

# 従来観測のみを用いた 長期領域再解析に向けた 取り組み

福井真(東北大/気象研)、岩崎俊樹(東北大)、  
齊藤和雄、瀬古弘、国井勝(気象研)

# 背景

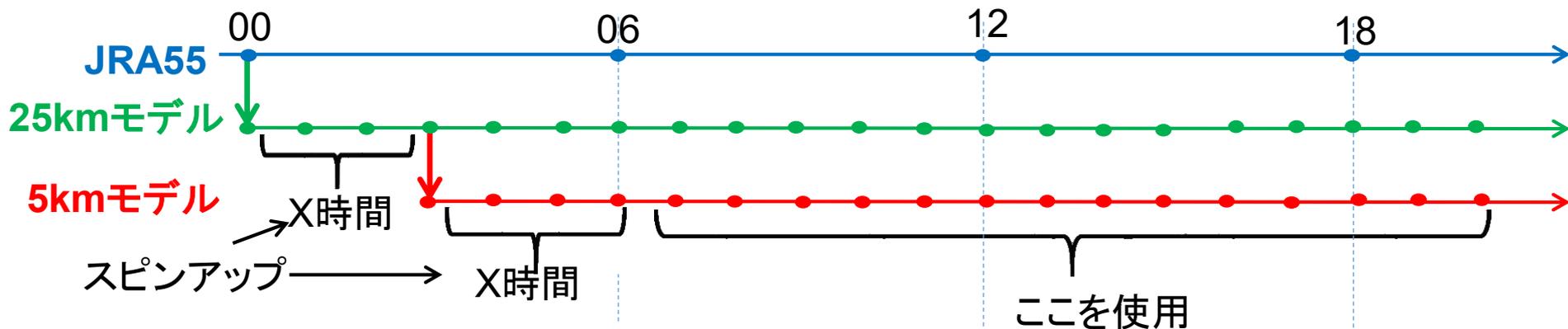
## 高精度・長期均質・高解像度な大気データセットの 必要性及び期待される効果

- メソスケール現象を対象とした事例解析や気候変動の地域スケールの応答に関する研究のための基盤データの提供
- 陸面過程モデルや農業気象モデルなどの入力データの提供
- 再解析実施を通じた予報モデルやデータ同化手法の発展への貢献

