

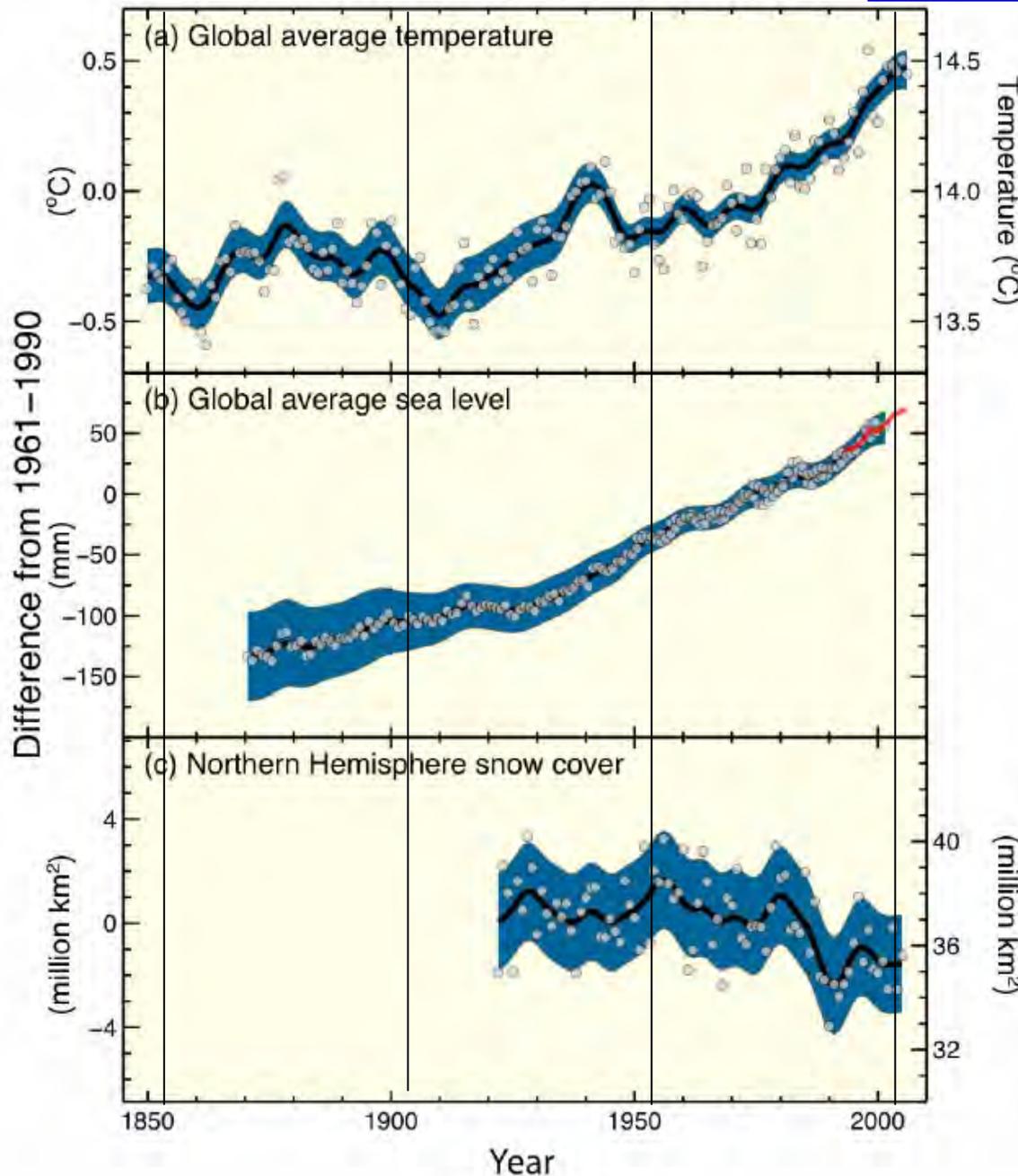
**「地球温暖化」で
アジアの気候はどう変わるか？
(変わりつつあるか？)**

安成哲三

名古屋大学地球水循環研究センター
(高等研究院兼任) 教授

Changes in Temperature, Sea Level and Northern Hemisphere Snow Cover

1850 2000の地球の気候変化



全球平均気温の変化

全球海水面の変化

北半球積雪面積の変化

IPCC (2007)

ヒマラヤ氷河の縮小

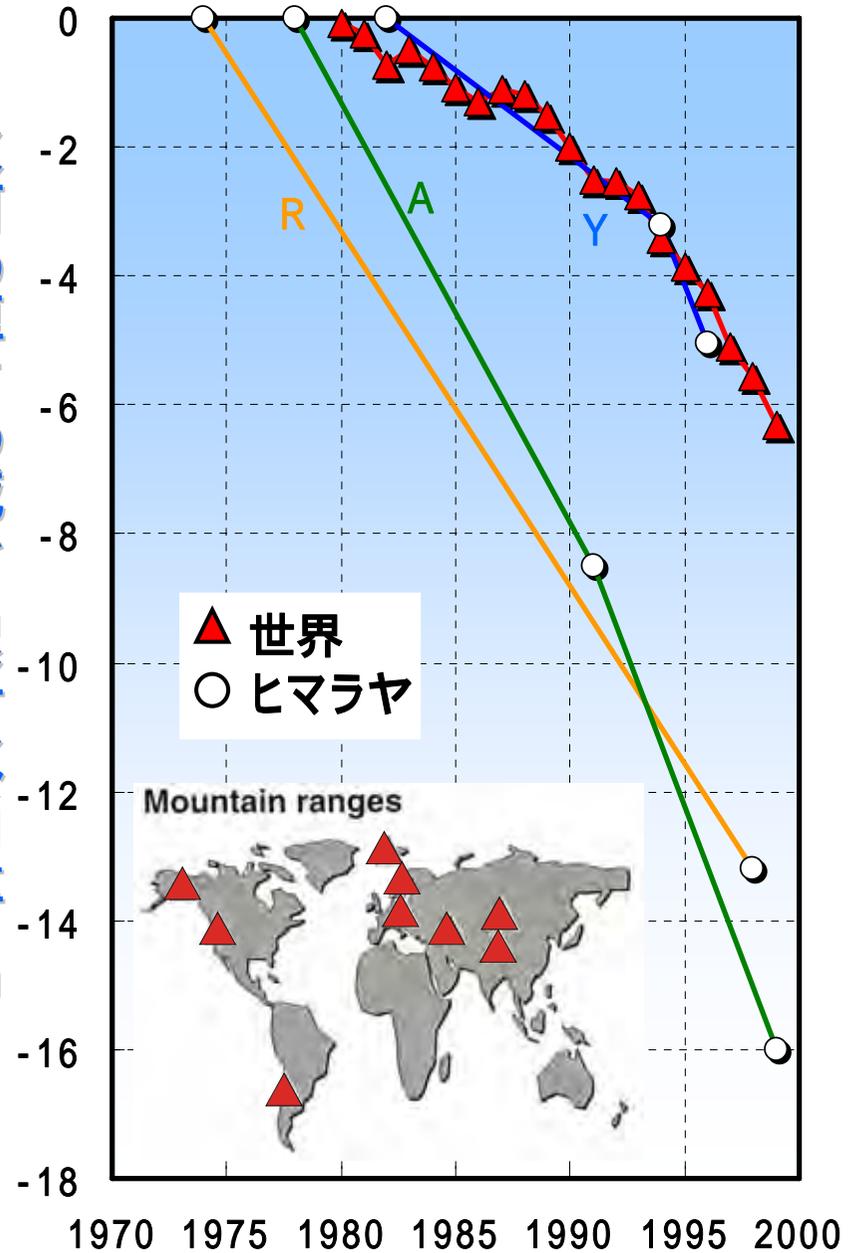
78年5月

(ネパールヒマラヤ AX010 氷河)

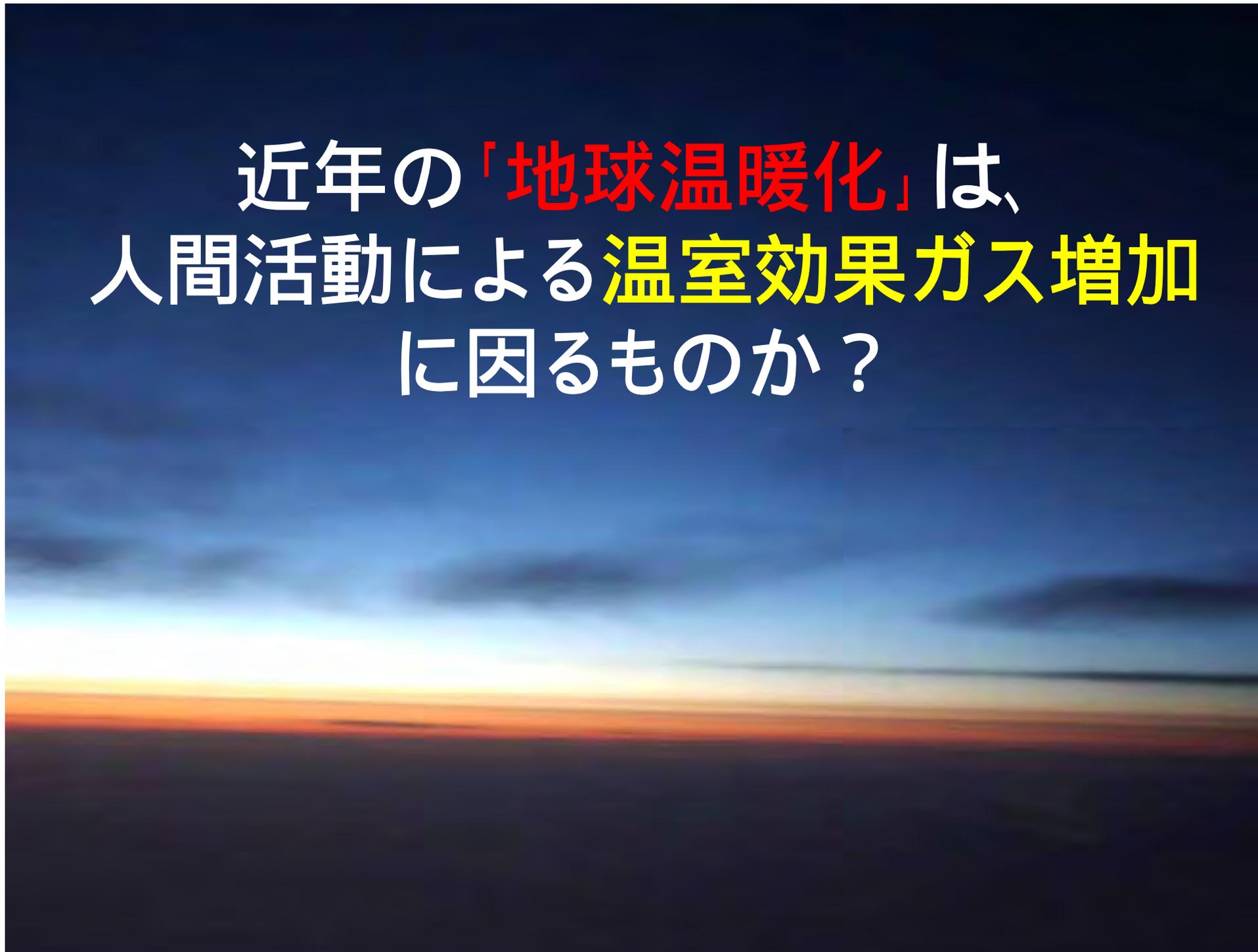
98年10月

名大環境学研究科雪氷学研究室提供

氷河の厚さの減少
累計水当量



近年の「地球温暖化」は、
人間活動による温室効果ガス増加
に因るものか？



温室効果のしくみ

CO₂、H₂O、CH₄

温室効果ガス

太陽光

温室効果ガス =
太陽光はよく通すが、
赤外線を吸収して
大気・地表面を加熱する

地球

海

17

陸

赤外線

温室効果がなければ
地球表面の気温は
- 20 !

温室効果ガスの増加

温室効果ガスが増加すると…

太陽光

地球

海面の上昇
海

砂漠化の拡大

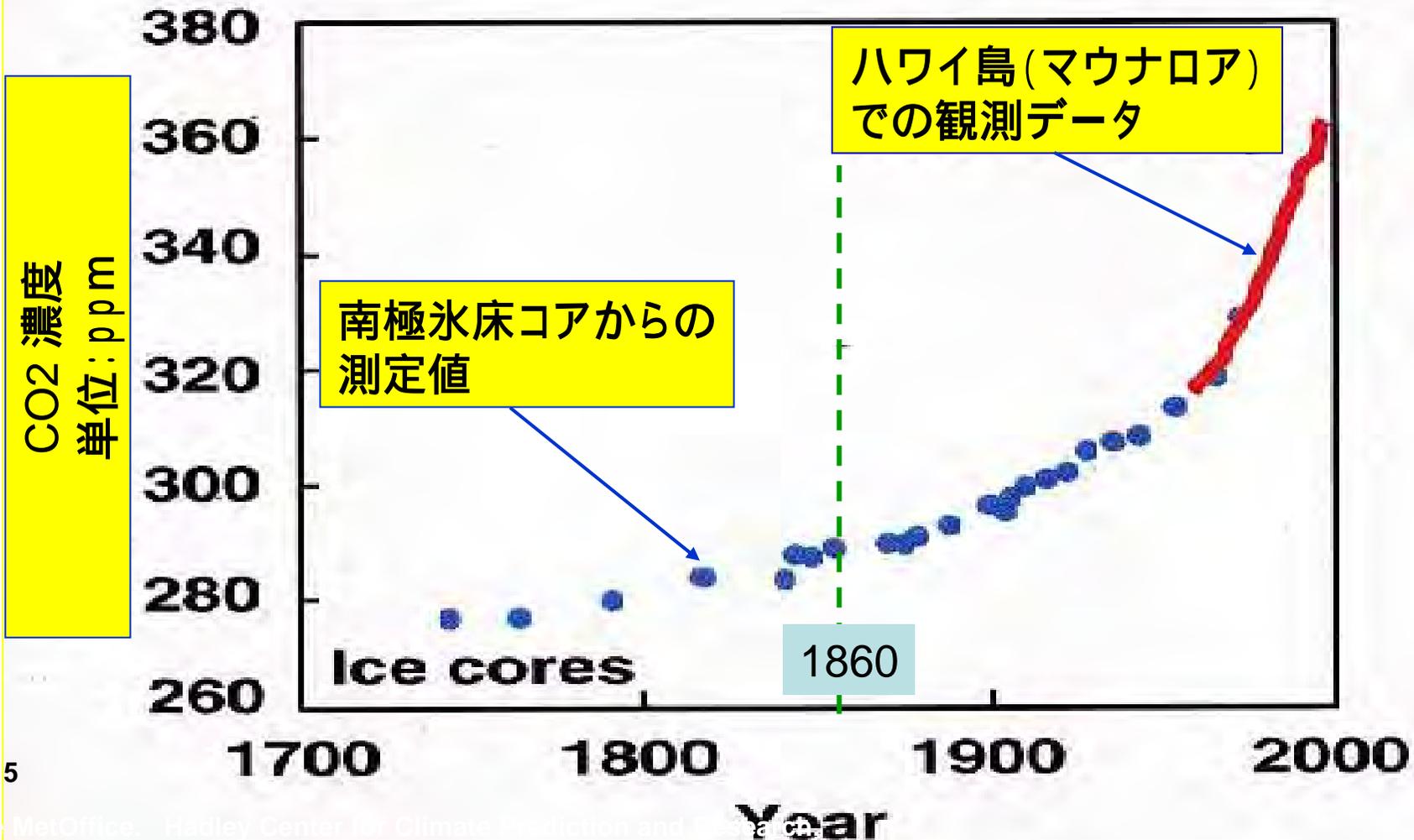
陸

赤外線

温室効果ガスの増加
で地球表面を暖める
放射エネルギーが
増加する。

大気中の二酸化炭素(CO₂)濃度

19世紀の産業革命頃から急激に増加し続けている
(280ppm 370ppm: 33%の増加)

