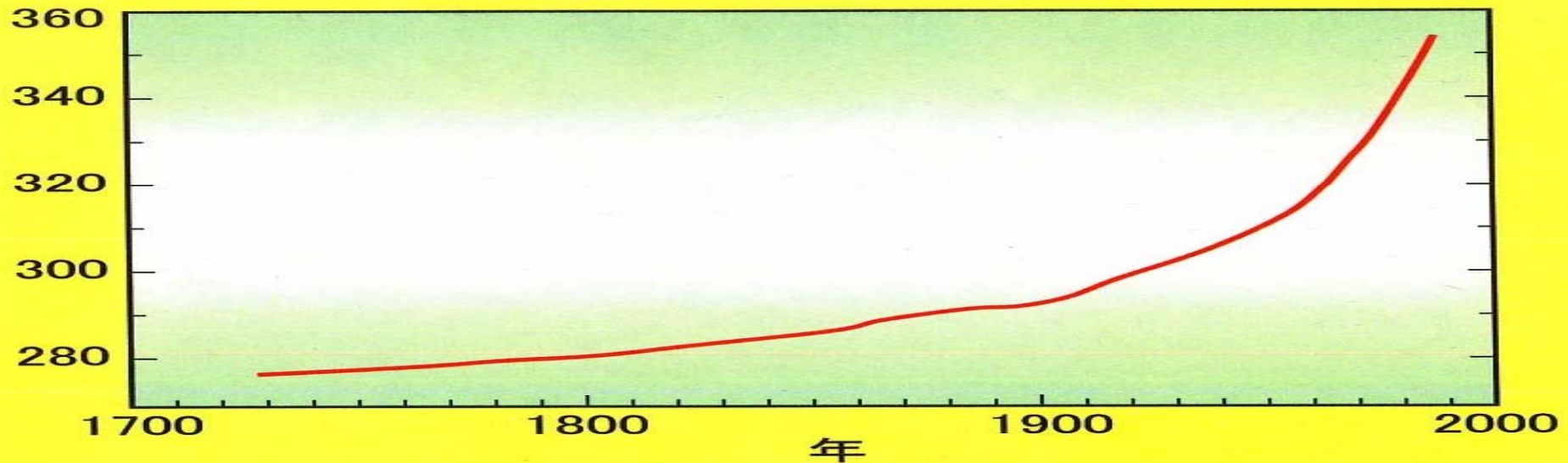


# 地球温暖化に対する 海洋の変化とフィードバック

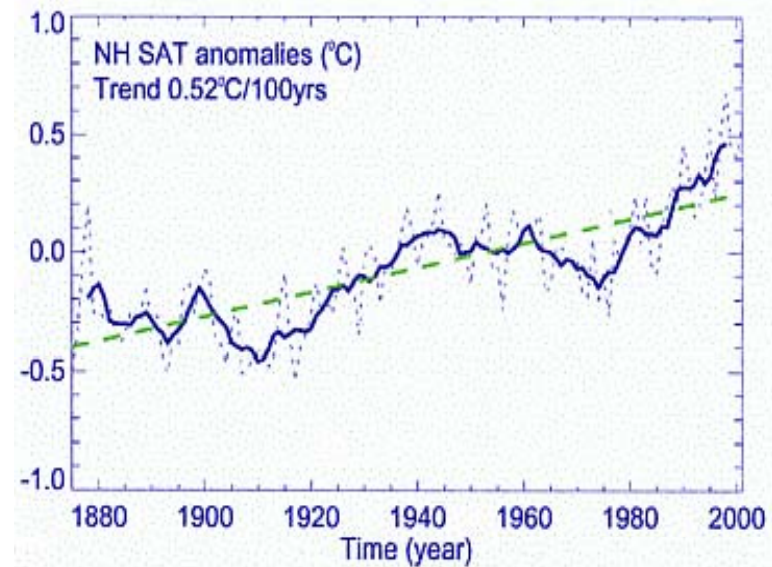
- ・ 池田元美: 3月まで北大環境科学学院で教育
- ・ 地球環境は破壊されつつある
- ・ 二酸化炭素→地球温暖化→海面上昇、熱帯性風土病、異常気象、降水量変化
- ・ CO<sub>2</sub>は70年で倍増
- ・ CO<sub>2</sub>排出を減らすためにはどうするか？
- ・ 種々の疑問と反対意見
- ・ 多くの人を説得: 温暖化の重大性と緊急性
- ・ 科学性に裏打ちされた説明