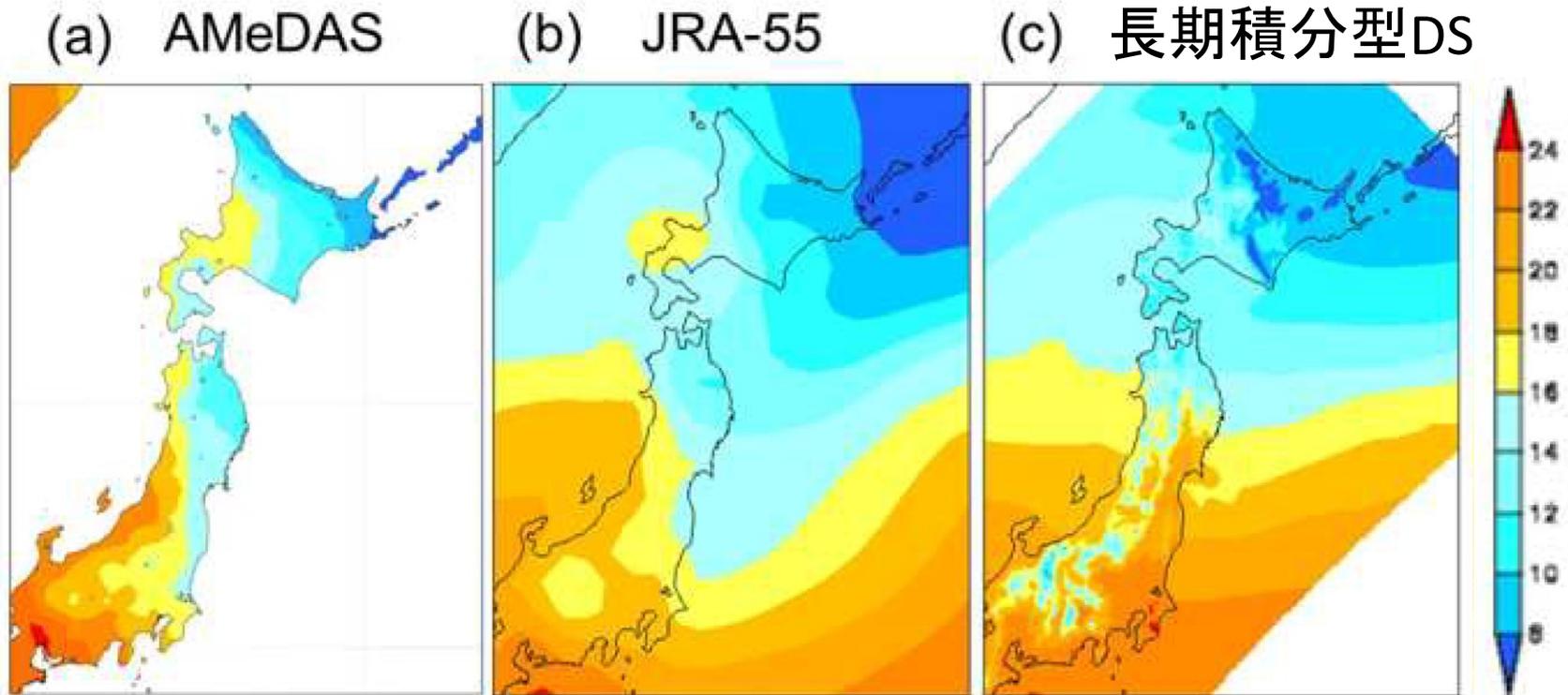
# 長期積分型DS

親の出力の内挿を初期値とするのは、計算期間の最初だけで、あとは一連の時間積分をし続ける

- 積分時間が長いので、内部の場が親の強制だけでは定まらず、総観場を含めた精度が悪くなる
- spin-upは、1回だけでよく、また積分期間を適切に設定することで十分な時間を確保できる
- 時間的に連続



# 全球再解析のDS



ヤマセ時(1983年7月7日)の地上気温 (from Fig. S1 in Kayaba et al. 2016)

長期積分型DSでは、観測や親(JRA-55) と比べ冷涼な領域の分布が大きく異なる

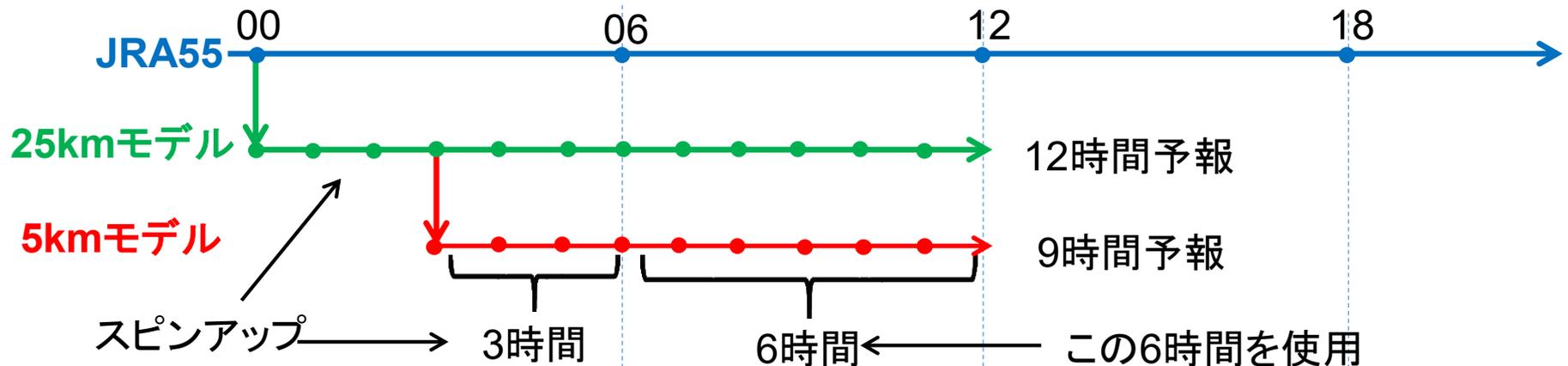
=> 内部の場が親の強制(側面境界&波数境界)だけでは定まらず、総観場を含めた精度が悪化する

