

# 創生テーマC 気候変動リスク情報の基盤技術開発

主管機関：筑波大学

領域課題代表：高薮 出(気象研)

(H26年度成果報告会@ウ・タント講堂  
2015/01/28)

## 創生領域テーマCの課題構成

### 気候変動リスク情報の基盤技術開発

創生テーマC 主管機関:筑波大学

#### (i) 気候変動リスクの評価の基盤となる確率予測情報の創出

領域課題代表:防災科研

- (a) アンサンブル予測技術と予測実験の最適化手法の開発 (防災科研)
- (b) 気候変動データの統計学的手法の開発 (統数研)
- (c) アンサンブルデータの効率的なダウンスケーリング手法の開発 (東大 大気海洋研)

#### (ii) 高度利活用(影響評価研究等)を支える標準的気候シナリオの整備

領域課題代表:気象研

- (a) 予測技術の信頼性・不確実性の定量化手法の開発 (筑波大)
- (b) 高解像度力学的ダウンスケーリングによる低頻度ではあるが影響の大きい気候変動事象に関する情報の創出 (気象研)
- (c) 雲解像大気・海洋・波浪結合モデルによる台風強度推定 (名古屋大水循環研究センター)

# ESの活用状況について

- 年度当初配算された計算機リソースはH26年度中に全て使用した。
  - 全球モデル(AGCM)実験
  - 地域気候モデル(RSM・NHRCM)実験
  - 台風のダウンスケーリング実験
- 年度途中で他テーマから若干融通していただき計算を続行した。

# 課題間連携について

「影響評価のための気候モデルデータの利用」手引書をC/D連携で発刊(H27/02)

## テーマC

気候変動リスク情報の  
基盤技術開発

不確実性を含む  
確率情報の創出

詳細な気候情報の創出

- ①モデルの精度などの情報提示
- ②提供可能なデータのリスト提示

議論

## テーマD

課題対応型の精密な  
影響評価

防災に繋がる評価

減災に繋がる評価

- ①情報を必要としているのは一体誰？
- ②彼らが必要としている情報は？
- ③その情報を得るのに必要な研究は？
- ④その研究に必要な気候情報は？

情報交換

テーマC/D間連携の概念図

年次計画	H24	H25	H26	H27	H28	
i	(i)-a 気候変動アンサンブル実験の最適化手法の開発 防災科研	高頻度事象確率分布プロトタイプ創出		高頻度事象確率分布推定手法改良		
		アンサンブル実験の最適化手法の開発			極端事象の確率的シナリオのプロトタイプ作成	
		高頻度事象確率分布創出手法の開発				
ii	(i)-b 気候変動アンサンブルデータに関する統計学的手法の開発 統数研	極端事象サンプリング手法検討		極端事象サンプリング手法開発		
		アンサンブル平均場のDDS手法の開発／気候予測への適用				
		確率情報のDDS手法の開発		DDSされたアンサンブル平均場とPDFの創出		
ii	(i)-c アンサンブルデータの効率的なダウンスケーリング手法の開発 東大AORI	解析準備				
		各種アンサンブル実験の実施・解析				アジアモンスーン域等の幅を持った変容の予測
		20kmAGCM・5kmNHRCMの複数SSTでの計算・検証		20kmAO-GCM実験 2kmNHRCMによる日本全域の計算・検証		
ii	(ii)-b 高解像度力学的ダウンスケーリングによる極端事象変化情報の創出に関する研究 気象研	20kmAO-GCM・2kmRCMの開発				
		結合モデルシステム構築 / 台風強度予測高度化				
		海洋応答解析 / 最大可能強度推定				
	(ii)-c 雲解像大気・海洋・波浪結合モデルによる台風強度推定 名古屋大HyARC					

創生領域テーマCの年次計画

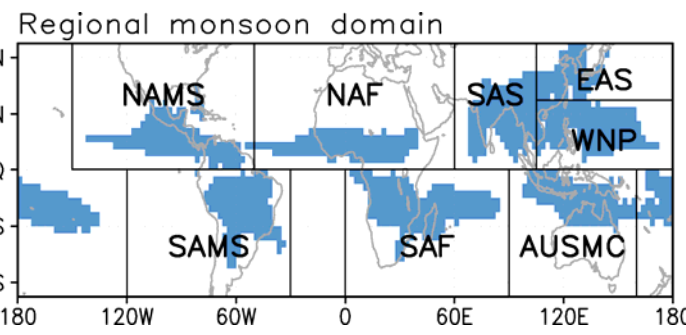
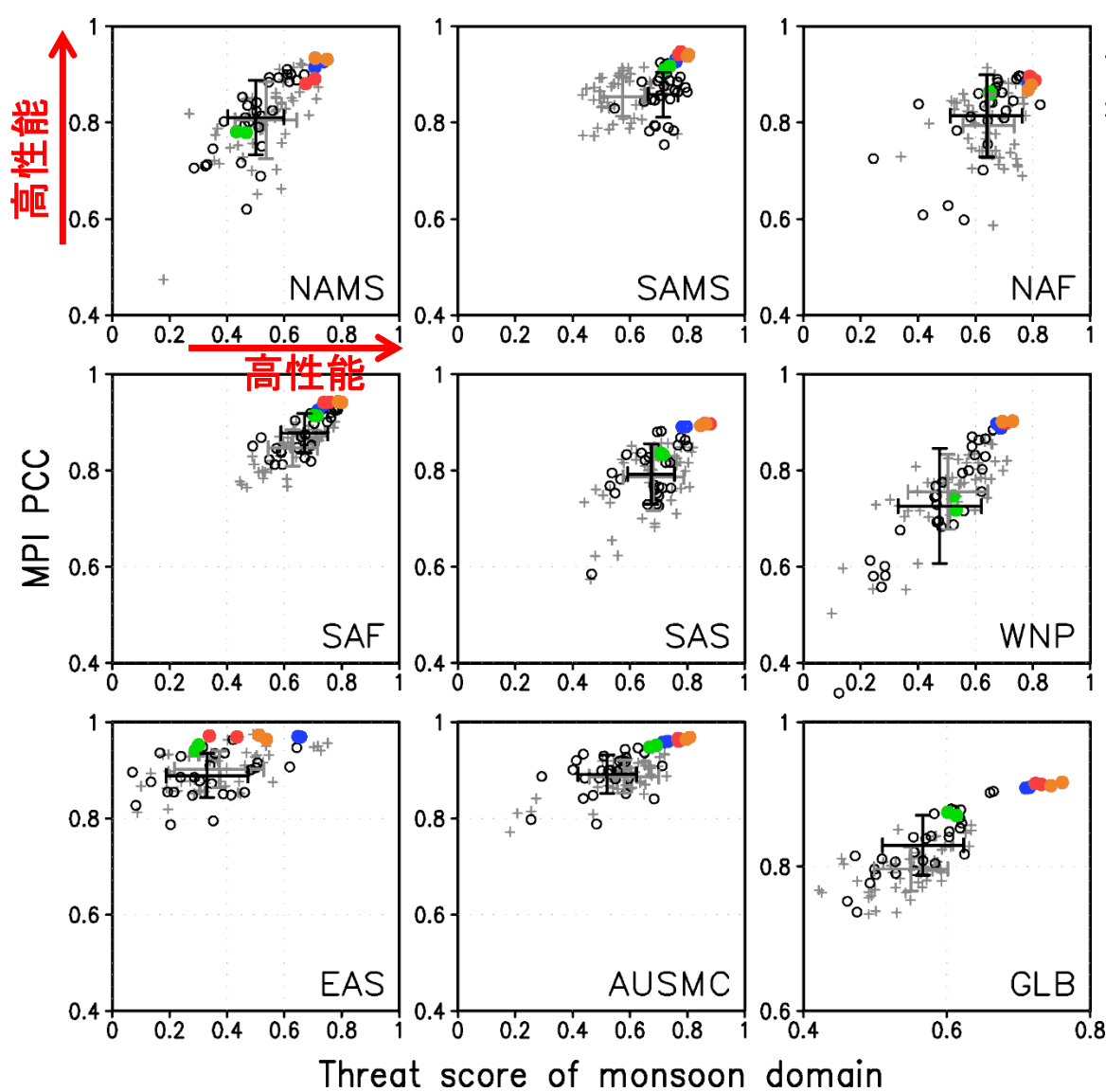
(ii) 高度利活用(影響評価研究等)を  
支える標準的気候シナリオの整備

