


## 地球温暖化は防止できるか

### -地球シミュレータを用いた超長期予測


電力中央研究所 環境科学研究所  
重点プロジェクト課題責任者  
丸山康樹 研究参事

詳細情報は以下のホームページ参照  
<http://criepi.denken.or.jp/env/link.html>



1

## 温暖化(気候変化)の基礎知識



### 気候変化の4つの原因

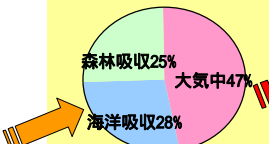
- 太陽エネルギーの変化(地球軌道変化)
- 火山爆発
- CO2等温室効果ガスの変化
- 地球表面(森林伐採、砂漠化)の変化

気候は気象の長期的(10年～30年)な統計量(例えば、夏は冬より統計的には暖かい)。一方、気象要素(雨、晴れ、雪、気圧)の組合せである天気は、大気内部の乱れの影響を強く受けるカオス的な現象(Lorenz,1963)。50日後の天気予報(Forecast)より、50年後の気候変化の予測(Projection)のほうが容易(IPCC AR4, 2007)。

2

## CO2排出量は地球の吸収量を超えている

- ・化石燃料消費
- ・セメント製造
- ・森林伐採



大気中濃度の増加

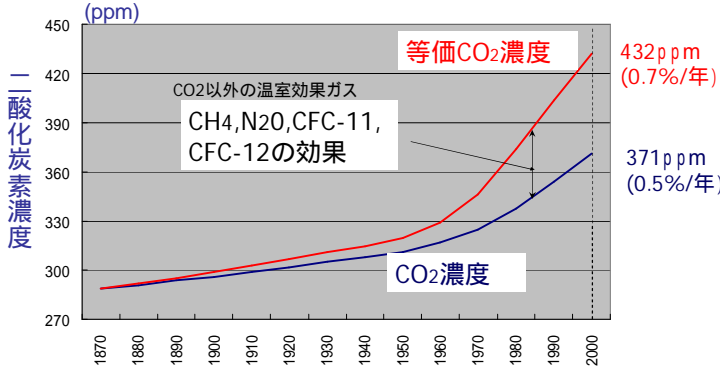
1980年代の収支; IPCC SAR(1996)

世界のCO2排出量 (Gt-C/year) 炭素換算で10億トン/年	
化石燃料、セメント製造等排出	5.5 ± 0.5
土地利用変化(森林伐採等)排出	1.6 ± 1.0
<b>排出量合計</b>	<b>7.1 ± 1.1</b>
陸域生態系の吸収量	1.8 ± 2.0 (25%)
海洋の吸収量	2.0 ± 0.8 (28%)
<b>大気中の残存量</b>	<b>3.3 ± 0.2 (47%)</b>

3

## 等価CO2濃度が気候変化を引き起こす

等価CO2濃度の増加の影響で、様々な気候変化(全球気温上昇、海水融解、凍土融解、海面上昇等)が観測されている。



二酸化炭素濃度 (ppm)

等価CO2濃度: 432 ppm (0.7%/年)

CO2濃度: 371 ppm (0.5%/年)

CO2以外の温室効果ガス (CH4, N2O, CFC-11, CFC-12) の効果

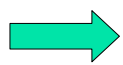
Year

中電協要請研究報告書(2006)

4

## 国連温暖化防止条約の究極の目標

「気候系に対して危険な人為的干渉をおよぼさないような濃度レベル(水準)に大気中の**温室効果ガスの濃度を安定化**させること」である。その濃度レベルは、生態系、食料生産への影響が少なく、持続可能な経済発展とも両立すること、が条件。



はたして、濃度安定化で温暖化を防止できるか？

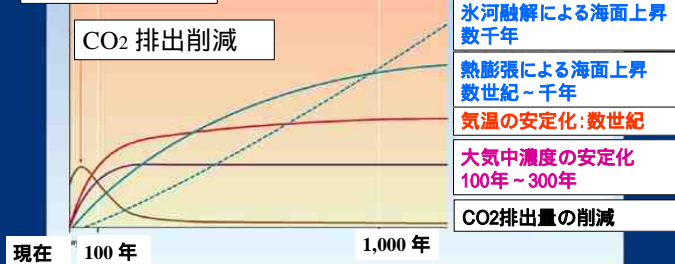
●参考: UNFCCC(1994年発効)の締約国会議(COP)において、京都議定書が1997年12月に採択。2005年2月16日発効。

5

## 予備知識: CO2濃度安定化と気候応答

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



出典: IPCC 統合報告書(2001)

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE



6

## 世界経済が発展するケース

過剰発展と地球温暖化の問題

7

## 濃度安定化の予測に用いたシナリオの特徴

### A1Bシナリオ(中排出世界)

- 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)。
- 再生可能エネルギーへの大幅シフト(アジアの一次エネルギーの約50%)
- 世界経済の地域格差は縮小。

