

平成16年度地球シミュレータ利用報告会 2005/01/07

文部科学省「人・自然・地球共生プロジェクト」課題1-2

大気海洋結合モデルの高解像度化

研究チーム：電中研、九州大学、NCAR、LANL

研究代表者：丸山康樹
環境科学研究所(財)電力中央研究所
maru@criepi.denken.or.jp



CO2排出削減と気候応答の時間スケール

排出削減後、CO2濃度、気温、海面上昇は長期間増加し続ける

反応の大きさの目安

CO2 排出削減

現在

100年

1,000年

平衡状態になる時間

氷河融解による海面上昇
数千年

熱膨張による海面上昇
数世紀～千年

気温の安定化: 数世紀

大気中濃度の安定化
100年～300年

CO2排出量の削減

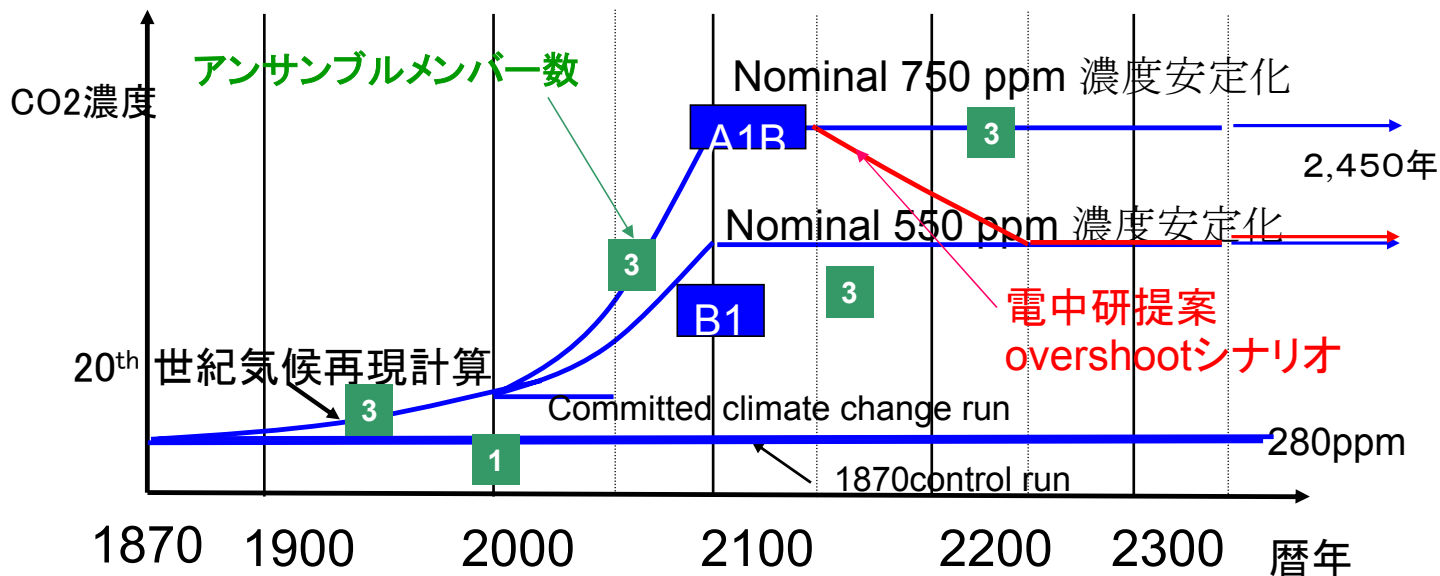
SYR - FIGURE 5-2

出典: IPCC統合報告書(2001)



INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE

本年度の予測に用いた濃度シナリオ (IPCC要請による)

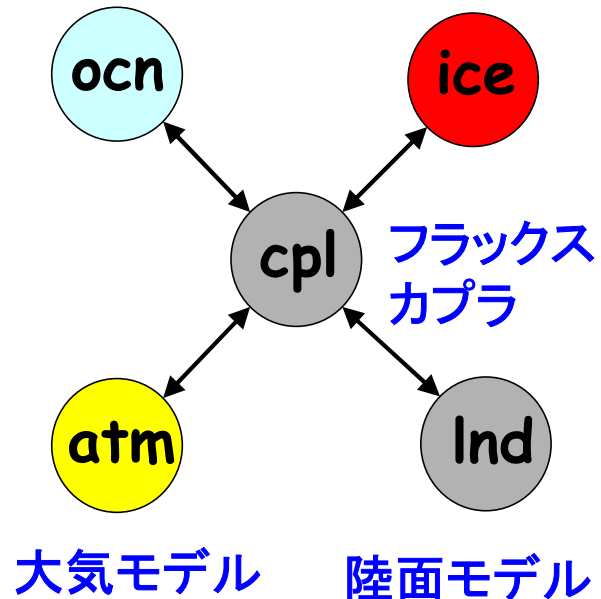


- 3次評価書TAR(2001)に比べ、解像度2倍(計算量10倍)の予測モデル
- 豪雨等の予測精度向上のため、3メンバーアンサンブル予測
- 深層海流(熱塩循環)の挙動把握のため、2,450年まで長期間計算
- 現象の非可逆性検討のため、電中研独自のOvershootシナリオ
- 合計6,000年もの膨大な計算結果

予測に用いた新モデルCCSM3の構成

- 結合モデルの構成 (NCARのモデルをベース)

- 大気要素モデル: CAM3 (150km) 海洋モデル 海氷モデル
 - ✓ MPI/OpenMP, T85L26
- 陸面要素モデル: CLM
 - ✓ MPI/OpenMP, T85
- 海氷要素モデル: CSIM
 - ✓ MPI, 1度
- 海洋要素モデル: POP (100km)
 - ✓ MPI, 1度40層
- フラックスカプラ: CPL, MPI



- MPMD型並列プログラム、Hub-and-spokeシステム

IPCC特別報告書(2001) のシナリオの特徴

● A1Bシナリオ

グローバル化が進む世界。低い人口増加率(0.2%)、高い技術進歩(3%高成長)。A1Bは多種類の燃料をバランス良く使用するシナリオ。世界経済の地域格差は縮小へ向かう。

● B1シナリオ

グローバル化が進む世界。低い人口増加率(0.2%)、情報・サービス産業中心の経済構造変化(2.5%成長)。環境の持続可能性を重視し、経済の地域格差は継続する。

A1Bは再生可能エネ、B1は原子力比率が高い

シナリオの種類	A1Bシナリオ		B1シナリオ		電中研2050年展望
世界全体	2050年	2100年	2050年	2100年	2050年
石炭	16%	13%	23%	20%	22%
石油	19%	15%	32%	29%	34%
ガス	40%	41%	24%	25%	34%
原子力	11%	10%	15%	20%	7%
再生可能エネルギー	14%	21%	6%	6%	3%
OECD諸国(1990年時点)	2050年	2100年	2050年	2100年	2050年
石炭	12%	2%	17%	9%	15%
石油	23%	9%	27%	18%	43%
ガス	40%	28%	25%	29%	31%
原子力	10%	4%	24%	35%	8%
再生可能エネルギー	15%	57%	7%	9%	3%
アジア	2050年	2100年	2050年	2100年	2050年
石炭	26%	6%	28%	8%	42%
石油	13%	4%	24%	16%	34%
ガス	35%	32%	25%	19%	15%
原子力	12%	4%	17%	51%	7%
再生可能エネルギー	14%	54%	6%	6%	2%

