

地球温暖化を考える講演会

地球温暖化の討論のための補足資料

2017年4月2日

新宿区立 環境学習情報センター

西田 進

目 次

1. 古生代・中生代・新生代の気候変動
2. 氷期・間氷期時代の気候変動
3. 紀元後2000年間の気候変動
4. 気候モデルと自然変動
5. IPCCの課題

1. 古生代・中生代・新生代の気候変動 顕生代

隕石落下、大陸移動、生物などが造る環境

顕生代(5億年間)の気温

古生代

中生代

新生代

カンブリア紀

オルドビス紀

シルル紀

デボン紀

石炭紀

二畳紀

三畳紀

ジュラ紀

白亜紀

第三紀

第四紀

Cm

O

S

D

C

P

Tr

J

K

Pg

N

生物大爆発

生物大絶滅

Short-Term Average
Long-Term Average

HOT

氷河期

Glacial Periods

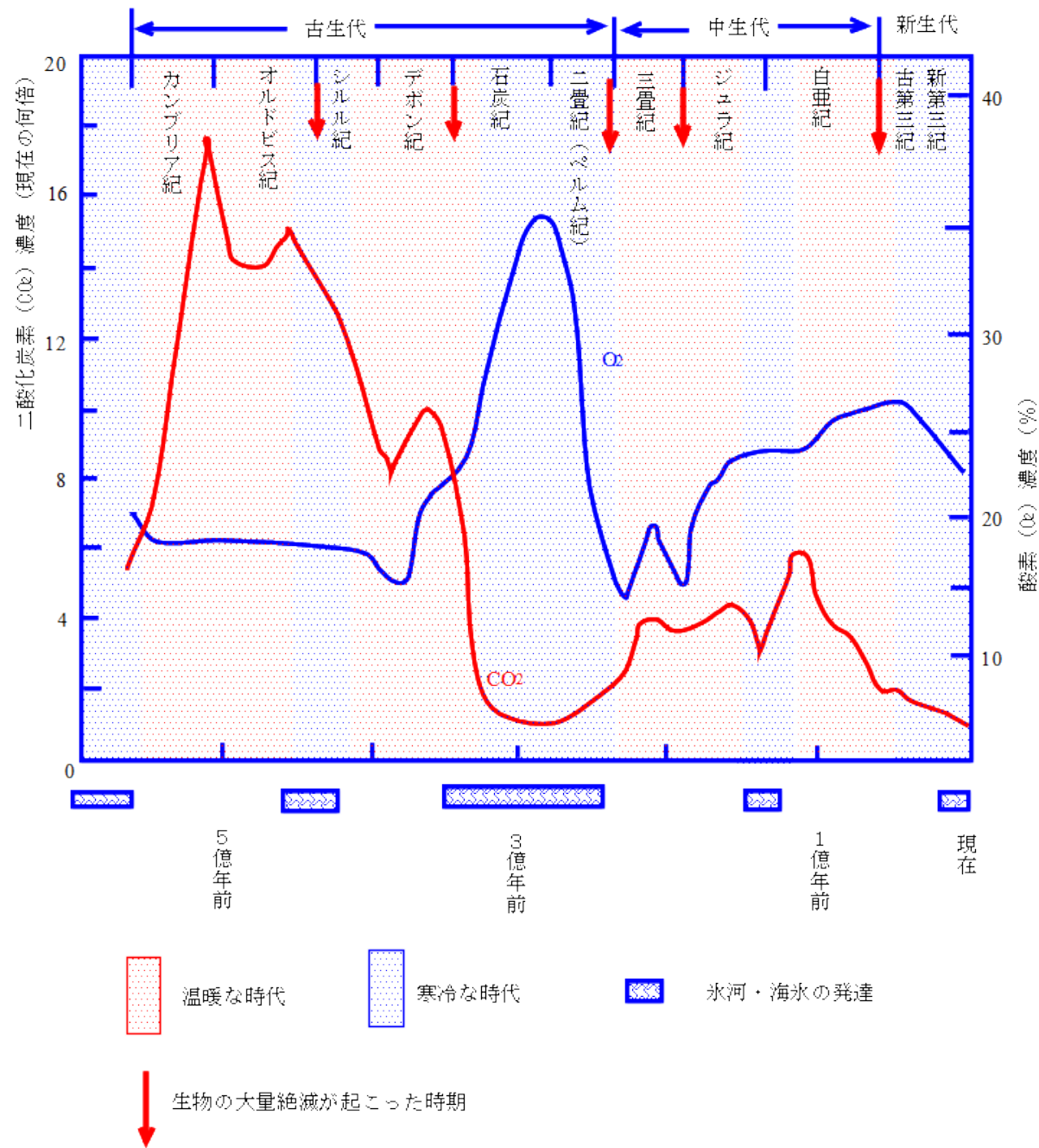
COLD

$\delta^{18}\text{O}$ (parts per thousand)

542 500 450 400 350 300 250 200 150 100 50 0

Millions of Years Ago

顕生代の大気組成

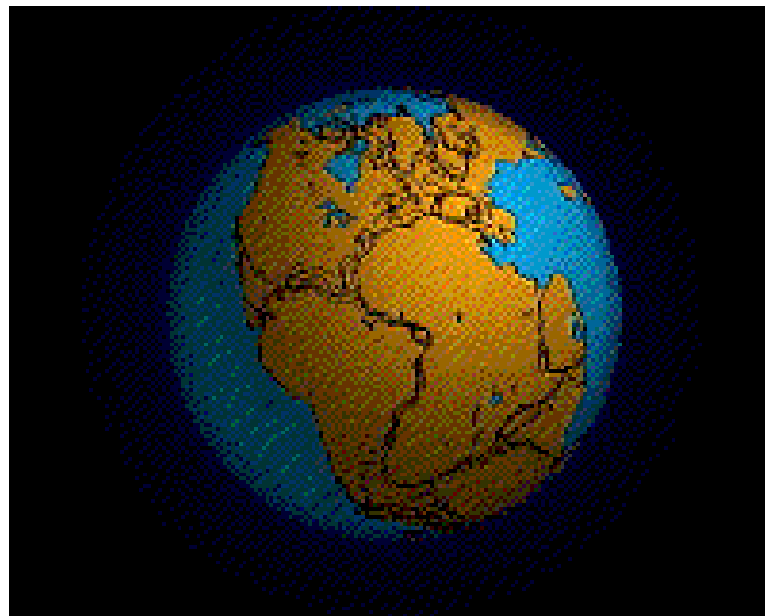


46億年間的大陸移動



大陸移動の歴史

← 下のアニメーションに示す →



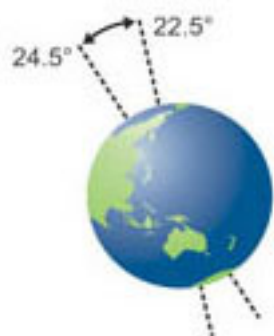
2. 氷期・間氷期時代の気候変動

新生代第四紀後半(100万年間)

