

# CO<sub>2</sub>排出による温室効果の分析

1班 長谷川 雄士 桑田 智幸 小藪 和之

指導教官:内山 洋司

# 1. 研究背景と目的

# 地球温暖化の現状

- 異常気象

エルニーニョ現象、干ばつ、異常高温、多雨、少雨など

- 海面上昇

- 生態系への影響

*多くの地球の異常の原因に地球温暖化がかかわっている*

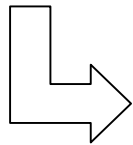
# 温暖化の原因

- 温室効果ガス

温暖化の主原因として温室効果ガスがある。

主な温室効果ガスとしてCO<sub>2</sub>が挙げられる。

**CO<sub>2</sub>の排出は近代生活を支える化石燃料と密接な関係がある**



今後も化石燃料の使用は増加する傾向にある

今後、更に温暖化は進んでいく

# 研究の目的

- 温暖化の予測

CO<sub>2</sub>の排出量から2100年までの気温上昇を予測する。

化石燃料の使用について2つのシナリオを想定する。

それぞれのシナリオの気温上昇を比較する

- 今後、温暖化による影響を調査する

## 2. 温暖化のメカニズム

# 温室効果

- 地表付近の気温：太陽からのエネルギーと宇宙へ放射されるエネルギーのバランスで一定

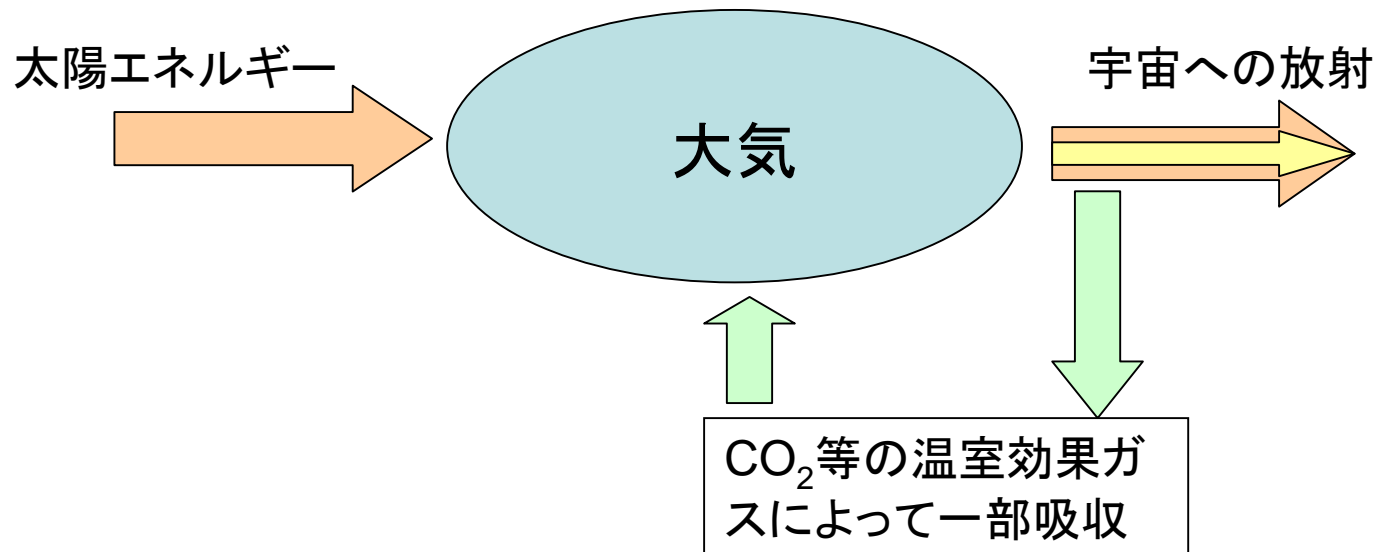


図2.1 エネルギーバランスの概念

# 放射エネルギー

- 絶対零度以上の温度の物体からは常にエネルギーが放射されている
- ステファン・ボルツマンの式(放射エネルギーの最大量)

$$Q_{\max} = \sigma AT^4$$

$Q_{\max}$  : 放射エネルギーの最大量

$\sigma$  : ステファン・ボルツマン定数

$A$  : 物体の表面積

$T$  : 物体の絶対温度



# エネルギーバランスモデル(1/2)

- 大気の存在を無視した場合のエネルギーバランス
  - 温室効果が存在しないケース

- 単位面積あたりの宇宙への放射量:  $q_{earth} = \sigma T_e^4$

- 単位面積あたりの太陽のエネルギーの吸収量:  $S_0(1-a)$

$S_0$ : 単位面積あたり受ける太陽エネルギー

地表温度  $T_e$  について解くと

$$T_e = \left[ \frac{S_0(1-a)}{\sigma} \right]^{\frac{1}{4}} = \left[ \frac{342(1-0.3)}{5.67 \times 10^{-8}} \right]^{\frac{1}{4}} = 254\text{K} = -19^\circ\text{C}$$

実際の平均気温(15°C)との差は34°C

## エネルギーバランスモデル(2/2)

- 大気の状態を考慮に入れた場合のエネルギーバランス
- アルベド(大気でのエネルギー反射率):  $\alpha = 0.31$
- 大気温度:  $T_a$
- 単位面積あたり太陽エネルギーの吸収量:

$$S_a = S_0 - \alpha S_0 = 342 - 107 = 235[\text{W/m}^2]$$

得られた以下の連立方程式を解くと

$$S_a \alpha_a + \sigma T_e^4 = 2\sigma T_a^4$$

$$S_a (1 - \alpha_a) + \sigma T_a^4 = \sigma T_e^4$$

地球表面温度  $T_e$  は、 $17^\circ\text{C}$ と求められる

# 厳密なエネルギーバランスモデル

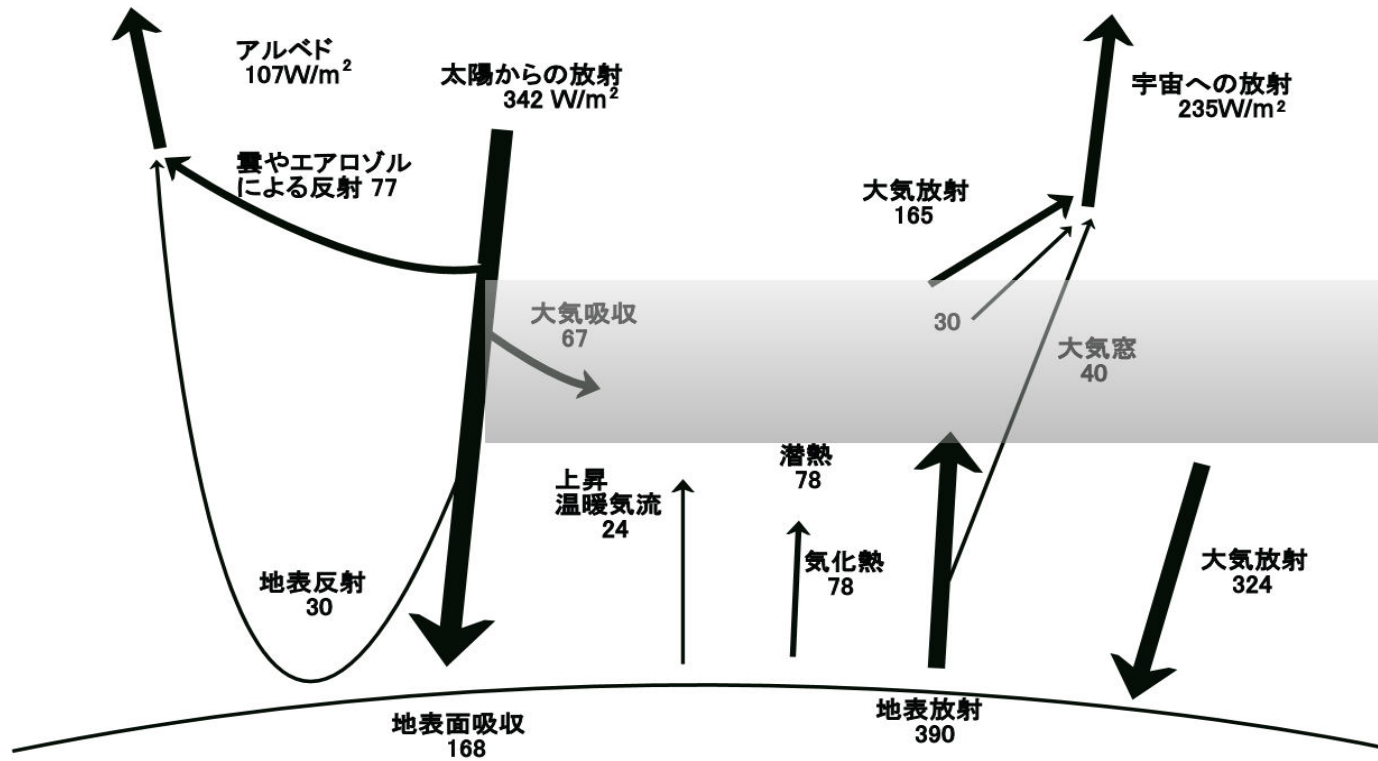


図2.2 地表付近のエネルギーバランスモデル

# 放射強制力と気候感度ファクタ

- 放射強制力  $\Delta F$  : 温室効果ガスやエアロゾル(大気中の微粒子)により生じるエネルギーバランスを崩そうとする力

- 気候感度ファクタ  $\gamma$  : 放射強制力と温度変化量の比

$$\gamma = \frac{\Delta T_e}{\Delta F}$$

- 気候のモデル化における重要な要素であるが、求めることが困難

### 3. エネルギー需要とCO<sub>2</sub>排出

# CO<sub>2</sub>の地球温暖化への寄与度(1/2)

## 気候変動枠組条約（1998年）

排出削減の対象

⇒ 二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素、フロン、六フッ化硫黄

温室効果ガス	温暖化係数	主な排出源
二酸化炭素	1	化石燃料の燃焼
メタン	23	廃棄物の埋め立て
一酸化二窒素	296	燃料の燃焼、工業プロセス
フロン	数百～1万	冷媒、半導体の洗浄
六フッ化硫黄	22200	電気の絶縁体

図3.1 温室効果ガスの温暖化係数と主な排出源

# CO<sub>2</sub>の地球温暖化への寄与度(2/2)

## 二酸化炭素

- ・ 温暖化係数が小さい
- ・ 化石燃料の燃焼などに伴う排出量が膨大
- ・ 地球温暖化への寄与度が最も高い

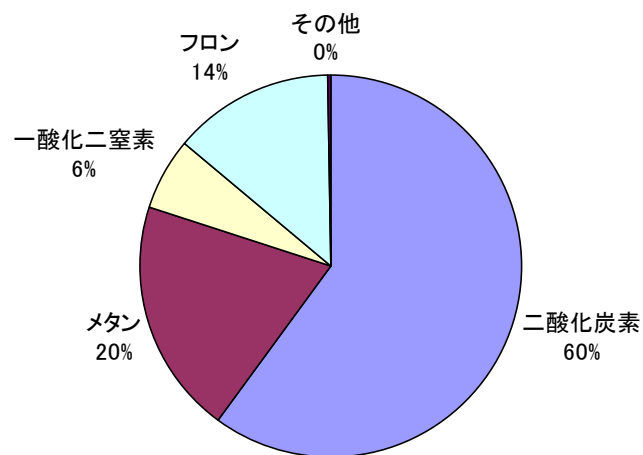
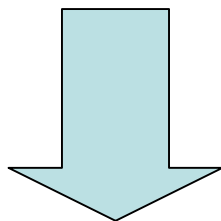


図3.2 温室効果ガスの地球温暖化への寄与度



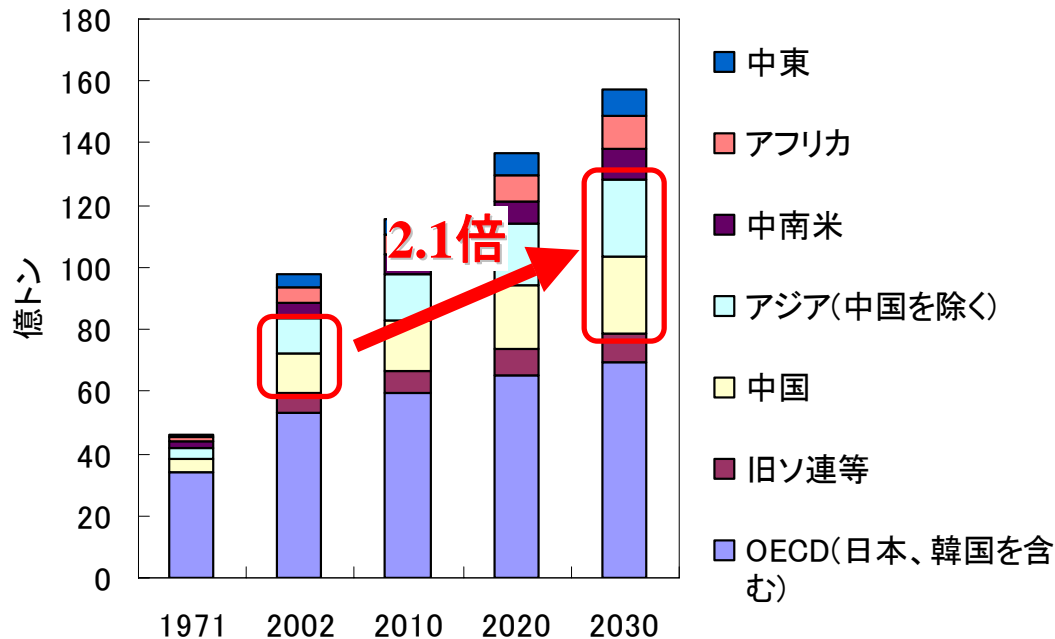
**化石燃料の燃焼によるCO<sub>2</sub>排出量の分析を行う**

# 世界のエネルギー需要の推移

- 世界のエネルギー需要は、2030年には152.7億トンに達すると予測されている（2000年比で66%増）
- アジアを中心とする発展途上国のエネルギー需要が増大

