



KAKUSHIN

21世紀気候変動予測革新プログラム平成22年度成果報告会  
2012年2月28日(火) 一橋記念講堂 (東京・千代田区)

21世紀気候変動予測革新プログラム共同研究課題 A ②  
高解像度モデルによる近未来気候予測変動に関する研究  
全体代表者：木本昌秀 (東京大学気候システム研究センター)

チーム 近未来

## B\_03 アンサンブルデータ同化手法を用いた 不確実性定量化技術の開発

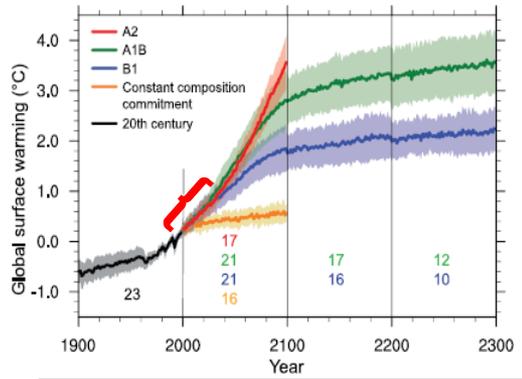
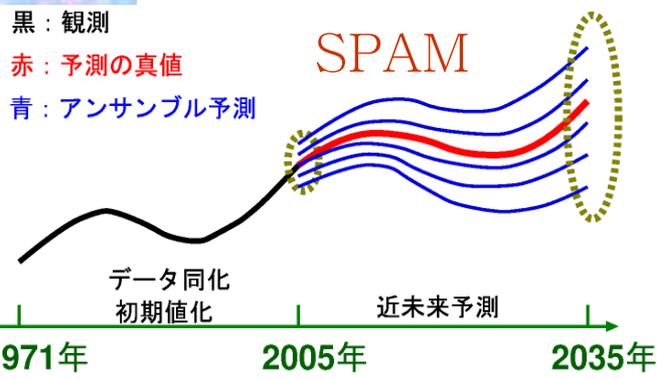
研究代表者：石井正好

海洋研究開発機構

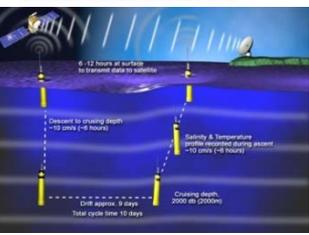
IPCC貢献地球環境予測プロジェクト



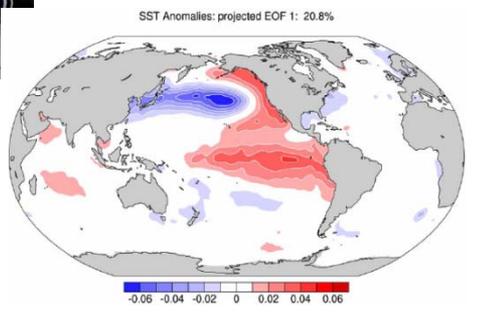
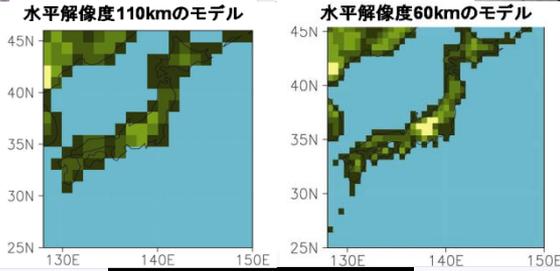
- [ 不確定量の低減 ] 正確な大気と海洋の初期条件を与えて予測精度を向上
- [ 不確定量の評価 ] 適切なアンサンブル予測で予測結果の信頼性評価



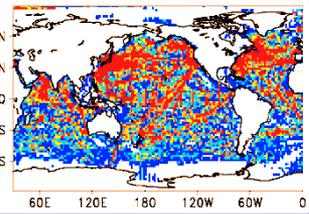
地球温暖化シナリオ



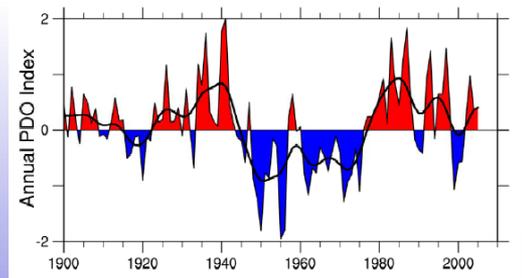
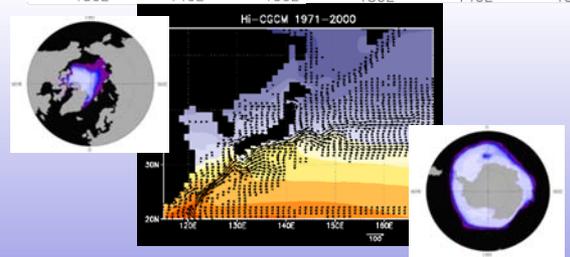
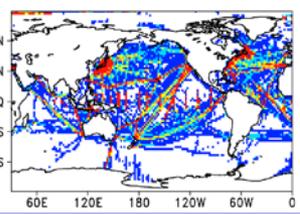
MIROC3m/4h/5



Argo有



Argo無



海洋観測

高解像予測モデル

太平洋10年規模変動 (PDO)

# 今年度

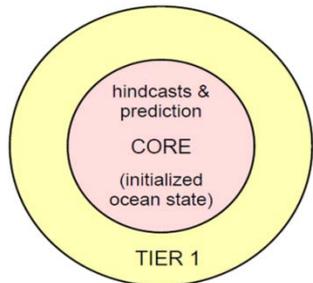
- 予測**アンサンブル数増加**
- アンサンブル予測の精度評価 (Chikamoto et al. 2012 ; Mochizuki et al. 2012)
- **新しい初期値化手法**の開発 (小山ら, 2011)
- CMIP5データ提供 (300TB超公開済み)

# 昨年度まで

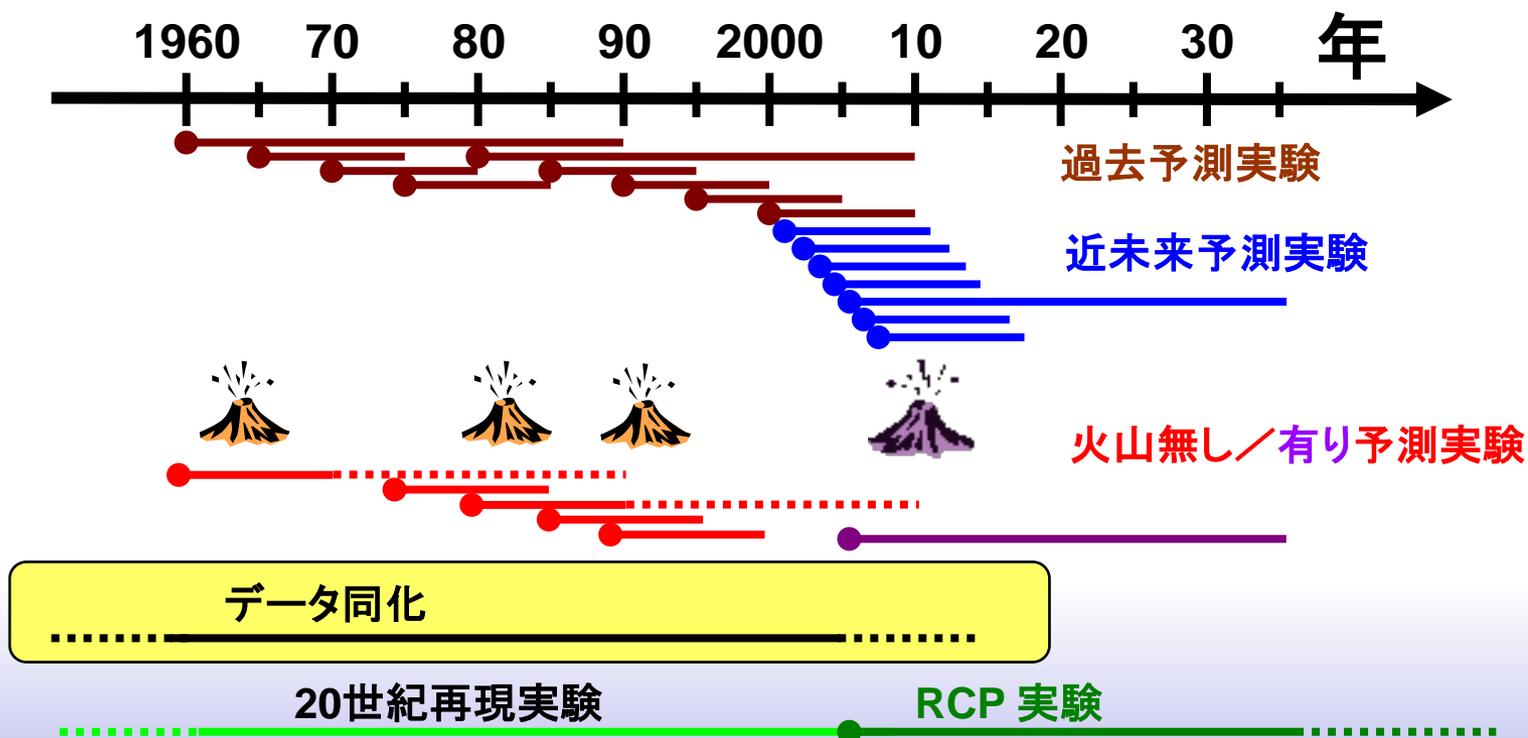
- 結合モデル**初期値化**手法の開発 ,高解像度モデル(**MIROC4h**) と新モデル(**MIROC5**) への導入 (Tatebe et al. 2012)
- MIROC4h/5 による CMIP5**本番実験**の実施
- AR4 中解像度モデル (**MIROC3m**) による CMIP5 近未来予測実験の実施 → **太平洋十年規模振動の予測可能性** (Mochizuki et al. 2010)
- **火山噴火**の近未来予測への影響の評価 (Shiogama et al. 2010)
- **XBTバイアス**の近未来予測への影響の評価 (Yasunaka et al. 2012)
- XBTバイアス補正と海洋貯熱量の再評価 (Ishii and Kimoto 2009)