### B1シナリオ(低排出世界)

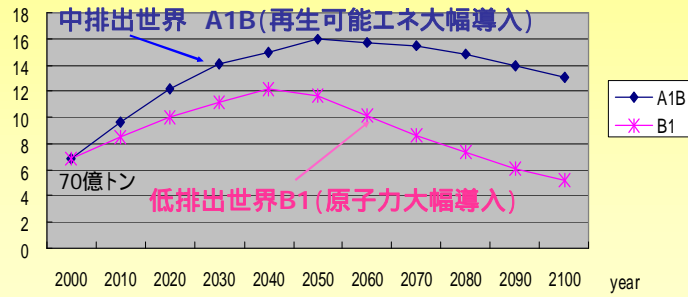
- グローバル化が進む世界
- 低い人口増加率(0.2%)
- 情報・サービス産業中心の経済構造変化(2.5%成長)
- 原子力発電への大幅シフト(アジアの一次エネルギーの約50%)
- 環境の持続可能性を重視

出典: IPCC特別報告書 SRES(2001)

8

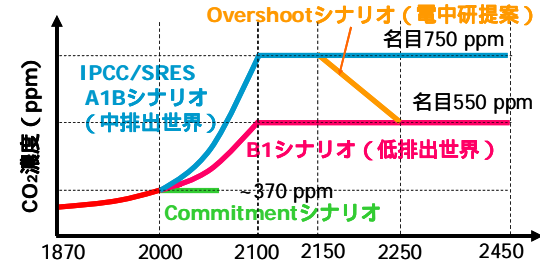
### A1B、B1のCO2排出量の推移(21世紀)

A1BのCO2総排出量(1370 Gt-C)はB1の1.5倍  
Gt-C=炭素換算10億トン



### 排出量から濃度を推定し、2100年で安定化

アンサンブル予測手法を採用



2100年時点のGHG濃度

シナリオ	CO2単独濃度	等価CO2濃度	差
A1B+名目750ppm	689 ppm	860 ppm	171 ppm
B1+名目550ppm	537 ppm	638 ppm	101 ppm

### 地球シミュレータの概要(文科省プロジェクト)

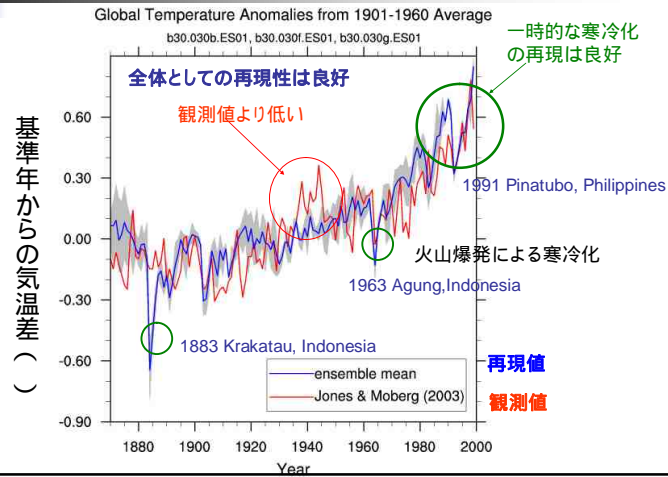
世界最高速クラス:5120CPUの並列ベクトル計算機



電中研グループ専用アクセス端末

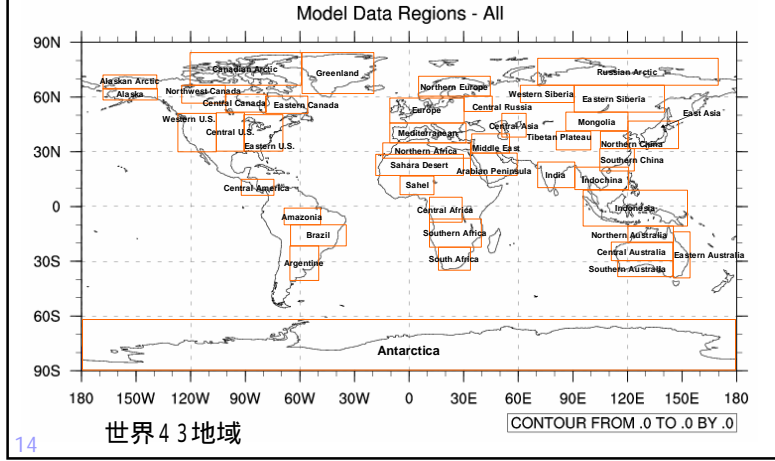
### まず、予測モデルの信頼性は?