年平均増加率（2000～2030年）

先進国（OECD諸国）：1.0%、発展途上国：2.9%



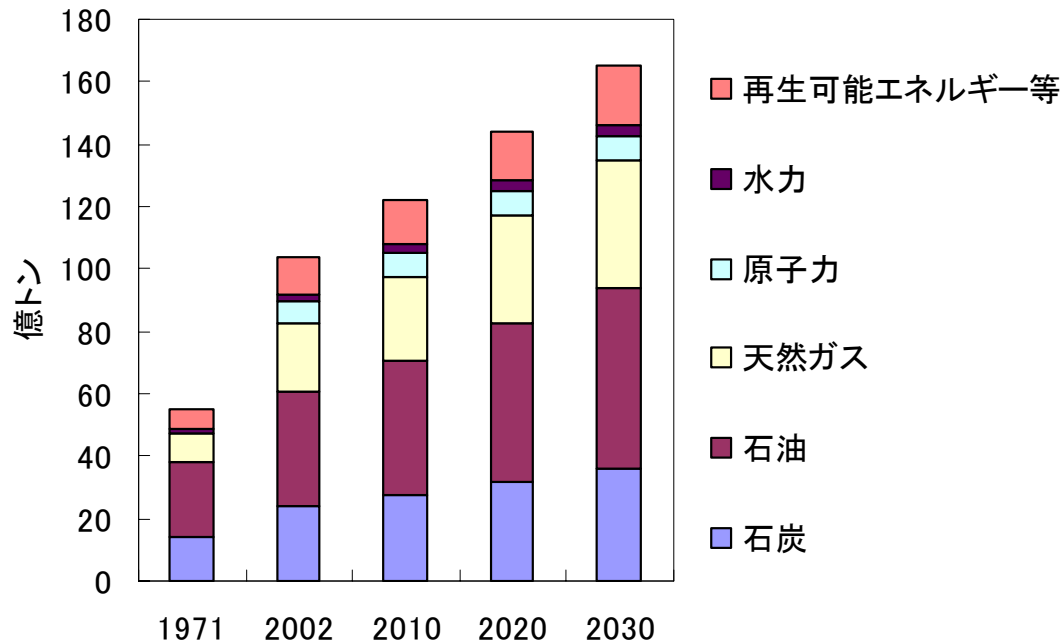
出典：IEA/WORLD ENERGY OUTLOOK 2004

図3.3 世界の地域別エネルギー需要の推移



# 世界の燃料別エネルギー需要の推移

- 再生可能エネルギーや天然ガスの需要が増加する
- 石炭、石油が大半を占める  
⇒CO<sub>2</sub>排出量は確実に増加  
⇒**地球温暖化**



出典：IEA/WORLD ENERGY OUTLOOK 2004

図3.4 世界の燃料別エネルギー需要の推移

# エネルギー消費量の分析(1/2)

仮定：将来の人口が100億人で飽和する

(United Nations Population Division より)

## シナリオA

- ・ 現状の増加率が維持される場合
- ・ 2100年における一人当たりのエネルギー消費量  
⇒ **3.0 [トン/人]**

## シナリオB

- ・ 高度な省エネ型社会である日本と同水準に達する場合
- ・ 2100年における一人当たりのエネルギー消費量  
⇒ **4.1 [トン/人]**

**※ 途中の増加過程は直線的であると仮定**

# エネルギー消費量の分析(2/2)

➤  $t$ 年におけるエネルギー消費量 $E(t)$  [億トン]

$$E(t) = e(t) \times p(t)$$

$e(t)$  :  $t$ 年における一人当たりのエネルギー消費量 [トン/人]

$p(t)$  :  $t$ 年における世界人口 [億人]

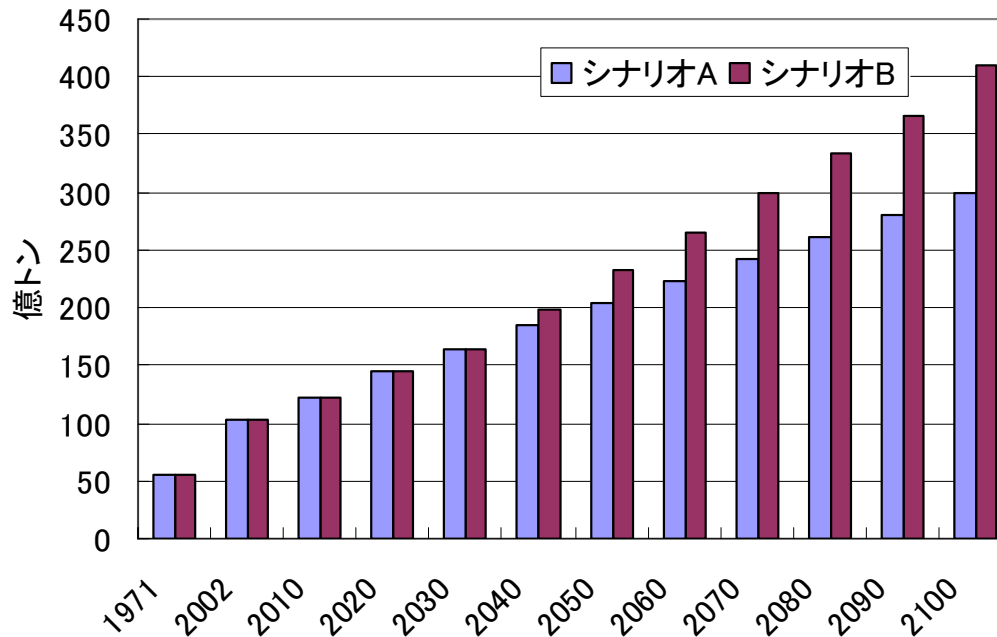


図3.5 エネルギー消費量の推移

# CO<sub>2</sub>排出量の分析(1/2)

## ➤ 石炭、石油、天然ガスによるCO<sub>2</sub>排出量の分析

(1)各エネルギーの消費量 $E_{C,o,G}(t)$  [億トン]

$$E_{C,o,G}(t) = R_{C,o,G}(t) \times E(t)$$

$E(t)$  :  $t$ 年におけるエネルギー消費量 [億トン]

$R_{C,o,G}(t)$  : 全エネルギーに対する各エネルギーの構成比率

⇒ **石炭 : 22%、石油 : 35%、天然ガス : 25%**

(2)各エネルギーの消費によるCO<sub>2</sub>排出量 $A_{C,o,G}(t)$  [億tC]

$$A_{C,o,G}(t) = \alpha_{C,o,G}(t) \times E_{C,o,G}(t)$$

$\alpha_{C,o,G}(t)$  : CO<sub>2</sub>排出原単位 [tC/トン]

$E_{C,o,G}(t)$  : 各エネルギーの消費量 [億トン]

※ tC (炭素換算トン) : 二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)内の炭素(C)の質量

# CO<sub>2</sub>排出量の分析(2/2)

➤ CO<sub>2</sub>排出原単位  $\alpha_{C,O,G}(t)$  [tC/トン]

⇒ **石炭：1.08、石油：0.86、天然ガス：0.62**

(澤田玲真, 1999)