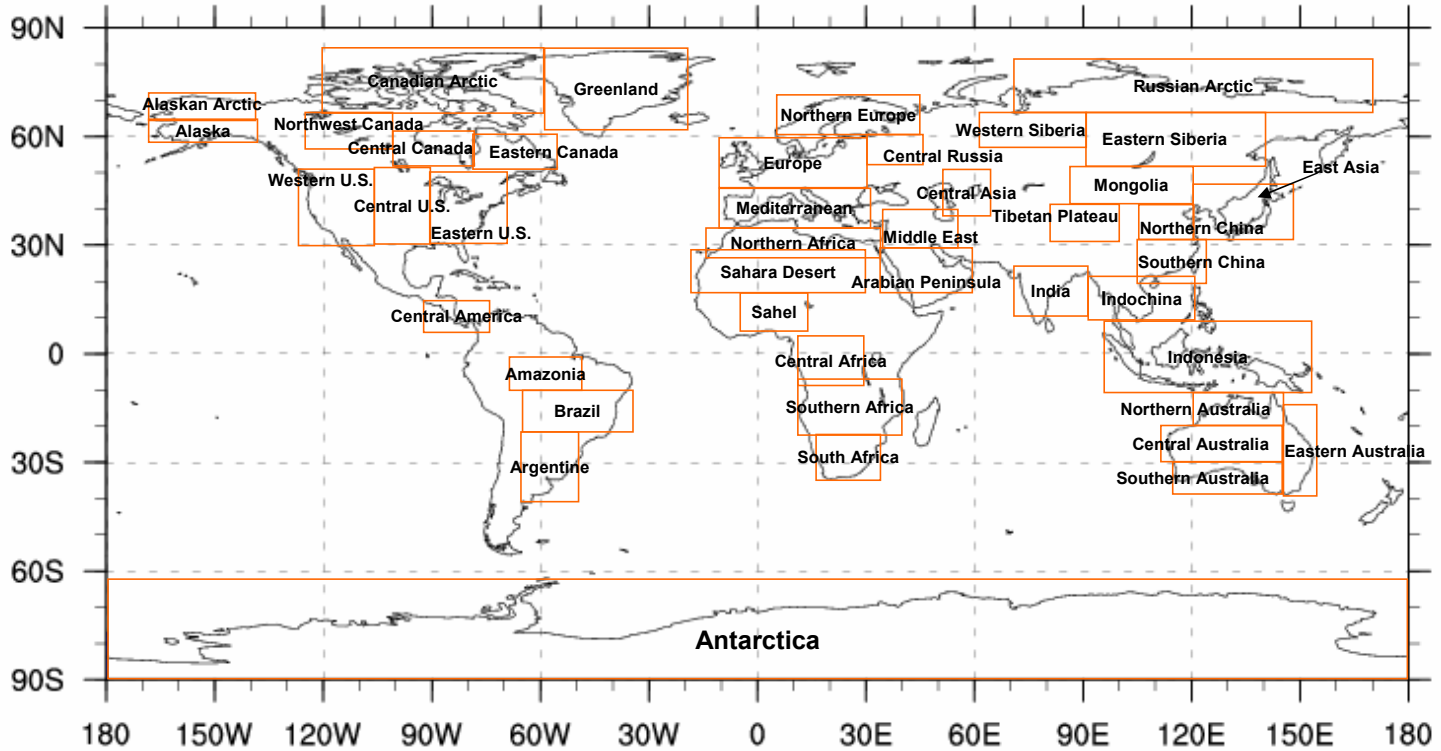
電中研2050年の展望(2004)と比較するためバイオマスを除く。

IPCC第3次評価書(2001)中のIMAGEモデルの一次エネルギー比率を用いた。

分析:社経研:星野

モデルの検証：世界各地の気候値比較

Model Data Regions - All