領域課題代表： 高薮出(気象研)

## 成果のまとめ／前半の総括

- 全球60km格子モデルによるアンサンブル（海面水温、物理過程、初期値）実験を実施した。
- モンスーン降水の将来変化とその不確実性要因を評価した。
  - 東アジアの降水増加率は他のモンスーン地域に比べて大きく、不確実性が小さい。
  - 南アジアではモデル物理過程により予測がばらつく。
- 影響評価研究に有用な極端指標を算出した。
- 気候変動シグナルと時空間平均スケールの関係、モデル解像度と有意な時間スケールとの関係を調査した。

# 全球20km/60kmモデルのモンスーン再現性(地域別)



モンスーン領域と地域区分

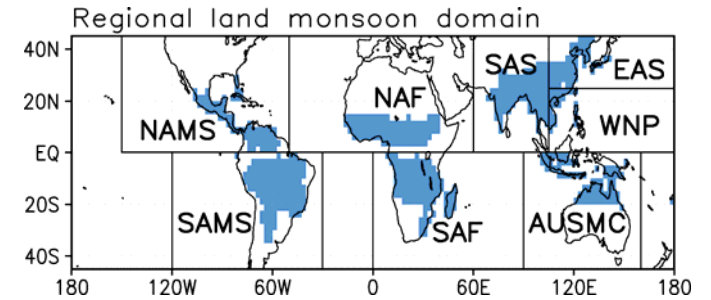
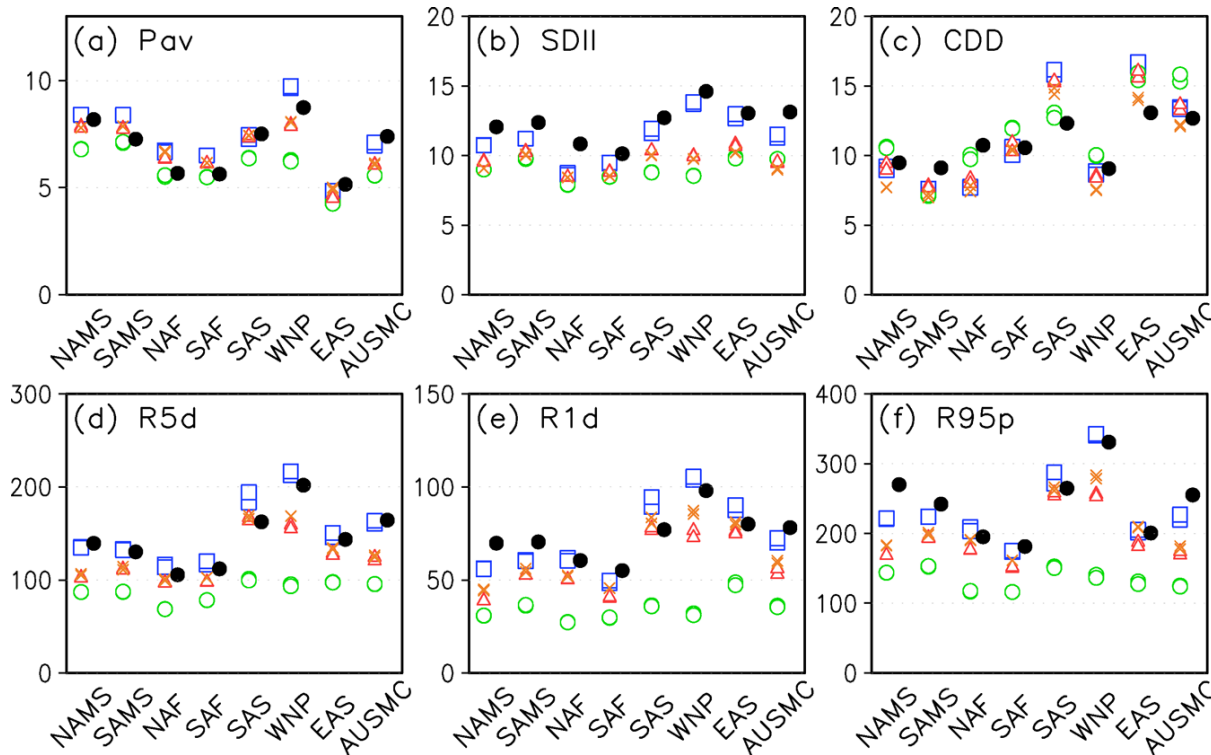
- MRI-AGCM3.2S (YS)
- MRI-AGCM3.2H (YS)
- MRI-AGCM3.2H (AS)
- MRI-AGCM3.2H (KF)
- CMIP5 AGCMs
- + CMIP5 CGCMs

- MRI-AGCMはCMIP5モデル群より全般的に再現性能が高い
- 3.2H(AS)は相対的に劣る
- 多くのモデルがEAS地域のモンスーン領域の再現が苦手
- WNPとEAS地域での再現性能: CMIP5\_AGCM < CMIP5\_CGCM (大気海洋相互作用?)

縦軸: MPI = 降水年較差 / 降水年平均  
 横軸: Threat score = モンスーン域と判定される領域の一致度



# 極端降水インデックスの再現性(地域別、陸上)



## 極端降水インデックス

**Pav** 平均降水量[mm/day]

**SDII** 降水強度[mm/day]

**CDD** 雨季最大無降水継続日数[day]

**R5d** 雨季最大5日降水量[mm]

**R1d** 雨季最大1日降水量[mm]

**R95p** 日降水量上位5%合計[mm]

× MRI-AGCM3.2S (YS)

△ MRI-AGCM3.2H (YS)

○ MRI-AGCM3.2H (AS)

□ MRI-AGCM3.2H (KF)

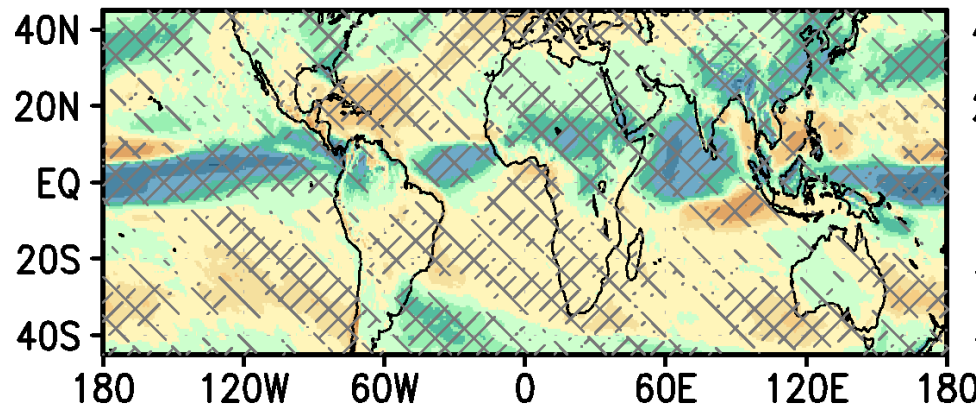
● 観測 (TRMM-3B42)

- # 陸上モンスーン領域内の雨季を対象
- # 解像度を60kmモデルに合わせて解析

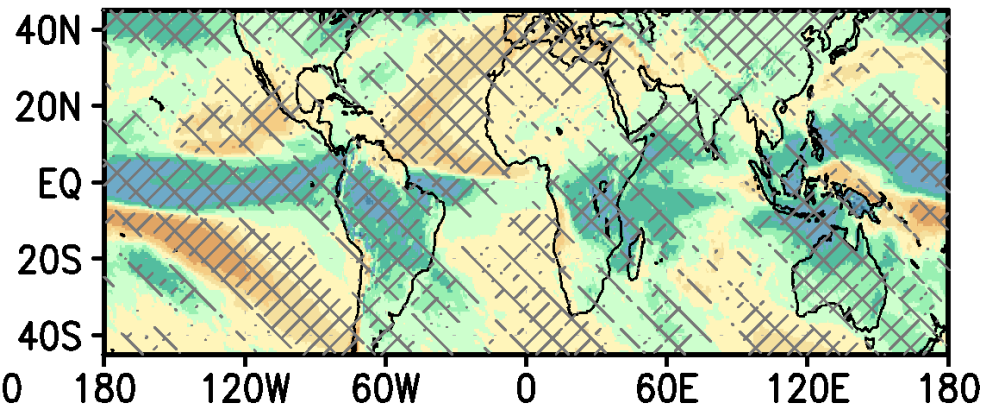
- 平均降水量 (Pav) と無降水継続日数 (CDD): どのモデルも概ね高い再現性能を示す。
- 極端降水 (R5d、R1d、R95p): YS積雲モデルとKF積雲モデルは比較的良く再現する一方、AS積雲モデルは顕著な負バイアスをもつ。

