

マイクロ波放射計データの非静力雲解像モデルへの同化法の開発 (その1)

青梨和正 (気象研)

1. はじめに

非静力雲解像モデル(CRM)は、様々な雲物理量を予報変数として持つが、従来の観測データで、これらの情報を含むものは少ない。そこで、降水粒子やCLWC等に感度を持つマイクロ波放射計(MWR)の輝度温度(TB)データをCRMに同化することが期待される。

本研究の目標は、MWRのCRMへのデータ同化法として、非線形の時間積分モデル、観測演算子が使える、Ensemble Kalman filter(EnKF)を使ったシステムを作ることである。また、EnKFを構築するためには、CRMの水物質等の予報誤差を調べる必要がある。

今回は、WAKASA2003の事例について、CRMに初期摂動を与えたアンサンブル予報から求めた予報誤差について報告する。

2. 用いた方法

2.1 EnKFについて

Kalman filterは、予報値 X^f から、解析値 X^a を以下のように求める：

$$X^a = X^f + K(Y^o - HX^f), K = P^f H' (HP^f H' + R)^{-1} \quad (1)$$

但し、 H は観測オペレータ、 P^f 、 R は予報誤差相関、観測誤差相関である。

EnKFは、 $P^f H'$ 、 $HP^f H'$ を、摂動を与えた初期値からの予報のアンサンブル出力の共分散で近似する：

$$P^f H' = \frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N (X_n^f - \bar{X}_n^f) * (H(X_n^f) - H(\bar{X}_n^f))$$
$$HP^f H' = \frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N (H(X_n^f) - H(\bar{X}_n^f)) * (H(X_n^f) - H(\bar{X}_n^f)) \quad (2)$$

2.2 具体的方法

本研究では、CRMとしてJMANHM(水平分解能5km, 400x400x38層)を用いた。CRMの通常の初期値からのコントロールランの他に、初期値に摂動を加えたメンバーによるアンサンブル予報を行った。

摂動による、CRM初期場のアンバランスを最小にするため、Mitchell et al(2002)と同様の方法で、地衡風バランスした摂動を作った。まず、このために、以下のような水平、鉛直の構造を持つ流線関数の摂動 ϕ' を作る：

- 1) 水平方向は、 $\rho(r) = (1+r/R) * \exp(-r/R)$ なる相関を持つ2次元ランダムノイズである(20種類)。
- 2) 鉛直方向は $\sin(m\pi z/H)$ で表現される($m=1 \sim 5$)。

次に、この ϕ' から地衡風、静力学平衡を満たす、風速と温位の摂動を計算した。そして、全領域積算の摂動のエネルギーが一定になるように、摂動の振幅を調節した。

EnKFの解析ステップでは：

- 1) 上記のアンサンブル予報値とその平均の差、 $X_n^f - \bar{X}_n^f$ 、及びアンサンブル予報値から計算した観測値と平均から計算した観測値の差、 $H(X_n^f) - H(\bar{X}_n^f)$ を求める。
- 2) これを(2)式に代入して、 $P^f H'$ 、 $HP^f H'$ を計算する。
- 3) 2)の結果を(1)式に代入して、アンサンブル予報値から、解析値を求める。

3. アンサンブル予報から求めた予報誤差

本研究では、CRMの初期値に下記の摂動を加えたメンバーによるアンサンブル予報実験を行った：

- 1) 初期摂動の振幅を変えた実験：摂動の水平方向のスケールのパラメータ $R=1000\text{km}$ の地衡風バランスした摂動を作った(但し鉛直方向は $m=3$ のみ)。全領域積算の摂動のエネルギー(E_0)を $10^9 \sim 10^{11}$ Jまで5通りに変化させた。
- 2) 初期摂動のスケールを変えた実験： $R=10 \sim 1000\text{km}$ まで5通りに変化させた地衡風バランスした摂動を作った(但し鉛直方向は $m=3$ のみ)。 E_0 は 10^{10} Jとした。

今回は、2003年1月28日21UTCを初期値とした29日03UTCに対するアンサンブル予報を用いて、予報誤差相関を推定した。

3. 1 初期摂動の振幅の影響：

図1が示すように、初期摂動の振幅が大きくなると、降水予報誤差の分散が広い範囲で大きな値を示す。これは、主に、大きな振幅の初期摂動が、降水域の大規模な位置ずれを引き起こすためである。