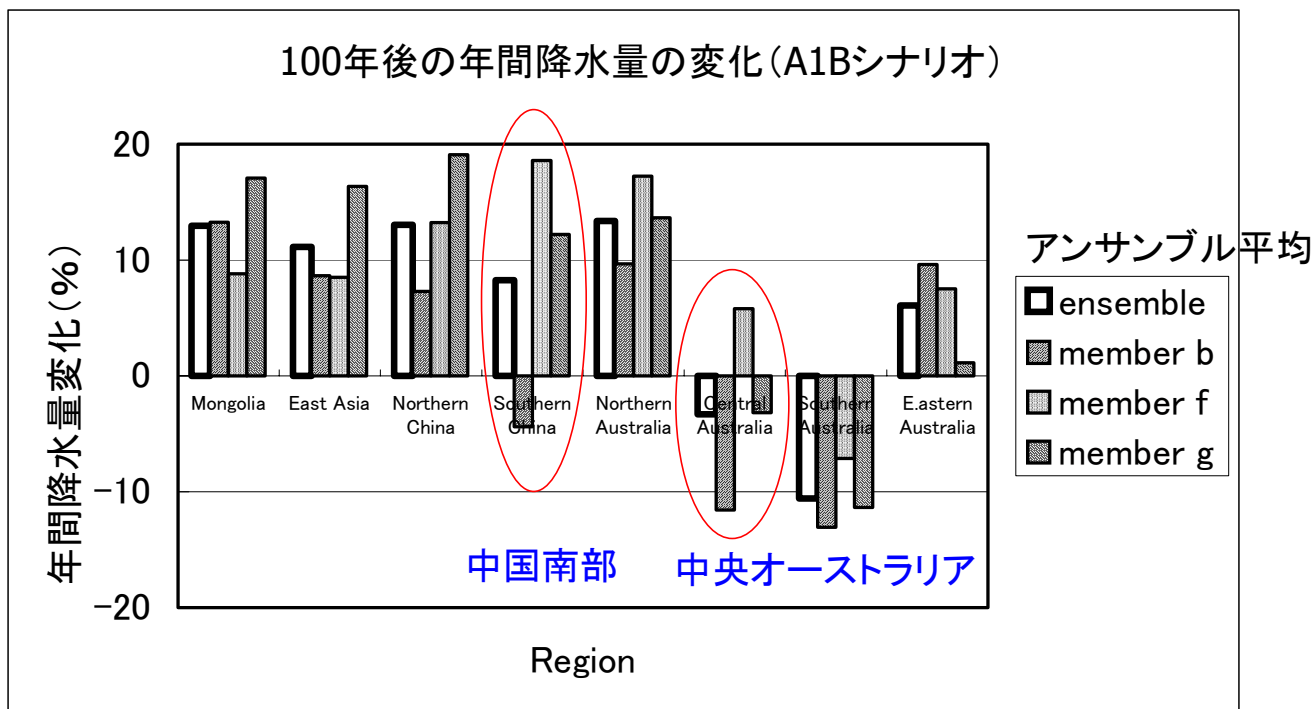


世界43地域

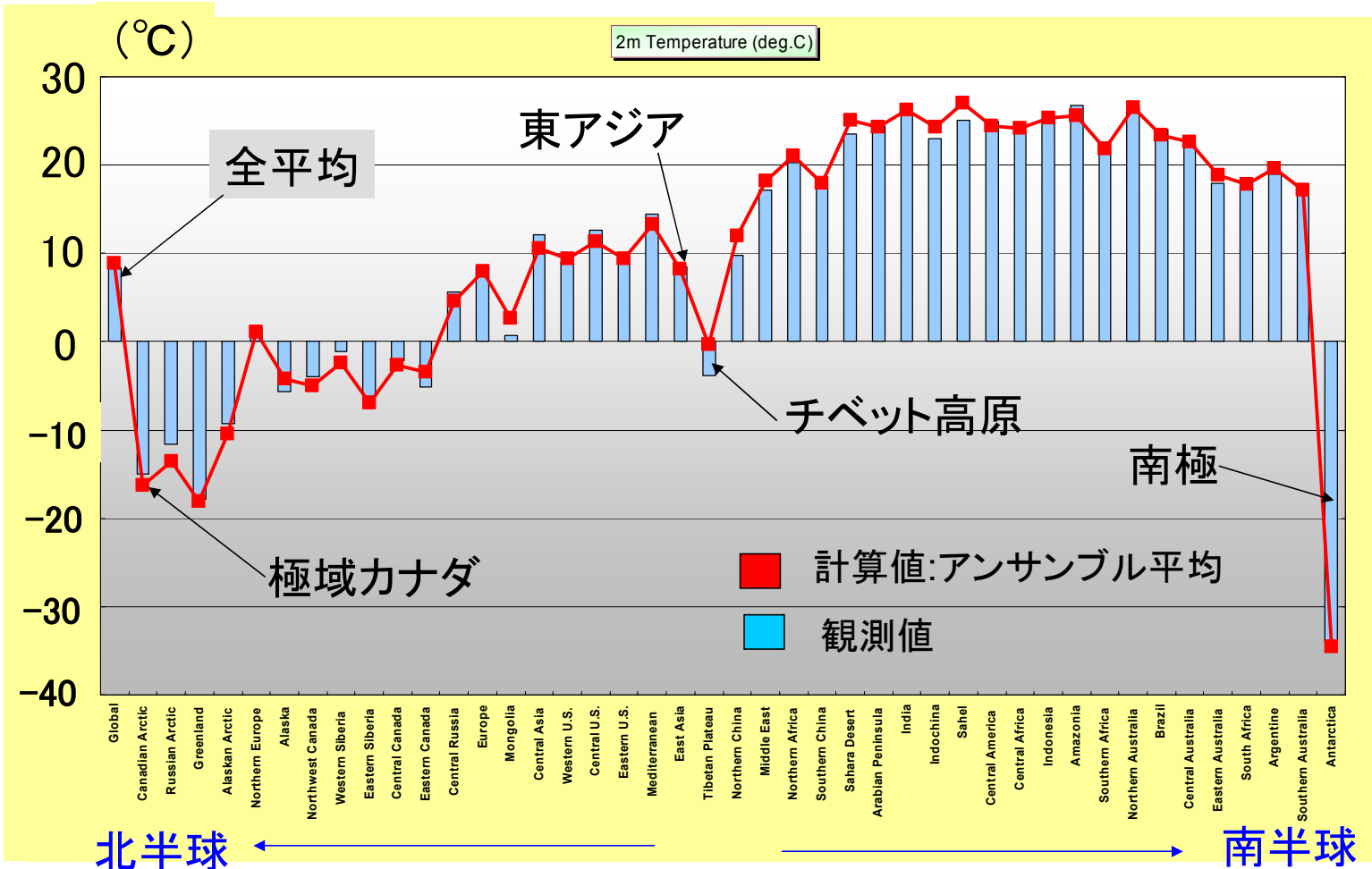
CONTOUR FROM .0 TO .0 BY .0

アンサンブル予測の有効性

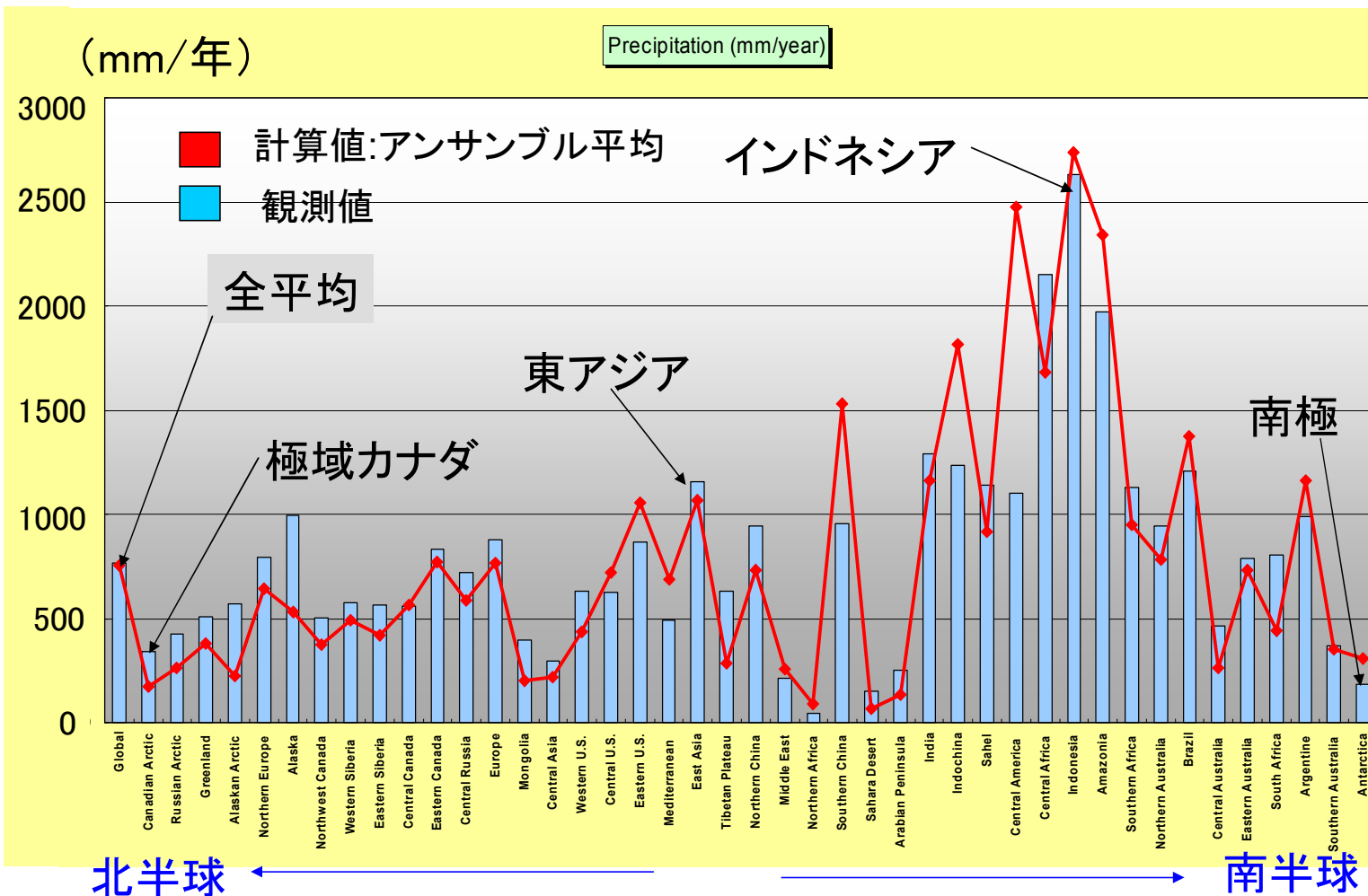
(降水量予測はメンバーで異なり、その平均値を採用)