# 短期積分型DS

(e.g. DSJRA-55; Kayaba 2016)

親の出力の内挿から短時間積分の繋ぎ合わせ

- 内部の総観場が親からの乖離が少ない。
- 親と解像度の違いや雲物理の扱いに違いがあり、spin-upが十分か自明ではない
- 時間的な不連続が生じる
- 連続runが必要(過去の情報が必要)なonlineのSiBによる積雪診断ができない





# 目的

力学的ダウンスケールではなく観測を同化

観測は、従来型観測(地上観測やラジオゾンデ)のみを用いて、時間的均質性を担保

アンサンブルカルマンフィルタの一種LETKFで同化

LETKFによる領域再解析システム構築を目指し、その有効性の調査と改善点の指摘

# Kalman Filter (KF)

- モデルによる予報値 ( $\mathbf{x}^f$ ) に対し、重み ( $\mathbf{K}$ ) を用いて、観測値 ( $\mathbf{y}^o$ ) に近づけ、より尤もらしい場(解析値:  $\mathbf{x}^a$ ) を求める

$$\mathbf{x}_t^a = \mathbf{x}_t^f + \mathbf{K}_t \left( \mathbf{y}_t^o - H \left( \mathbf{x}_t^f \right) \right)$$

$H$ : 観測演算子,  $\mathbf{y}^o$ : 観測

- 最適な重み ( $\mathbf{K}$ ) は、解析誤差の分散の和 ( $\text{tr}[\mathbf{P}^a]$ ) を最小にするもので、予報及び観測の誤差共分散 ( $\mathbf{P}^f$ ,  $\mathbf{R}$ ) に応じた値となる。

$$\mathbf{K}_t = \mathbf{P}_t^f (\mathbf{H}_t)^\top \left( \mathbf{H}_t \mathbf{P}_t^f (\mathbf{H}_t)^\top + \mathbf{R}_t \right)^{-1}$$

# Ensemble Kalman Filter (EnKF)

- 予報誤差共分散 ( $\mathbf{P}^f$ ) は場に依存した予報の不確実性を表す。EnKFでは、アンサンブル予報の摂動 ( $\delta\mathbf{X}^f$ ) で近似

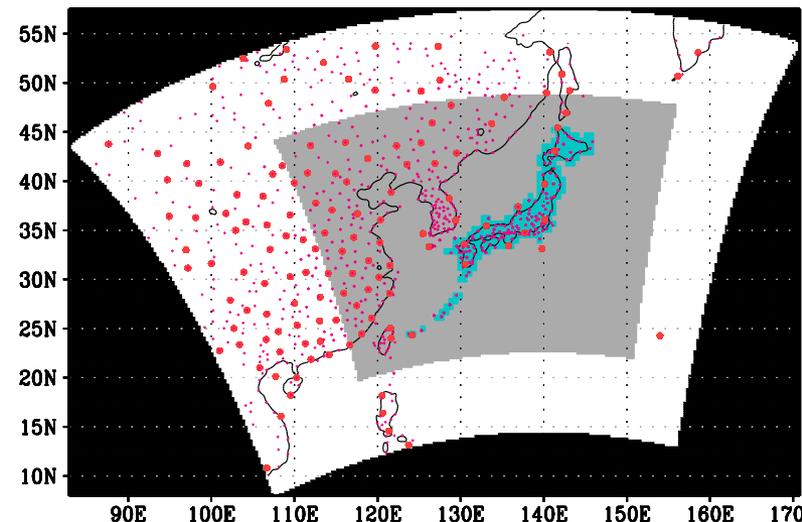
$$\mathbf{P}^f \approx \frac{1}{m-1} \delta\mathbf{X}^f (\delta\mathbf{X}^f)^T$$

cf. KFでは、 $\mathbf{P}_t^f = \mathbf{M}_t^f \mathbf{P}_{t-1}^a (\mathbf{M}_t^f)^T$