図2は $RHW=(qv+qc)/qvs$ の水平方向の予報誤差相関を示す。雲物理量の影響範囲（相関 >0.5 の範囲）は、初期摂動の振幅が大きくなるにつれて、約20 kmから数十 kmに増加する。一方、温位の影響範囲は、振幅に関わりなく、1000 km以上の大きなスケールを持っていた。

3. 2 初期摂動のスケールの影響：

降水予報誤差の分散は、スケールの大きな摂動に対して大きくなる傾向を示す。しかし、アンサンブルで予報される、降水域の位置の変動の大きさは、摂動のスケールにはあまり依らない（図は省略）。

雲物理量の影響範囲も、摂動のスケールとの顕著な関連性はみられなかった。一方、温位の影響範囲は、初期摂動の $R>300$ km ならば、1000 km以上なのに、 $R<100$ km 以下では数十 km となり、初期摂動のスケールによって大きく変動している（図3参照）。

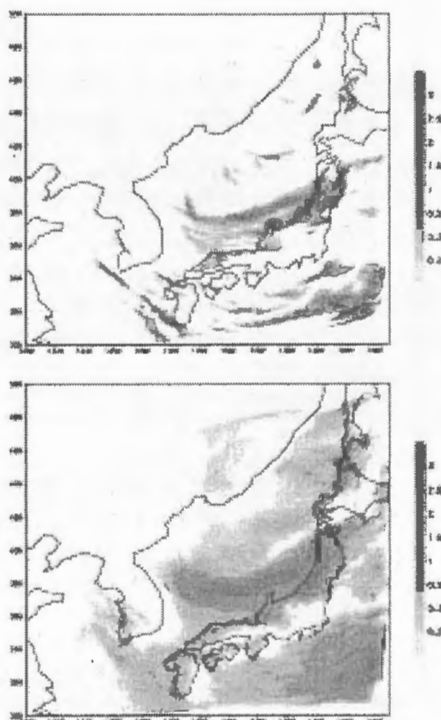


図1：E010⁹（上図）と10¹¹（下図）Jのアンサンブルの降水予報誤差の標準偏差(mm/h)

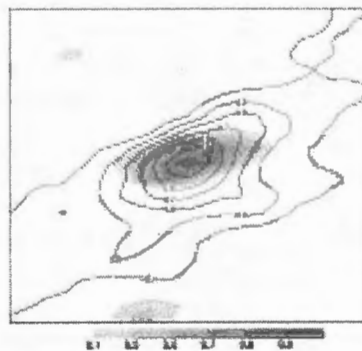


図2：北緯32.3度東経141.4度高度1460mの格子点と周囲100kmのRHWのアンサンブル予報誤差相関。Shade（実線）はE0が10⁹（10¹¹）Jの実験である。

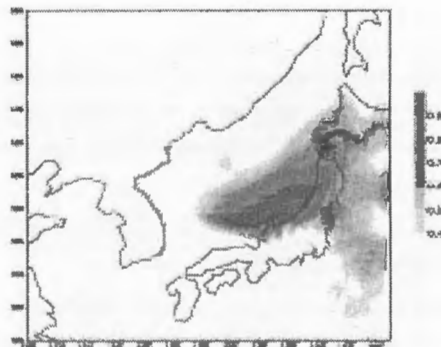


図3：北緯37.6度東経136.2度高度3310mの格子点との温位のアンサンブル予報誤差相関（E0;10¹¹J、R=1000km）


2005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 水物質リトリバルの研究:

マイクロ波放射計データの非静力雲解像
モデルへの同化法の開発(序報)

青梨和正(気象研)
担当教官 高村民雄

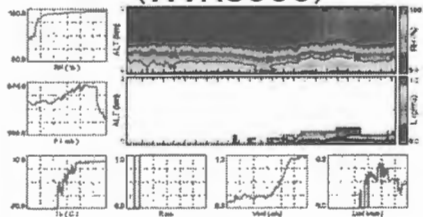
多波長マイクロ波放射計データを用いた水物 質リトリバルの研究


Radiometric Profiler (WVP-1500)



5周波: 22.235 23.035 23.835 26.235 30.000 GHz

Radiometricsアルゴリズムの出力例 (WVR3000)