## 炭酸ガス濃度 (100万分の1)



## 地球温暖化の進行

二酸化炭素は産業革命以来段々と増加し、21世紀末に現在の2倍になるであろう。気温は自然変動しながら、上昇しつつある。



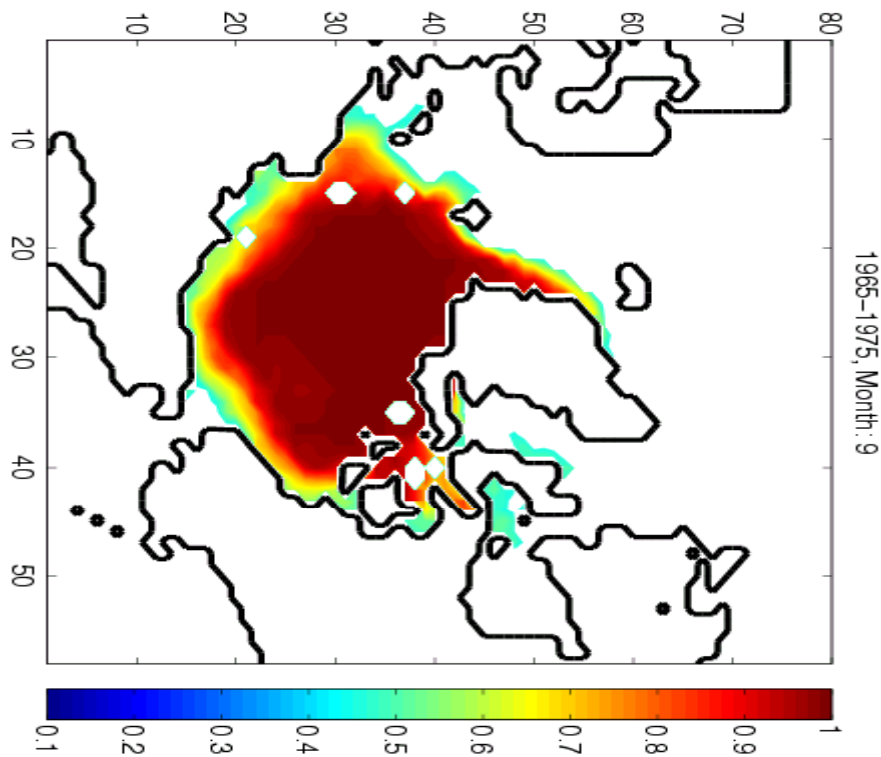
北半球平均気温

# 最近30年の海氷減少

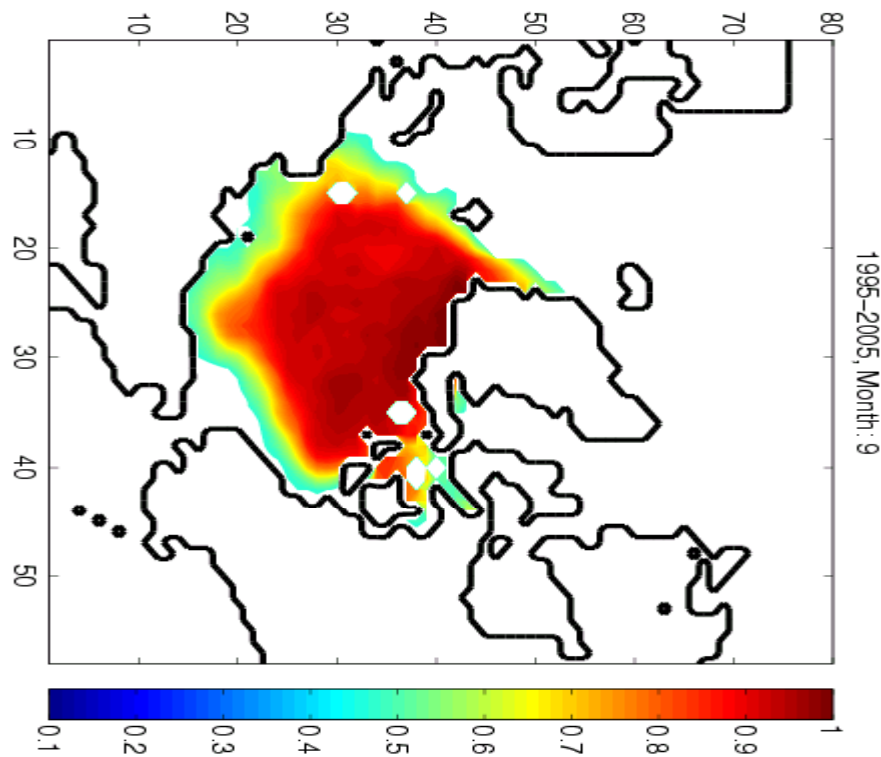
氷は太陽光を反射、雲の増加、太平洋側で減少

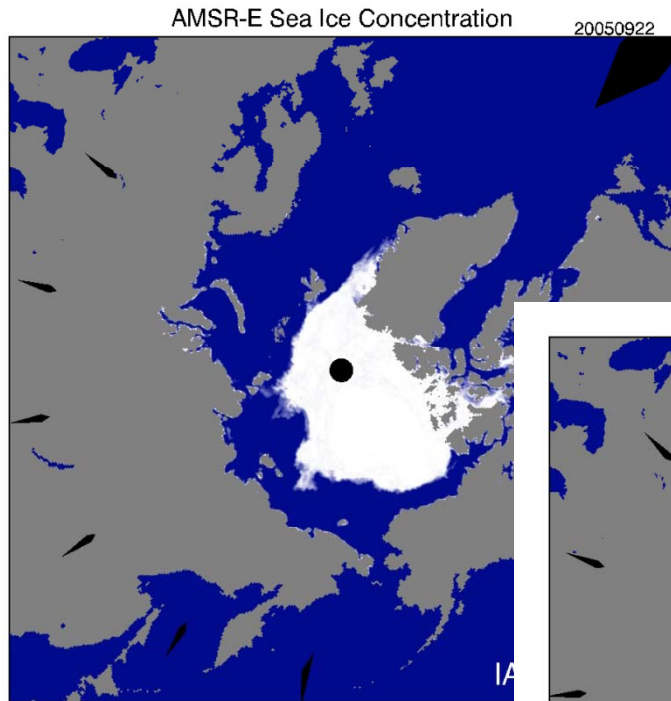
Ikeda et al. (J. Met. Soc. Japan, 2003)

1965-75, Sep



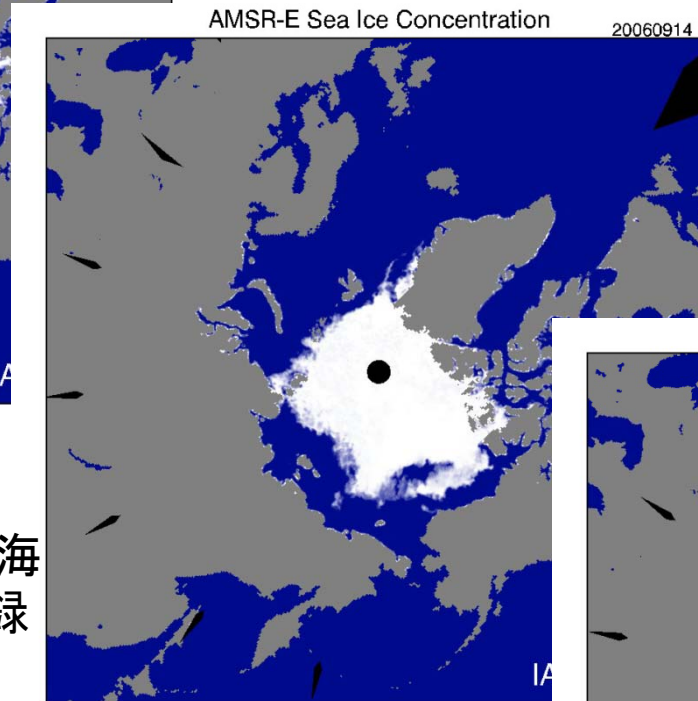
1995-2005, Sep





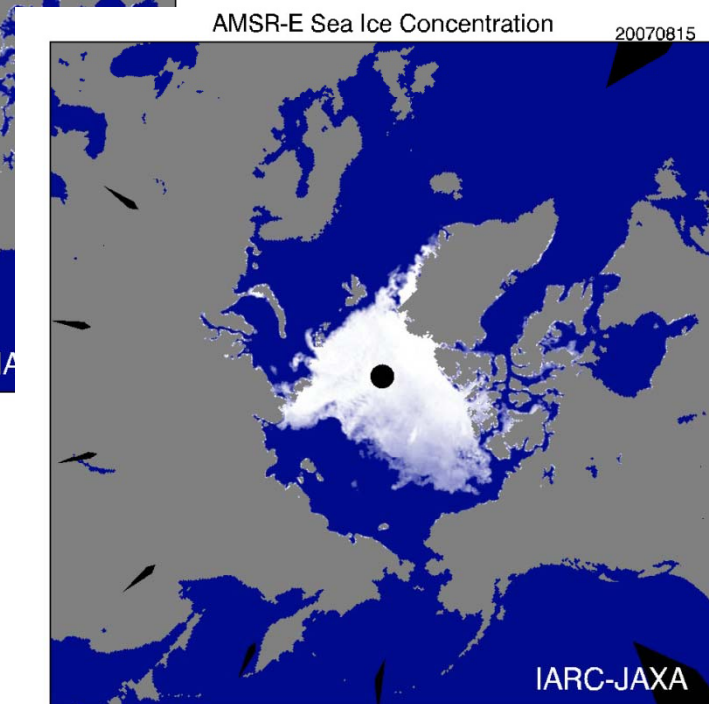
2005

7月以降、各月日の北極海での海氷面積の最小記録を継続して更新している



2006

8月15日北極海全域での海氷面積が観測史上最小になった



2007

このままのペースで減少が続けば、IPCCの予測を大幅に上回り、2040-2050年の予測値に達する可能性がある

IPCC予測より38年も早い!?  
経年変動があるのに  
誤解を与える表現です!