	<b>MIROC3m</b>	<b>MIROC4h</b> 	<b>MIROC5</b> 
大気モデル	300km L20	60km L56	155 km L44
海洋モデル	1.4° x 0.5-1.4° L44	0.28° x 0.19° L48	1.4° x 0.5-1.4° L50
温暖化強制データ	CMIP3/SRESA1B	CMIP5/RCP4.5	CMIP5/RCP4.5
初期値化	Ocean T&S IAU (0 ~ 700m)	Ocean T&S IAU (0 ~ 3000m) Eddy Conserving	Ocean T&S IAU (0 ~ 3000m)
アンサンブル 生成法	Ensemble Assimilation	LAF (Jul, Oct, Jan)	Ensemble Assimilation + LAF (Jul, Oct, Jan)
アンサンブル数			
20世紀再現	10	3	3
データ同化	10	1	3
近未来予測	10	3	6
モデル ドキュメント	K-1 model developers (2004)	Sakamoto et al. (2011)	Watanabe et al. (2010)

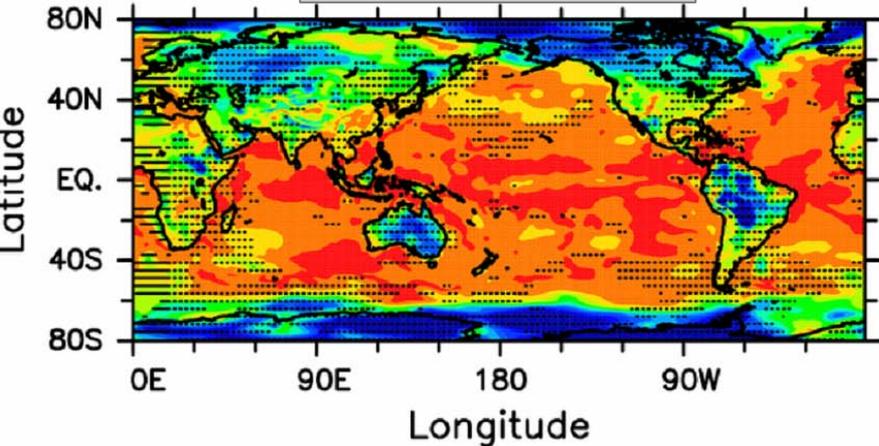
"Near-Term"  
(decadal)



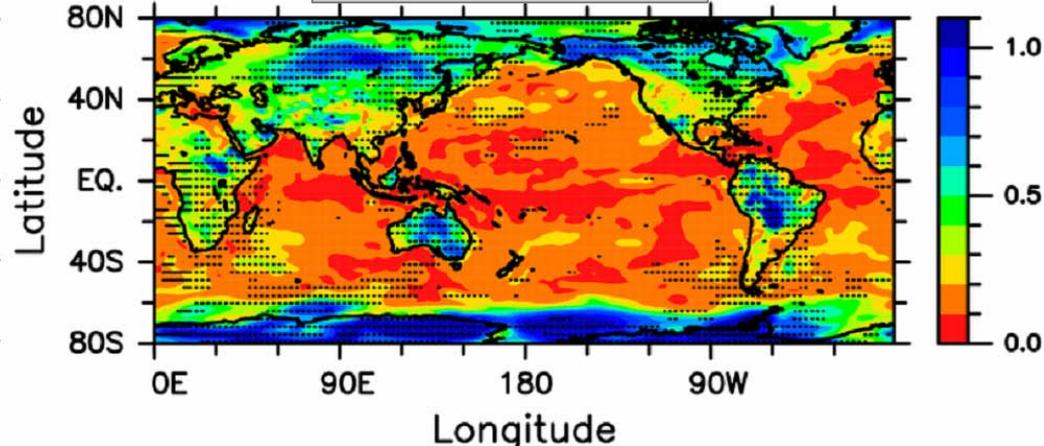
- 結合系で海洋のみ同化
- 海氷同化なし
- 格子点値化された海洋表層水温・塩分観測データ
- IAU、高解像度モデルの渦の取り扱い。
- CO2濃度、エアロゾル濃度、太陽定数等は予報しない。



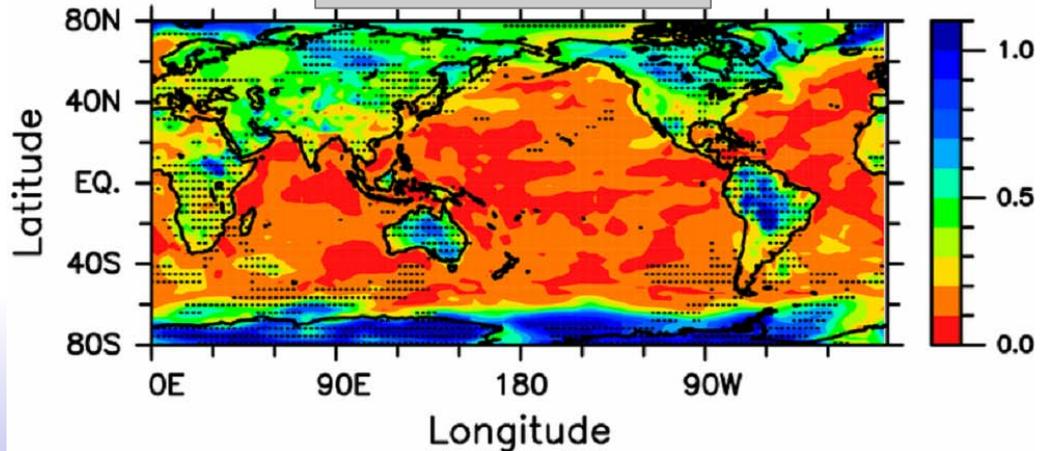
MIROC4h



MIROC5



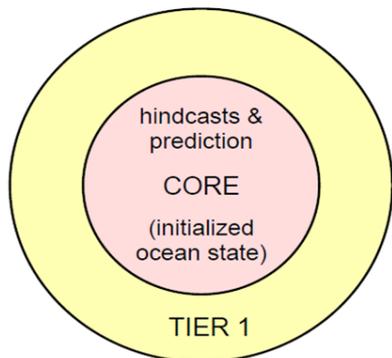
MIROC3m



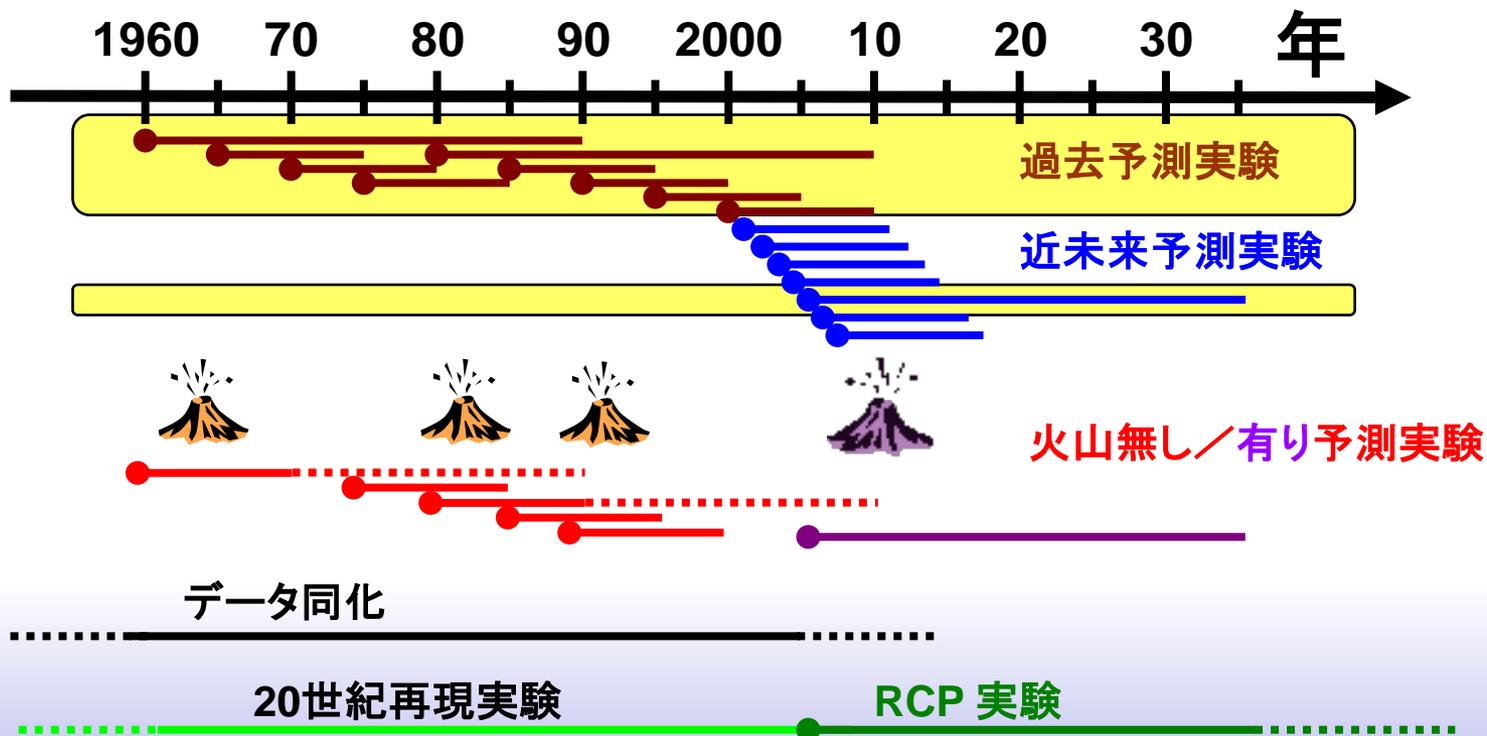
# 初期値化した/データ 同化後の5年平均地上 気温RMSE誤差 (°C)

