

地球システム統合モデルによる 長期気候変化予測実験 (革新チーム1:地球環境予測)

時岡達志
海洋研究開発機構

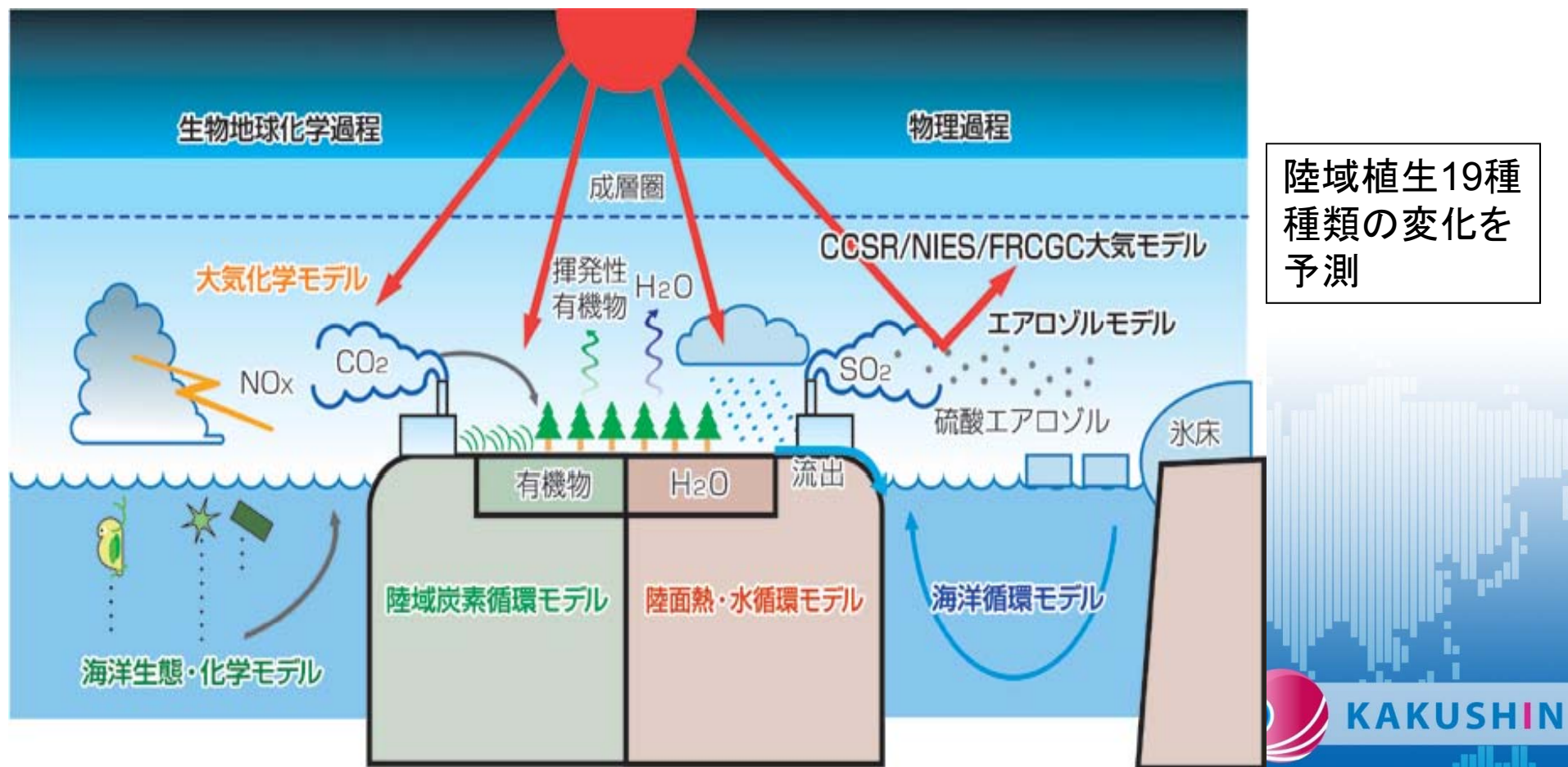
最長で300年先までの地球温暖化予測実験を行い、CO₂濃度安定化シナリオの下での**長期的な地球環境の変化**や、**シナリオ実現のために要求される人為的CO₂排出量**を予測する。

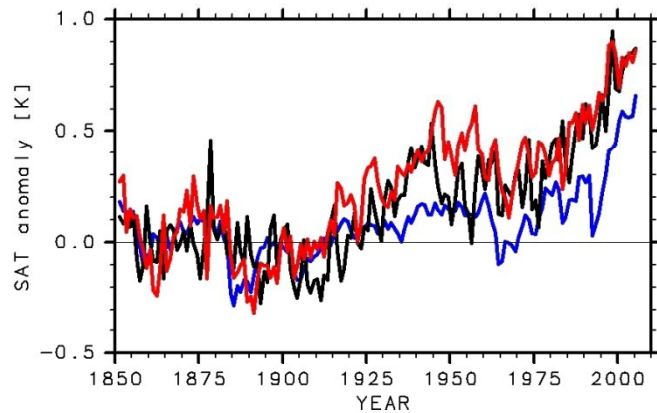
1. 地球システム統合モデルによる長期気候変化実験
 - a. 20世紀気候変動再現実験
 - b. CMIP5に向けたシナリオ実験実施・解析
 - c. 動的全球植生モデル(SEIB-DGVM)の結合系での特性解析
2. モデルアンサンブルによる地球システム統合モデルの不確実性定量化
＜炭素循環モデル相互比較＞
3. モデル相互比較による不確実性評価
＜インターフェイスの改良、マルチモデルカップリング＞

新地球システム統合モデル(ESM)の開発とシナリオ実験の実施

O_3 、 O 、 O^1D 、 N 、 N 、 O 、 NO_2 、 NO_3 、 N_2O_5 、 HNO_3 、 HNO_4 、 H_2O_2 、 CO 、
 C_2H_6 、 C_3H_8 、 C_2H_4 、 C_3H_6 、 $ONMV$ 、 C_5H_8 、 $C_{10}H_{16}$ 、 CH_3COCH_3 、 CH_2O 、
 CH_3CHO 、 CH_3OH 、 $NALD$ 、 $MGLY$ 、 $HACET$ 、 $MACR$ 、 PAN 、 $MPAN$ 、 $ISON$ 、 CH_3OOH 、 C_2H_5OOH 、 C_3H_7OOH 、 $ISOOH$ 、 $HOROOH$ 、
 CH_3COOOH 、 $MACROOH$ 、 O_3S 、 O^1DS 、 $SPRSO_2$ 、 $SPRSO_4$ 、 OCS 、 CH_4 、 N_2O 、 Cl 、 ClO 、 $OCIO$ 、 $ClOOCl$ 、 $ClONO_2$ 、 $HOCl$ 、 HCl 、
 Cl_2 、 CH_3Cl 、 CCl_4 、 CH_3CCl_3 、 $CFC11$ 、 $CFC12$ 、 $CFC113$ 、 $HCFC22$ 、 Br 、 BrO 、 $BrONO_2$ 、 $HOBr$ 、 HBr 、 CH_3Br 、 Br_2 、 $BrCl$ 、 $H1211$ 、
 $H1301$ 、 $CHBr_3$ 、 H 、 OH 、 HO_2 、 CH_3O_2 、 $C_2H_5O_2$ 、 $C_3H_7O_2$ 、 CH_3COO_2 、 $CH_3COCH_2O_2$ 、 $HOC_2H_4O_2$ 、 $HOC_3H_6O_2$ 、 ISO_2 、 $MACRO_2$
 (84種類)

化学トレーサー＝58種類； 光解離反応＝58本； 化学反応＝184本





20世紀気候変動再現実験

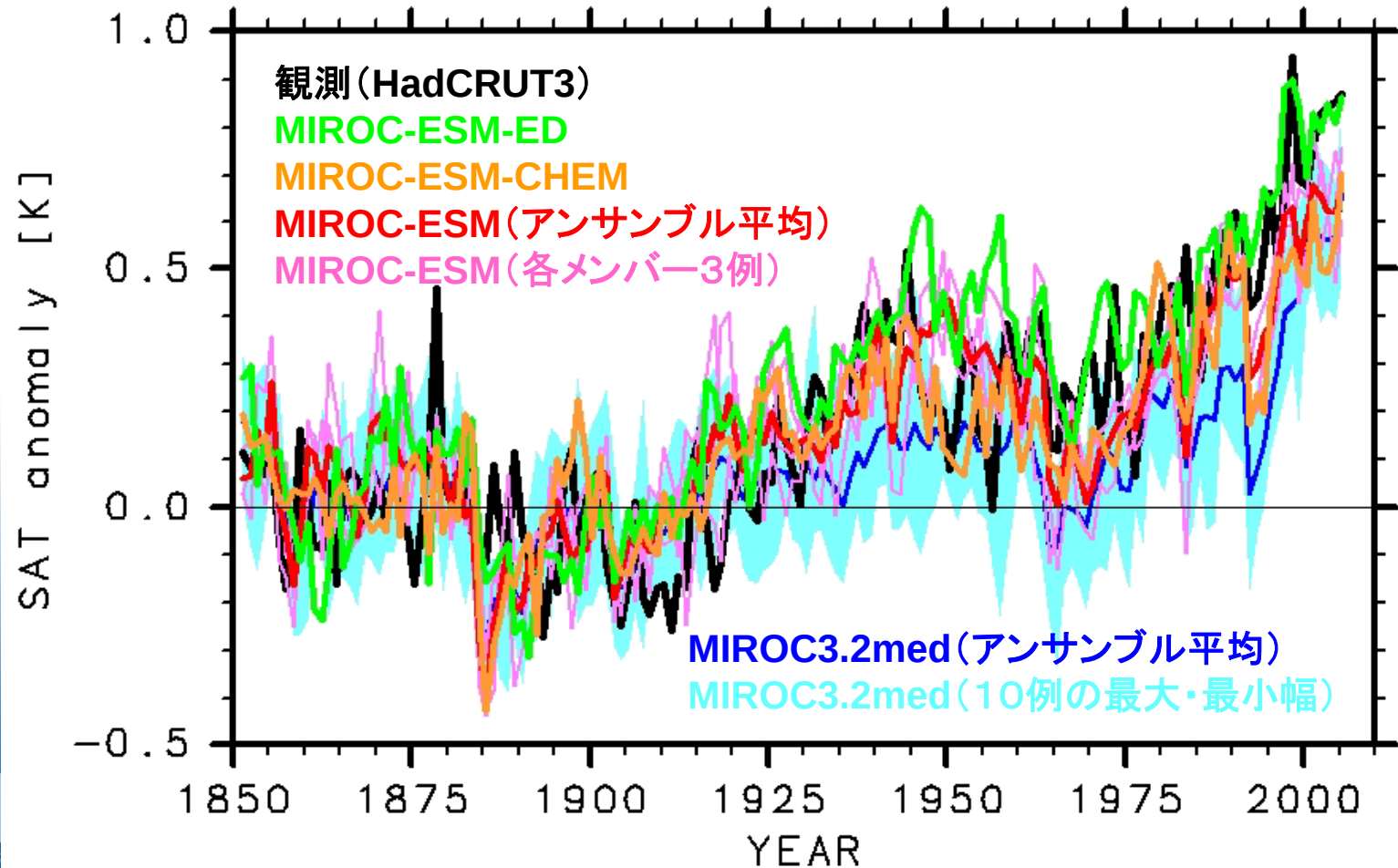
全球年平均地上気温の 経年変化

(1851-1900年の平均値からの偏差)