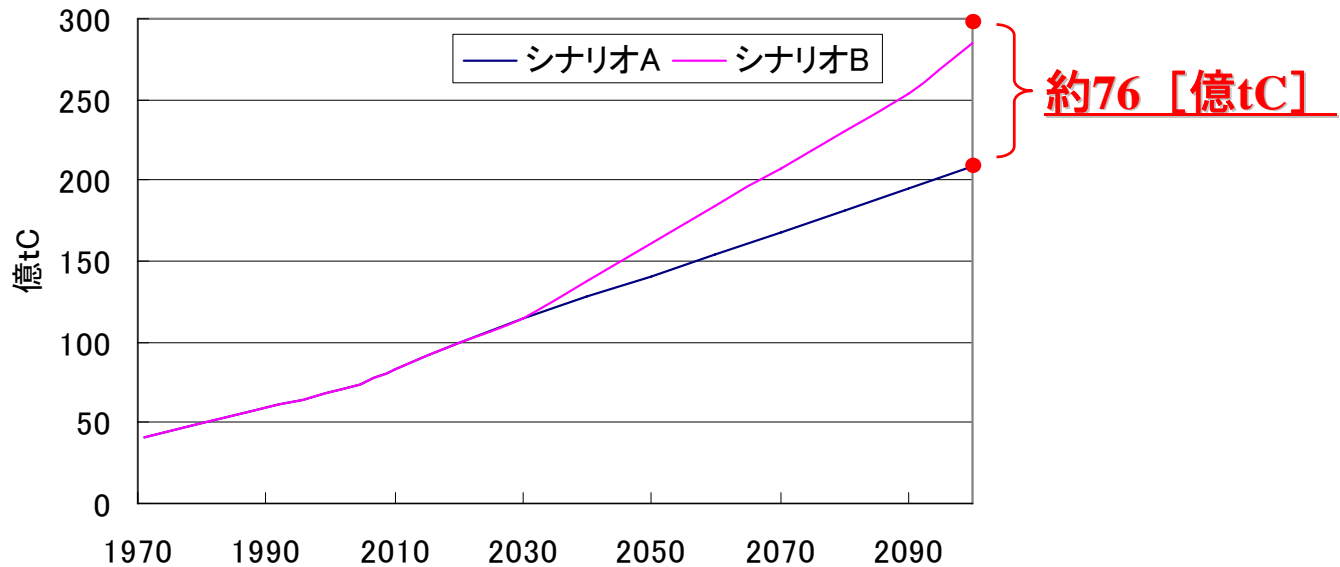


図3.6 CO<sub>2</sub>排出量の推移

## 4. 気温上昇の予測

# MAGICCについて

(Model for the Assessment of Greenhouse-gas Induced Climate Change)

## 気候予測モデル

地球温暖化の予測を行うIPCCアセスメントで使用されている。

## MAGICCモデル

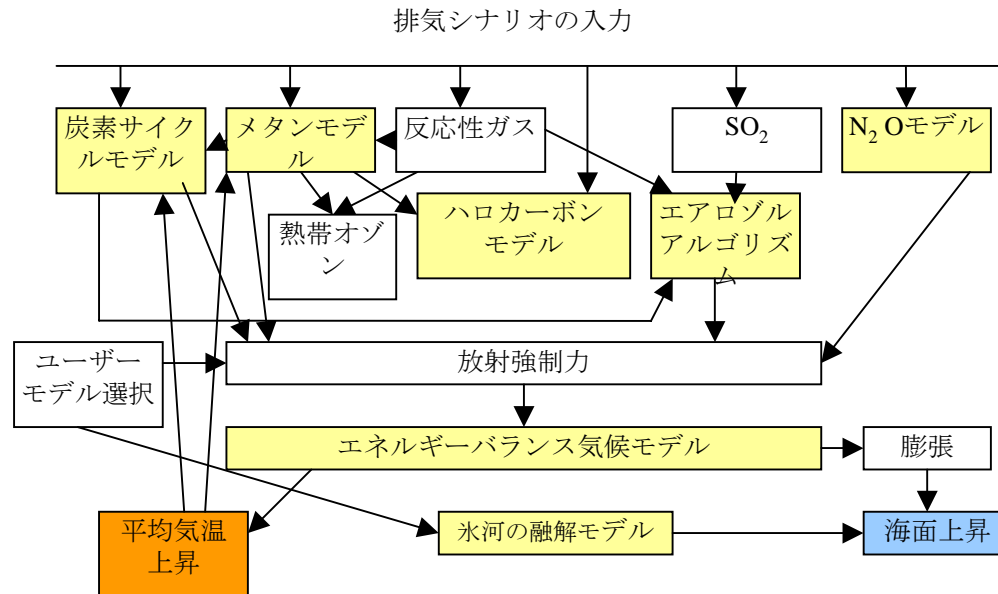


図4.1 MAGICCモデルのフローチャート

MAGICCモデルを用いて、CO<sub>2</sub>濃度、気温上昇、海面上昇の推移を予測する

# 大気中CO<sub>2</sub>濃度の推移

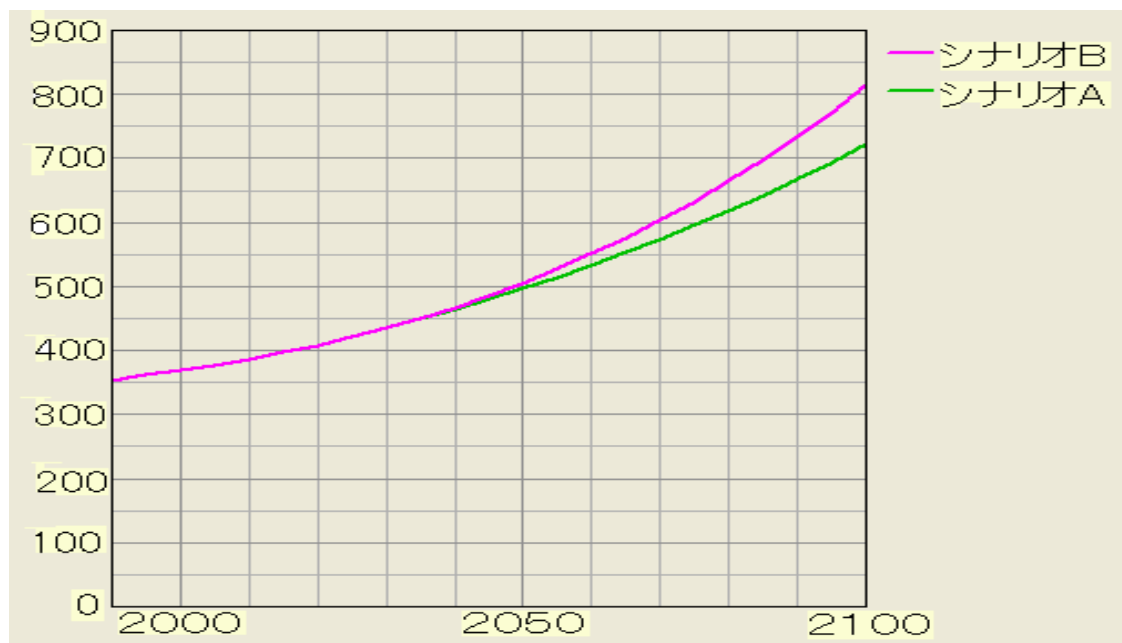


図4.2 CO<sub>2</sub>濃度の推移

横軸が年、縦軸が濃度 (ppmv)を表す。

- ・2つのシナリオともにCO<sub>2</sub>濃度は上昇している。2040年頃まではほぼ同じ濃度でCO<sub>2</sub>濃度が推移した。
- ・2040年以降シナリオBがCO<sub>2</sub>濃度より上昇している。2100年にはシナリオAが720ppmv、シナリオBが810ppmvとなると予測した。