世界43地域の平均気温（観測値と計算値）



世界43地域の降水量（観測値と計算値）



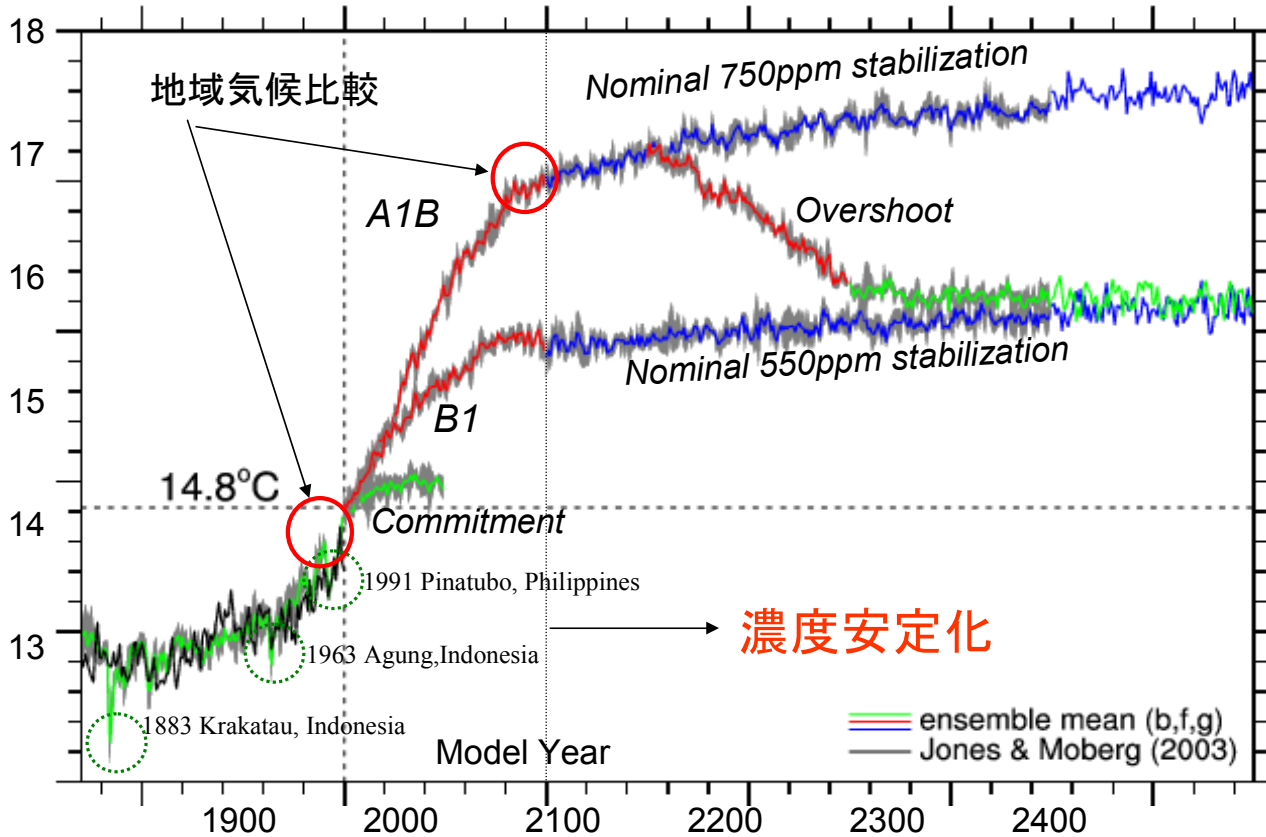
温暖化予測結果(その1)

-100年後の世界-

- ▶ 全球レベルの気温上昇
- ▶ 世界各地の気温、降水量

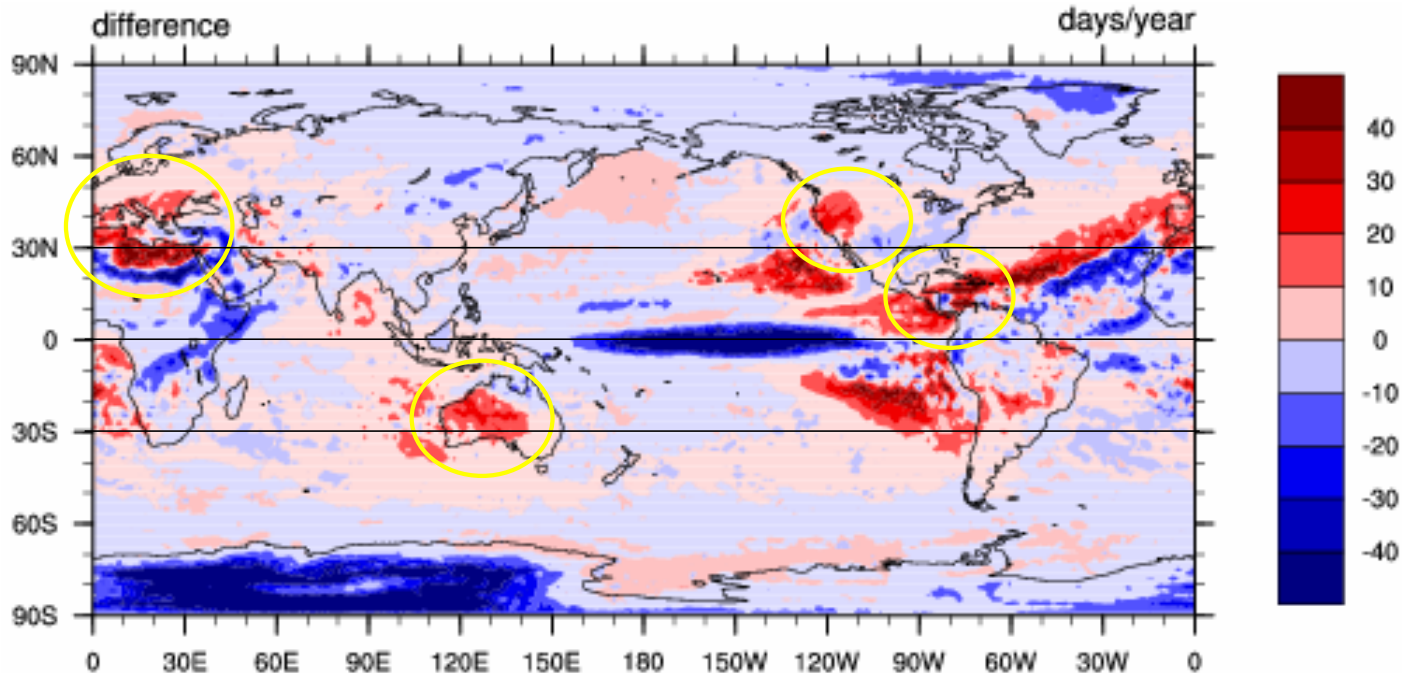
全球レベルの気温上昇予測結果(全シナリオ)

Global Surface Temperature



100年後の乾燥地帯(A1Bシナリオ)

CDD: max. # of consecutive dry days
(1mm/day以下の連続日数の年間最大値(日))



100年後の地中海地域

IPCC SRES A1B scenario

Climate A (2090-2099)

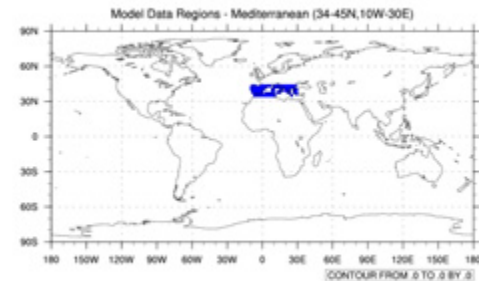
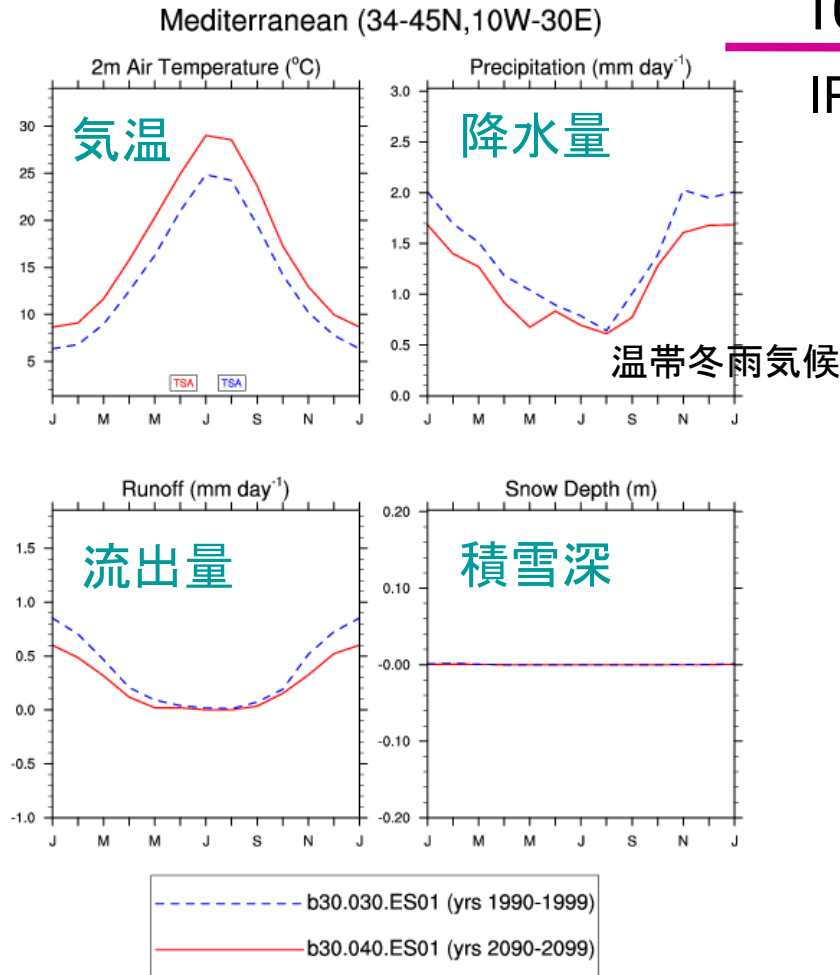
Climate B (1990-1999)

