

# 階層的モデル実験による長期気候変化予測の不確実性定量化

海洋研究開発機構  
地球環境変動領域  
河宮 未知生



# 研究の目的、体制

- 300年程度のタイムスケールを対象とした地球温暖化予測実験の結果を用いて、予測に伴う不確実性を定量的に評価する。
- 研究体制
  - 簡略気候モデルを利用した不確実性評価
  - 地球システム統合モデルを利用した不確実性評価

# 今年度目標

- 簡略気候モデルを利用した不確実性評価
  - Sim-CYCLEと結合したMIROC-liteを用いて、(物理的および生物化学的)パラメータの不確実性が温暖化予測へ及ぼす影響を調べる。
- 地球システム統合モデルを利用した不確実性評価
  - CMIP5プロトコルに基づいたアンサンブル実験
  - (エアロゾルによる鉄輸送の取り扱いの影響評価)
  - (他研究機関とのモデル結果比較)

# 炭素循環フィードバックの 強度を表す指標

$$\Delta CO_2 = \int_0^t F_{IPCC} dt' - \Delta F_{AO} - \Delta F_{AB}$$

$$\Delta T = \alpha \Delta CO_2 + \Delta T_{ind}$$

$$\Delta F_{AO} = \underline{\beta_{AO}} \Delta CO_2 + \underline{\gamma_{AO}} \Delta T$$

$$\Delta F_{AB} = \underline{\beta_{AB}} \Delta CO_2 + \underline{\gamma_{AB}} \Delta T$$