# 全球平均気温の再現結果と観測値の比較



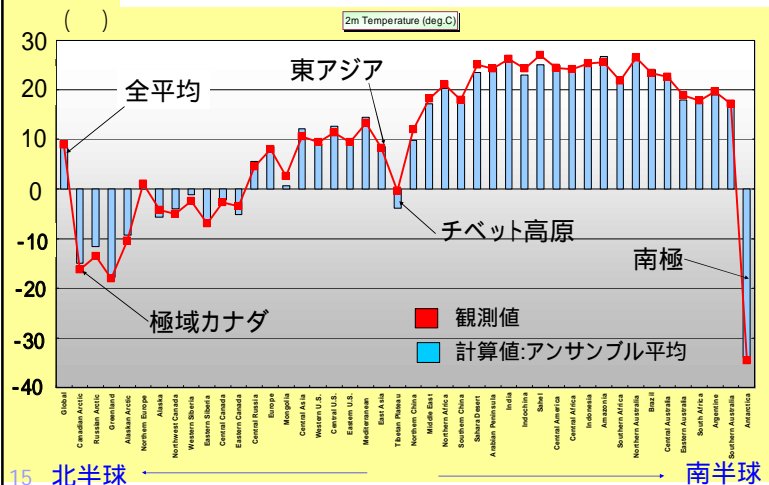
13

# 気候値 (気温、降水量) 比較: 世界43地域



14

# 過去 (1990年代) の気温の再現 (10年平均)

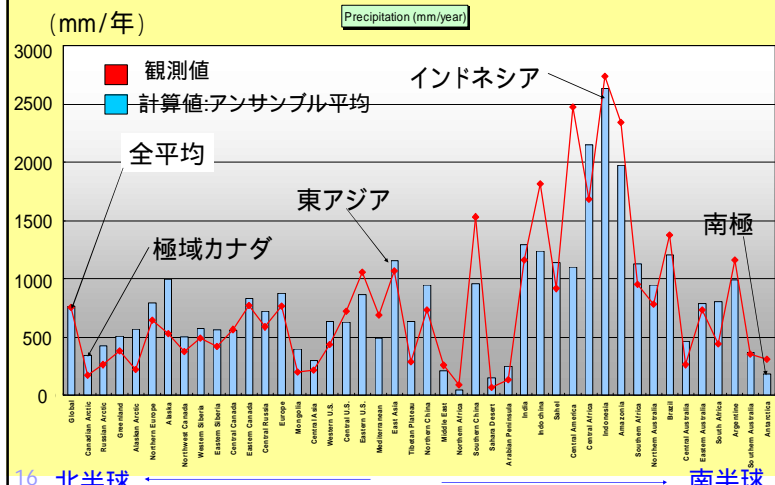


15

北半球

南半球

# 過去 (1990年代) の降水量の再現 (10年平均)



16

北半球

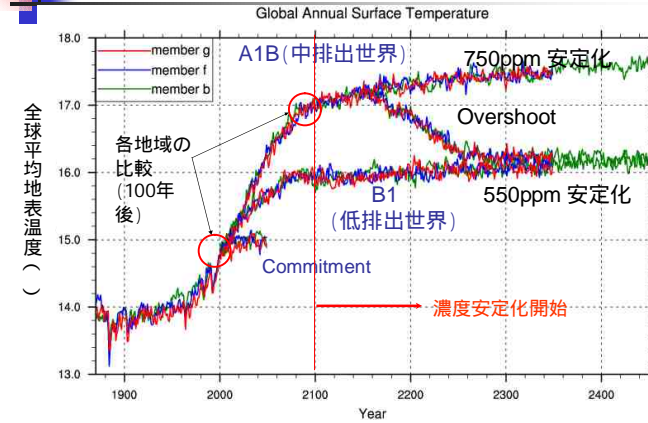
南半球

## 温暖化予測結果 -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
- ▶ 高緯度地域の凍土融解
- ▶ 北極海の海水変化
- ▶ 熱塩循環の減少

17

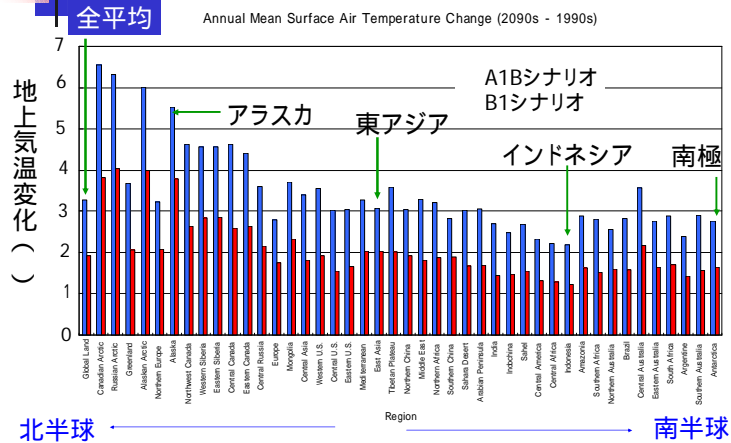
## 濃度安定化シナリオの温暖化防止効果



濃度を安定化しても気温上昇は長期間継続する(気温は高いまま)  
Overshootシナリオでは気温低下( 気候復元性の示唆) (AR4 SPMと同じ)