# 降水量将来変化：全球60kmモデルとCMIP5

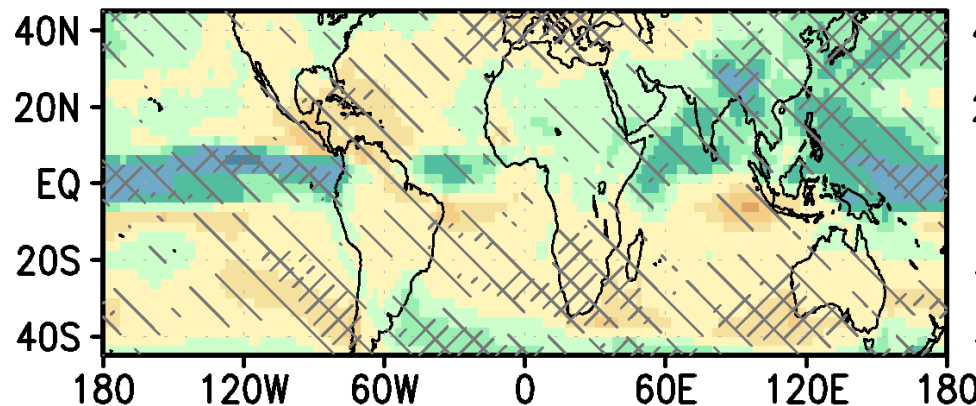
MRI-AGCM3.2H RCP8.5 MJJAS



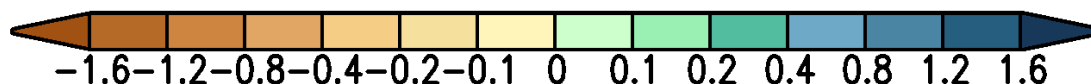
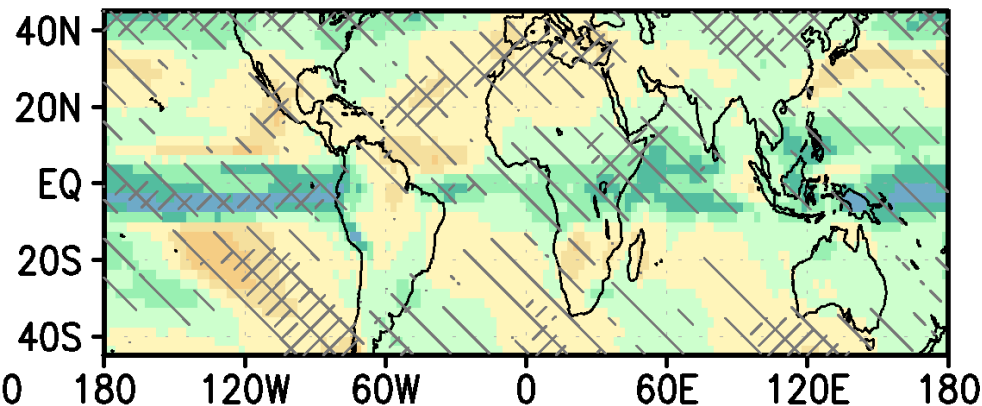
MRI-AGCM3.2H RCP8.5 NDJFM



CMIP5 RCP8.5 MJJAS



CMIP5 RCP8.5 NDJFM



MRI-AGCM3.2H: 12メンバーのSST/物理アンサンブル  
CMIP5: 28モデル  
全球年平均地上気温昇温量で規格化  
ハッチ: 将来変化符号が66%(90%)以上のモデルで一致

大規模な分布は一致:  
SST昇温量が相対的に大(小) = 降水量増(減)  
北西太平洋～ベンガル湾では不一致

# 降水量将来変化の不確実性要因

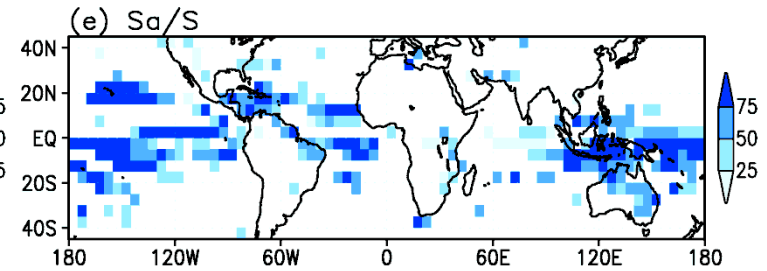
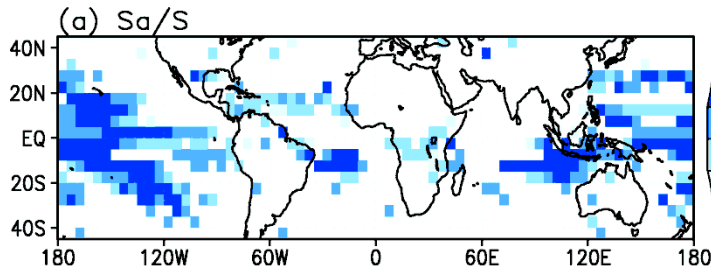
CMIP5 RCP8.5 SST

MRI-AGCM3.2H RCP8.5 summer

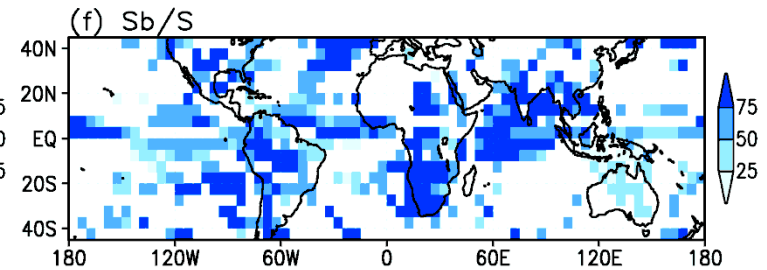
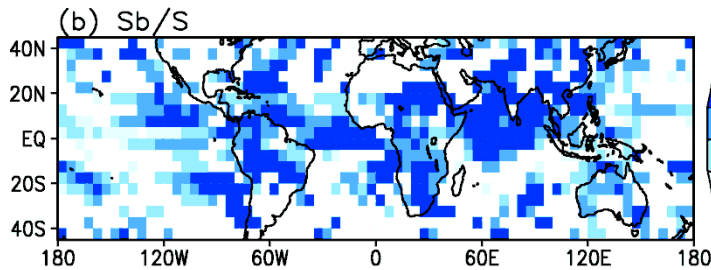
CMIP3 A1B SST

MRI-AGCM3.2H A1B summer

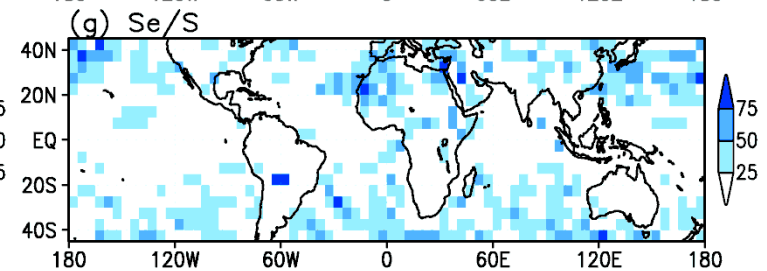
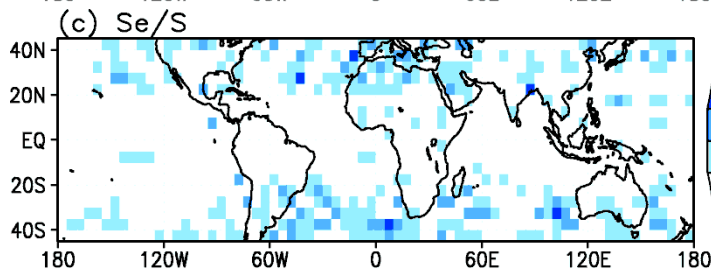
SST因子