$\Delta CO_2$ : 大気中CO<sub>2</sub>増加量

$F_{IPCC}$ : 人為起源のCO<sub>2</sub> 排出量、

添え字AO AB F, F: それぞれ大気から海洋と陸域生態系へのCO<sub>2</sub>フラックス積算量

$\Delta T$ : 全球平均表面気温の上昇量

$\Delta T_{ind}$ : CO<sub>2</sub>以外の要因(エアロゾルなど)による表面気温変化

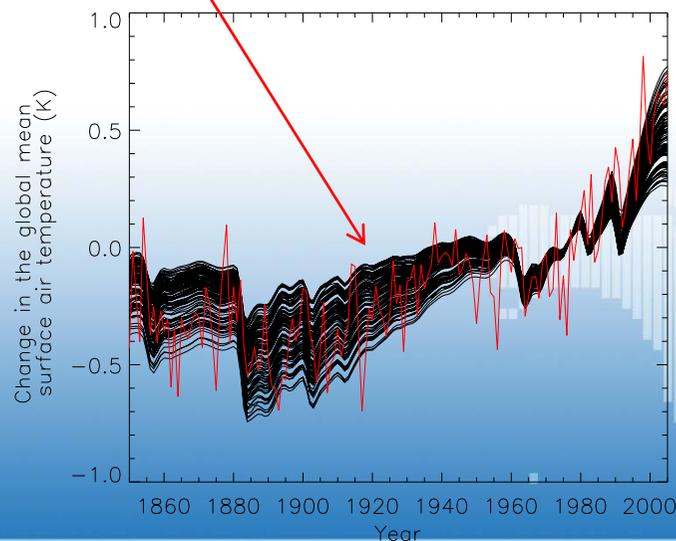
# MIROC-liteによる物理アンサンブル

## 摂動したパラメータ

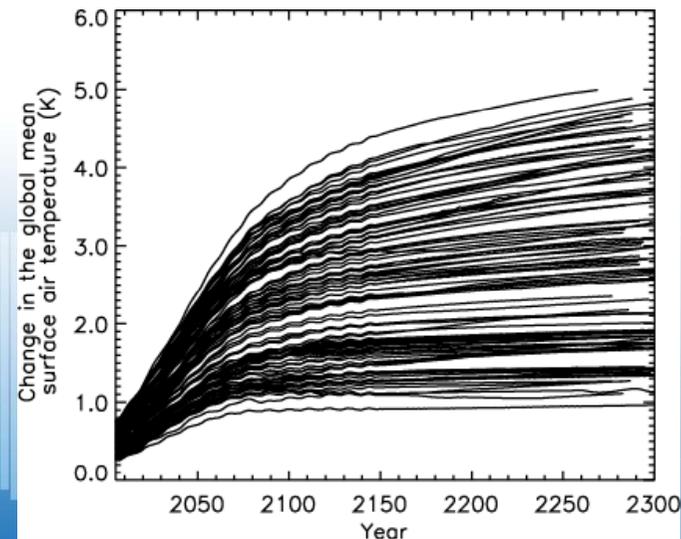
No.	Parameter	Range
1	Vertical diffusivity (ocean)	(0.1~1)*default
2	Horizontal diffusivity (ocean)	(1.5~15)*default
3	Cimate sensitivity	1~6K(GMD=4.7K)
4	GM thickness parameter	(10~100)D6 cm <sup>2</sup> /sec
5	Freshwater flux adjustment Coeff.	(0.9~1.5)*default
6	Wind speed used in ocean CO <sub>2</sub> uptake	2.0~9.0m/s (GMD=3.3m/s)
7	Max.photosynthetic rate (land)	(0.8~2.0)*default
8	Specific leaf area (land)	(0.5~1.0)*default
9	Tmin (Min temperature for photosynthesis)	(default±3)°C
10	Soil2*	(0.869-1.304)*default
11	Total direct aerosol forcing	(0.5~2.0)*RCP4.5

\*:One of the two parameters on temperature dependency of soil respiration

## 観測データ



20世紀中気温変化



2300年までの昇温予測

# 物理アンサンブル結果

avg±1σ	This study*	This study**	C4MIP
$\alpha$	0.0050±0.0016	0.0058±0.0017	0.0061±0.0012
$\beta_o$	0.77±0.19	0.84±0.22	1.1±0.2
$\beta_L$	0.75±0.42	0.92±0.43	1.3±0.6
$\gamma_o(\text{full-bgc})$	-21±9	-15±6	-31±16
$\gamma_L(\text{full-bgc})$	---	-74±33	-79±44
$\gamma_o(\text{rad})$	-4.8±1.7	-3.8±1.6	---
$\gamma_L(\text{rad})$	---	-88±32	---

\*up to 1250ppm, \*\*:up to 900ppm (close to C4MIP)