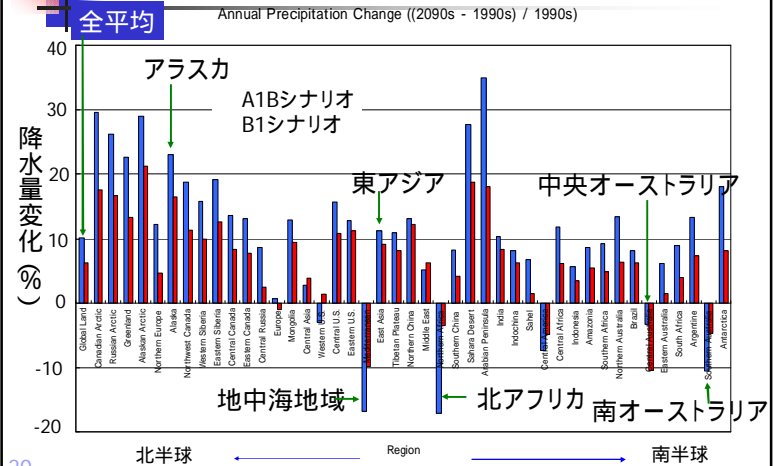
18

## 世界各地の100年後の気温変化( )



19

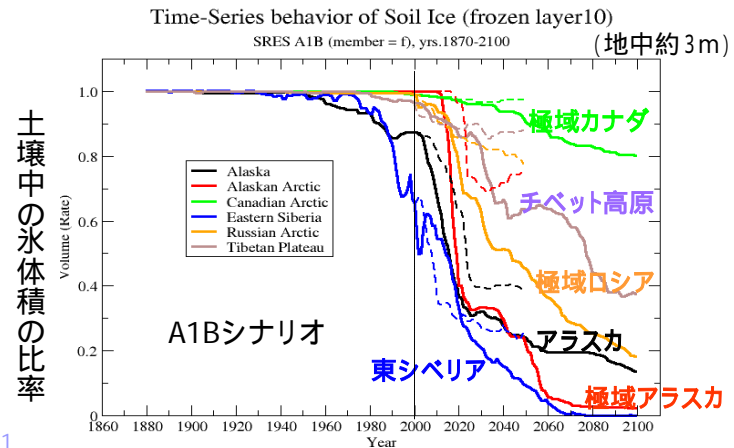
## 世界各地の100年後の降水量変化(%)



20

## 高緯度地域の凍土融解(予測)

(AR4 SPMと同じ)



21

## 凍土融解と建物被害の現状



Building damaged due to permafrost thawing in Chersky (low Kolima River), Russia.

無対策の被害例: ロシア



BP operations center, Prudhoe Bay, Alaska, built on pilings to resist damage from thawing permafrost.

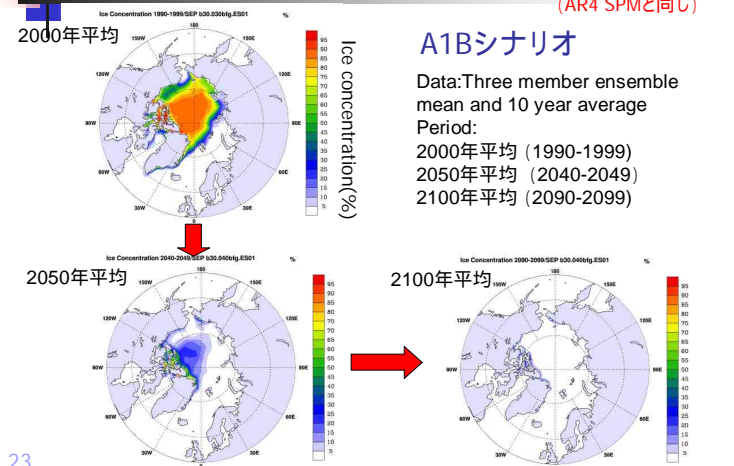
凍土融解を想定し、支持杭の上に軽量建屋を建設: 被害無し(アラスカ)

出典: Impacts of a warming arctic, Arctic Climate Impact Assessment, 2004, Cambridge University Press.