暖色系：誤差が小さい

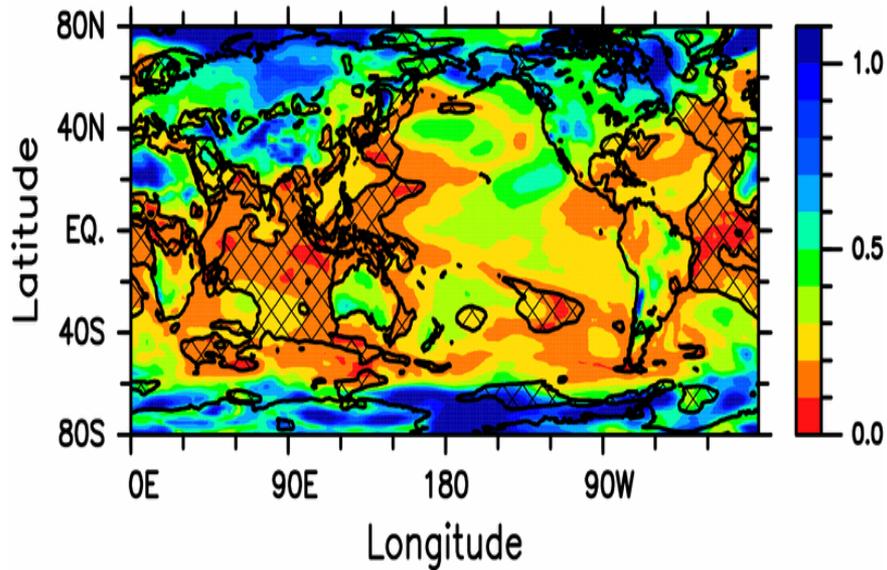
"Near-Term"  
(decadal)



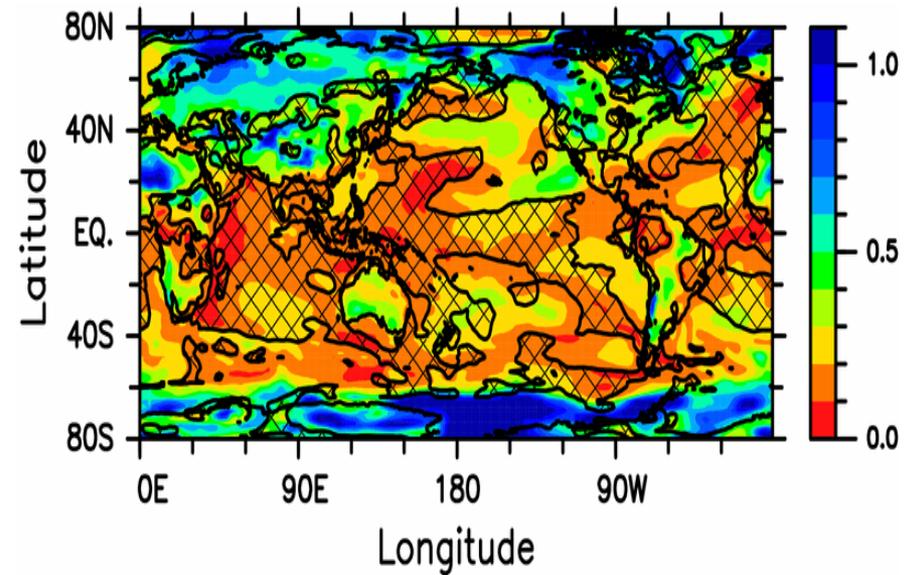
- LAF および同化アンサンブルで摂動を与える。
- CO2濃度、エアロゾル濃度、太陽定数等は予報しない。



MIROC4h (3)



MIROC5 (6)



## 5年平均地表面気温予測

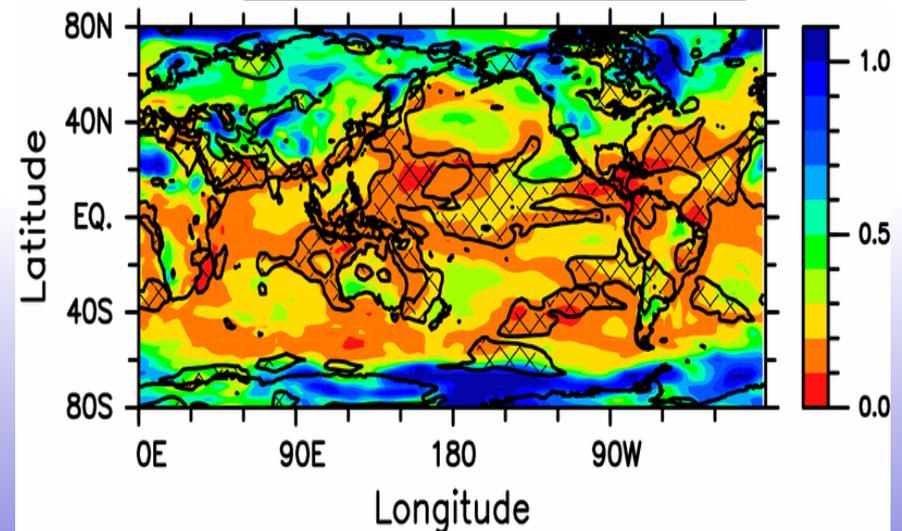
(予測期間: 1 ~ 5 年先)

カラー: RMSE誤差 (°C)

ハッチ: スキルが高い

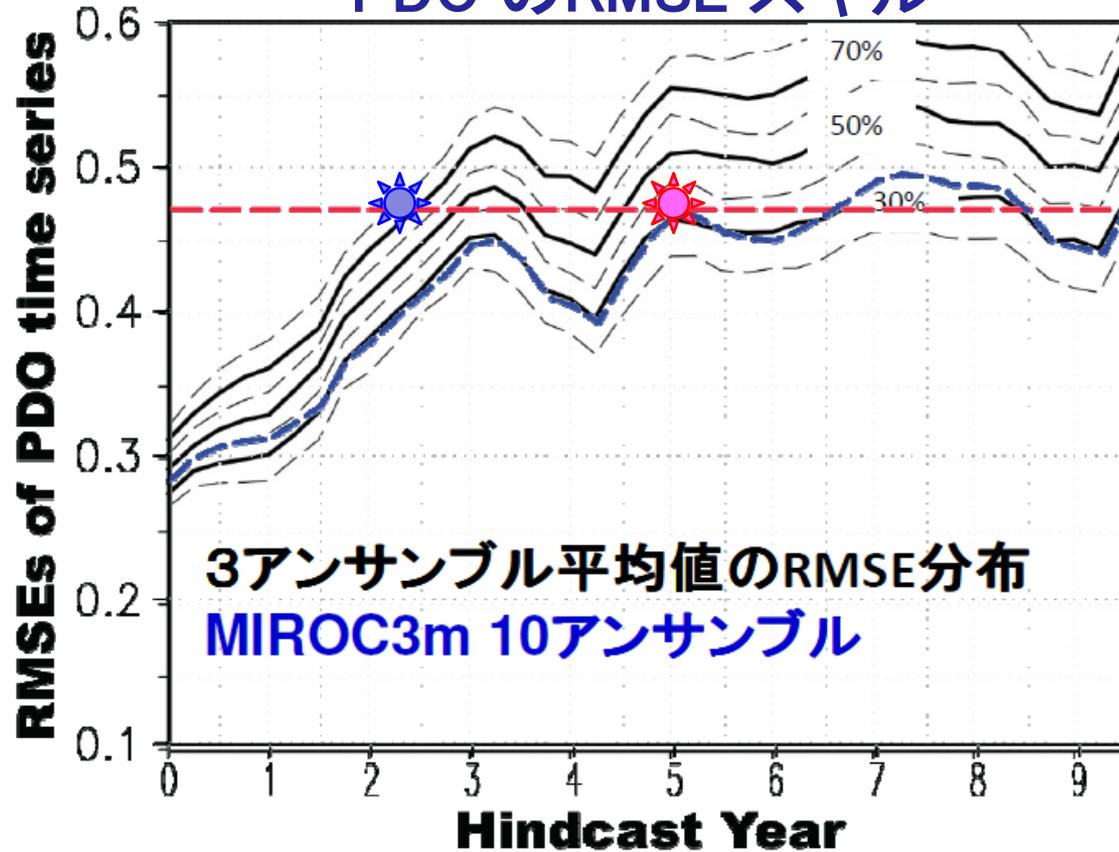
括弧内はアンサンブルメンバー数

MIROC3m (10)



# アンサンブル数が少ないとき スキルはどれだけ低下するか？

PDO のRMSE スキル



MIROC3m の 10  
メンバーの実験からブートストラップ  
法で確率分布を  
推定 (重複サンプリングあり)