C4MIPの変動幅との比較

→ C4MIPマルチモデルアンサンブルと  
同程度の幅を実現

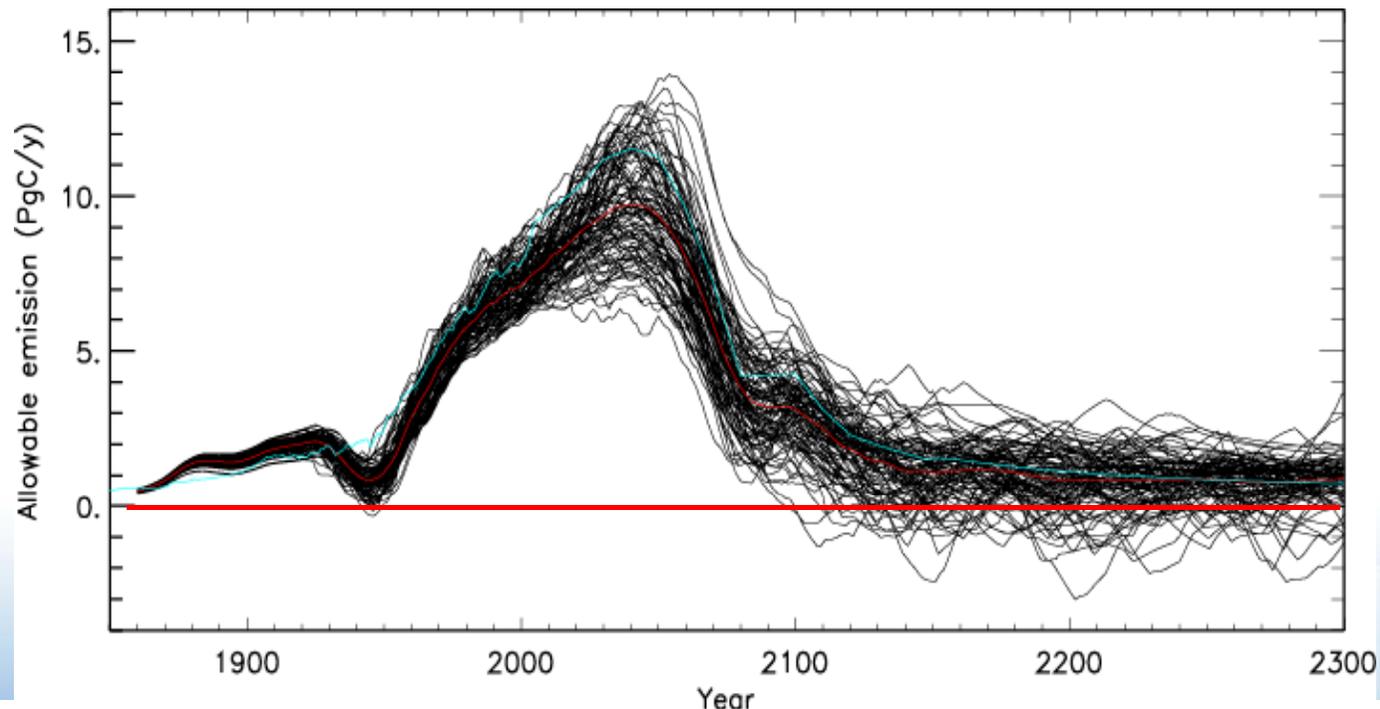
炭素循環フィードバック強度の指標と  
摂動パラメータとの相関

→ フィードバックにとって重要なパラ  
メータの同定

	$\alpha$	$\beta_o$	$\gamma_o$	$\beta_L$	$\gamma_L$
CS	0.967**	-0.035	0.132	-0.065	-0.003
AHV	-0.349*	0.391*	-0.270	0.035	0.027
AHI	0.019	0.255	-0.223	-0.091	0.134