22

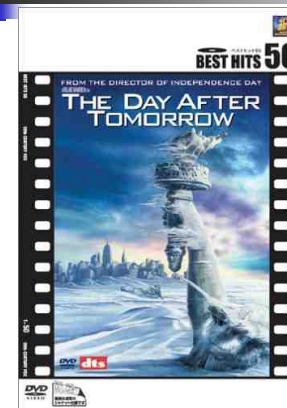
## 北極海の海水は2100年の夏季(9月)に消滅

(AR4 SPMと同じ)



23

## 温暖化によって寒冷化が発生するか?



熱塩循環の減少と寒冷化の関係

(出典: 20<sup>th</sup> Fox, ローランド・エメリッヒ監督, 2004)

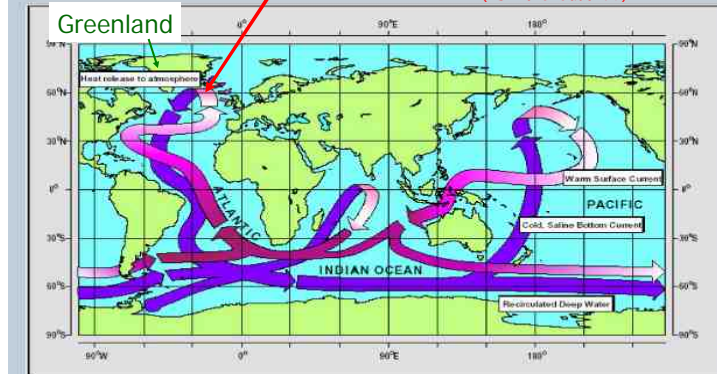
24



## 熱塩循環の構造 (コンベアーベルト)

MOC: Meridional Overturning Circulation

(子午面循環)



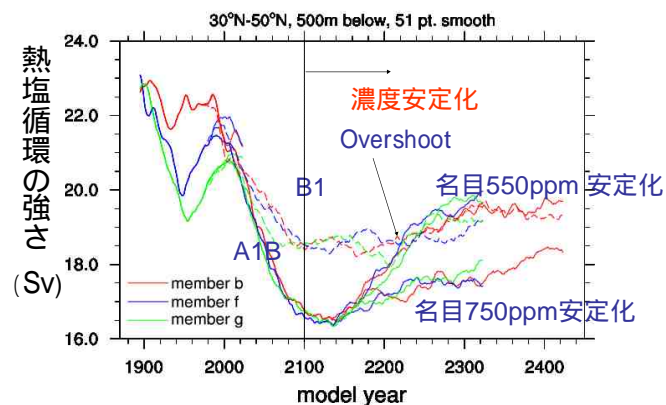
Schematic diagram of the global ocean circulation pathways, the 'conveyor belt' (after W. Broecker, modified by E. Maier-Reimer).

Source: Univ. of Delaware

25

## MOCは減少するが安定化で歯止め

(単位: Sv =  $10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ )

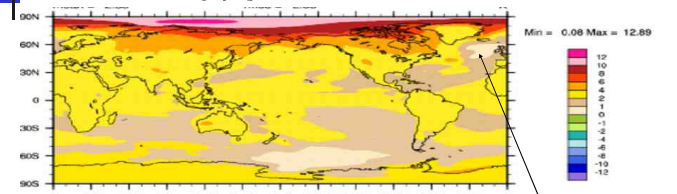


26

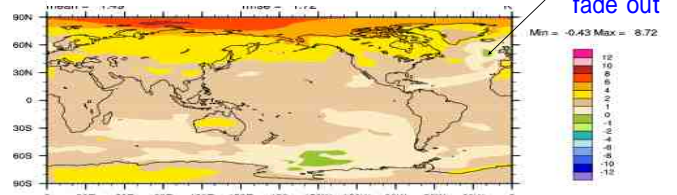
## MOCは減少するが、氷河期は来ない

A1Bシナリオ: 全球平均 2.5

(AR4 SPMと同じ)



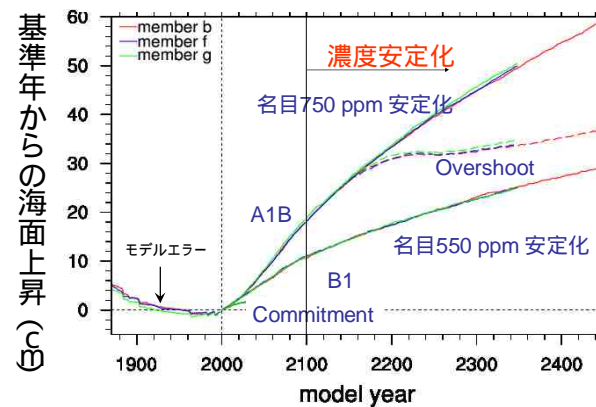
B1シナリオ: 全球平均 1.5



27

## 海面上昇 (熱膨張) は濃度安定化後も継続

(AR4 SPMと同じ)