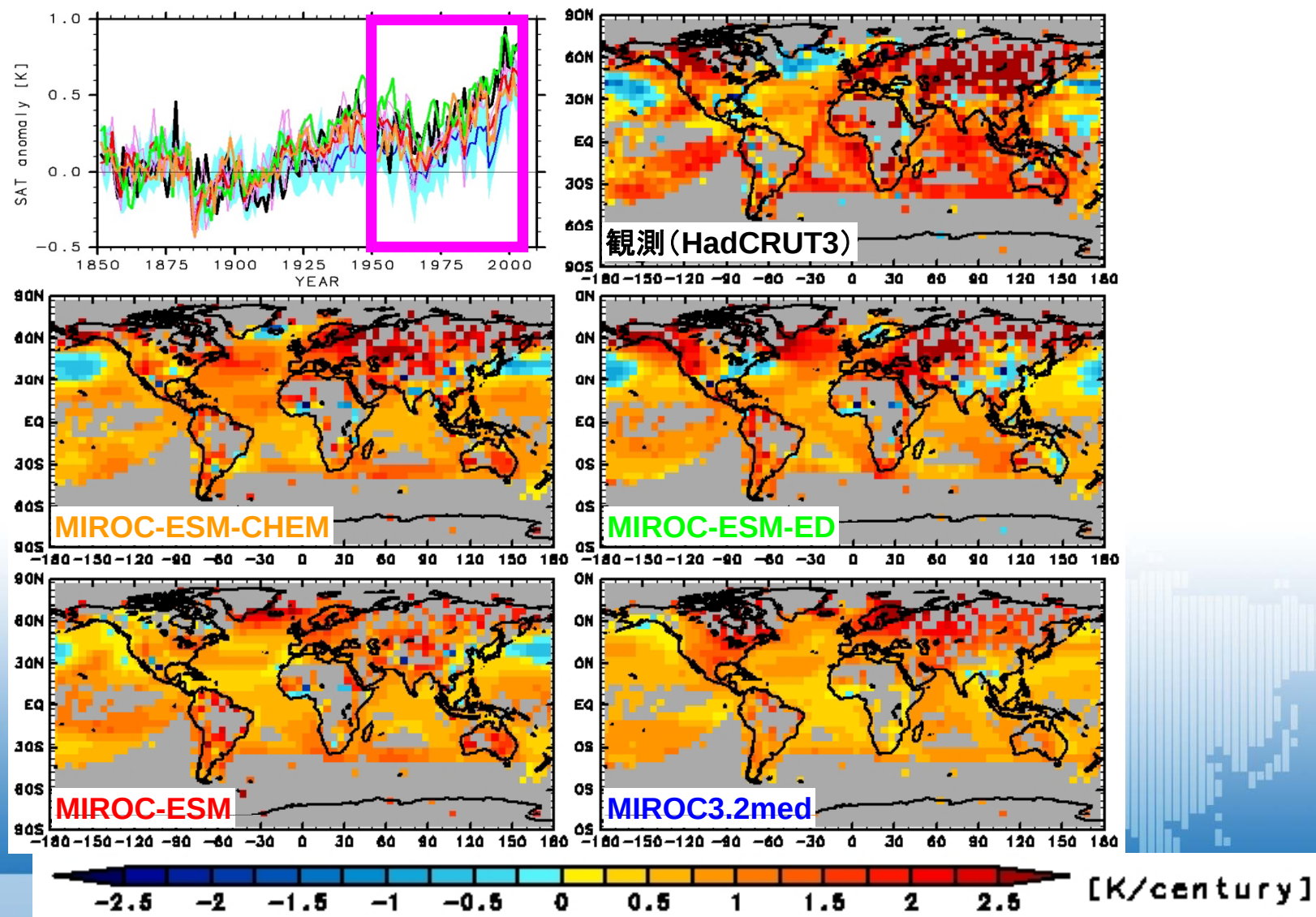
観測

MIROC-ESM-ED

MIROC3.2med

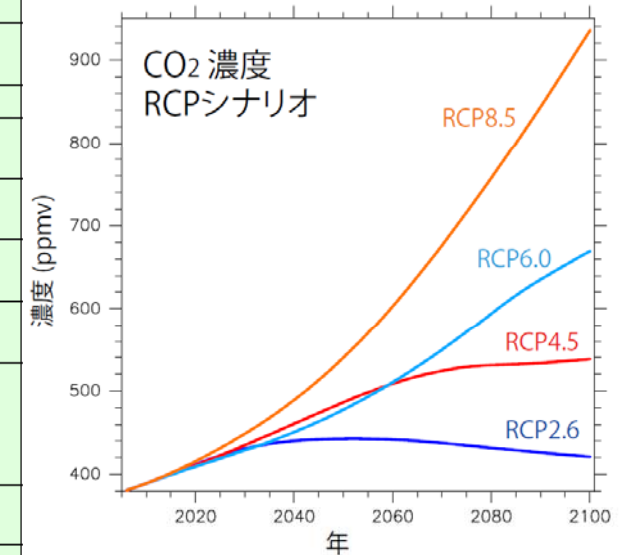


年平均地上気温の線形トレンド分布 (1951－2005年)



シナリオ実験 リスト

	#	Experiment	Core	Tier 1	Tier 2
ALL MODELS	☒ 3.1 ☒	Coupled model, pre-industrial control	≥500		
	☒ 3.2 & 3.2-E ☒	historical (1850-2005) ensemble	156	(≥2)x156	
	3.3 & 3.3-E	AMIP ensemble (1979-2008)	30	(≥2)x30	
	☒ 3.4	Mid-Holocene (6 kyr ago)		≥100	
	3.5	Last Glacial Maximum (21 kyr ago)		≥100	
	3.6	Last Millennium (850-1850)			1000
	☒ 4.1, 4.2, 4.3 & 4.4 ☒	Projected responses to concentrations based on RCP's 4.5 & 8.5 (core) and RCP's 2.X & 6 (tier 1)	2x95	2x95	
	☒ 4.1-L	Extension of RCP4.5 through year 2300		200	
	4.2-L & 4.3-L	Extension of RCP8.5 and RCP2.X through year 2300			400
	☒ 6.1	Idealized 1%/yr simulations	140		
	6.2 a&b	Prescribed SST expts. to diagnose "fast" responses to 4xCO ₂	2x(≥30)		
	6.3	Diagnosis of climate system "slow" responses to abrupt quadrupling of CO ₂	150		
	6.3-E	Ensemble of 5-year simulations to diagnose "fast" responses to abrupt 4xCO ₂ increase.		11x5	
	6.4	Prescribed SST expts. to diagnose "fast" responses to sulfate aerosols (ca. 2000)		≥30	
	6.5, 6.6 & 6.8	Prescribed change in CO ₂ concentration (tier1), and "patterned" (tier1) and uniform (tier 2) changes in SST for diagnosing cloud responses.		2x30	30
	6.7a&b&c	Aqua-planet cloud responses (control, 4xCO ₂ and +4K experiments)		3x5	
	☒ 7.1 & 7.2	historical runs with only natural forcing and only GHG forcing		2x156	
	7.3	historical runs forced by individual agents			(≥1)x156
	(7.1-7.3)-E	Additional ensemble members of 7.1-7.3			(≥1)x(≥2)x156
	SUBTOTALS:		≥1226	≥1592	≥1898
ESM'S	☒ 5.1	Pre-industrial control with CO ₂ concentration determined by model	≥251		
	☒ 5.2 & 5.3	Emission-driven historical and RCP8.5 simulations.	251		
	☒ 5.4 & 5.5	Diagnosis of carbon climate feedback components in prescribed CO ₂ experiments (following "idealized" or more "realistic" pathways) in which CO ₂ surface fluxes are saved and allowable emissions computed.		140 or 251*	140 or 251*
	TOTALS:		≥1718	≥1727	≥2038



実験の終了したもの

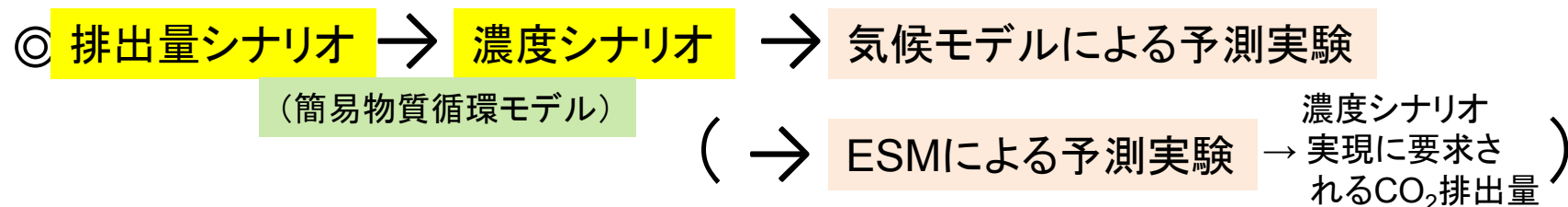
☒ MIROC-ESM

☒ MIROC-ESM-CHEM

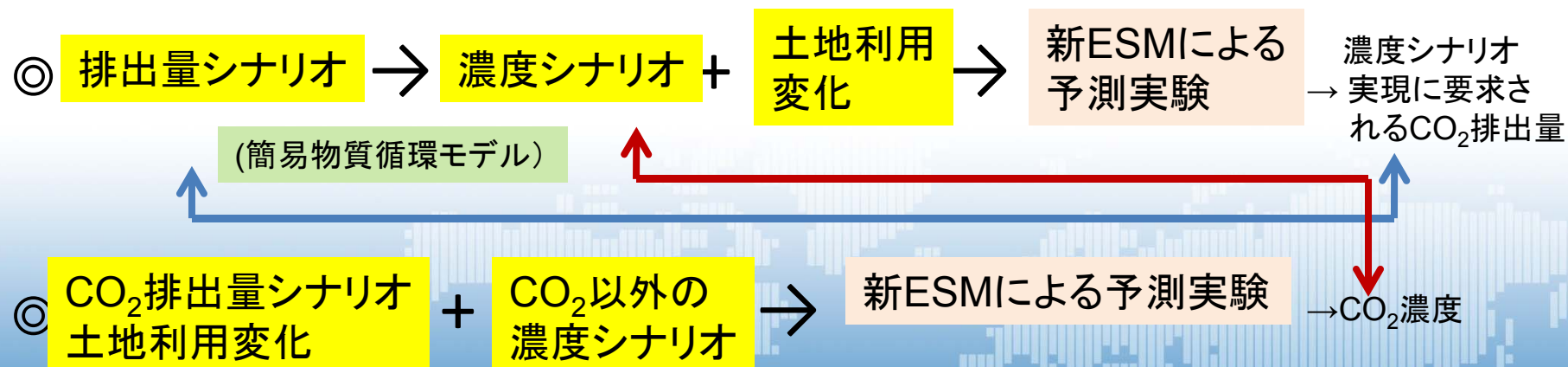


KAKUSHIN

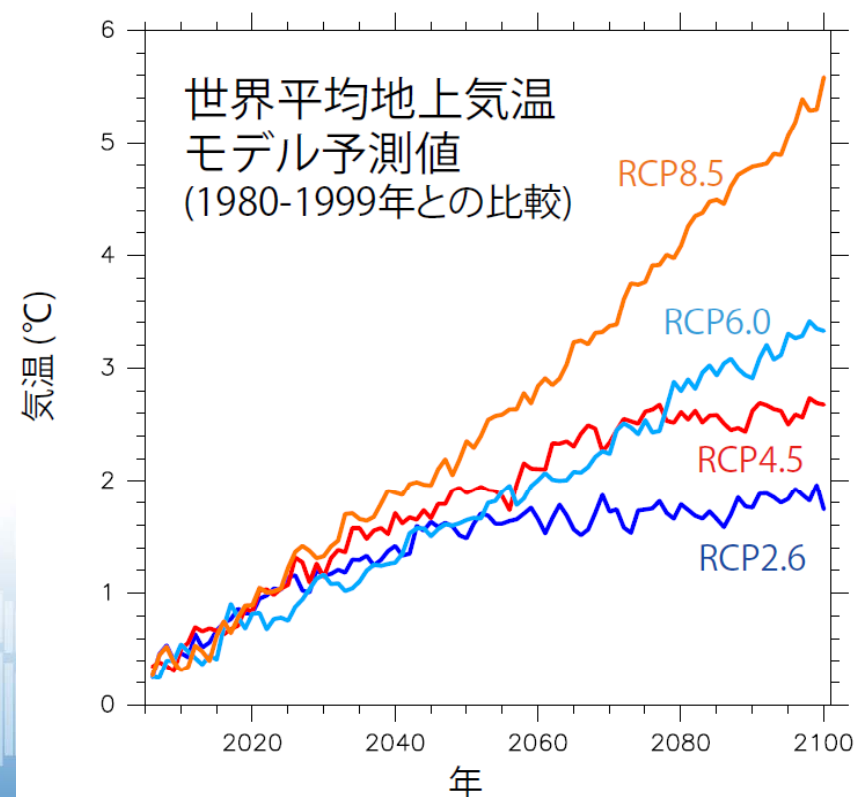
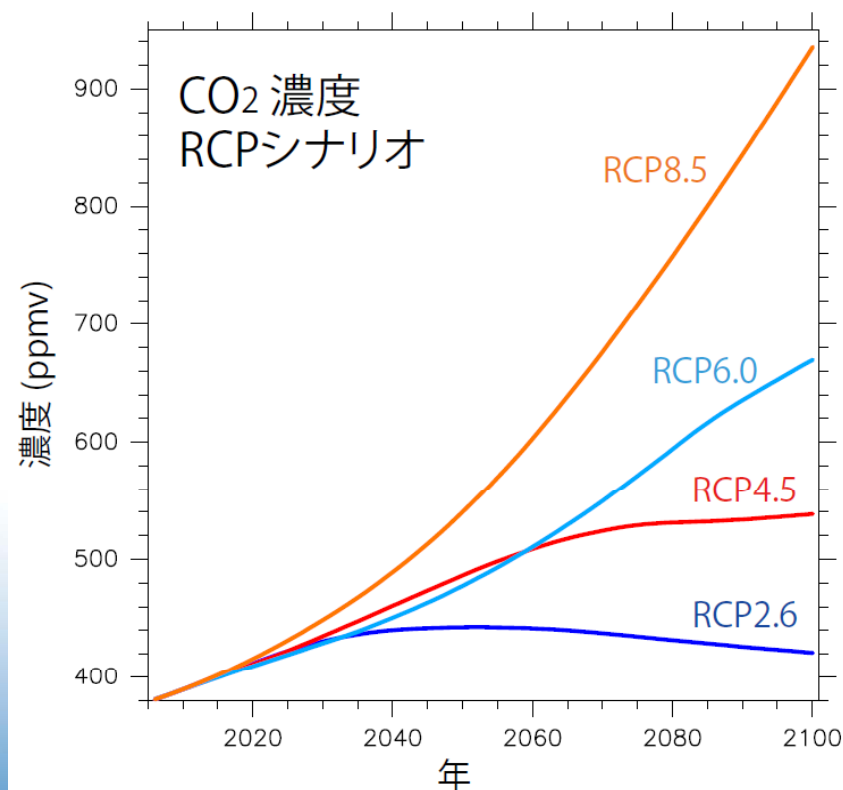
<これまでのシナリオ実験>