GM	0.281	-0.548**	0.328	-0.134	0.073
FWF	-0.122	0.026	0.051	-0.058	0.014
W	0.072	0.713**	-0.844**	0.142	-0.230
Pmax	0.064	0.132	-0.126	0.841**	-0.875**
Sl <sub>a</sub>	-0.218	0.018	-0.107	0.608**	-0.570**

# 物理アンサンブル結果： 逆算された排出パスの不確かさの幅

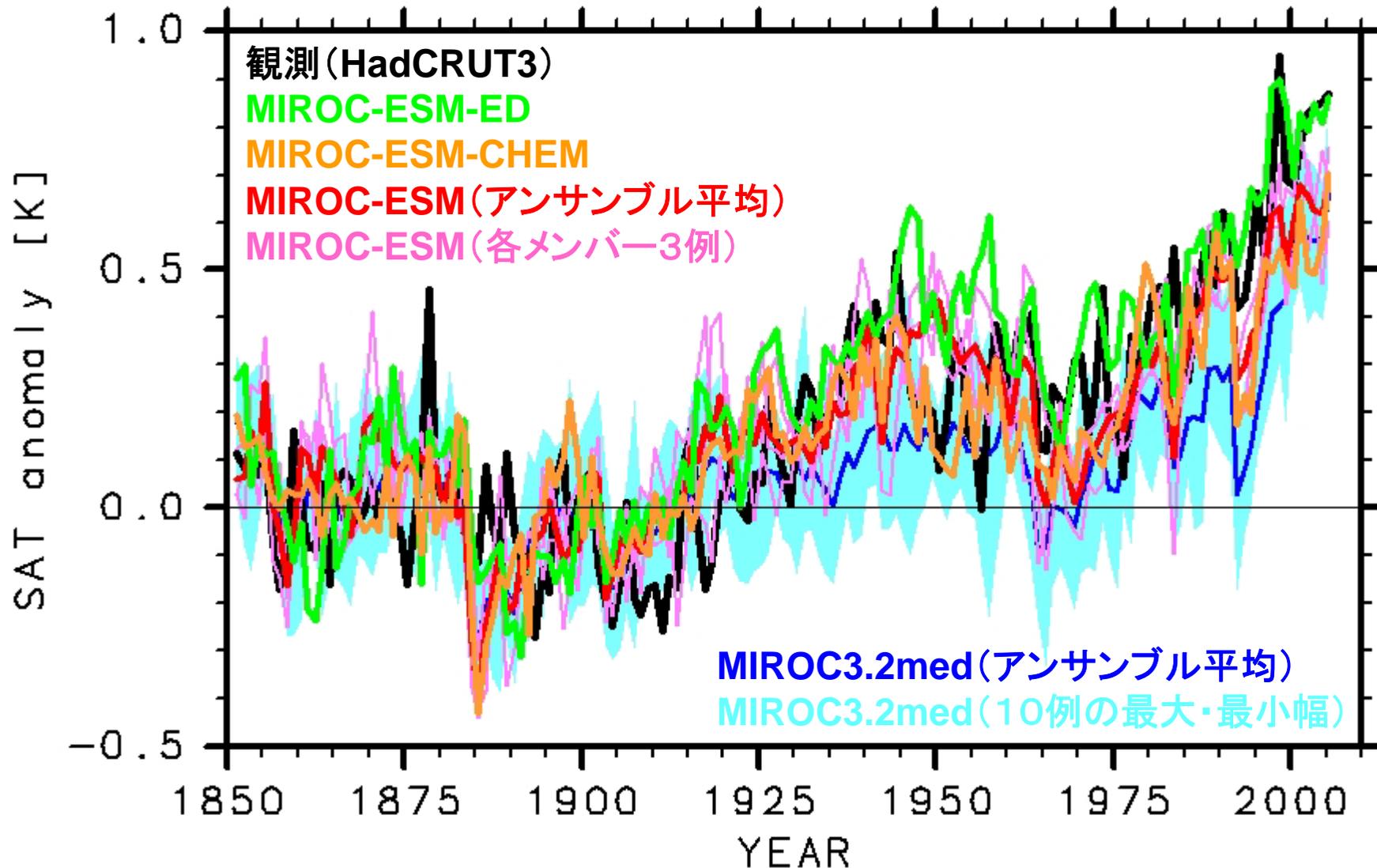
CO<sub>2</sub>濃度で駆動されたMIROC-liteの  
結果から逆算されたCO<sub>2</sub>排出パス