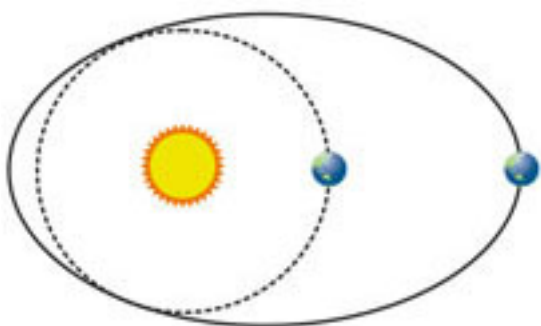
ミランコビッチサイクルと気候変動



Precession 歳差運動



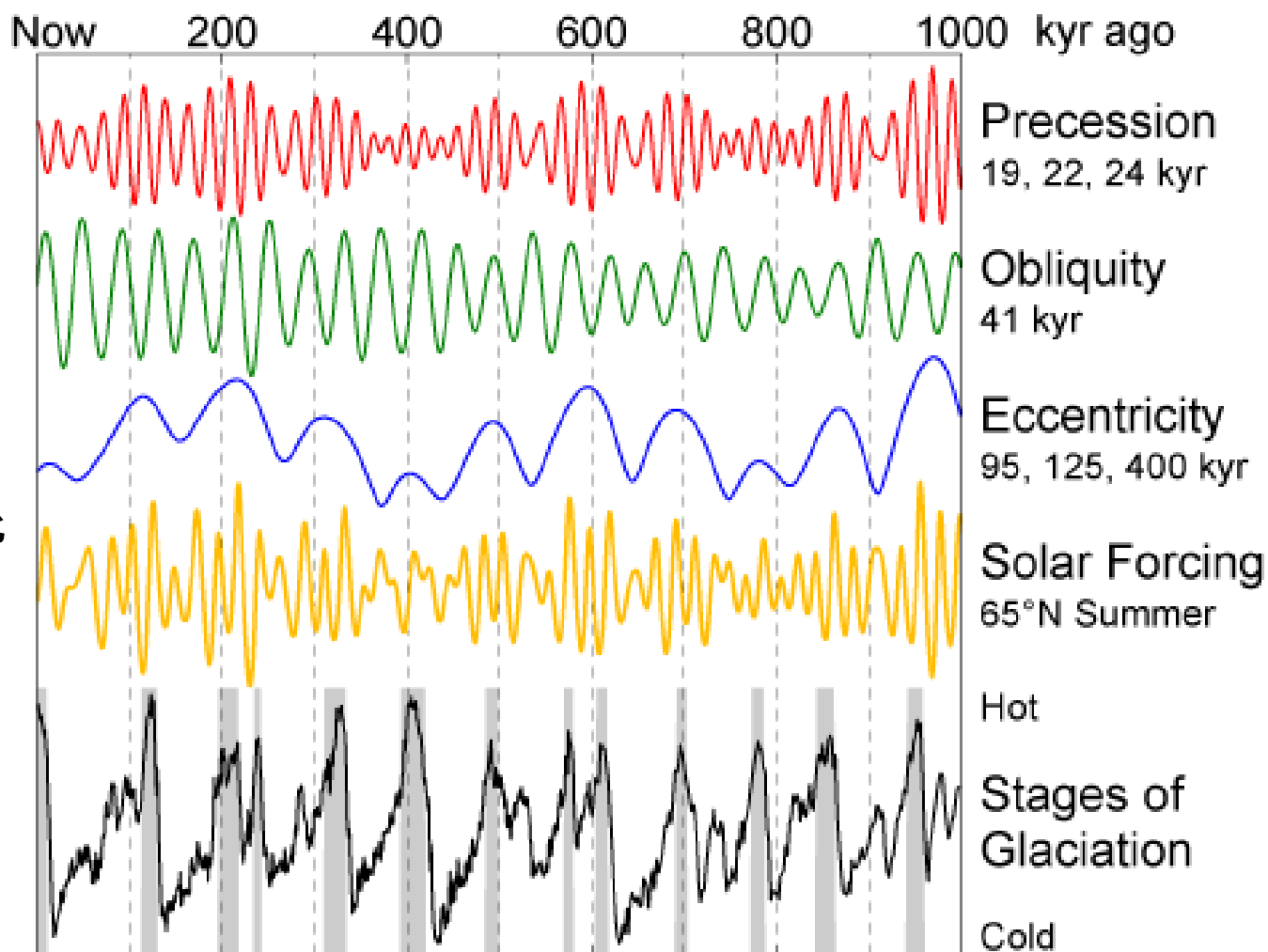
Obliquity 地軸の傾きの変化



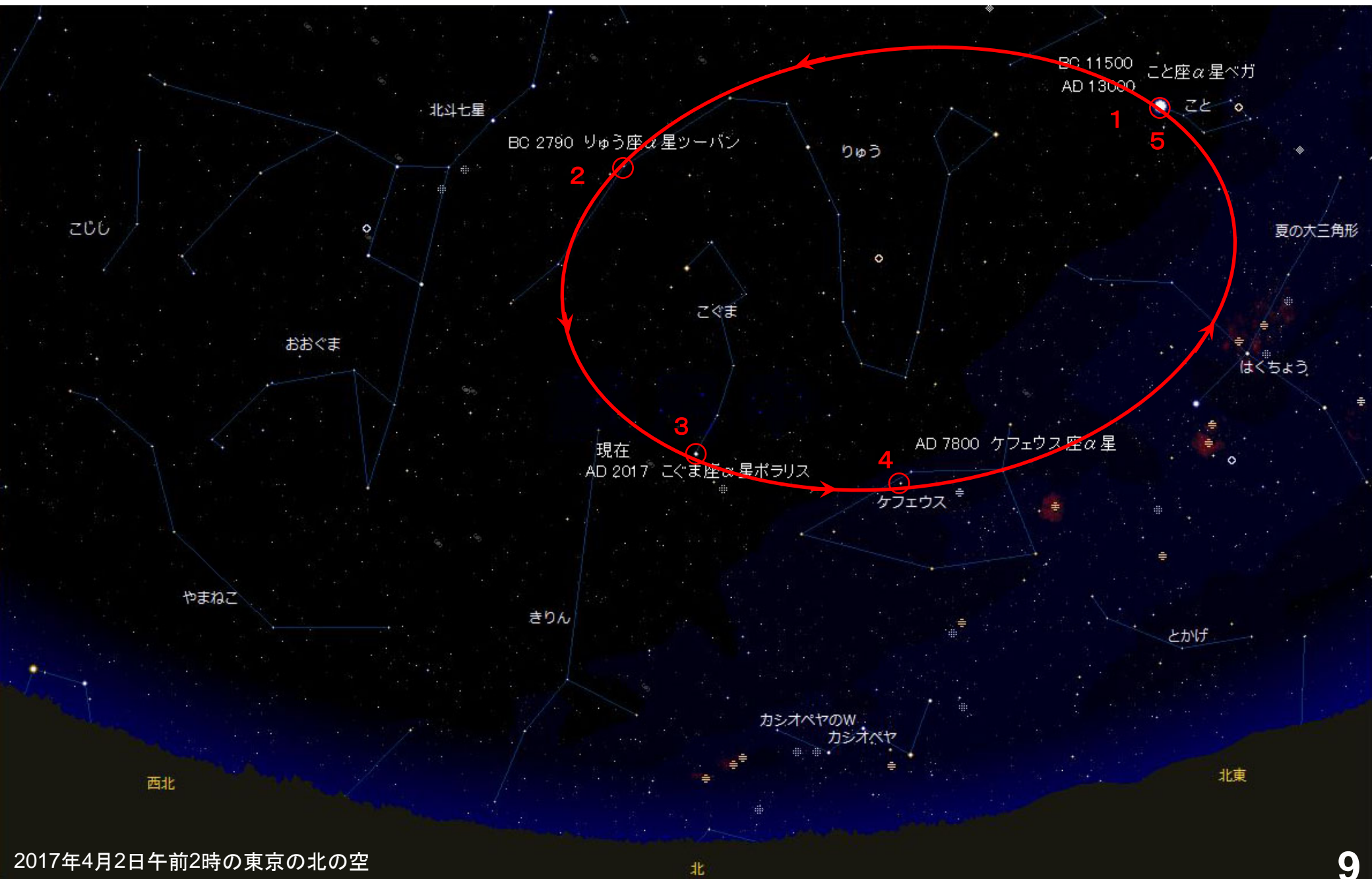
Eccentricity 公転軌道の変化

ミランコビッチ・サイクル

セルビアの地球物理学者 ミルティン・ミランコビッチが地球の日射量の緯度分布と季節変化を計算した。