積雲スキーム  
因子



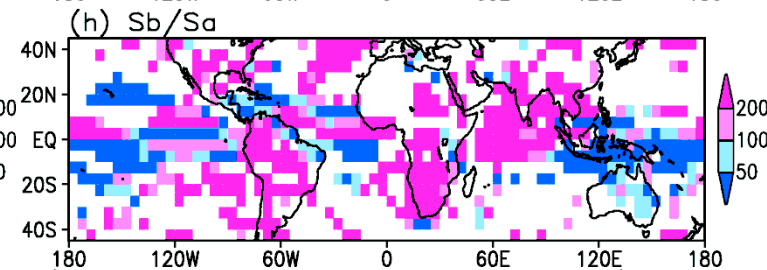
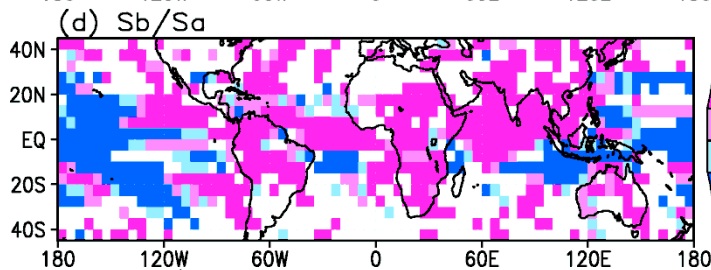
内部変動



相対的寄与

青:SST

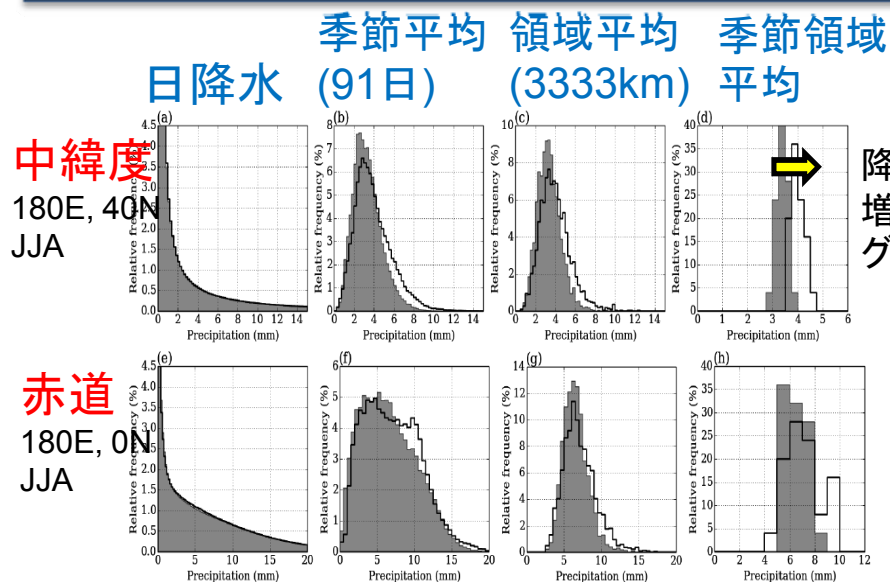
マゼンタ:積雲



放射強制力が大きいRCP8.5シナリオの方が積雲スキーム因子の寄与が大きい  
→昇温量が大きくなるほど予測のばらつきが積雲スキームに大きく依存

# 気候変動シグナルの検出力に対する平均化スケールの影響

降水の将来変化シグナルをAGCM60kmの結果から抽出する



降水量  
増加シグナル

平均操作は標本の分散を小さくして変動のシグナルの検出力を上昇させる

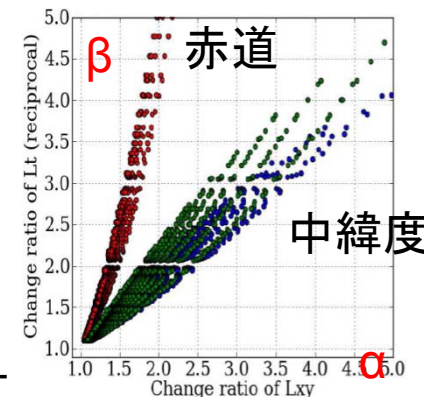
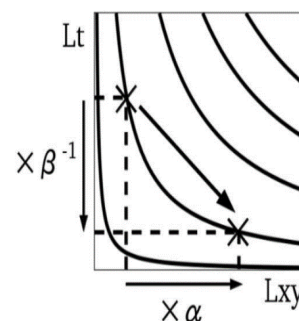
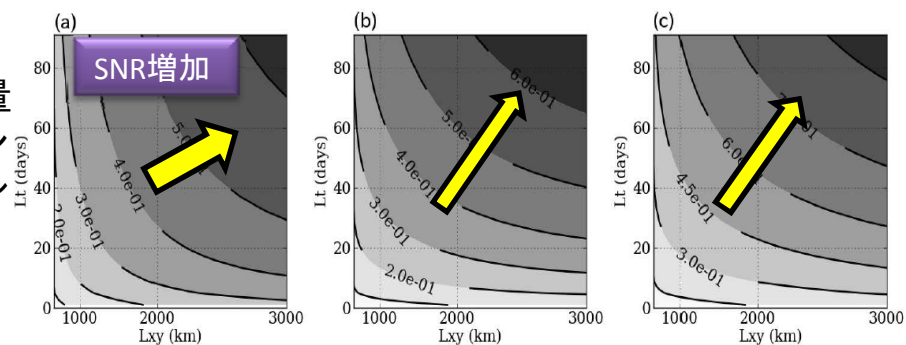
気候変動シグナルのRobustness

$$SNR = \frac{\bar{p}_f - \bar{p}_p}{\sqrt{\sigma_p^2 + \sigma_f^2}}$$

時間と空間の平均スケール $L_t$ と $L_{xy}$ に対する依存性を調べる

結果 (各緯度で全経度, 全季節平均)

赤道 (0N) 中緯度(40S) 中緯度(40N)



SNR一定での平均化スケールの変化率の関係

- 時間・空間平均共にシグナルの検出力を上昇させるが、その効果は緯度によって異なる(赤道域では時間平均の効果小さい)
- この性質の違いは降水の時空間構造の違いから説明できる

# 降水再現におけるスキルフル時間スケール

## スキルフルスケール

気候モデルにおいて予測能力のある現象スケールスケールが大きいほどスキルフルと考えられる

## 研究手法

東京大手町の降水の時系列データを観測 (AMeDAS)とモデルで比較することでスキルフル時間スケールを見積もる

解像度依存性を調べるためにAGCM60km,20kmとNHRCM5kmの3種類のモデルを用いる

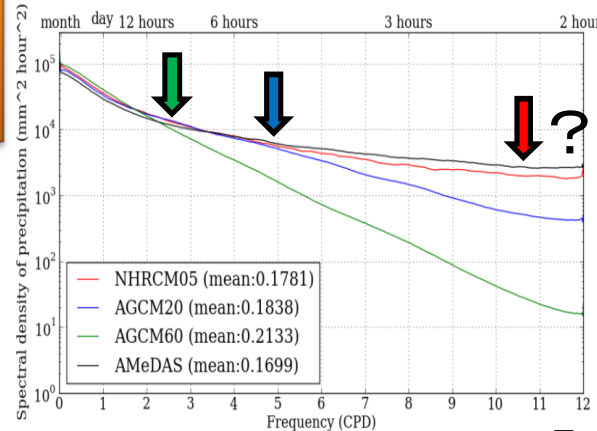
	longitude (deg.)	latitude (deg.)
Tokyo Station	139.76	35.69
AGCM60	140.06	35.63
AGCM20	139.88	35.70
NHRCM05	139.86	35.71

## 解析手順

- (1)各時系列データの1年ごとにパワースペクルを計算
- (2)年ごとの結果を(25年 or 20年)を独立サンプルとみなしてt検定
- (3)99パーセントで有意な差が出た周波数(時間スケール)を最大スキルフルタイムスケールとみなす