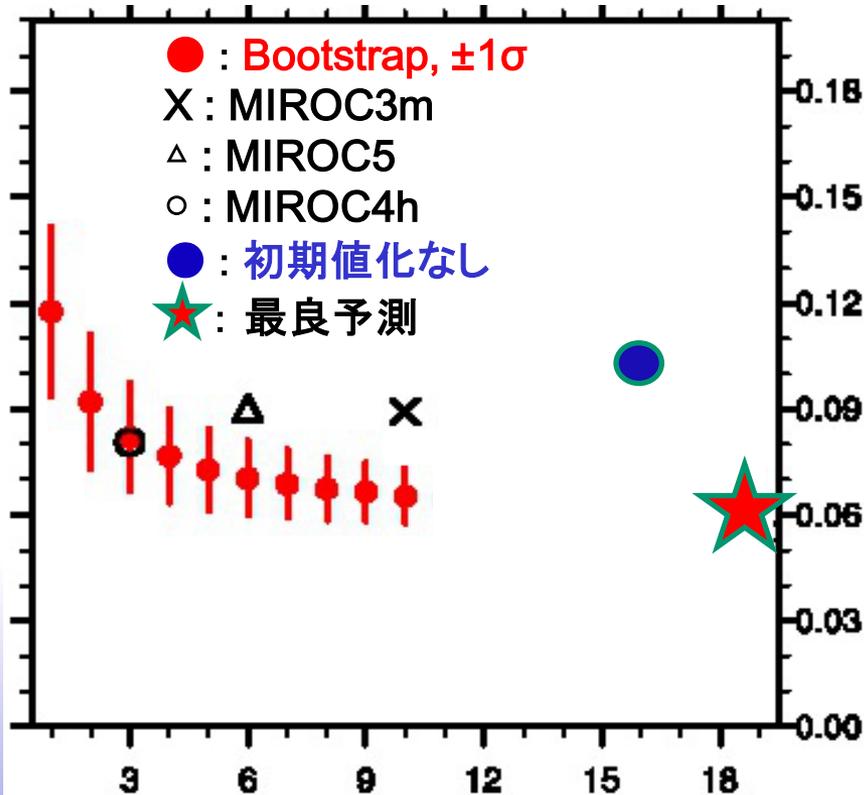
MIROC4h (高解像度) 実験のアンサンブル数を  
3 → 6 に増加 (1980年以降の初期値、今年度)

# MIROCによるマルチモデルアンサンブル予測

MIROC3m/4h/5

メンバー数: 10/3/6

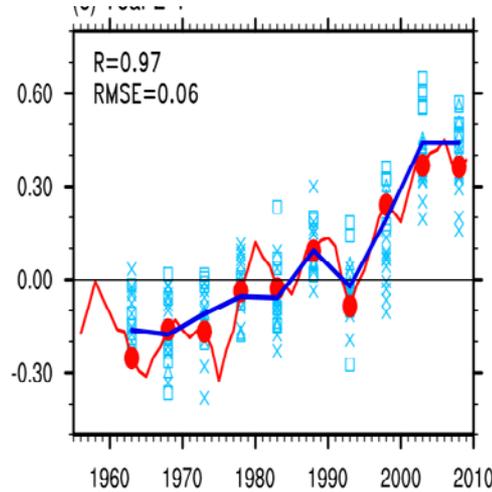
RMSE 誤差 (°C)



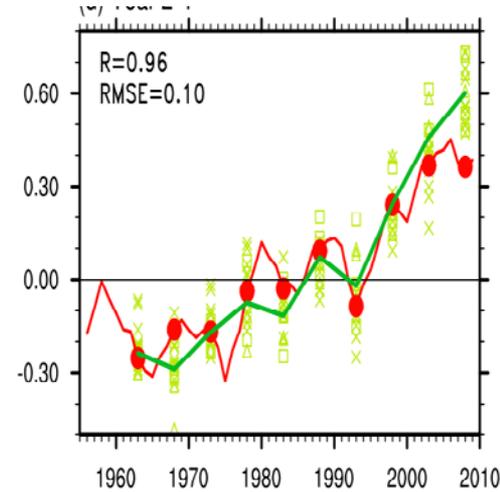
アンサンブルサイズ

Chikamoto et al. (2012, submitted)

初期値化あり vs 観測



初期値化なし vs 観測



全球平均地表面気温の予測  
(2~4年先)

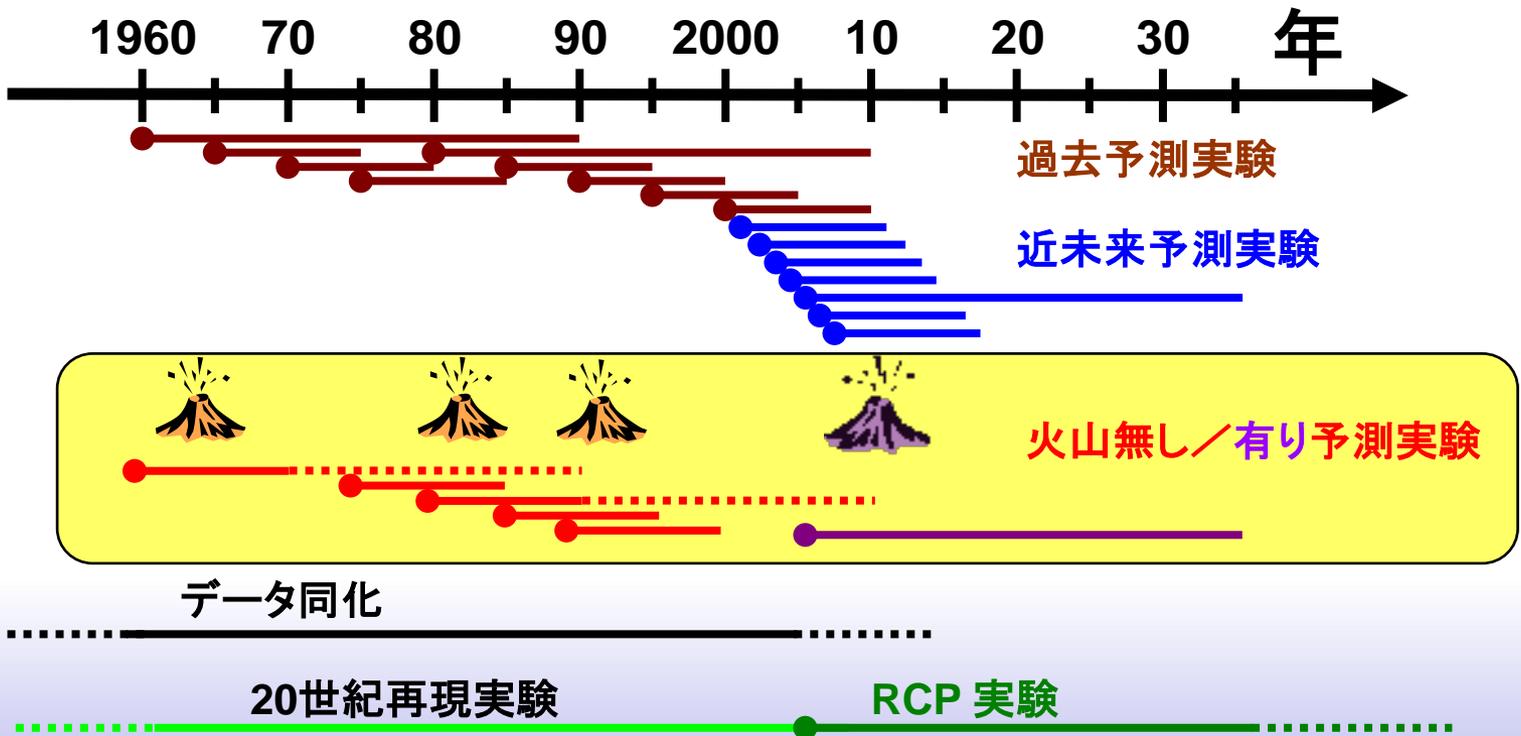
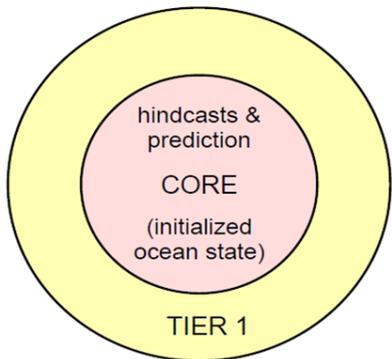
全19メンバーを使用した  
ブートストラップテスト  
(重複サンプリングあり)

CMIP5 マルチモデル: 11/20

"Near-Term"  
(decadal)

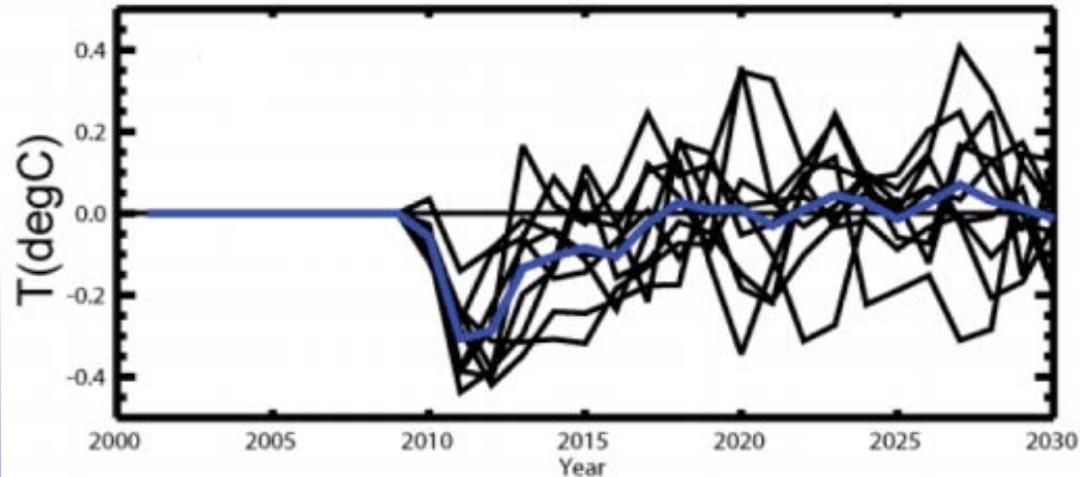
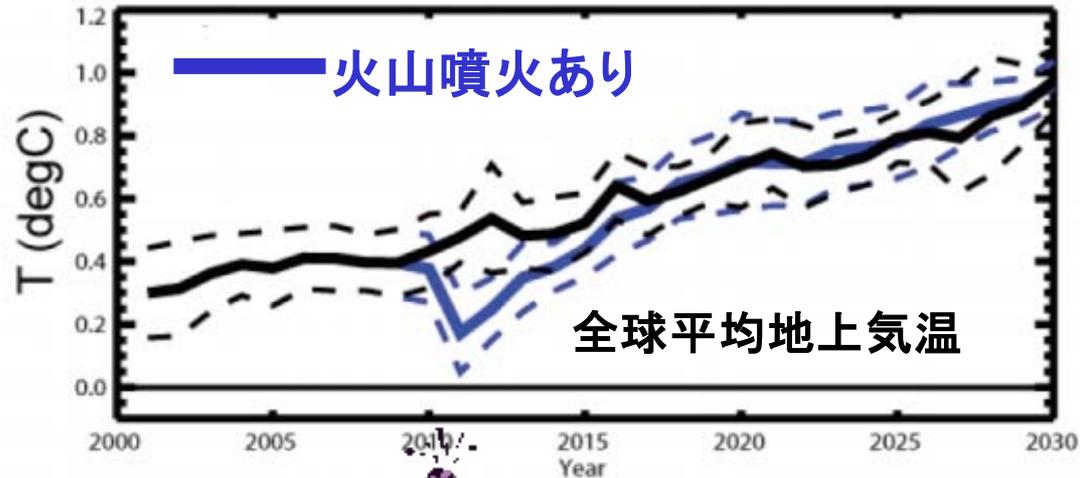