北極星の位置 ミランコビッチ・サイクルによる変動（固有運動を含まず）



氷期・間氷期時代における気候変動

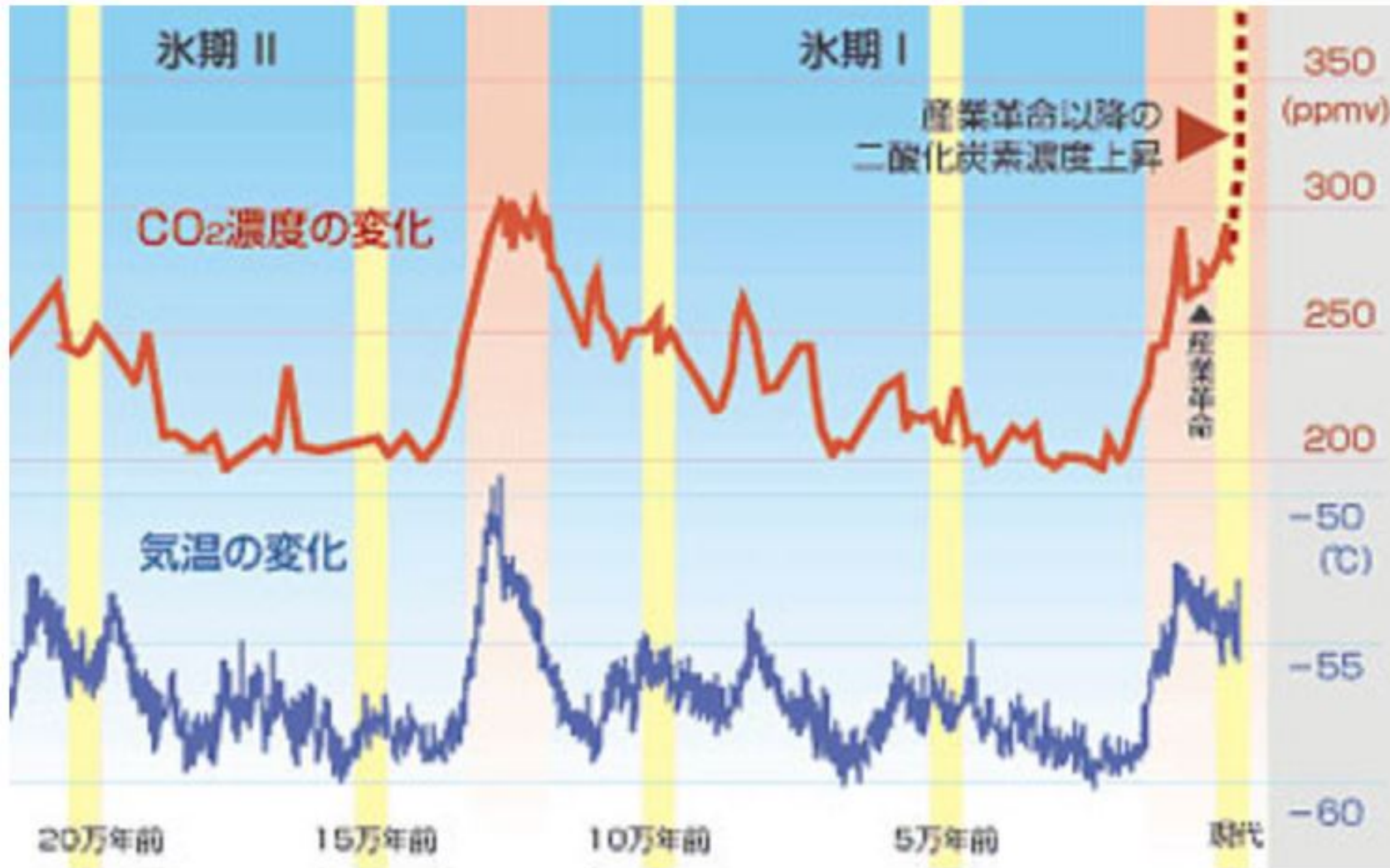
リス氷期

間氷期

ヴェルム氷期

間氷期

● 400 ppm (2016年)



CO₂ 濃度
[ppm]

南極の気温
[°C]

南極の氷床コアから測定

氷期・間氷期時代

氷期・間氷期時代における気候変動の原因

ミランコビッチ・サイクルによる太陽照射量の変化がキッカケで
それに太陽活動の変化や火山噴火などの自然要因が加わり、
気温の上昇が CO_2 を増やし、 CO_2 の増加が気温を上昇させた