# クイズ

温暖化が進むと海面が上昇します。それは

(あ) 海水が熱で膨張する

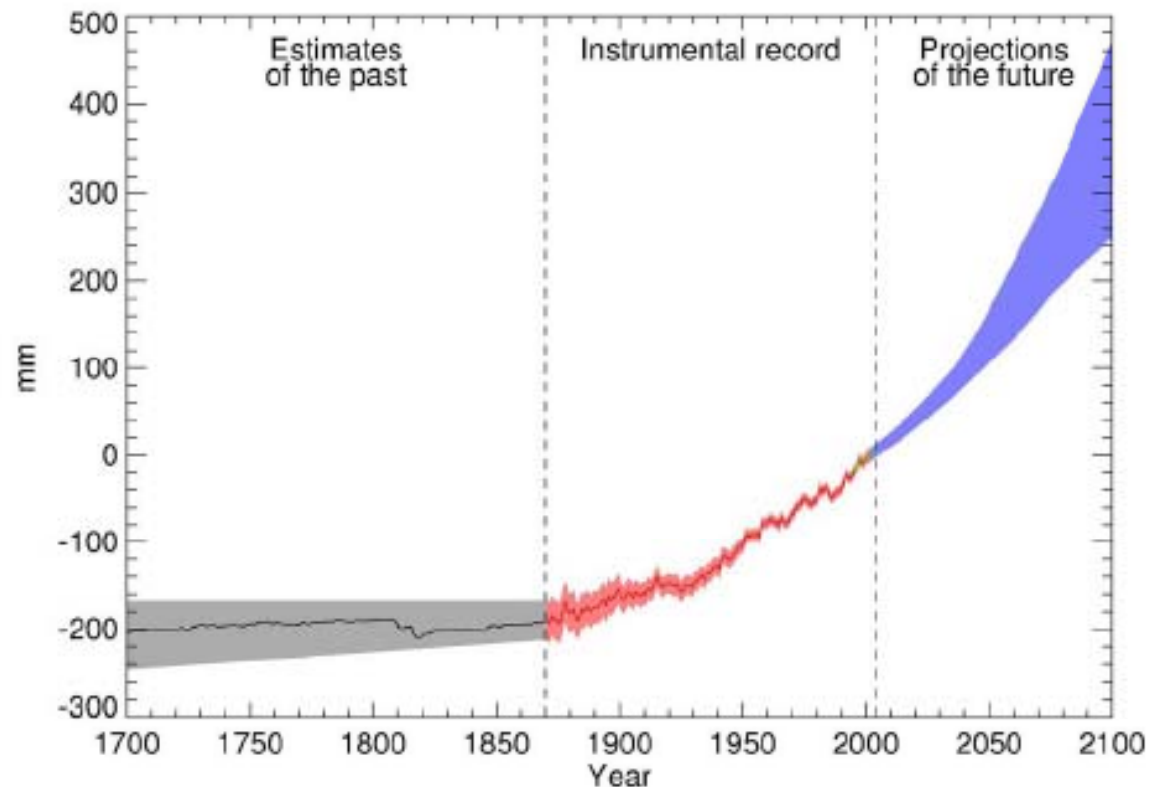
(い) 北極海の氷が解ける

(う) 南極大陸の氷が解ける

ためです。

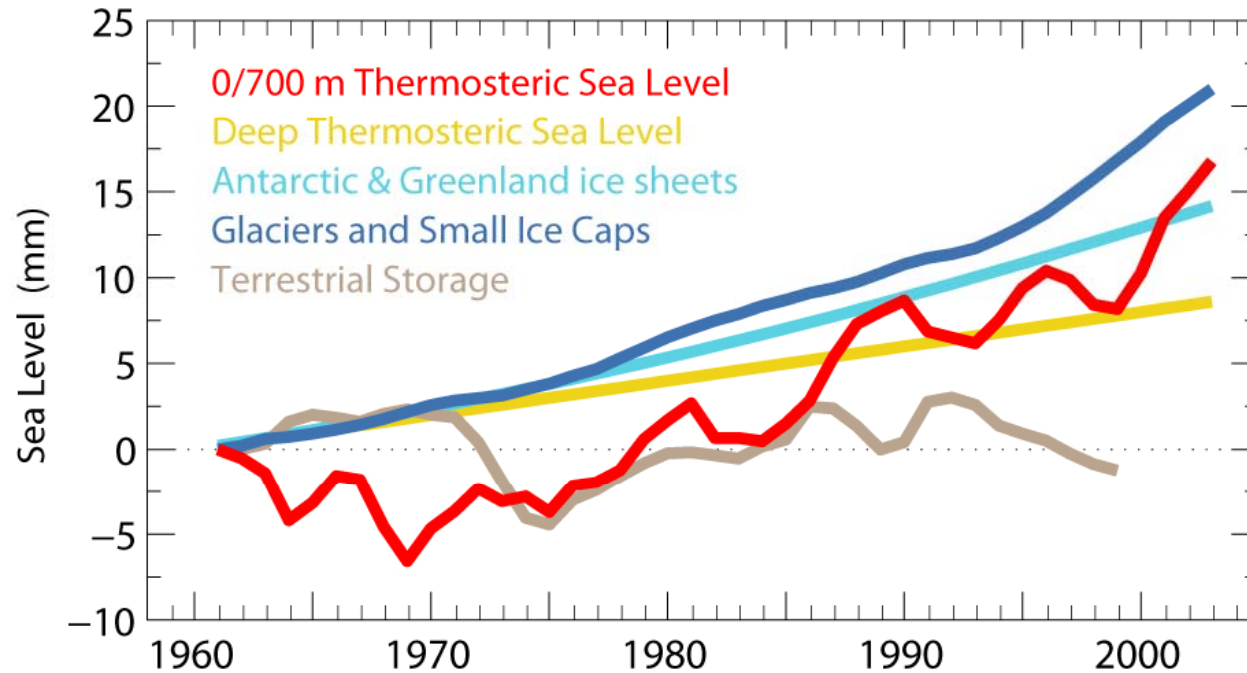
正解 (あ)

# 将来の海面上昇はどのくらい？



Question 5.1, Figure 1. Time-series of global mean sea level in the past and future, relative to zero in 2001. For the period before 1870, we do not have global measurements of sea level. The solid line here is a climate model calculation (Gregory et al., 2006) of sea level change due to natural factors (volcanic and solar variability) and anthropogenic factors; the rather sudden fall early in the 19th century is mainly due to the eruption of Tambora in 1815. The grey shading shows the uncertainty on the estimated long-term rate of sea level change (see Chapter 6, Section 6.4.3). We show a reconstruction of global mean sea-level from tide gauges (Church and White, 2006, Section 5.5.2.1) for 1870-2001, with uncertainties shown by shading, and from satellite altimetry (Cazenave and Nerem, 2004, Section 5.5.2.2) for 1993-2004, both as annual means. For the future we indicate the range of uncertainty due to different choices of emission scenario (see Chapter 10, Section 10.6.5). Beyond 2100 the projections are increasingly dependent on the scenario. Over many centuries or millennia, sea level could rise by several metres (see Chapter 10, Section 10.7.3).

# 海面上昇の各成分



Deep ocean (Antonov et al., GRL, 2005; Kohl et al., JPO, 2007).

Ice sheets (linearly increases towards the 1990s estimates, as compiled in Lemke et al., IPCC, 2007)

Glacier and small-ice caps (Dyurgerov and Meier, 2004).

Terrestrial storage (Ngo-Duc et al., GRL, 2005).

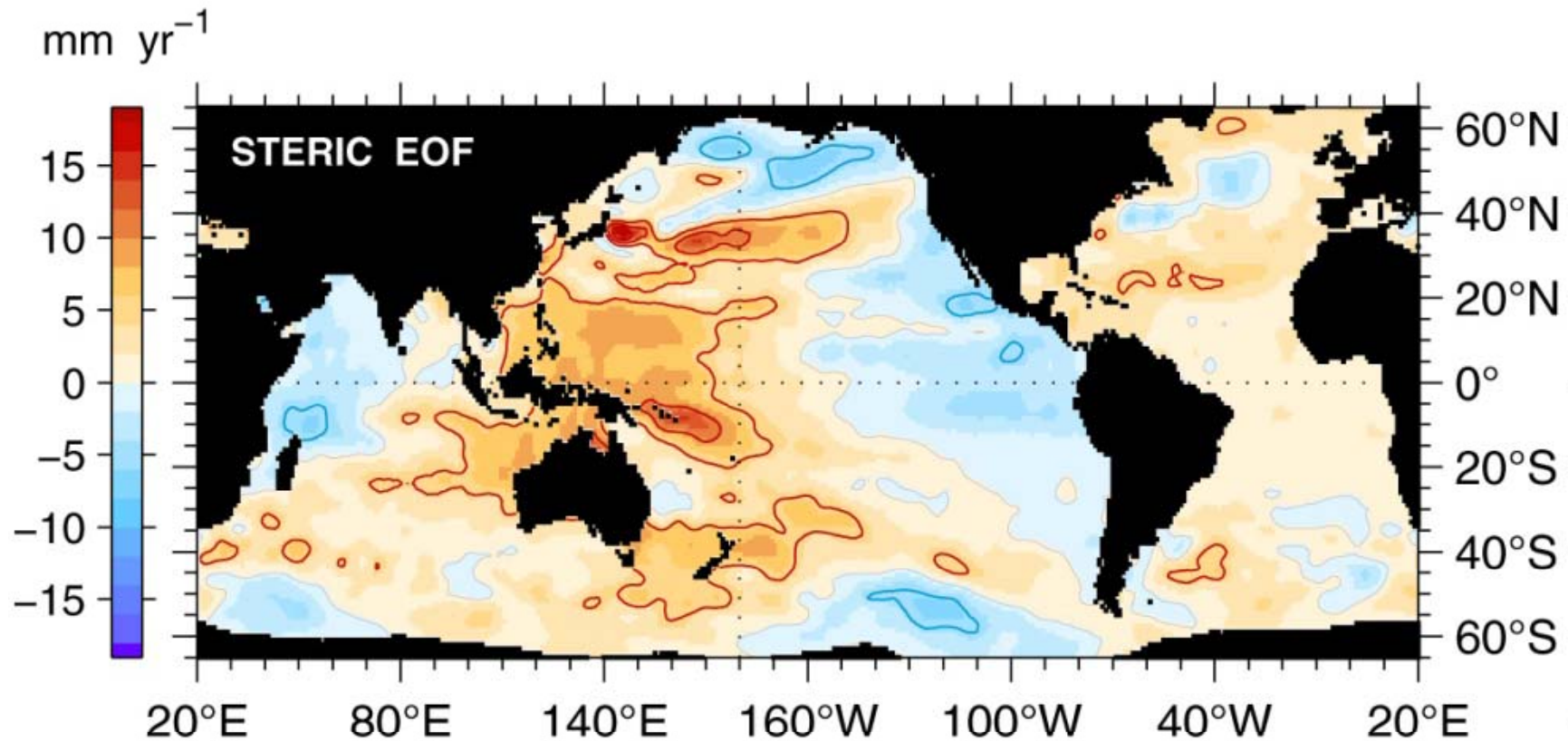
しかし、最近の研究で  
「グリーンランドの氷床が  
これまでの予想以上の速さで  
融けている」といわれた

