

# 数値予報モデルへのデータ同化

上野 玄太 モデリング研究系 教授

## 【データ同化の特徴】

- 変数が多い  
 $x_t$ の次元:  $10^5 \sim 10^8$      $y_t$ の次元:  $10^3 \sim 10^7$
- 計算アルゴリズム  
 推定誤差は求めない → アジョイント法 (4D-Var)  
 みなしガウス分布 → アンサンブルカルマンフィルタ  
 やはり非ガウス分布 → 粒子フィルタの改良 (の研究)
- 状態遷移 (物理モデル) は所与、当面固定

## 【非静力学モデル (JMANHM)】

変数 圧力  $p$ , 密度  $\rho$ , 温度  $T$ , 風速  $(u \ v \ w)'$

$$\frac{du}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \nabla^2 u$$

運動方程式 (3成分)  $\frac{dv}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \nabla^2 v$

$$\frac{dw}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g + \nu \nabla^2 w$$

連続の式  $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0$

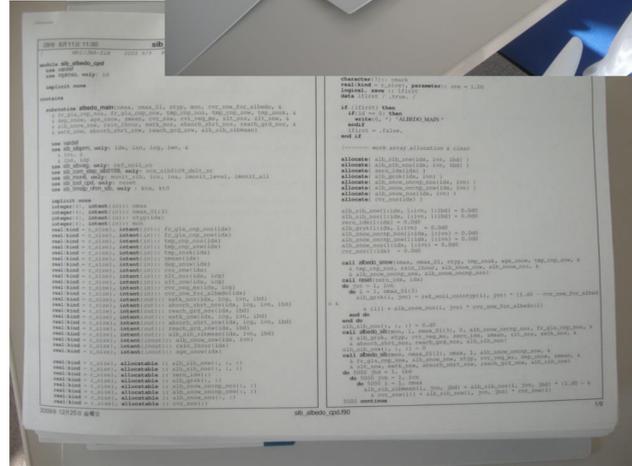
状態方程式  $p = \rho RT$

熱力学の式  $\frac{d\theta}{dt} = \frac{Q}{C_p} + \kappa \nabla^2 \theta$

補助変数

$$\pi \equiv \left( \frac{p}{p_0} \right)^{R/C_p}$$

$$\theta \equiv \frac{T}{\pi}$$

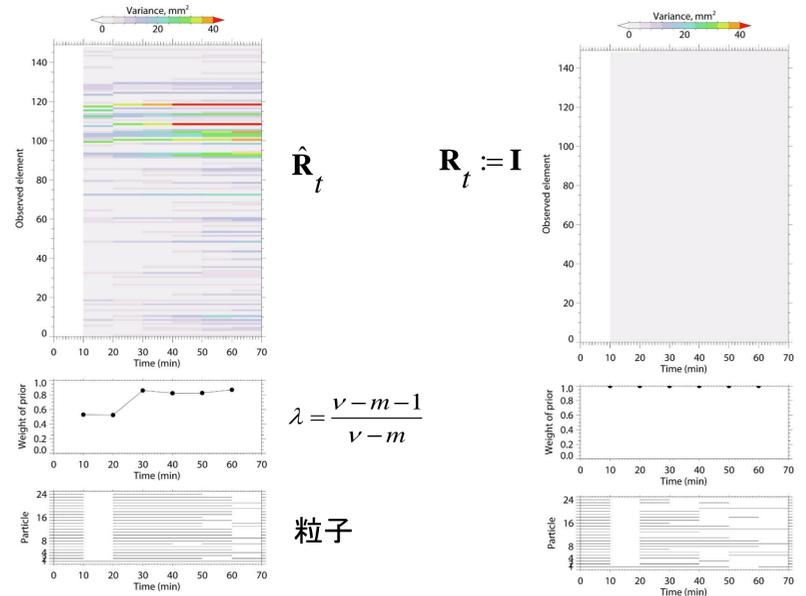