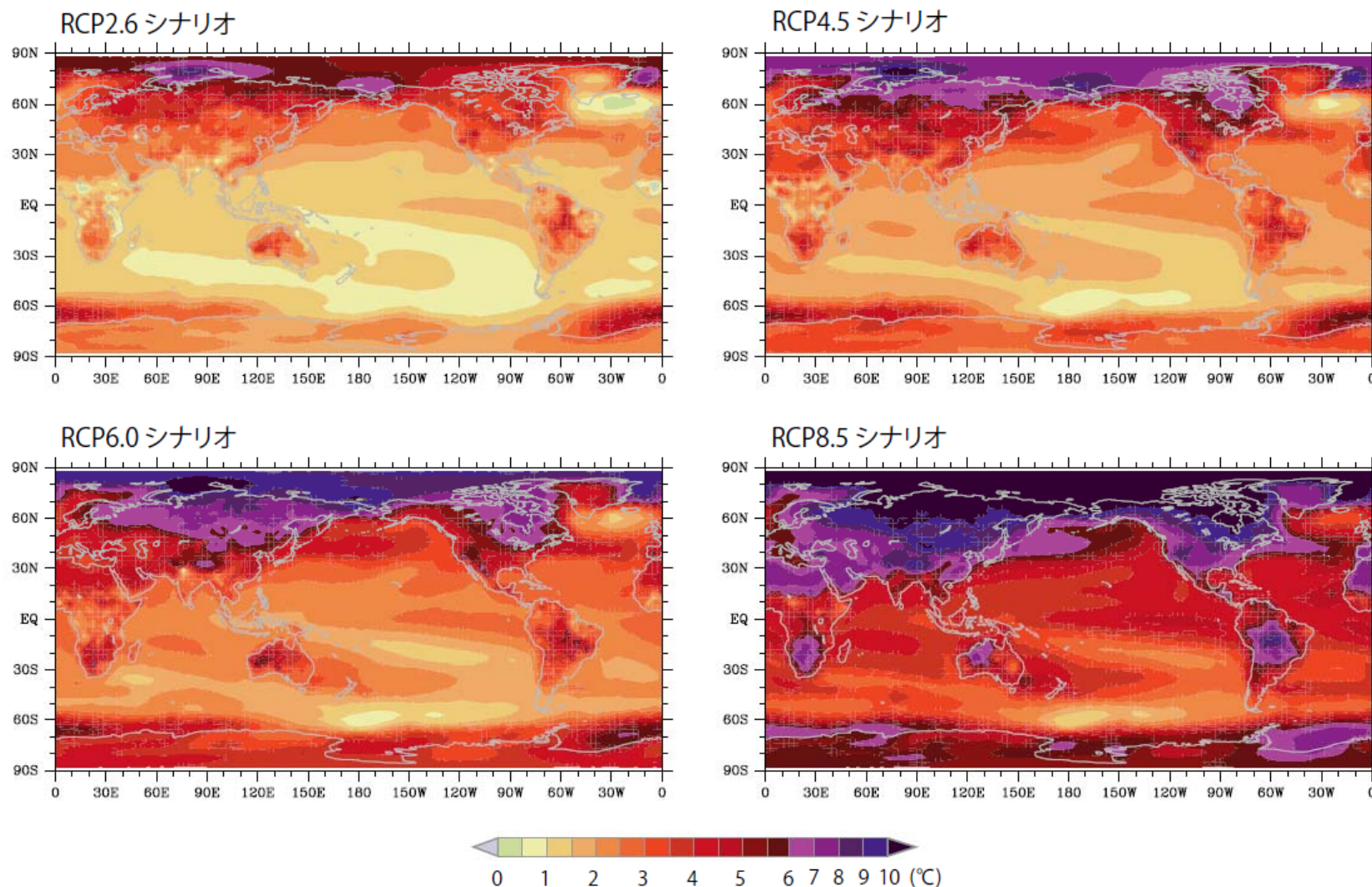
<今回のシナリオ実験>



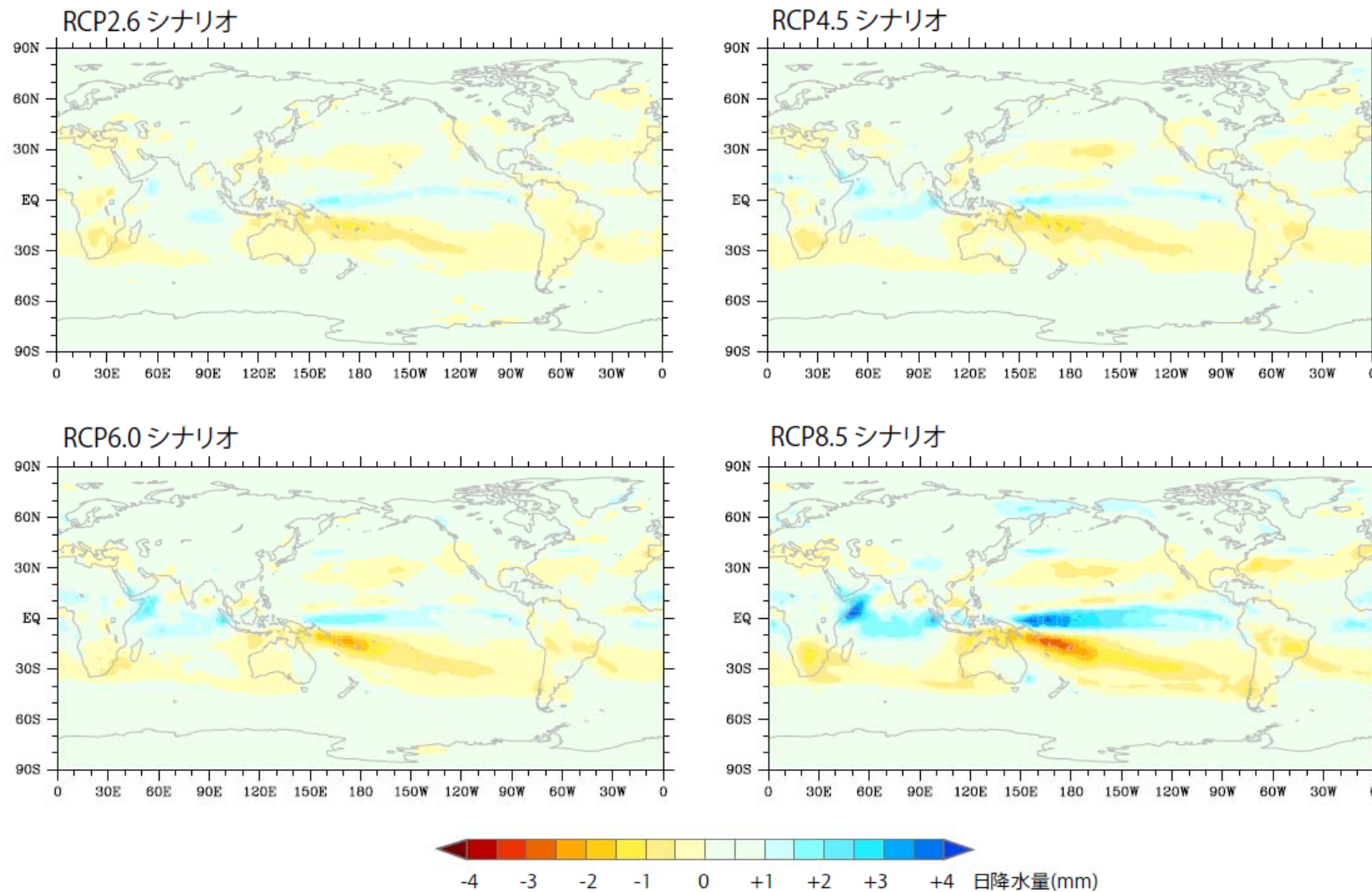
CO₂濃度と地上気温予測



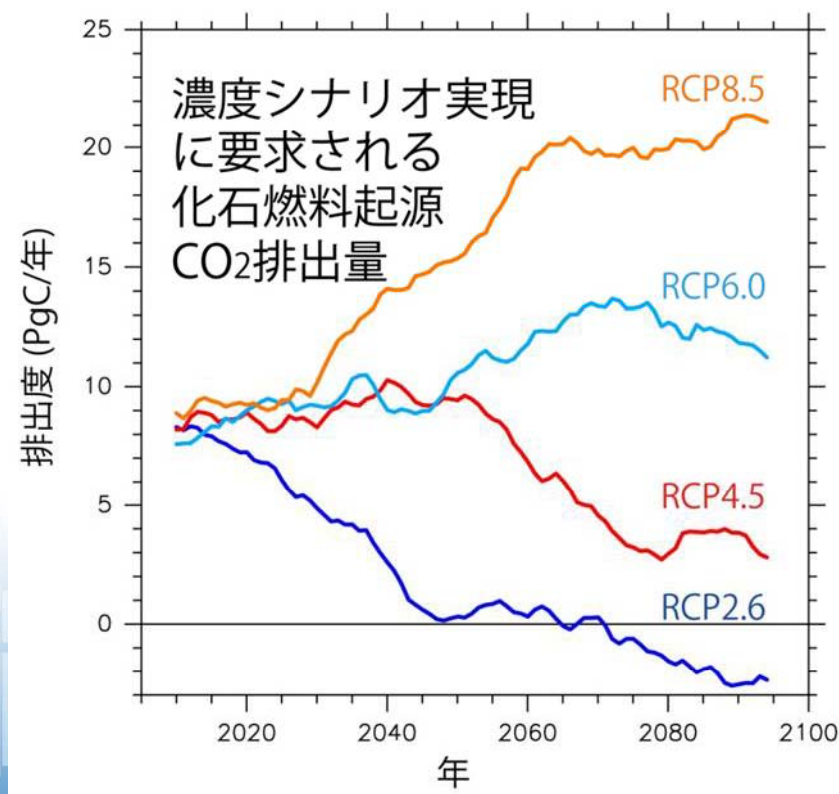
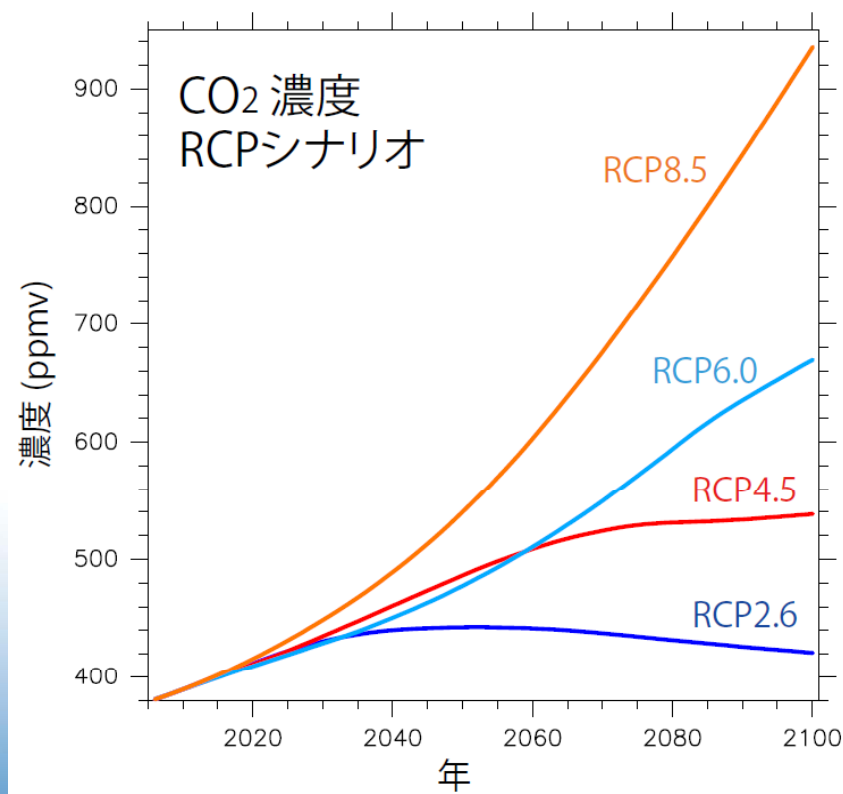
21世紀における地上気温上昇のモデル予測値 (2090年代と1980-1999年の差)



