

プロジェクト - 3

Feb. 21, 2011

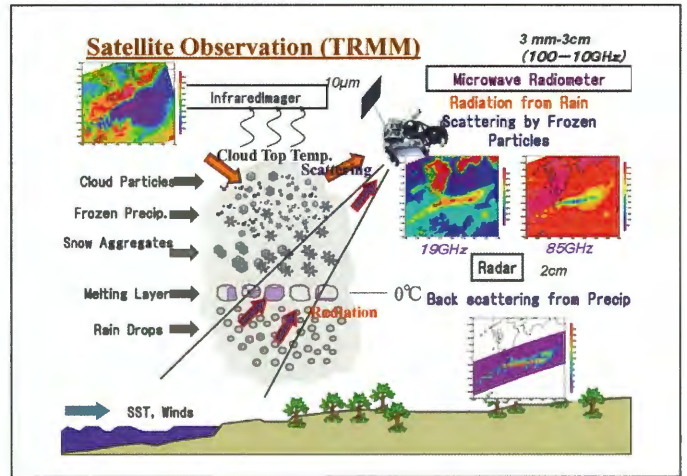
2010年度CEReS 共同利用研究会

多波長マイクロ波放射計データを用いた
水物質リトリーバルの研究:



Adaptive Localizationを使った
Ensembleに基づく4次元変分法の開発
(その1)

青梨和正(気象研)
担当教官 高村民雄



OUTLINE

- はじめに
 - これまでの研究(Ensembleに基づく変分同化法スキム)
 - 目的
- 方法
 - Ensembleに基づく4次元変分同化法スキム
 - CRM物理量のEnsemble予報誤差相関の解析
 - Ensemble予報誤差相関計算へのSpectral Localizationの導入
- まとめ

これまでの研究:

Ensembleを用いた変分法的同化法

- 解析値と同時刻の観測データを同化する

$$J_x = 1/2(\bar{X} - \bar{X}^f)^T P_f^{-1} (\bar{X} - \bar{X}^f) + 1/2(Y - H(\bar{X}))^T R^{-1} (Y - H(\bar{X}))$$
- 解析誤差はアンサンブル誤差空間に属すると仮定

$$\bar{X} - \bar{X}^f = P_e^{\Omega} \circ \Omega \quad \Omega = [\bar{w}_1, \bar{w}_2, \dots, \bar{w}_N]$$

$$P_e^{f/2} = [\bar{X}_1^f - \bar{X}_1^f, \bar{X}_2^f - \bar{X}_2^f, \dots, \bar{X}_N^f - \bar{X}_N^f]$$
- 予報誤差共分散をEnsemble予報誤差を局所化することで求めた (局所化のスケール~32 kmとprescribe)

$$P^f = P_e^f \circ S$$
- Cost functionはΩの関数として表される:

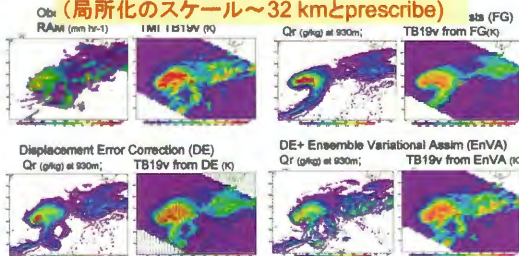
$$J(\Omega) = 1/2 \text{trace}(\Omega^T S^{-1} \Omega) + 1/2 \{H(\bar{X}(\Omega)) - Y\}^T R^{-1} \{H(\bar{X}(\Omega)) - Y\}$$

これまでの研究:

Displaced Ensembleを用いた

MMWRの高分解能同化法
解析値と同時刻の観測データを同化する
Ensemble予報誤差を局所化する

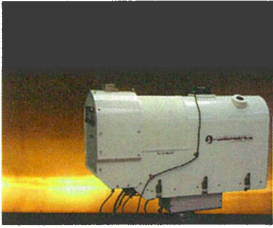
(局所化のスケール~32 kmとprescribe)



本研究の目的

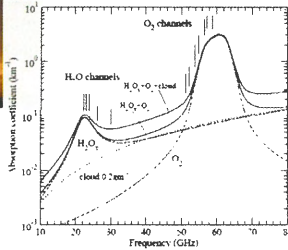
- 背景:
 - 地上型のMWRを同化するには、異なる時刻の観測データを同化するスキムが必要がある。
 - CRMの物理量の予報誤差は、降水の有無などでスケールが変動するため、局所化の重みも変える必要がある (Bishop & Hodyss, 2009)。
- 目的:
 - EnVA(Aonashi and Eito, 2010)を基に、
 - ある期間の観測データを同化し(Liu et al, 2008)、
 - 流れに依存した局所化(Adaptive Localization)を行う同化法(MEN4DV-AL)を開発する。