28

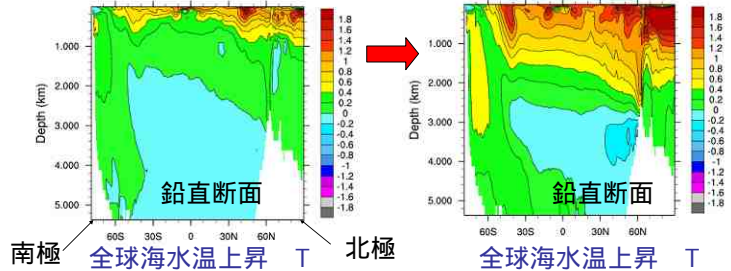
## 長期的な海水温度の上昇: 効果が少ない理由

全球海水温は濃度安定化後も増加続ける

濃度安定化時 (75年後)

濃度安定化後 (150年経過)

TEMP b30.025.ES01 [475-484] AVE - b30.025.ES01 [401-410] AVE TEMP b30.025a.ES01 [620-629] AVE - b30.025.ES01 [401-410] AVE



(年率1%増加予測計算)

29

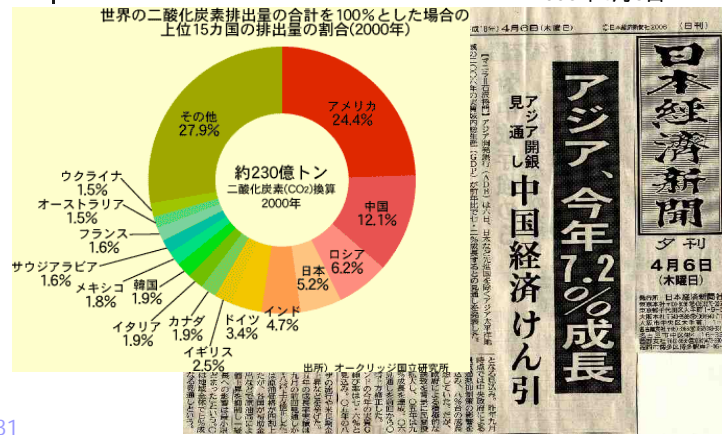
## 世界経済が停滞したケース

貧困と地球温暖化の問題

30

## 中国の急激な経済成長はいつまで続く？

2006年4月6日



31

## IPCC (2001): 高排出世界A2シナリオの特徴

中排出世界 グローバル化(地域格差縮小) 低排出世界

**A1Bシナリオ**  
高成長(3%/年)  
再生可能エネ導入  
人口は伸びない

**B1シナリオ**  
経済のサービス化(2.5%/年)  
原子力大幅導入、  
人口は伸びない

環境の持続可能性重視

**A2シナリオ**  
成長は鈍化する  
低効率、石炭大幅利用  
人口は2.4倍に  
(中国経済の失速?)

**B2シナリオ**  
低成長  
地域的多様性  
人口は1.7倍に

IPCC SRES(2001)