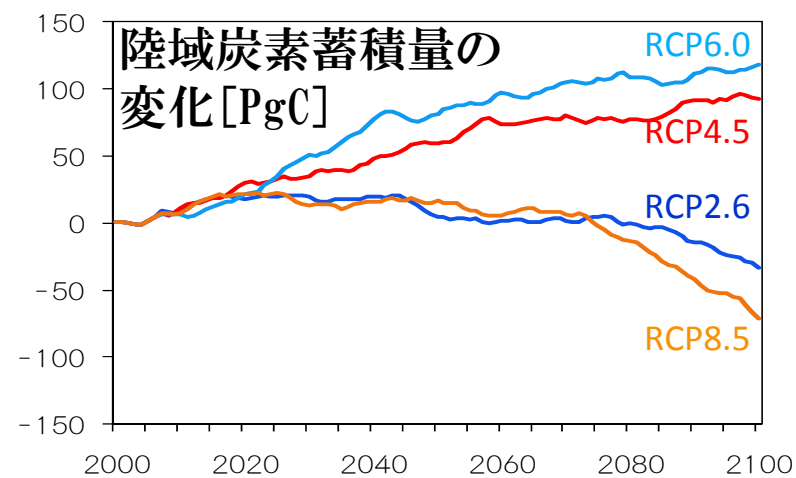
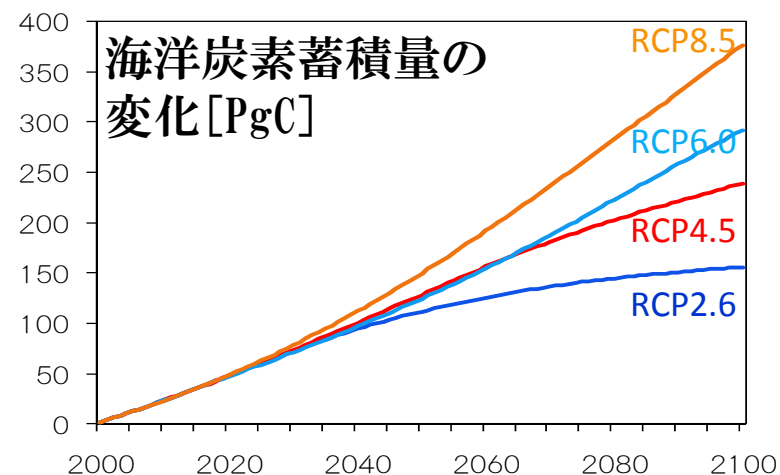
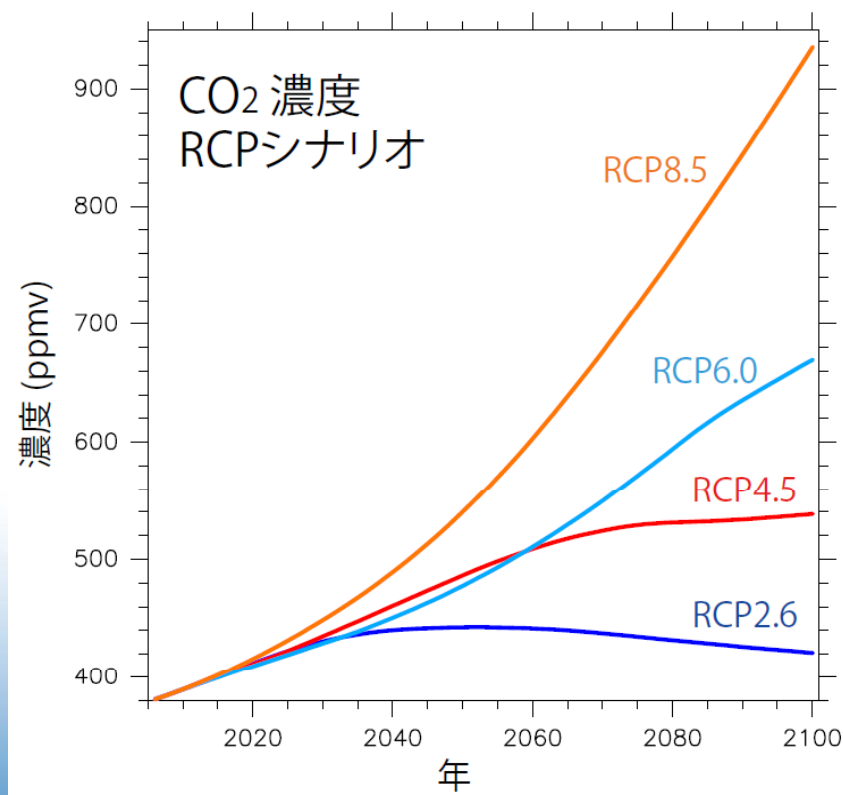
21世紀における降水量変化のモデル予測値 (2090年代と1980-1999年の差)



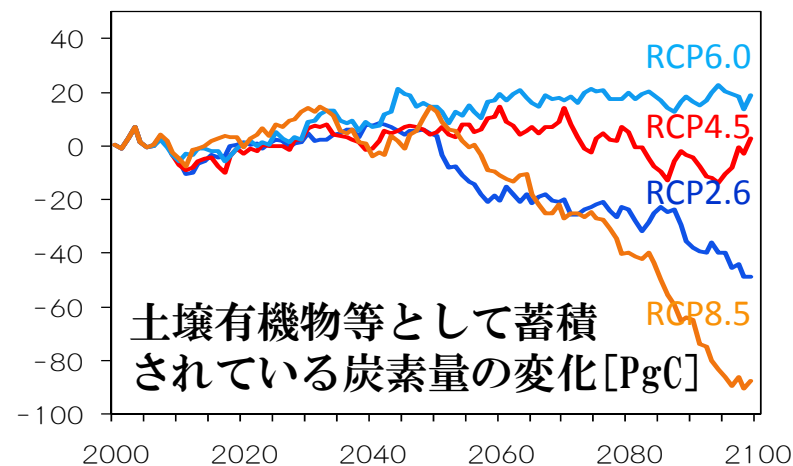
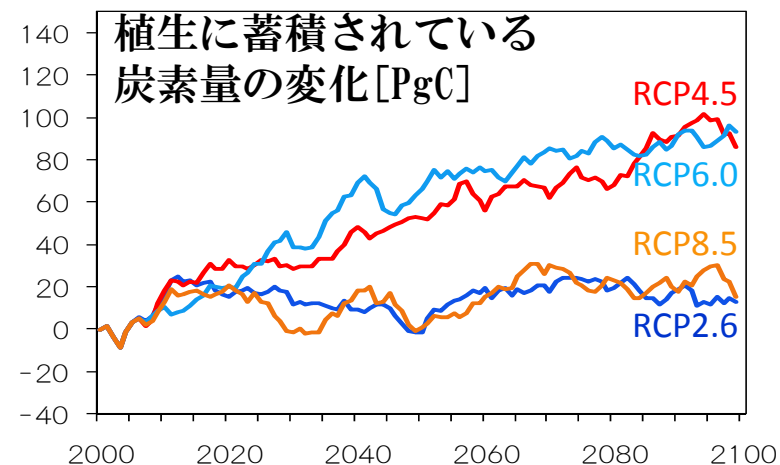
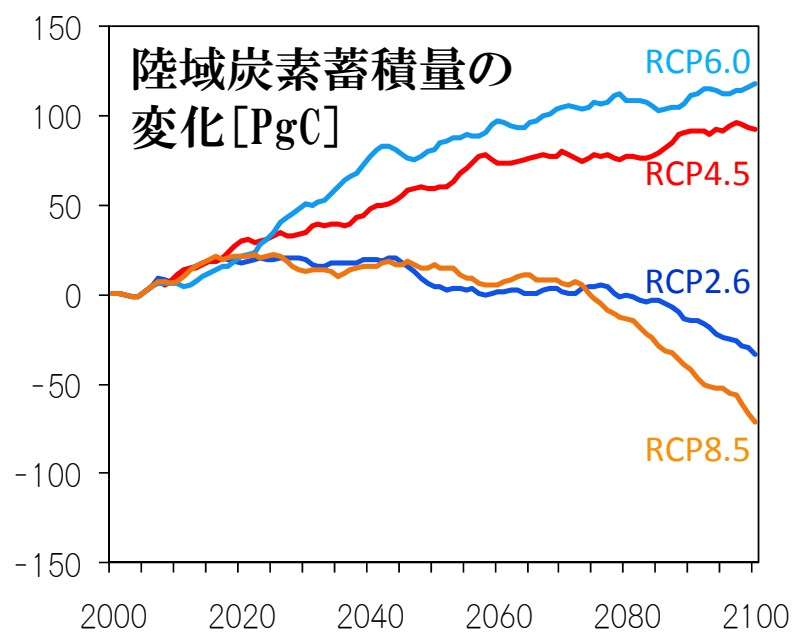
シナリオ実現に要求される 化石燃料起源CO₂排出量



シナリオによる 海・陸炭素蓄積量の変化



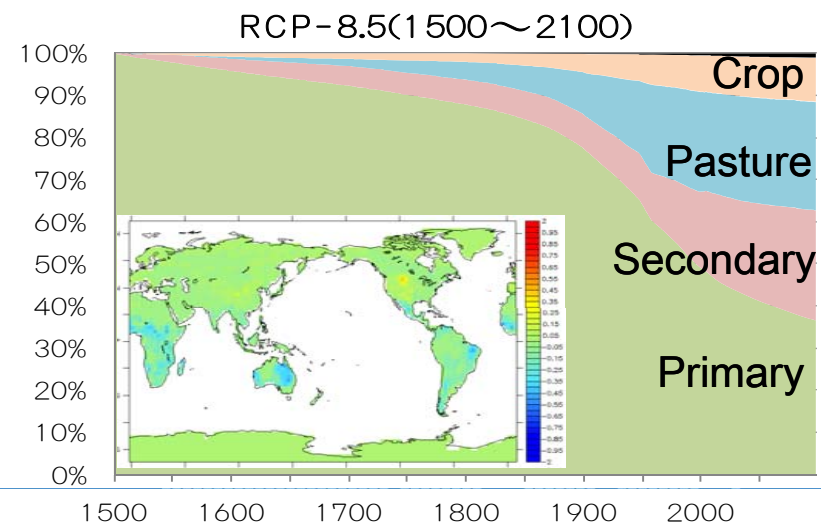
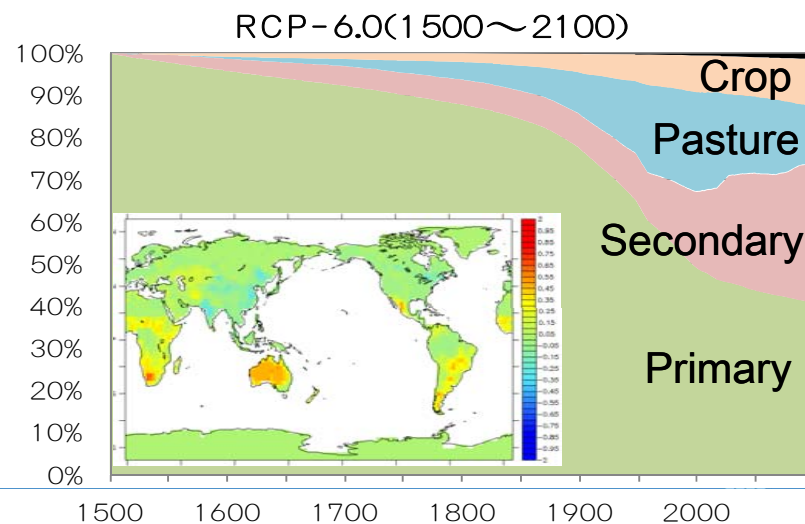
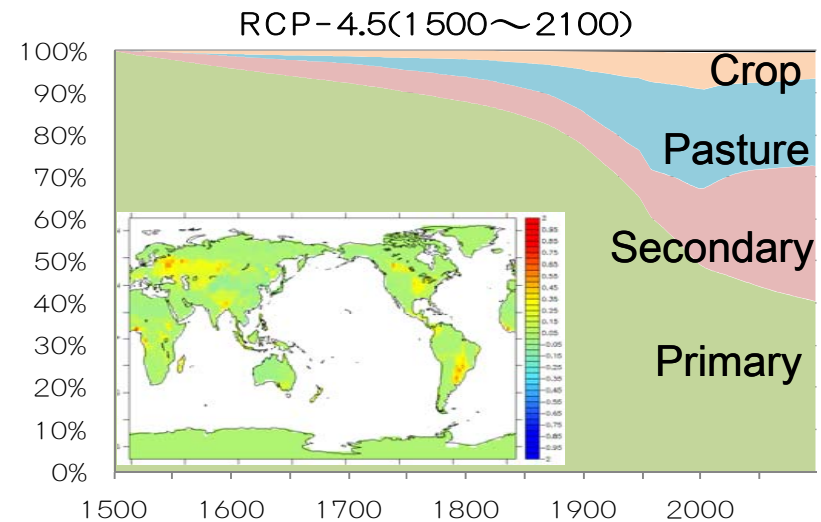
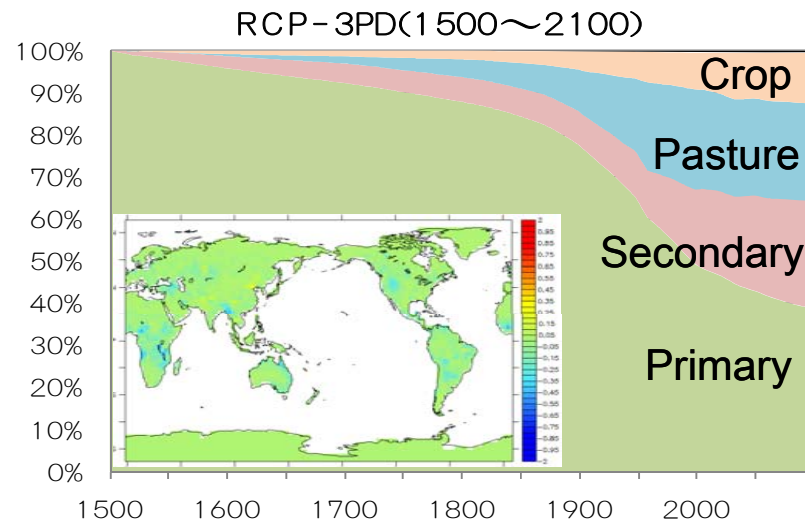
陸の炭素蓄積量の変化