# 気温上昇の推移

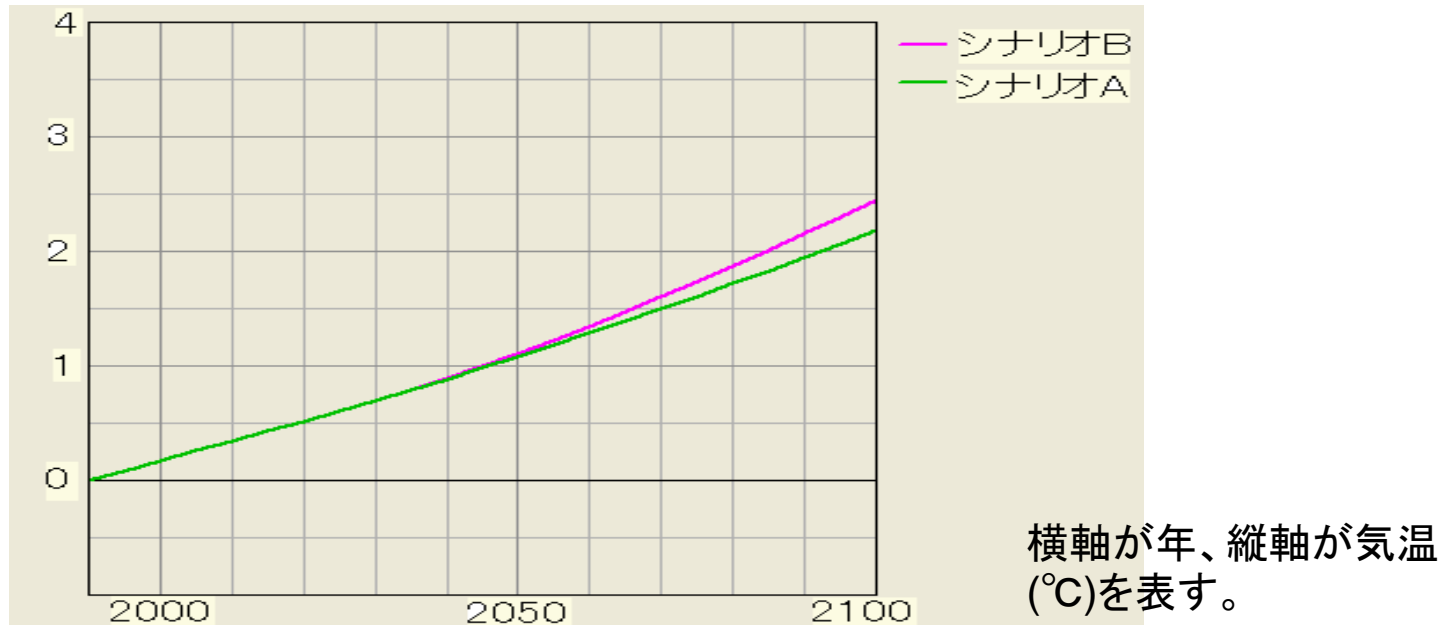


図4.3 気温上昇の推移

- 2040年から少しずつシナリオごとに差が生じた。
- 2100年にはシナリオAで約2.2°C、シナリオBで約2.5°C気温が上昇すると予測した。

# 海面上昇の推移

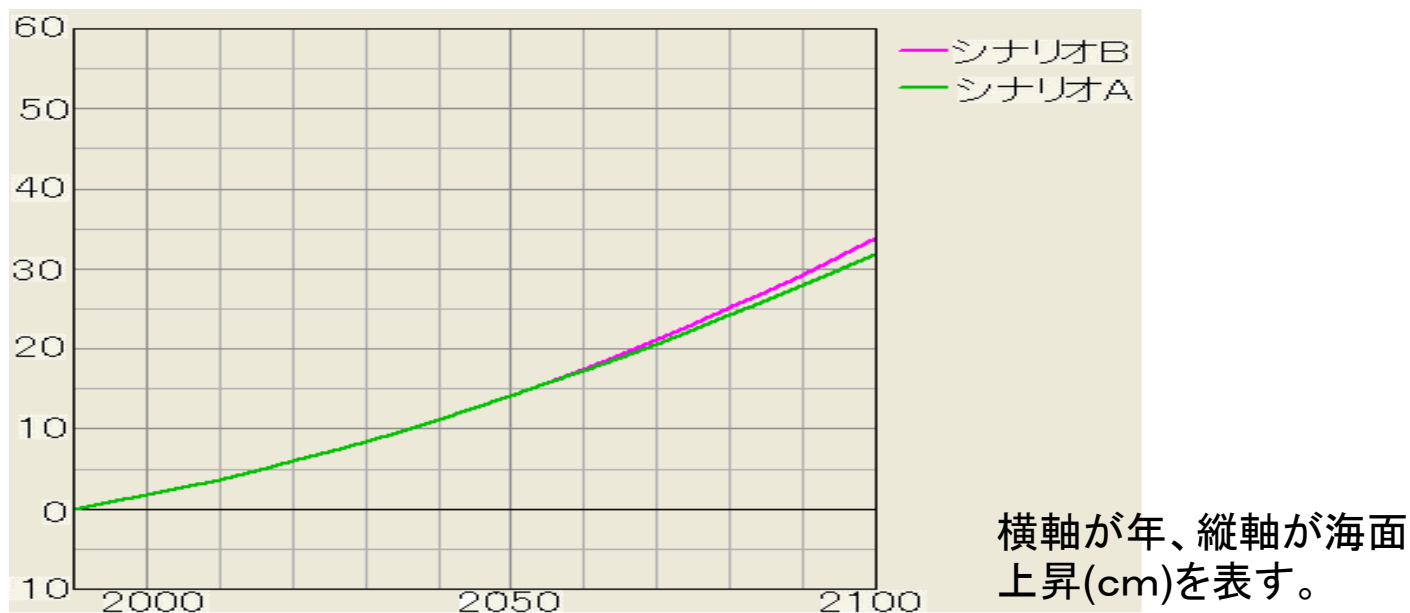


図4.4 海面上昇の推移

- 2060年までほぼ同じ割合で2つのシナリオの海面上昇が推移した。
- 2060年以降は少しずつシナリオごとの差が開いており、2100年にはシナリオAで約32cmシナリオBで約34cm海面が上昇すると予測した。