32



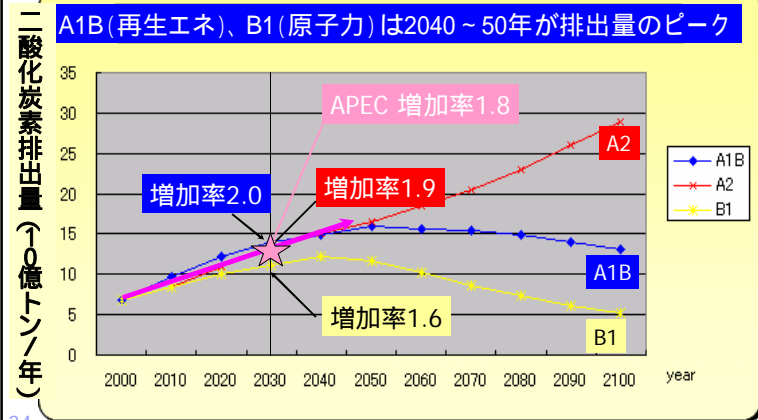
### 評価: 現実世界のエネルギー需給動向



APEC (アジア太平洋  
経済協力会議) 21  
カ国

33 (出典)(財)エネルギー経済研究所 Asia Pacific Energy Research Center

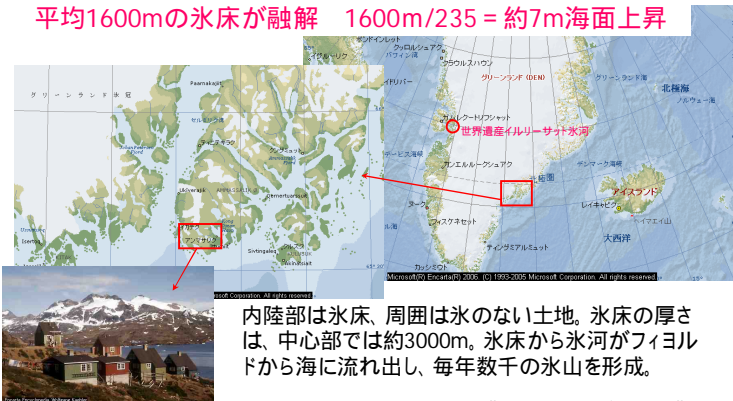
### 温暖化の危険水準は今後10年でほぼ決まる



34

### グリーンランドの地形と氷床(GIS)の特徴

地球全体の表面積の約1/235、 T = 5 ~ 6 (数世紀継続)  
平均1600mの氷床が融解 1600m/235 = 約7m海面上昇

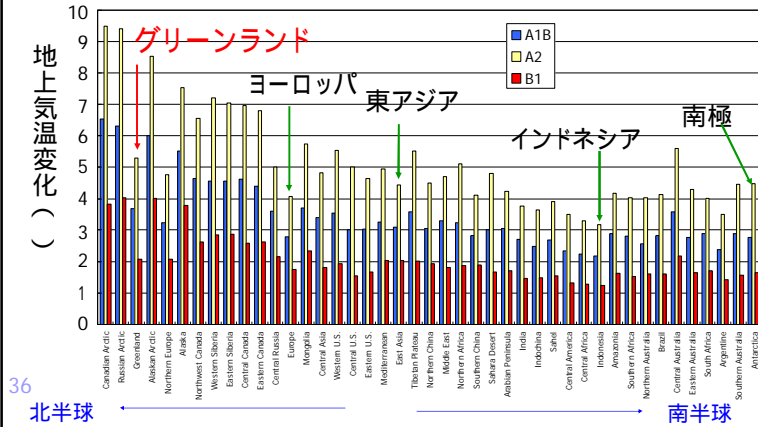


内陸部は氷床、周囲は氷のない土地。氷床の厚さは、中心部では約3000m、氷床から氷河がフィヨルドから海に流れ出し、毎年数千の氷山を形成。

35 アンマサリク (出典: エンカルタ総合百科事典2006)

### 3つのシナリオの100年後気温上昇( )

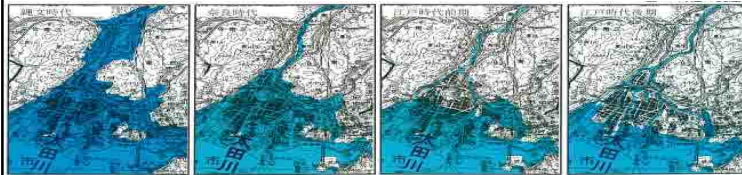
A2では、GIS融解の閾値(5~6 上昇)を超える可能性あり



36

## GIS融解の海面上昇で広島市は水没の危険

(出典:国土交通省中国地方整備局大田川河川事務所)



縄文時代 奈良時代 江戸時代前期 江戸時代後期



広島市は縄文期から干拓で形成。縄文時代は、海進期と呼ばれ、海面は今より5～6mも高かった。

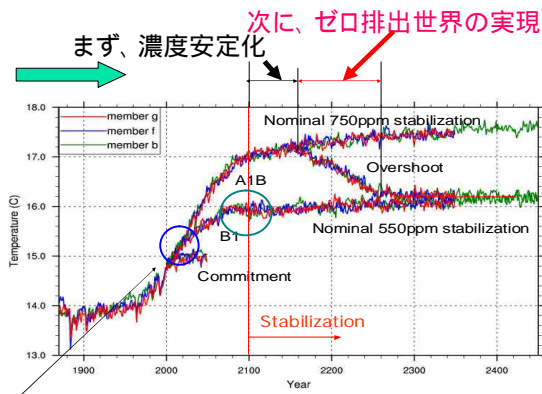
手詰まりの地球温暖化問題の解決に向けて:  
(GHG削減が進まなかったときのリスクに備える)

## ゼロエミッション世界の実現と適応 (Adaptation)

気象・気候災害のリスク管理とは:  
事前: 災害予知技術、災害発生確率評価  
最中: 災害対応策(避難、減災、防災)  
事後: 災害復旧対策

## 温暖化影響の科学的評価のねらい

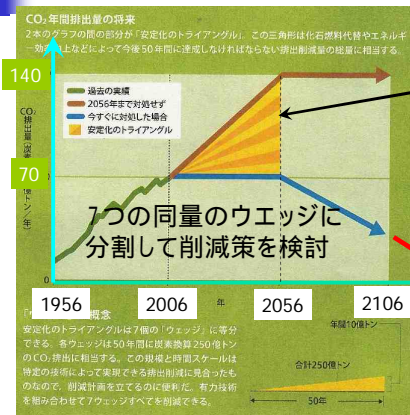
気候が復元し、危険な影響を防止できるか?