## 【観測誤差共分散行列 $R_t$ の最適化による粒子フィルタの改良】

- 粒子フィルタ → 各粒子に重み → リサンプリング
- 重みは粒子の尤度に比例

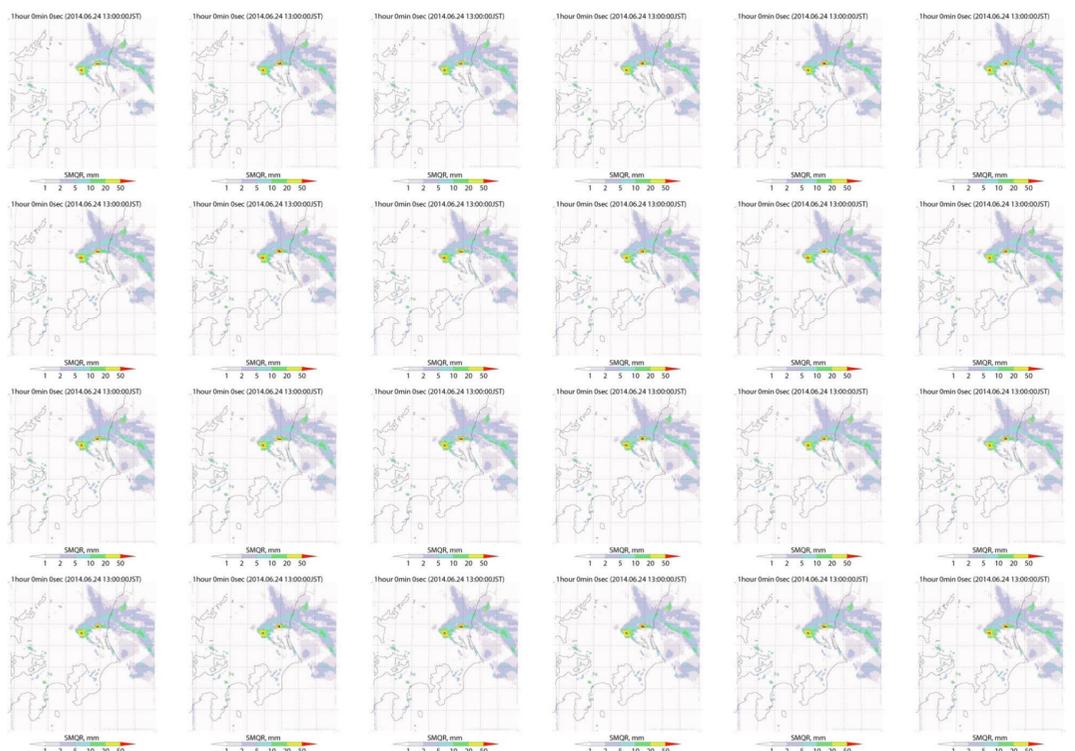
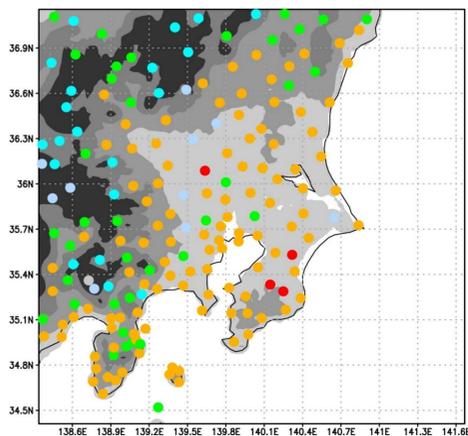
$$p\left(y_t \mid x_{t|t-1}^{(n)}, \mathbf{R}_t\right) \propto \exp\left[-\frac{1}{2}\left(y_t - h_t\left(x_{t|t-1}^{(n)}\right)\right)' \mathbf{R}_t^{-1} \left(y_t - h_t\left(x_{t|t-1}^{(n)}\right)\right)\right]$$

- 重みは  $R_t$  を含む
- $R_t$  が小さい → 重みが1粒子に集中 → 退化
- $R_t$  が大きい → 重みが均等 → フィルタ効果なし
- $R_t$  が適切 → 適切なフィルタリングが可能



## 【同化実験】

- $N = 24$ メンバー (2km格子、関東地方水平151x151分割)
- 正規分布するランダムノイズによるアンサンブル
- GNSS可降水量 (149点) を10分ごとに同化
- $R_t$  は対角行列としている



## 【まとめ】

- 非静力学モデル(NHM) + 粒子フィルタ(PF) のデータ同化システムを開発中
- システムの規模:  $\dim x_t = 1,170,435$ ,  $\dim y_t = 149$ ,  $N = 24$  (今回は試験のため。現在は大きい  $N$  での実施準備中)
- 観測ノイズ共分散行列  $R_t$  のベイズ推定法を導入 (Ueno and Nakamura, 2016)
- PFの退化の問題が動的に解決できそうである

本研究は、科学研究費・基盤研究(B): 粒子フィルタを用いた積乱雲の発生・発達に関する不確実性の解明 (代表・川畑) によるものです。