100年で1mの海面上昇？

まだ確かめられていないが  
地球環境科学は次々に新しい発見が

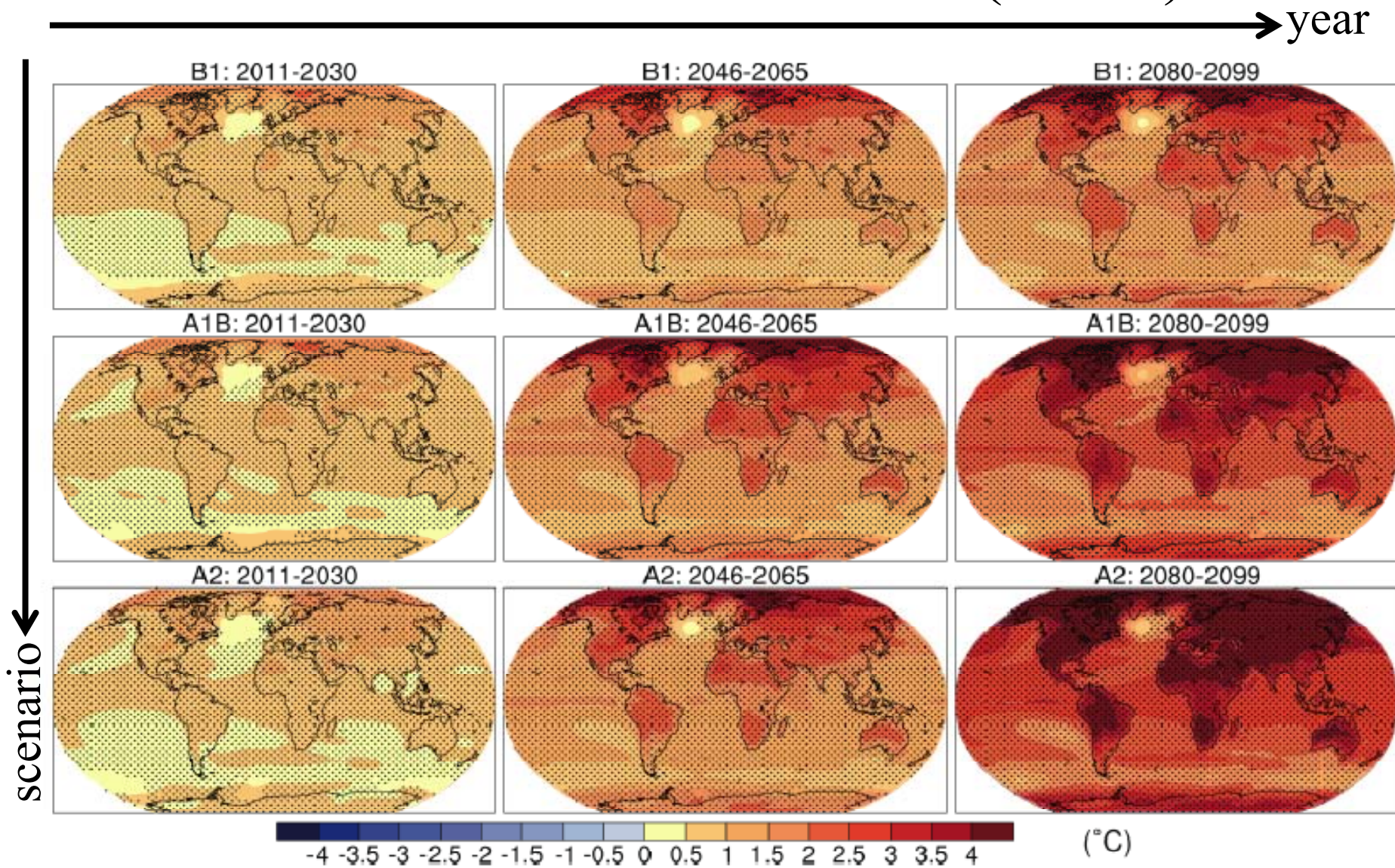


# 最近10年の海面上昇率



Pattern of global steric height increase for the period 1993 – 2003, from Domingues *et al.* (2006).

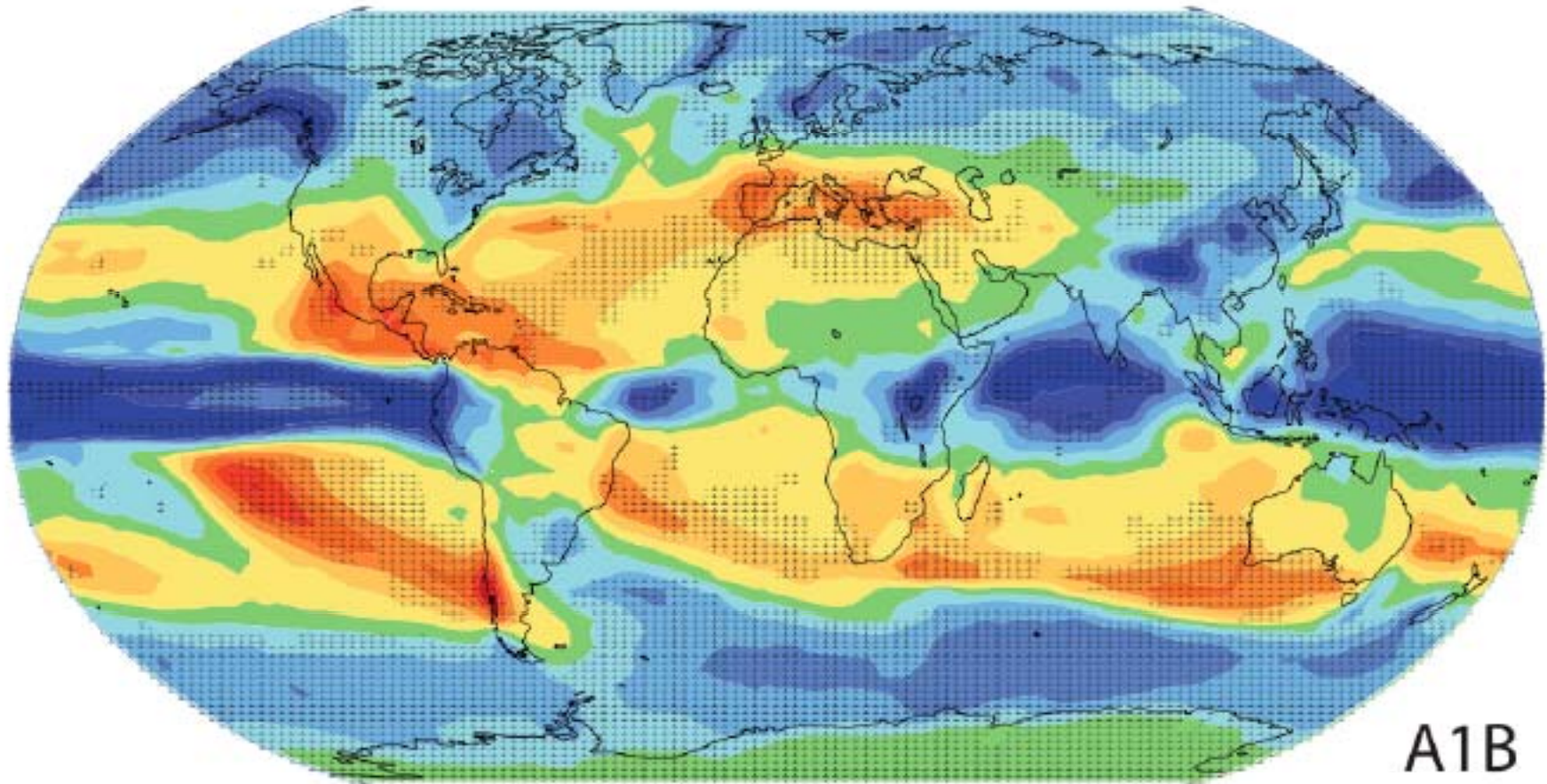
# モデルによる地球温暖化予測 (IPCC)



気温予測は将来選択に重要

# 雨の降り方が変わる

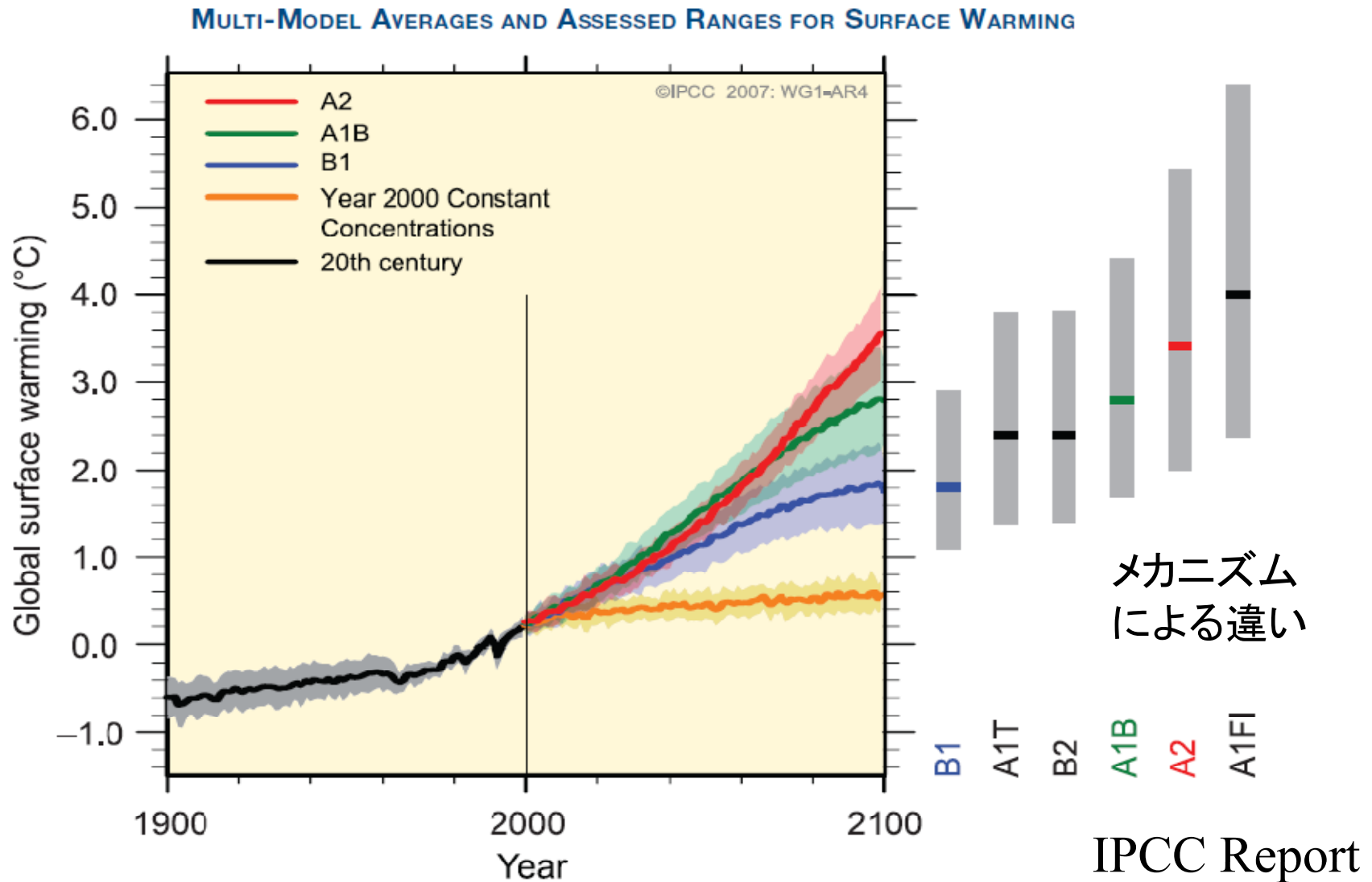
2080-2099



-0.5 -0.4 -0.3 -0.2 -0.1 0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5

Annual Mean Precipitation Change (mm/day)