# 世界の平均気温（2000年）

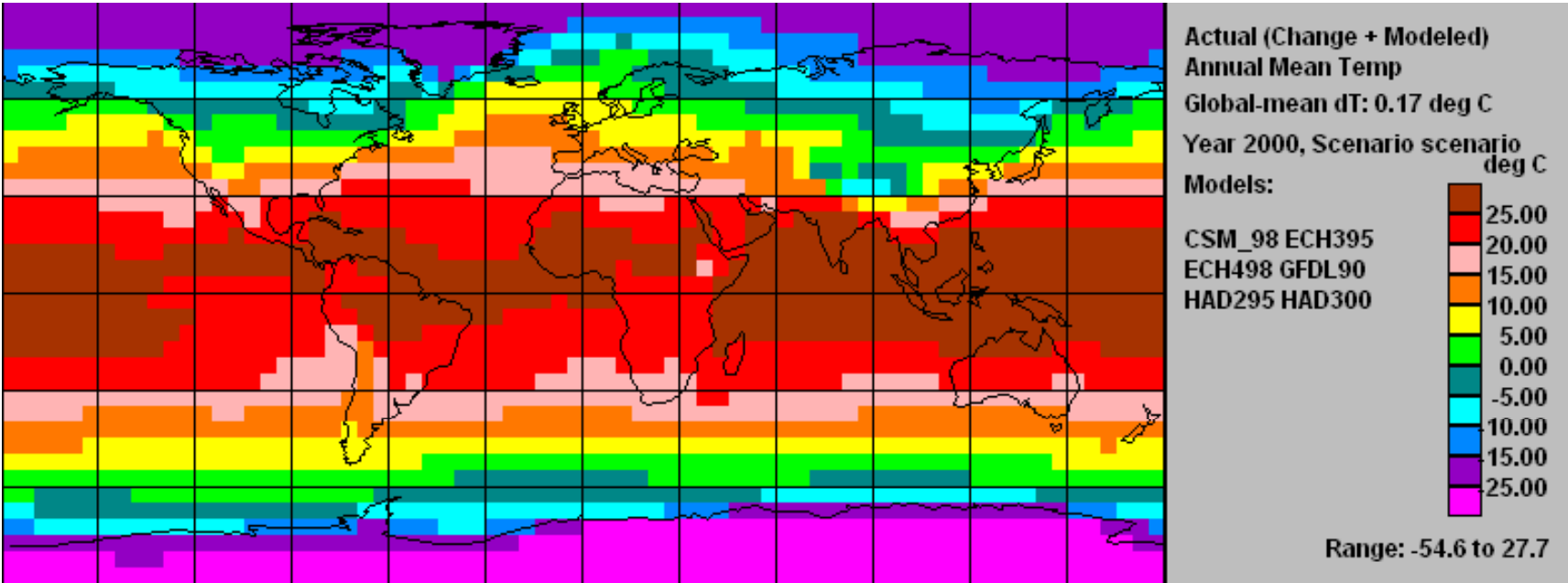


図4.5 世界の平均気温（2000年）

# 世界の平均気温（2050年，シナリオA）

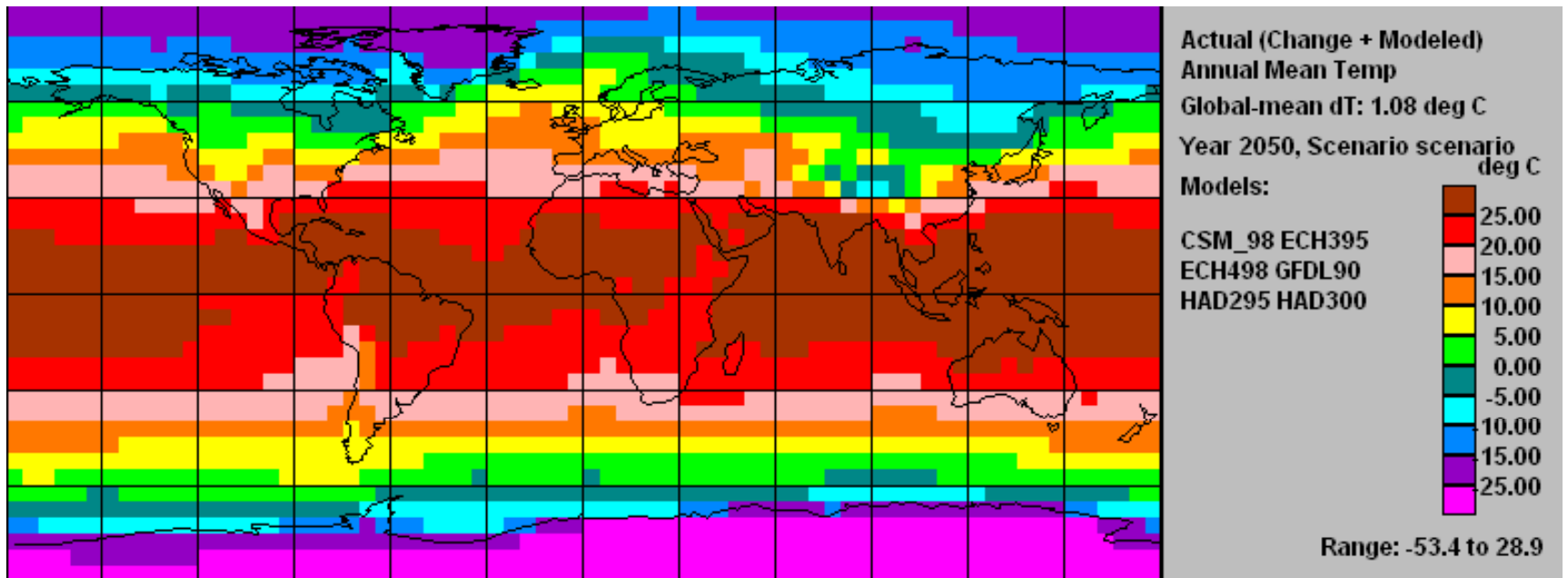


図4.6 世界の平均気温（2050年，シナリオA）

# 世界の平均気温（2100年，シナリオA）

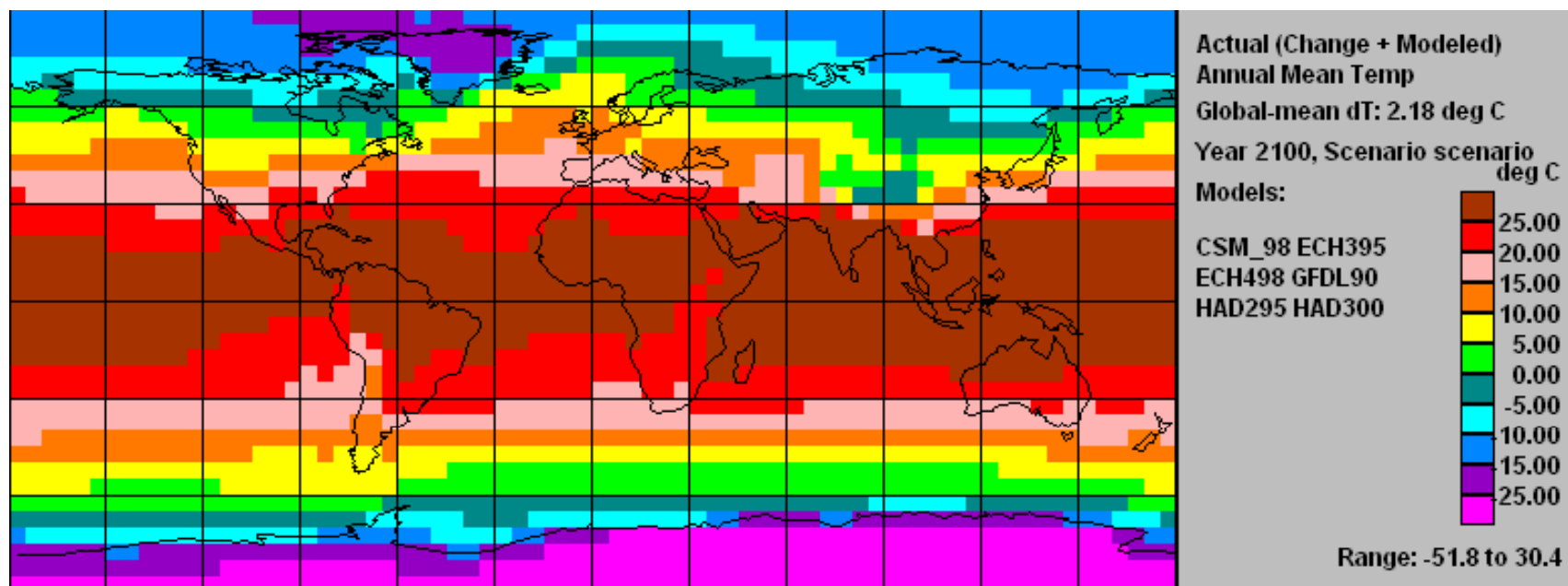


図4.7 世界の平均気温（2100年，シナリオA）