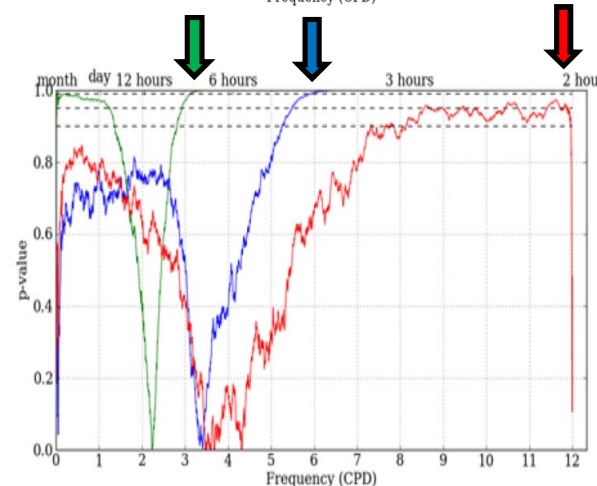
## 結果

周波数の単位はCPD: cycle per day



(左図)全サンプル平均+周波数方向平滑化したパワースペクトル

解像度が低いほど観測結果から外れる周波数が小さい



(左図)p値と99,95,90パーセント有意を表す線

AGCM60: 3.2CPD  
AGCM20: 6.0CPD  
NHRCM05: 12CPD以上

- NHRCM5kmが2時間よりも短いスキルフルタイムスケールを持っていることが示された
- 極端降水は時間スケールの短い現象であることが多く、極端降水再現での領域モデルの有用性が示唆される

# 創生後期研究の最終目標と取組

- 最終目標

- 全球大気モデルを中心に様々なアンサンブル実験を実施し、加えて世界各国で行われたマルチモデル実験データの収集を行う。前者では単一モデルの、後者ではマルチモデルの枠組みでの不確実性を定量化し、最終的には両不確実性を統合し、信頼性を付与する。

- 取り組み

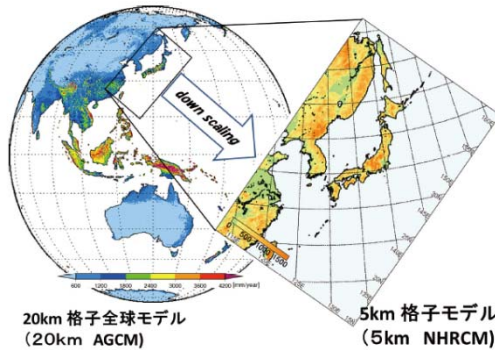
- 全球60km格子大気モデルを用いた気候変化アンサンブル実験を実施する。
- 地域毎の大規模場変数の将来予測変化について、CMIP3/CMIP5モデル群と全球60km格子大気モデル群の整合性を検討し、特にアジア・太平洋域の将来気候変化予測の不確実性を明らかにする。
- 全球60km格子大気モデル群の有用性が明らかとなった地域で、高解像度モデルの得意とする極端現象の将来変化を示す。
- 有意なシグナルを取り出せるアンサンブル実験数と現象と時空間スケールを検討する。

(ii)-b 高解像度力学的ダウンスケーリングによる低頻度ではあるが影響の大きい気候変動事象に関する情報の創出 (気象研)

# 成果のまとめ／前半の総括

① 全球20km大気モデルによる温暖化実験

現在



20km 格子全球モデル (20km AGCM)

5km 格子モデル (5km NHRCM)

研究概要：  
日本域の極端事象の詳細な温暖化予測情報を出す。

② 地域気候5kmモデルによるDDS実験

	H24/1	H24/2	H25/1	H25/2	H26/1	H26/2	H27/1	H27/2	H28/1	H28/2
AGCM20	準備	現在再現実験								
		SST準備	シナリオ実験1							
			SST準備	シナリオ実験2						
			SST準備	シナリオ実験3						
			SST準備	シナリオ実験4						
SST restore AO-GCM			モデル開発				インストール作業			
			SST restore 20km AO-GCM				SST準備	現在再現実験		
							SST準備	シナリオ1実験		
							SST準備	シナリオ2実験		
NHRCM5	モデル改良									
	設定準備	現在再現実験								
		設定準備	シナリオ1実験							
		設定準備	シナリオ2実験							
		設定準備	シナリオ3実験							
	設定準備	シナリオ4実験								
NHRCM2		2km格子化に伴う問題点の把握と解決					インストール作業			
							設定準備	現在再現実験		
							設定準備	可能なら、複数のシナリオ実験		
					中間評価					取りまとめ

20kmAGCM

5kmNHRCM

2kmNHRCM

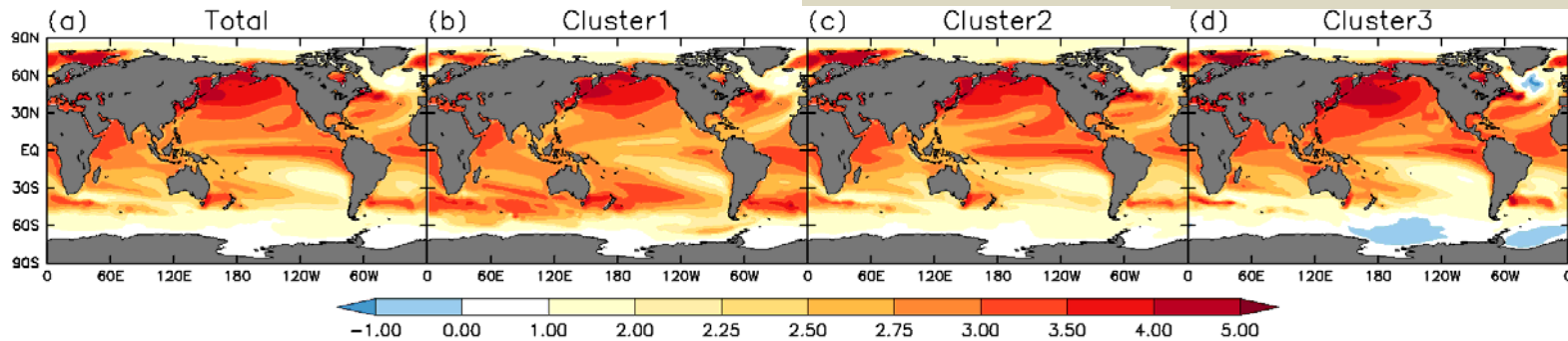
# RCP8.5シナリオのCMIP5モデル実験に基づく 4つの代表的な海面水温将来変化を設定