# 21世紀の全地球平均気温上昇は1°Cから6°Cまで幅



不確定性はシナリオ、そしてモデル中のメカニズムによる

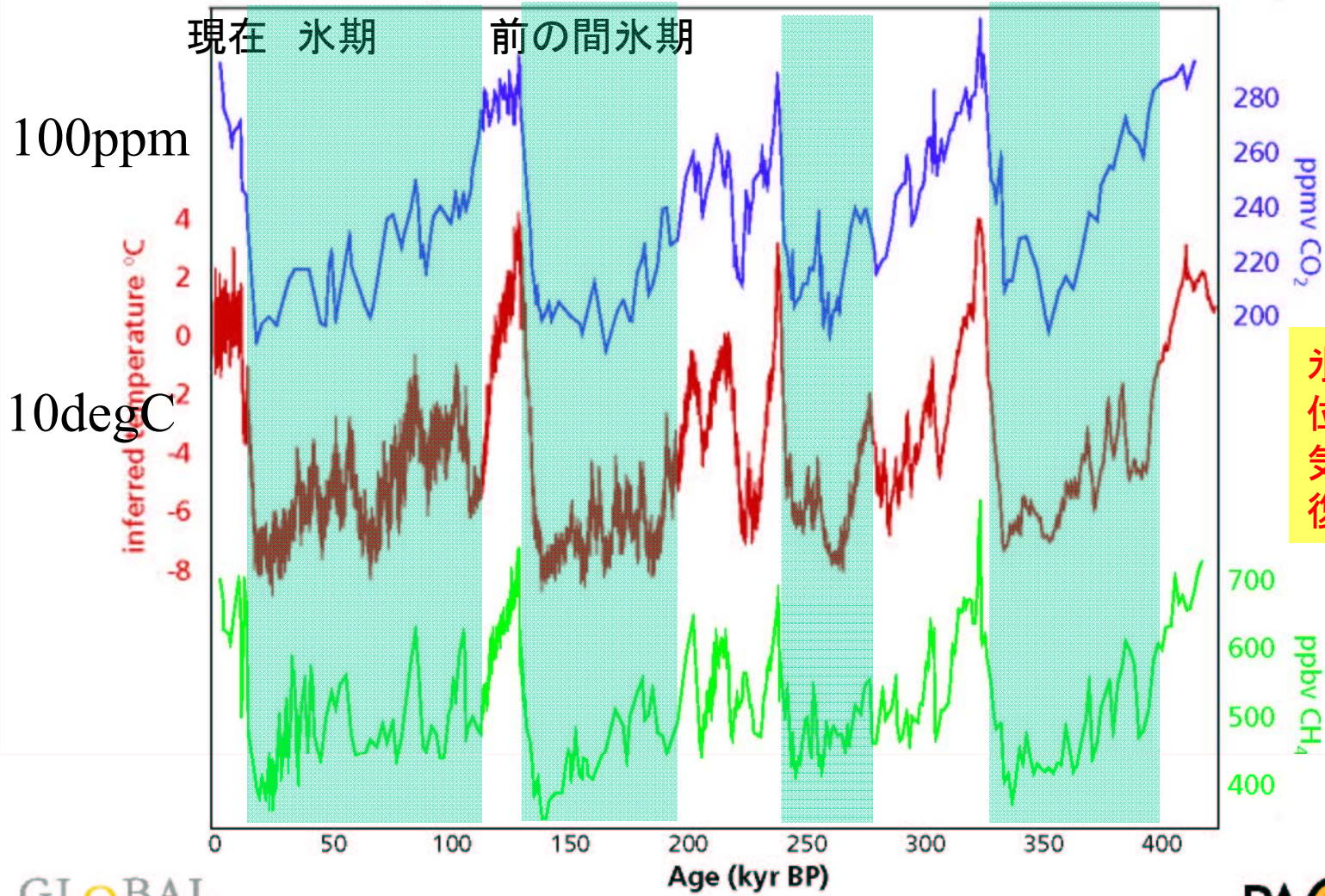
# 地球温暖化をめぐる議論

- ・ 本当に温暖化しているのか？
- ・ 温暖化は二酸化炭素のためか？
- ・ これからどのくらい温暖化するの？
- ・ CO<sub>2</sub>排出をどれだけ減らせばいいの？
- ・ CO<sub>2</sub>排出を減らしても経済は大丈夫？
  
- ・ 「恐竜時代のようなCO<sub>2</sub>濃度になるから大変」だけで十分な説得力があるだろうか。

# 温暖化は二酸化炭素のため？

- ・ 植田敦氏の主張
- ・ 「CO<sub>2</sub>の増減が気温の昇降を決めるのではなく、  
気温昇降によってCO<sub>2</sub>が増減する」
- ・ しくみ(物理化学生物の法則)を調べる
  - CO<sub>2</sub>変化のみによる気温変化は小→水蒸気
- ・ 事実(時系列データ)を調べる
  - 原因が先、結果が後に起きる
    - CO<sub>2</sub>が原因: CO<sub>2</sub>濃度と気温変化を比較
    - 気温が原因: 気温とCO<sub>2</sub>変化を比較

# 4 glacial cycles recorded in the Vostok ice core



氷の水素同位体による気温変化の復元



J.R. Petit et al., *Nature*, 399, 429–36, 1999.



# 時間スケールによる分類

## ○数年～数10年

- ・ エルニーニョ、北極振動:  $1\text{ppm} \leftarrow 1^\circ\text{C}$

## ○100年

- ・ 人為起源二酸化炭素による温暖化:  
 $100 \sim 300\text{ppm} \rightarrow 1 \sim 4^\circ\text{C}$
- ・ 小氷期:  $5\text{ppm} \leftarrow 1^\circ\text{C}$

## ○1000年～10万年

- ・ 氷期・間氷期:  $100\text{ppm} \leftrightarrow 10^\circ\text{C}$
- ・ 気温とCO<sub>2</sub>に正のフィードバック、水蒸気も