地上型MWR



観測周波数 (GHz)
22.235, 230.35, 23.835,
26.235, 30.0,

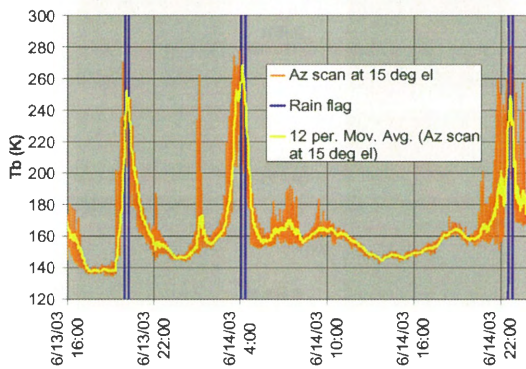
51.250, 52.280, 53.850,
54.940, 56.660, 57.290,
58.800



本研究の目的

- 背景:
 - 地上型のMWRを同化するには、異なる時刻の観測データを同化するスキームが必要がある。
 - CRMの物理量の予報誤差は、降水の有無などでスケールが変動するため、局所化の重みも変える必要がある (Bishop & Hodyss, 2009)。
- 目的:
 - EnVA(Aonashi and Eito, 2010)を基に、
 - ある期間の観測データを同化し(Liu et al, 2008)、
 - 流れに依存した局所化 (Adaptive Localization) を行う同化法 (MEn4DV-AL) を開発する。

時間的に高頻度、但し降水時には高温度



本研究の目的

- 背景:
 - 地上型のMWRを同化するには、異なる時刻の観測データを同化するスキームが必要がある。
 - CRMの物理量の予報誤差は、降水の有無などでスケールが変動するため、局所化の重みも変える必要がある (Bishop & Hodyss, 2009)。
- 目的:
 - EnVA(Aonashi and Eito, 2010)を基に、
 - ある期間の観測データを同化し(Liu et al, 2008)、
 - 流れに依存した局所化 (Adaptive Localization) を行う同化法 (MEn4DV-AL) を開発する。

2. 方法

2. 1 Ensembleに基づく4次元変分同化スキーム

(1) コスト関クションの定義

ある期間の観測データを観測項とするコスト関クション:

$$J_x = \frac{1}{2} (\bar{X}_0^a - \bar{X}_0^f)^T P^{-1} (\bar{X}_0^a - \bar{X}_0^f) + \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T [H(\bar{X}_t^a) - Y_t]^T R^{-1} [H(\bar{X}_t^a) - Y_t]$$

(2) Ensemble予報誤差空間への近似

解析インクリメントをEnsemble予報誤差空間の振幅で表現:

$$\bar{X}_0^a - \bar{X}_0^f = P_{e,0}^a \bar{z}_0(l),$$

$$\bar{X}_t^a - \bar{X}_t^f = P_{e,t}^a \bar{z}_t(l'), \text{ where } P_{e,t}^a = M(P_{e,0}^a)$$

$$J_x = \frac{1}{2} \text{trace}(\bar{z}_0^T(l) \bar{z}_0(l)) + \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T [H(P_{e,t}^a \bar{z}_t(l')) + d_t]^T R^{-1} [H(P_{e,t}^a \bar{z}_t(l')) + d_t]$$

2. 方法

2. 1 Ensembleに基づく4次元変分同化スキーム

(3) $\bar{x}_0(l) C_{0,t}(l, l')$ から $\bar{x}_t(l')$ の計算

時刻0, 地点lの $\bar{z}_0(l)$ と、時刻t, 地点l'の $\bar{z}_t(l')$ の予報誤差相関 $C_{0,t}(l, l')$ と仮定

Partial Linear Regression:

$$\bar{z}_t(l') \sim \sigma_{t'} \left\{ -\sum_{l=1}^L \frac{C_{0,t}^{-1}(l', l) \bar{z}_0(l)}{C_{0,t}^{-1}(l', l') \sigma_t} \right\} + \sum_{l=1}^L W_{0,t}(l', l) \bar{z}_0(l),$$

$$\text{where } W_{0,t}(l', l) = -\frac{C_{0,t}^{-1}(l', l) \sigma_{t'}}{C_{0,t}^{-1}(l', l') \sigma_t}$$