ニューラルネットワークを使ったアルゴリズム
(要radio sonde data)

本研究の目標

MWRデータから水物質情報を取り出すため、データ同化法を利用する。

(NWPが与える、第1推定値をリトリバルに利用する)

データ同化の方法

CRMへの同化スキム: Ensemble Kalman Filter

準備としてCRMの水物質等の予報誤差を調べる必要

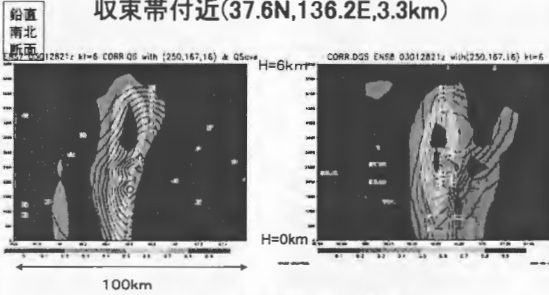
OUTLINE

- はじめに
- EnKFについて
- アンサンブル予報
- アンサンブル予報から求めた予報誤差
- CRMのEnKFスキムの開発状況

EnKFについて

EnKFの考え方

雪の混合比(q_s)のアンサンブル予報誤差相関
 $R=1000\text{km}$, θ の摂動 $\sim 0.3\text{K}$ (左), 3K (右)
 収束帯付近(37.6N,136.2E,3.3km)



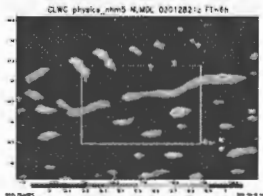
降水物質の影響範囲 < 60 km

CRMのEnKFスキムの開発状況

スキムの概略
 Preliminary results

CRMのEnKFスキム(概略)

- Snyder & Zhang (2003) と同様のEnKFスキム (物理量は正規分布と仮定) 但し影響範囲は60km以内
- 制御変数: $q_s, q_r, q_g, RHW2, PT, w, Div, Vor$



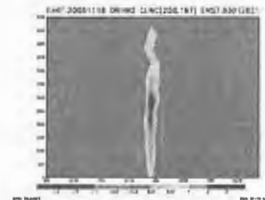
- 観測データ: CLWC(Control runの出力)
- 使用したアンサンブル:
 θ の初期摂動 $\sim 0.3\text{K}$, $R=1000\text{km}$ メンバー数100

EnKF: CLWC(250,167)を使った RHW2の解析

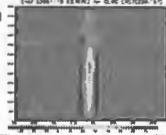
相関



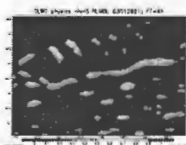
RHW2の解析-第1推定値の差



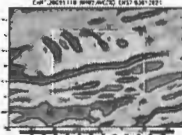
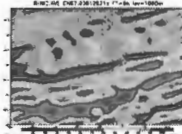
Kalman Gain



EnKFでCLWCを同化するときの物理量の変化 RHW2 (高度1000m)



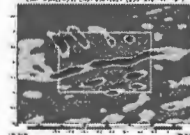
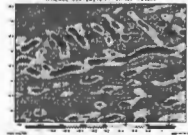
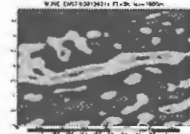
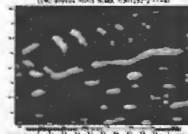
アンサンブル平均(同化前)



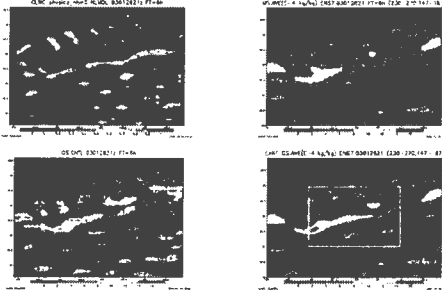
真値(Control)

EnKF解析値(平均)

EnKFでCLWCを同化したときの物理量の変化 W (高度1000m)



EnKFでCLWCを同化したときの物理量の変化
地上付近の雪の混合比



まとめ

- アンサンブル予報結果を用いて、水物質の予報誤差を求めた。
- CRM用のEnKF解析スキムを試作した。

今後の方針

- EnKFスキムのチェック
予報誤差の非ガウス性の影響
- 予報+解析の評価

終わり