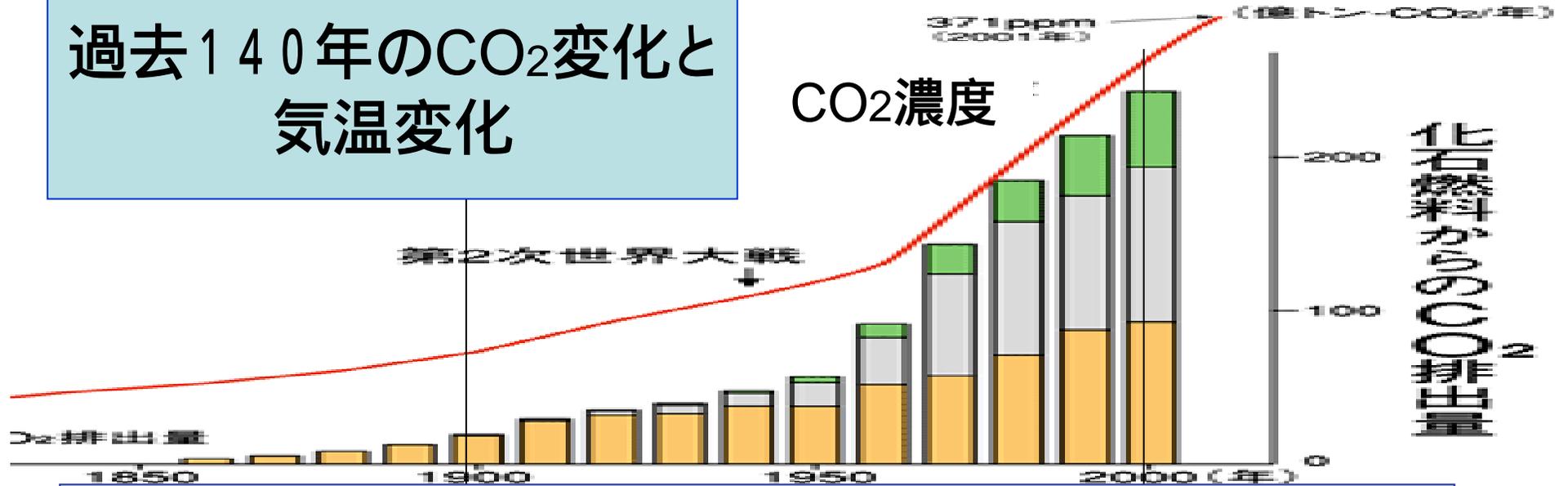


BW 5

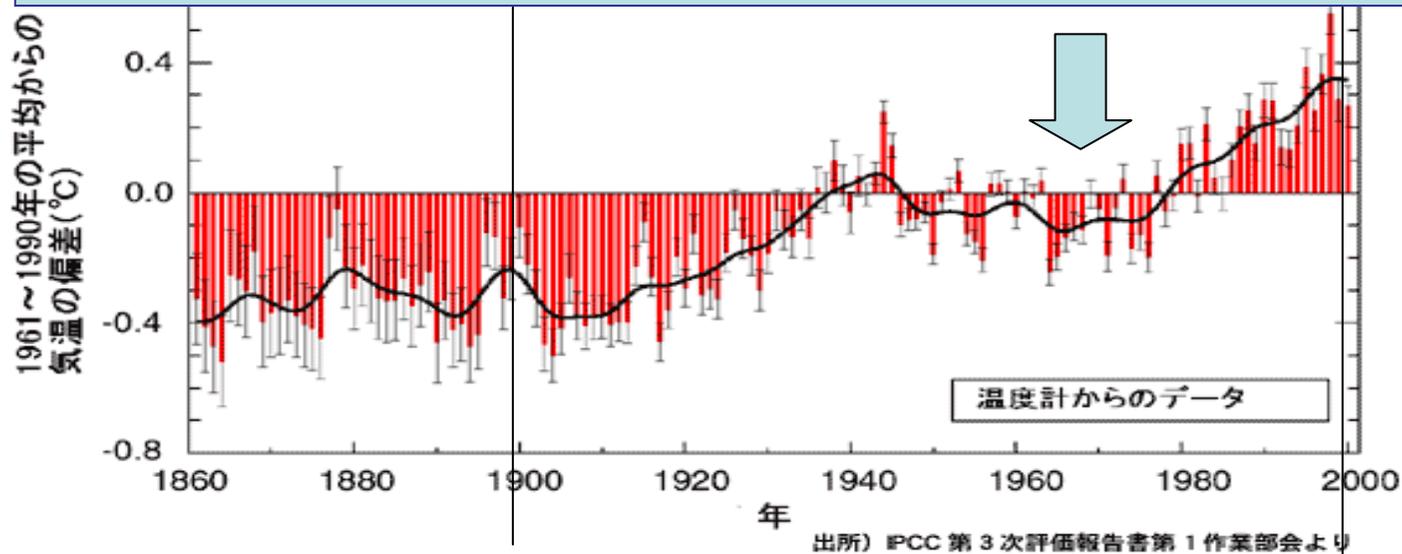
MetOffice, Hadley Center for Climate Prediction and Research

単位の話: ppm=100万分の1 1ppm = 0.0001%

過去140年のCO₂変化と 気温変化

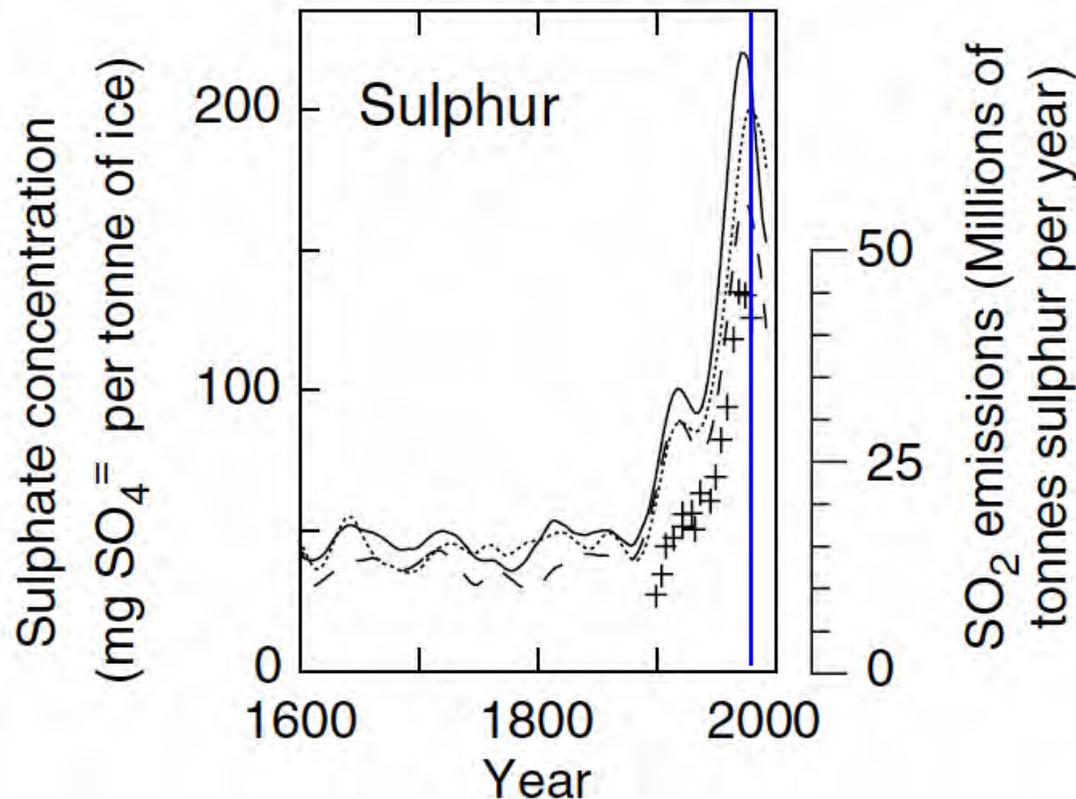


二酸化炭素の変化と気温の変化は必ずしも一致していない。
なぜか？



1970年代は
やや寒冷化

エアロゾル(大気中の微粒子・ダスト)は人間活動により、1900年頃から急増、1970年代がピーク(火山活動・黄砂などによっても増加)



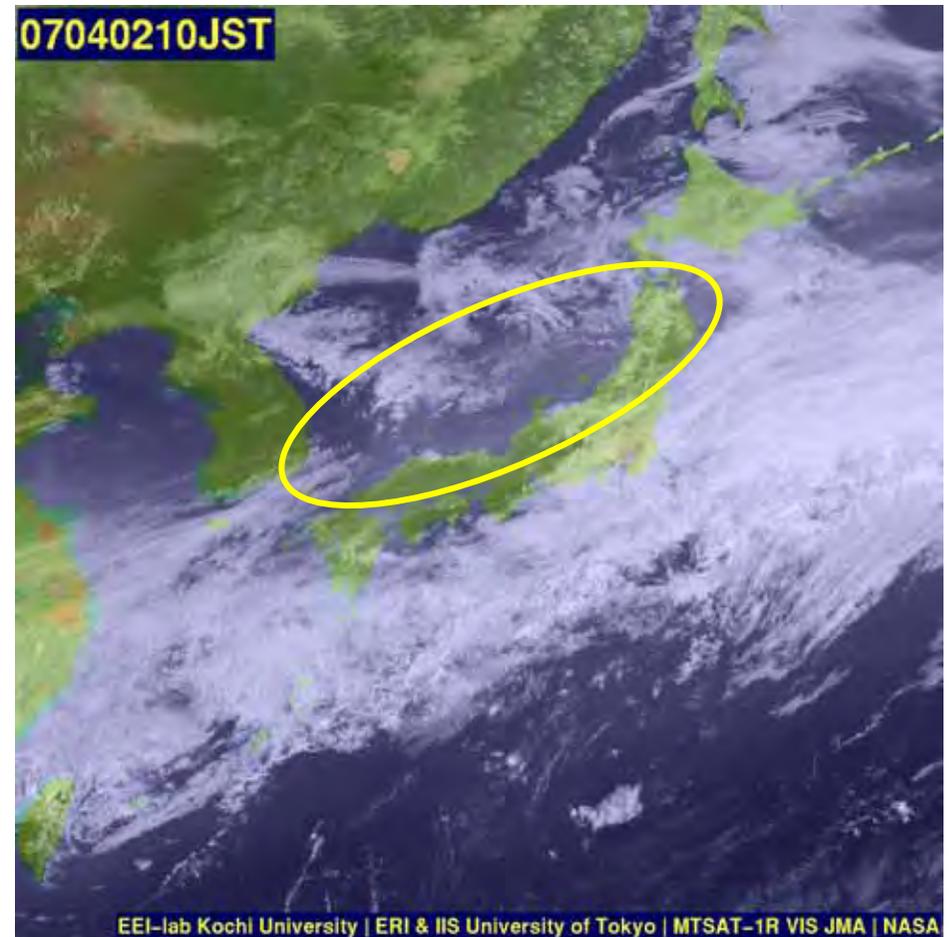
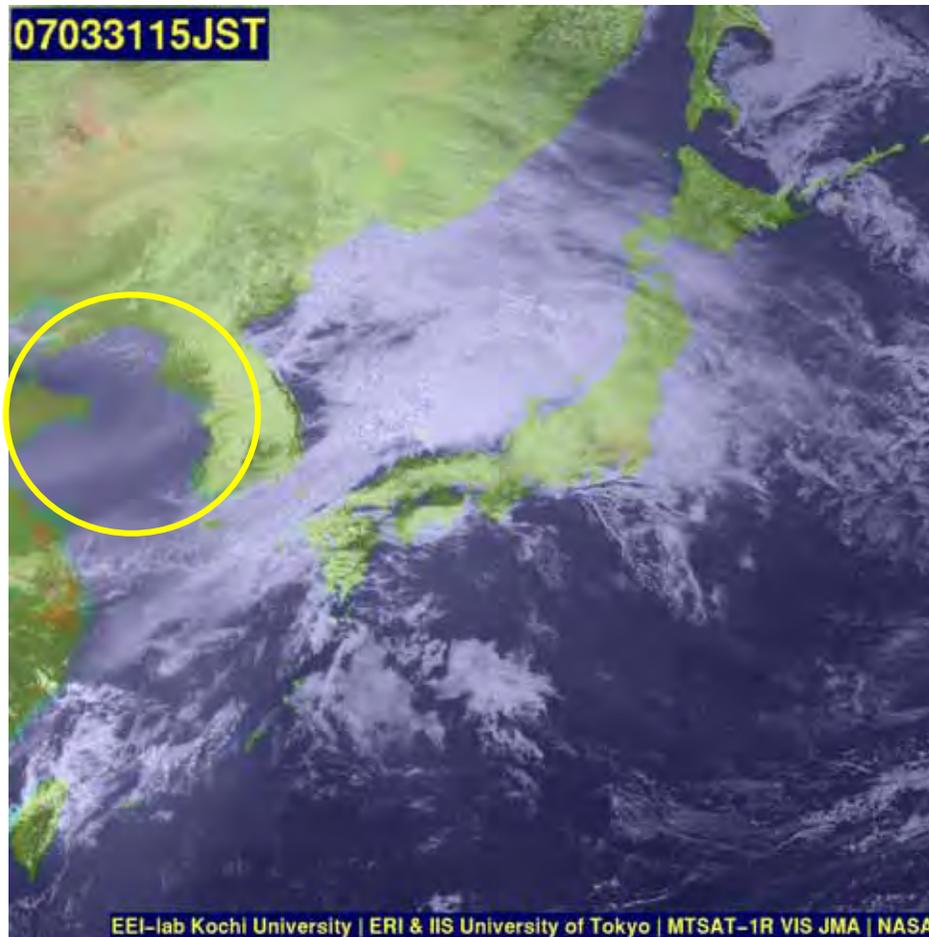
1970年代の寒冷化は増加したエアロゾルによる日傘効果が効いている？