- ✓ rankをモデルの自由度 ( $\sim 10^8$ ) からメンバー数  $m$  ( $\sim 10^1$ ) に落とせる
- ✓ 予報モデルの接線形モデル及びその随伴モデルは不要

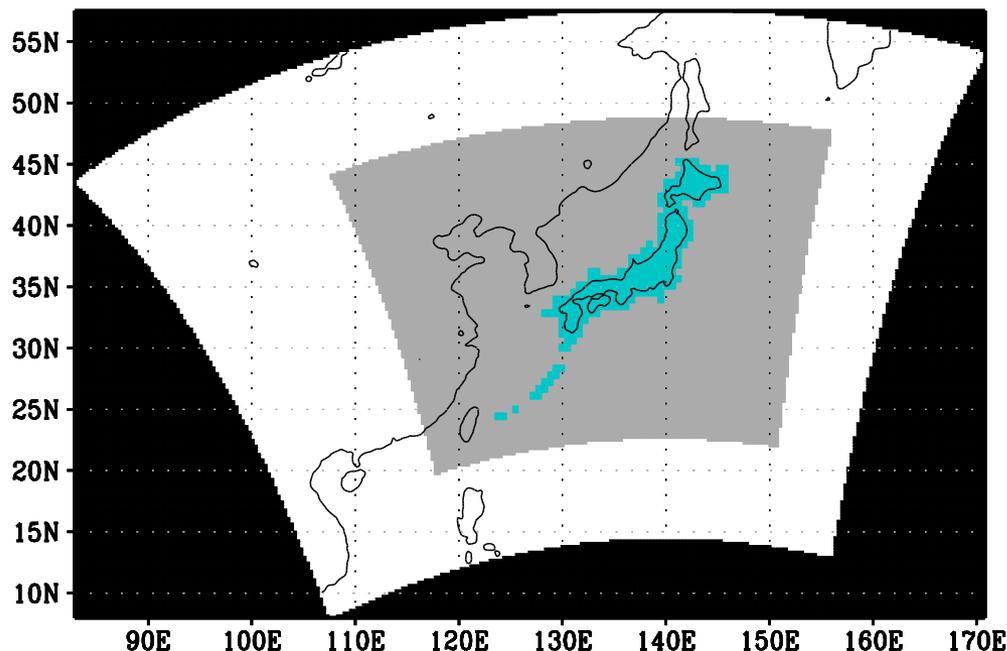
# 実験設定

予報モデル	JMA-NHM (Saito et al. 2007)
同化スキーム	4D-LETKF (Hunt et al. 2004)
格子	241 x 193 (dx=25km)、 721 x 577 (dx=5km)、 50 層 (z*ハイブリッド座標)
初期値	JRA-55 at initial time in randomly chosen years
側面境界	JRA-55 + EOF modes of JRA-55 climatological anomalies
メンバー数	10
局所化スケール	水平: 200 km、鉛直: $0.4 \ln p$ (~4km)
同化する観測	SYNOP, SHIP, BOUY, TEMP, PILOT (気象庁現業解析の品質管理済み)
実験期間	01 – 31 Aug. 2014