全モデル  
平均

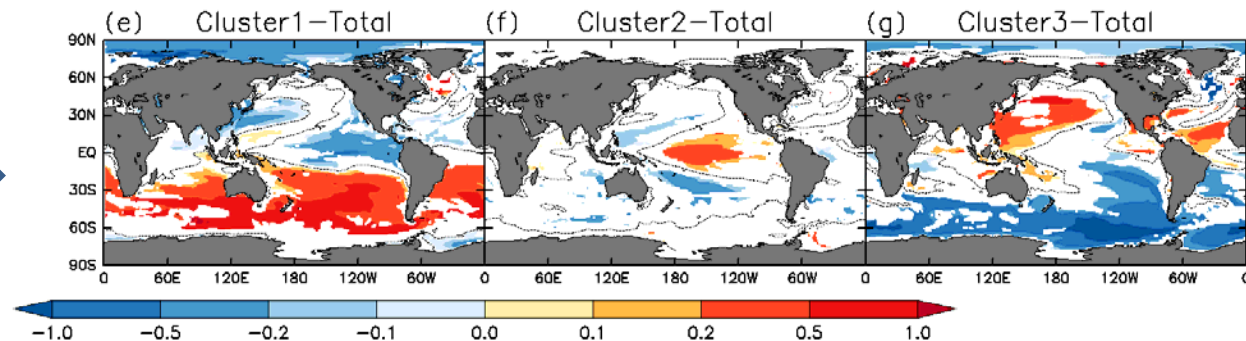
米国大気科学研究所  
(NCAR)を含む  
グループの将来変化

イギリス気象局  
(HadGEM2)や  
気象庁気象研究所  
(MRI-CGCM3)を含む

米国地球流体力学研究所  
(GFDL)や  
東大大気海洋研究所  
(MIROC-5)を含む



全モデル平均  
からの  
相対的偏差





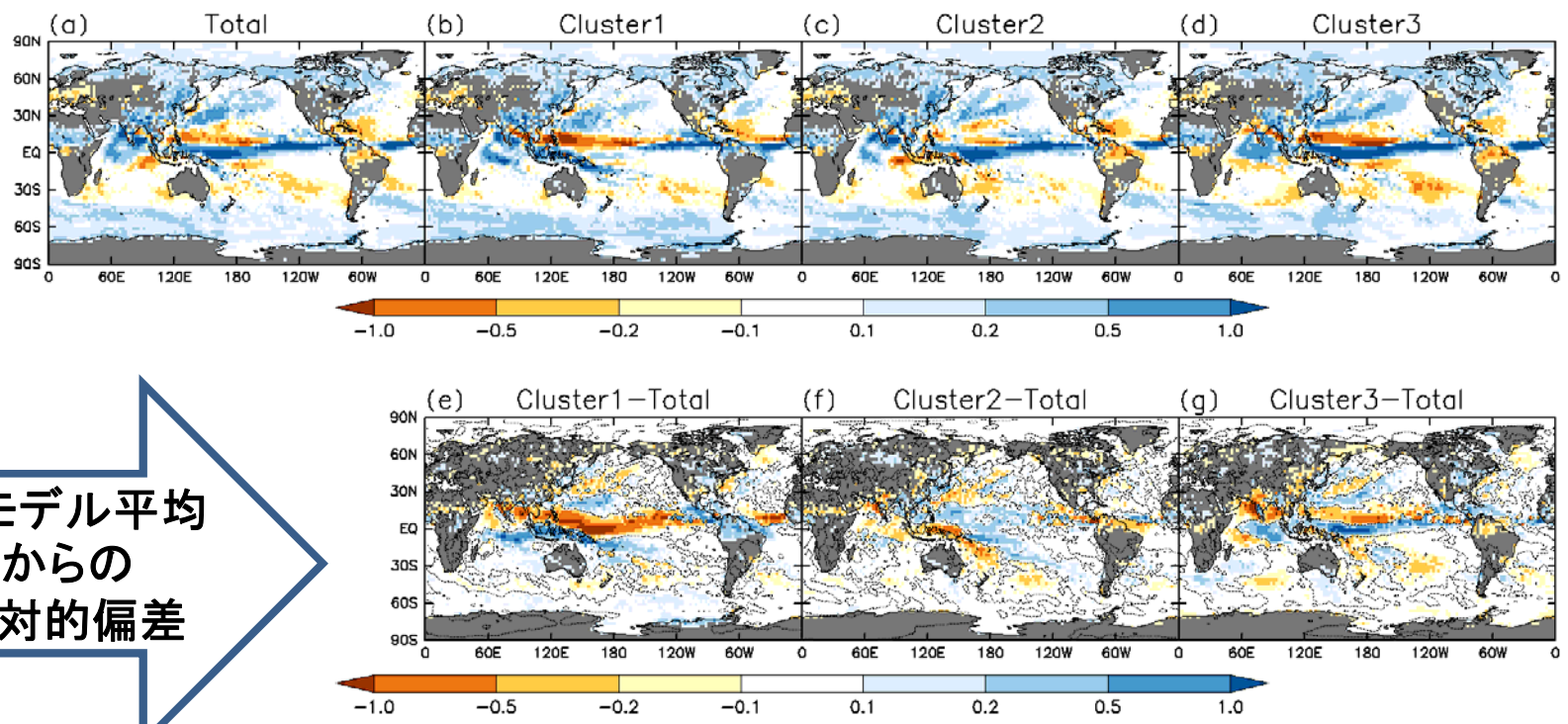
# 4つの代表的な海面水温将来変化に対する 北半球夏季降水量将来変化(20kmAGCM)

全モデル  
平均

米国大気科学研究所  
(NCAR)を含む  
グループの将来変化

イギリス気象局  
(HadGEM2)や  
気象庁気象研究所  
(MRI-CGCM3)を含む

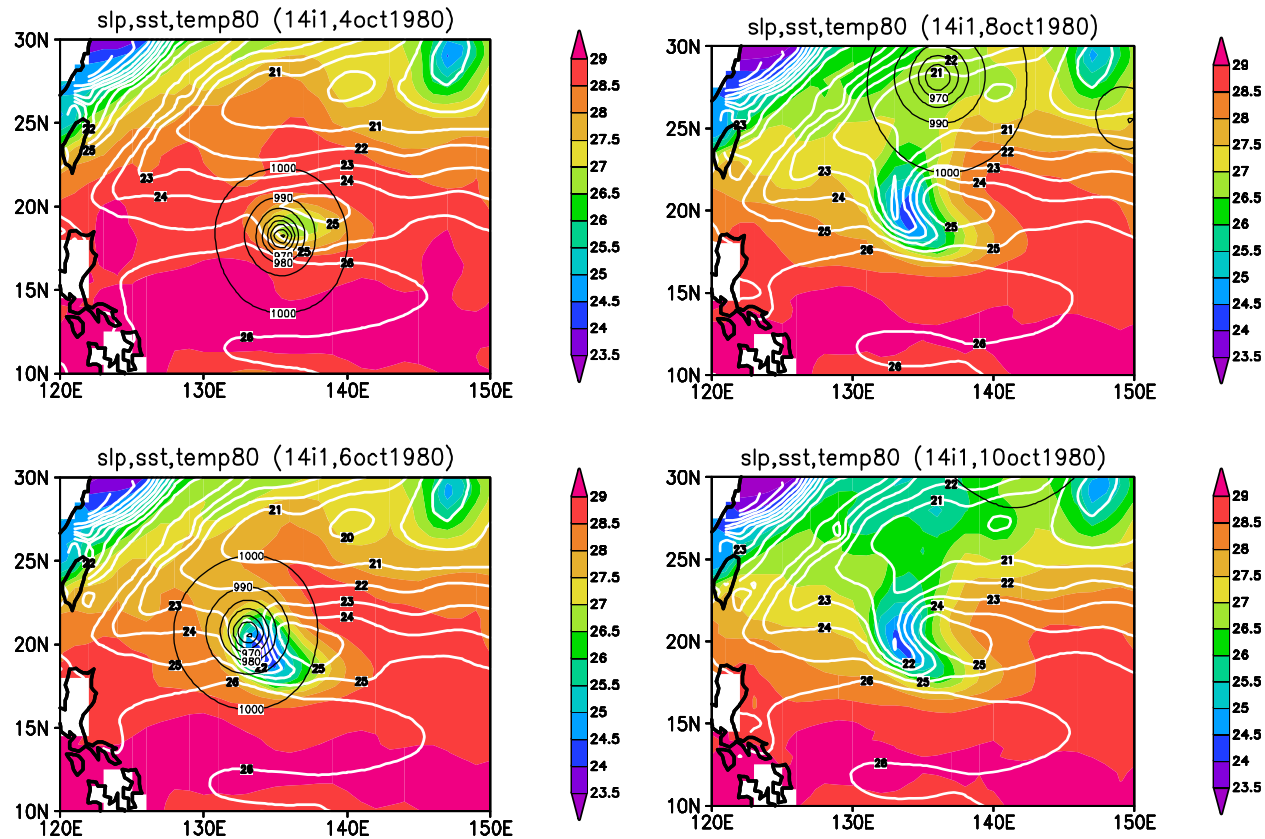
米国地球流体力学研究所  
(GFDL)や  
東大気海洋研究所  
(MIROC-5)を含む