エアロゾル増加は雲形成の凝結核を増加させ、雲量を増やしている？

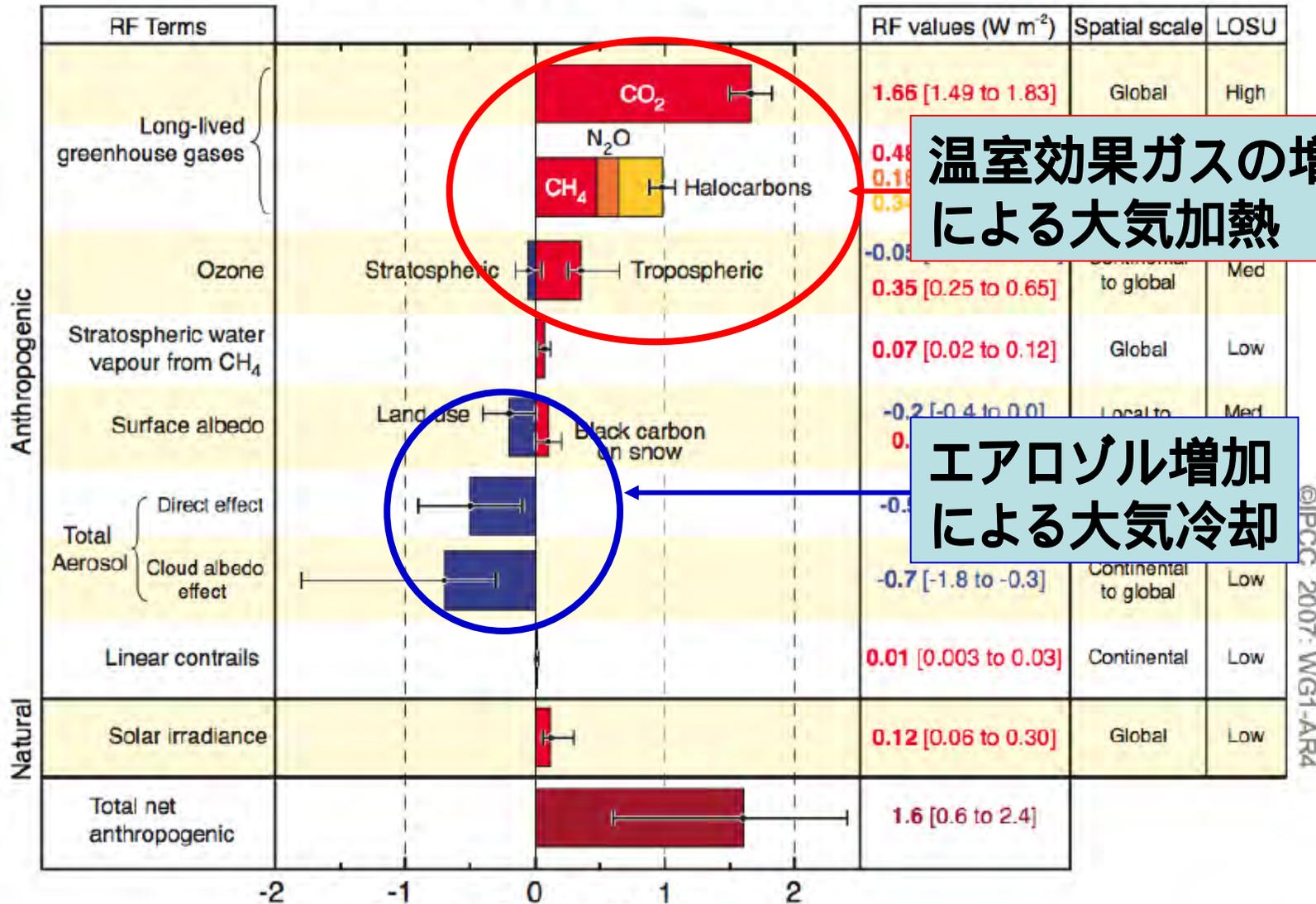
mid-latitudes in the Northern Hemisphere. This record, albeit more regional than that of the globally-mixed greenhouse gases, demonstrates the large growth in anthropogenic SO_2 emissions during the Industrial Era. The pluses denote the relevant regional estimated SO_2 emissions (right-hand scale).

黄砂の衛星写真

黄海・日本海上が白っぽくなっているのが黄砂



温室効果ガスやエアロゾルが大気を暖める(冷やす)割合



温室効果ガスの増加による大気加熱

エアロゾル増加による大気冷却

大気を冷却する | 大気を暖める

FIGURE 2.1.2. Global average radiative forcing (RF) estimates and ranges in 2005 for anthropogenic carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O) and other important agents and mechanisms, together with the typical geographical extent (spatial scale) of the forcing and the assessed level of scientific understanding (LOSU). The net



IPCC

(Inter-governmental Panel on Climate Change)

(気候変動に関する政府間パネル)

の結論

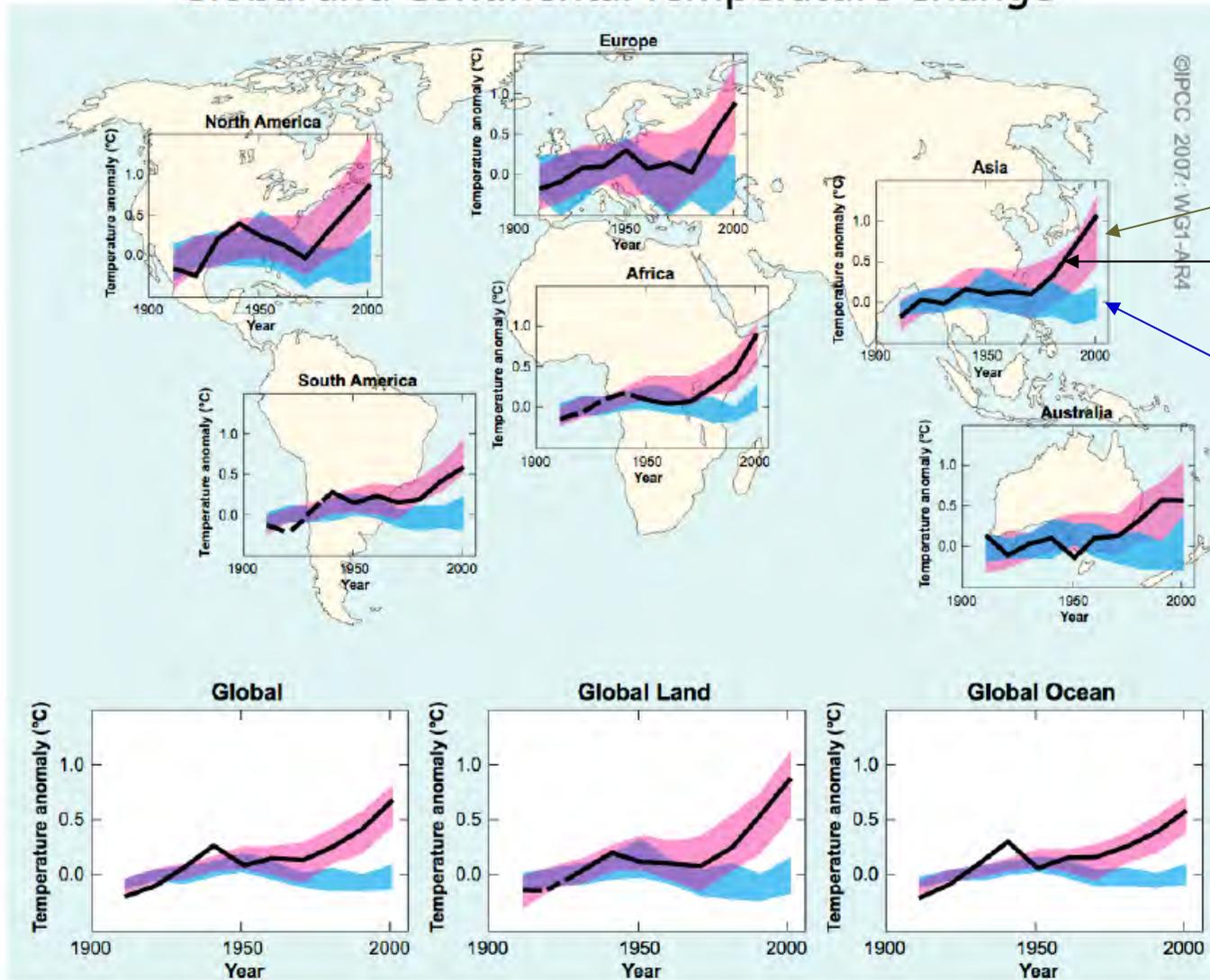
Feb.2007

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 第4次報告書(FAR)の結論(サマリー)

- 20世紀半ばからの全球気温の上昇は、人間活動による温室効果ガスの増加が原因である可能性が非常に高い (WG-I)
- 1970年以降のさまざまなデータの全球的な評価は、人間活動による温暖化が、多くの物理的、生物的システムに目に見える影響を与えている可能性が高いことを示している (WG-II)

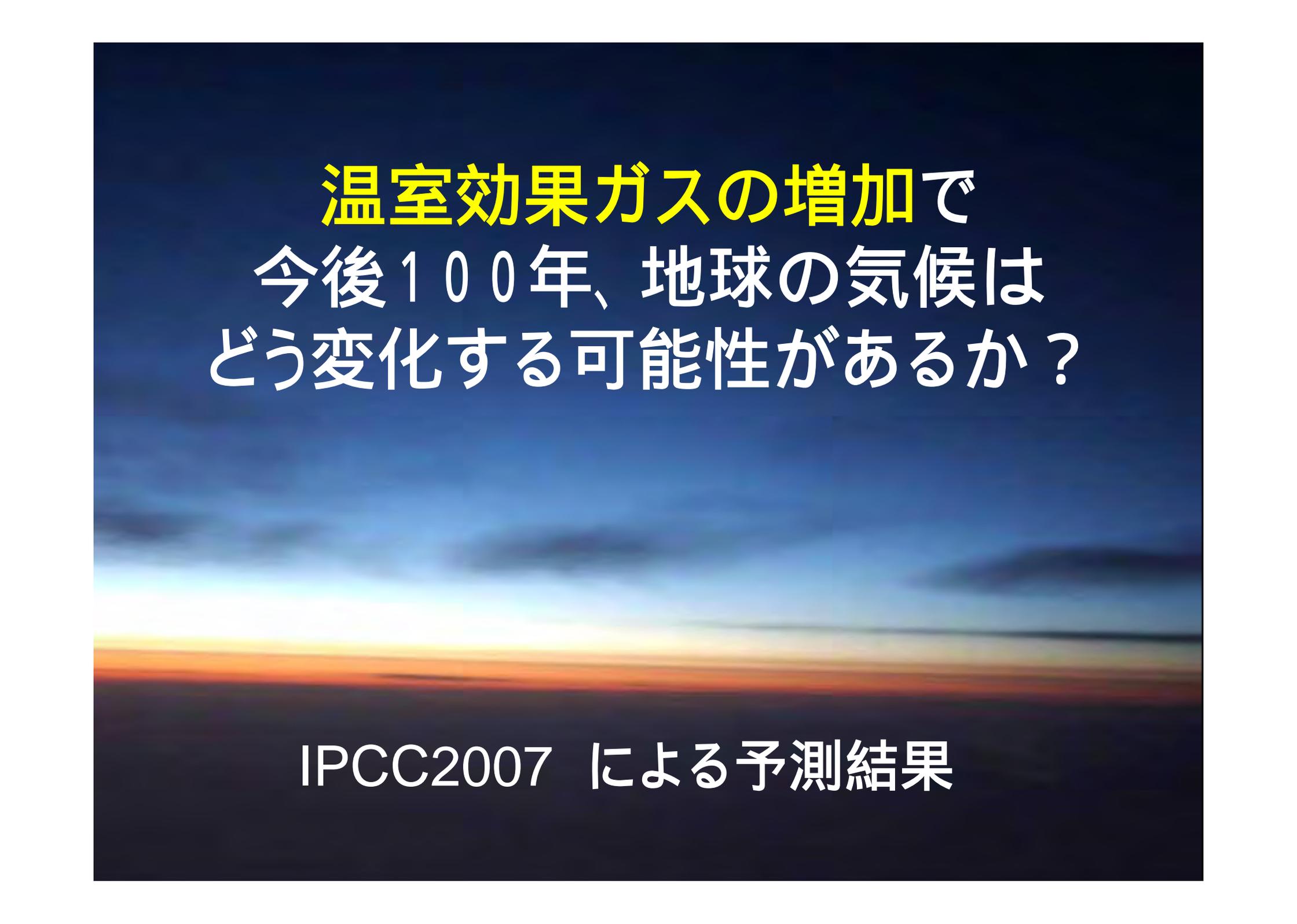
physical and biological systems. (WG-II)

Global and Continental Temperature Change



GHG増加を考慮
観測値
GHG増加なし

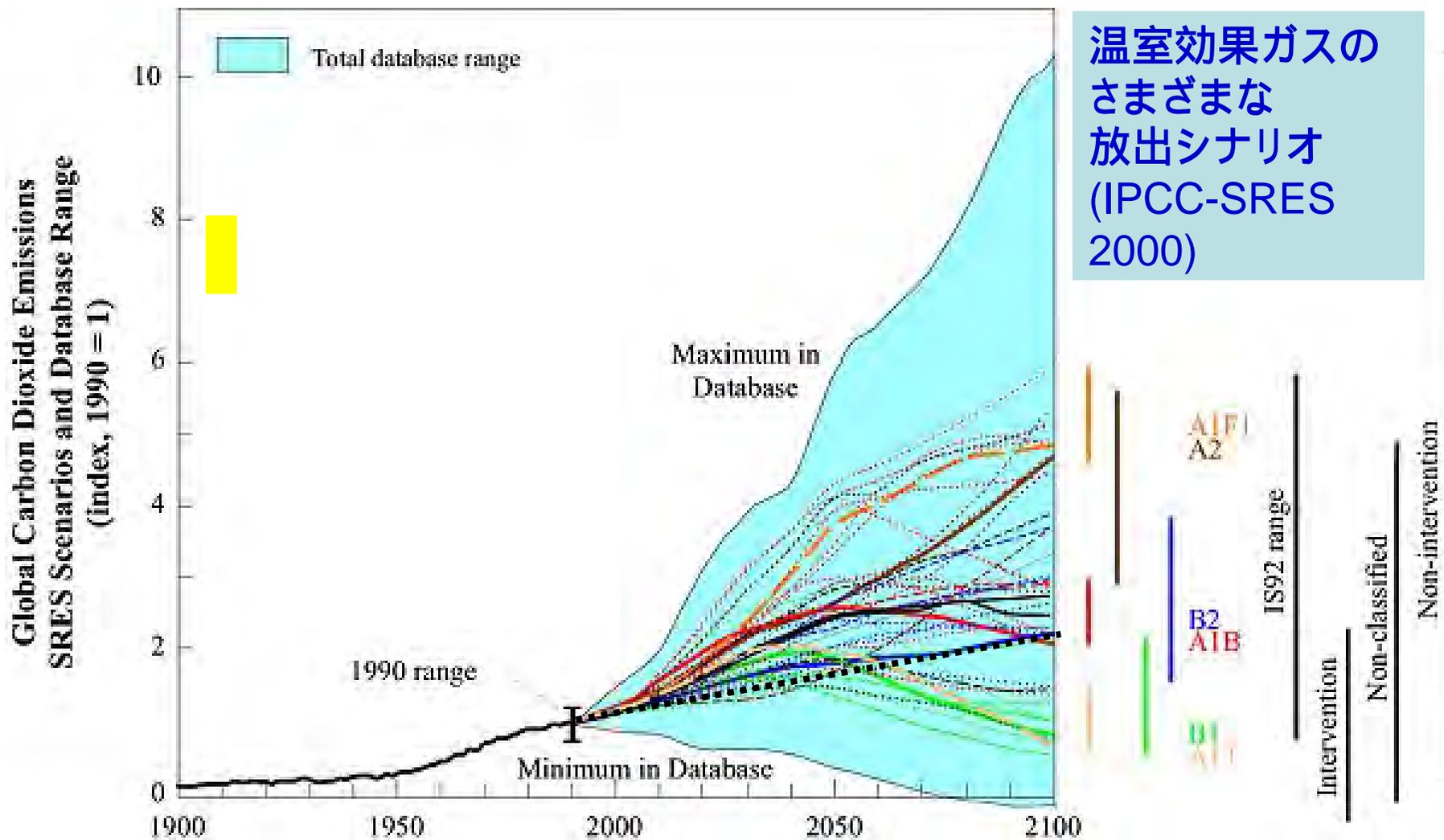
全球および各大陸ごとの気温変化 (1900 2000)
観測値vs.モデル計算値 (IPCC,2007)