全体が25km、灰色域が5kmの  
計算領域  
赤点は同化した観測（小点が地上観測、大点が高層観測）

# 検証方法



検証データ： 解析雨量

- ✓ 検証領域は青色領域
- ✓ JRA-55の格子( $\Delta x \sim 60\text{km}$ )における平均値にして比較

***Bias score:***

$$\frac{FO + FX}{FO + XO}$$

***Threat score:***

$$\frac{FO}{FO + FX + XO}$$

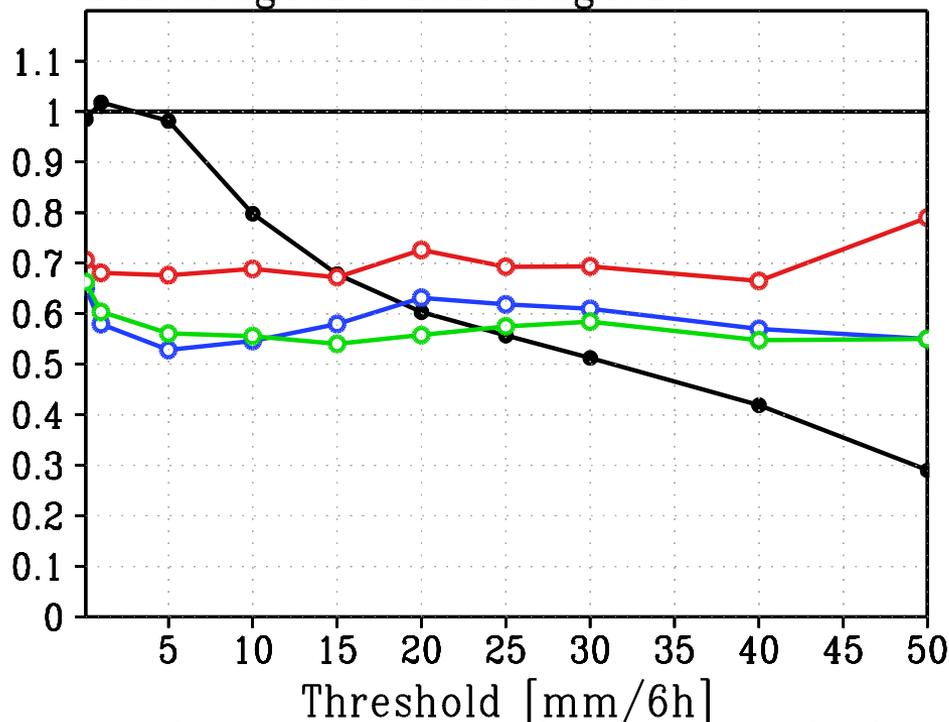
		観測	
		閾値以上	閾値以下
予報	閾値以上	$FO$	$FX$
	閾値以下	$XO$	$XX$

# 結果 (解像度5km)

- JRA-55で再現できない強雨を扱えるようになる
- 長期積分型DSに対し、パターンの再現性が大きく改善
- 降水量が過小バイアス

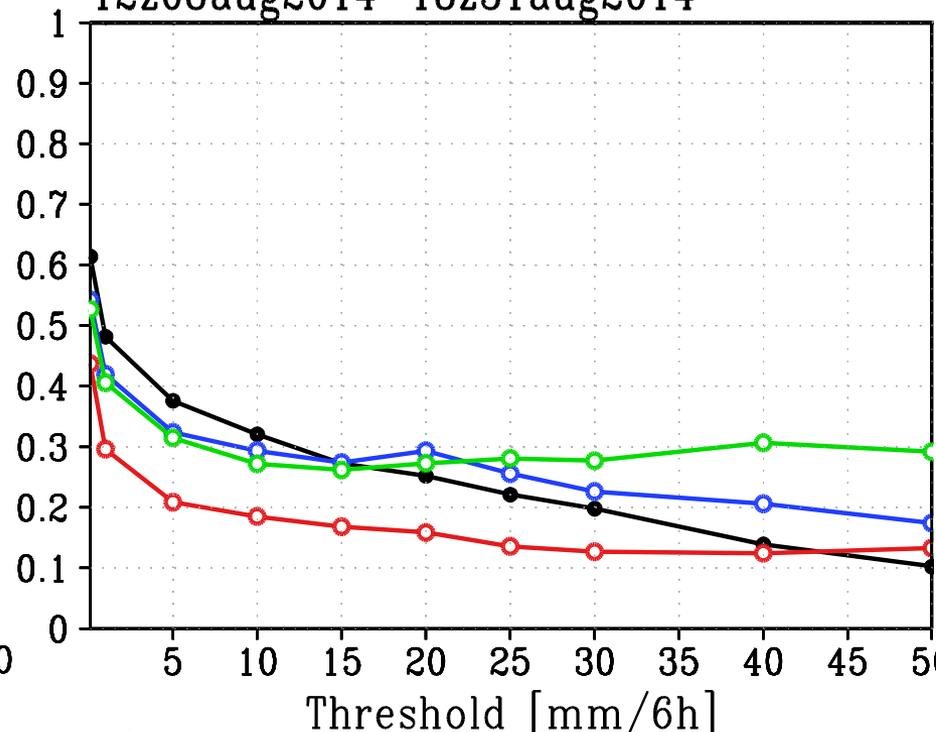
$$\text{Bias score} = \frac{FO + FX}{FO + XO}$$

