A world map with a color overlay representing climate projections. The colors range from light yellow to dark red, indicating temperature changes. The text is centered over the map.

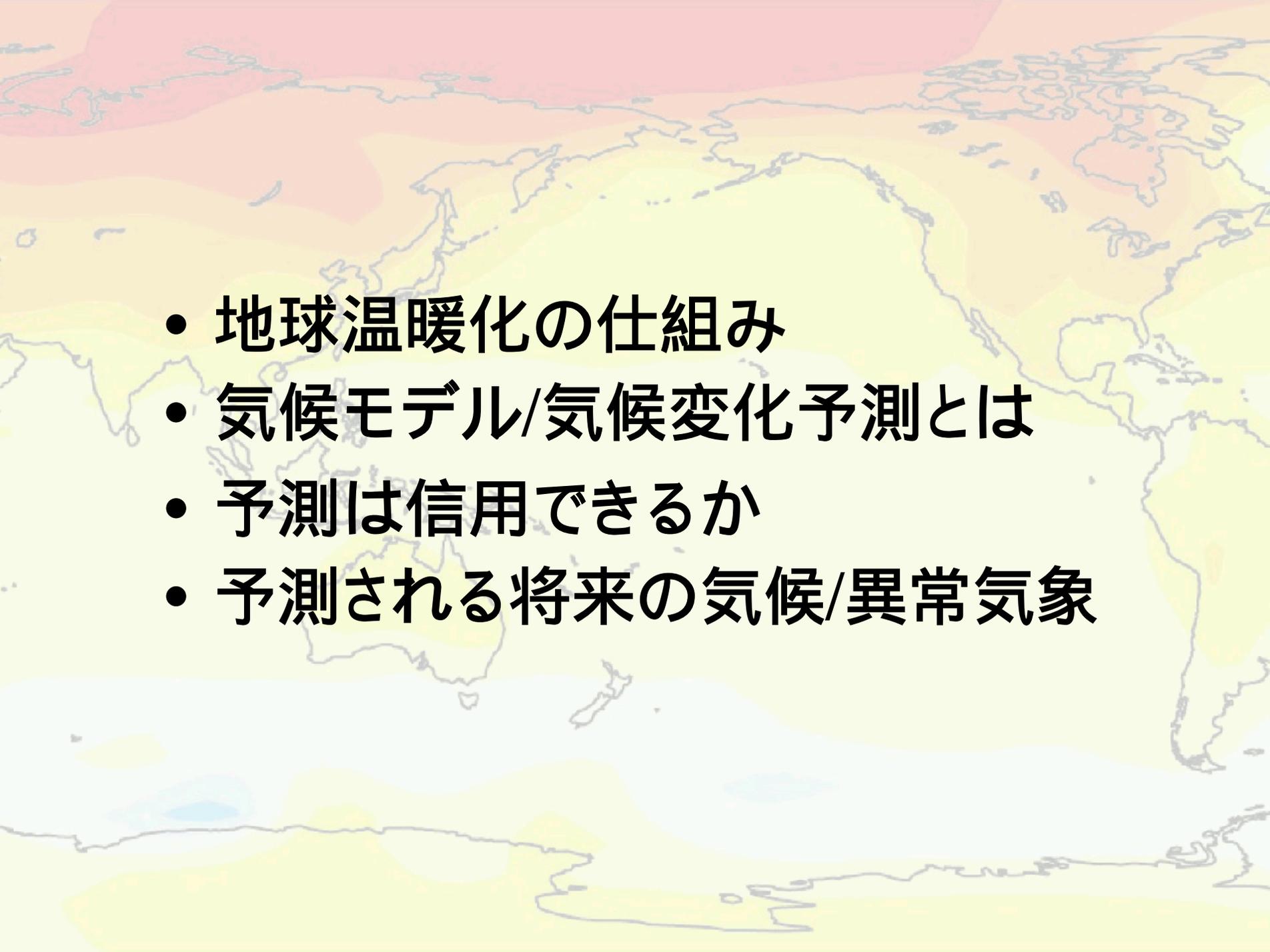
# コンピュータが予測する 未来の気候

国立環境研究所 主任研究員

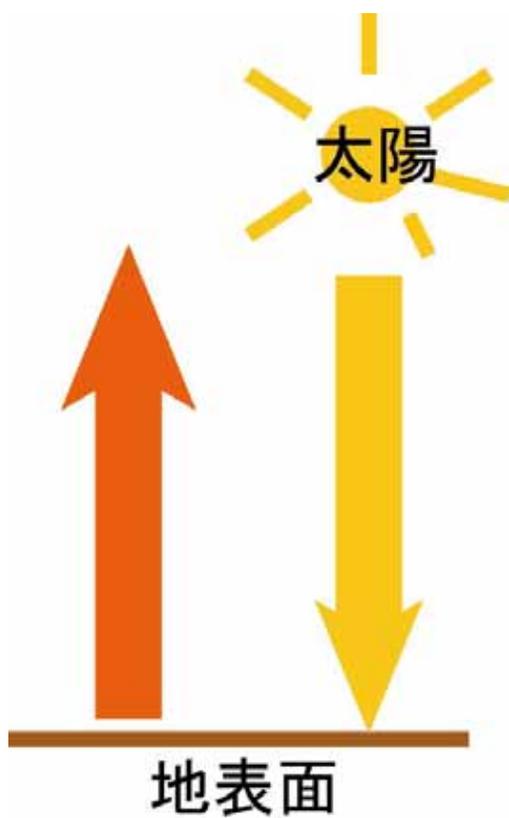
(地球環境フロンティア研究センターグループリーダー)

環境省地球環境研究総合推進費「極端な気象現象を含む高解像度気候変化シナリオを用いた温暖化影響評価研究」課題代表者

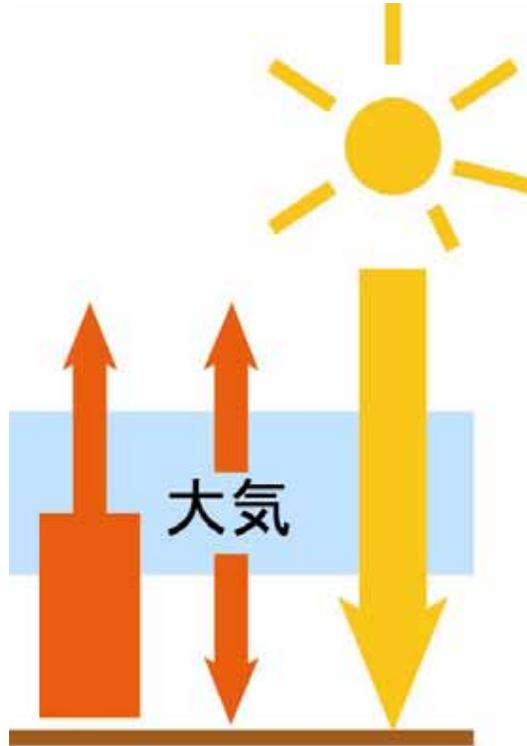
江守正多

- 
- A world map showing temperature anomalies. The map uses a color scale from blue (cooler) to red (warmer). Significant warming is visible in the Arctic region (dark red) and parts of the Northern Hemisphere (red and orange). The Southern Hemisphere shows less pronounced warming, with some orange and yellow areas. The equatorial region is mostly yellow and white.
- 地球温暖化の仕組み
  - 気候モデル/気候変化予測とは
  - 予測は信用できるか
  - 予測される将来の気候/異常気象