温室効果ガスの増加で
今後100年、地球の気候は
どう変化する可能性があるか？

IPCC2007 による予測結果

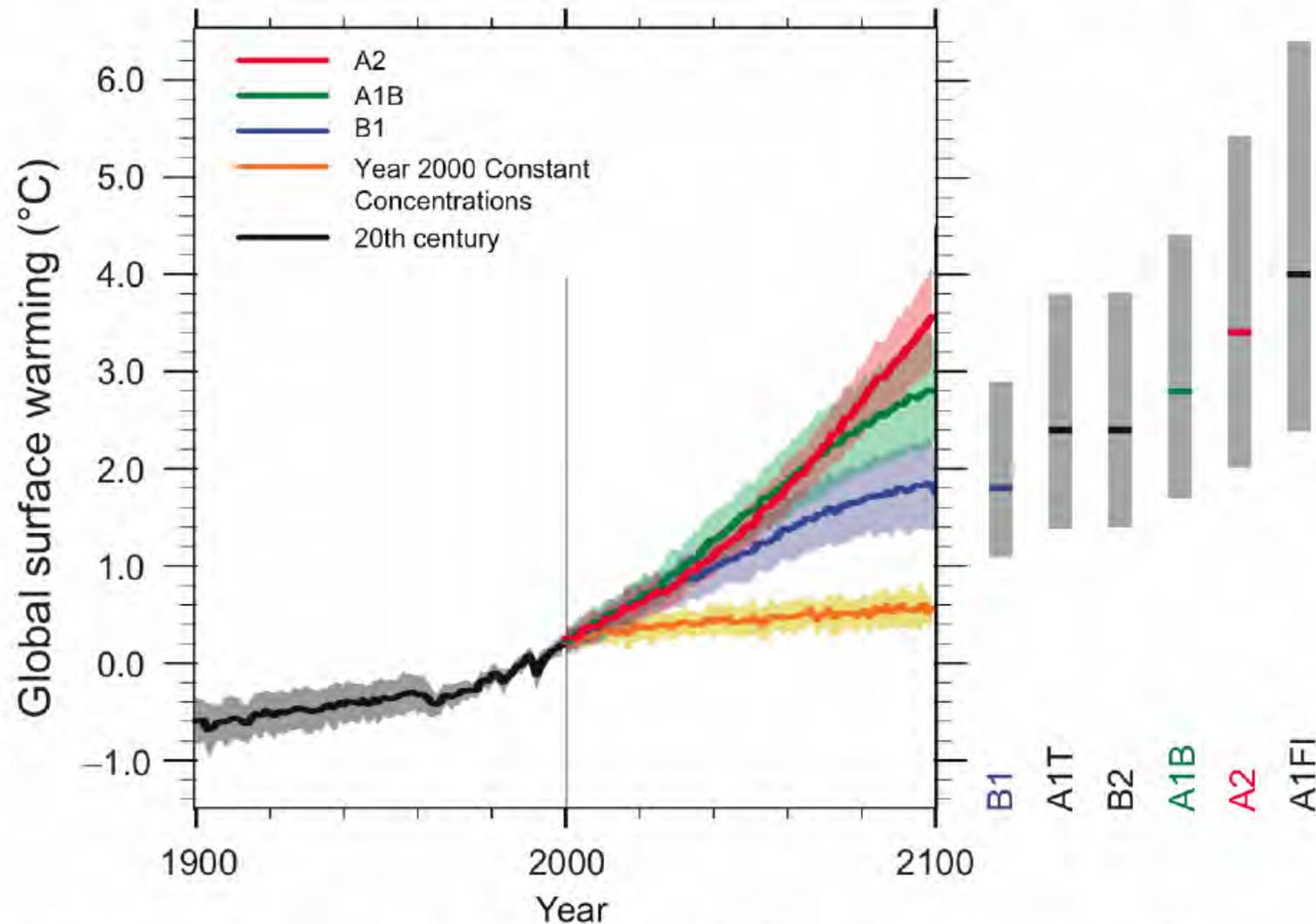
2100年には、CO₂濃度は現在の2～4倍 (700~1400ppm)となる!?



温室効果ガスの
さまざまな
放出シナリオ
(IPCC-SRES
2000)

..... Increase 1% per year

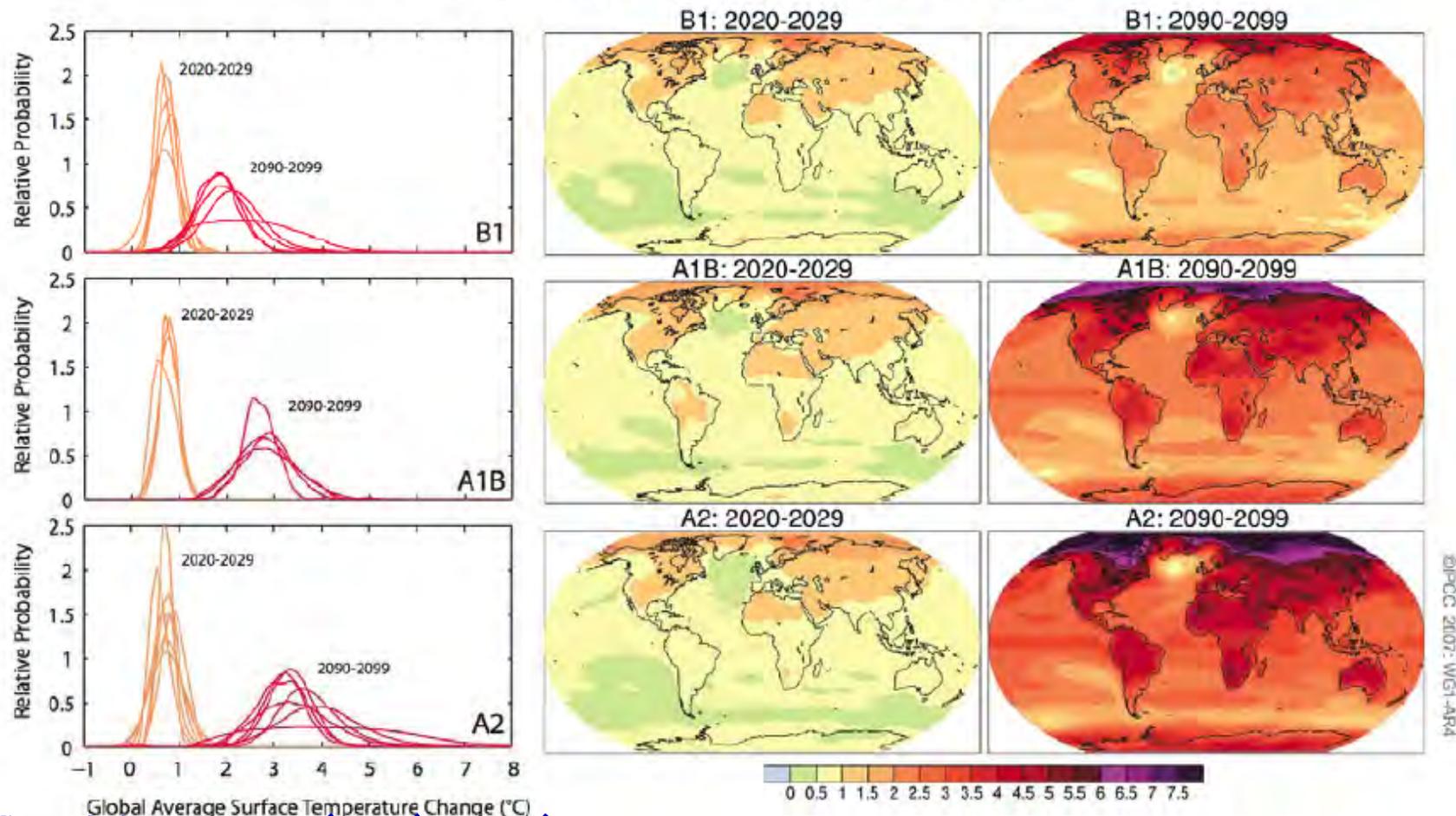
Multi-model Averages and Assessed Ranges for Surface Warming



いくつかの温室効果ガス増加シナリオにもとづく2100年までの
(2100年を基準にした場合の) 全球平均気温の変化予測

likely range assessed for the six SRES market scenarios. The assessment of the best estimate and likely ranges in the gray bars includes the AOGCMs in the left part of the figure, as well as results from a hierarchy of independent models and observational constraints. {Figures 10.4 and 10.29}

20年後(2020-29)および90年後(2090-2099)の気温分布予測



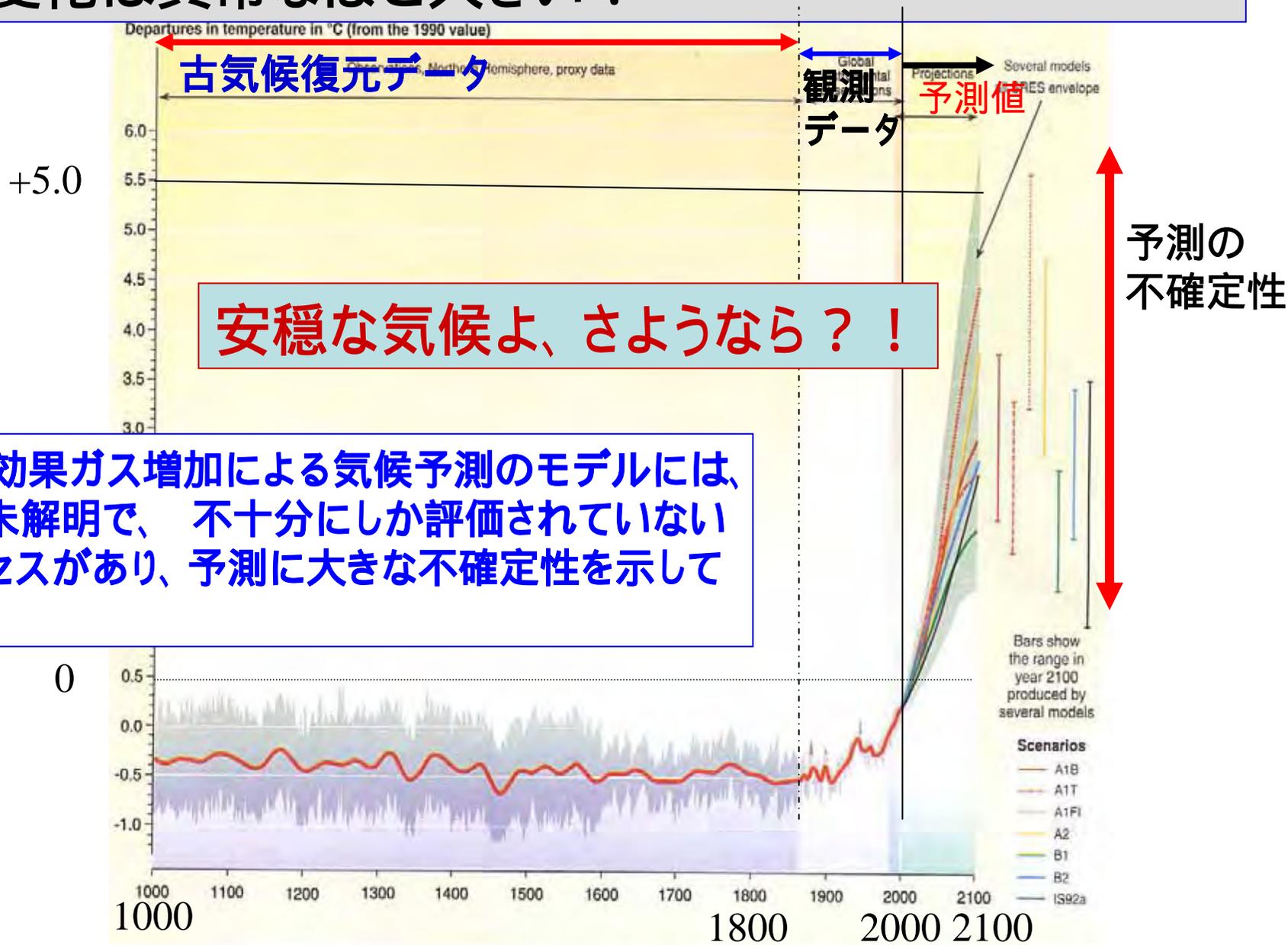
©IPCC 2007: WG1-AR4

全球平均気温のモデルごとのばらつき 2020-2029 2090-2099

北半球の高緯度と大陸上での気温上昇が非常に大きい。
最大で年平均気温で6 以上の温度上昇。

the SRES scenarios, or for various model versions. Therefore the difference in the number of curves, shown in the left-hand panels, is due only to differences in the availability of results. {Figures 10.8 and 10.28}