全モデル平均  
からの  
相対的偏差

# 海面水温をリストアした 結合モデル(準結合モデル)実験

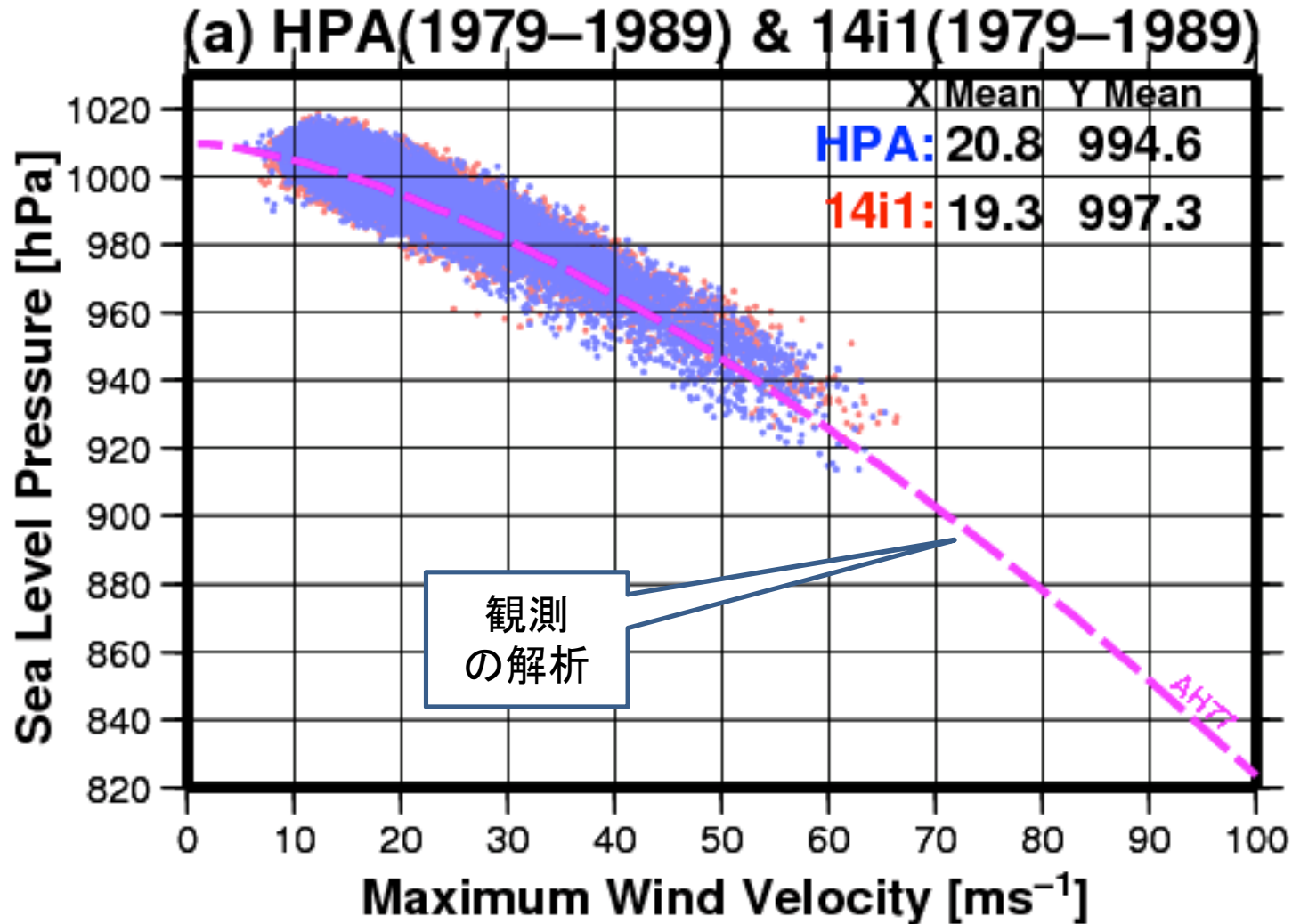
10日程度までの時間スケールの大気海洋相互作用を取り入れる。



60km-AOGCMで再現された台風通過時の海面気圧SLP(黒コンター:hPa)、  
海面水温SST(陰影:°C)および80m深水温(白コンター:°C)

# 台風の最大風速-海面気圧の関係

準結合実験(14i1)と大気モデル実験(HPA)



準結合実験(14i1)では、大気モデル実験(HPA)に比べて、熱帯低気圧の強さが弱くなっていることが確かめられた。

# 全球モデル計算のまとめ

①CMIP5\_RCP8.5に基づく**全球20km大気モデル温暖化実験**は、計画通り終了。将来海面水温変化の分布は、海洋大陸や南米など**熱帯域**や、日本含む**アジア**の降水量の将来変化に大きな**影響**を与える。

②**全球60km準結合モデル実験**は、温暖化実験も含めて終了の予定。

- 台風強度は平均的に見て弱化することを確認。
- 移動速度が遅い台風の場合、海水温の強い低下が見られる。

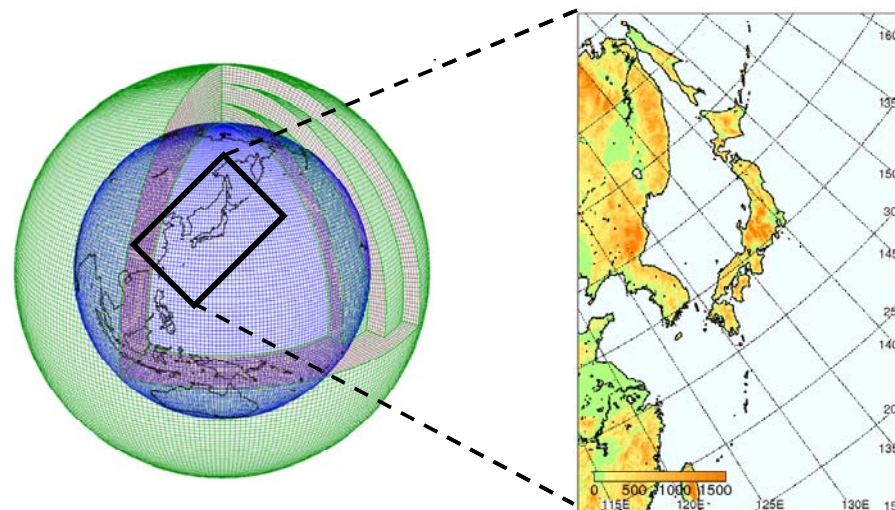
③**来年度**以降は、全球20km準結合モデル実験を実施。

(ii)-b 高解像度力学的ダウンスケーリングによる低頻度ではあるが影響の大きい気候変動事象に関する情報の創出 (気象研)

## 成果のまとめ／前半の総括

### 現在気候実験

積分期間： 20年  
1980年9月～2000年8月  
(1年毎： 9月～翌年8月)



20-km mesh  
(AGCM20)

5-km mesh  
(NHRCM05)

### 将来気候実験

積分期間： 20年  
2076年9月～2096年8月  
(1年毎： 9月～翌年8月)

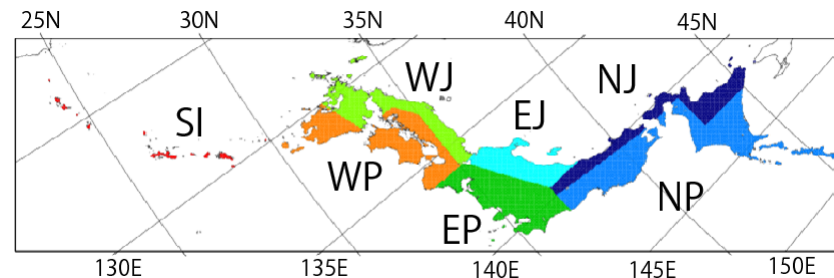
シナリオ： RCP8.5

SST： 変化 + トレンド + 偏差

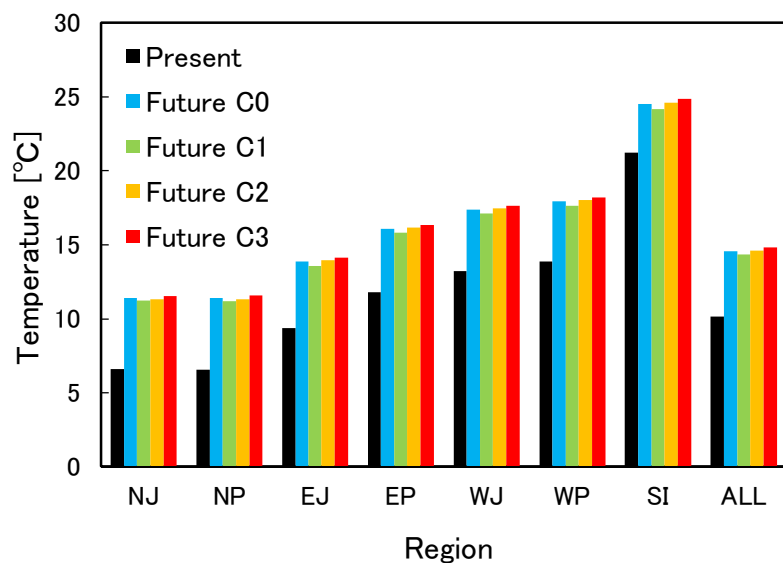
境界値についてのアンサンブル・シミュレーション(4メンバー)