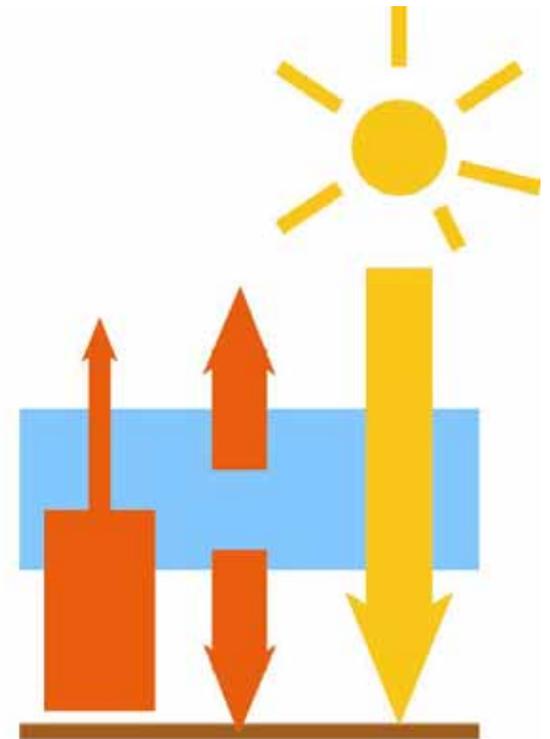
# 地球温暖化の仕組み



温室効果無し



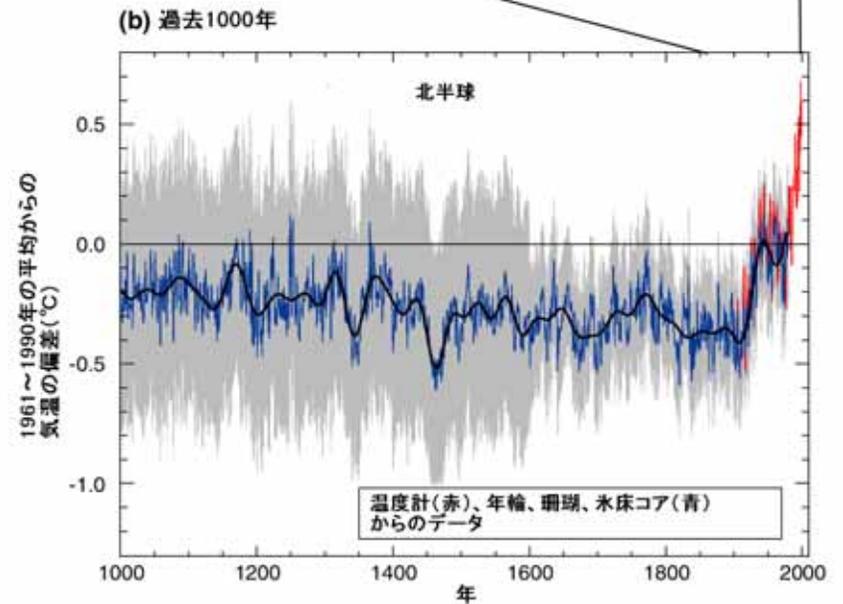
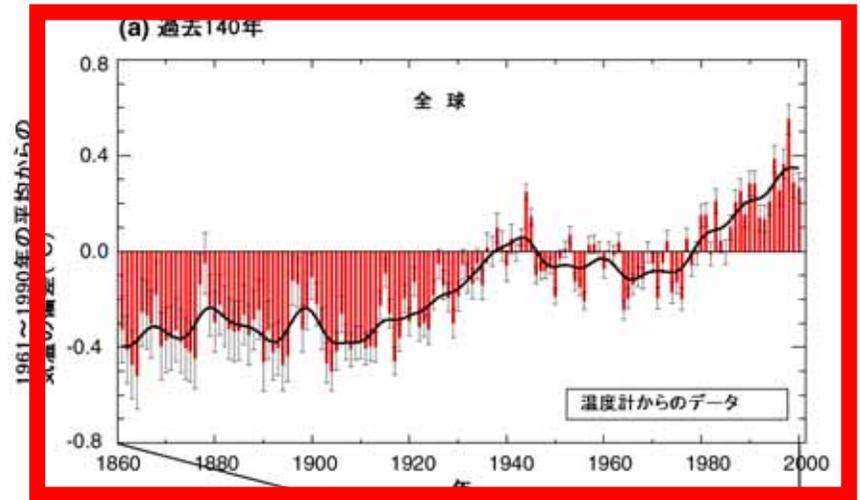
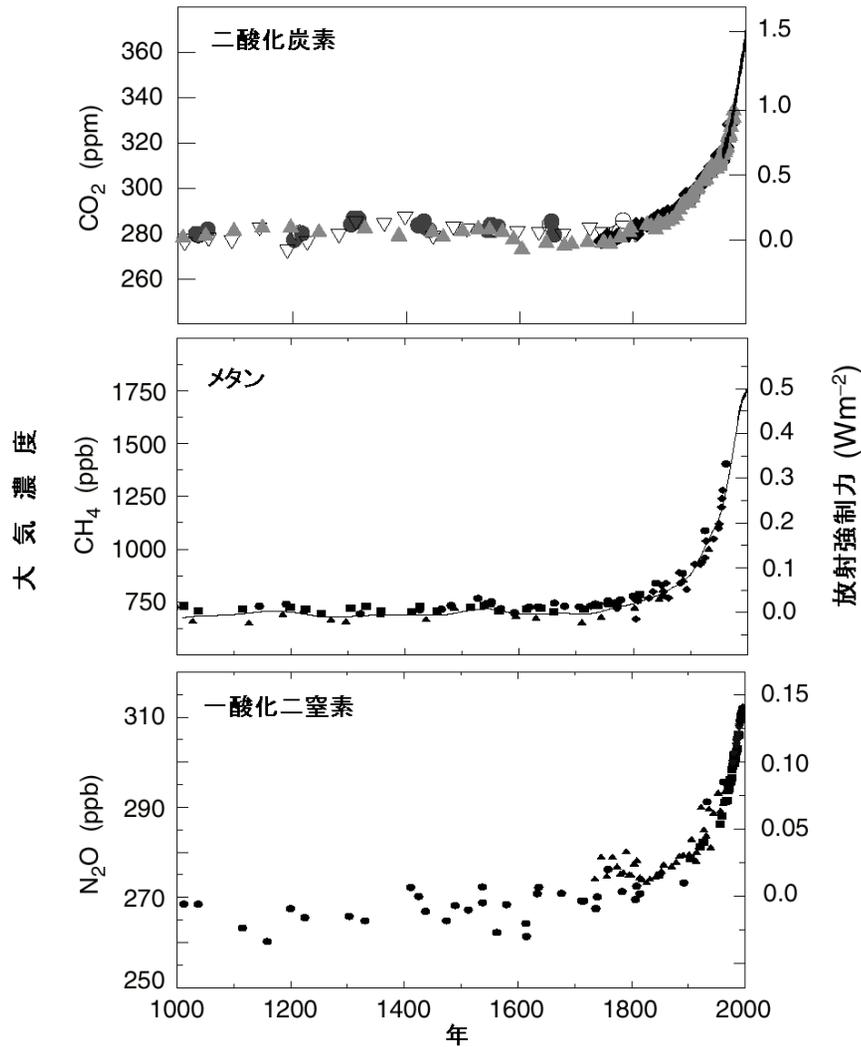
温室効果有り

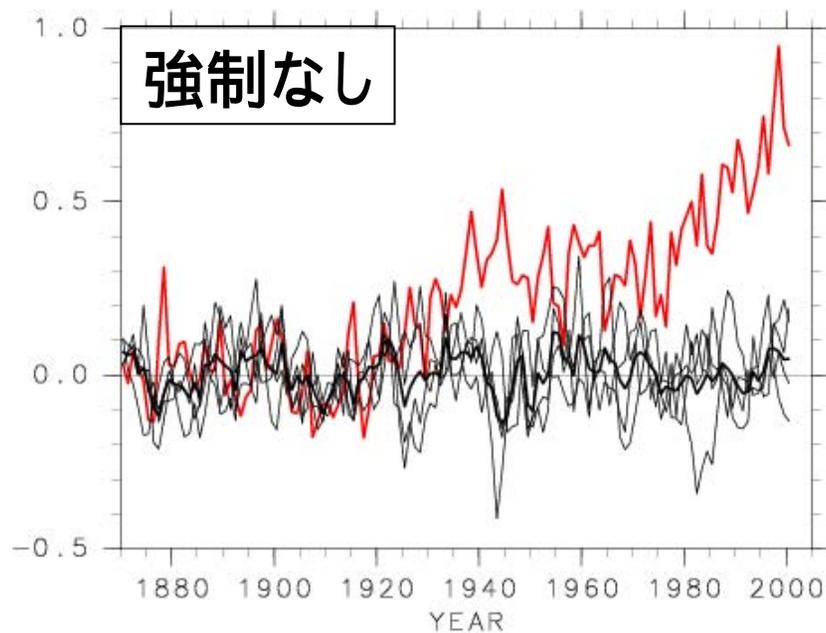
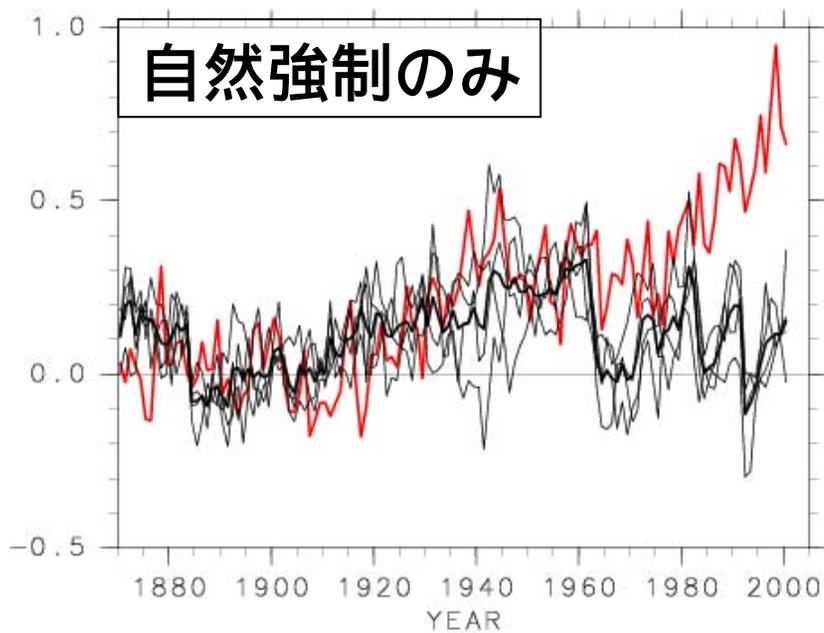
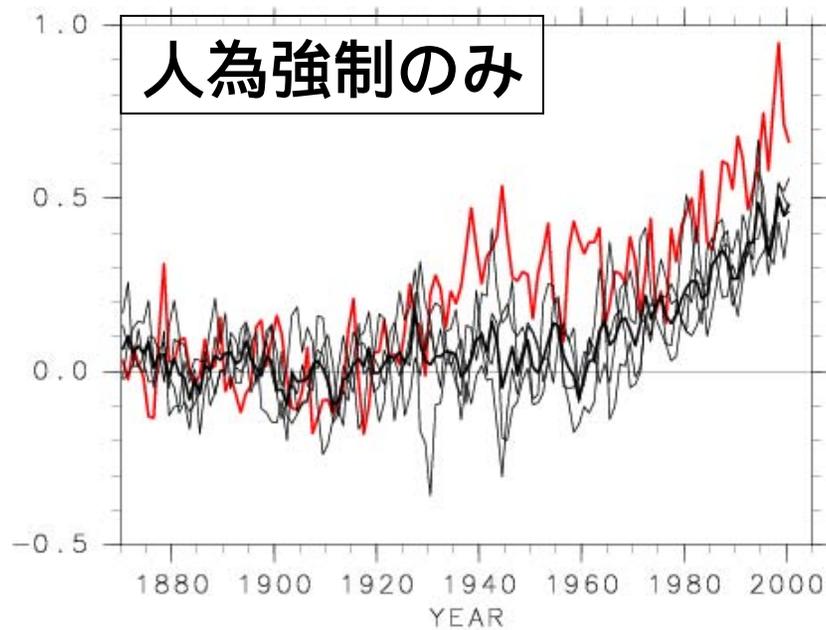
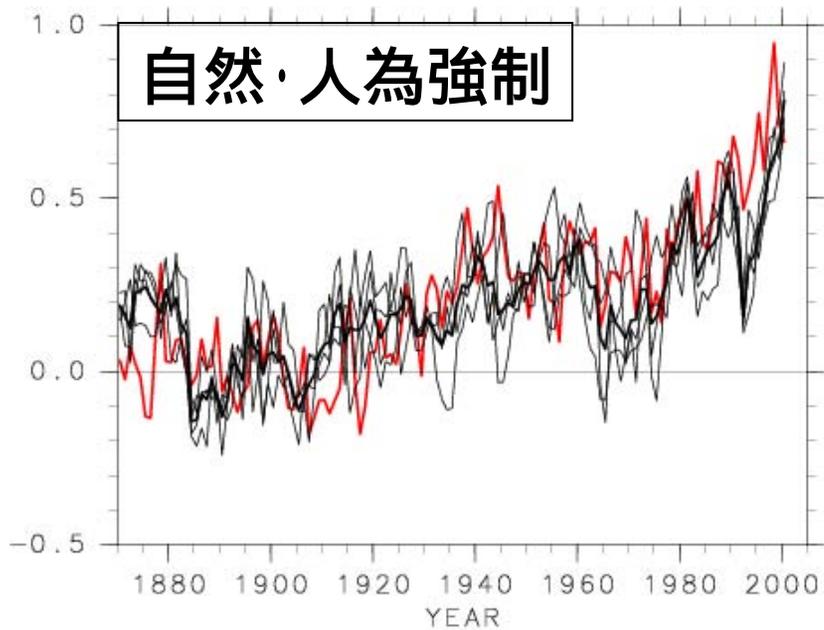