# 地球温暖化とは

- 温暖化の理解と将来予測

人間活動によって二酸化炭素が増える

二酸化炭素が増加すると熱をとじこめる

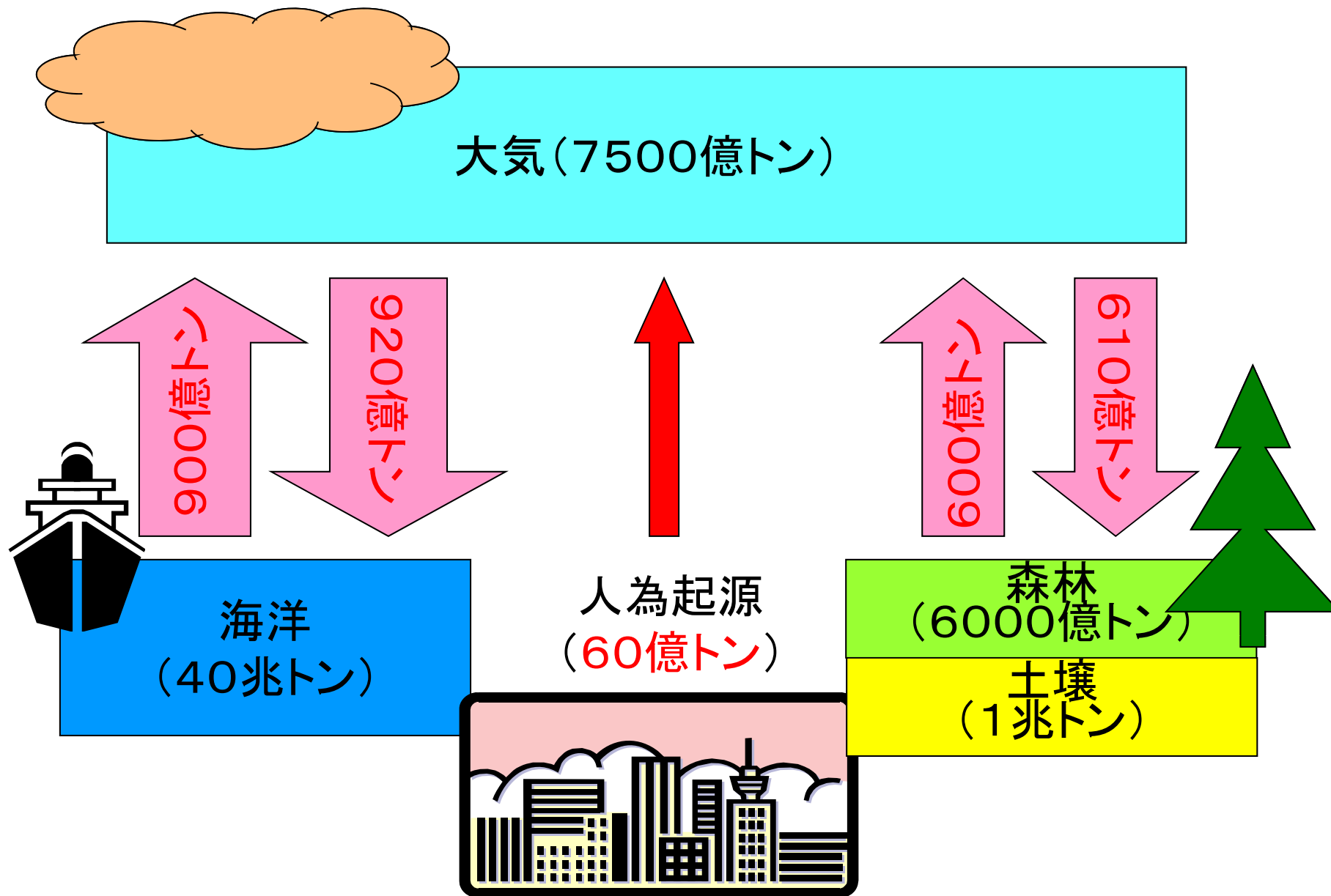
海と陸の炭素がめぐる: 木が育ち、死に、腐る

- 大昔の気候から学ぶ

恐竜時代は二酸化炭素が多かった

氷期には二酸化炭素が少なかった

# 地球上の炭素存在量と循環(年あたり)



# 京都議定書

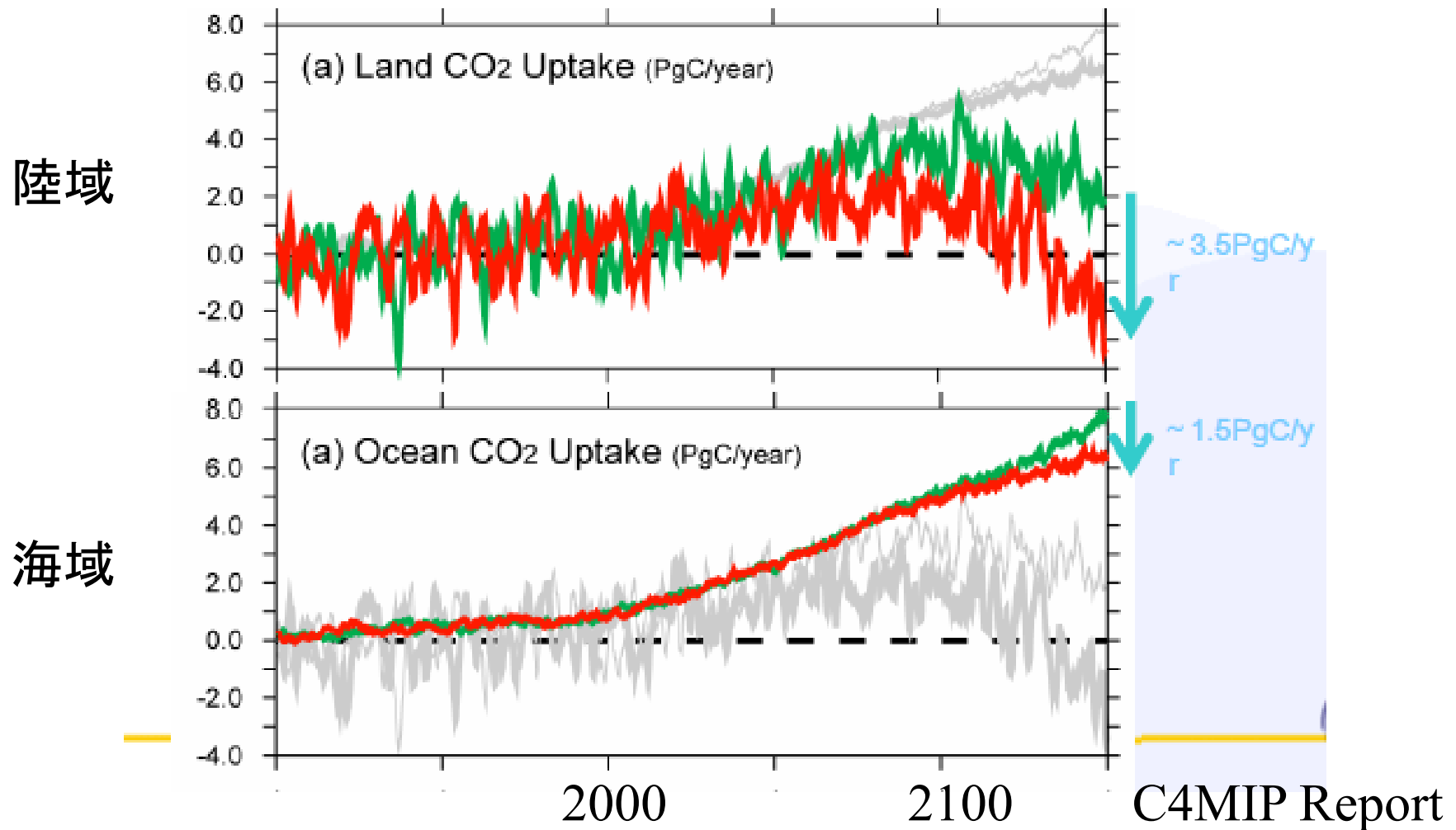
- ・ 先進国が率先して二酸化炭素の排出を減らす  
(日本は1990年に比べて6%を2010年までに)
- ・ 世界で60億トン炭素／年＝1トン／人年  
(米加豪:6トン、日欧:3トン、中:1トン)
- ・ 森林吸収に排出削減の半分程度を頼る
- ・ 森林は炭素吸収能力は1200億トン(20年間分)
  - 森林吸収に頼るわけにはいかない
- ・ 1990年よりも排出が増えている  
では、どうするのか

# 定常状態(100年<将来<1000年)

- ・ 大気中CO<sub>2</sub>濃度を550ppmに維持する
- ・ 20億炭素トン／年の排出(=海洋への吸収)
- ・ 炭酸塩は1000年でほぼ一様に海洋中に拡散
- ・ 陸域森林+土壌は100年で炭素量が定常
- ・ (現在の)発展途上国が排出する二酸化炭素は30年後に(現在の)先進国排出を上回る
- ・ エネルギー消費を節約
- ・ 二酸化炭素を貯蔵・隔離
- ・ 新規エネルギー(技術開発+自然エネルギー)

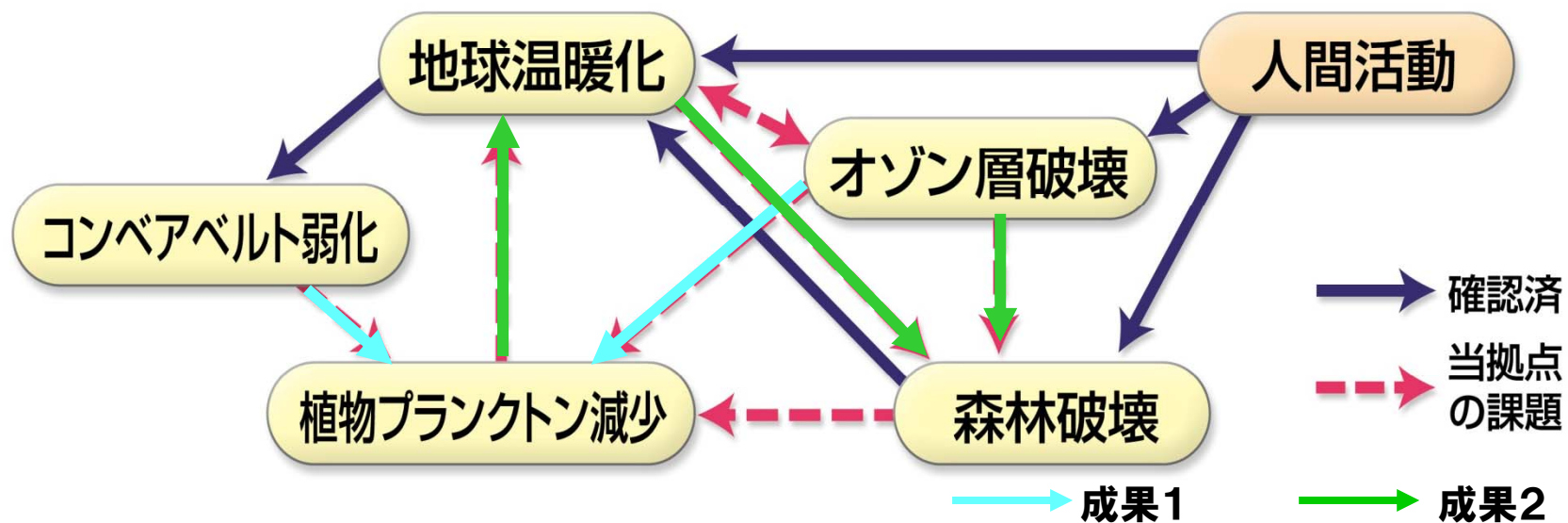
# 陸域生態系と海域の二酸化炭素吸収 海は安定している？酸性化の影響は？

生態系へのフィードバックなし  
フィードバックあり



# 劇変のメカニズム

本拠点が開始時に提起し、解明・定量化に貢献



# 地球環境破壊の人間社会への影響

- 気温上昇によって、熱帯風土病が中緯度に広がる
- 降水変化と土壌水分低下によって、農作物に打撃
- 北海道の冬は短く、積雪は少なくなる
- 海水準上昇によって、沿岸域に被害
- 異常気象の多発によって、被害増大？
- 農薬の多用によって、地下水が汚染される
- 発展途上国に、より大きな被害をもたらす