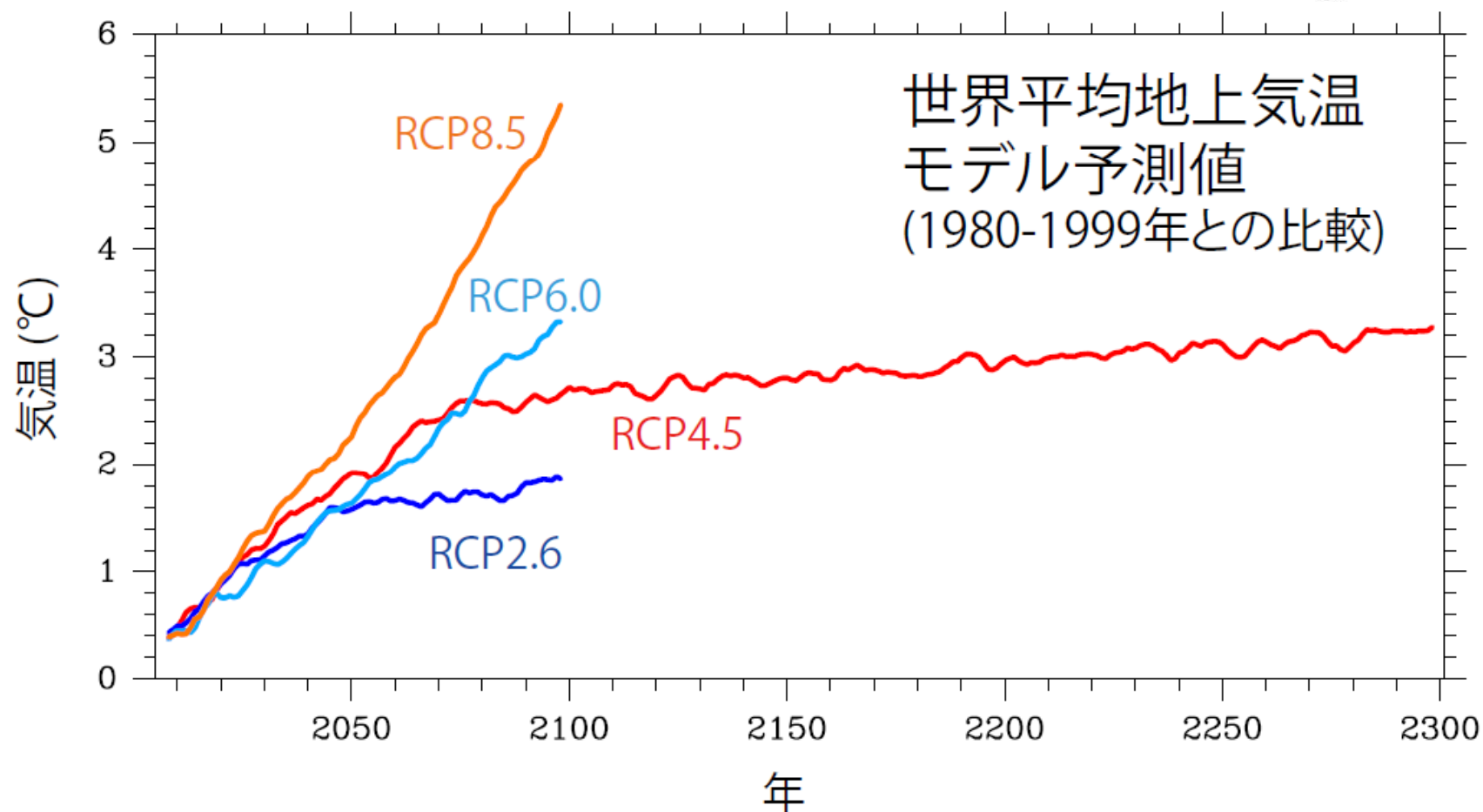
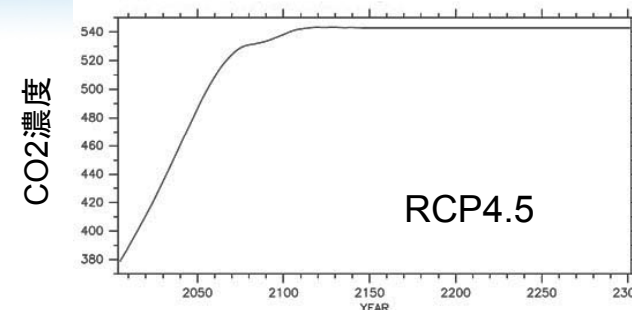
RCPにおける土地利用シナリオ

時系列グラフは1500年からの各土地利用が占める割合の変化

空間分布図は、非農業用地(=1次植生+2次植生)の2000年からの変化量(赤:増加、青:減少)



RCP4.5シナリオによる 2300年までの環境変化予測



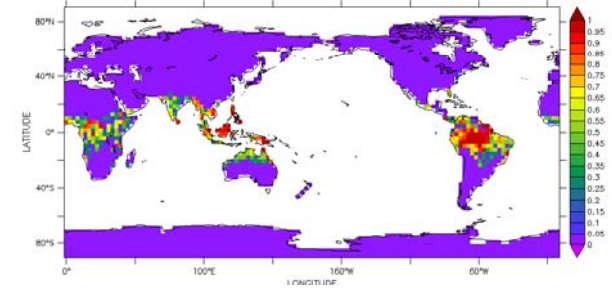
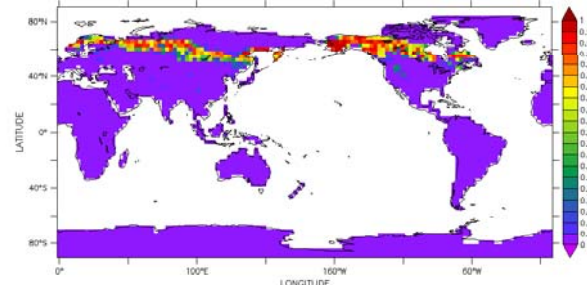
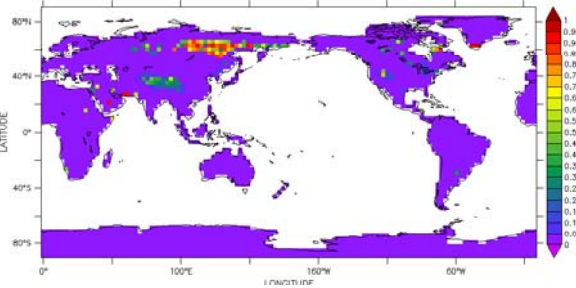
RCP4.5

Boreal-Deciduous Forest

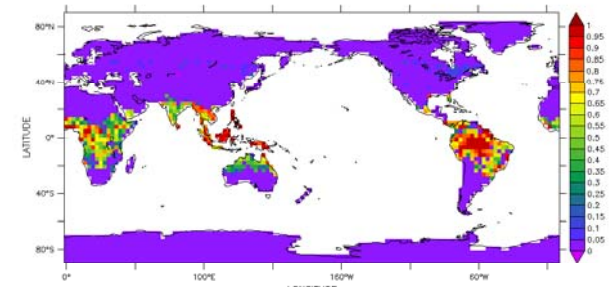
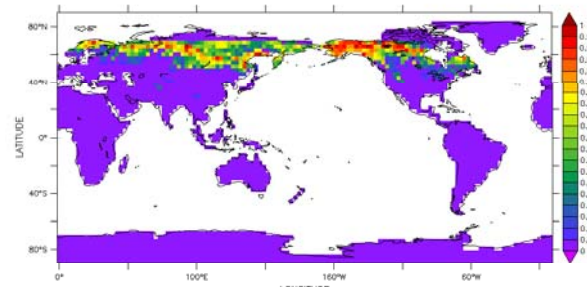
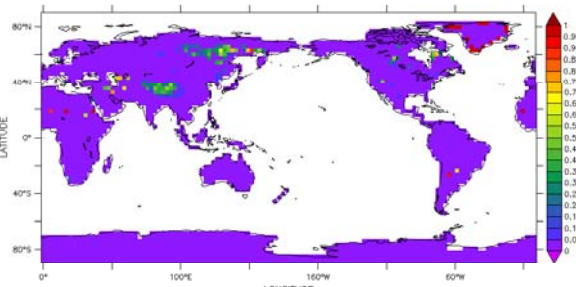
Boreal-Evergreen Forest

Tropical Forest

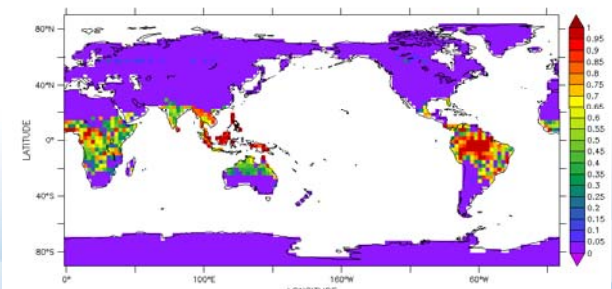
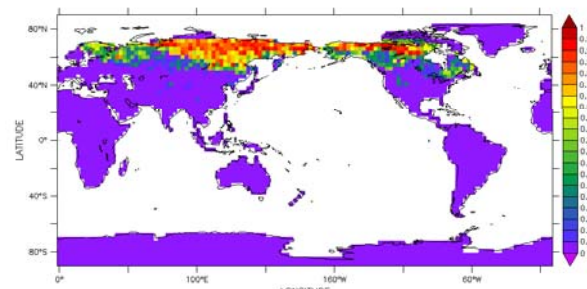
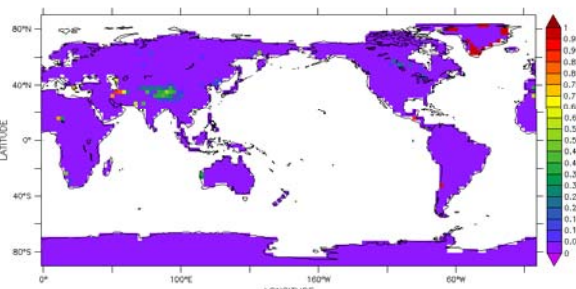
2007



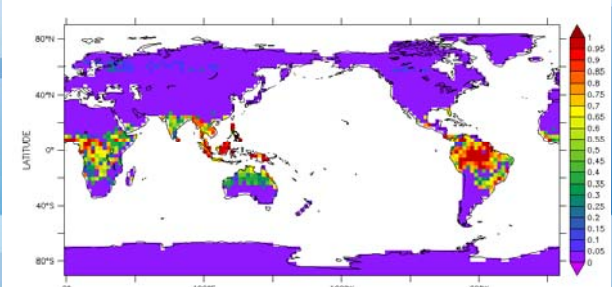
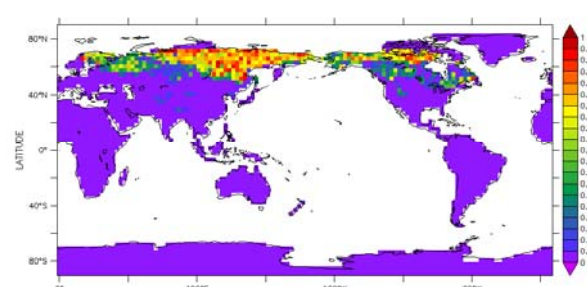
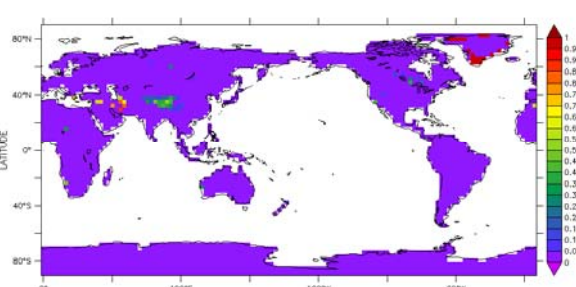
2100