削減効果の遅れによる不可避免的な気候変化への適応

## 濃度安定化の一例(セクター毎の検討)

二酸化炭素排出量(億トン/年)

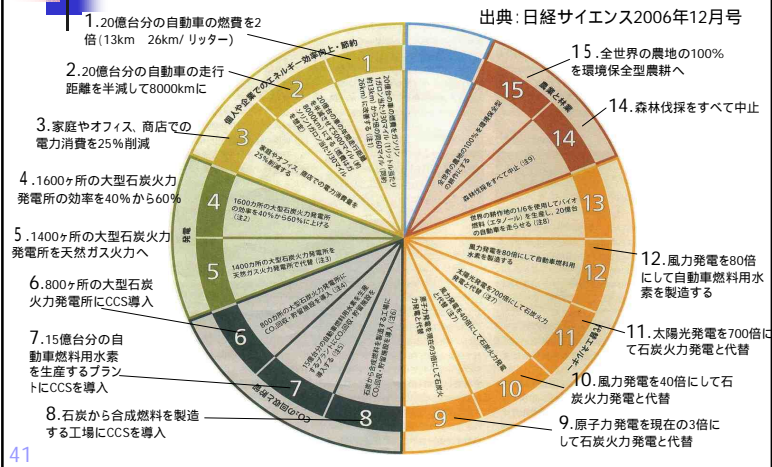


50年間は2006年の排出量に凍結する。  
7つに分割した排出量を削減する方法を具体的に考える

ゼロ排出世界(150年後)

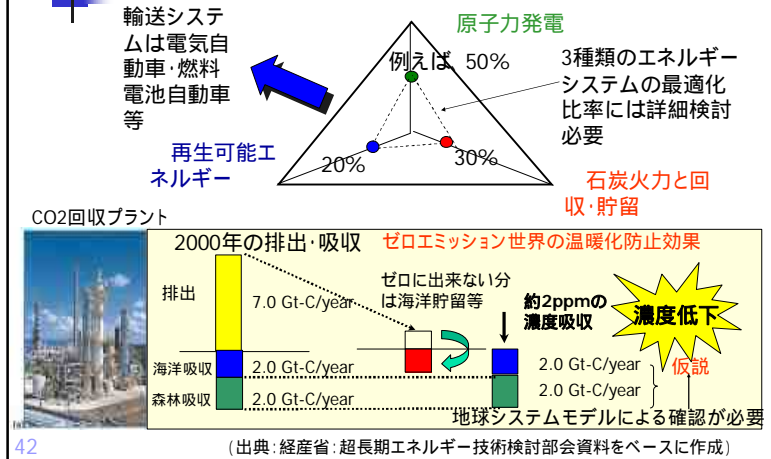
出典: 日経サイエンス2006年12月号 (原典: Socolow and Pacala, 2006)

## 1つのウェッジ分のCO2を削減する15の方策



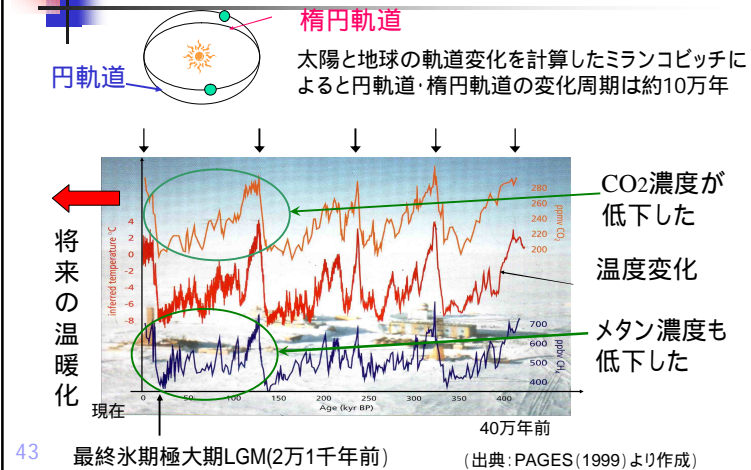
41

## ゼロ排出世界の実現は技術的可能性あり



42

## 科学的疑問: ゼロ排出世界で気候が復元するか?



43

## 市民レベルでの問題は?

### 2002年度の我国の排出量は増加傾向

	1990年(基準年)比
総排出量(CO2、その他ガス)	+7.6%
産業部門(*)	1.7%
運輸部門(*)	+20.4%
家庭部門(*)	+28.8%
業務その他部門(*)	+36.7%

(\*)CO2のみの排出量(全排出量の約90%)

出展: 「今後の地球温暖化対策について、京都議定書目標達成計画の策定に向けたとりまとめ」、経産省、産業構造審議会環境部会地球環境小委員会、平成17年3月14日

44

## まとめ

- 温室効果ガスの大気中濃度を安定化しても気候は変化を続ける。

### 今後の対応は

- まず、大幅削減で濃度安定化を達成。次に、GIS融解などの危険な影響を避けるため、**ゼロ排出世界**の実現を目指すことが重要。
- 同時に、削減効果の遅れによる不可避的な気候変化による影響を軽減するため、**適応策**の検討が重要。

45

## おわり



46