Difference between A and B

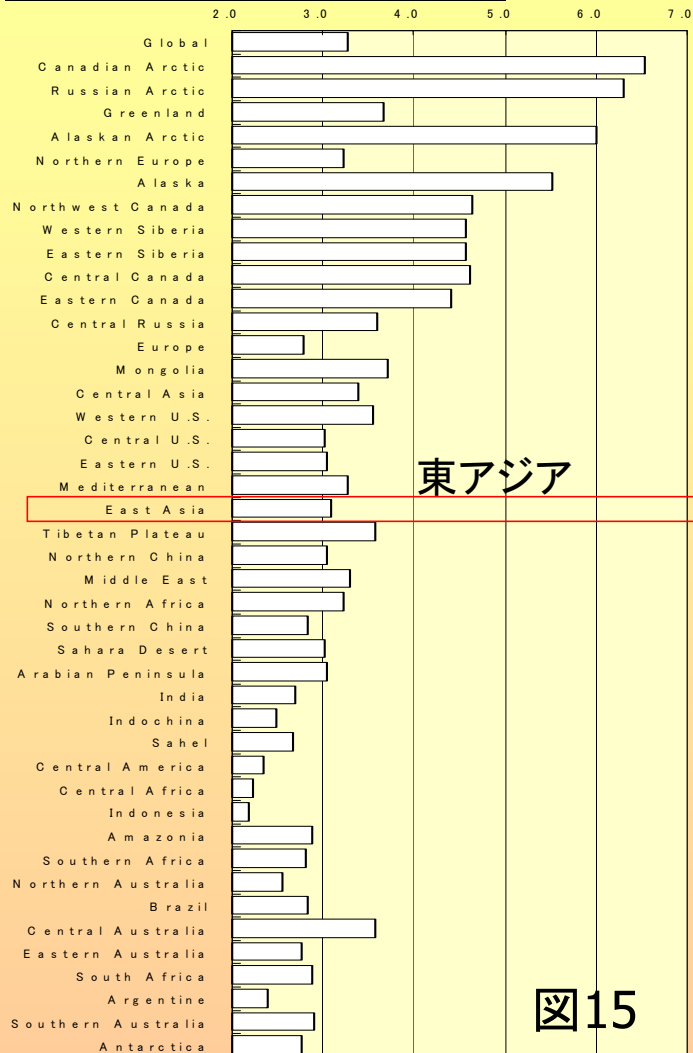
Difference of annual mean

気温 $\Delta T = 3.3$ (deg.C)

降水量 $\Delta P = -16.8$ (%)



A1Bシナリオ 世界各地の気温変化(°C)



A1Bシナリオ 世界各地の降水量変化(%)

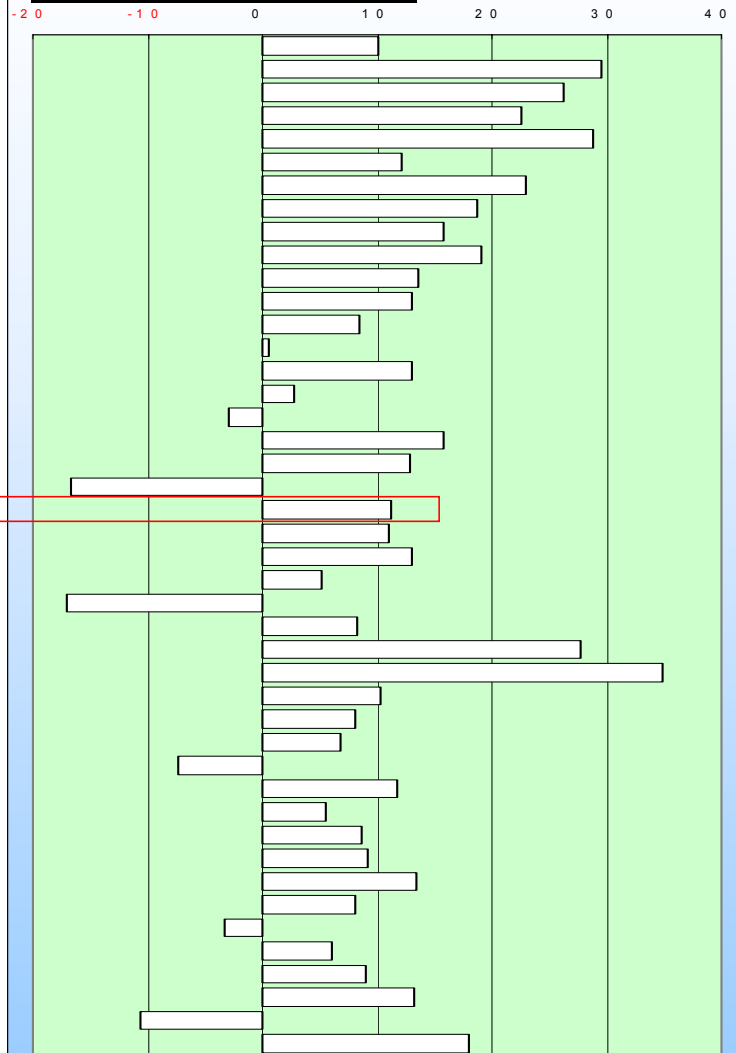


図15

今回、新たに分かったこと

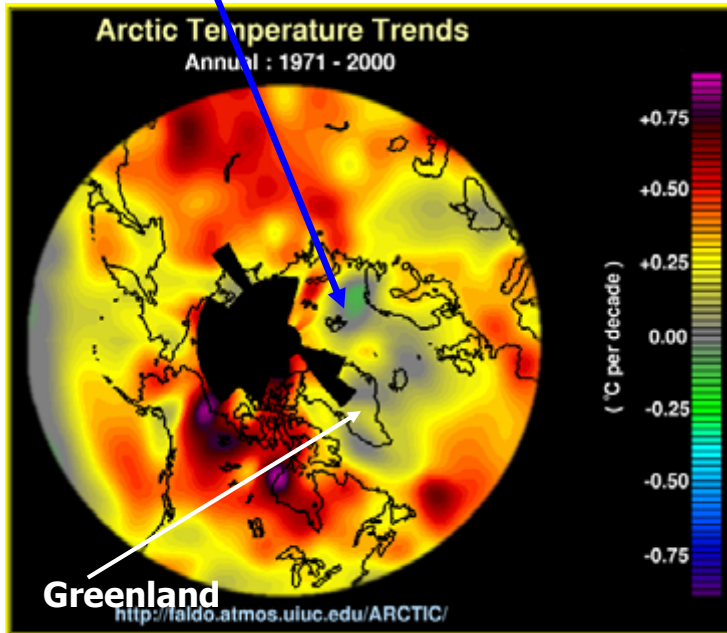
温暖化予測結果(その2)