温室効果が強まった

# 温室効果気体および地表面気温の時系列図

(a) 3種類のよく混合されている温室効果ガスの大気中濃度



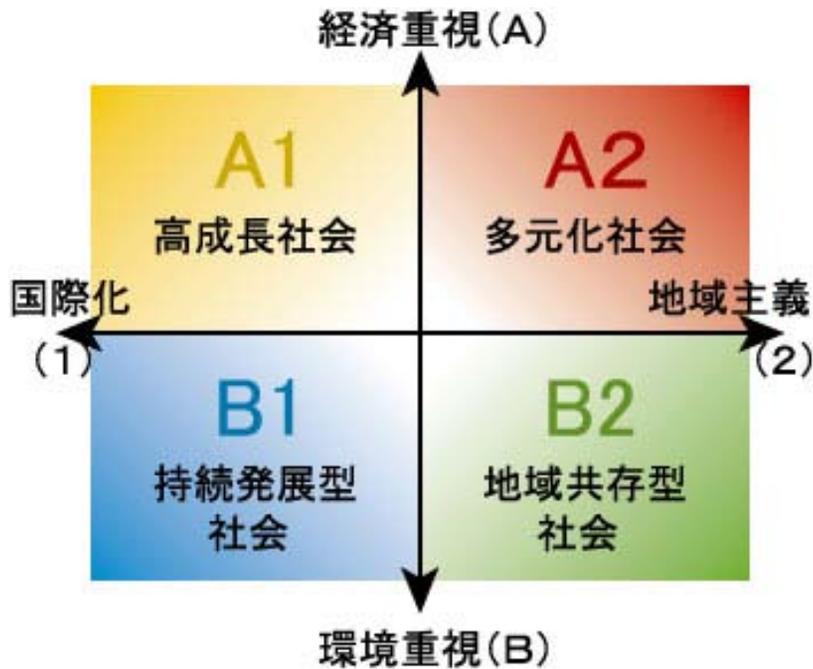


# シナリオ分析による地球温暖化の アセスメント(IPCC)

- 
- 1 . 世界の社会経済発展シナリオ
  - 2 . 温室効果気体などの排出シナリオ
  - 3 . 温室効果気体などの大気中濃度シナリオ
  - 4 . 気候変化シナリオ
  - 5 . 影響評価
  - 6 . 緩和策、適応策の検討

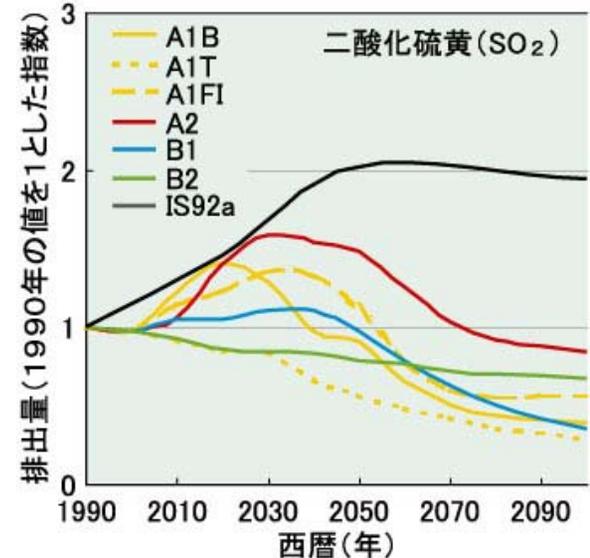
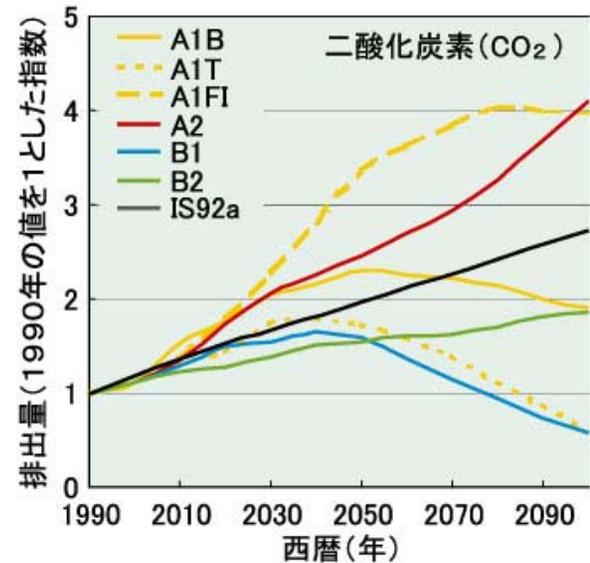
# IPCCの世界発展シナリオ・排出シナリオ

4つの世界像(ストーリーライン)



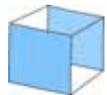
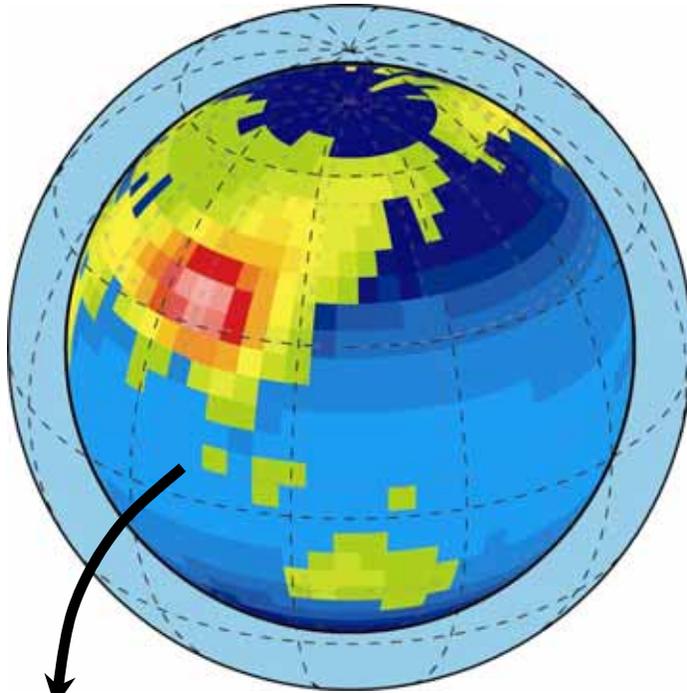
- 人口
- 経済活動
- 技術発展
- エネルギー
- 農業

の変化を統合的に記述



# 気候モデル

大気・海洋・陸面を3次元の格子に切る(離散化)



$U, V, p, T, q, \dots$

各格子で物理量を定義

流体の方程式を離散化して解く

$$\frac{dp}{dt} + \rho \left( \frac{1}{a \cos \varphi} \frac{\partial u}{\partial \lambda} + \frac{1}{a \cos \varphi} \frac{\partial v \cos \varphi}{\partial \varphi} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0$$

$$\frac{du}{dt} - \frac{\tan \varphi}{a} uv - fv = F - \frac{1}{\rho a \cos \varphi} \frac{\partial p}{\partial \lambda}$$

$$\frac{dv}{dt} + \frac{\tan \varphi}{a} u^2 + fu = F - \frac{1}{\rho a} \frac{\partial p}{\partial \varphi}$$

$$0 = -g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z}$$

$$c_v \frac{dT}{dt} + p \frac{d\alpha}{dt} = Q$$

$$\frac{dq}{dt} = Sq$$

$$p = \rho RT$$

流体力学の方程式で表現できない部分

半理論・半経験的に表現(パラメタ化)

# 気象予報モデルと気候モデル

基本的な原理は同じだが...