# 世界の平均気温（2100年，シナリオB）

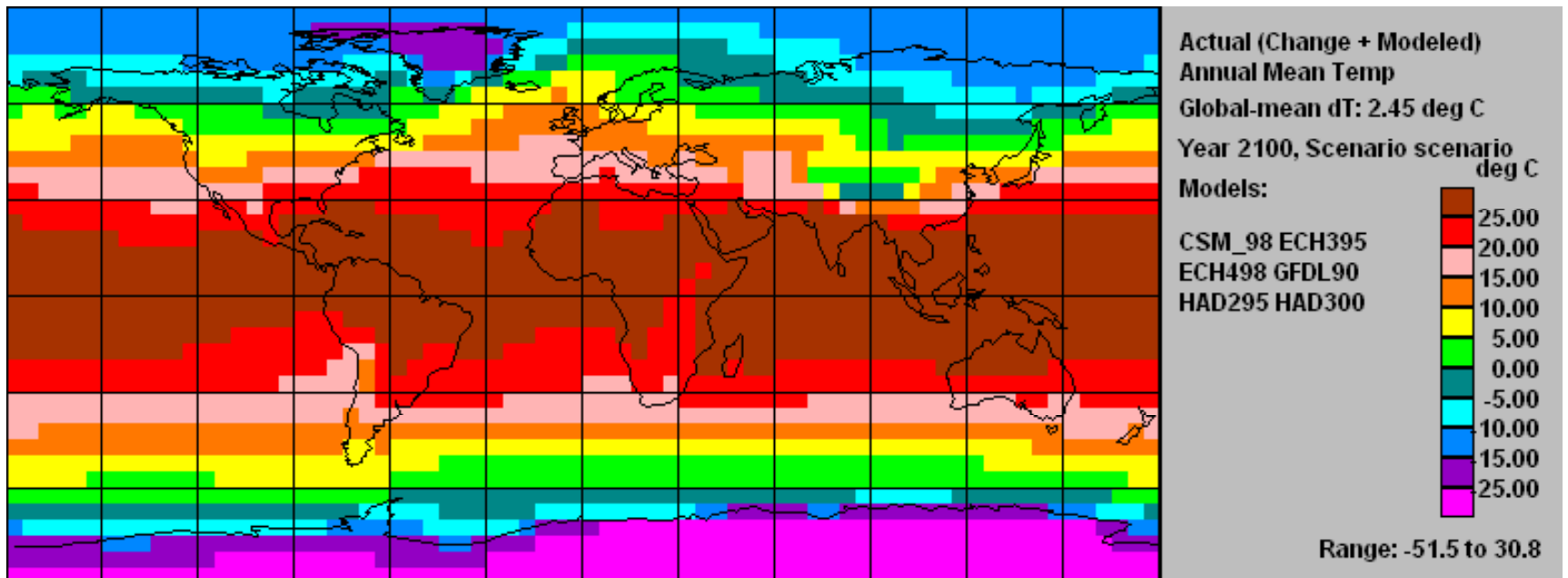


図4.8 世界の平均気温（2100年，シナリオB）

# 降水量の分布（2000年）

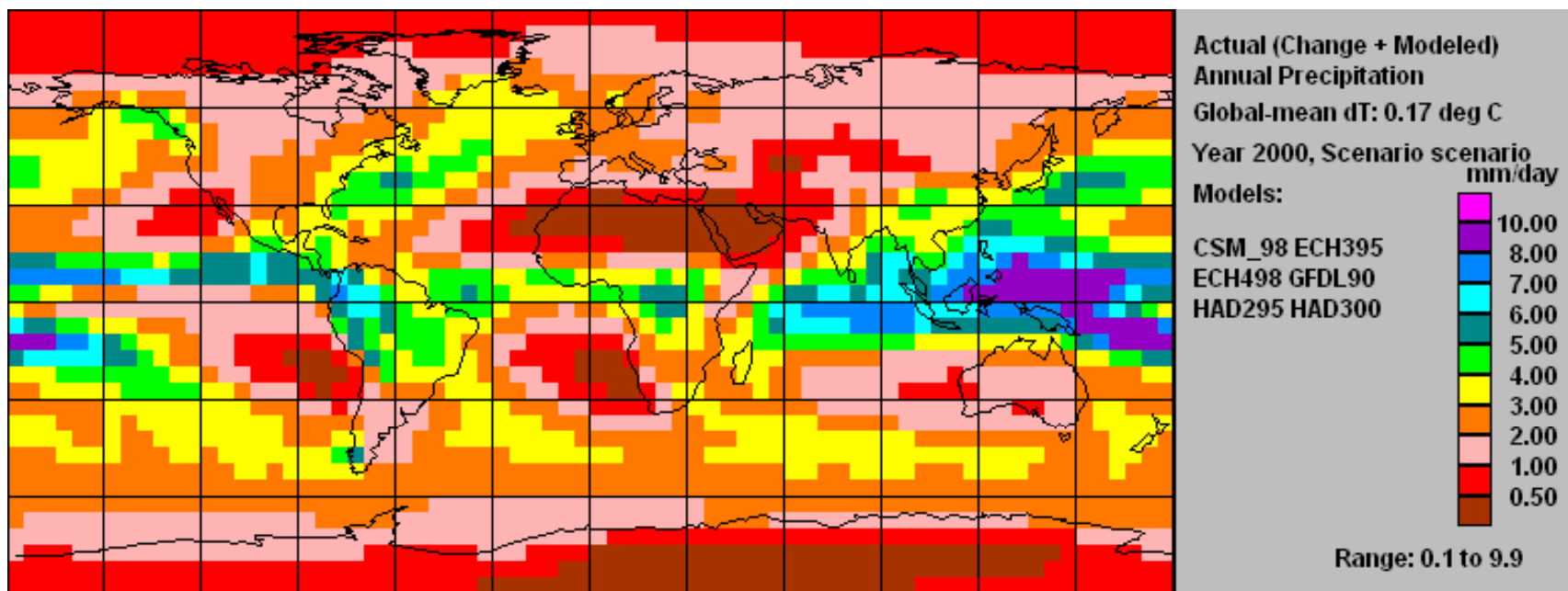


図4.9 降水量の分布（2000年）

# 降水量の分布（2050年，シナリオA）

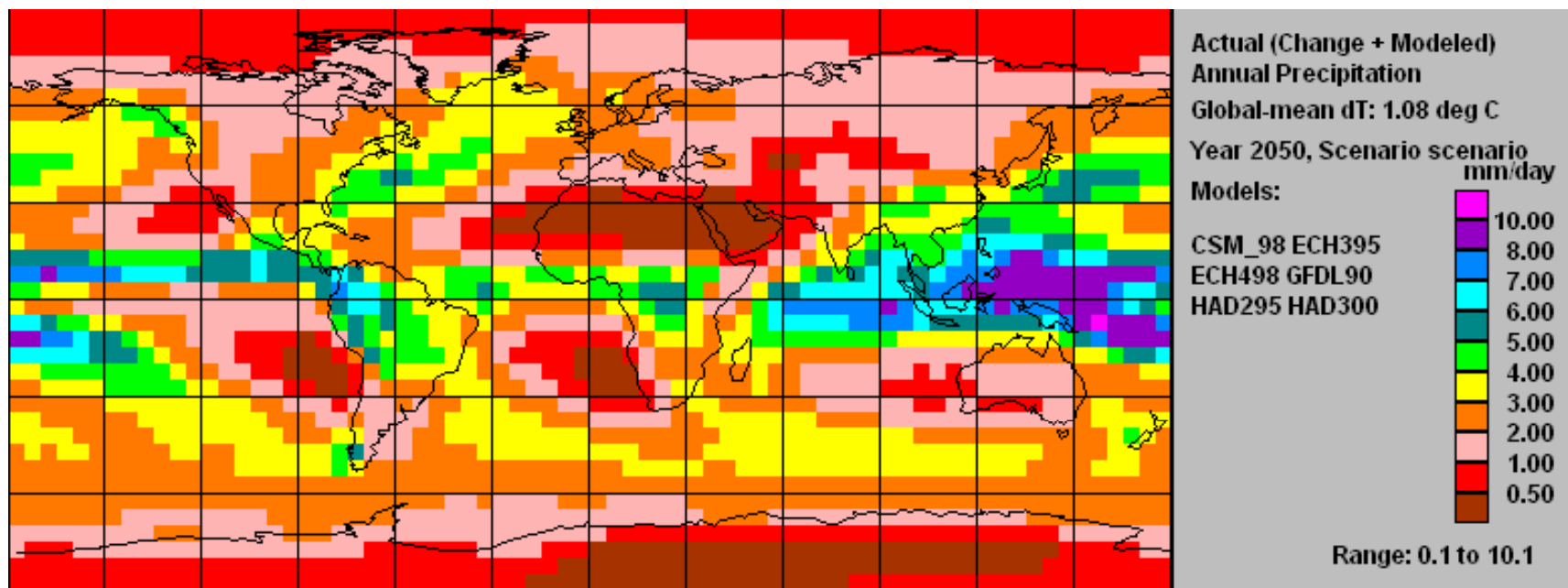


図4.10 降水量の分布（2050年，シナリオA）



# 降水量の分布（2100年，シナリオA）

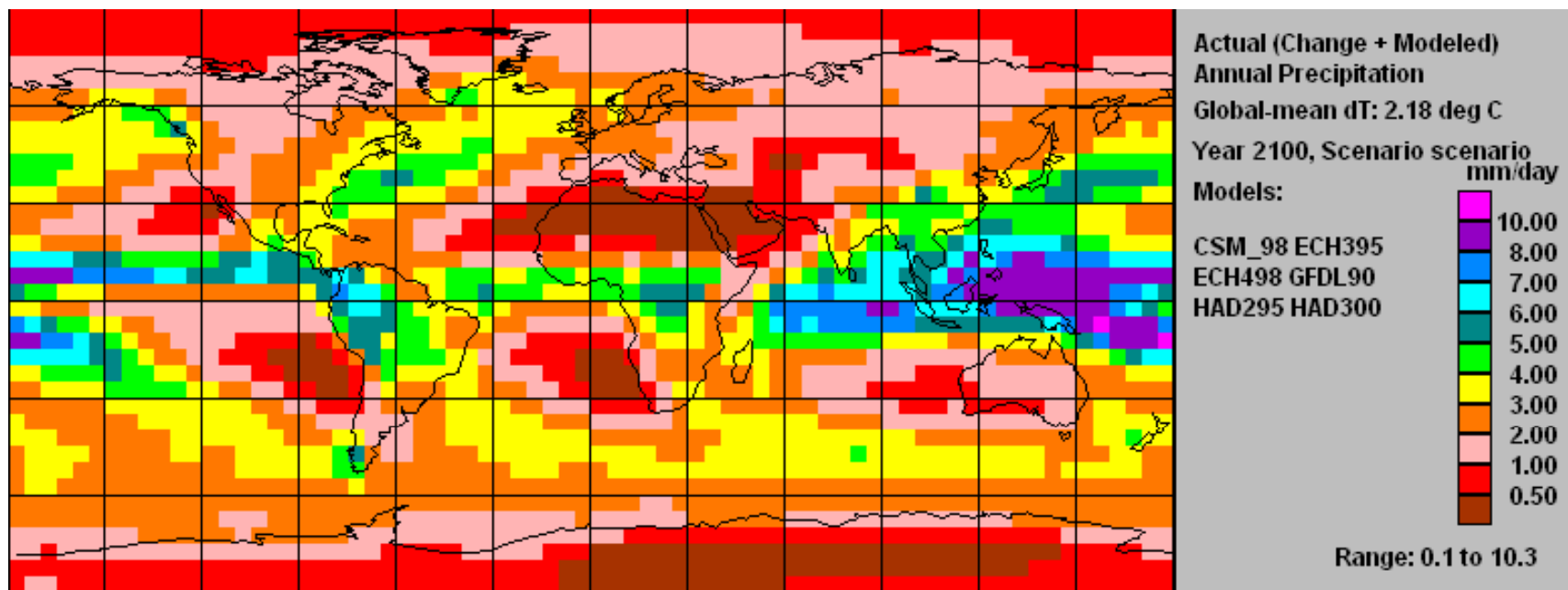