2. 方法

2.1 Ensembleに基づく4次元変分同化スキム

(4) Cost functionの最小化

1) gradient:

$$J_x = \frac{1}{2} \text{trace}\{\bar{x}_0(I)\bar{x}(I)\} + \frac{1}{2} \sum_{l=1}^T [H(P_{e,l}^{f/2}\bar{x}_e(I)) + d_l]^T R^{-1} [H(P_{e,l}^{f/2}\bar{x}_e(I)) + d_l]$$

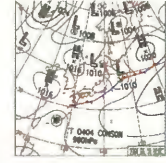
$$\frac{\partial J_x}{\partial \bar{x}} = -\bar{x} + \sum_{l=1}^T \left(\frac{\partial H}{\partial \bar{x}} \right)^T R^{-1} [H(P_{e,l}^{f/2}\bar{x}_e(I)) + d_l]$$

$$\frac{\partial H}{\partial \bar{x}} = \sum_{l=1}^T \frac{\partial \bar{x}_l(I)}{\partial \bar{x}} (HP_{e,l}^{f/2})(I)$$

2) J_x とそのgradientの値を使って、Cost functionを最小化する

2.2 CRM物理量のEnsemble予報誤差相関の解析 沖縄付近の台風の事例 (04/6/9/22 UTC)

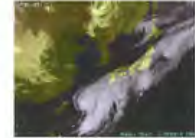
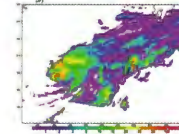
Ensemble 予報 (100member) (04/6/9/15 UTC初期)



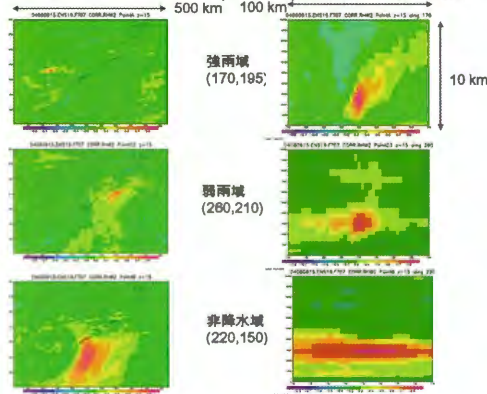
JMANHM 5 km res. (Saito et al, 2005)

初期擾動 (Mitchell et al, 2002):

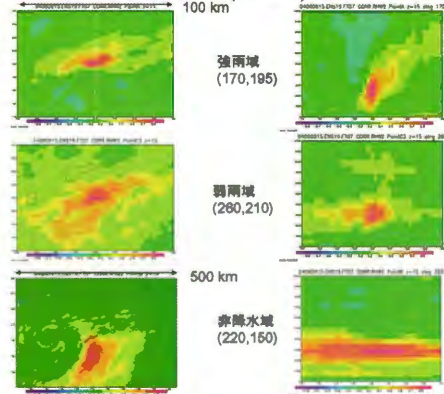
Geostrophically-balanced perturbation plus Humidity