- 黒線: アンサンブルメンバーごとの結果
- 赤線: 100メンバーの平均
- 水色: RCP4.5 の排出シナリオ(“Fossil CO<sub>2</sub>” と “Other CO<sub>2</sub>”の合計)

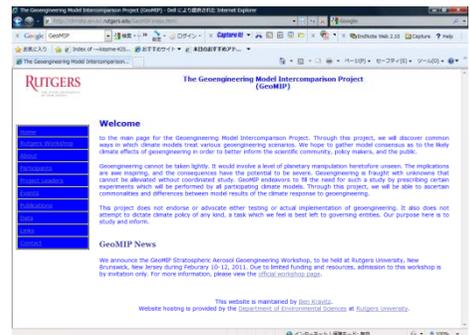
# 全球年平均地上気温の経年変化

(1851-1900年の平均値からの偏差)

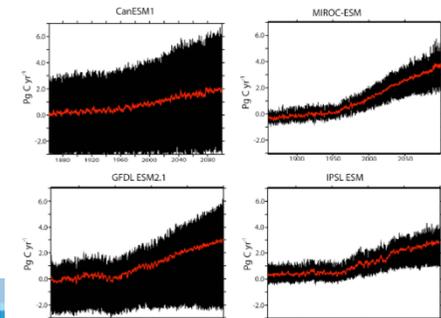


# 他機関モデルとの相互比較研究

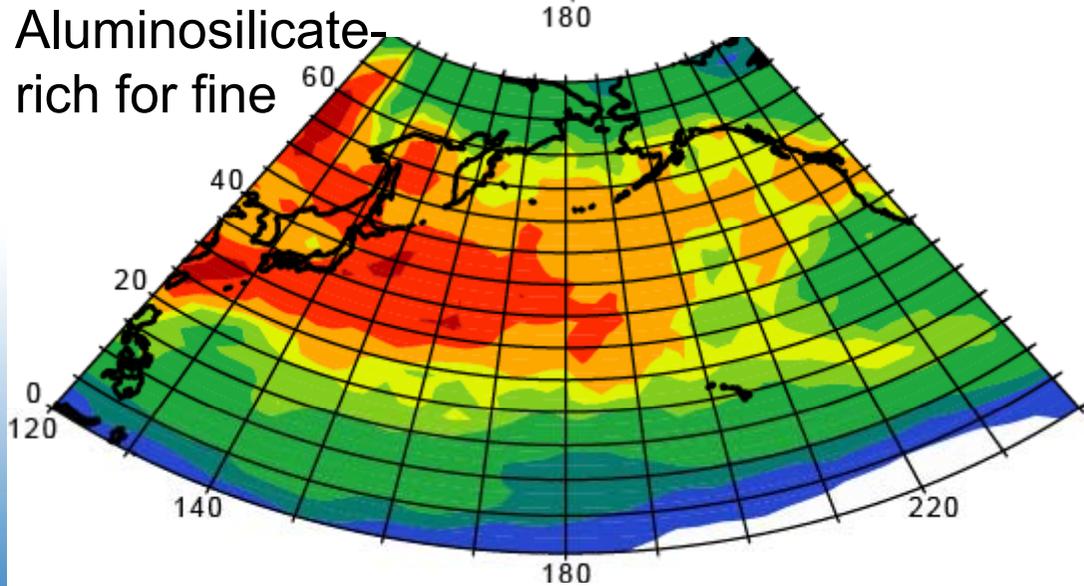
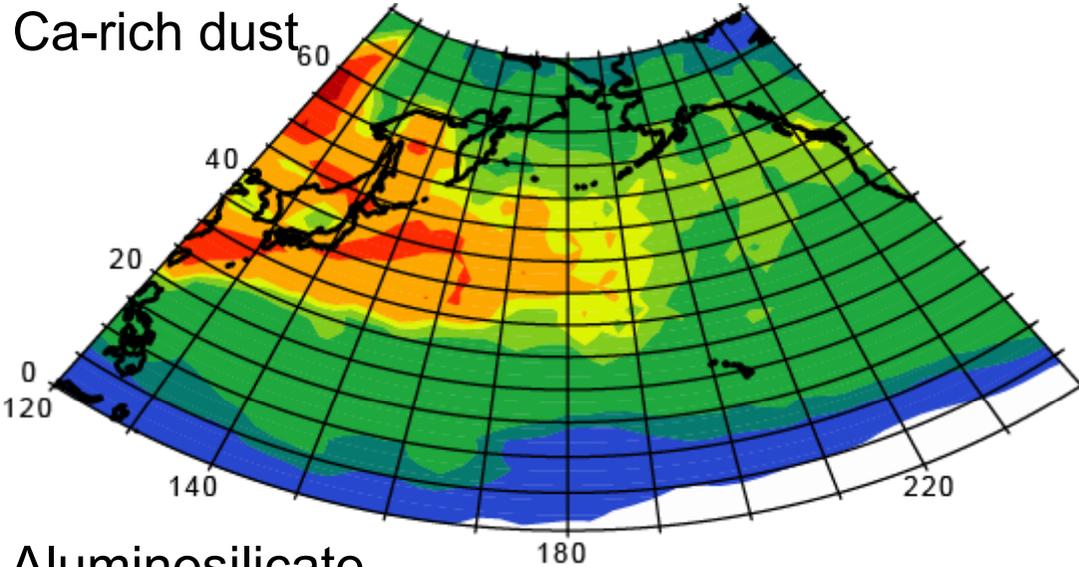
- International Land Model Benchmarking Project (ILAMB)
  - 陸域モデル(炭素循環、エネルギー水収支)の相互比較
  - Irvine (米), 1月24-26日の会合に革新プロから1名出席(他日本人3名)→参加へ
- Geoengineering Model Intercomparison Project (GeoMIP)
  - 地球工学的的手法(成層圏へのエアロゾル注入による温暖化抑制)のモデル評価の相互比較
  - New Brunswick(米), 2月10-12日の会合に革新プロから1名出席→今後の参加検討
- CO<sub>2</sub>大気交換フラックスの季節変動のモデル相互比較



Air-sea CO<sub>2</sub> fluxes integrated over 80°S-15°S



## 栄養塩となる鉄のエアロゾルによる供給



Soluble iron deposition ( $\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )



鉄分を運ぶエアロゾルの化学的性質の仮定の仕方により、海洋生態系への鉄分供給に大きな差が生じることを示す。

Ito and Feng (2010)