3. 紀元後2000年間の気候変動

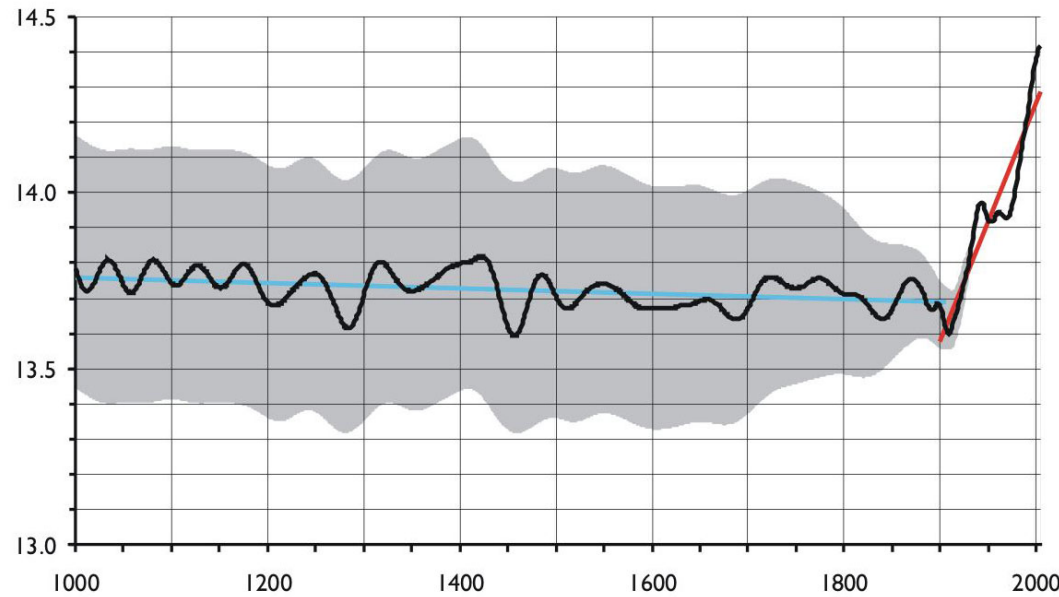
中世温暖期、小氷期、産業革命以降

中世温暖期・小氷期・産業革命以降

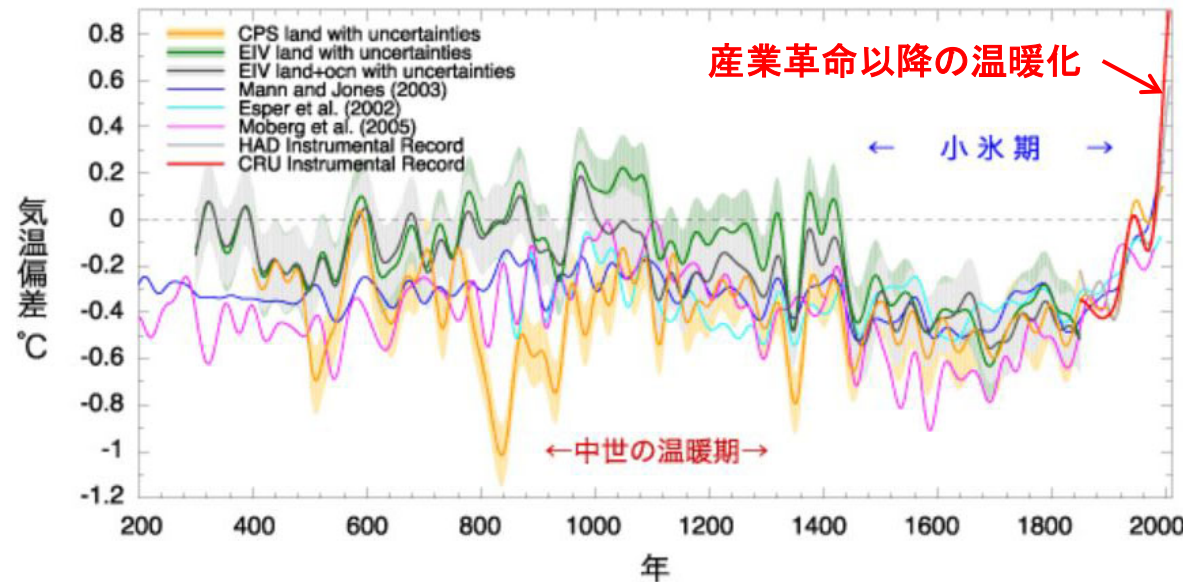
ホッケイ・スティック曲線

IPCC第3次報告書に引用された1000年間の気温には、中世温暖期も小氷期もなく、近年の温暖化だけがある。

この曲線は、第4次報告書では姿を消した。



北半球の気温偏差

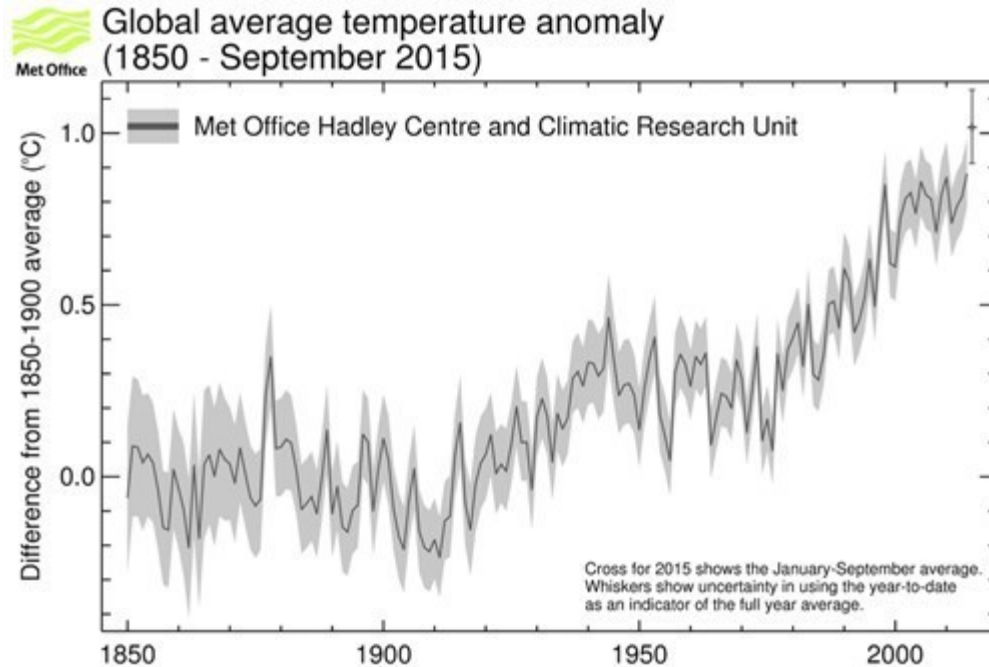


7つの復元された1800年間の北半球の気温偏差

中世温暖期、小氷期、産業革命以降の温暖化が見られる。

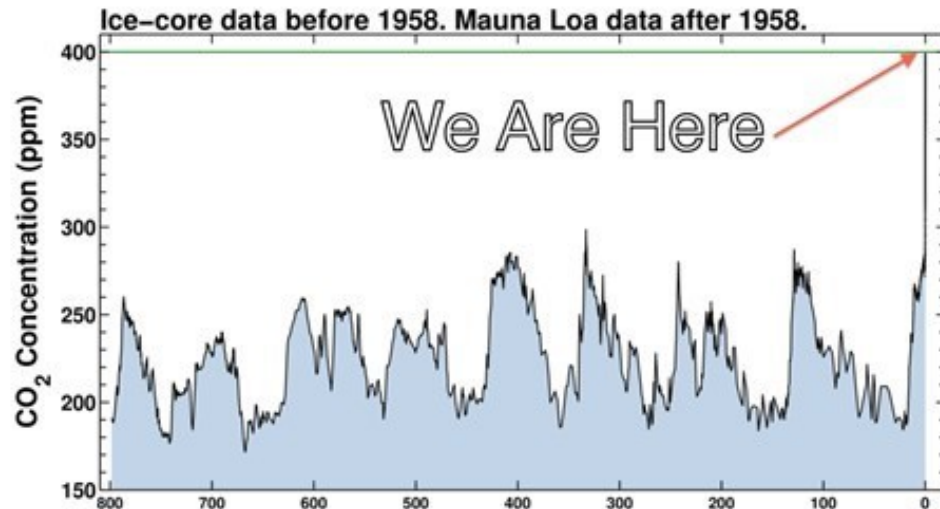
産業革命以降の気候変動

気温偏差
[°C]



過去180年間の全球平均気温偏差

CO₂
濃度
[ppm]



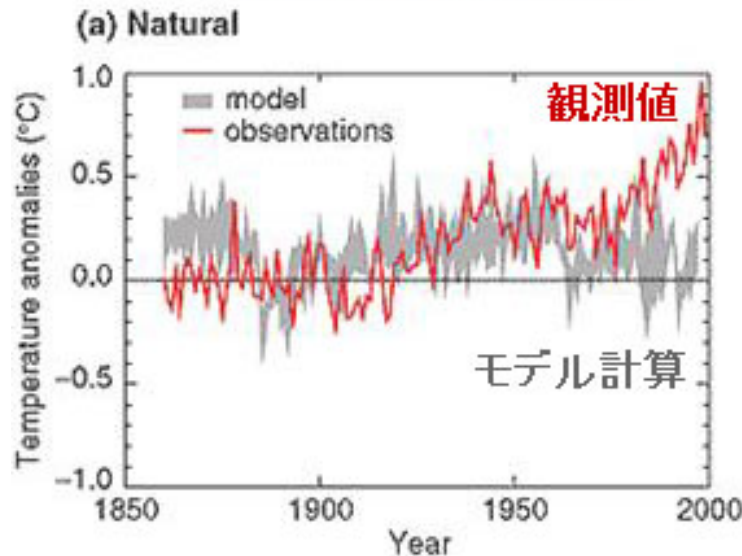
80万年前

現在

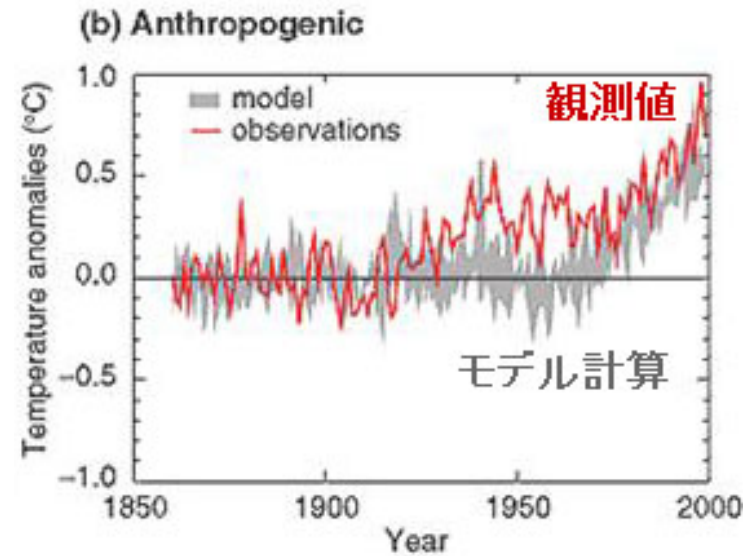
過去80万年間のCO₂濃度は、
300ppm以下であったが、
2016年には400ppmに達した。