12z08aug2014-18z31aug2014



$$\text{Threat score} = \frac{FO}{FO + FX + XO}$$

12z08aug2014-18z31aug2014



黒線: JRA-55、 緑線: LETKF、 赤線: 長期積分型DS、 青線: 短期積分型DS

# 第一推定値の検討

$$\mathbf{x}_t^f = M(\mathbf{x}_{t-1}^a)$$

$$\mathbf{P}_t^f = \mathbf{M}\mathbf{P}_{t-1}^a\mathbf{M}^T$$

$$\mathbf{x}_t^a = \mathbf{x}_t^f + \mathbf{K}_t (\mathbf{y}_t^o - H(\mathbf{x}_t^f))$$

$$\mathbf{P}_t^a = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_t\mathbf{H}_t) \mathbf{P}_t^f$$

$$\mathbf{K}_t = \mathbf{P}_t^f\mathbf{H}_t^T (\mathbf{H}_t\mathbf{P}_t^f\mathbf{H}_t^T + \mathbf{R}_t)^{-1}$$

第一推定値は、

LETKF1: 摂動ランのアンサンブル平均

$$\mathbf{x}_t^f = \bar{\mathbf{x}}_t^f = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \mathbf{x}^{f(k)} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m M(\bar{\mathbf{x}}_{t-1}^a + \delta\mathbf{x}_{t-1}^a(k))$$

LETKF2: 解析ラン (解析値からの予報)

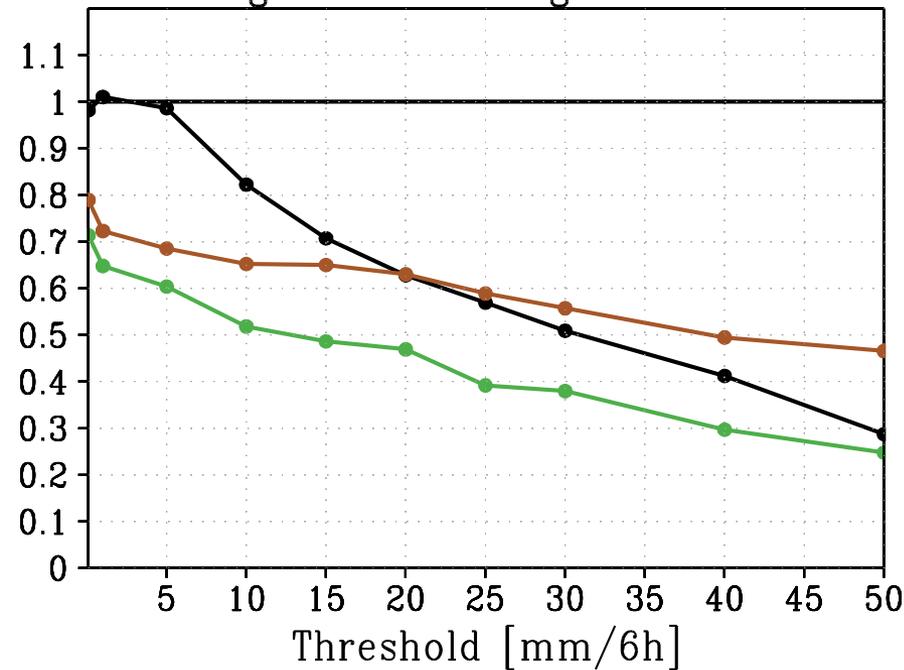
$$\mathbf{x}_t^f = M(\bar{\mathbf{x}}_{t-1}^a)$$