-気候の長期的応答と危険な人為的干渉-

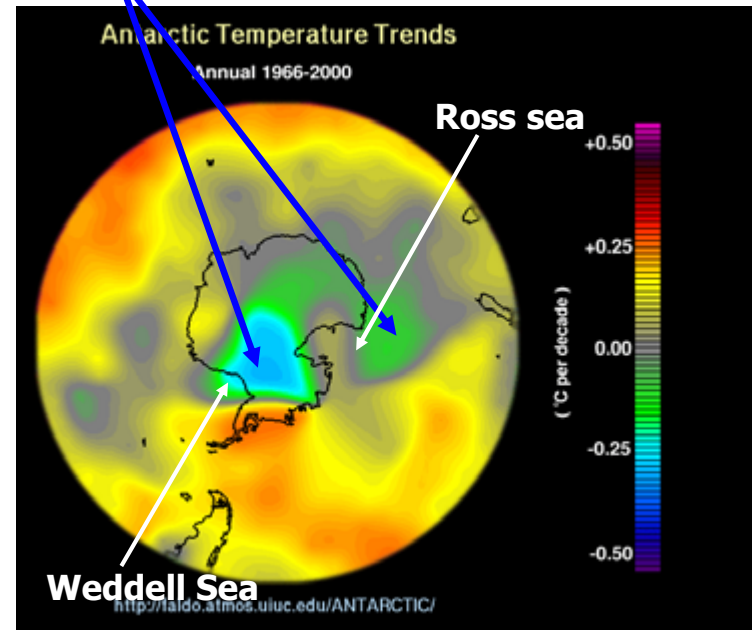
- ▶ 熱塩循環の減少と寒冷化
- ▶ 南極、北極の海水氷体積の減少
- ▶ 海面水位の上昇(熱膨張による)

北極、南極周辺の観測値では一部の気温が低下

北極周辺の気温低下 (1971-2000)



南極周辺の気温低下 (1966-2000)

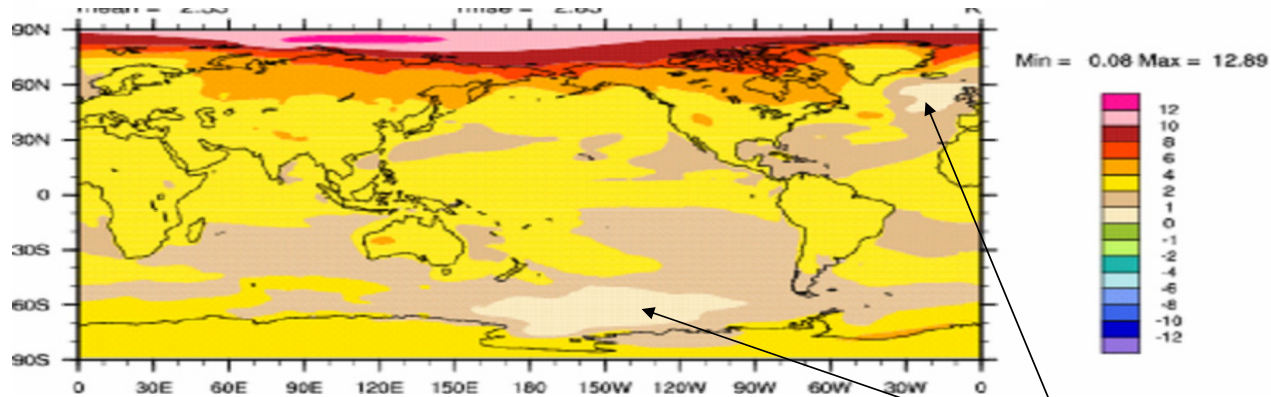


source : University of Illinois

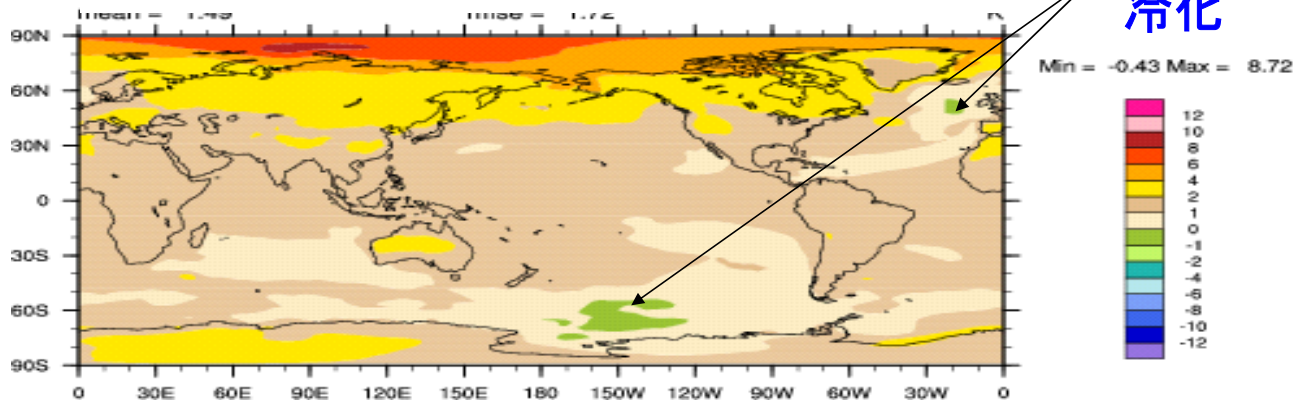
100年後の気温上昇:A1B、B1シナリオ

21世紀末と20世紀末の比較(100年後)