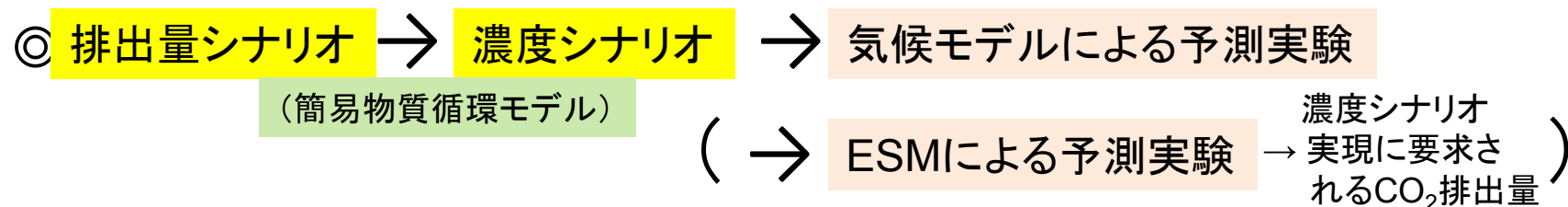
2200



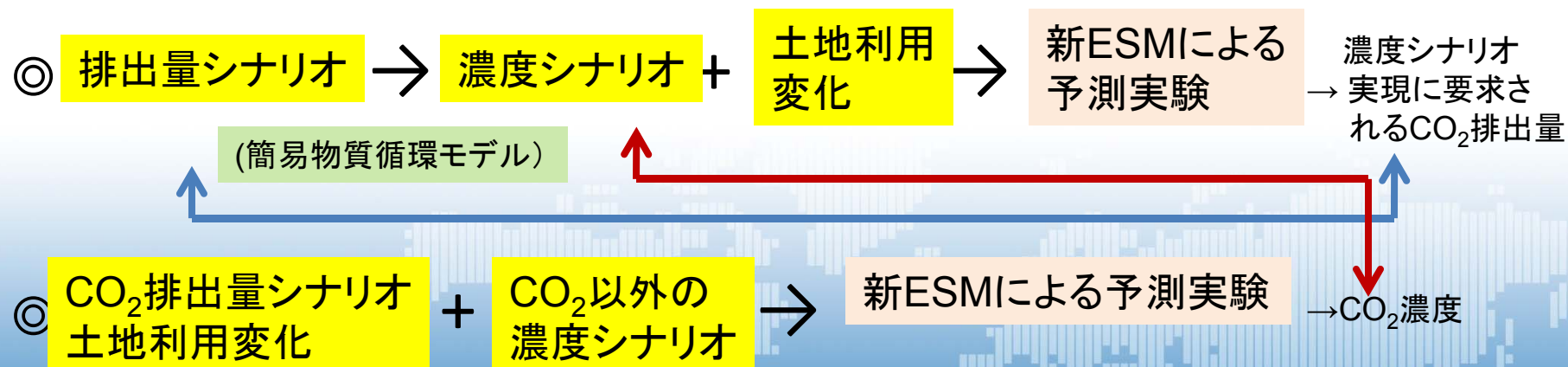
2300



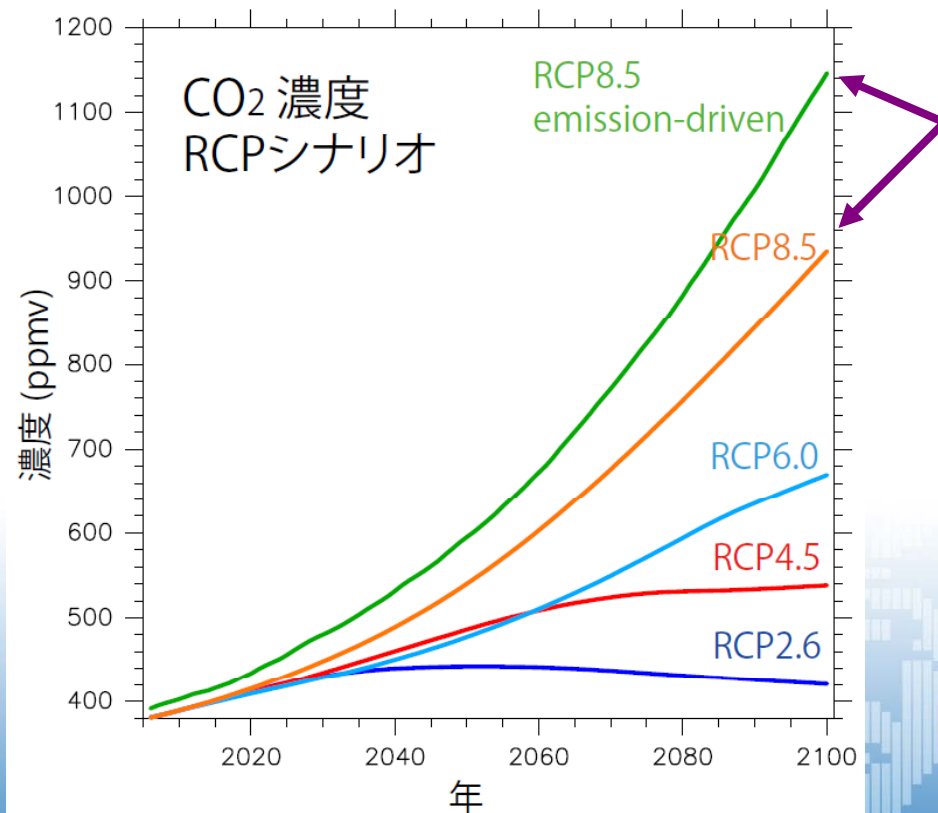
<これまでのシナリオ実験>



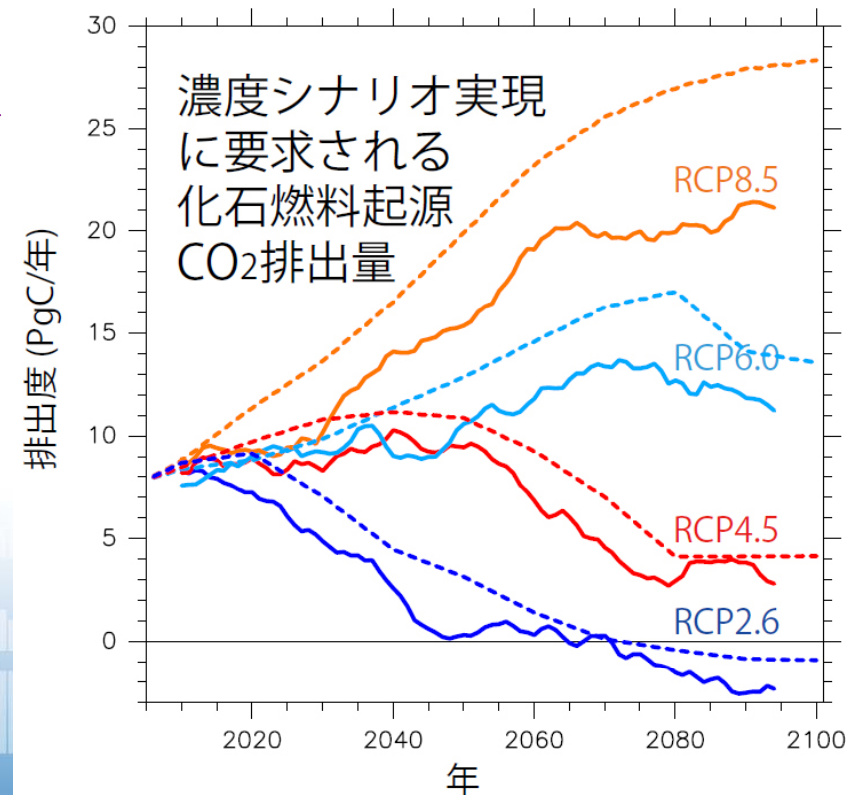
<今回のシナリオ実験>



RCP8.5濃度シナリオのCO₂濃度
と、同排出量シナリオに基づいて
新ESMで計算したCO₂濃度の違い



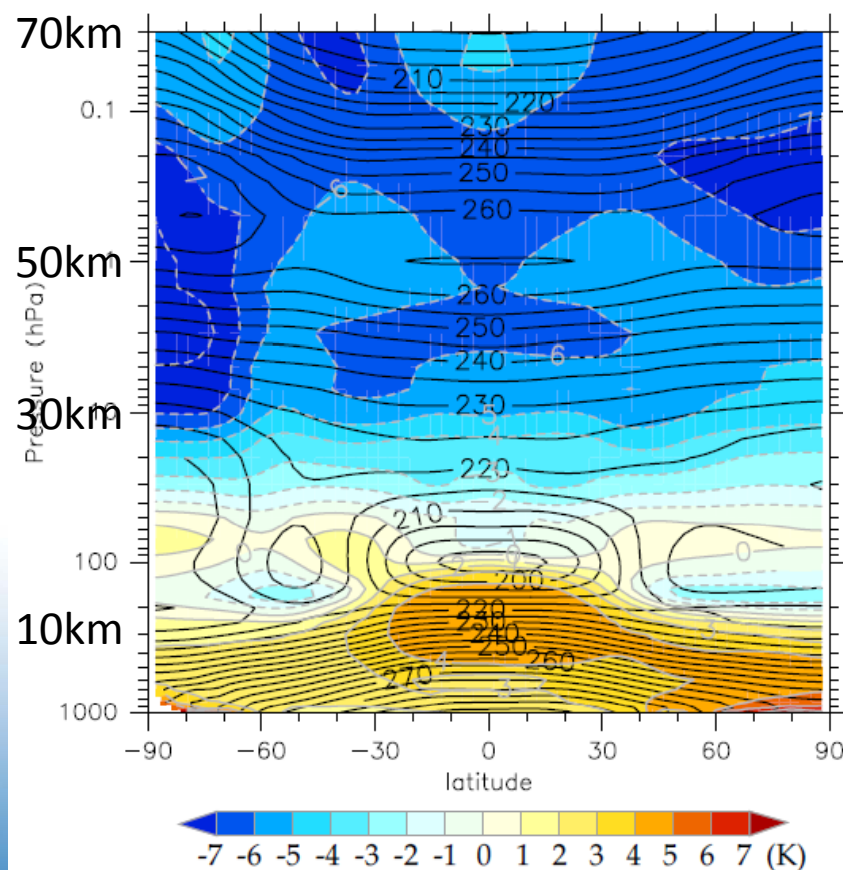
RCP濃度シナリオの実現に要求さ
れる化石燃料起源CO₂排出量(実
線)と、RCP排出量シナリオでの
CO₂排出量(破線)の違い



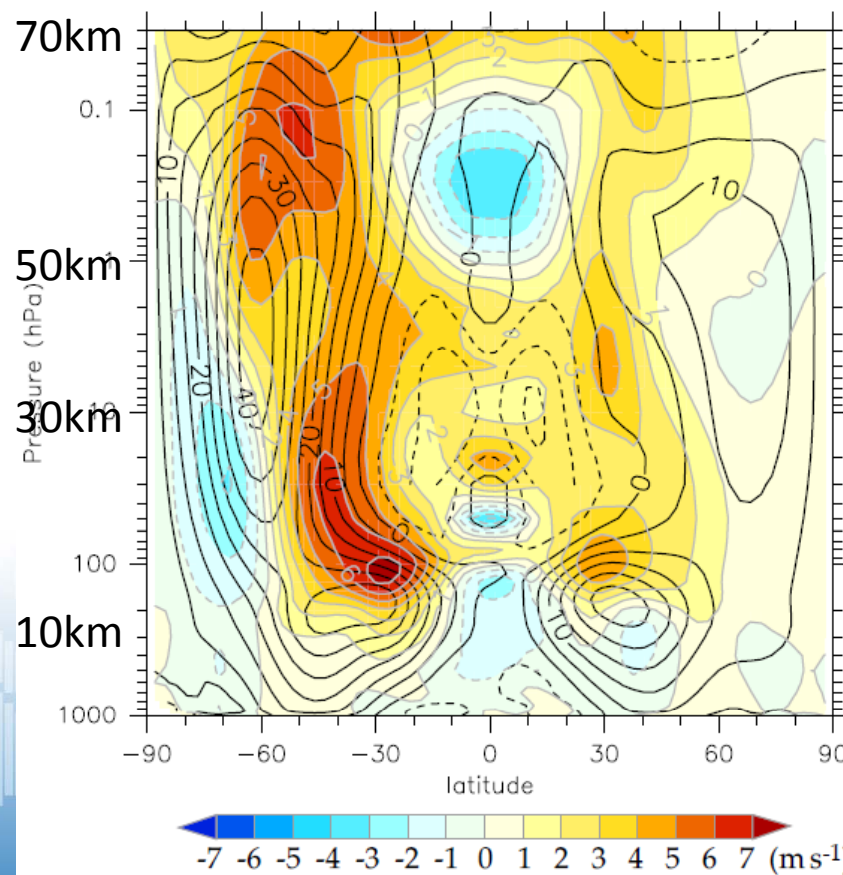
中層大気の温暖化時の変化

RCP6.0 (2090s – 2000s)