産業革命以降の温暖化の原因を探る

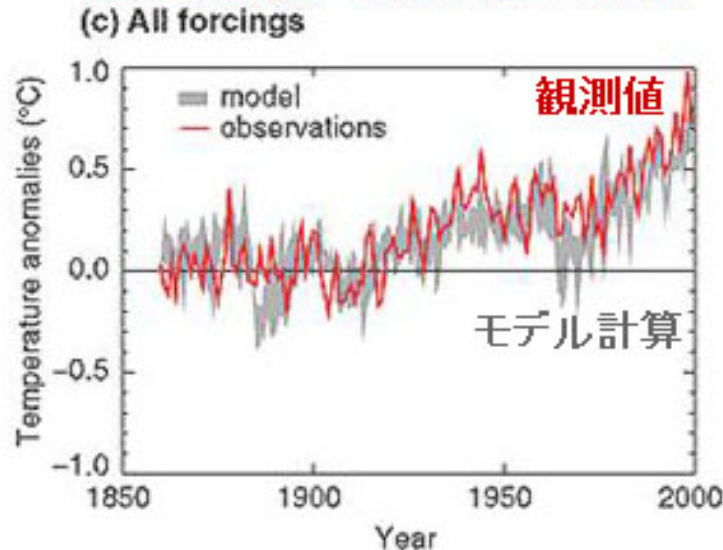
(a) 自然起源の強制力のみ



(b) 人為起源の強制力のみ



(c) 自然起源 + 人為起源の強制力



(a) 自然起源の強制力のみ → 観測結果に合わず

(b) 人為起源の強制力のみ → 観測結果に合わず

(c) 自然起源の強制力
+
人為起源の強制力
→ 観測結果に合う

以上から、産業革命以降の温暖化の主要原因は
人為起源の強制力(主にCO₂)と考えられる

気候システムモデル

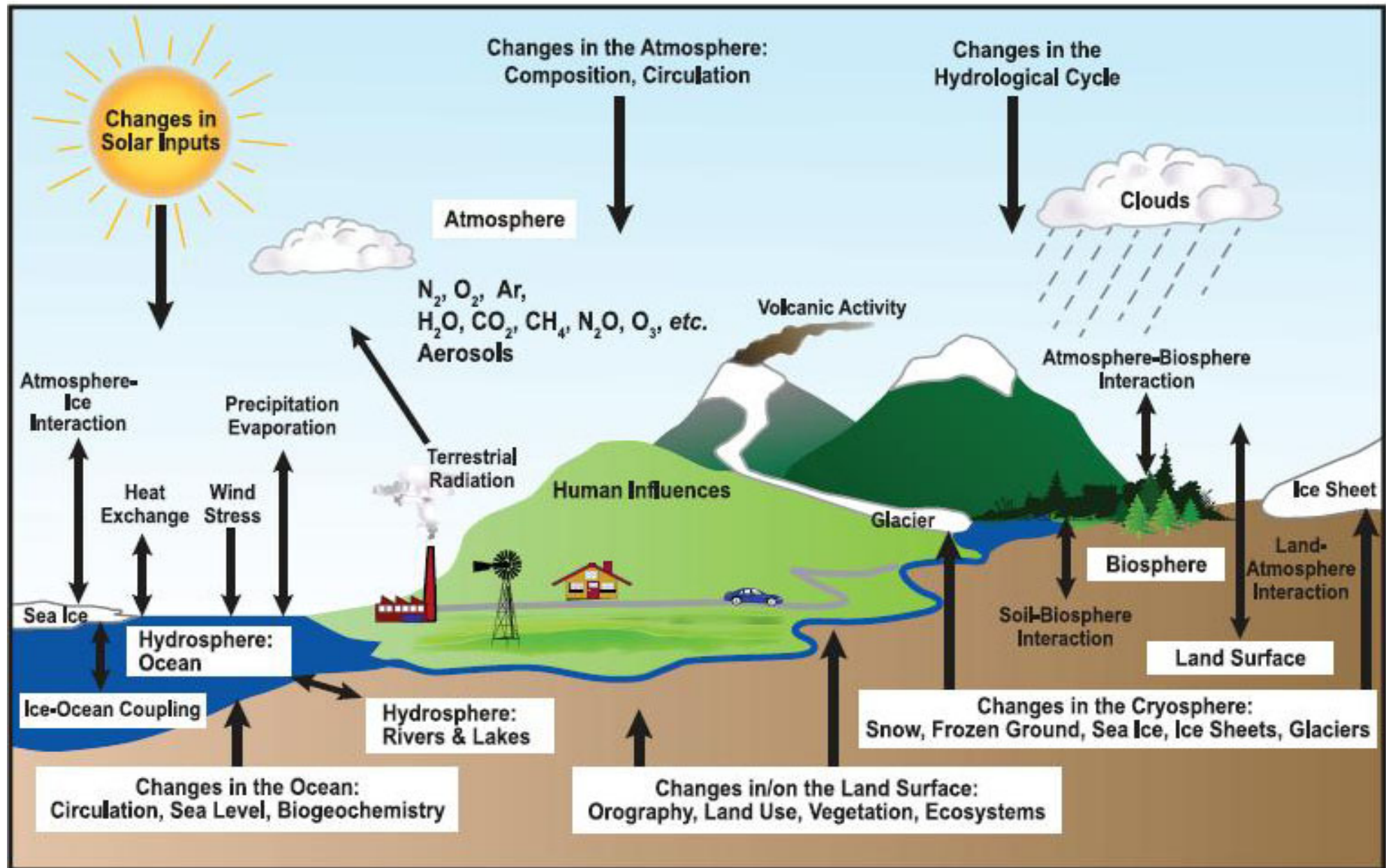
モデルは何を対象に考えるのか

地理的にどれだけ細かく計算するか

何を与えて、何が得られるのか

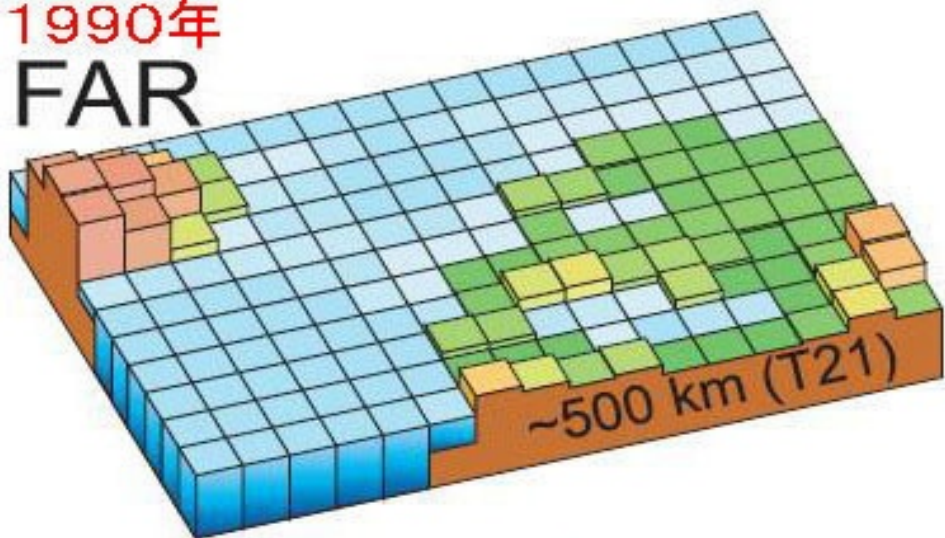
天気予報と気候予測は何が違うのか

気候システムのモデル化：気候に影響する森羅万象を数式で表す

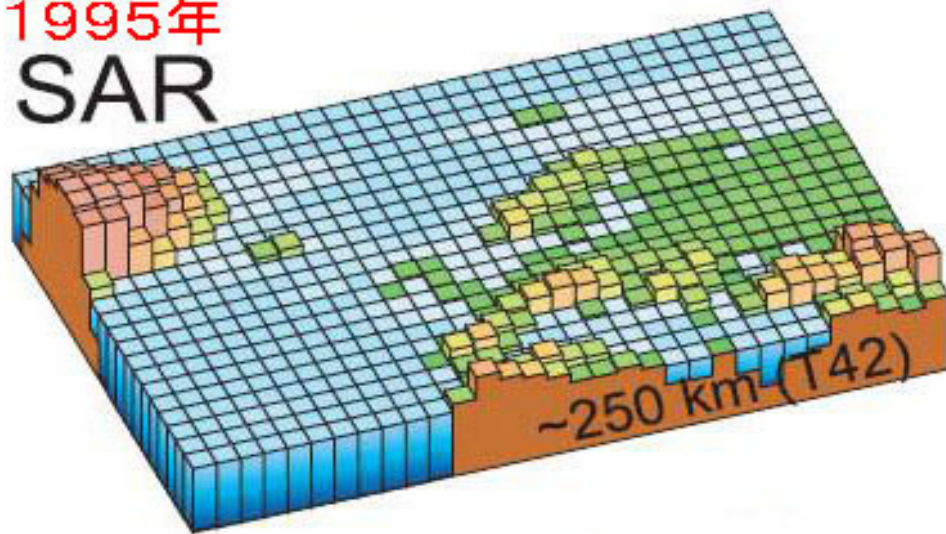


数値計算のための地理的格子（微細化の歴史）

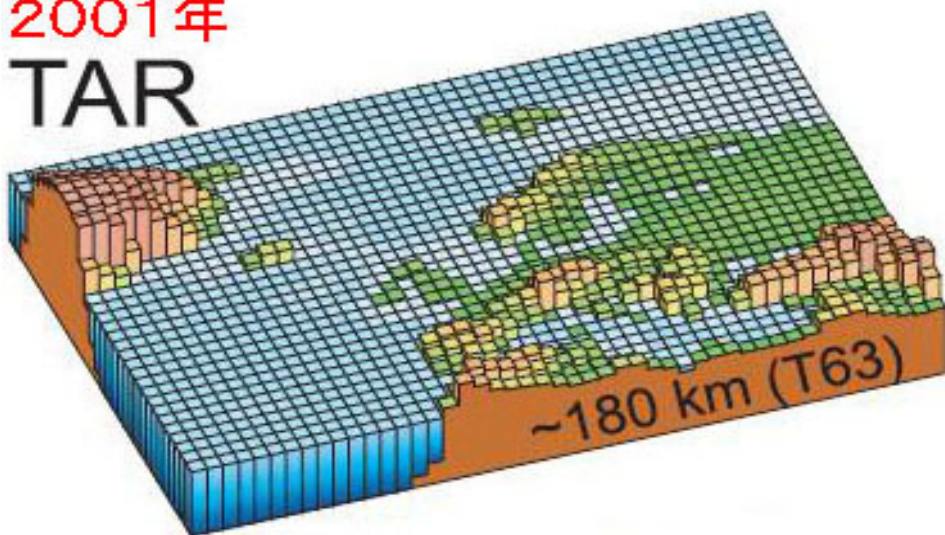
1990年
FAR



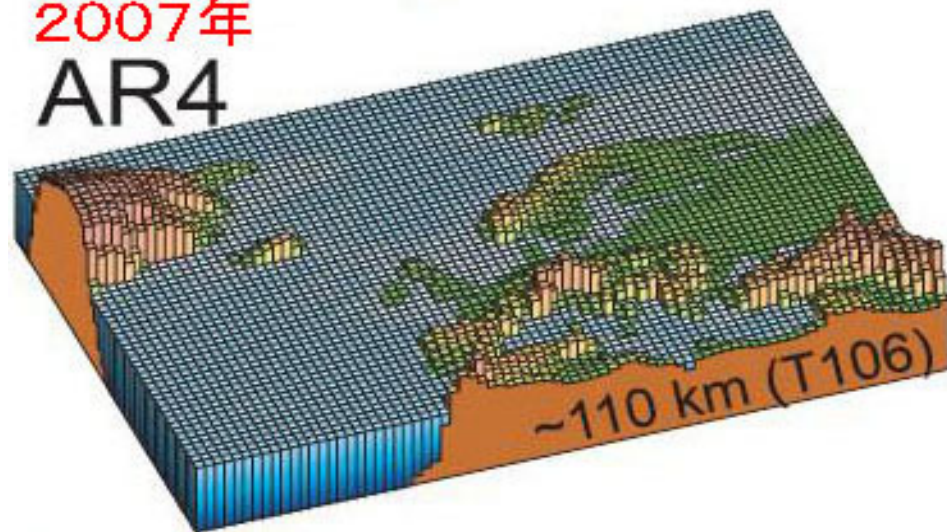
1995年
SAR



2001年
TAR