2010年に1991年に噴火した  
ピナツボ火山と同等の火山  
を噴火させる。



# 火山噴火の近未来予測への影響

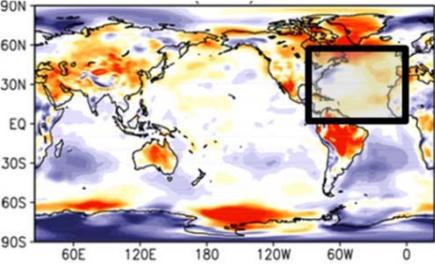
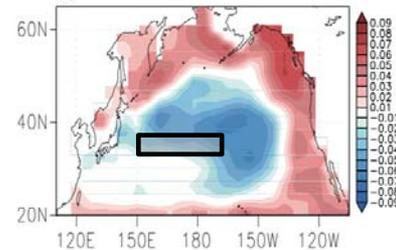
- 人為起源の気温上昇を抑制する。
- 噴火後10年程度、その影響が残る。
- 海洋貯熱量でみるとその影響は20年程度と長くなる。
- 冬季に混合層が深層まで発達するような中高緯度の海域では、火山噴火による誤差の成長が速いなど地域的な特徴も見られる。
- 観測データで初期値化した状態は、火山噴火により、たちまちのうちに掻き乱され、その影響は長期的に残ることを示唆する。



大規模な火山が噴火した場合、予測の再計算が必要。

# 毎年初期値実験 (MIROC3m と MIROC5)

(f) EOF1 of Observed VAT400

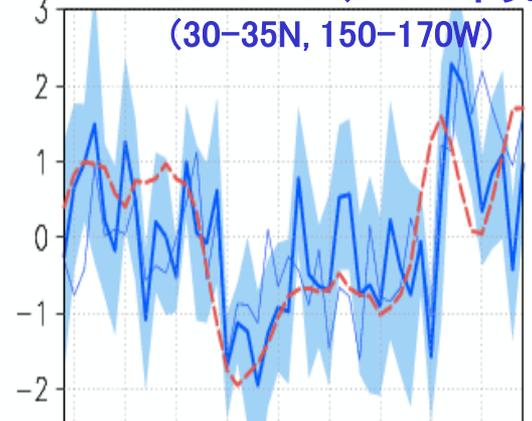
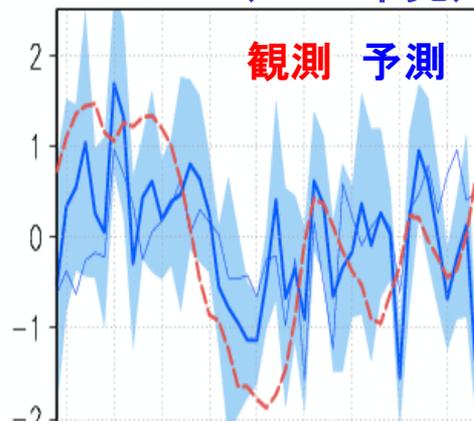
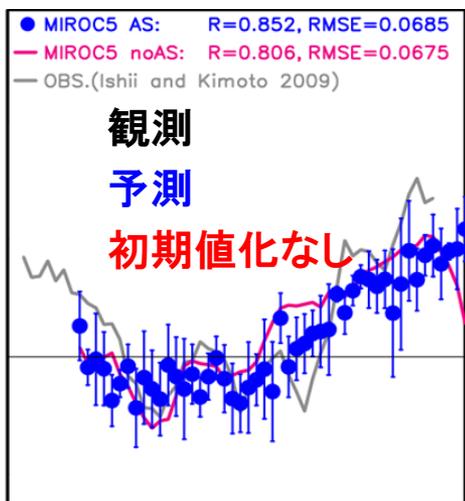


AMO (3~7年先)

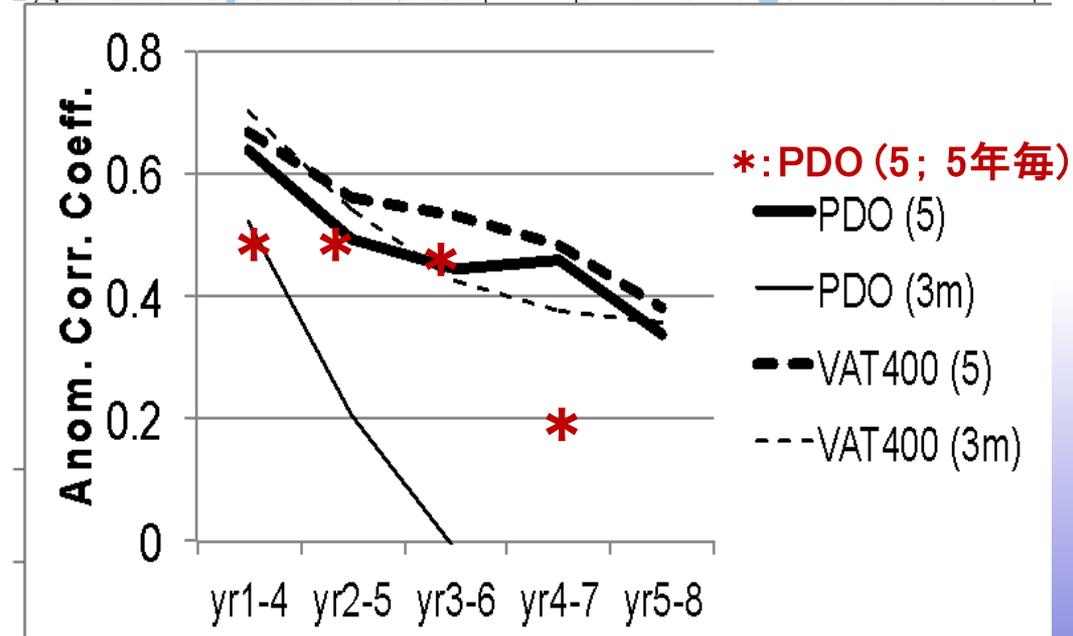
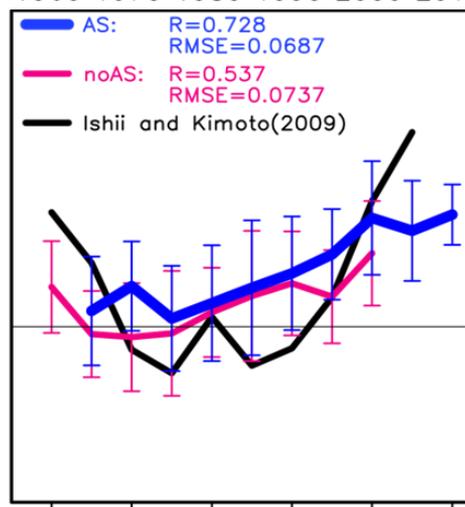
PDO (2~5年先)

VAT400 (2~5年先)