## 気象予報モデル

決定論的



いつどこに雨が降るかが  
重要

1 ~ 2週間以上の予報は  
不可能？

## 気候モデル

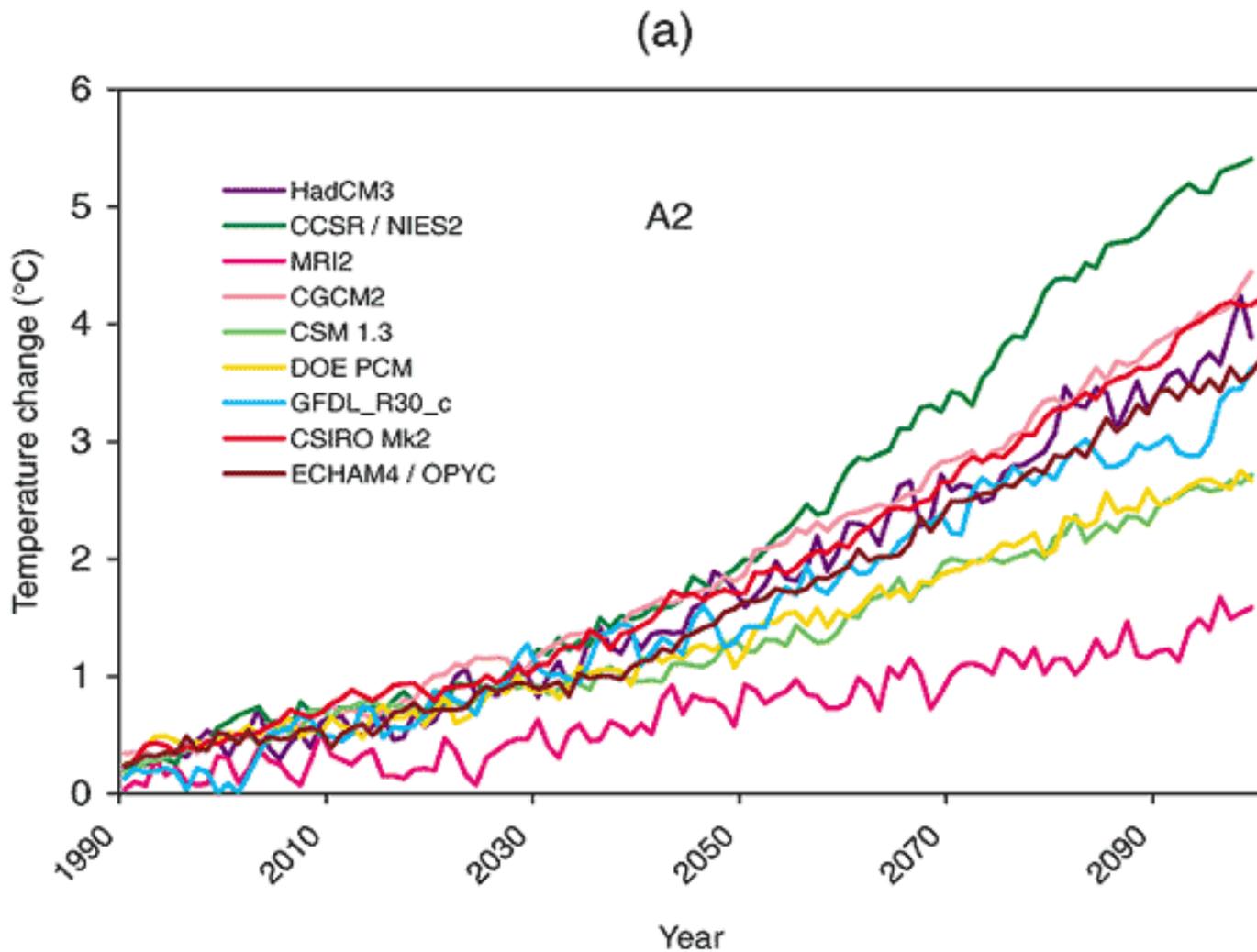
平均的・統計的



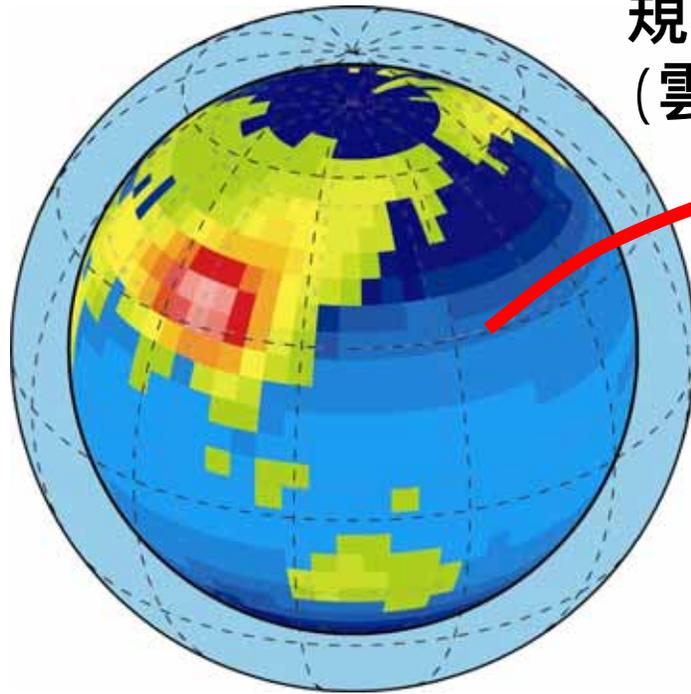
いつどこに雨が降るか  
当たらなくてよい

平均的分布・頻度・強度の  
変化が議論できればよい

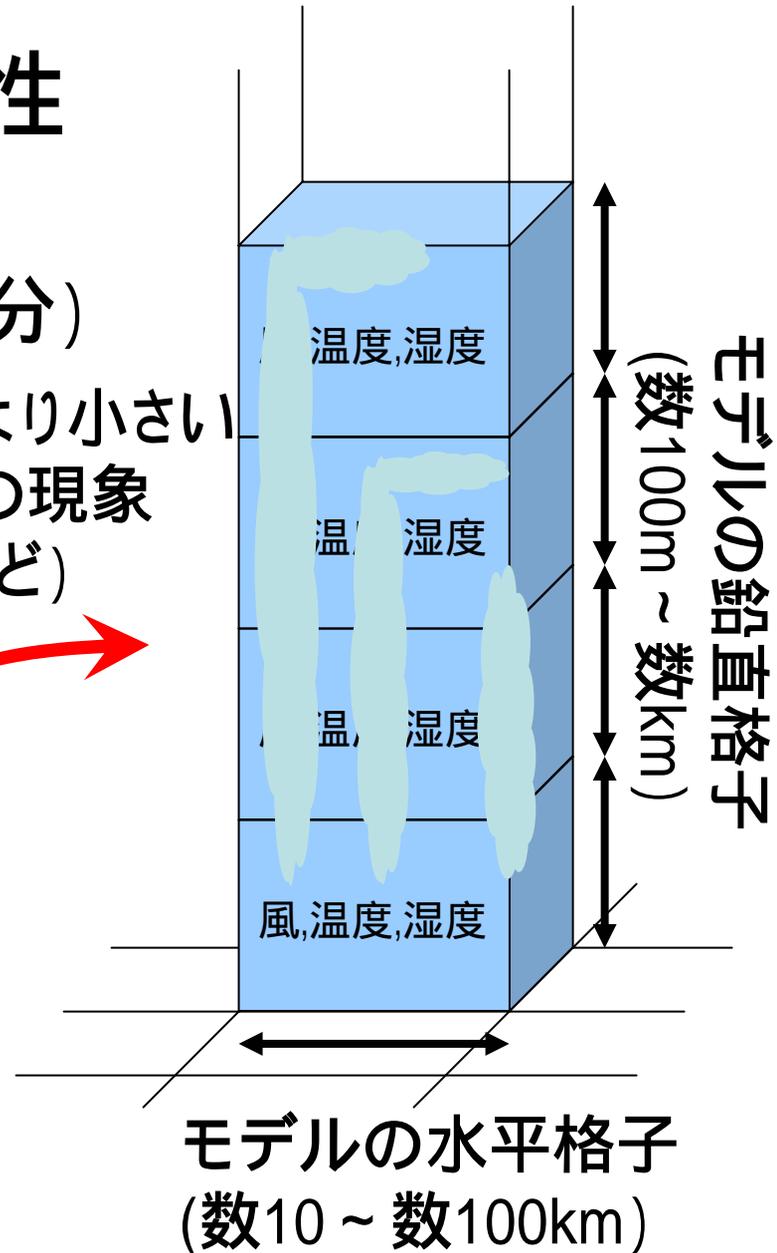
# 同一シナリオ (A2) の下での全球平均気温変化のモデルによる違い (予測の不確実性)