# みなさんはどうする？

- ・ 温暖化を精確に予測できるまで待つ
- ・ 当面は森林吸収に頼って京都議定書を実行
- ・ 太陽電池・燃料電池などの技術開発を進める
- ・ 政策(炭素税など)により生活スタイルを変える
- ・ CO<sub>2</sub>を地中に貯蔵する
- ・ 海洋吸収の効果を明らかにし、実行する
- ・ その他



# 地球温暖化の精確な将来予測

- ・ 予測幅が大: 21世紀末に1.4~5.8度の温暖化  
(気候モデル間の違いは2~4度)
- ・ 複合効果を予測できない
- ・ 降水量の増減は局所的、農作物に影響大
- ・ シナリオを設定して、将来予測  
(経済成長、環境への意識、技術開発、国際関係など)
- ・ 政治、経済、社会システム、社会心理、人口動態の変化を予測できない

# 京都メカニズム

- ・ CO2排出量削減を容易にするしくみ
- ・ 共同実施／排出権取引  
附属書I国間で排出削減量を売買
- ・ クリーン開発メカニズム(CDM)  
非附属書I国の削減を助け、削減量を買う  
木材生産、洪水防止の植林、泥炭保全は対象外

附属書I国(CO2排出量目標＝先進国＋東欧)

# 積極的な劇変の回避策

概念：**生物多様性**を保持した上で、陸域生態系と海洋の**炭素吸収能**を利用する

- ・ 海洋・陸域生物の生産性向上による二酸化炭素吸収

(例)微量元素が陸域-河川-沿岸域に流出し、海洋生産性を高める

- ・ 二酸化炭素の海洋貯留(2000m深)
- ・ **実情は？**

# 国際関係と地球環境

- ・ 現実に、途上国は先進国より深刻な地球環境変化の影響を受ける
- ・ 先進国(超大国)の利益第一でいいのか
  - 一国内の民主主義には限界
  - 人々の善意にも限界
- ・ 途上国の環境保全技術、炭素排出を削減する技術を援助
- ・ グローバルとローカルは両立or対立？
- ・ Think globally, act locallyで足りるか？

# Think globallyの条件

- ・ 我国の途上国（地域）への依存を認識
  - 自給率（穀物24%、エネルギー20%）
  - 輸出総額 先進国へ：途上国へ=1：1
  - 輸入総額 先進国から：途上国から1：2
  - 東アジア工業地帯内の相互依存
- ・ 先進国の環境汚染責任を認識
  - 二酸化炭素を排出してきた
- ・ 途上国に後発性の利益（技術発展）をもたらす
  - 我国だけの効率向上は責任逃れ
- ・ **社会制度、法の整備と執行、人の意識が鍵**

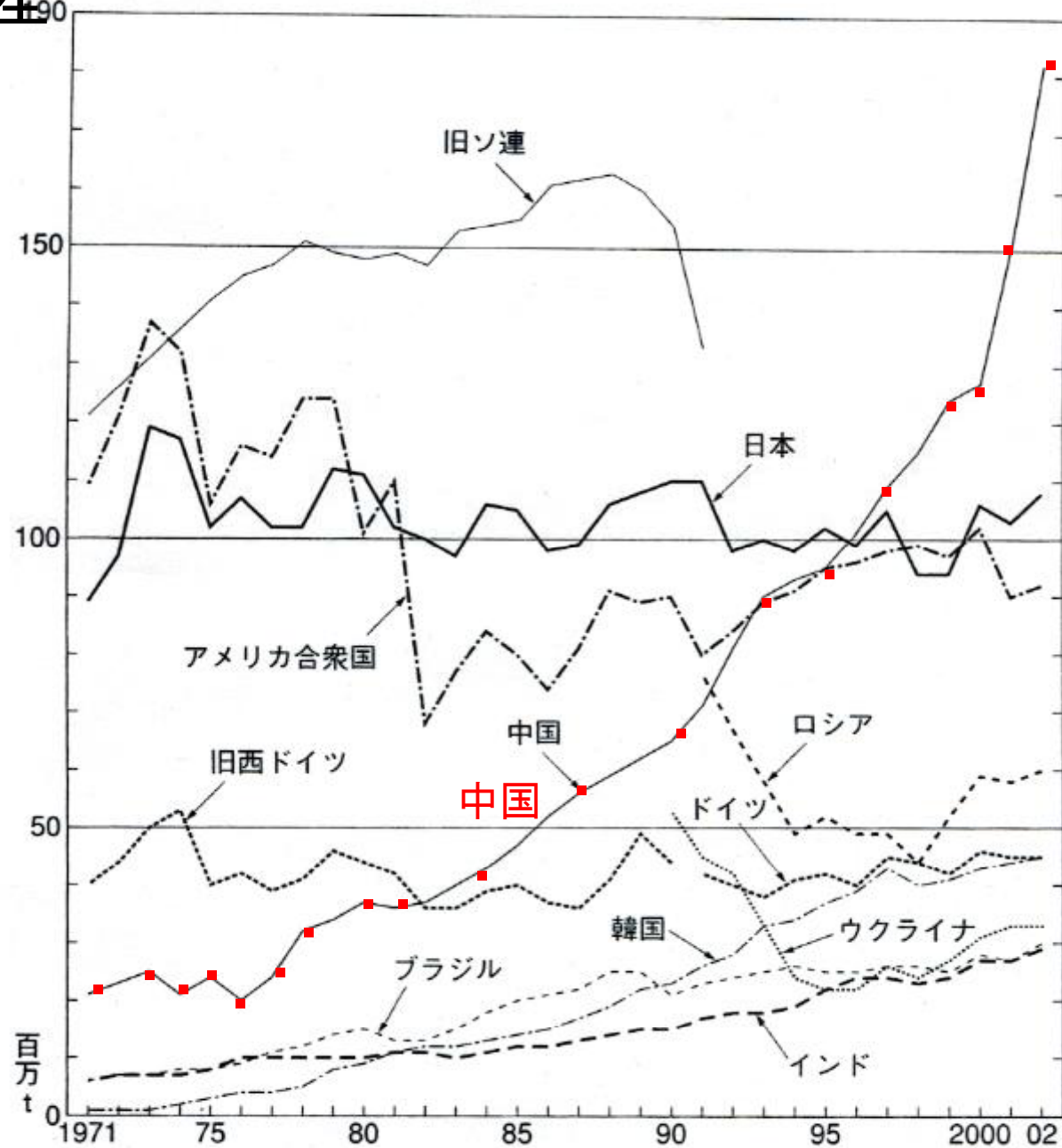
# 各国の粗鋼生産

図 7-3 主要国の粗鋼生産と地域別の粗鋼生産割合

先進国から  
発展途上国の  
重工業地帯に  
生産地が移動

重工業は二酸化  
炭素を排出

先進国は  
GDP/炭素を向上  
しかし、実は  
途上国に依存



# 京都議定書を超えて

- ・ 2050-2100にどうなるか？
- ・ 人口増加は過去50年で2.4倍に
- ・ ある途上国(新興国)は50年のうちに先進国よりも大量の二酸化炭素を排出する
- ・ 地球温暖化は降水パターンを変える
- ・ 生物多様性が低下し、食糧生産をおびやかす
- ・ 健康被害も増大
- ・ **どのように解決する？**