毎年



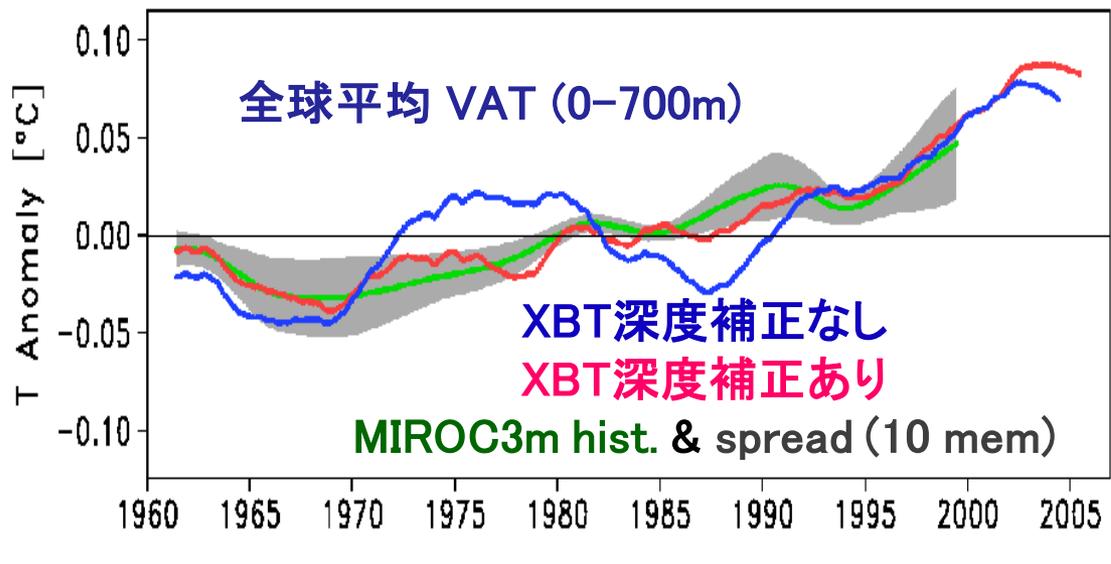
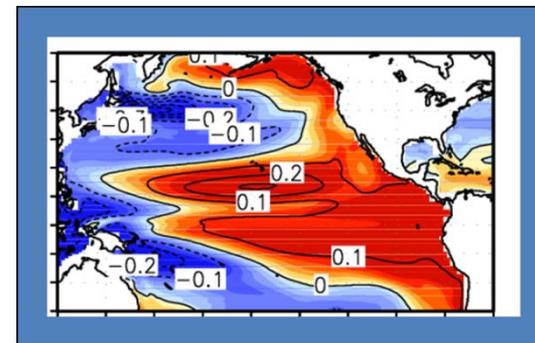
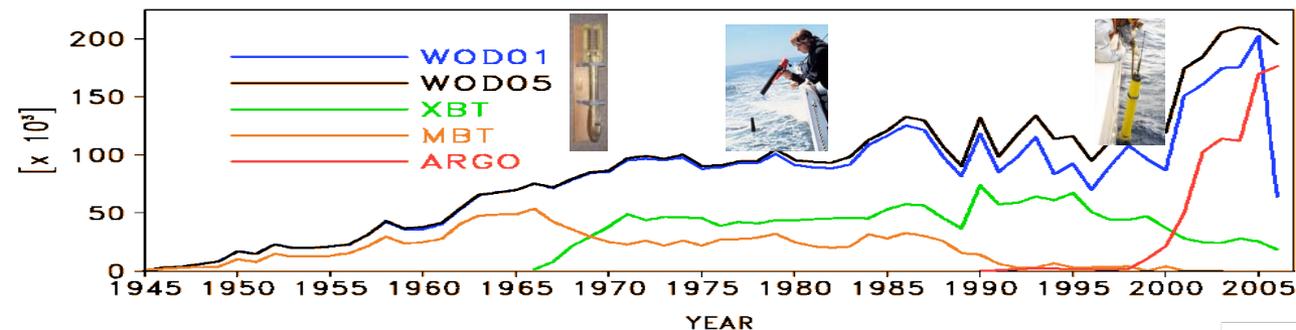
5年毎



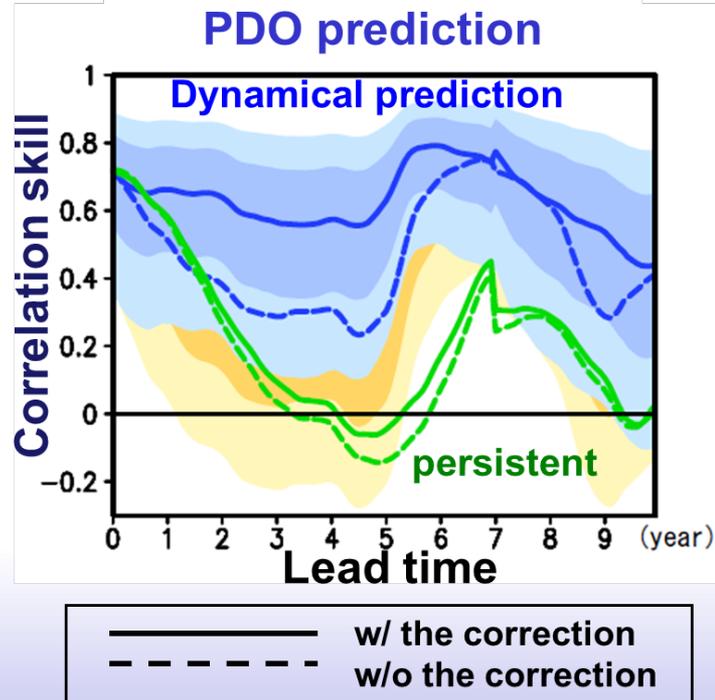
# 観測データの不確実性 (XBT観測)

Yasunaka et al. (2011)

## 観測データ数の推移



Ishii and Kimoto (2009)



XBTのバイアスは未解決

→ 観測データベースの再構成 (Clean Up Project; X<sub>BT</sub> JAPAN)

# 海面水位変動 (熱膨張成分) の再現と予測

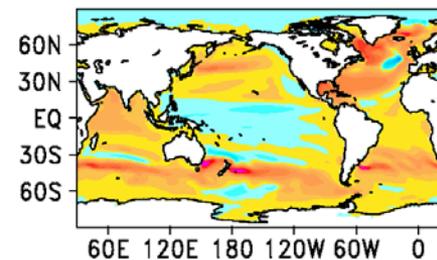
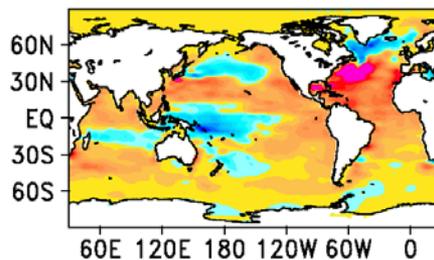
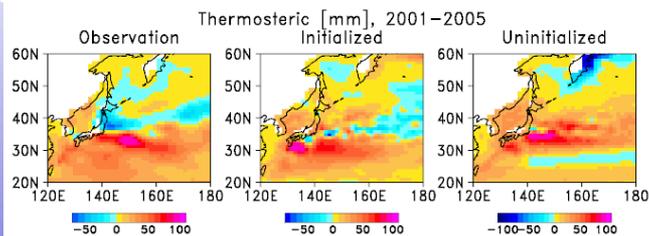
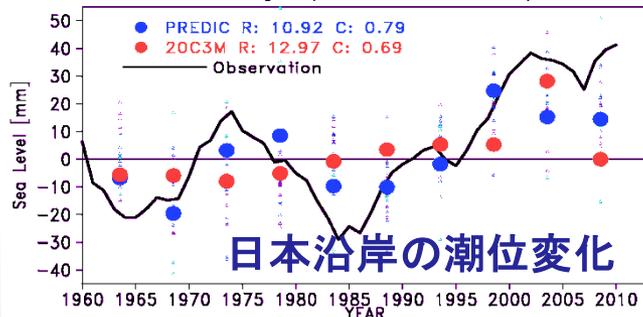
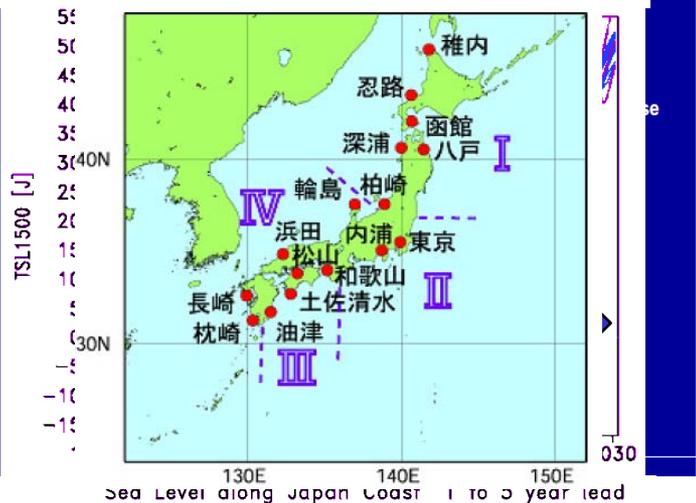
IPCC AR5 第13章

過去の水位収支では熱膨張は全体の1/3~1/2 (Cazenave et al. 2010)

観測

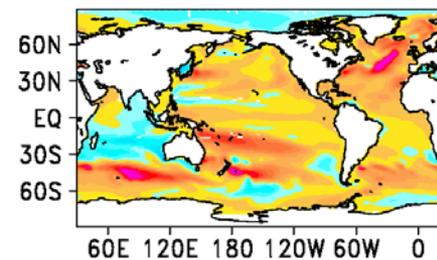
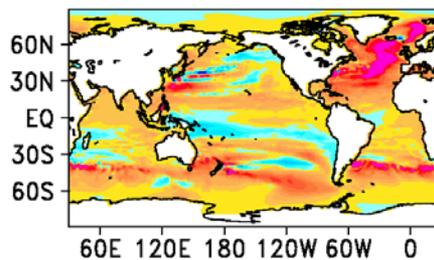
MIROC3m 20世紀再現

2030年までに50mm前後上昇



MIROC4h

MIROC5



-3 -2 -1 0 1 2 3

-2 -1 0 1 2 3

1961~2000年の線形トレンド (mm/年)

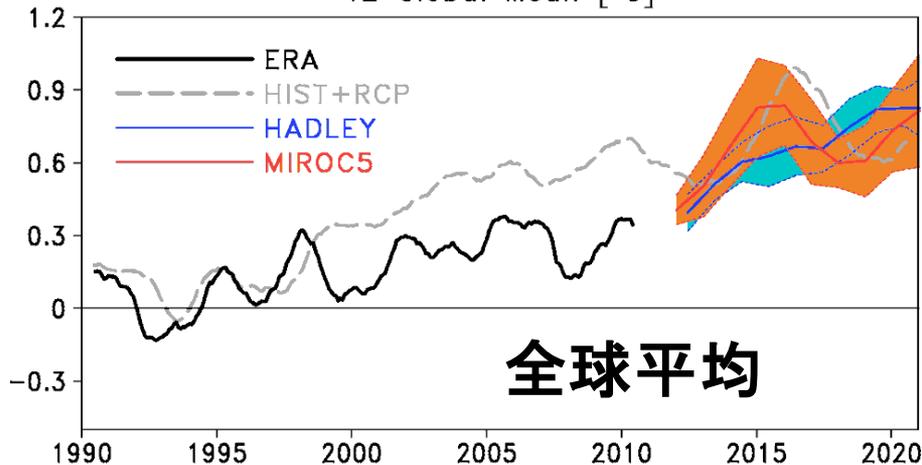
温暖化時の水位変化を成因別に議論 (Lowe and Gregory, 2006; Suzuki and Ishii 2011a)