# モデルの不確実性 パラメタ化 (モデルの半経験的部分)

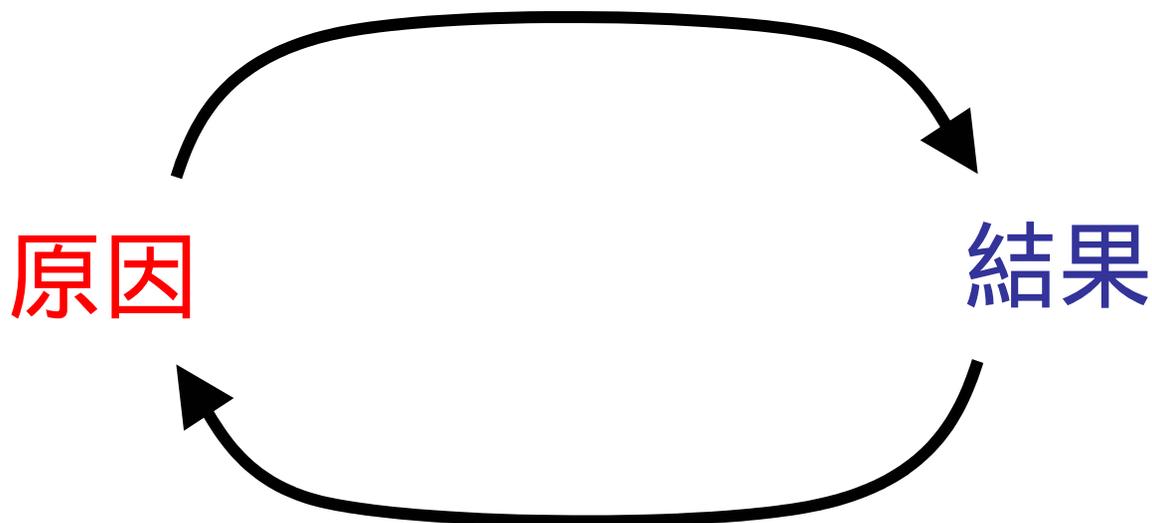


格子より小さい  
規模の現象  
(雲など)

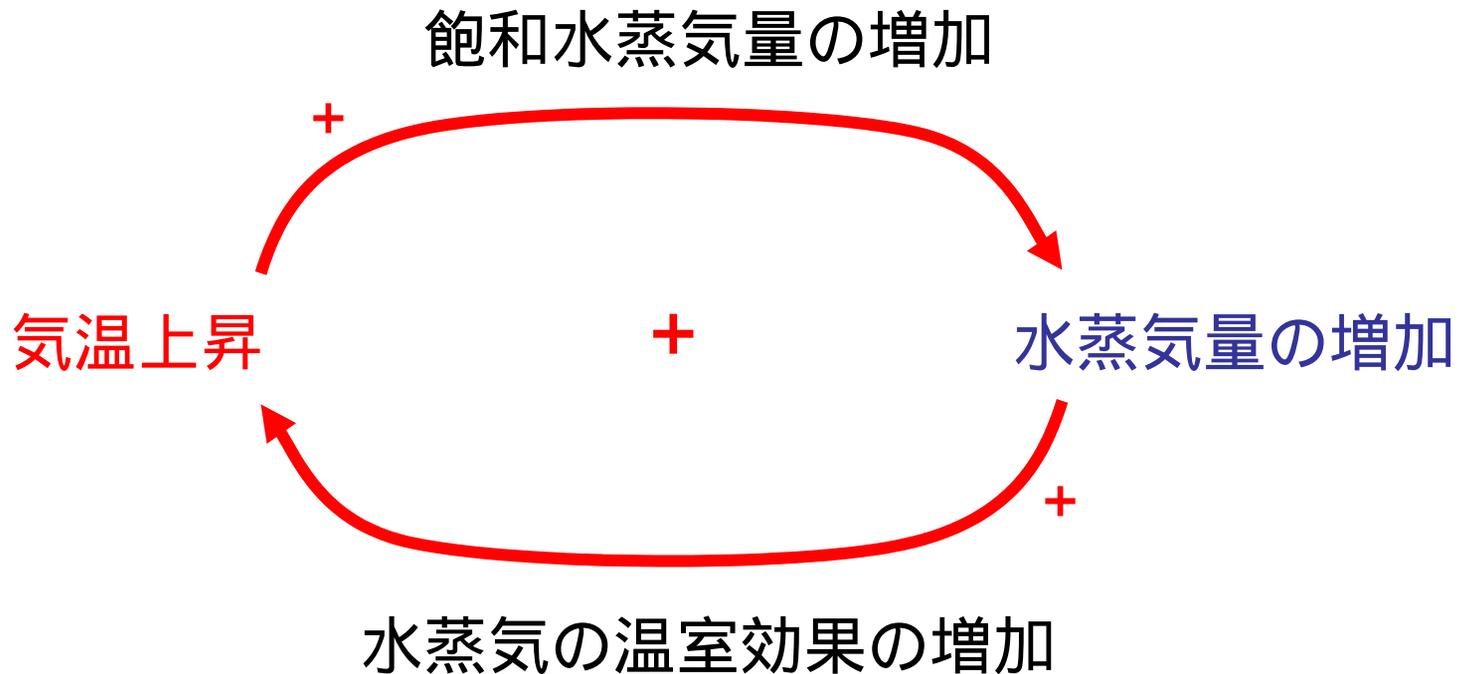


気候の振る舞いを複雑にしているもの:

フィードバック

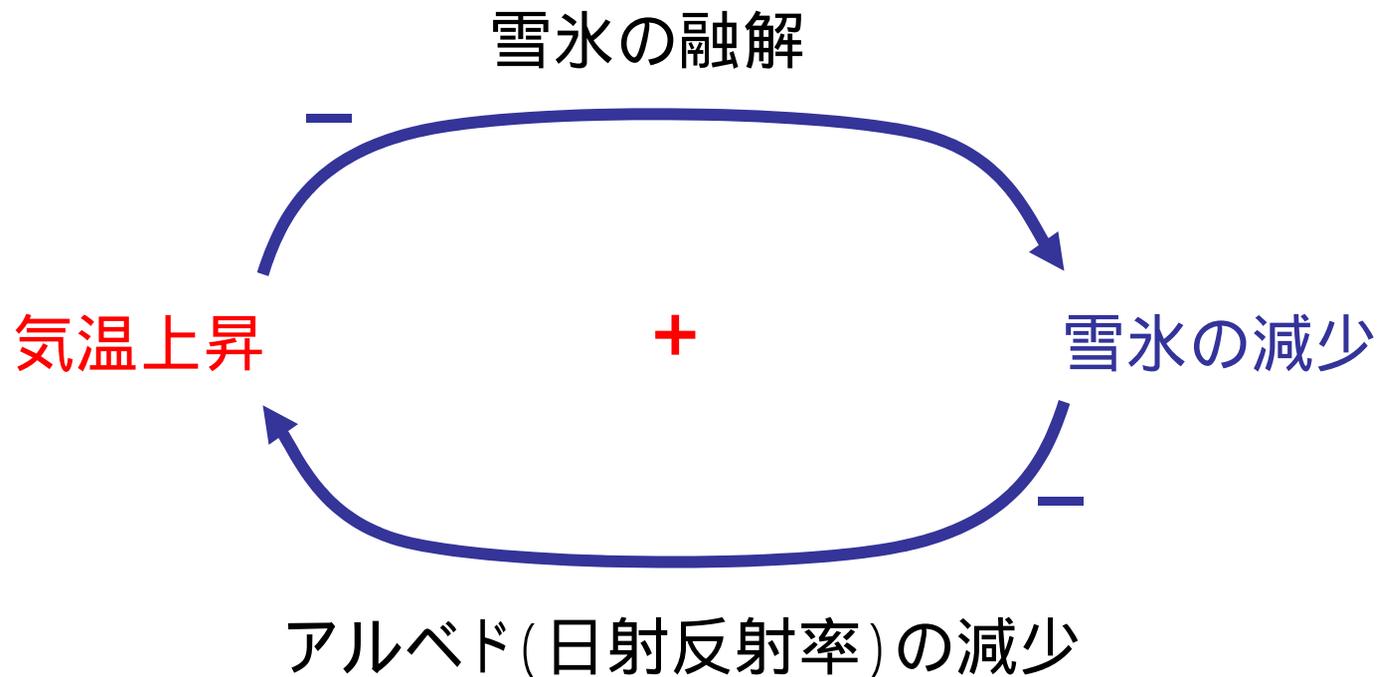


# 水蒸気フィードバック



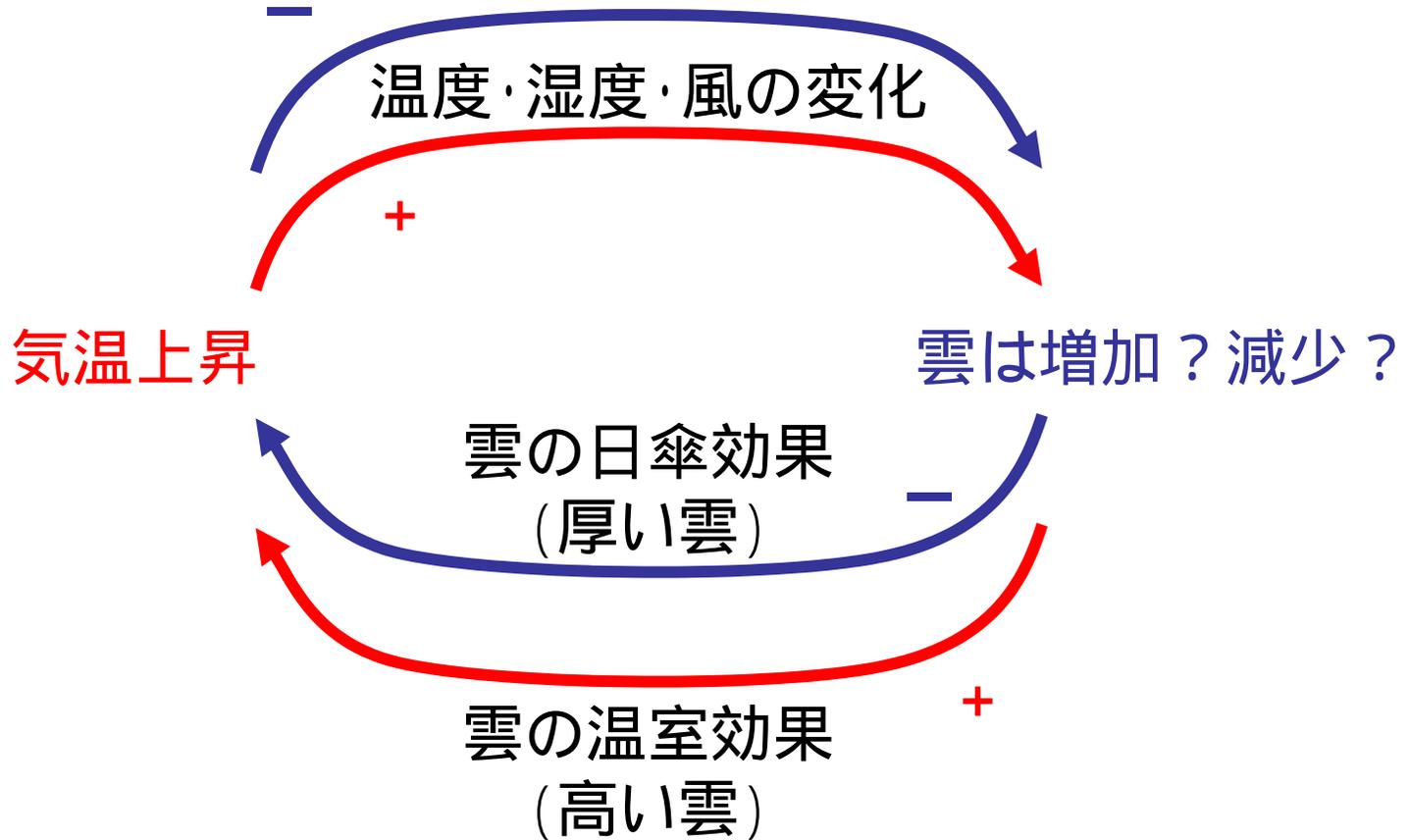
正のフィードバック  
温暖化を加速

# 雪氷アルベドフィードバック



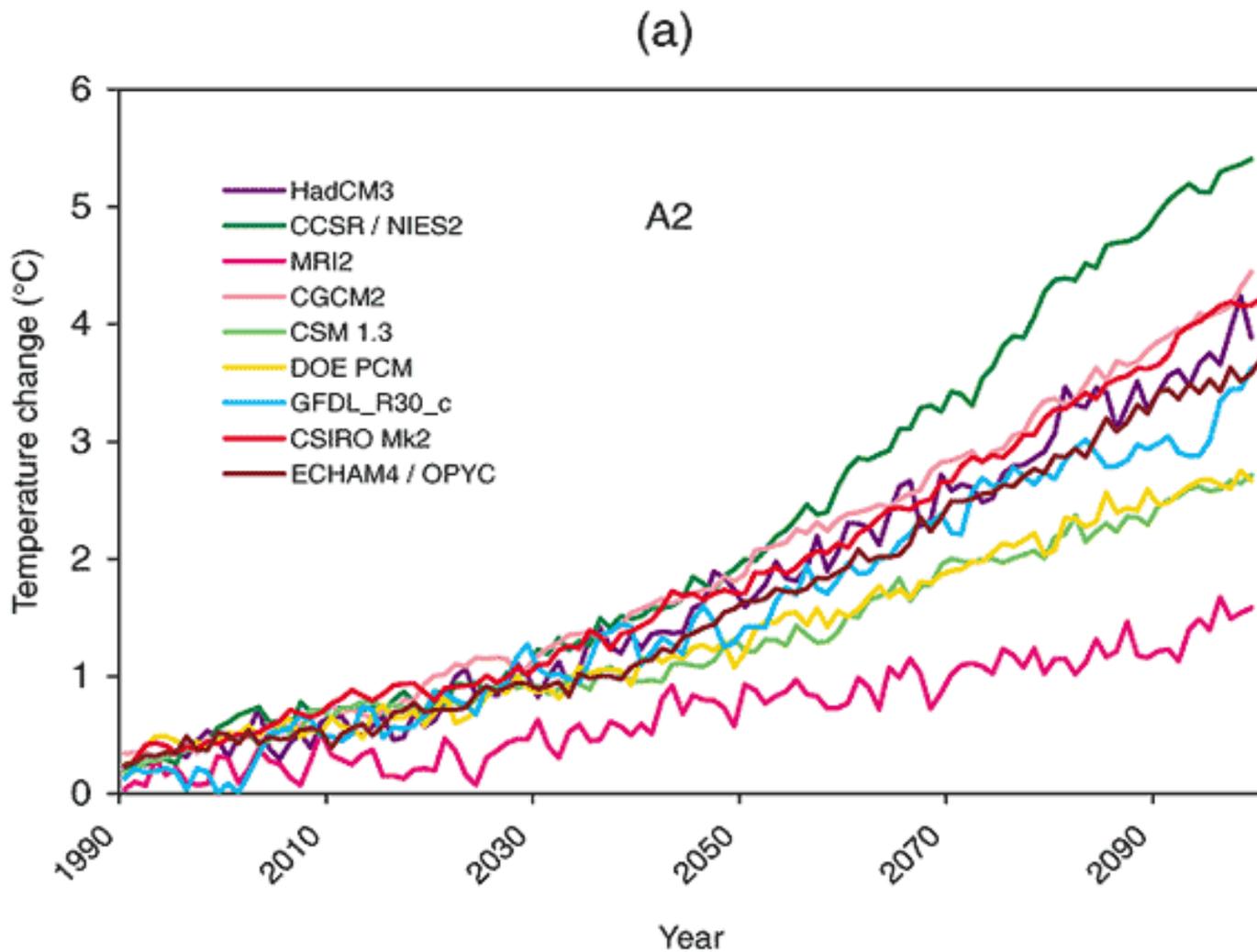
**正のフィードバック**  
温暖化を加速

# 雲のフィードバック



温暖化を加速？減速？(場所により異なる？正味では？)

# 同一シナリオ (A2) の下での全球平均気温変化のモデルによる違い (予測の不確実性)



# どのような予測には自信があるか (必要条件)

- 注目する変化が自然変動に比べて十分大きく、明瞭である
- 物理的・合理的に説明可能である
- 全ての(多くの?)モデルで結果が一致する
- 注目する現象を現在の気候についてモデルがよく再現できる

# CCSR/NIES/FRCGC 気候モデルによる気候変化実験



世界最高解像度大気海洋結合モデル

大気: 100km (従来300km)

海洋: 20km (従来100km)

世界 **第三位** スーパーコンピュータ  
「地球シミュレータ」を用いて計算

CCSR: 東京大学気候システム研究センター

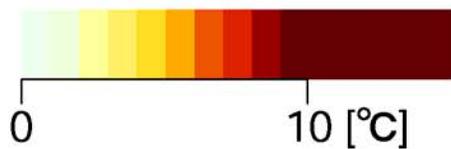
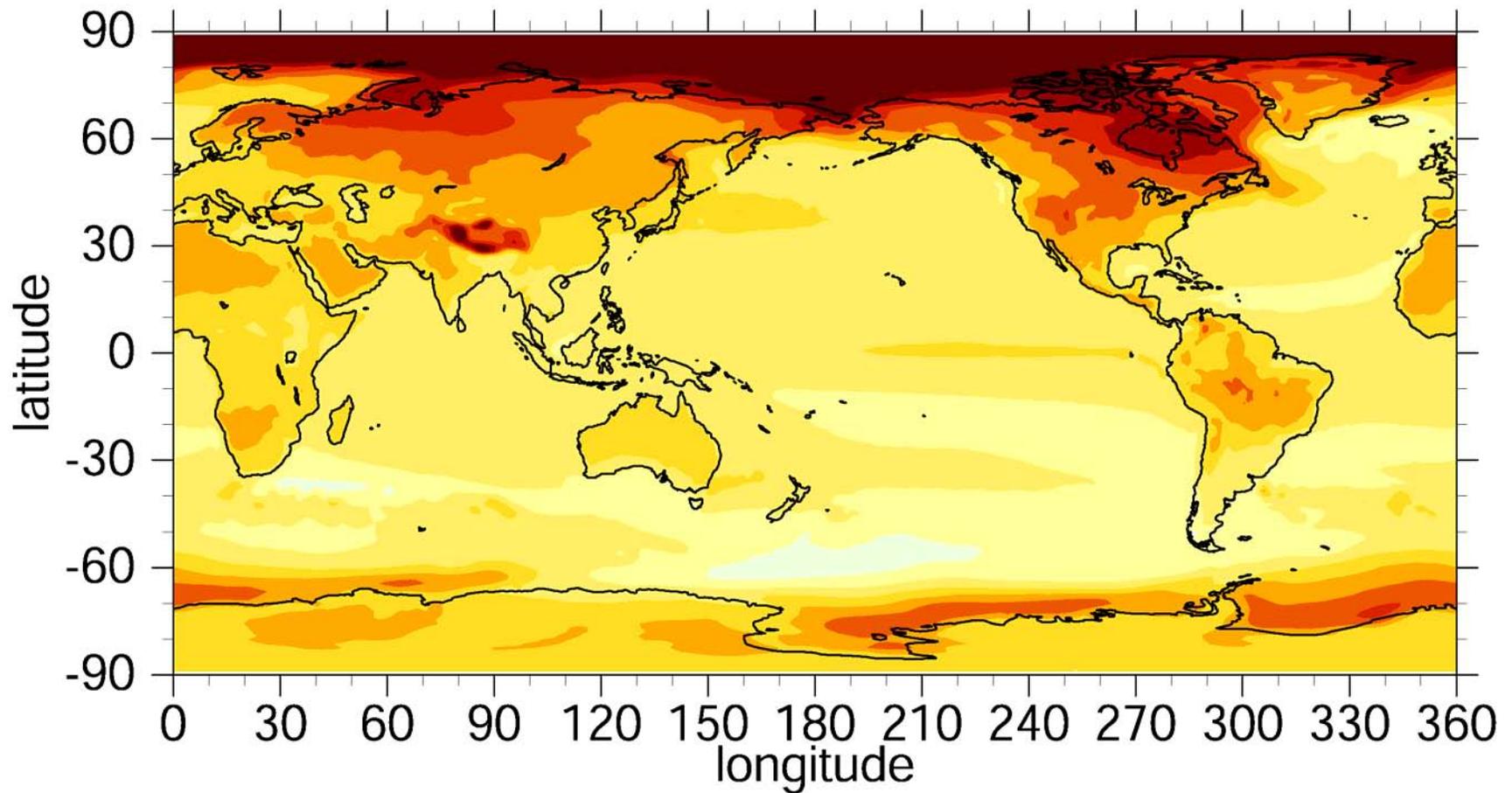
NIES: 国立環境研究所