過去1000年の気温変化と比較すると2100年に予測される気温変化は異常なほど大きい！

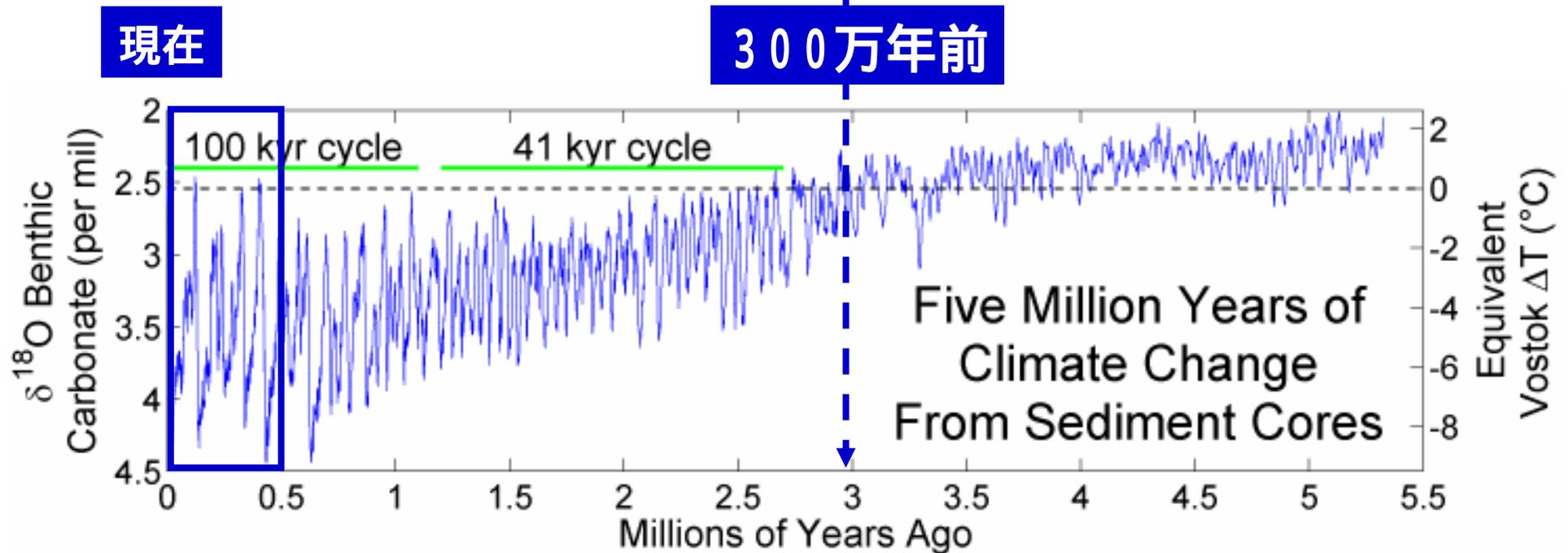




私たちは、まだ
「氷河時代」に生きている

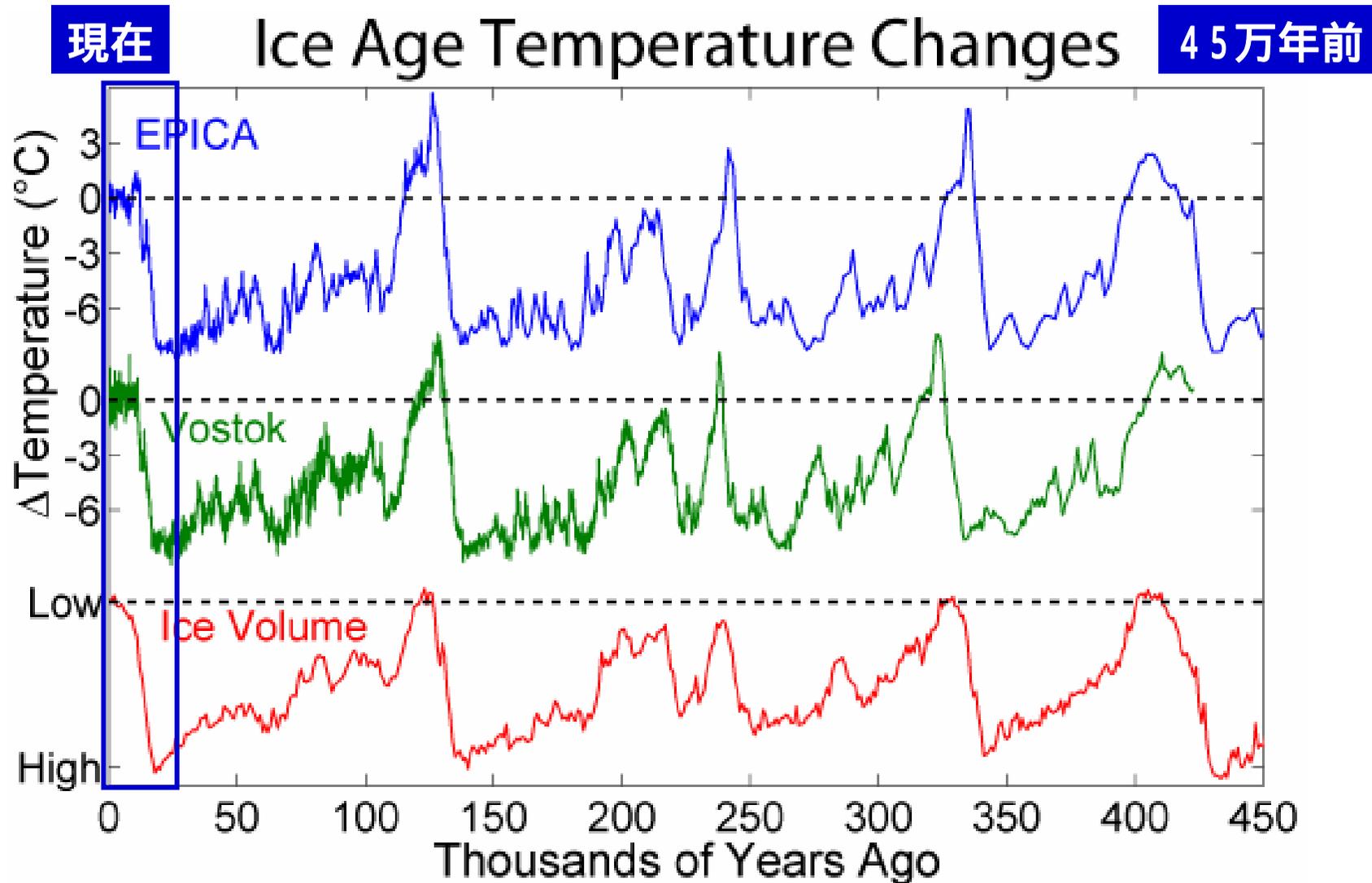
現在を含め、過去約100万年
氷期・間氷期のサイクルが続いている

(南極氷床 + 北半球氷床が存在する) 氷河時代は
約300万年前に始まり、現在も続いている。
(4 ~ 10万年周期の気候変化を繰り返している)

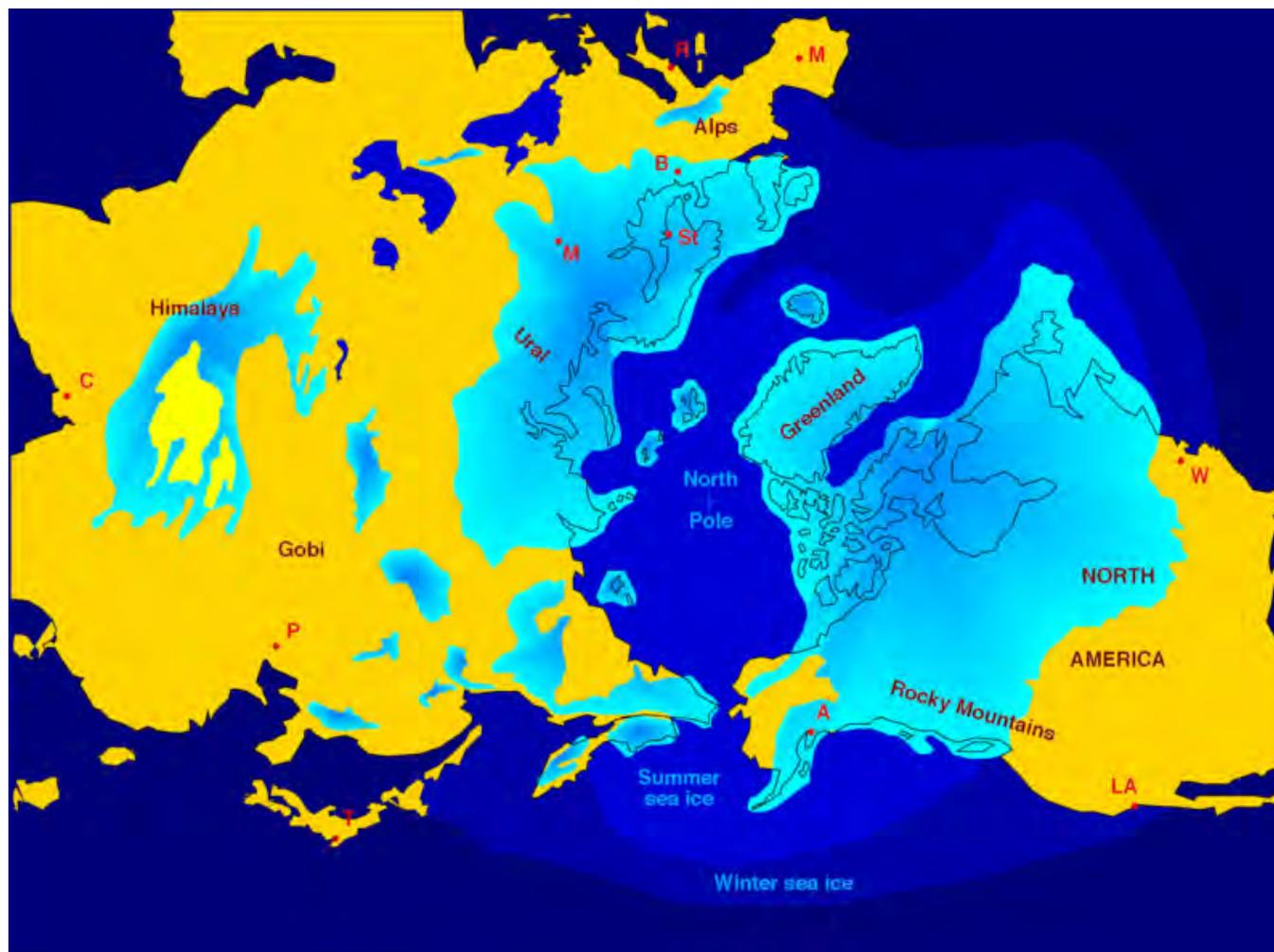


この氷河時代に人類は出現し、人類活動は拡大してきた。

約100万年前から、地球の気候(気温、海水温、CO₂濃度、氷床量)は約10万年周期で変動している。
(南極氷床コアの分析から解明された気温・氷床量変動)

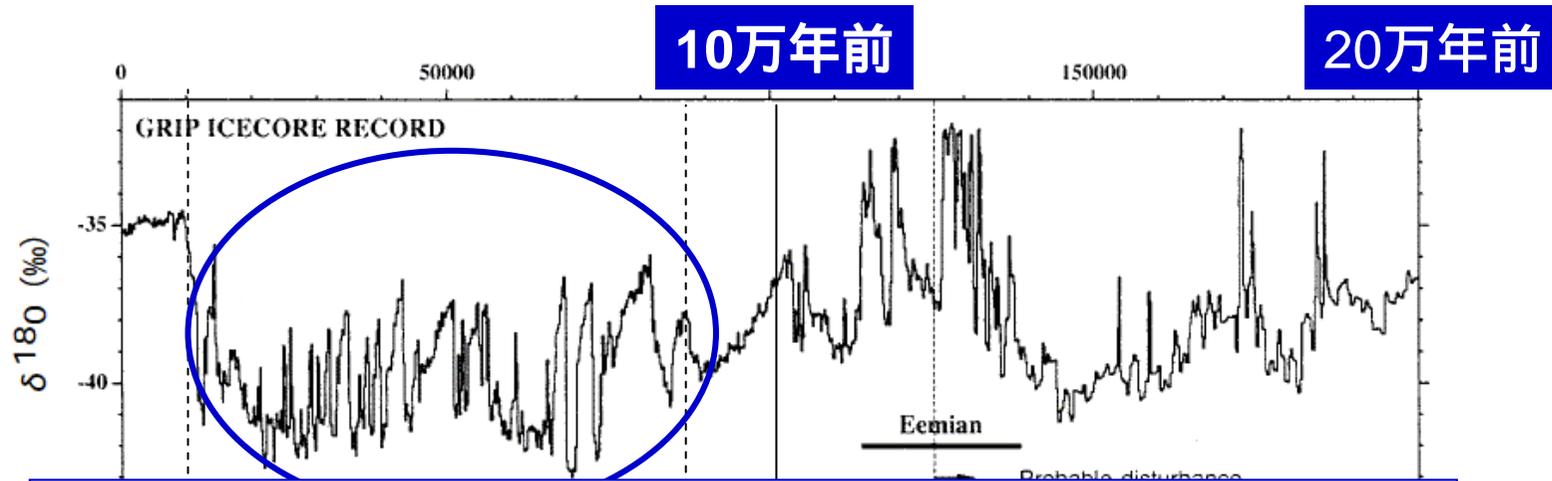


最終氷期 (約1万8千年前)における 北半球の氷床分布

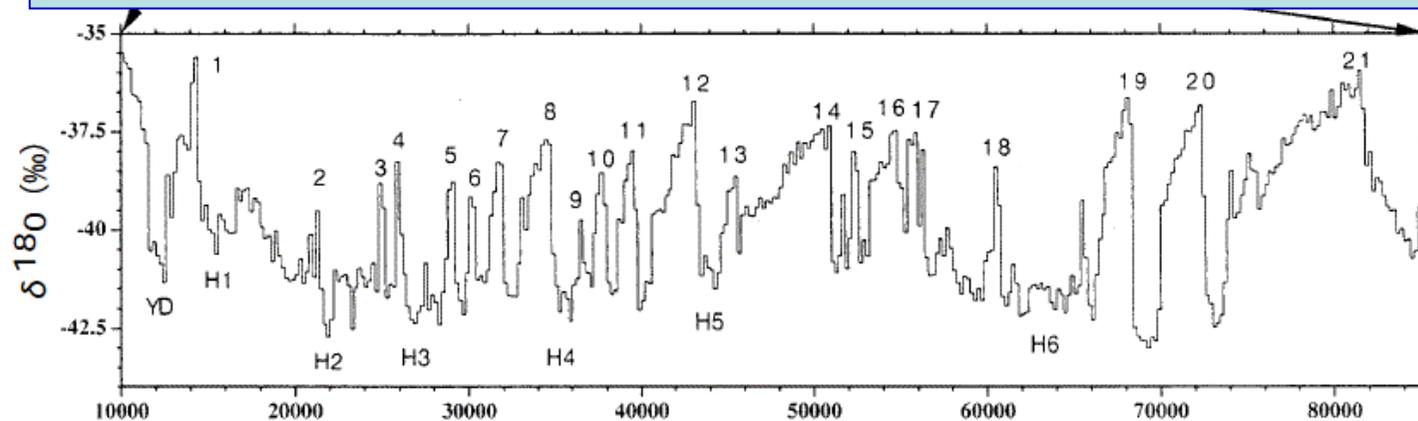


http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Northern_icesheet_hg.png

8万年前から1万年前の氷期最中には、数百年～数千年周期で、年平均で10℃以上の気候の急激な変化が幾度となくあった。

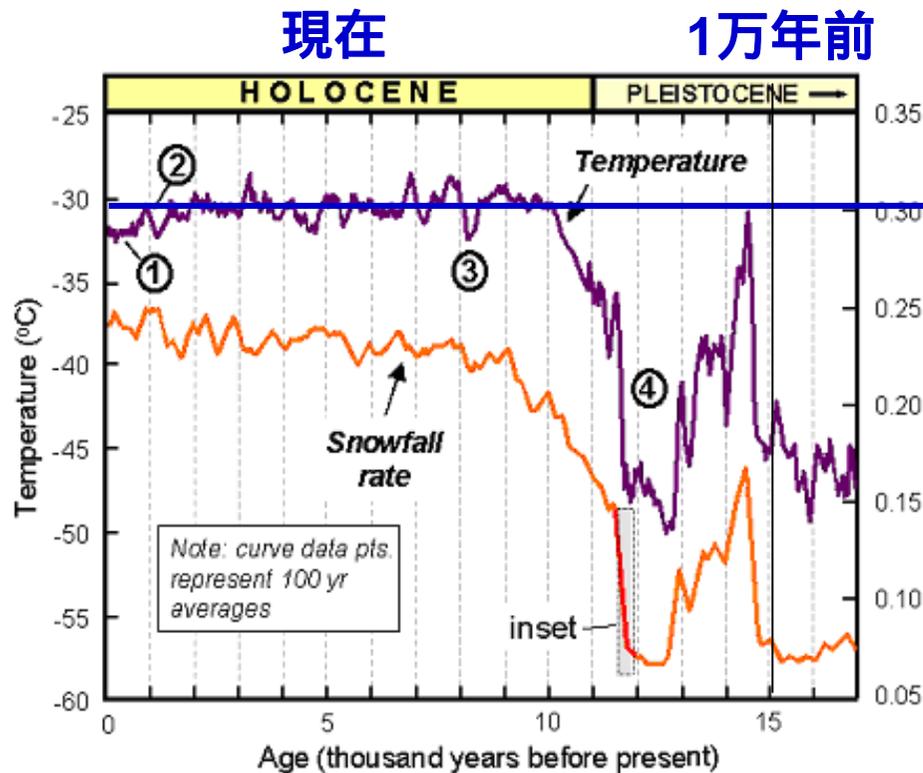


氷期は、寒暖の変動の激しい気候であった。



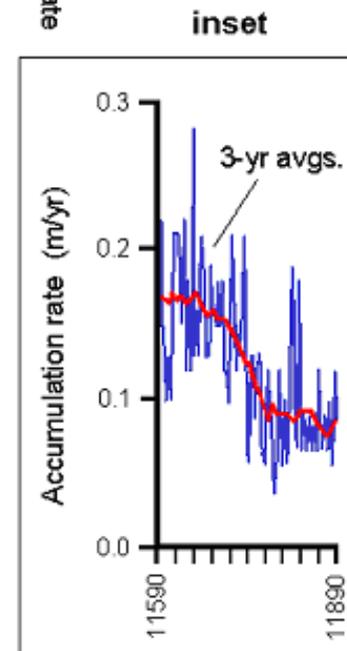
(Dansgaard et al., 1993 に基づく多田, 1998のまとめ)

グリーンランド氷床コアから復元された過去1万5千年の気温 (National Academy Press, 2002)