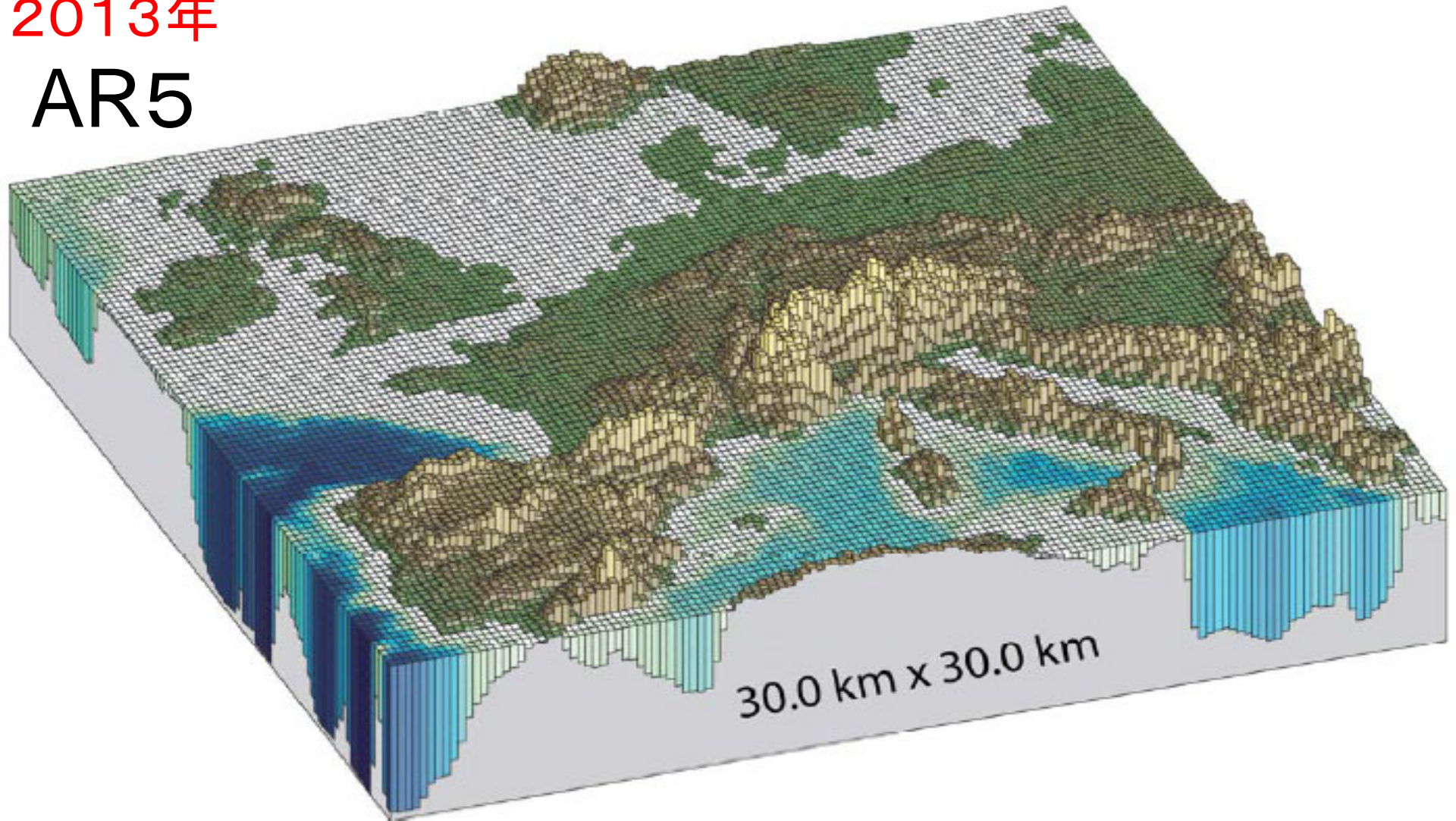


2007年
AR4



シミュレーションの際の格子は、ますます微細になった
第5次報告書では、このような格子も一部に使われている

2013年
AR5



気候システムモデル

気候システムへの入力

気候システムモデル

気候システムからの出力

自然起源の強制力 →
太陽活動、火山の噴火、
地球の自転・公転の変動など

人為起源の強制力 →
化石燃料から排出CO₂
土地利用変化、大気
汚染物質の排出など

大気・海洋・陸面で成り立つ物理法則
運動量保存の法則
質量保存の法則
静力学平衡式
エネルギー保存の法則
水蒸気量保存の法則など

パラメタ化

格子サイズよりも小さいミクロな現象
雲、渦、対流など

システムから自然に生じる内部変動
下記に例示★

→ 大気の予報変数
風、気圧、気温、
水蒸気量など

→ 海洋の予報変数
海流、海水温、
塩分濃度など

→ 陸面の予報変数
土壌温度、土壌水分、
積雪量、積雪温度など

★内部変動

南方振動 ENSO(エルニーニョ、ラニーニャ)

北大西洋振動 NAO

大西洋数十年規模振動 AMO

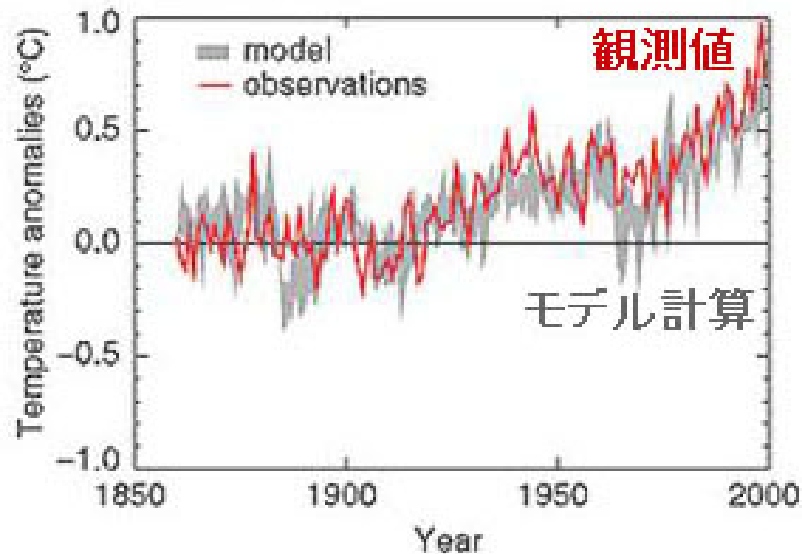
北太平洋十年規模振動 PDO

北極振動 AO、南極振動 AAO など *

* 21世紀の温暖化停滞
(ハイエイタス)も内部変動
であるという論文が出た
(後述)