FRCGC: 海洋研究開発機構 地球環境フロンティア研究センター

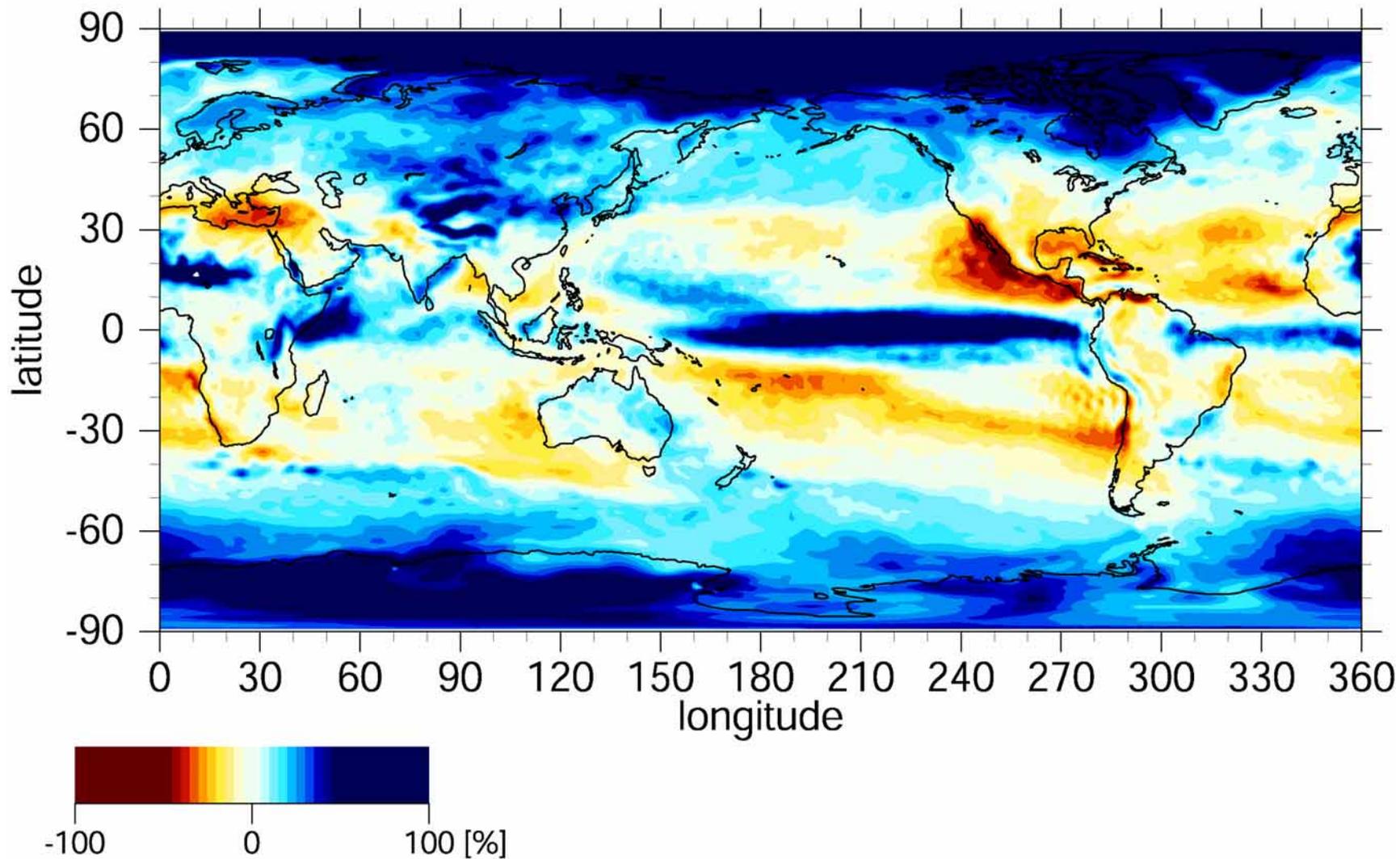


8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 [°C]

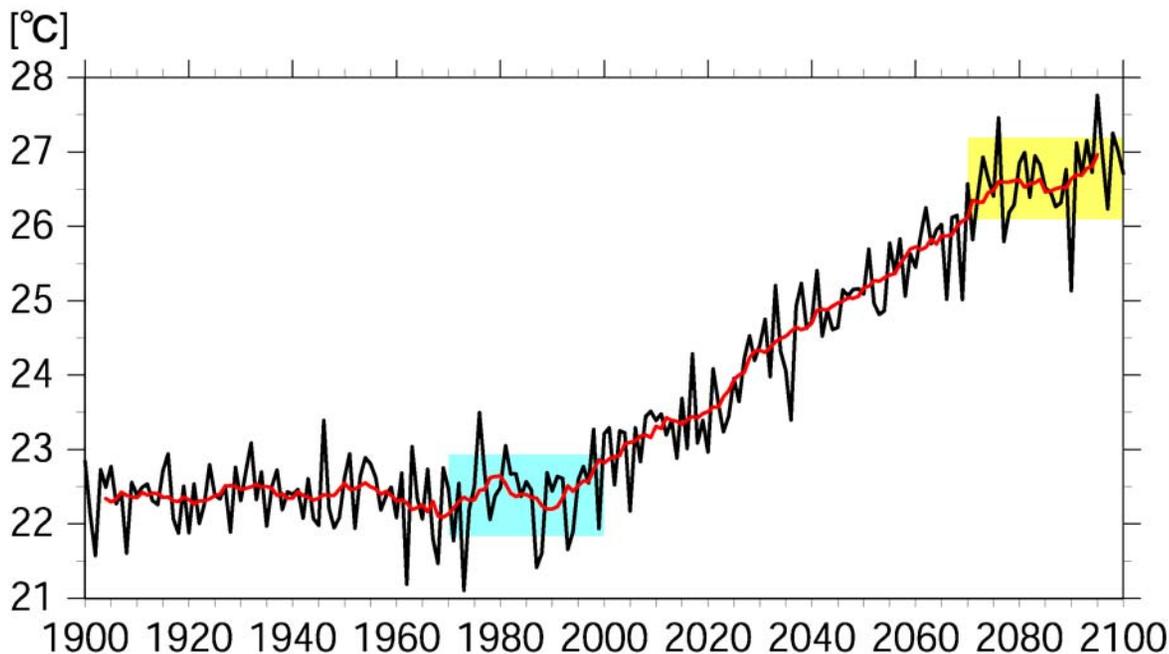
# 2100年頃の年平均地表気温上昇量の分布 (シナリオA1B)