モード水の水塊変質 ? (Suzuki and Ishii 2011b)

← 日本沿岸の水位予測

- モデルの黒潮の再現性、PDOとの関連?
- + 熱膨張が支配的 (Ishii et al. 2006)

T2 Global Mean [°C]



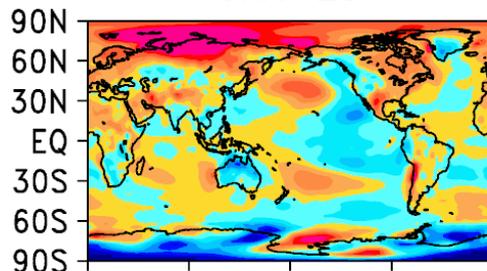
全球平均

# 最新初期値 表面気温予測

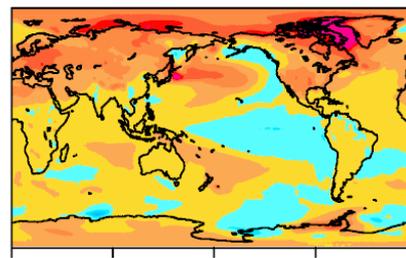
~2012年1月1日 初期値

1年平均  
観測、1年目予測

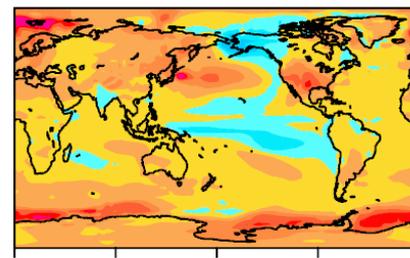
2011-2011  
JRA-25



2012-2012  
MIROC5

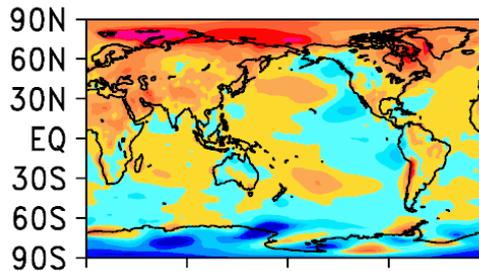


2012-2012  
Hadley

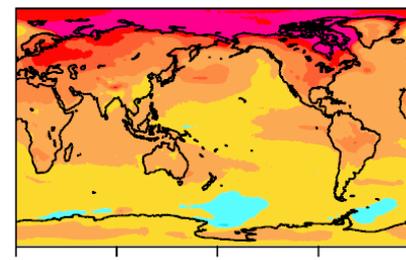


5年平均  
観測、3~7年目予測

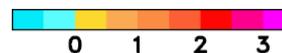
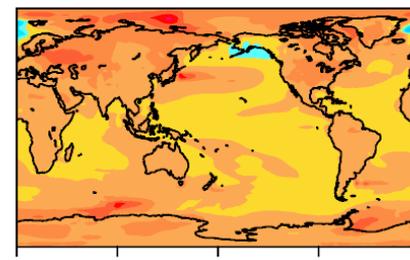
2007-2011  
JRA-25



2014-2018  
MIROC5

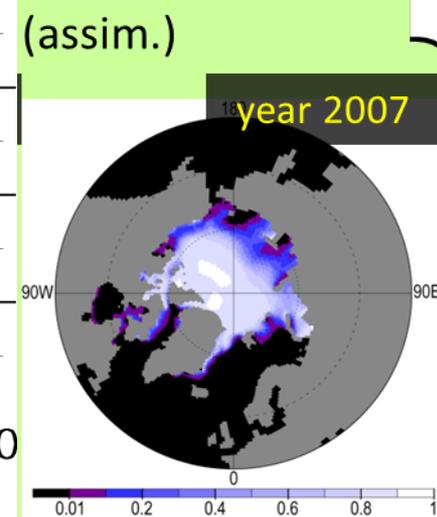
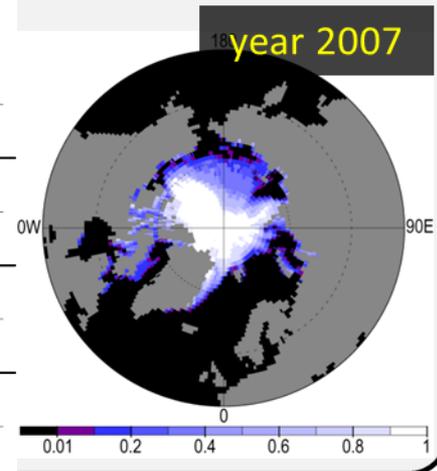
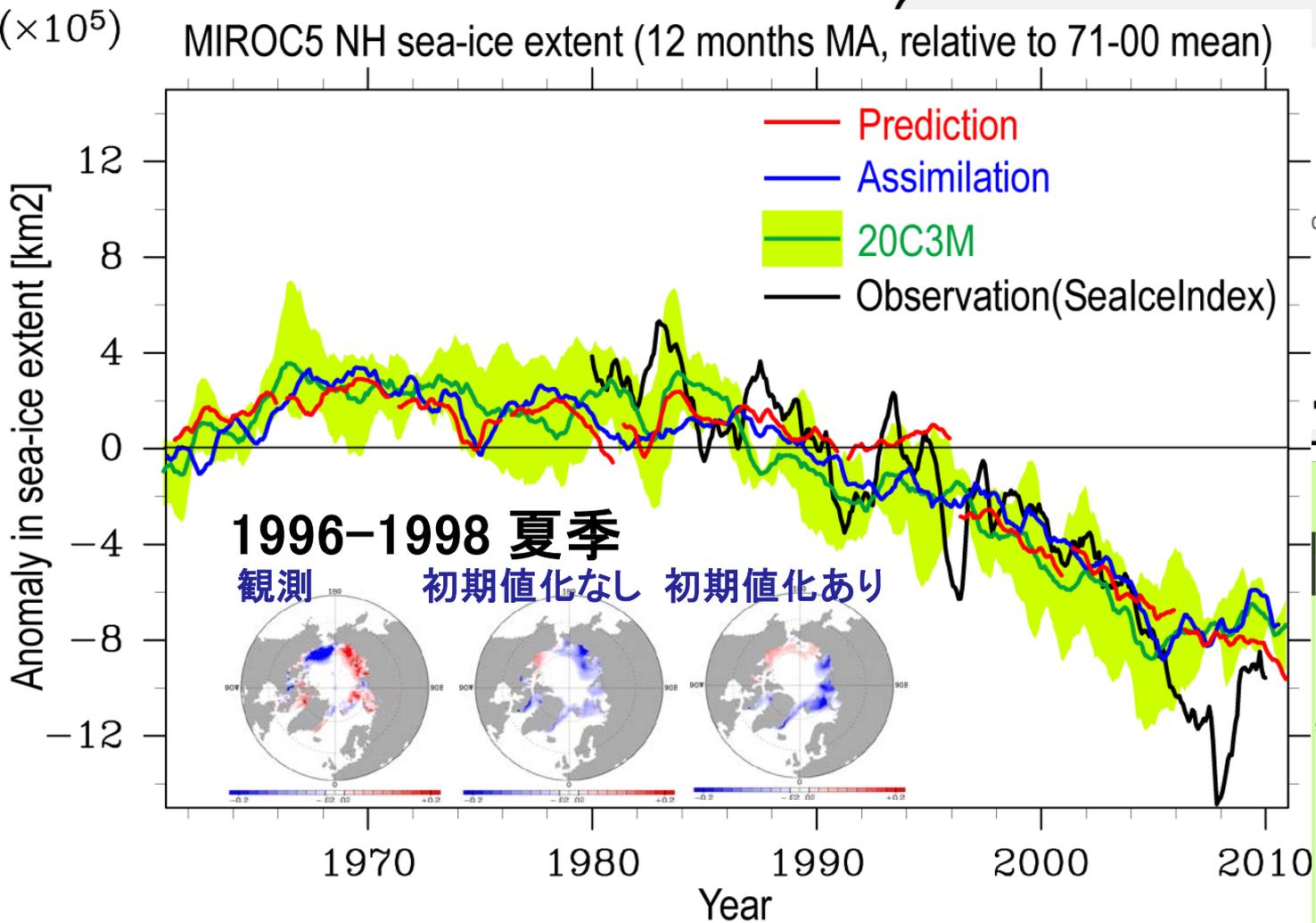


2014-2018  
Hadley



# 海水: 再現と予測

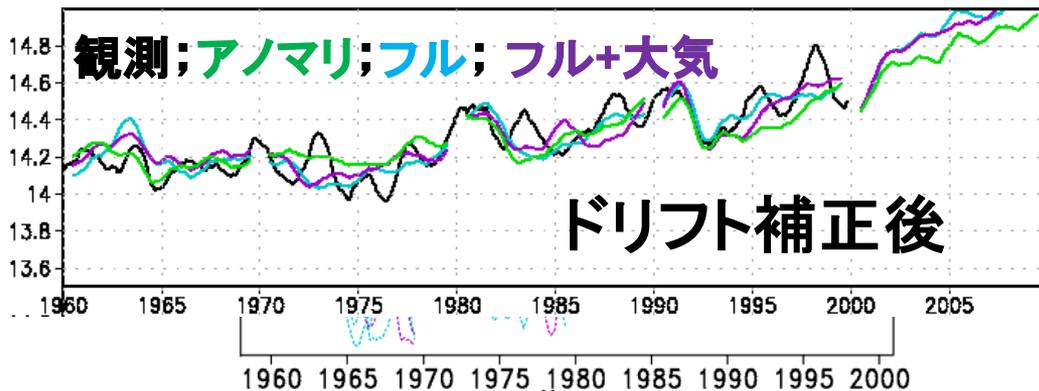
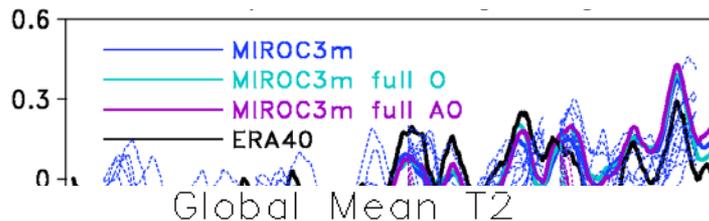
夏季北極域海水分布  
 気候値 2007年極小