A1Bシナリオ: 全球平均 2.5°C

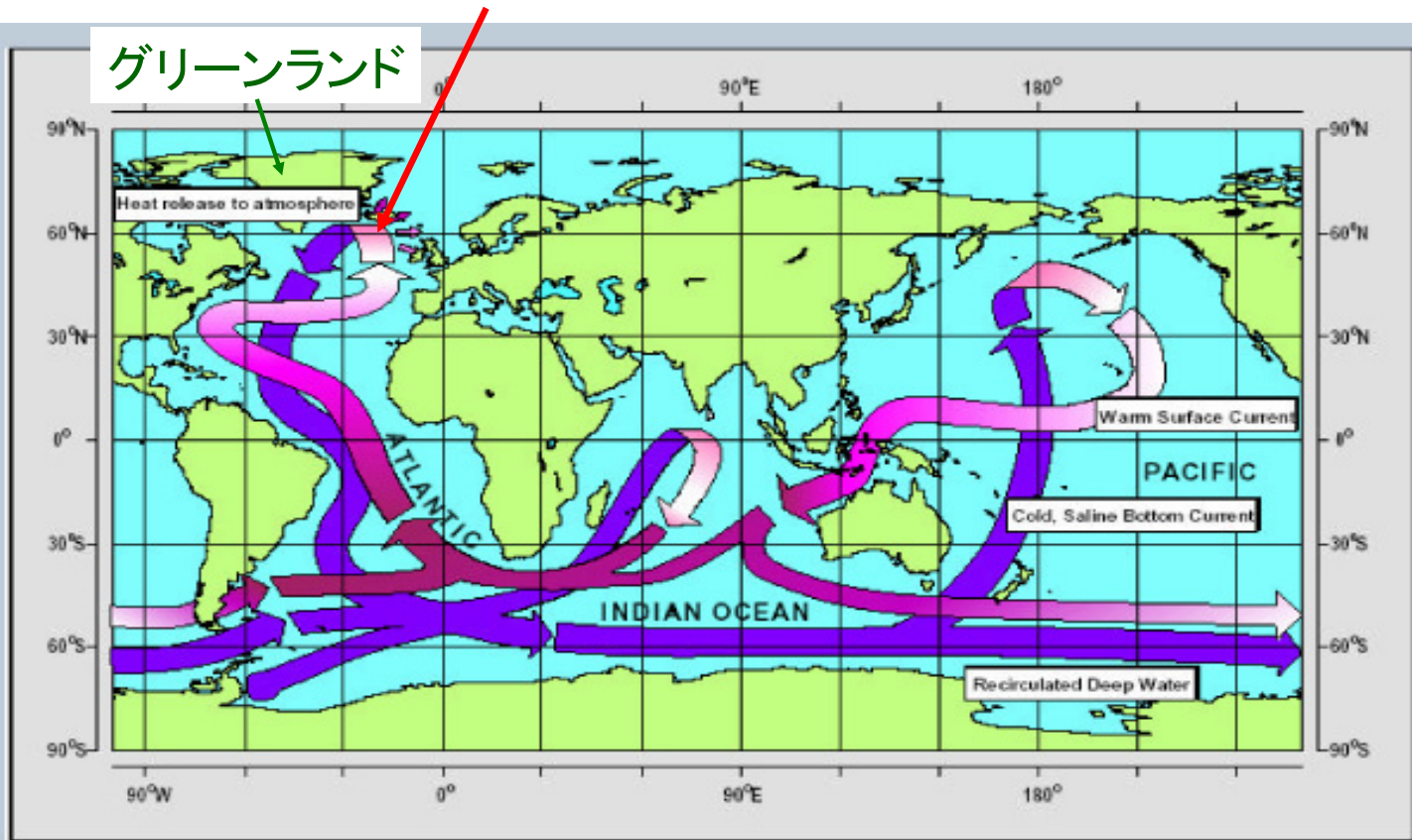


B1シナリオ: 全球平均 1.5°C



局所的な寒
冷化

温暖化で熱塩循環(深層海流)は弱まったか？

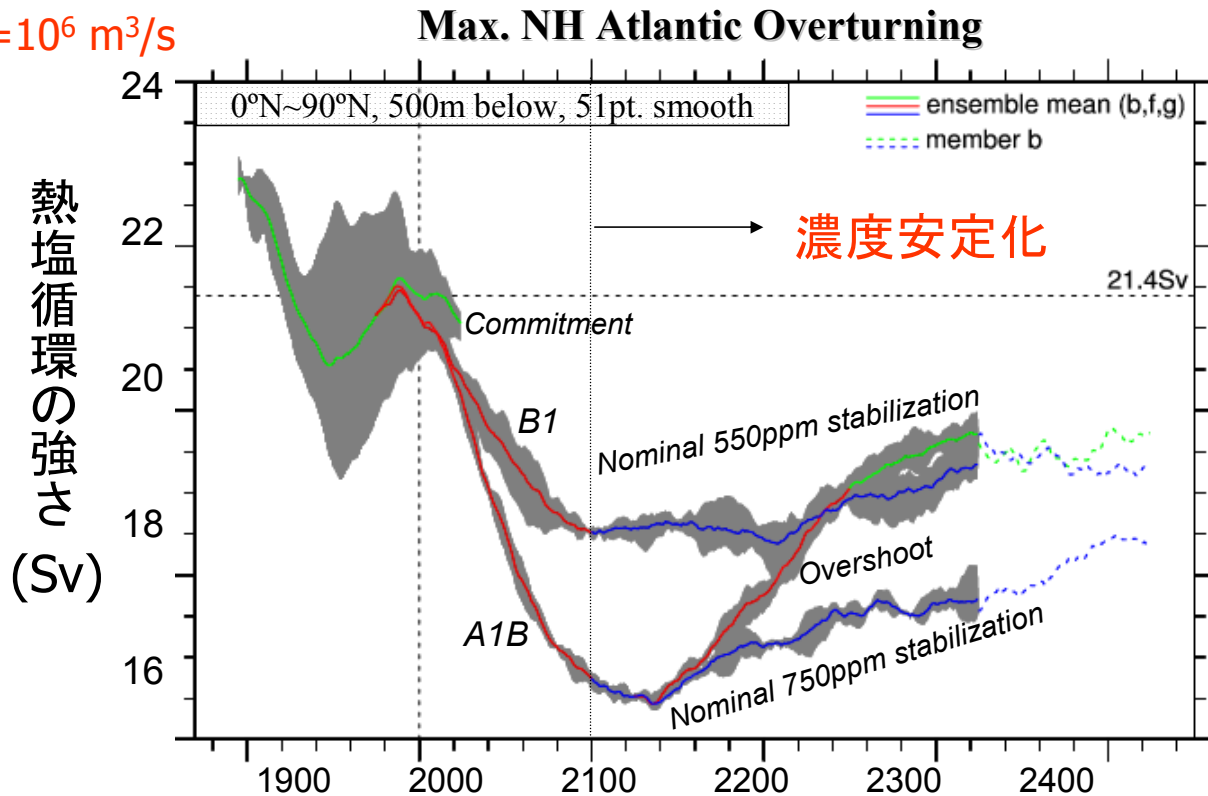


Schematic diagram of the global ocean circulation pathways, the 'conveyor' belt (after W. Broecker, modified by E. Maler-Reimer).