気候システムモデルの成果

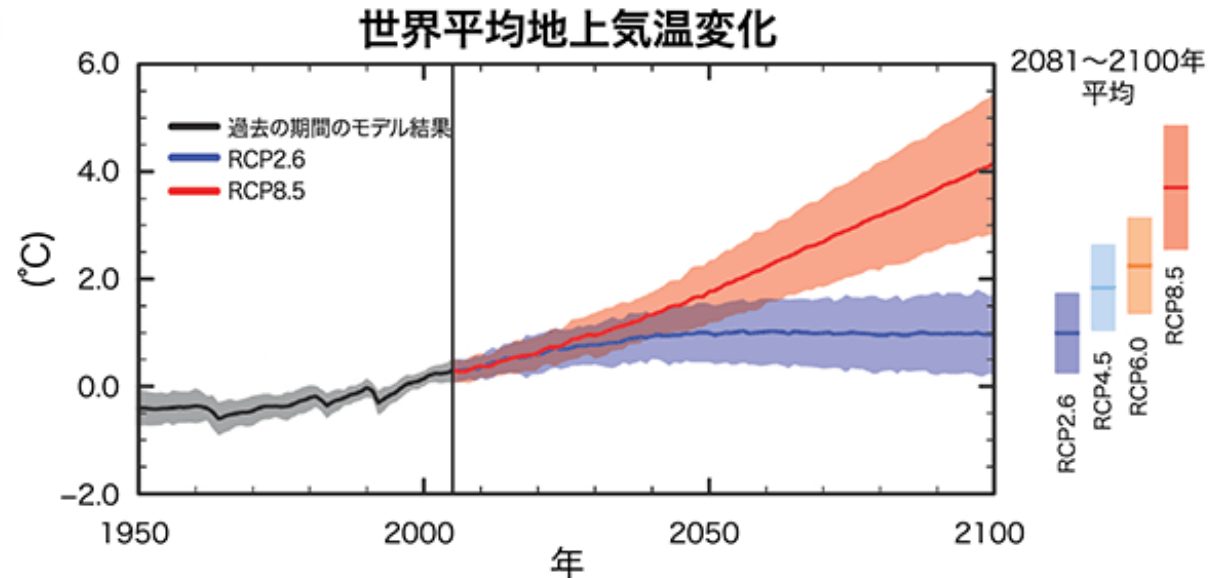
過去の気候の復元



モデルの検証

自然起源の強制力(太陽、火山噴火など)と人為起源の強制力(CO₂など)の両方を考慮したモデル計算と観測値がよく対応

将来の気候の予測



CO₂排出シナリオ

RCP8.5 人為起源の強制力の上昇が続く場合
2100年にはCO₂濃度1000ppm超

RCP2.6 人為起源の強制力が抑えられる場合
2100年にはCO₂濃度430-480ppm

RCP: Representative Concentration Pathway
代表的濃度経路

天気予報 と 気候予測 はどこが違うか

天気予報

使用するモデル 気候システムモデルと同じ
必要に応じて特定領域を細かく分割したモデル
予測できる期間 1週間程度
初期値 精度の高い観測値が必要

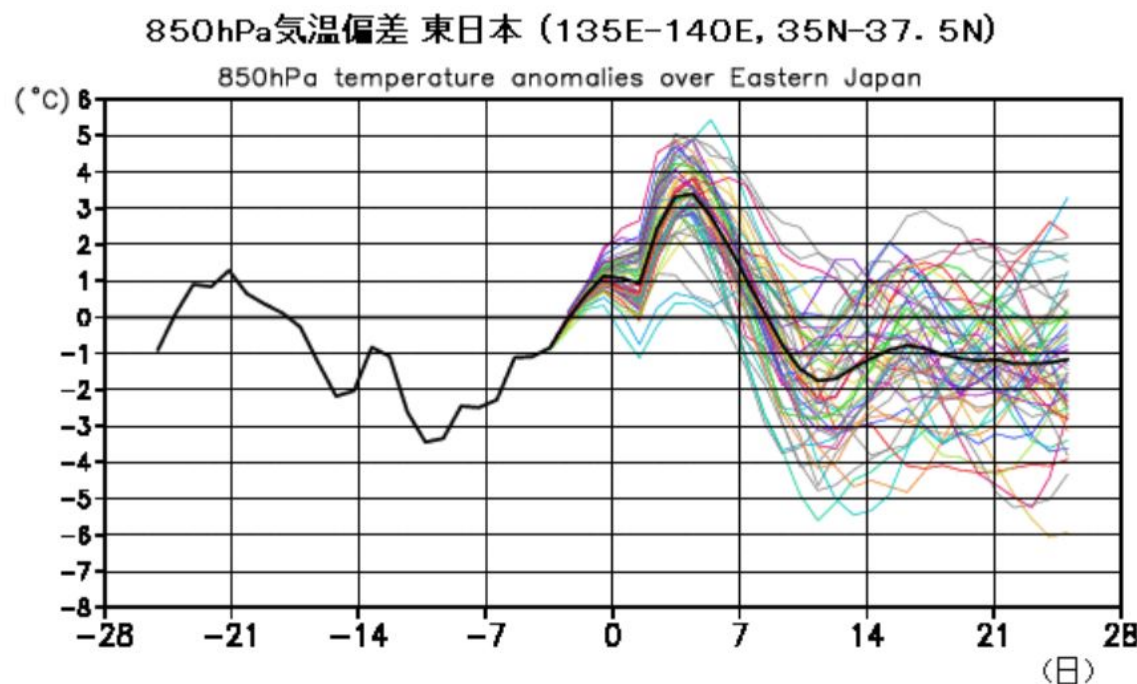
気候予測

使用するモデル 気候システムモデル
全球大気海洋結合モデルが使用される
予測できる期間 何年先でも可能(例200年先)
初期値 精度の高い観測値は不要
どうせ数週間先はカオスになるので、
アンサンブル平均で予測する

カオスとアンサンブル平均

気候システムモデルは非線形微分方程式。
その性質として、初期値の僅かな違いが
時間経過とともに拡大する。(カオス)