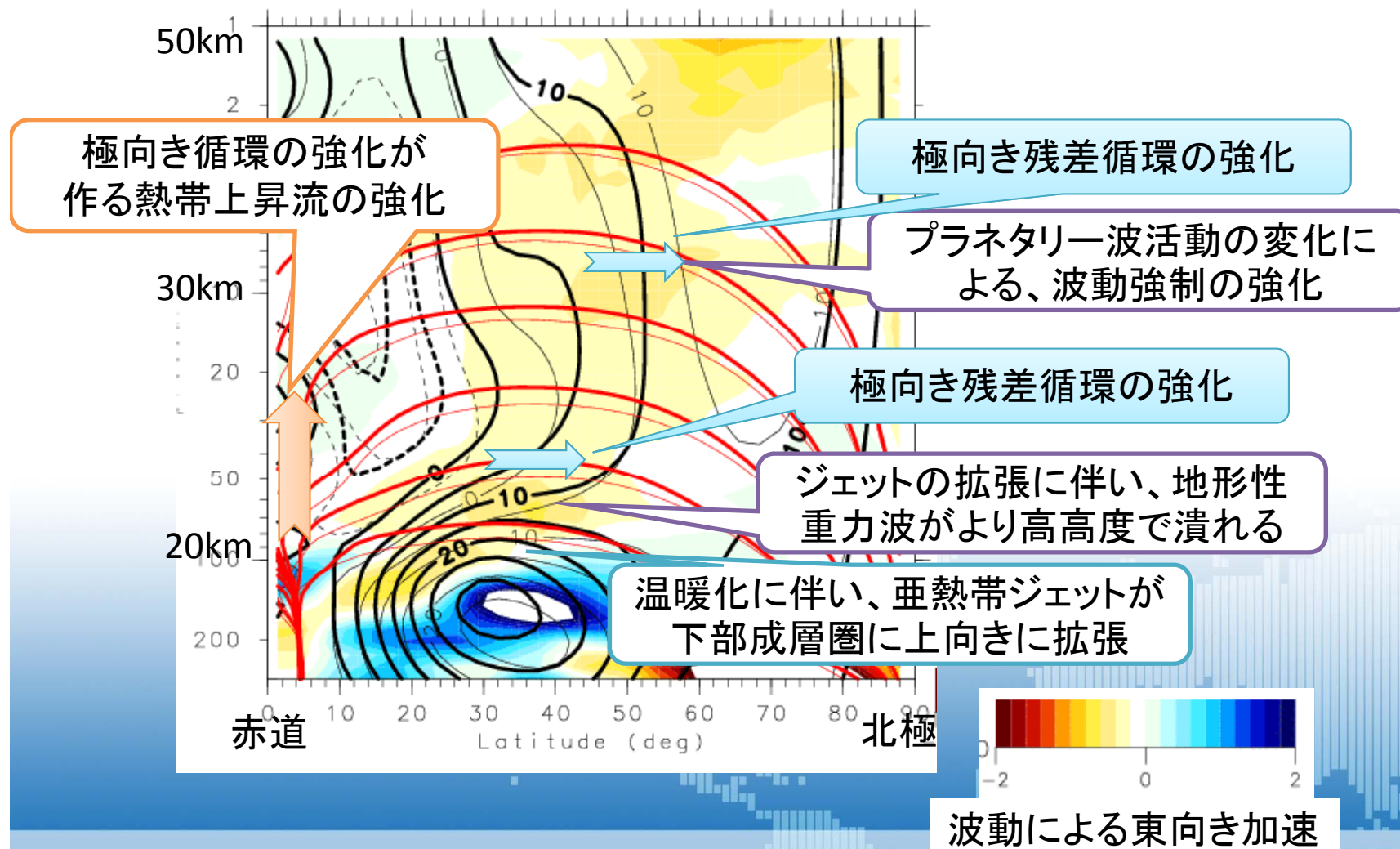
気温



東西風

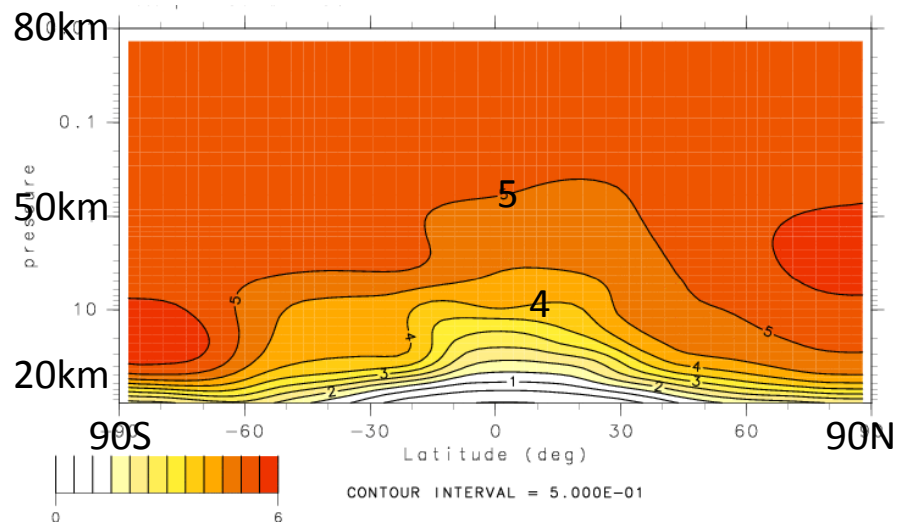


温暖化に伴う東西風と波動強制の 変化を通じた成層圏残差循環の強化

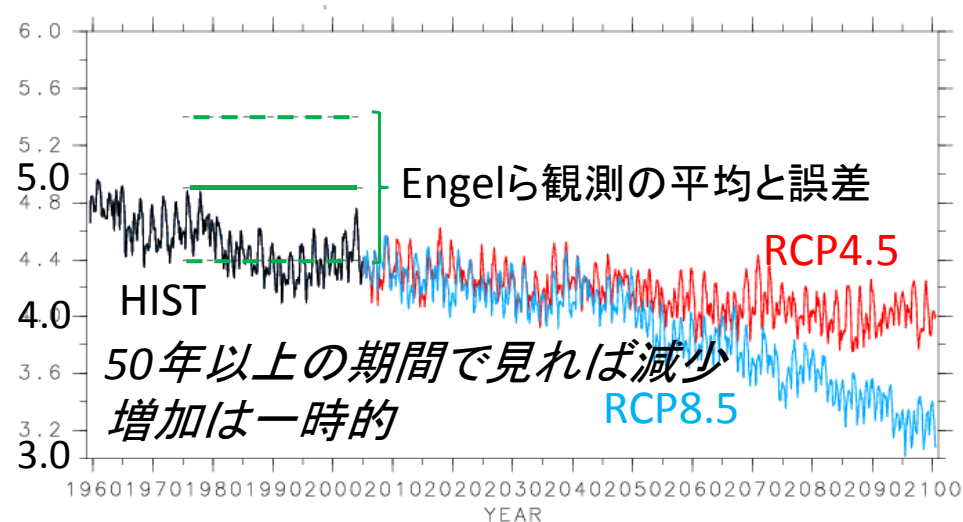


成層圏：大気の平均年代の変化

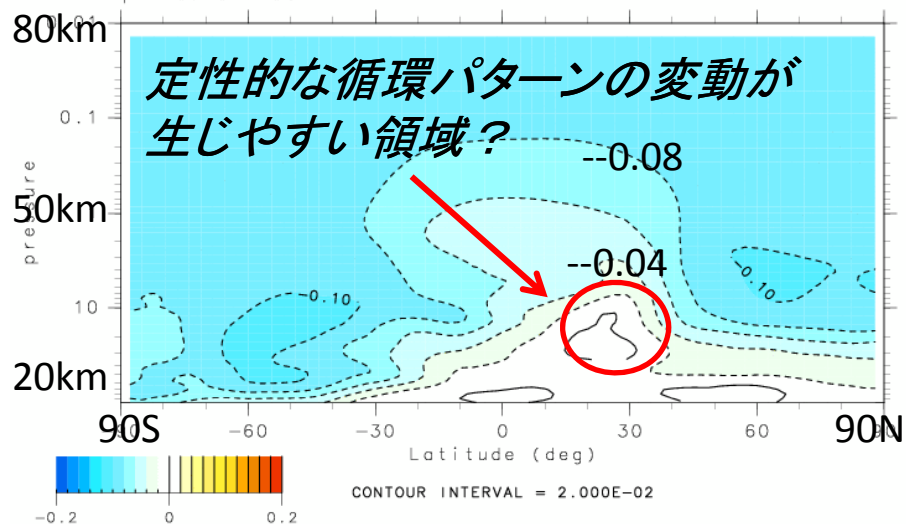
2000年10月のMean Age (年)



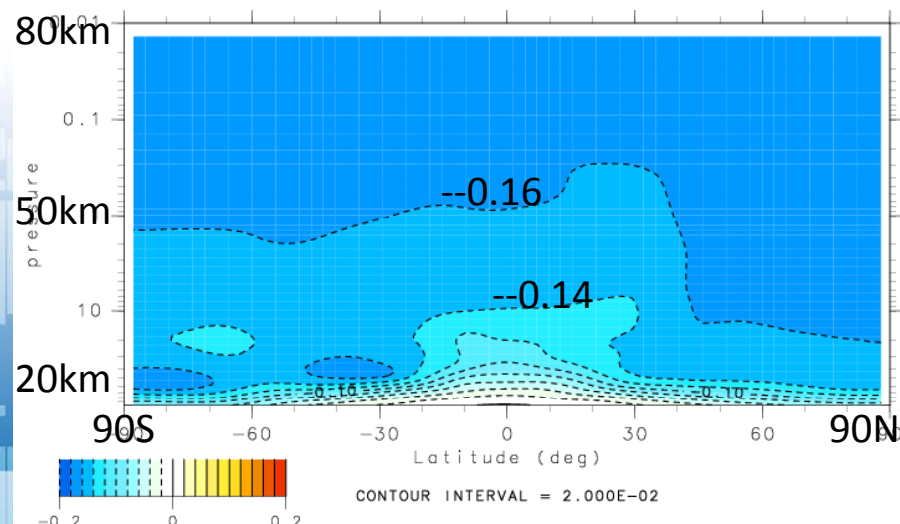
32-43N, 24-35km 月平均Mean Age 時系列(年)



1980-2005のトレンド(年/decade)

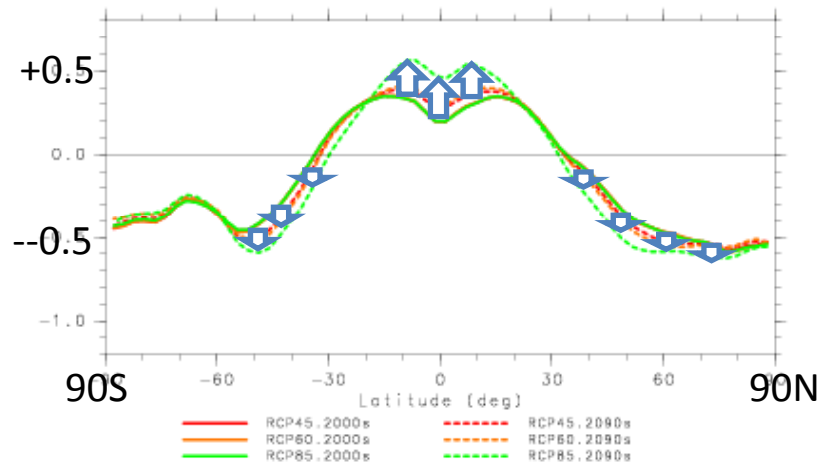


RCP8.5: 2050-2100のトレンド(年/decade)

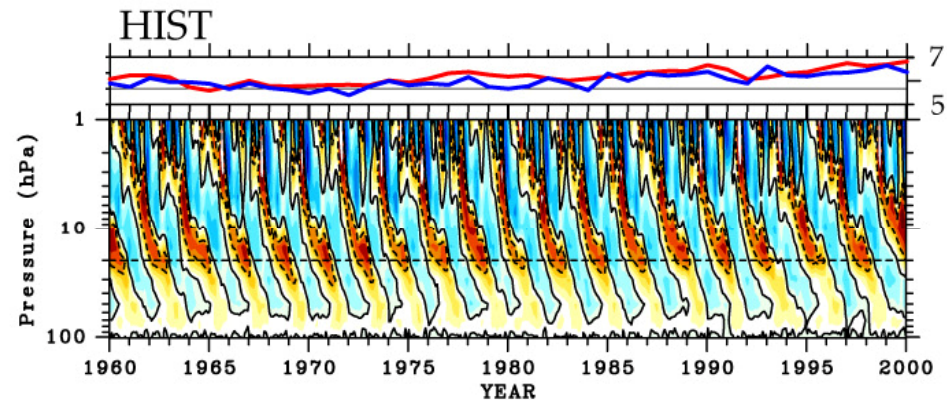


成層圏：熱帯上昇流とQBOの変化

70hPa面：残差平均鉛直流(mm/s)
2090年代(点線) & 2000年代(実線)

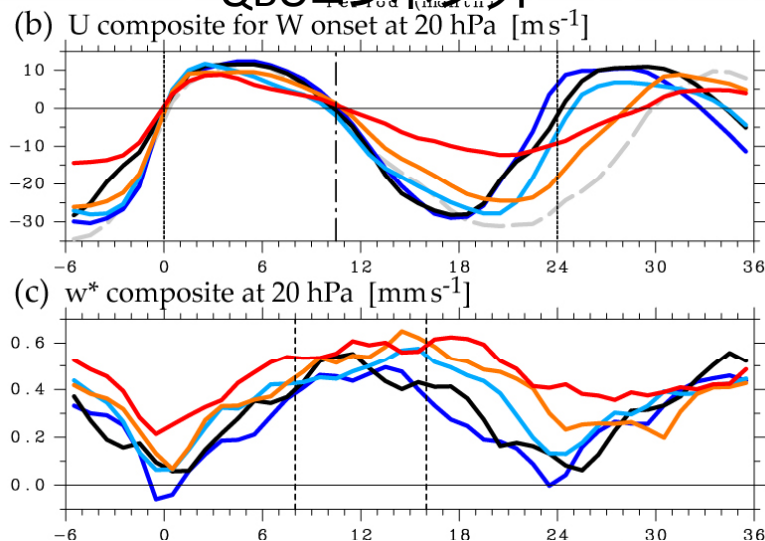


上:70hPa質量フラックス(青線;Mt/年)
下：赤道東西風時系列



赤道東西風と残差平均鉛直流

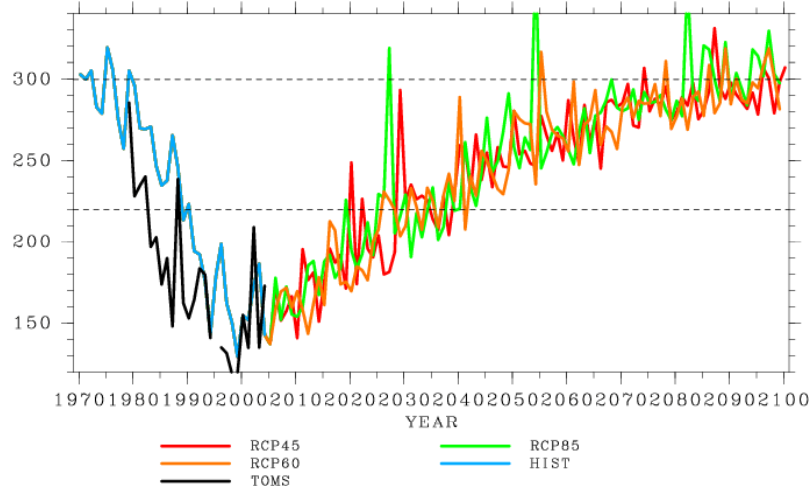
QBOコンポジット



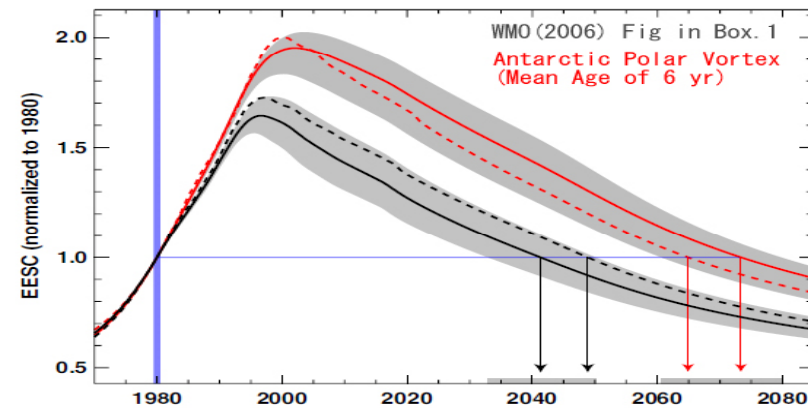
- ◆温暖化に伴って中緯度の波動強制が強まる
⇒赤道の上昇流が強化
(北半球中・高緯度 & 南半球中緯度で下降)
- ◆QBOの東風加速が弱まるとともに東風長期化
- ◆強まった赤道上昇流が波動-平均流相互作用によるQBO位相の下降を妨げる