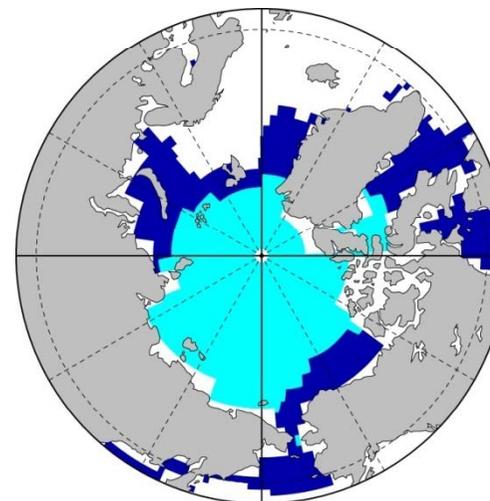
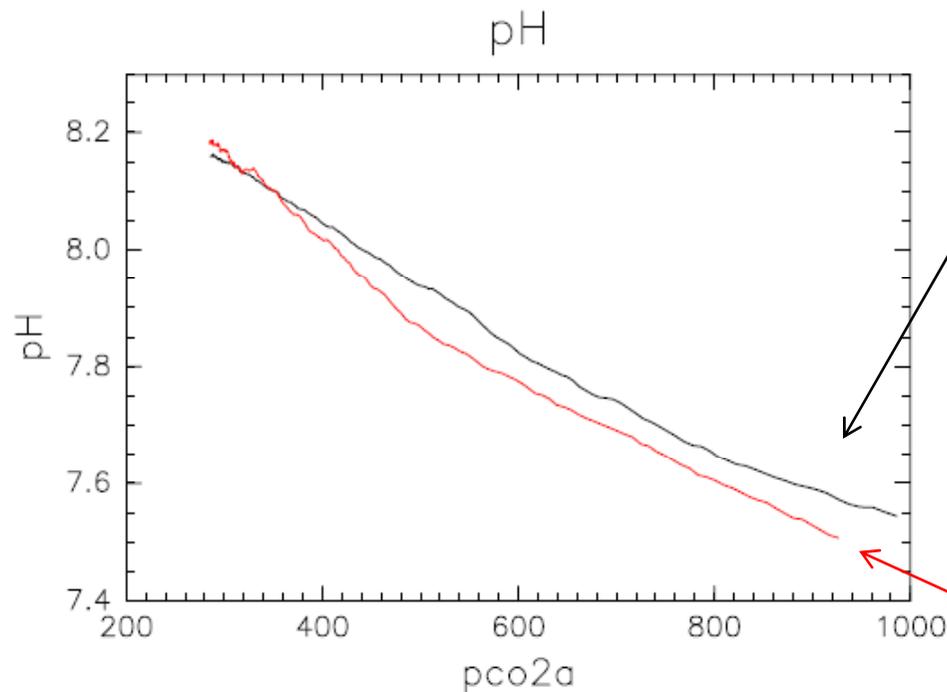


KAKUSHIN

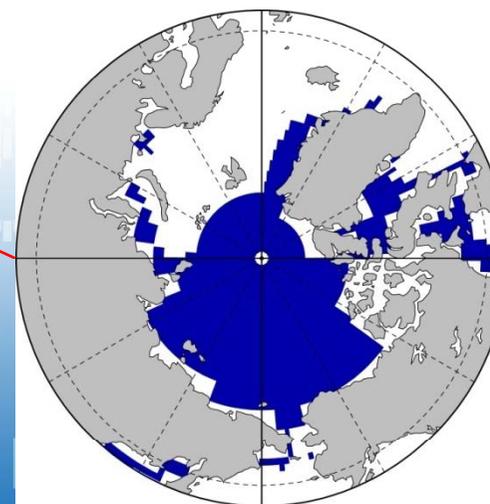
# 海洋酸性化の解析：北極海に着目して

北極海：もっともはやく酸性化の影響があらわになる海域 (Steinacher et al., 2009)

2050年時点での夏季海氷分布



AR4バージョン



AR5バージョン

同じ海洋CO<sub>2</sub>分圧に対して、旧バージョンと新バージョンで酸性度が異なる←海氷の振舞いの相違が原因？

# まとめ

- EMICを用いた不確実性評価実験
  - 炭素循環フィードバックの強度指標についての感度実験
    - 各フィードバック要素に重要なパラメータを同定
  - CO2排出パスについての不確実性幅の評価
    - RCP4.5の濃度予測に対応する排出でも、「負の排出」が必要となる可能性あり
- GCMを用いた不確実性評価実験
  - CMIP5プロトコルに基づいたアンサンブル実験
  - 各種モデル相互比較プロジェクトへの参加
  - ダストによる海洋への鉄分供給に対する大気化学過程のインパクトの評価
  - 北極海における酸性化の進行: 海氷の役割