# 第一推定値の検討 (解像度25km)

- 解析ランを第一推定値とすることで、降水量の過小評価を改善

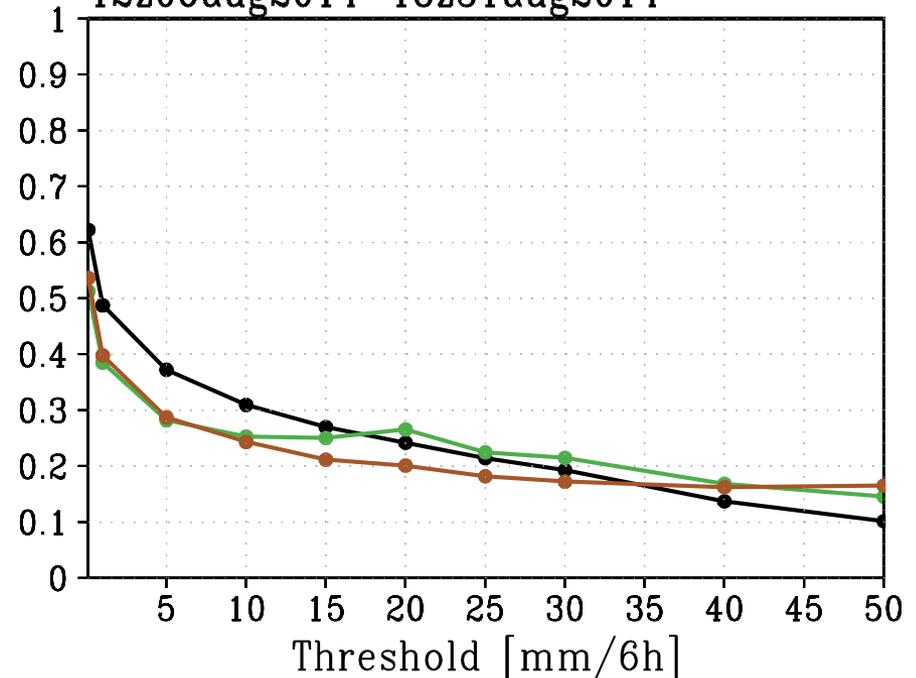
$$\text{Bias score} = \frac{FO + FX}{FO + XO}$$