出典: Univ. of Delaware

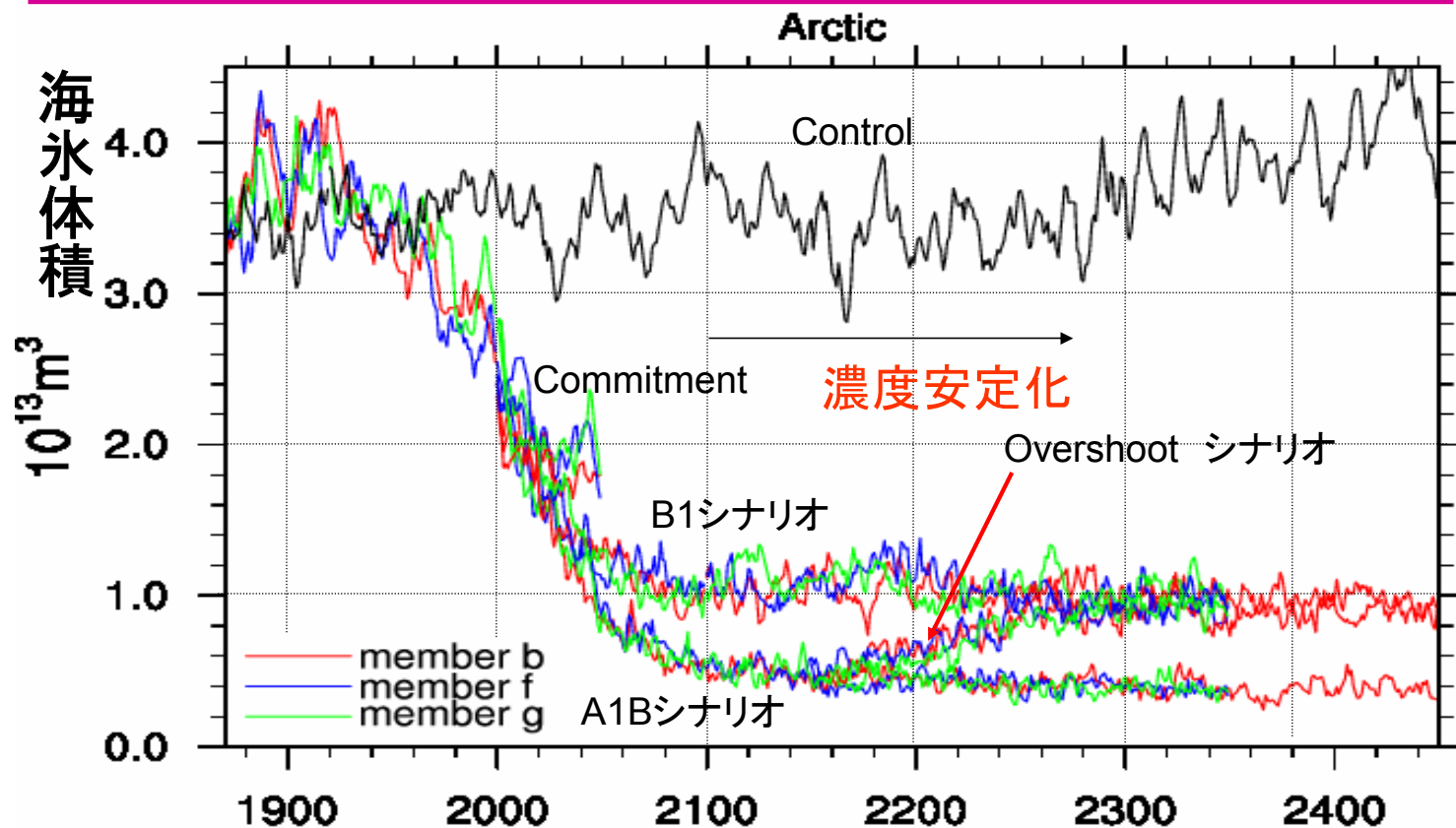
熱塩循環が減少しても大規模な寒冷化は生じない

$Sv = 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$



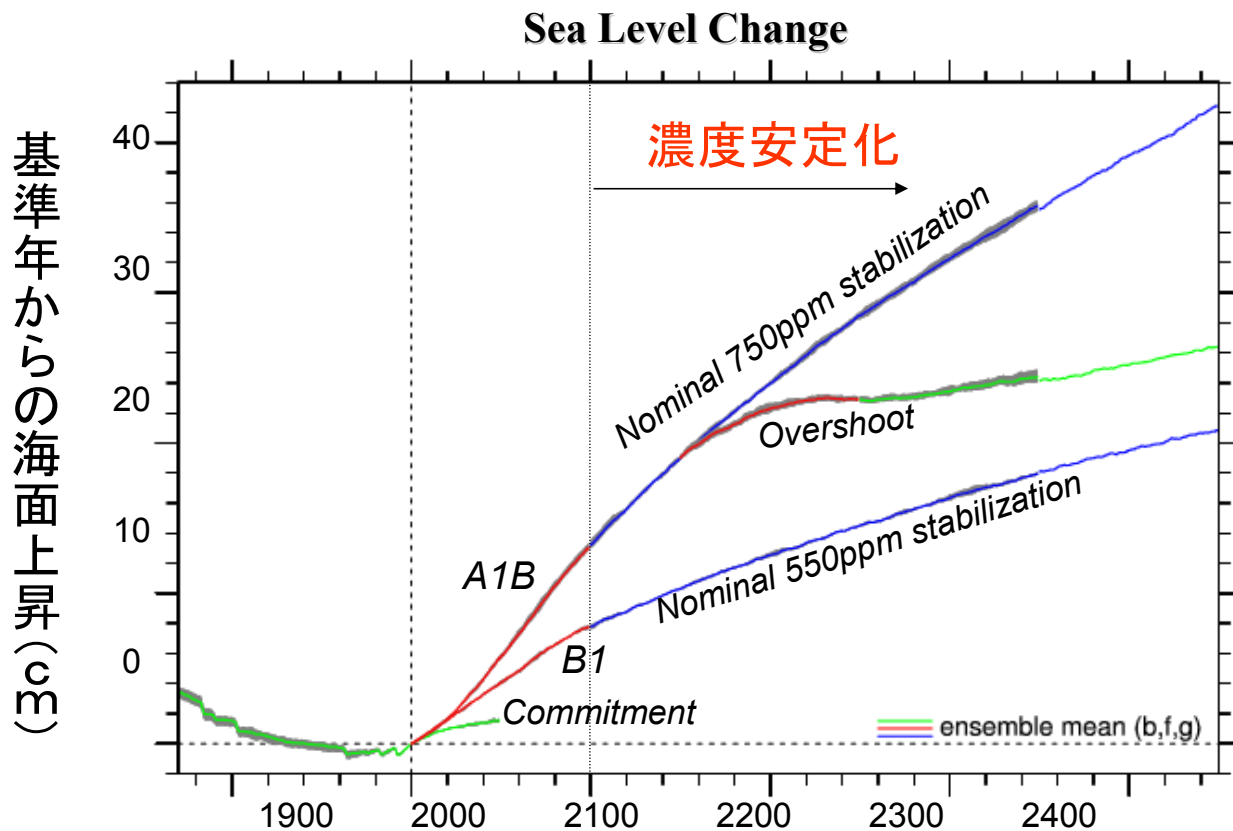
- A1Bシナリオでは、濃度を安定化しても熱塩循環は回復しない
- 濃度を下げれば(Overshoot)、550ppm安定化状態に復元する

北極の海氷体積は安定化後も減少続ける



- A1Bシナリオでは、濃度を安定化しても海氷体積は減少を続ける
- 濃度を下げれば(Overshoot)、(B1+濃度安定化)に復元する

海面上昇(熱膨張)は濃度安定化後も上昇



まとめ

—世界エネルギー政策への示唆—

- A1B+750ppm濃度安定化シナリオでは、海氷の消滅等の“危険な状況”に至る可能性があり、温暖化防止目標としては濃度が高すぎる可能性がある。
- B1+550ppm濃度安定化シナリオは、温暖化防止目標の一つの候補。しかしながら、適切な濃度レベルについては、今後、**判断基準の明確化**が必要。
- 世界規模で削減対策が進まない場合のリスク評価の一環として、Overshootシナリオについても検討を進めておくことが重要。

年度末までの計画

本年度

研究要素	平成14年度	平成15年度	平成16年度	平成17年度	平成18年度
最適ソフトウェアの開発	①要素モデルコードの最適化および性能測定試験		②結合系の最適化	③ポスト処理システムの開発	
大気モデルの高解像度化	①全球モデルの高解像度化（空間解像度150~40km）				
海洋モデルの高解像度化	①全球モデルの高解像度化（空間解像度1/10度） ②太平洋海洋循環モデルの高精度化（空間解像度1/12~36度）				
結合モデルによる温暖化予測	①安定化シナリオの検討		②中解像度モデルによる温暖化予測	③高解像度モデルによる温暖化予測	

IPCC計算終了(8月15日、2004)

年度末までの計画

●予測結果の解析から、①自然変動、②日本北方海域等の海流再現性の向上、が解決すべき最重要課題。

(1) 大気モデルの高解像度化

化学過程を含む新大気モデルWACCM(鉛直解像度向上)の開発・最適化(対流圏・成層圏オゾンと気候の自然変動の検討)

(2) 海洋モデルの高解像度化

全球海洋モデルPOP(1/10)のグリッド歪を改善するため、3極(北半球2極、南半球1極)モデルの開発・最適化(地域レベルの海流再現性の向上)。

(3) 日本海への温暖化影響の検討(九州大学)

温暖化予測結果を解析し、日本海影響を検討するための境界条件を整理。高解像度日本海モデルにより温暖化影響を検討。

(参考) 発表論文等(電中研グループのみ)

(1) 気象学会秋季大会、2004年10月6日	3編
(2) プレス発表、2004年11月29日、	6誌に記事掲載
(3) 月刊エネルギー12月特集号	1編
(3) Journal of climate 特集号 (NCARと共著)	2編
(4) 英文論文 (来年5月までの投稿予定)	7編
(5) 講演	
電中研-CSIRO定期会議 (オーストラリア)	1篇
電気事業連合会 地球環境委員会	1編
原子力委員 (町委員) 説明	1編
電中研主催-環境部門発表会	1編
国際ワークショップ (合同運営委員会)	3編
第2回気候研究発表会 (韓国)	1編
第16回CRIEPI-KEPRI meeting (韓国)	2編
地球温暖化研究イニシアティブシンポ	1編
COP10 side events	現地新聞 2誌掲載
Gordon Research Conference(1月予定、米国)	1編
(6) 著作	
身の回りの危ないことQ&A 丸善株式会社(共著)	1篇
地球環境2004-2005 エネルギーフォーラム社	1編
	計 35編

(参考)各研究機関の予測結果の比較

研究機関	B1シナリオ		A1Bシナリオ	
	気温上昇	降水量	気温上昇	降水量
東大G	3.0°C	5.2%	4.0°C	6.4%
電中研G	1.5°C	3.9%	2.5°C	6.0%
気象研G	1.7°C	4.2%	2.4°C	5.7%

東大グループ : 100km(T106)、海洋約20km(1/4-1/6度)

電中研グループ: 150km(T85)、海洋約100km(1度)

気象研グループ: 270km(T42)、海洋50-200km