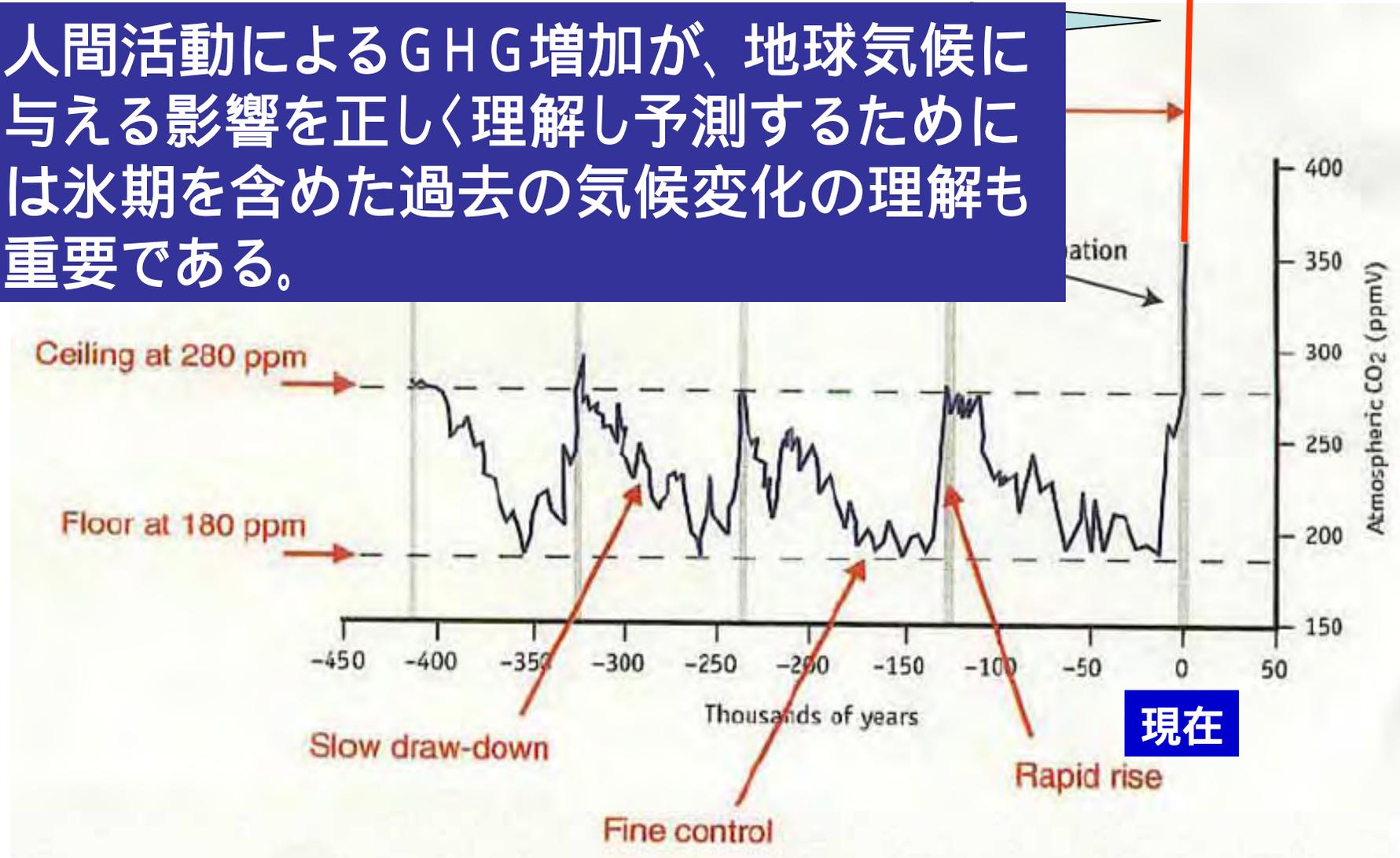
- ① Little Ice Age (~1300 -1850 a.d.)
- ② Medieval Warm Period
- ③ 8k event
- ④ Younger Dryas

後氷期の
1万年前以降、比較的
安定した気候が
19世紀まで続いた。



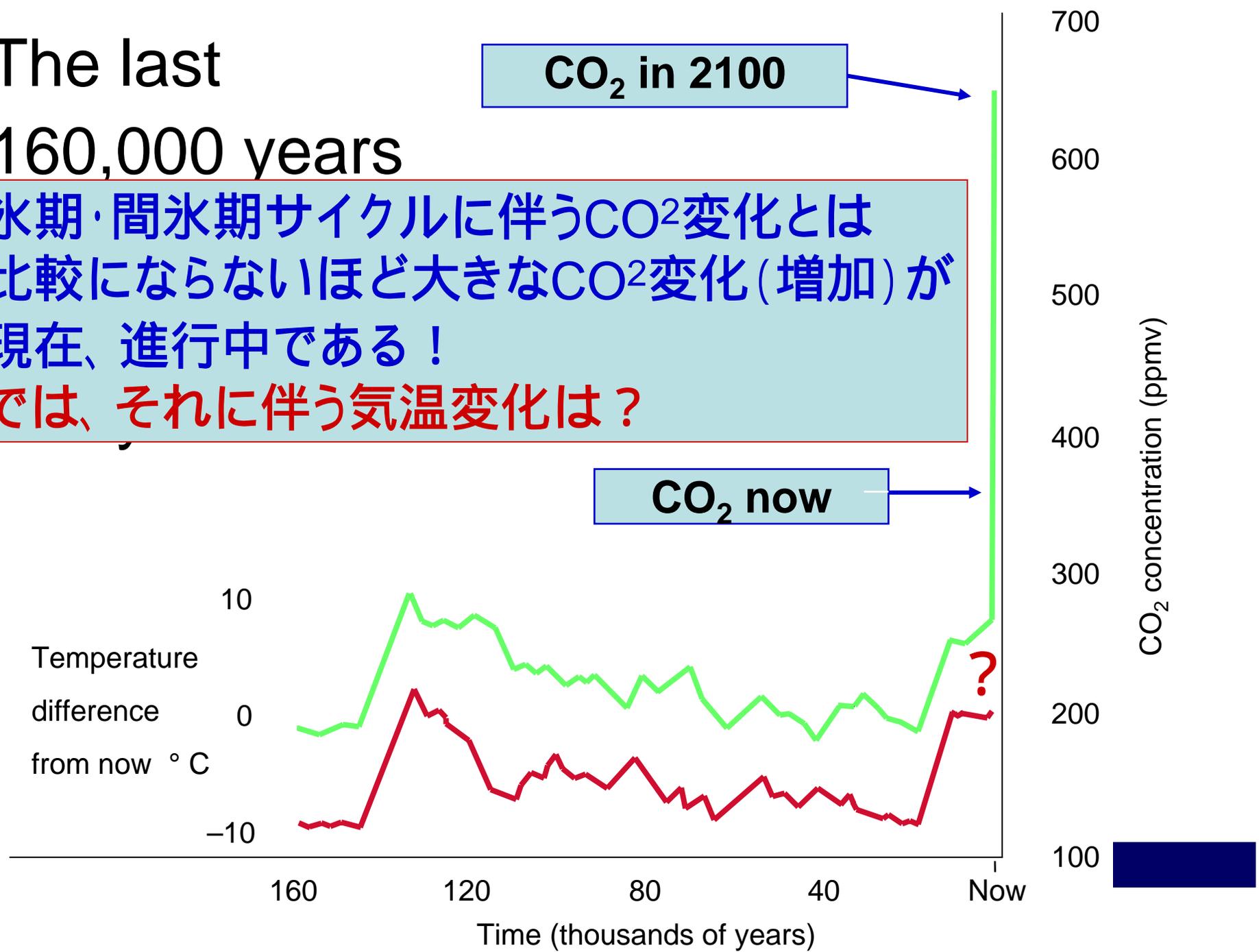
現在のCO₂増加は、過去1000万年の地球気候が経験したことのなかったほど急激な増加である！

人間活動によるGHG増加が、地球気候に与える影響を正しく理解し予測するためには氷期を含めた過去の気候変化の理解も重要である。



The last 160,000 years

氷期・間氷期サイクルに伴うCO₂変化とは比較にならないほど大きなCO₂変化(増加)が現在、進行中である！
では、それに伴う気温変化は？



ここまでのまとめ

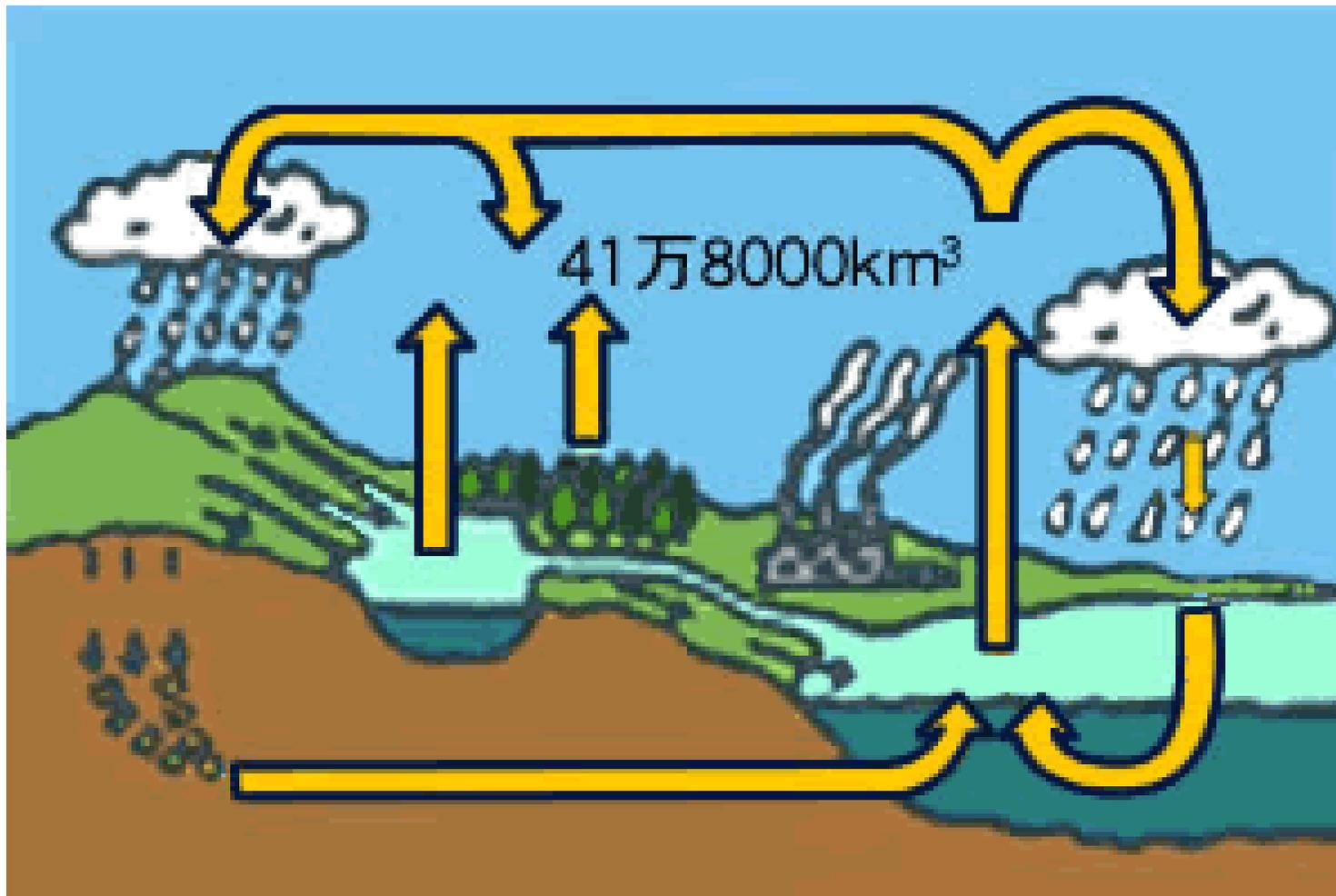
(気温を中心とした地球気候の長期的な傾向)

- 現在の温室効果ガスの増加は、過去100万年の氷河時代にかつてなかったほど大きな増加傾向を示している。
- 人間活動の影響は、ほぼ間違いない。
- 気温変化には、しかし、氷期ほどの大変化と大揺れはまだ現れていない。しかし、.....
- (気候システムは非線形システムであり、) 過去1万年続いた安定した気候は、温室効果ガスの増加により、今後、大きく変わる可能性がある。