12z06aug2014-18z31aug2014



$$\text{Threat score} = \frac{FO}{FO + FX + XO}$$

12z06aug2014-18z31aug2014



黒線: JRA-55、 緑線: LETKF1、 茶線: LETKF2

# メンバー数の検討 (解像度25km)

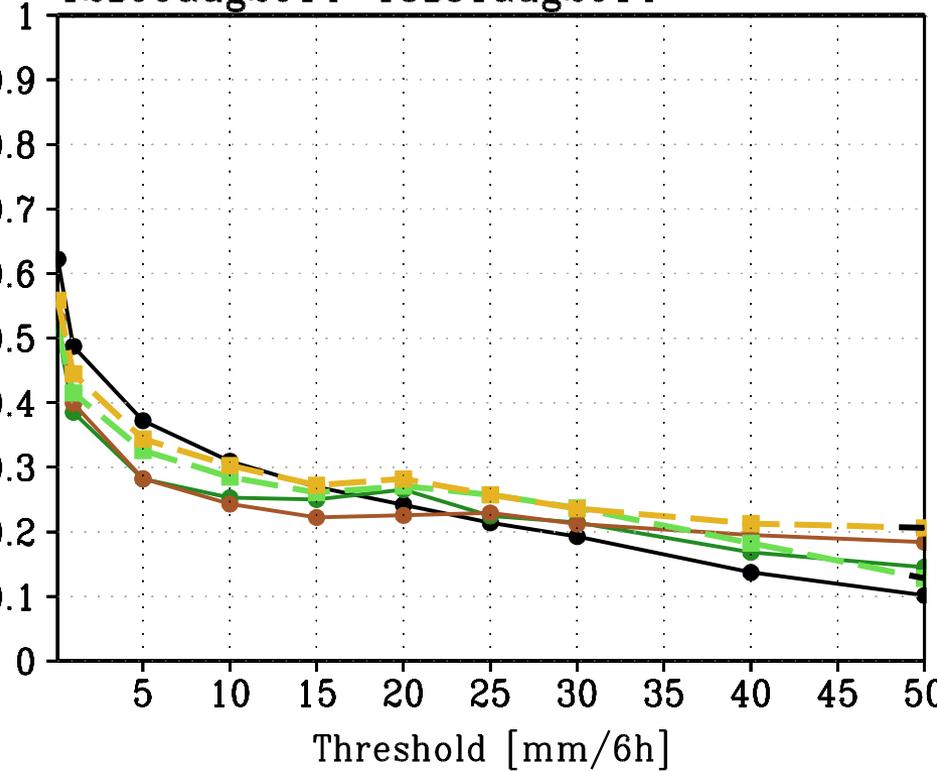
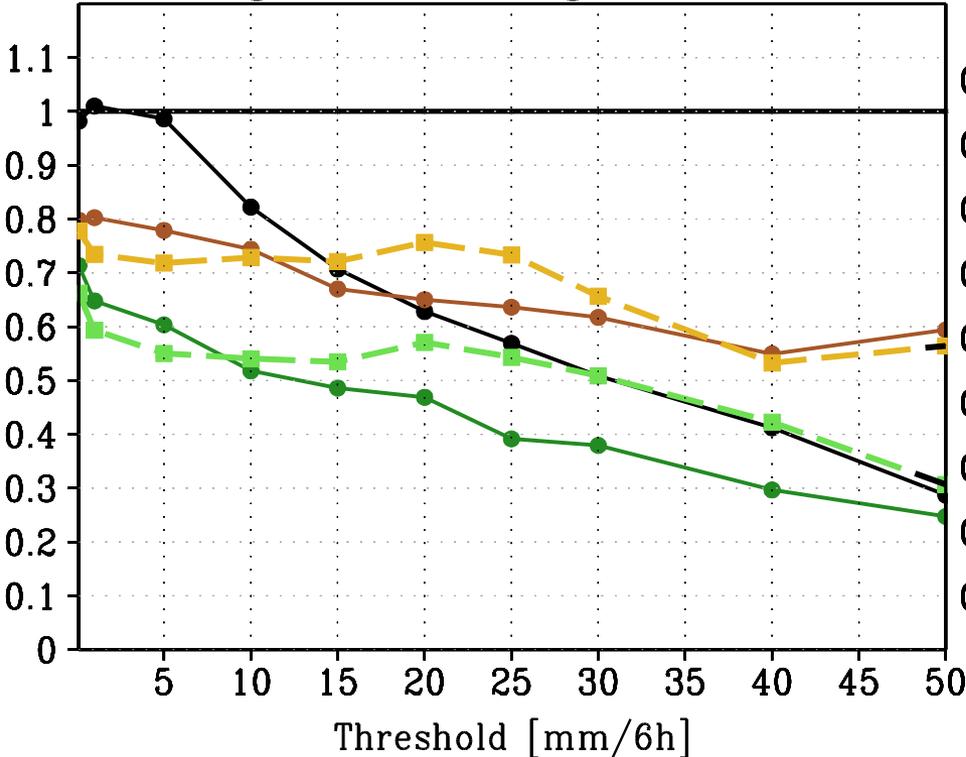
- 降水頻度の傾向はメンバー数に依らない
- パターンの再現性が改善

**Bias score** =  $\frac{FO + FX}{FO + XO}$

**Threat score** =  $\frac{FO}{FO + FX + XO}$

12z06aug2014-18z31aug2014

12z06aug2014-18z31aug2014



黒線: JRA-55、緑線: LETKF1、茶線: LETKF2 (実線は10メンバー、破線は30メンバー)

# まとめ

- JRA-55で再現できない強雨を扱えるようになる  
    <= 高解像度化の恩恵
- 長期積分型DSに対し、降水パターンの再現性が改善  
    <= 観測の同化の恩恵
- 降水量が過小評価  
    <= 第一推定値に解析ランを用いることで改善  
    依然として過小バイアスが残る

メンバー数増加:

降水パターンの再現性が改善

計算コスト