# 2100年頃の年平均降水量変化率の分布 (シナリオA1B)

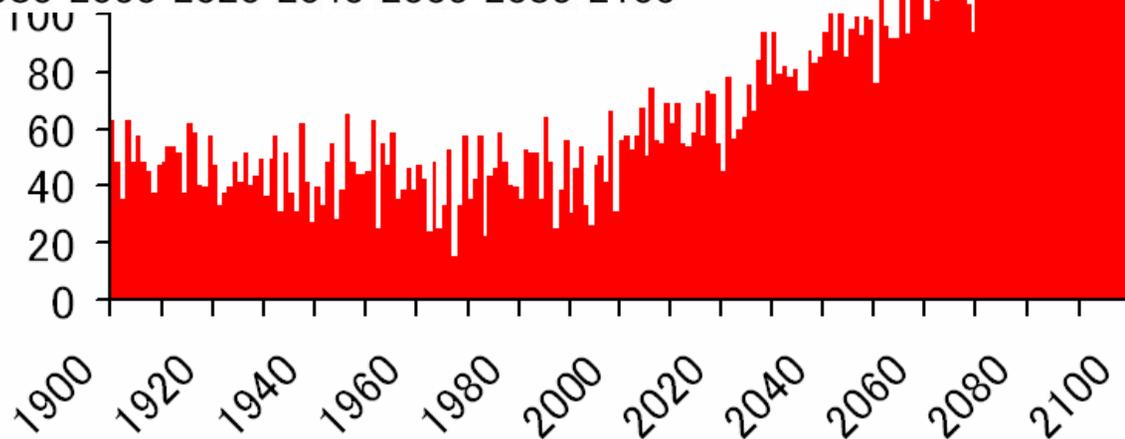


# 日本の真夏日日数と夏季平均気温の変化

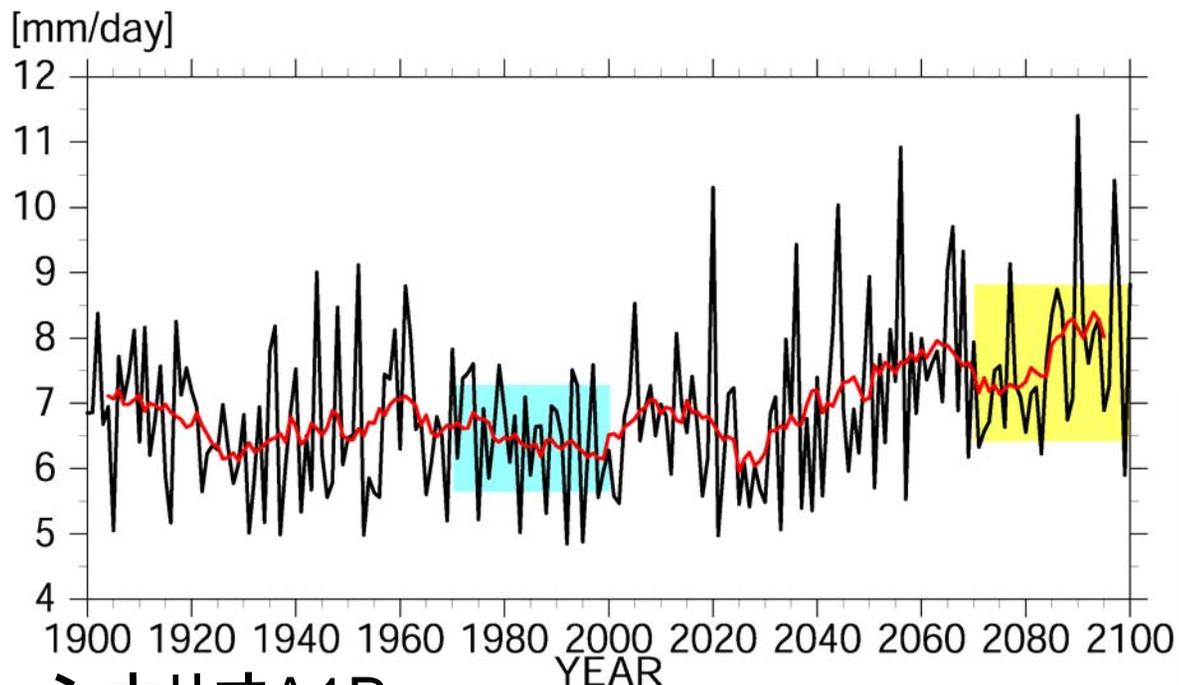


年々の変動幅  
はほとんど変化  
しない

シナリオA1B  
全球平均気温は  
100年間で  
4.0 上昇

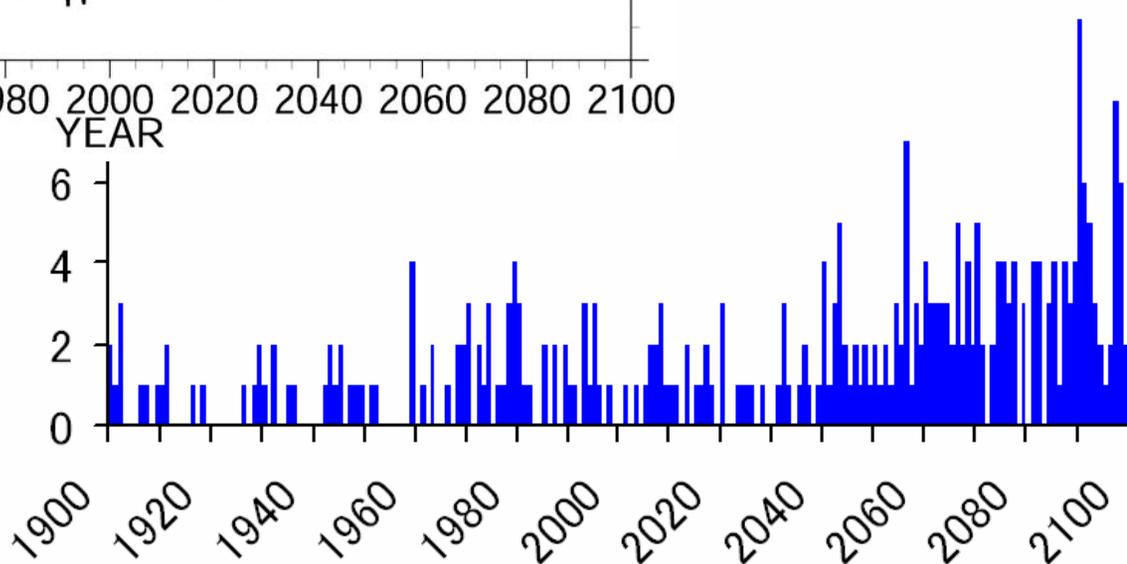


# 日本の夏季豪雨日数と夏季平均降水量の変化



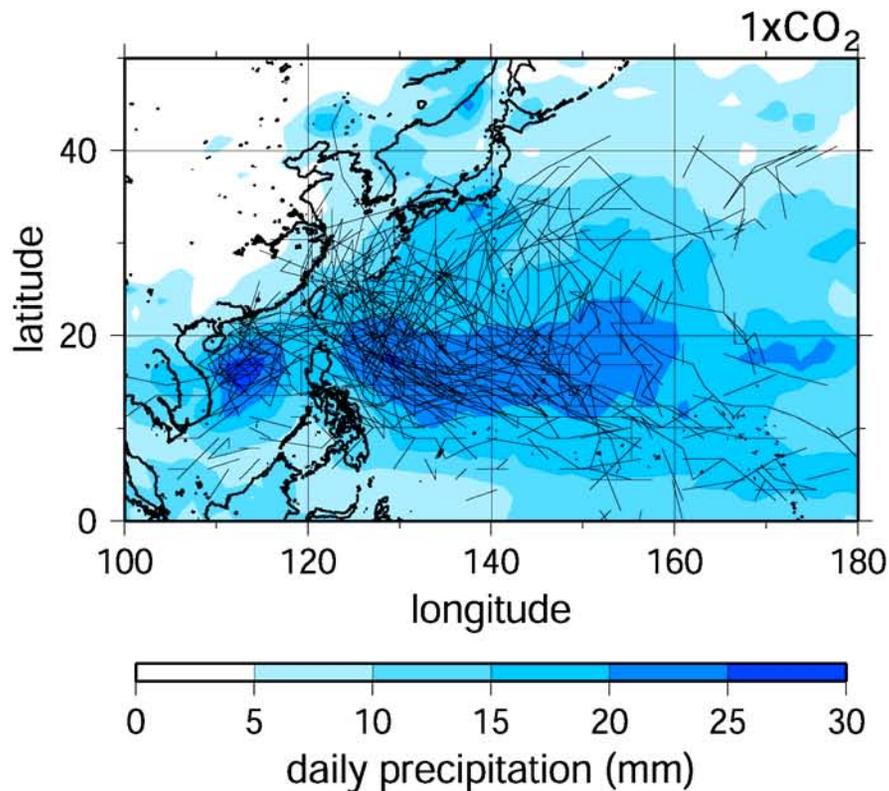
年々の変動幅  
も大きくなる

シナリオA1B  
全球平均降水量  
は100年間で  
6.4%増加

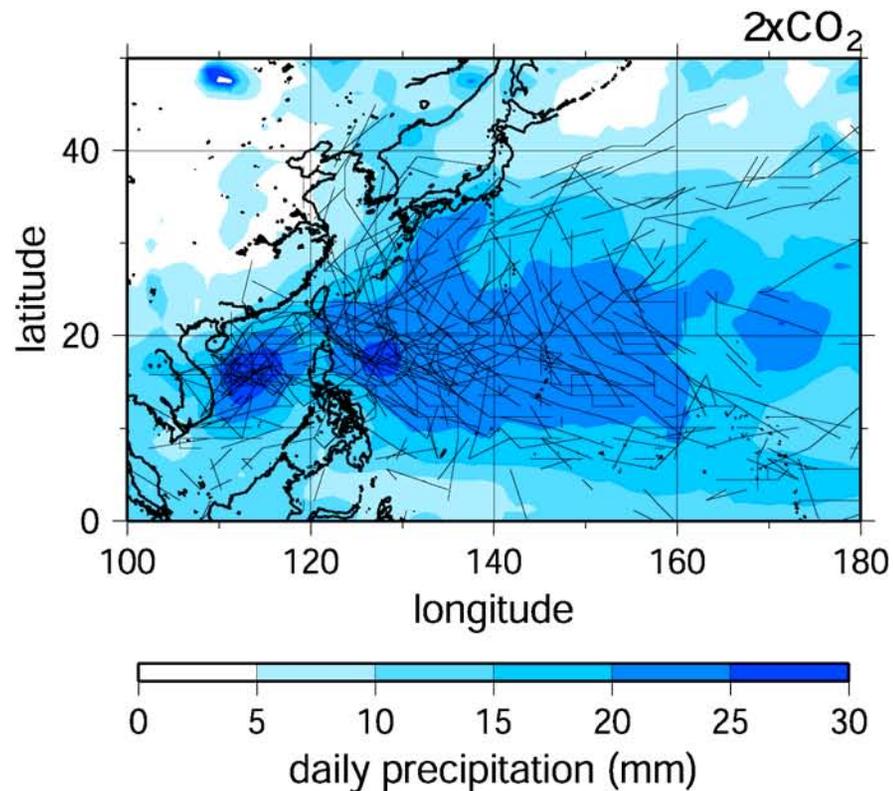


# 台風によりもたらされる平均日降水量の変化

現在



二酸化炭素倍増時



# 気候モデル実験から分かること

- 気温上昇の大きさは地域によって異なり、北半球高緯度陸上で大きい。
- 降水量は、現在大きい地域では増え、現在小さい地域では減る傾向がある。

日本では...

- 気温は平均的に上昇し、年々の振れ幅はほぼ変わらないため、暑い夏は増え、涼しい夏は減る。真夏日日数が増加する。
- 降水量は平均的に増え、年々の振れ幅も大きくなる。豪雨の頻度が増加する。台風による降水量も増加する。

# なぜ100年後の話をするのか？

- 気候の自然変動と温暖化を区別するため、温暖化が進行した状態を調べるほうが調べやすいから
- 100年後の気候を決めるのは100年後の人たちでなく、我々を含めたそれまで生きてきた人たちだから