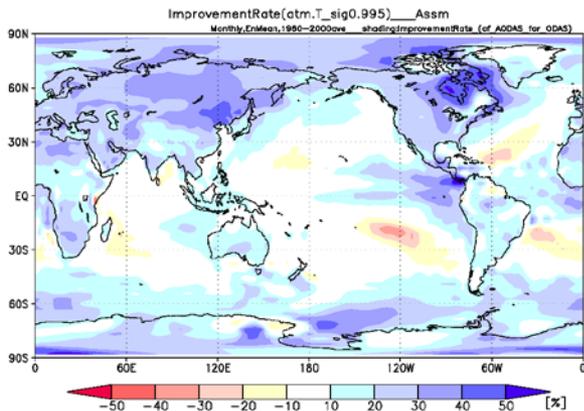
# 新しい初期値化/アンサンブル手法作成の試み

アノマリ同化 → フル同化  
 海洋同化のみ → 大気同化併用  
 格子点値観測 → EnKF

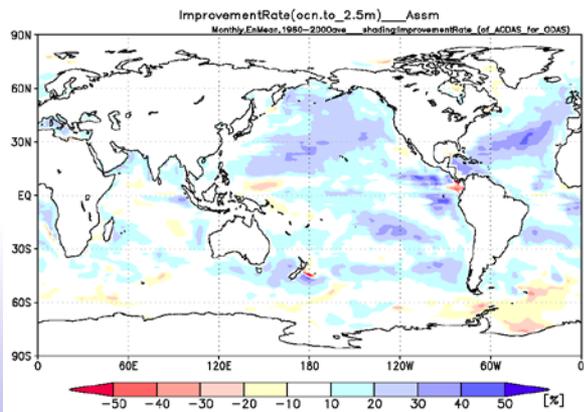
全球平均地上気温偏差



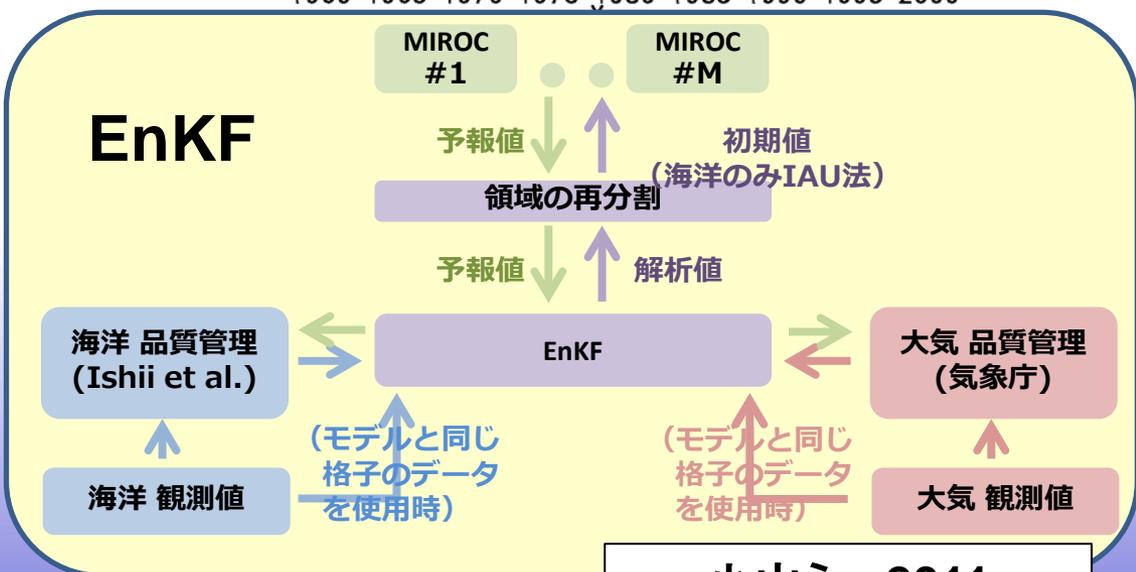
地表気温



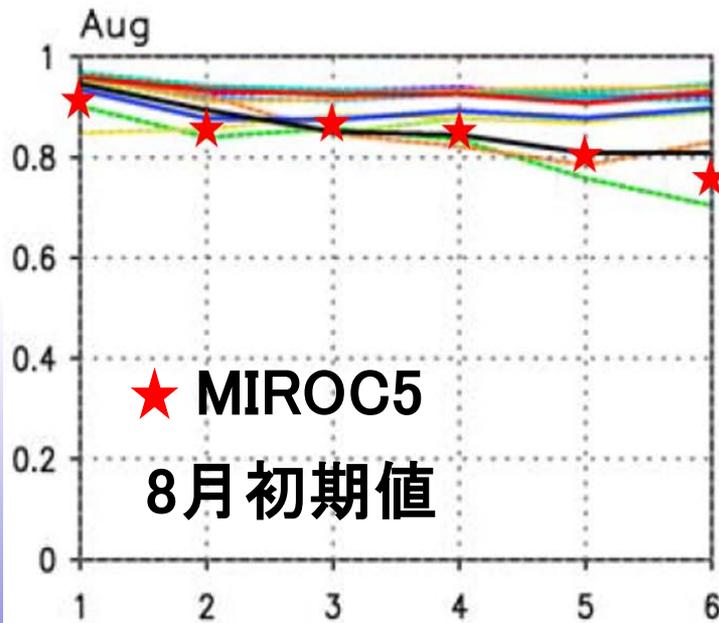
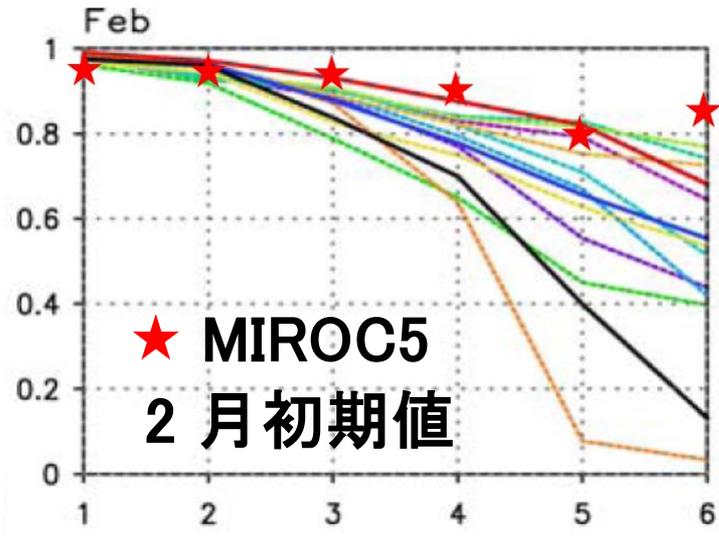
海面水温



↑ 青: 大気データ(気温と風)を同化して結果が改善(エラー減少)

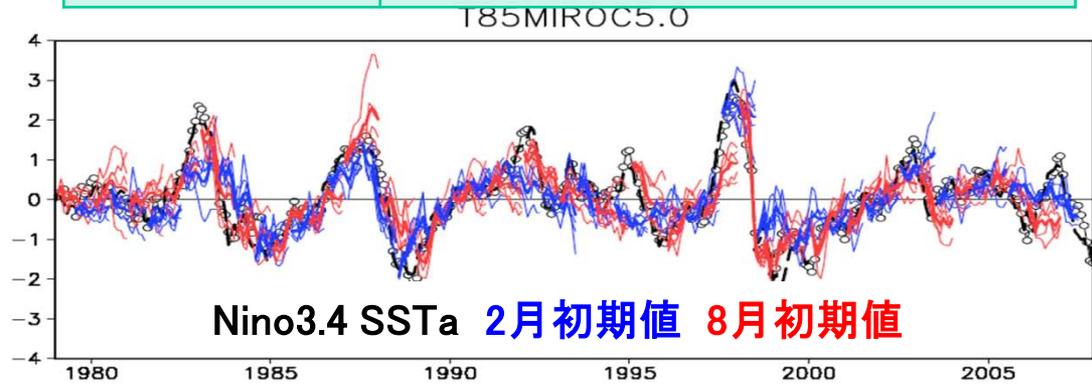


# Nino 3.4 SSTa 予測



- T1 MME
- Dyn-Sta
- Persist.
- CERFACS
- ECMWF
- INGV
- LODYC
- Met.Fran.
- MPI
- UK Met
- NCEP
- SINTEX-F
- SNU

モデル	MIROC5 (近未来版)
同化実験	アノマリ同化(IAUF)、1メンバ(run03)
初期値	2、5、8、11月スタート
	海洋:同化実験より、大気:NCEP再解析
アンサンブル	LAF(24時間毎)、5メンバ
期間	1979年～現在



# MIROC5 による ENSO 予測

# まとめ

- ◆ MIROC モデルを用いた近未来気候変動予測のためのシステムを開発した。
- ◆ 20世紀気候（2m気温、表層水温、海氷など）を現実的に再現した。
- ◆ 地表面気温、表層水温変動において、太平洋十年規模変動（PDO）などの十年規模気候変動に予測可能性があることを確認した。
- ◆ アンサンブルを増やして、統計的にロバストな結果を得た。
- ◆ 新しい初期値化手法の開発を行った。

## 課題

- 近未来予測のためのシステムの高度化
- 100年大気海洋再解析
- 海氷（モデリング、初期値化）→ GRENE で継続