図4.11 降水量の分布（2100年，シナリオA）

# 降水量の分布（2100年，シナリオB）

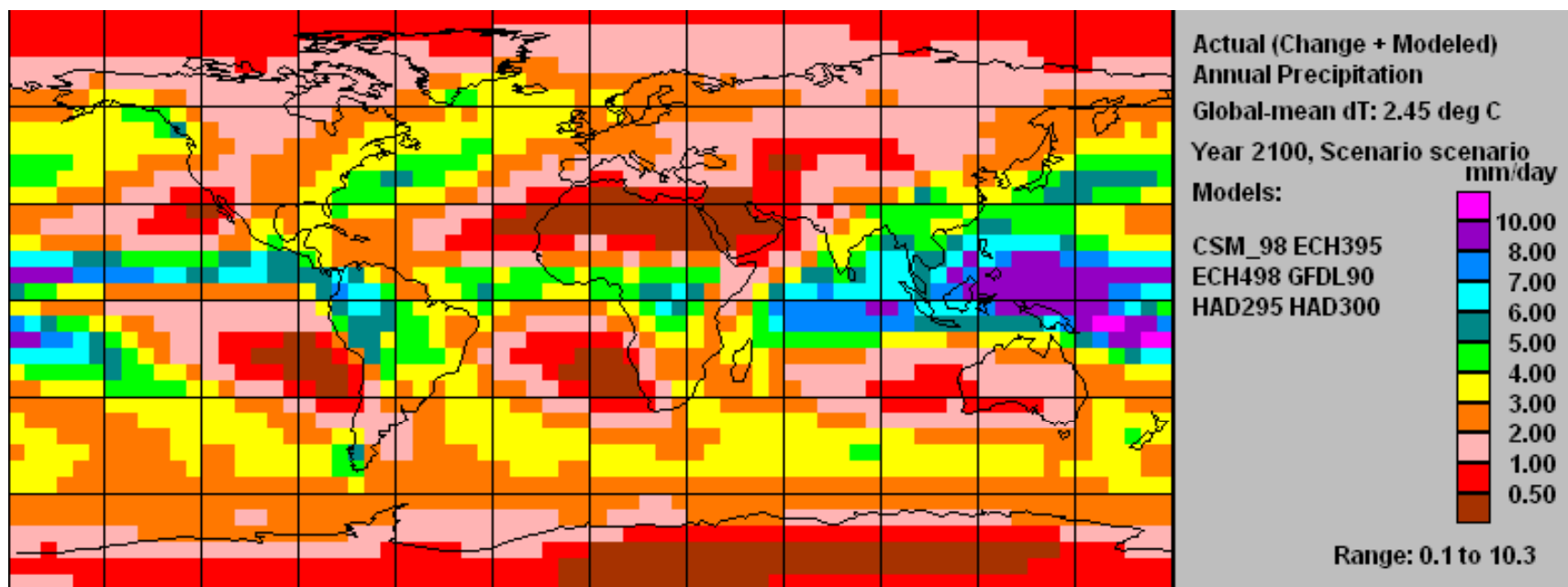


図4.12 降水量の分布（2100年，シナリオB）

## 5. まとめ

## まとめ

- 本研究では、エネルギー消費に伴うCO<sub>2</sub>の温室効果を分析し2100年までの影響を考察した。
- それにより、2100年の平均気温は2.0°Cから2.5°C上昇することを示した。
- 今後、完全な地球温暖化の防止は不可能。



温暖化の抑制や温暖化後の対策が重要。