では、私たちの生活にとって
より重要な雨や雪は
「地球温暖化」でどう変わるか？

水惑星地球の気候の維持と変化は
水循環のプロセスで決まっている

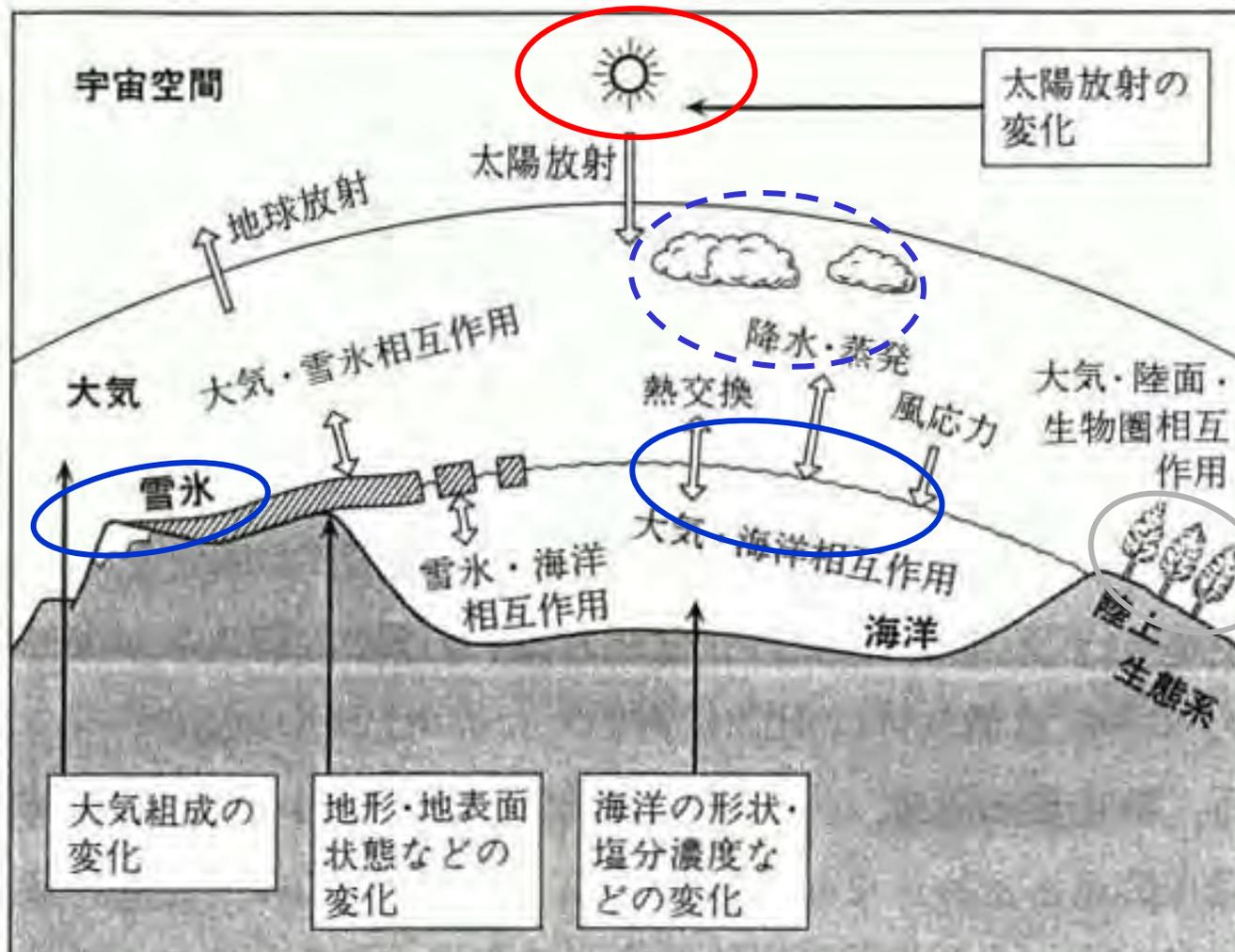
雨や雪を支配する地球の水循環は、 「地球温暖化」でどう変化するか？



http://www.kawaasobi.jp/kawa_mame/chikyuu/h_kaiyoukei.htm

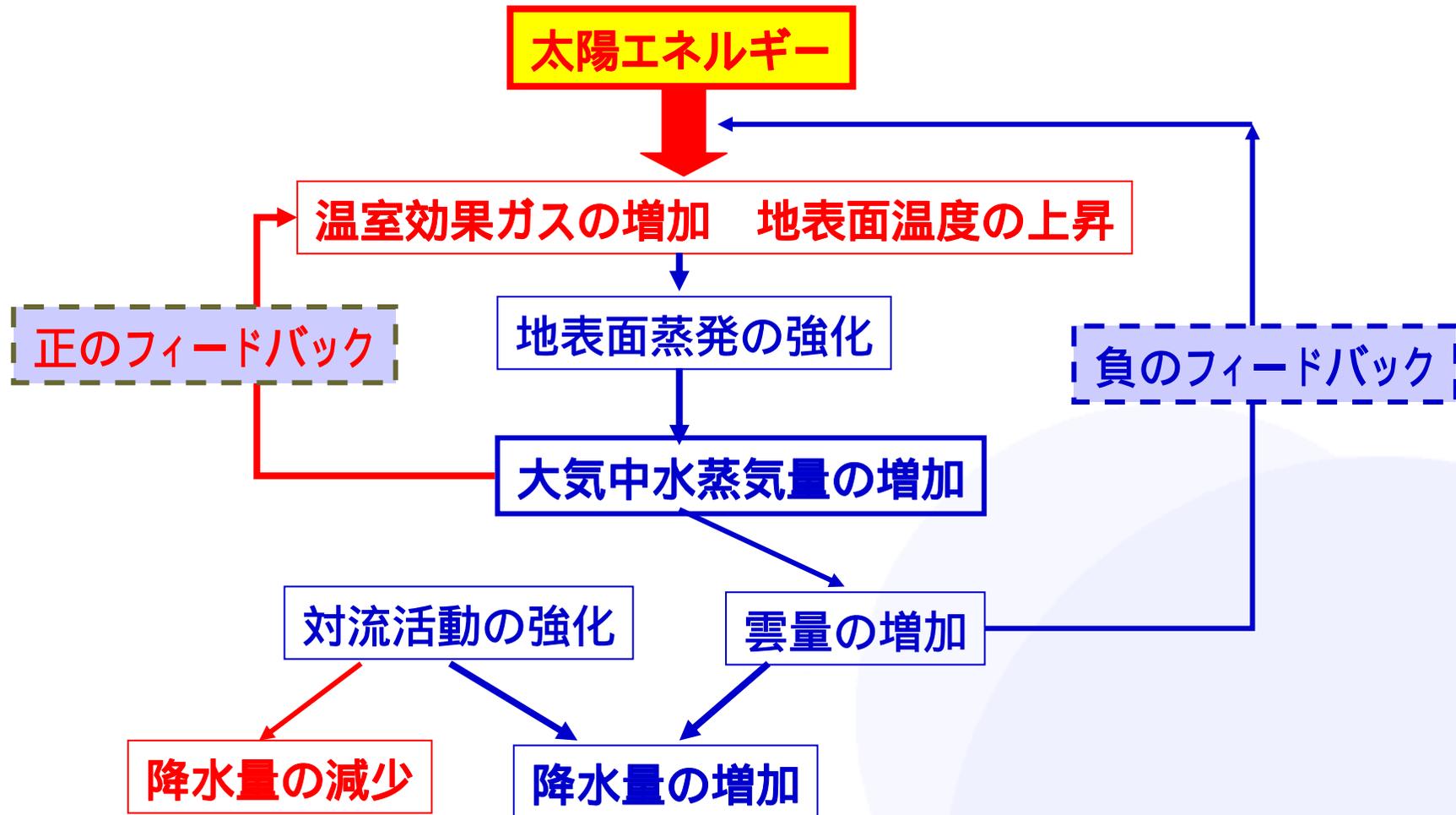


複雑な地球の気候システム



気候の変動・変化は、気候システム内の水循環と水の相変化がからむフィードバックプロセスに、強く依存している！

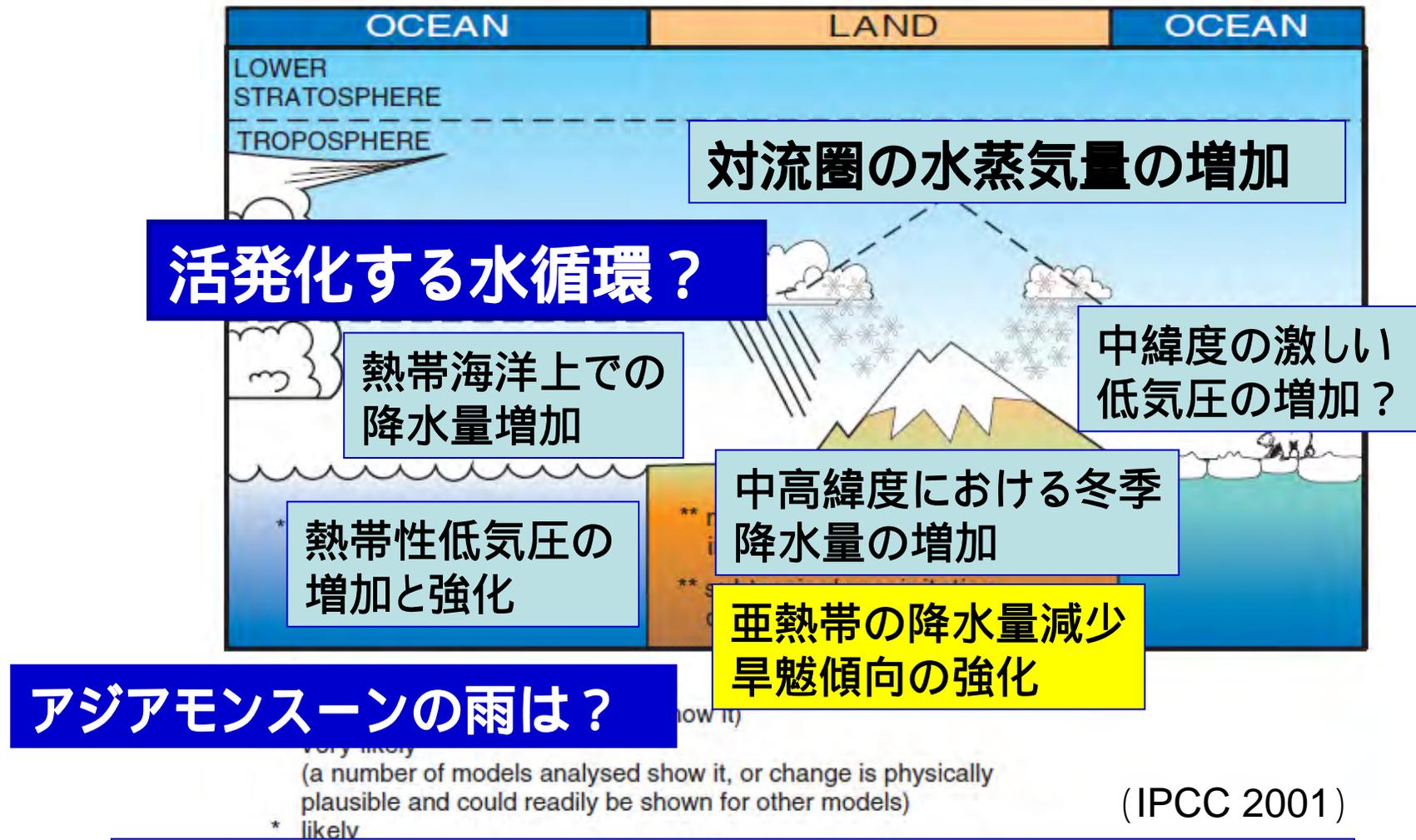
「地球温暖化」が地球の水循環と気候に与える影響の例



水蒸気はもっとも強力な温室効果ガスである！



温室効果ガス増加により、水循環はどう変化するか？



「地球温暖化」に伴う水循環の変化の予測には、まだ多くの不明確・未解明なプロセスが多く含まれている！

Figure 9.31: Schematic of changes in the temperature and hydro-

2100年頃の降水量変化予測 (A1Bシナリオ)

熱帯(赤道域)と中・高緯度は増加、亜熱帯は減少傾向
全球的には増加傾向

12 - 2月

Projected Patterns of Precipitation Changes

6 - 8月

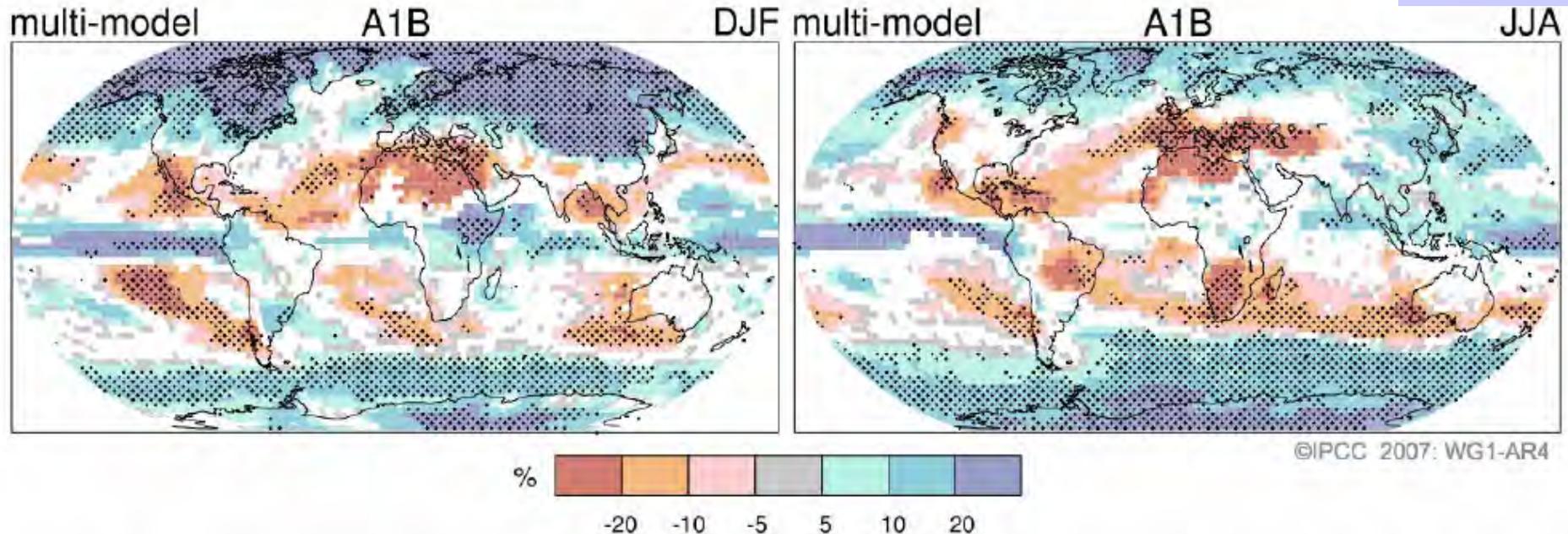
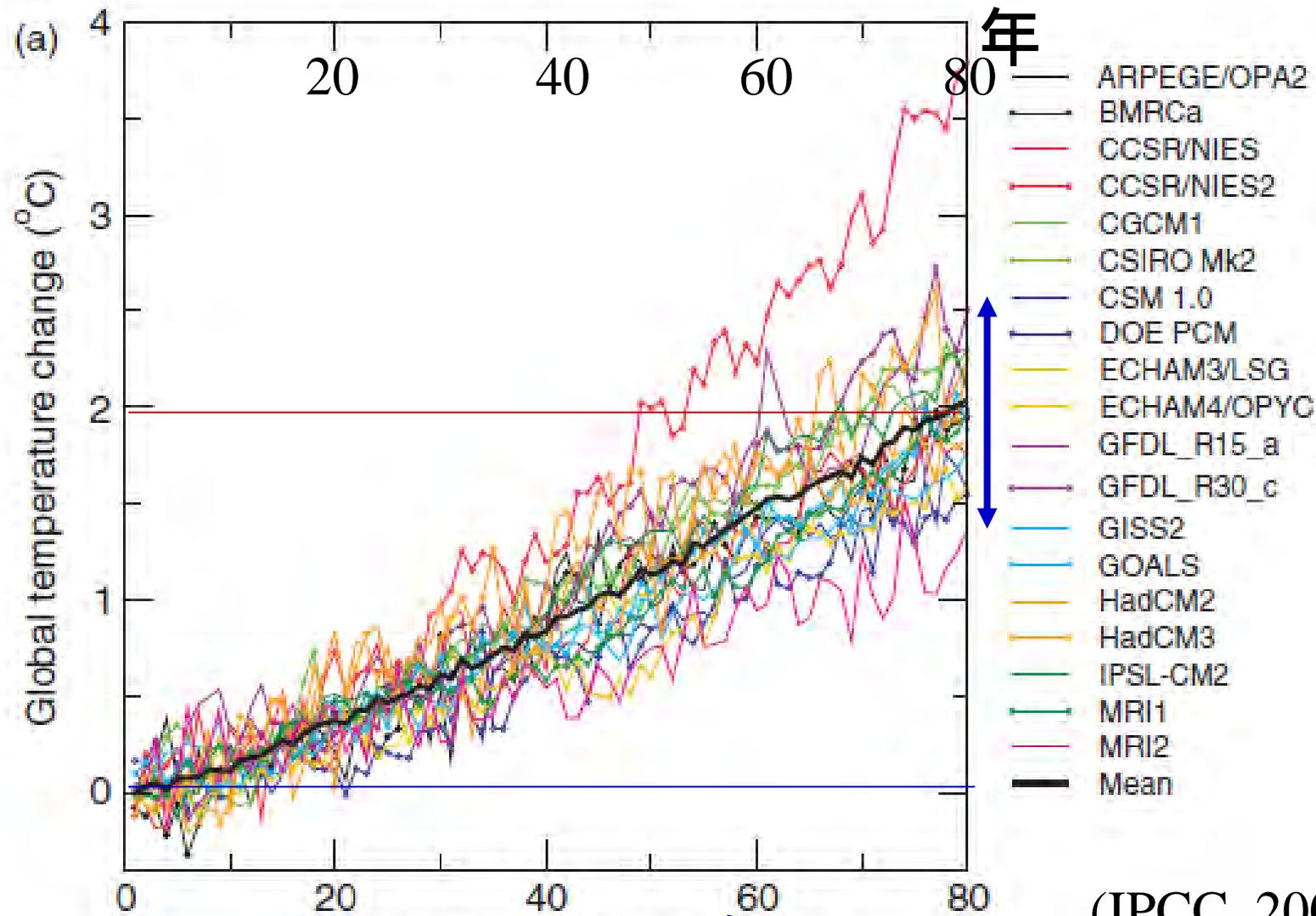
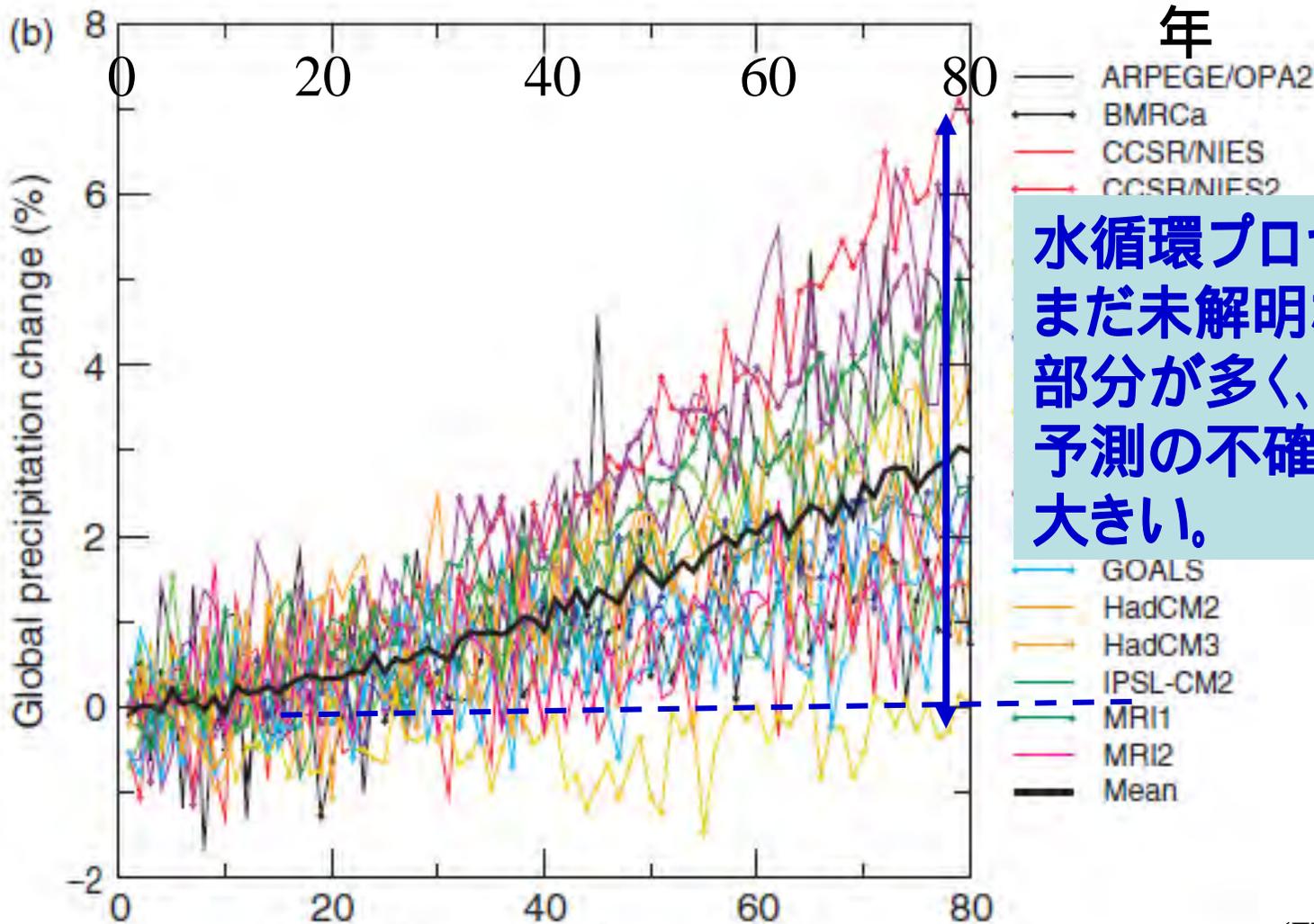