# グリーン・ニューディール

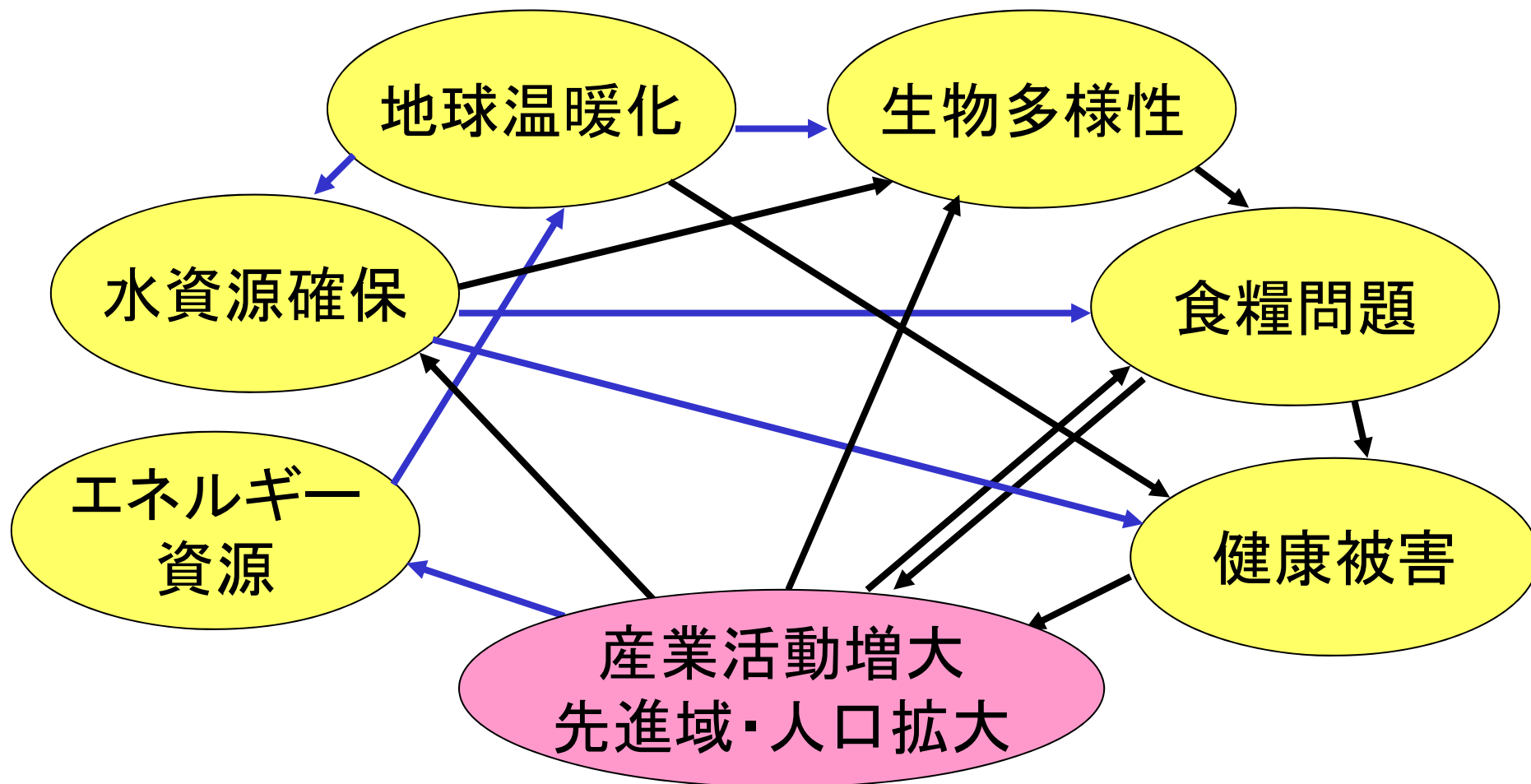
- ・ 未曾有の経済危機に環境重視で産業と雇用？
- ・ 地球規模の環境問題も必然的に深刻化
- ・ 根本的な国際社会の変遷を分析  
先進国は少数(製造)vs途上国が多数(原材料)  
→新興国が先進国の仲間入り(新興国でも製造、競争激化、先進国の労働が低廉化)
- ・ 従来 of 産業・貿易・労働の国際分業は継続不可
- ・ 協調し持続可能な社会に移行できるか
  
- ・ 持続可能な社会に移行する貢献度を基準に選別すべき



# 日本では

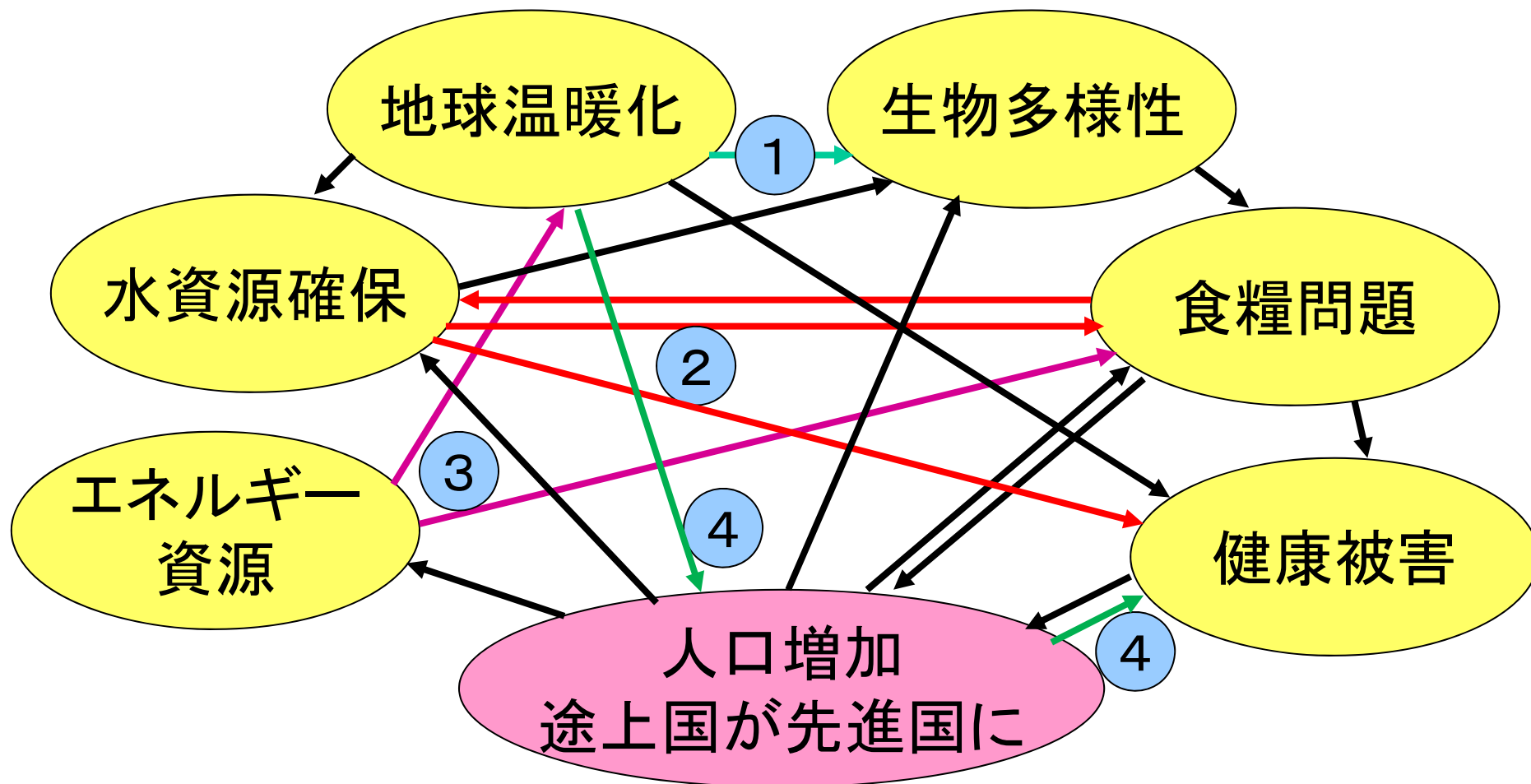
- ・ 民主党政権は2020年までに1990年比で25%の二酸化炭素排出削減を宣言した
- ・ 既成概念を打ち破る効果をもつ
- ・ 政治家は政治に関心をもつ(国民の多数派に付く、自分の選挙区・支持団体だけの危険性もあるが)
- ・ 国民が持続可能な社会を理解し、その概念を作り上げ、前進することが肝要である。政治家が付いてくるように

# 世界が直面している課題



ひとつの課題が悪化すると他の課題も深刻化する  
ひとつの課題の解決が他の課題も解決する？

# 世界が直面している課題



しかし人間の**浅知恵**でひとつの課題を解決しようとすると、さらに他の課題の解決を難しくする

(1)  
炭素固定能の高い樹木  
↓  
生物多様性の低下

(2)  
食糧生産・水資源確保  
↓  
塩害で土壌劣化・健康被害  
↓  
食糧生産低下

(3)  
石油価格高騰  
↓  
とうもろこし・さとうきびから  
エタノール  
↓  
食糧価格高騰・森林破壊

(4)  
途上国へ技術移管  
↓  
競争激化  
↓  
先進国内の格差拡大

# 「地球未来学・2070年の人類生存環境」

- ・ 台風、地震、干ばつ、伝染病の被害を被る
- ・ 地球環境の劇的な変化による被害が予想される
- ・ 絶え間ない地域紛争で弱者が痛めつけられる
- ・ 飽食と飢餓が混在する
- ・ 極貧生活にあえぐ人がいる
- ・ 我が国では年間3万人も自殺する
- ・ 我々に明るい未来はあるのか、根源的な問題は

# 科学を志す者は

- ・ 予防原則をとる（確かでなくても、地球温暖化の危険性をさげふ）
- ・ それに止まらず、確かめるために研究したい（もっと研究費が必要）
- ・ ただし、研究者のエゴで「研究強化」を主張してはだめ（信頼性を失う）
- ・ リスク・アセスメントには確度を付ける責任
- ・ 多くの人々が納得できるデータと解釈を開示し、もっと研究が必要であるのか、決めてもらう

# 課題を解決した先にあるものは