成層圏オゾンの将来予測

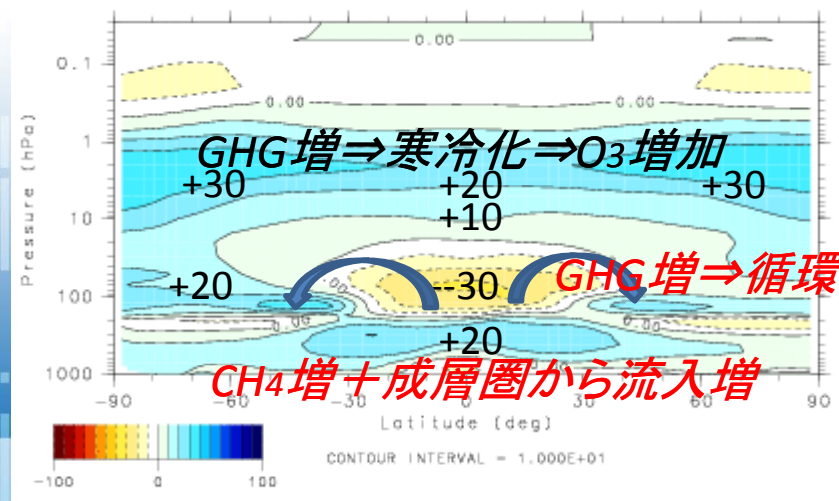
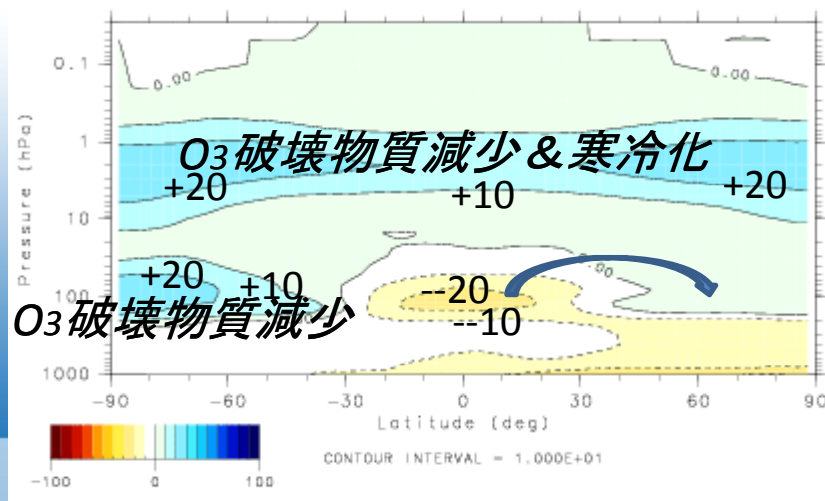
南極10月のオゾン全量[ドブソン単位]



オゾン層破壊物質の推移



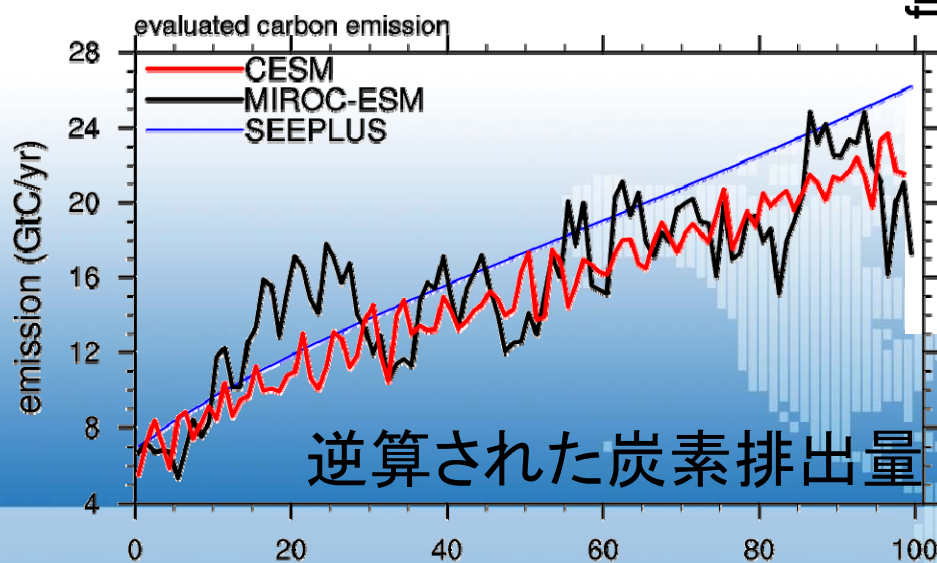
RCP4.5: 年平均混合比2090s-2000s (偏差%) RCP8.5: 年平均混合比2090s-2000s (偏差%)



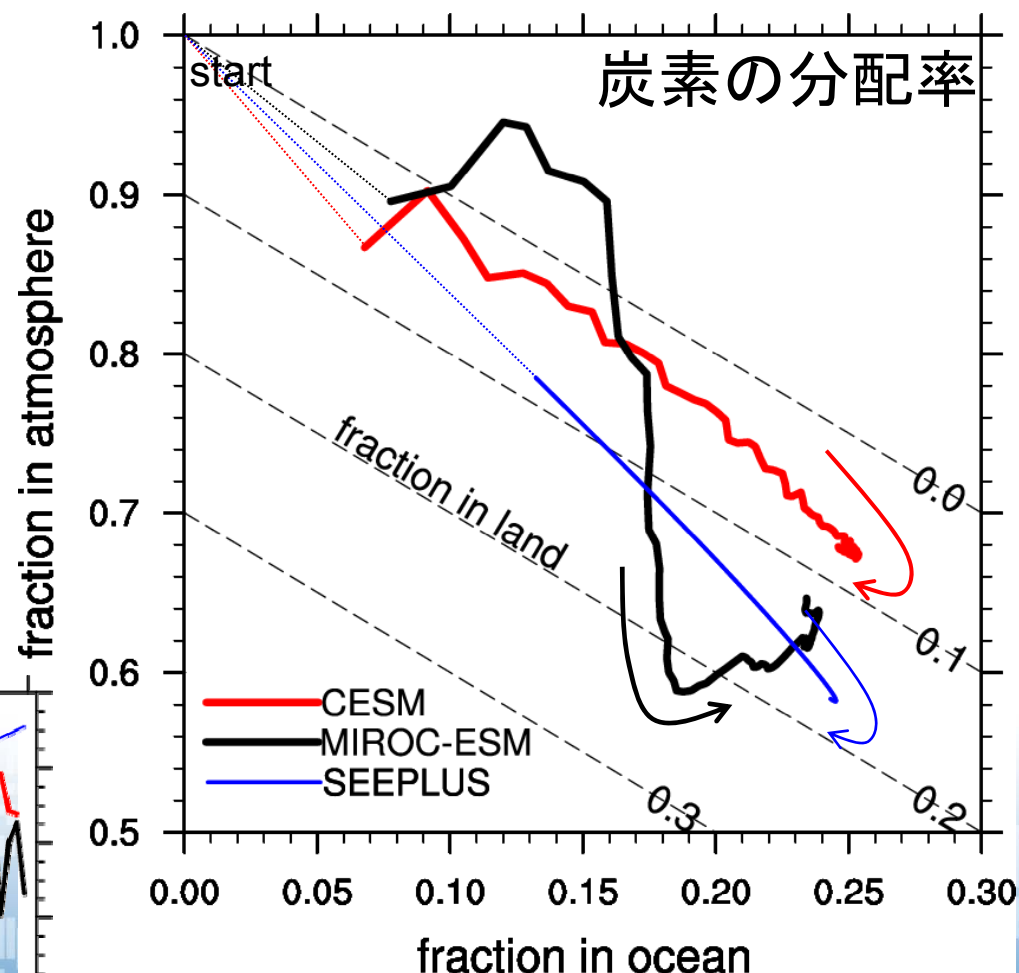
1%漸増実験による異なる炭素循環モデル相互比較

CESM1, **MIROC-ESM**,
SEEPLUS(簡易気候モデル)の比較

- 逆算された炭素排出量のモデル間の差は小さい
- モデル間で、大気・海洋・陸域間の炭素の分配率に差



逆算された炭素排出量



CESM1は、1%漸増の60年目頃から、
海洋による吸収の割合が減少に転じる

カップラー開発計画の概要

- 目標
 - 地球システムモデルを主対象とした日本標準カップラーの作成・実用化・公開

- スケジュール

- 2007年度から5年
- 初年度はデザインフェーズ
- 2年度:大気海洋結合
- 3年度:大気エアロゾル結合
- 今年度:インターフェースの改良、マルチコンポーネントカップリング

2007	2008	2009	2010	2011
Code Design	Implementation and evaluation Atmosphere/ocean land/river chemistry aerosol			Sum up

- インターフェースの改良

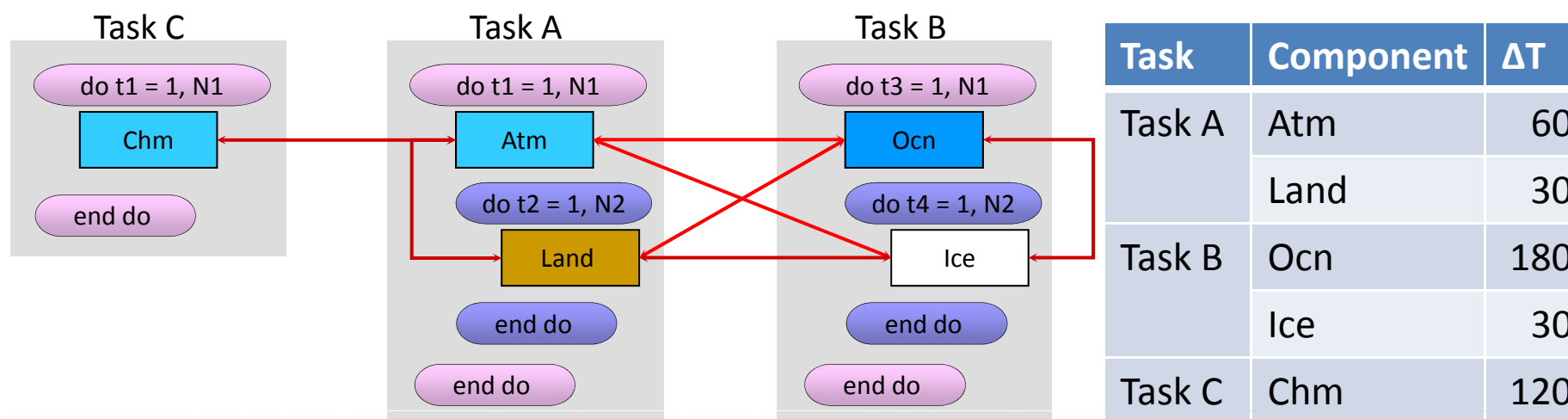
- Scupとインターフェースを共通化
- 送受信をカップラー内部で暗黙的に行うようにしたことが最大の改良点

- マルチコンポーネントカップリング

- ひとつの実行単位に複数の要素モデルが存在する場合の結合を可能にした

結合試験

- Toy Modelでのマルチコンポーネント結合テスト
 - 3タスク、5コンポーネント
 - Task AとTask Cは逐次実行、Task AとTask Bは並列実行



- 異なるTime lag、異なる ΔT が混在した条件でマルチコンポーネント結合を実現
- MIROC5の大気海洋結合へ適応
 - Intelマシンでの動作チェック
 - ⇒オリジナルコードとバイナリレベルで一致

今年度の成果(まとめ)

◎新しい地球システム統合モデル(ESM)を開発

炭素循環の変化、陸域植生の種類の変化、中層大気循環の再現、オゾンホール
の再現、赤道QBOの再現、20世紀気候変動の再現

◎新ESMによる各種シナリオ実験の実施

濃度シナリオ実験を行い、シナリオ実現のために要求される化石燃料起源の
CO₂排出量を計算、シナリオ作成に際して土地利用変化について注意深い検
討が必要なことを明確化

◎中層大気(成層圏+中間圏)の温暖化時の変化を予測

残差循環の強化(諸物質の滞留時間が短くなる)、QBOの周期の長期化と振
幅の減少、オゾンホールの回復に関する予測

など