づいて、予報誤差を減らす観測の効果のみ同 化(再選択と呼ぶ)して生成した解析場を初期値として予報した場合の予報誤 差の減少の様子。

### Maxwell's demon?



#### Maxwell's' demon

熱力学的平衡にある系を考える。我々はこの 系について温度Tのみを知っている。もし、個々 の分子の速度を知ることができるならば、我々 はこの系のエントロピーを減らすことができる。



個々のデータの誤差が わかるので、この情報 を使って予報誤差(予 報の不定性=エントロ ピー)を減らせる。



### OSSE手法いろいろ

**Observing System Simulation Experiment** 

### **EnDA-OSSE**

NR-OSSE (Stoffelen et al 2006 , Masutani et al 2010) 仮想大気(Nature Run)を仮想真値として、仮想観測、仮想背景を生成。NRを真 値とした評価。 →仮想世界で閉じる。仮想世界の妥当性が結果の妥当性を決める。

#### EnDA-OSSE (Tan et al 2007)

摂動を付加した複数のデータ同化サイクルを実行して、解析場や予報場のアン サンブルを生成し、そのスプレッドで解析や予報誤差を評価する。 →仮想真値等は不要。誤差は全観測シミュレートする必要がある。また、スプレッ ドの過少、サンプリングエラー等への対応が必要。

#### SOSE-OSSE (Marseille et al 2008)

SOSE解析場を真値代替場とし、仮想観測を生成。仮想観測と実観測、実背景場 で同化。真値代替場、または、適当な解析場を真として評価。 →真値代替場は、実観測や実背景に拘束。

複数の手法があり、手法ごとに特徴がある。仮想観測システムの評価を 複数のOSSE手法で行い信頼できる結果を得たい。



Figure 2. Ensemble of data assimilation cycles. See text for definitions.

Tan et al (2007 QJRMS)

### EnDA-OSSE

### 仕様

現実

仮想

- ・ MRI-NAPEX\*上に実装
- モデル分解能:TL319L60(T106L60)
- ・ 4メンバ
- ・ 摂動は観測データにのみ付加。SSTには付加していない。
- 実験
  - すべての観測を同化。 ✓ CNTL:
  - ✓ NO-TBB: Radianceは同化しない。
  - ✓ NO-SONDE: Sondeは同化しない。
- •期間:2010/7/20~2010/9/9
- 評価: OSEとの比較。
- \* 気象研究所数値解析予報実験システム





U Zonal mean FT48







# 予報誤差改善率(%) U



**NR-OSSE** 

#### 仕様

- ・ MRI-NAPEX(\*)上に実装
- ・ モデル分解能 TL319L60 (水平~60km, model top = 0.1hPa, 1時間)
- NR作成期間 2010/7/20~2010/9/9 (最初10日はスピンアップ)
- 疑似観測 実観測の時空間分布で生成
- ・ 観測誤差 D値(=観測値-予報値)統計から推定。
  誤差相関やバイアスも導入可。
- ・ 境界値 SSTやオゾン気候値等は現実の値

\* MRI-NAPEX: 気象研究所全球解析予報実験システム





既存手法

- NWP-DASよりもはるかに高い予報精度もつ解析場を生成 する手法がいくつか存在する。
  - ✓ SV based method (Buizza et al 1997, Gelaro et al 1998)
  - ✓ Sensitivity based method (Rabier et al 1996)
  - ✓ Variational method (Klinker et al 1998, Pu et al 1997)
- ●いずれも、線形誤差成長理論に基づいて、予報誤差の情報 を解析場の修正に用いる。
- 生成された解析場の観測から乖離、計量の選択への強い依存が、これらの手法による解析場を真値代替場と呼ぶことを難しくしている(Isaksen et al 2005)。

# Variational method



# SV based method

Variational Methodで変換行列をSVにとる。  $\delta \widetilde{\mathbf{x}} = \mathbf{U} \mathbf{z}$ , 解析解は、  $\mathbf{z} = -(\mathbf{V}^T \mathbf{V})^{-1} \mathbf{V}^T \widetilde{\mathbf{e}}^f = -\mathbf{E}^{-1} \mathbf{V}^T \widetilde{\mathbf{e}}^f$ .  $\delta \widetilde{\mathbf{x}} = \mathbf{U} \mathbf{z} = -\mathbf{U} \mathbf{E}^{-1} \mathbf{V}^T \widetilde{\mathbf{e}}^f$ . Moore-Penrose pseudo-inverse (Penrose 1955) 解析インクリメントは特異値スペクトルで白い。  $\delta \widetilde{\mathbf{x}} = \mathbf{U} \mathbf{z} = \mathbf{U}^T \mathbf{U} \mathbf{z} = \mathbf{L}$ .

# Sensitivity based method







解析時刻

Obs12

Gue12

Anl12

Obs18

Gue18

Anl18

Obs00

Gue00

Anl00

Obs06

Gue06

Anl06

Obs12

Gue12

Anl12

Obs06

Gue06

Anl06

●単発試験と2週間の試験

48







# まとめと課題

- 随伴演算子による観測データインパクトを夏冬ーカ月の期間で評価した。 また、予報誤差を減らす観測の効果だけを取り入れた解析を行い、予報 精度の向上を確認した。
- ◆ 準ルーチン的な評価を行う。台風等の事例依存性等も評価する。
- 3つのOSSE手法について実装し、初期評価を行った。
- ◆ 既存観測、仮想観測について3つの手法、OSEの比較を行う。
- 同化窓を未来方向に延長した27時間同化窓で、未来観測、参照解析場を同化し、予報精度の改善、観測との整合した解析場が得られることを見た。
- ◆ NWP-DASの解析誤差の診断、OSSEの真値代替場としての利用、台風 等顕著現象の解析等を行う。

# BACKUPSLIDES