わざと少し異なる初期値を与えて、予測計算
をし、ばらついた予測値を平均する。
(アンサンブル平均、アンサンブル予報)
気象庁の週間予報、3ヵ月予報に使用。

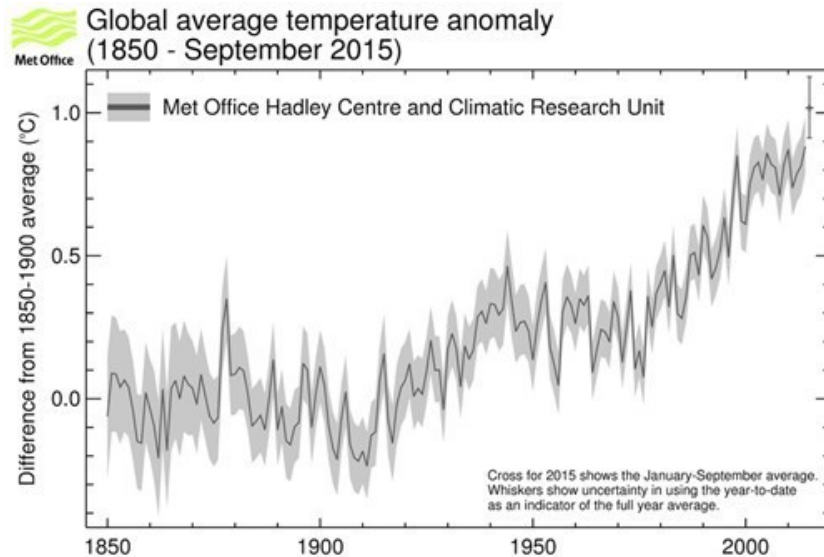


地球温暖化 と ヒートアイランド現象

地球温暖化

産業革命以降の地球の平均気温(春夏秋冬、極地～熱帯の平均値)が上昇すること。

IPCCが問題にしている気候変動は、
平均気温の上昇
年間降水量の変化
海面水位の上昇
極地の氷河の変化
などを含む。

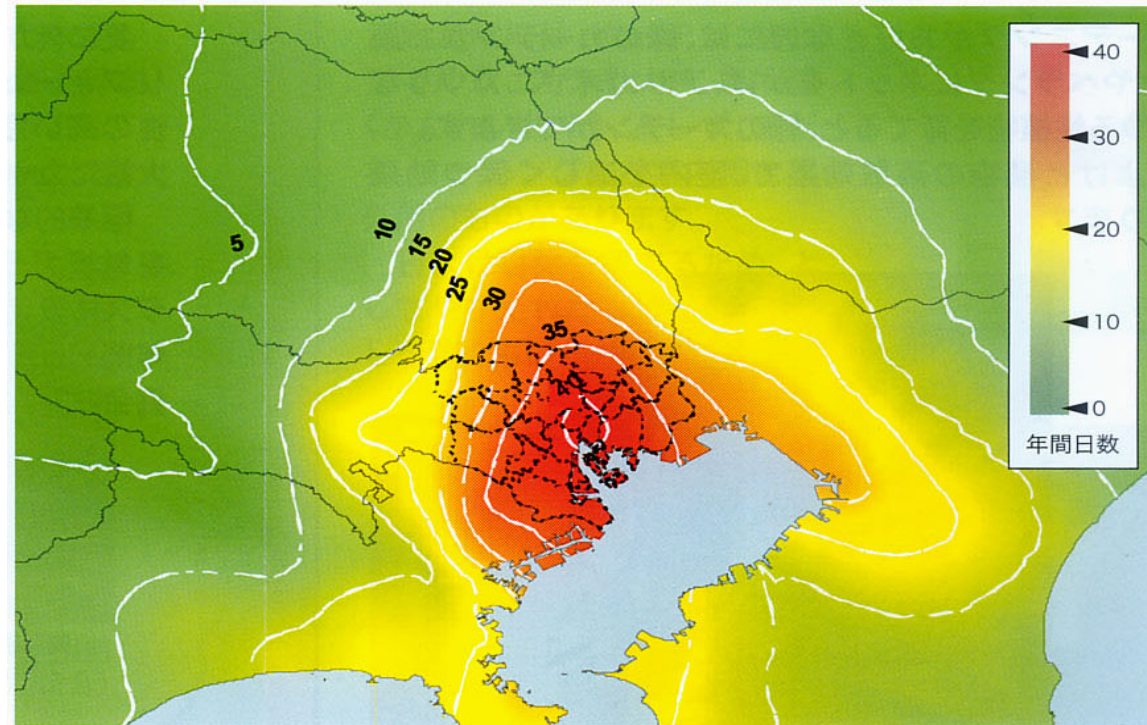


西暦年

ヒートアイランド現象

都市部が郊外に比べて平均気温が高くなる現象を、ヒートアイランド**熱の島**という。都市部では緑が少く、地面がコンクリートで覆われていること、空調や自動車などの人工の排熱が大きいことなどが原因。

過去100年間に、地球全体の平均気温は 0.6°C 上昇、しかし東京では 3°C 上昇した。



首都圏の熱帯夜の日数(1998～2000年の7～9月)

(出典: 環境省)

原発の温廃水が地球温暖化に及ぼす影響(誤解を解くために)

「原発は多量の温廃水を出し、地球温暖化の原因になる」という。これは本当か？

1. 原発の発電効率と温廃水

カルノーサイクルの熱機関の最大効率 η は、 $\eta = (T_H - T_L) / (T_H + 273)$ である。
ここで、 T_H は高温源の温度(°C)、 T_L は低温源の温度(°C)である。

原発では、 $T_H = 280$ °C、 $T_L = 40$ °Cとすると、 $\eta = 43\%$ となるが、実際は約33 %である。
つまり、出力100万kWの原発では、ウラン燃料の発熱 300万kWのうち 200万kWは
廃熱として、海に捨てられる。

2. 温廃水による地球温暖化

日本には、100万kW級の原発が58基あった。稼働率を70%(最大時)とすると
日本の原発による廃熱の合計は、 $200\text{万kW} \times 58 \times 0.70 = 8120\text{万kW}$ となる。
これが海を温めている。

8120万kWは、日本列島に降り注ぐ太陽エネルギーの約 0.1%に相当する。

この廃熱が日本列島全体に均等にばらまかれたら多分問題にならないだろうが、
原発周辺に集中すれば「温室効果ガスによる温暖化」とは別の環境問題となると
思われる。(一種のヒートアイランド現象)

市民から見たIPCCの課題

IPCCの課題

私個人としての対応

1. 温暖化の原因の説明が難解である
2. 温暖化CO2原因説に対する学者からの懐疑論が多い
3. 懐疑論に対するIPCC側の反論が分りにくい
4. 過去のIPCCの説明に納得しにくいことがある
 - (1) 撤回されたホッケイ・スティック曲線
 - (2) 問題はなかったといわれるクライメートゲート事件
 - (3) 後付けの説明が多すぎる
(たとえば、後述の気温上昇傾向)

できるだけ平易に説明する

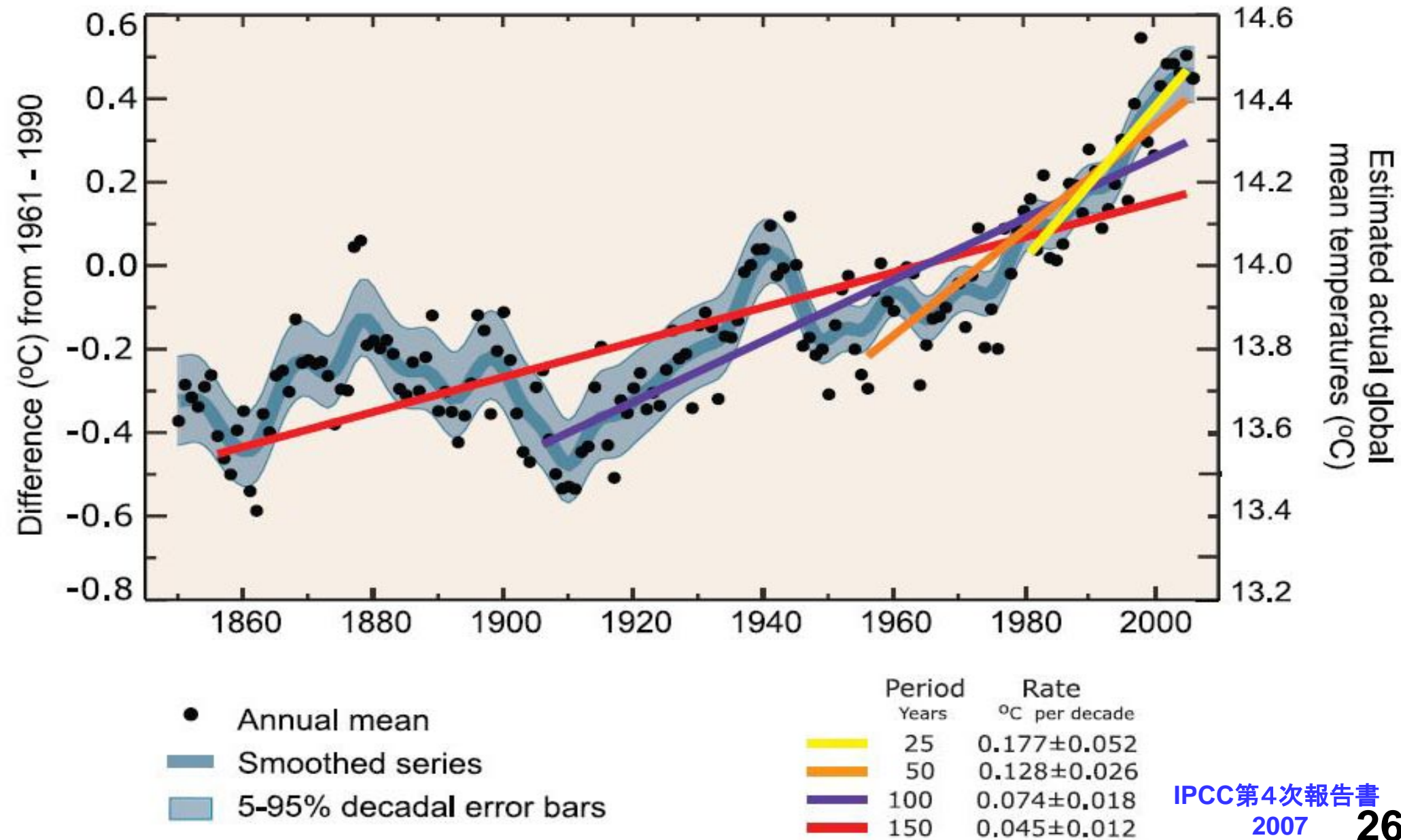
学者の懐疑論を平易に説明する

IPCC側の説明が噛み合っていない部分を説明する。揚げ足取りや感情論を排除した説明をする

分る範囲で事実を説明する

個人的には、地球温暖化は、今世紀最大の環境問題であると考えているので、十分な対応をしていきたい

過去150年間の平均気温の推移 (IPCCは温暖化は急速に進むと予想していた)



地球温暖化の停滞現象(ハイエイタス)

ハイエイタスは内部変動であるという論文が最近出た

世界の年平均気温偏差