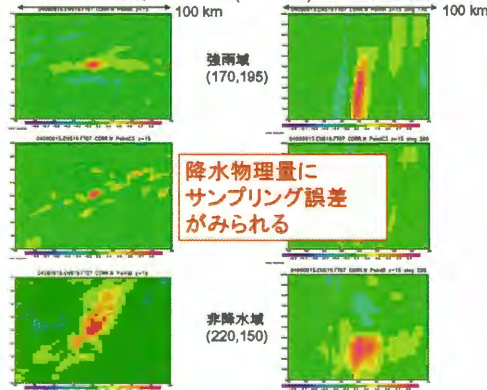
04/6/9/15UTC初期のENS19 (FT=07h)のRHW2の自己相関



04/6/9/15UTC初期のENS19 (FT=07h)のRHW2の自己相関



04/6/9/15UTC初期のENS19 (FT=07h)のWの自己相関



2. 方法

2.2 Adaptive Localization (preliminary)

CRM物理量のEnsemble予報誤差相関の解析

CRM物理量の予報誤差は、降水の有無や物理量の種類に依存して多様なスケールを持つ

multi-scaleの予報誤差に対応するため、本研究は、「大規模な領域」(200 x 200 km)で局所化の重みをブロック対角化する。



2.3 Ensemble予報誤差相関計算への Spectral Localizationの導入

- Buehner and Charron (2007) 仮定:
波長の違いの大きなモード間の予報誤差相関は0になる

$$\hat{C}_{ii}(k1, k2) = \hat{C}(k1, k2) \hat{L}_{ii}(k1, k2)$$

- 物理空間の予報誤差相関にフーリエ変換すると

$$C_{ii}(x1, x2) = \int C(x1+s, x2+s) L_{ii}(s) ds$$

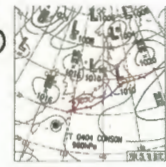
- Spectral Localizationした相関は、対象地点の周囲の相関の重み付きの移動平均で表すことができる
- 本研究は、対象地点の周囲のEnsemble予報値(以下NE)の平均を用いた

従来の計算法(CN)とNEを使った計算法の比較

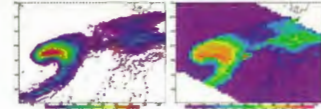
Ensemble 予報 (100member FG)
(04/6/9/15 UTC初期 7時間予報)

台風中心の東の停滞前線付近の
降水強度の予報誤差相関

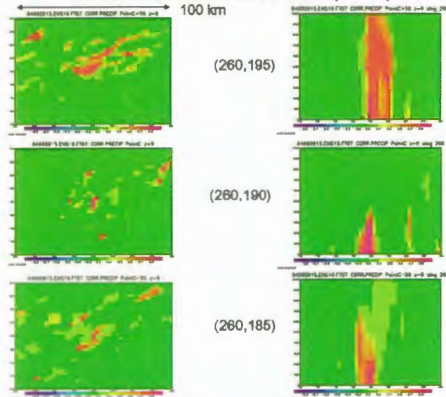
(降水有りのメンバーの割合が10%)



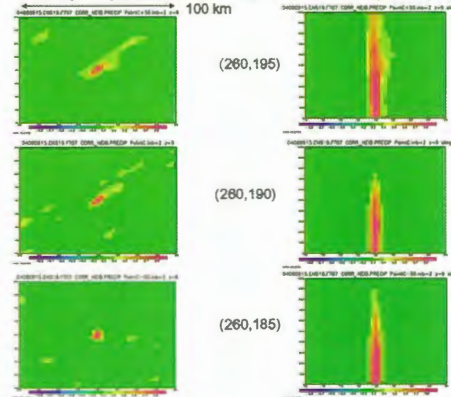
First Guess from Ensemble Forecasts (FG)
Qr (g/kg) at 930m; TB19v from FG(q)



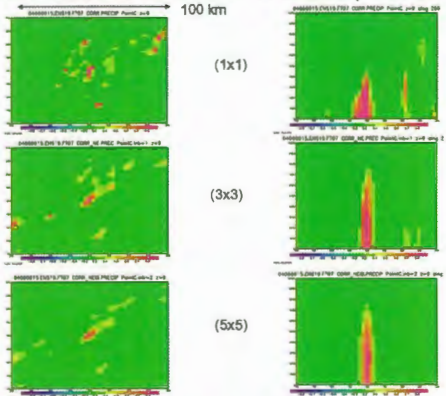
従来法で計算した自己相関 (kc=9)



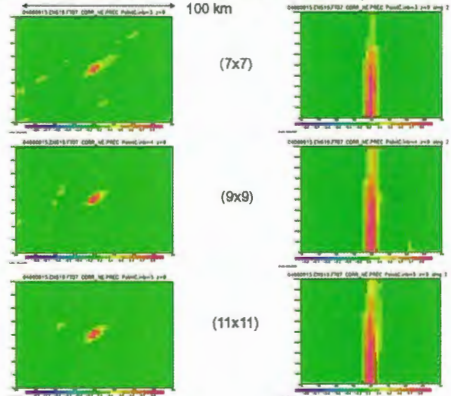
NE(5x5)を使って計算した自己相関 (kc=9)



NEの範囲を変えて計算した自己相関 (260,190,9)



NEの範囲を変えて計算した自己相関 (260,190,9)



まとめ

- Ensembleに基づく4次元同化法スキム：
 - 予報誤差相関計算が必要
- CRM物理量のEnsemble予報誤差相関の解析
 - 降水の有無で予報誤差相関スケールが変動
 - 降水物理量のサンプリング誤差が深刻
- Ensemble予報誤差相関計算へのSpectral Localizationの導入
 - NE(5x5)の導入で降水のサンプリング誤差を抑制