地域気候モデル計算の結果

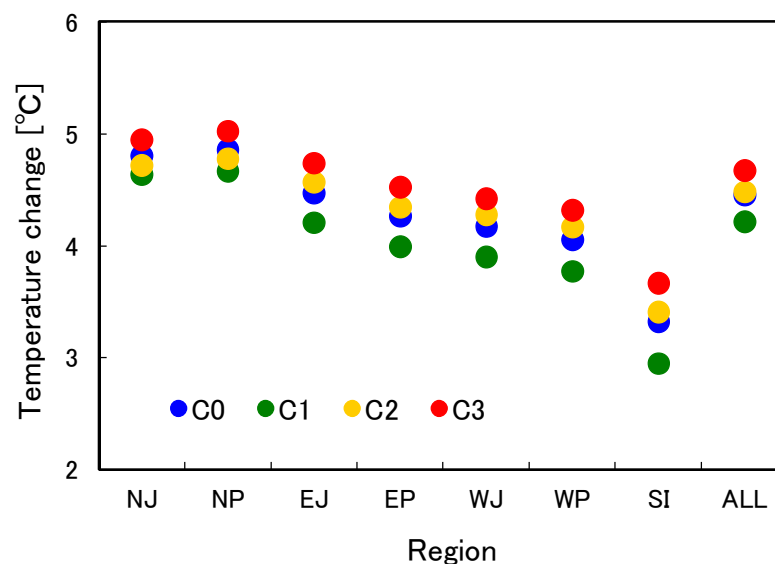
# 地上気温



年平均(現在気候、将来気候)



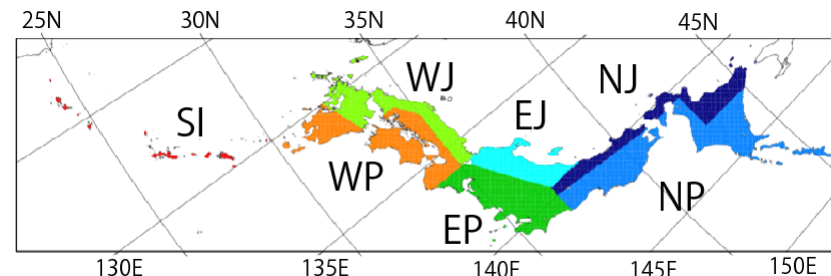
変化: 将来気候ー現在気候



- 北の地域(NP, NJ)での変化量が大きい
  - 以前の研究(Sasaki et al. 2012)と整合的
  - 将来、オホーツク海の海氷が減少することの影響

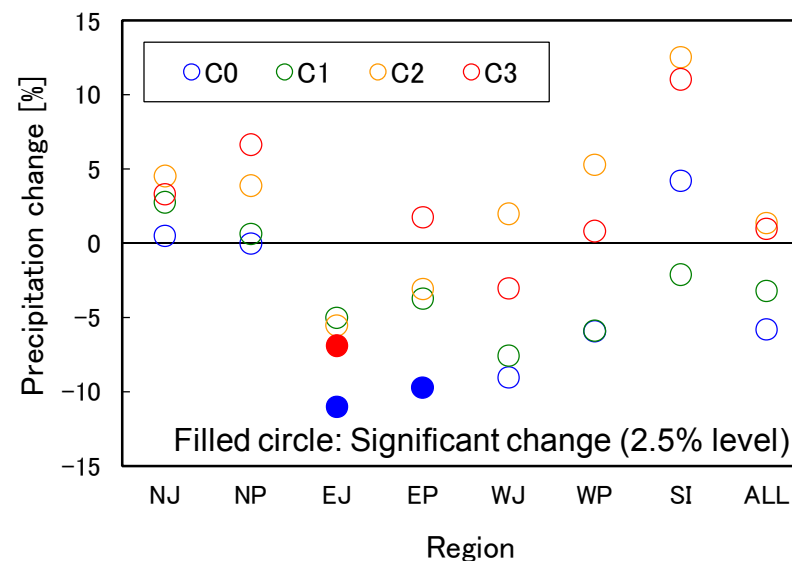
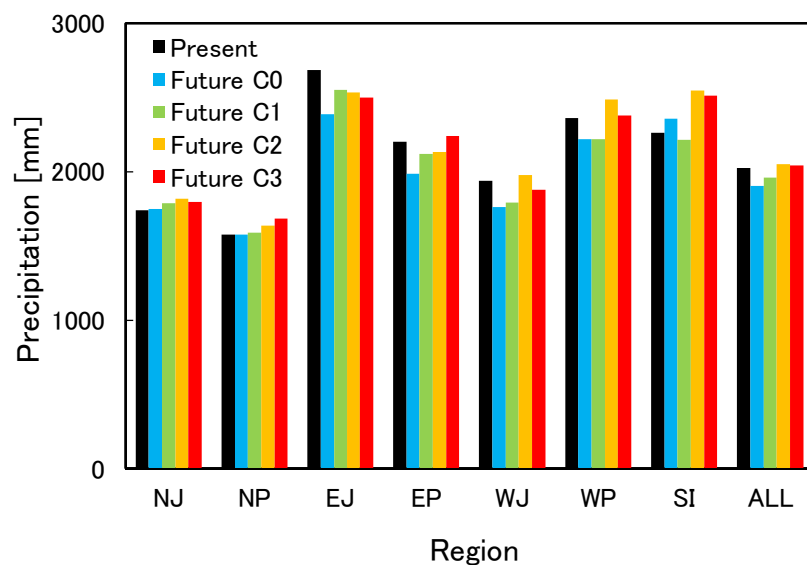
地域気候モデル計算の結果

# 降水量



年降水量(現在気候、将来気候)

変化:  $100 \times (\text{将来} / \text{現在} - 1)$



- 将来変化に対する地域依存性が大きい、系統的な傾向なし
- 全国平均の年降水量には有意な将来変化が見られない
- 有意な変化を示す地域、メンバーあり
  - EJ: 減少(2メンバー)
  - EP: 減少(1メンバー)

地域気候モデル計算の結果

# 地域気候モデルの結果まとめ

- 全国平均した年、月降水量については、統計的に有意な将来変化は見られない
- 時期、地域を限定すると変化の可能性あり
  - 12月： 東日本の日本海側における降水減少
    - 日本の東における低気圧の弱化
    - 日本海での気圧傾度の減少
    - 季節風の弱化
  - 8月： 東日本の日本海側における降水減少
    - 南西諸島付近における高気圧の張り出し(強化)
    - 本州付近での気圧傾度の減少
    - 季節風の弱化



(ii)-b 高解像度力学的ダウンスケーリングによる低頻度ではあるが影響の大きい気候変動事象に関する情報の創出（気象研）

## 創生後期研究の最終目標と取組

### • 大気・海洋相互作用の導入が重要

- 台風強度の予測精度を上げる必要がある
- 西太平洋域の気候変動への降水応答の精度を上げる

→海面水温復元型のAO-GCM20(大気・海洋結合20kmモデル)の開発と計算の実施。

※ 気象研究所も大気海洋結合GCMを持っておりCMIP5実験に参加しているが、世界の他の大気海洋結合モデルと同様に海面水温に無視できないバイアスがあり、その欠点をカバーしつつ水平高解像度にしたモデルがAGCM20である。→この手法は高精度のダウンスケールの結果を得る立場からは世界的に歓迎される傾向にある(LUND2014)。

### • 影響評価研究から、高い時空間解像度の要求がある

- 雲の形成から降水の生成までのプロセスを計算することで降水の再現精度を向上
- 都市ビル等の効果を扱う都市キャノピーモデルを導入して地表面状態による再現精度を向上

→5km格子地域気候モデル(NHRCM)の2km格子化と計算の実施。

(ii)-b 高解像度力学的ダウンスケーリングによる低頻度ではあるが影響の大きい気候変動事象に関する情報の創出（気象研）

# 創生後期研究の最終目標と取組