FIGURE SPM-7. Relative changes in precipitation (in percent) for the period 2090–2099, relative to 1980–1999. Values are multi-model averages based on the SRES A1B scenario for December to February (left) and June to August (right). White areas are where less than 66% of the models agree in the sign of the change and stippled areas are where more than 90% of the models agree in the sign of the change. {Figure 10.9}

CO₂増加(1%/年)により、どの最新(最良の)気候モデルも、全球気温の上昇(平均1.5~2.5 /100年)を予測



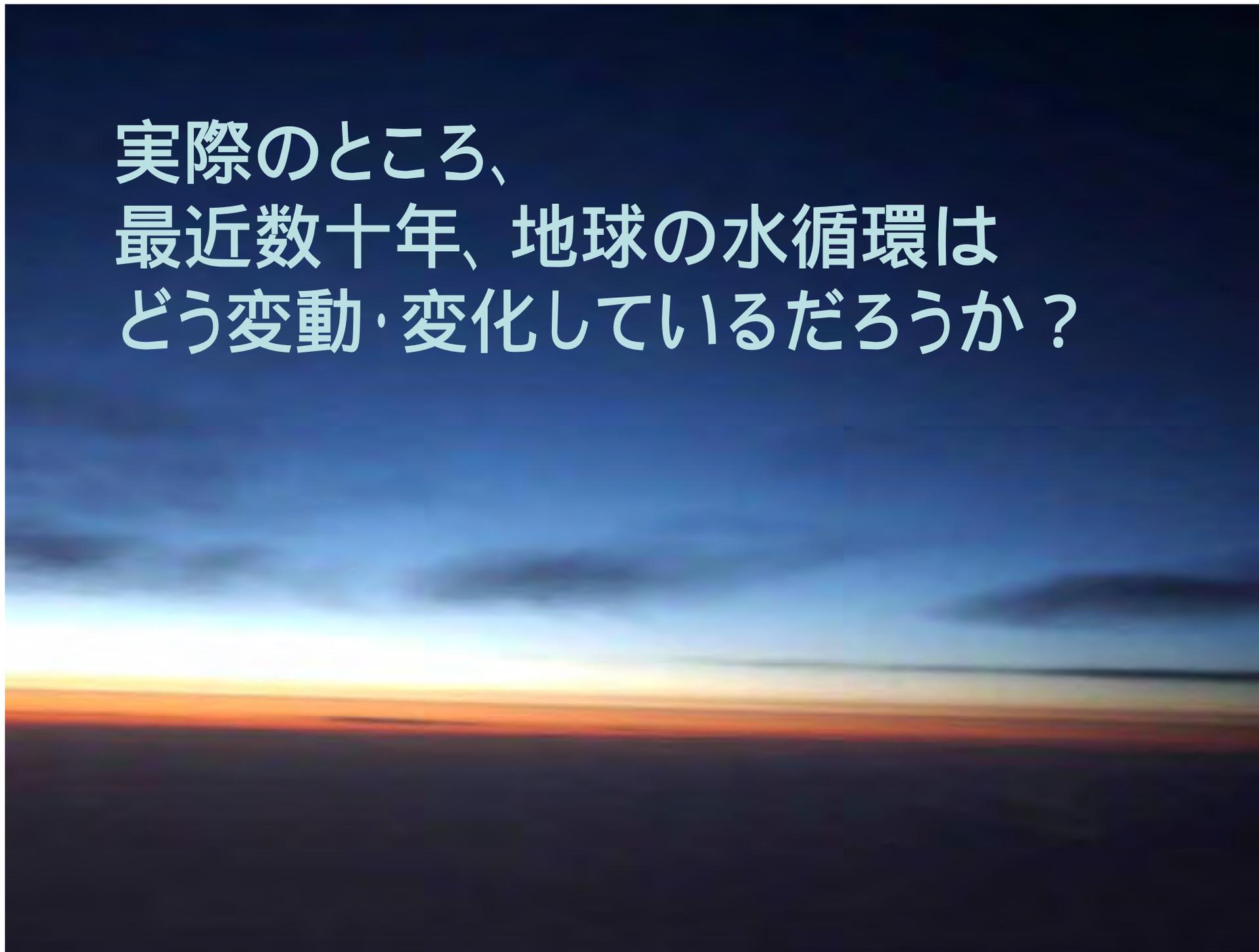
CO₂増加(1%/年)により、どの最新(最良の)気候モデルも、
全球降水量の増加(平均2~3%/100年)を予測
しかし、モデルごとのばらつきは非常に大きい!(0~6%)



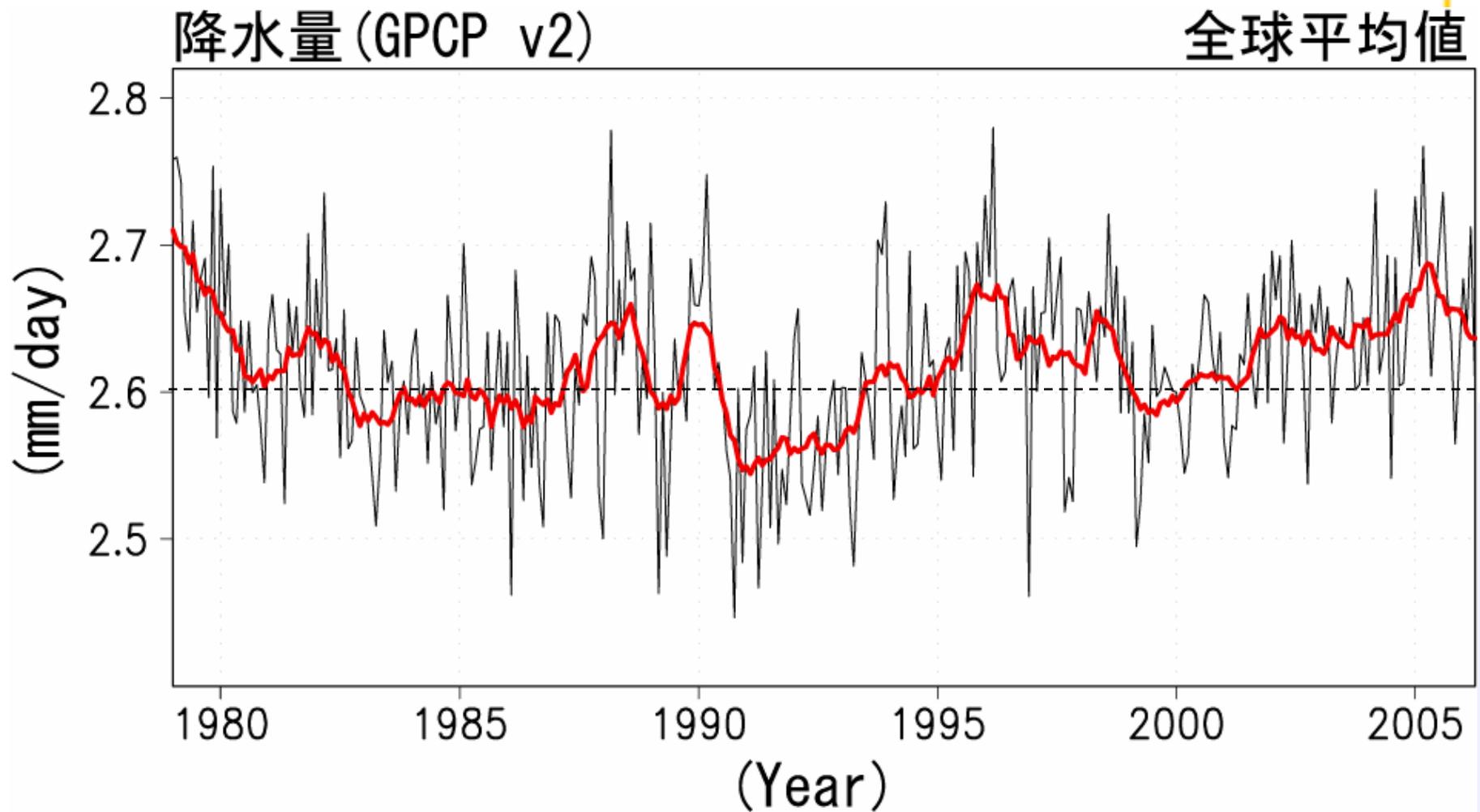
水循環プロセスには
まだ未解明な
部分が多く、モデルの
予測の不確実性も
大きい。

(IPCC, 2001)

実際のところ、
最近数十年、地球の水循環は
どう変動・変化しているだろうか？



全球平均の降水量は今のところ 顕著な増加傾向はない(1980 2005)

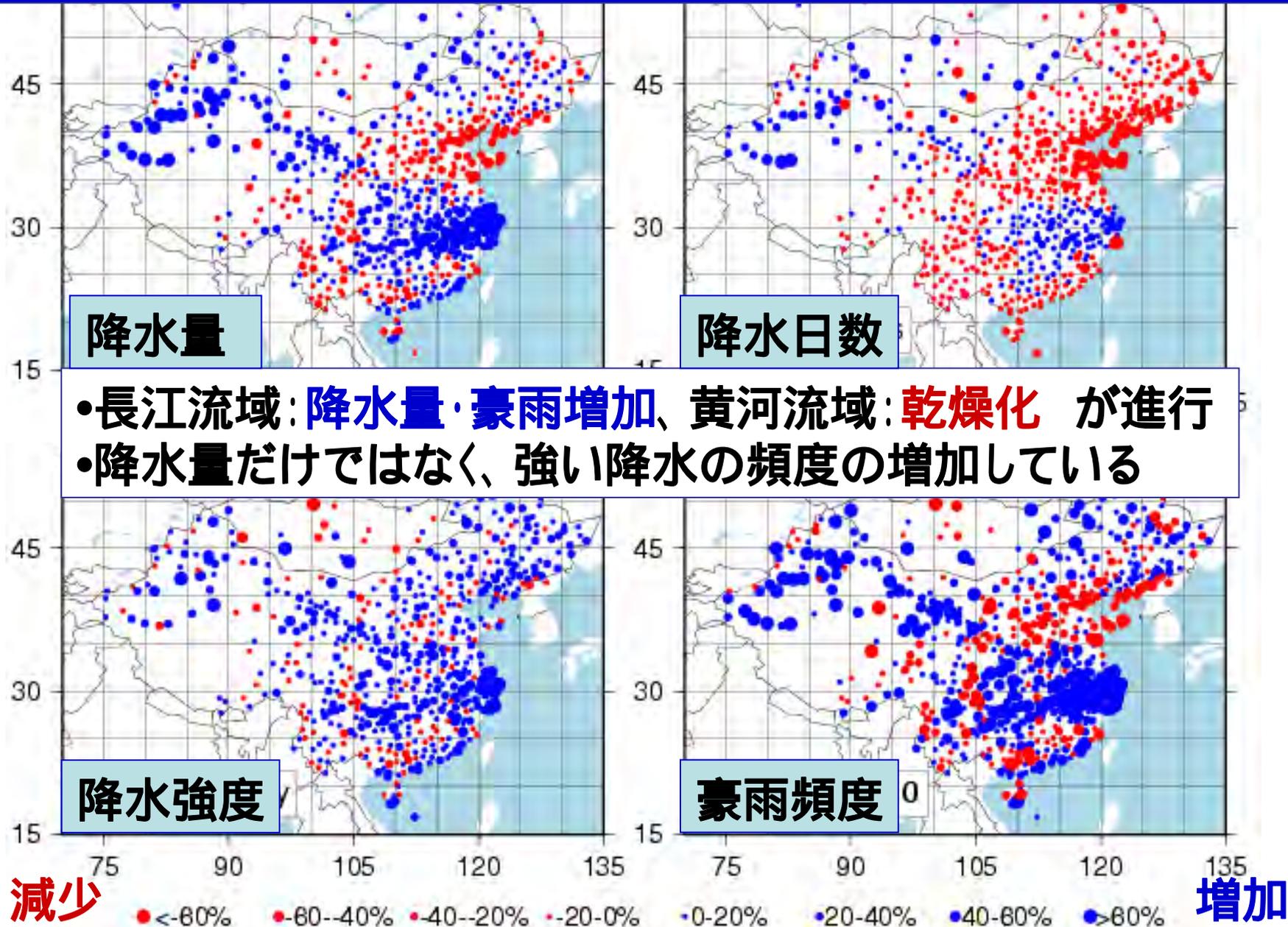


アジアモンスーン地域の降水量は どう変化してきたか？

< 1900年代後半以降、特に80年代以降、すでに
人間活動の影響が現れている可能性は高い >

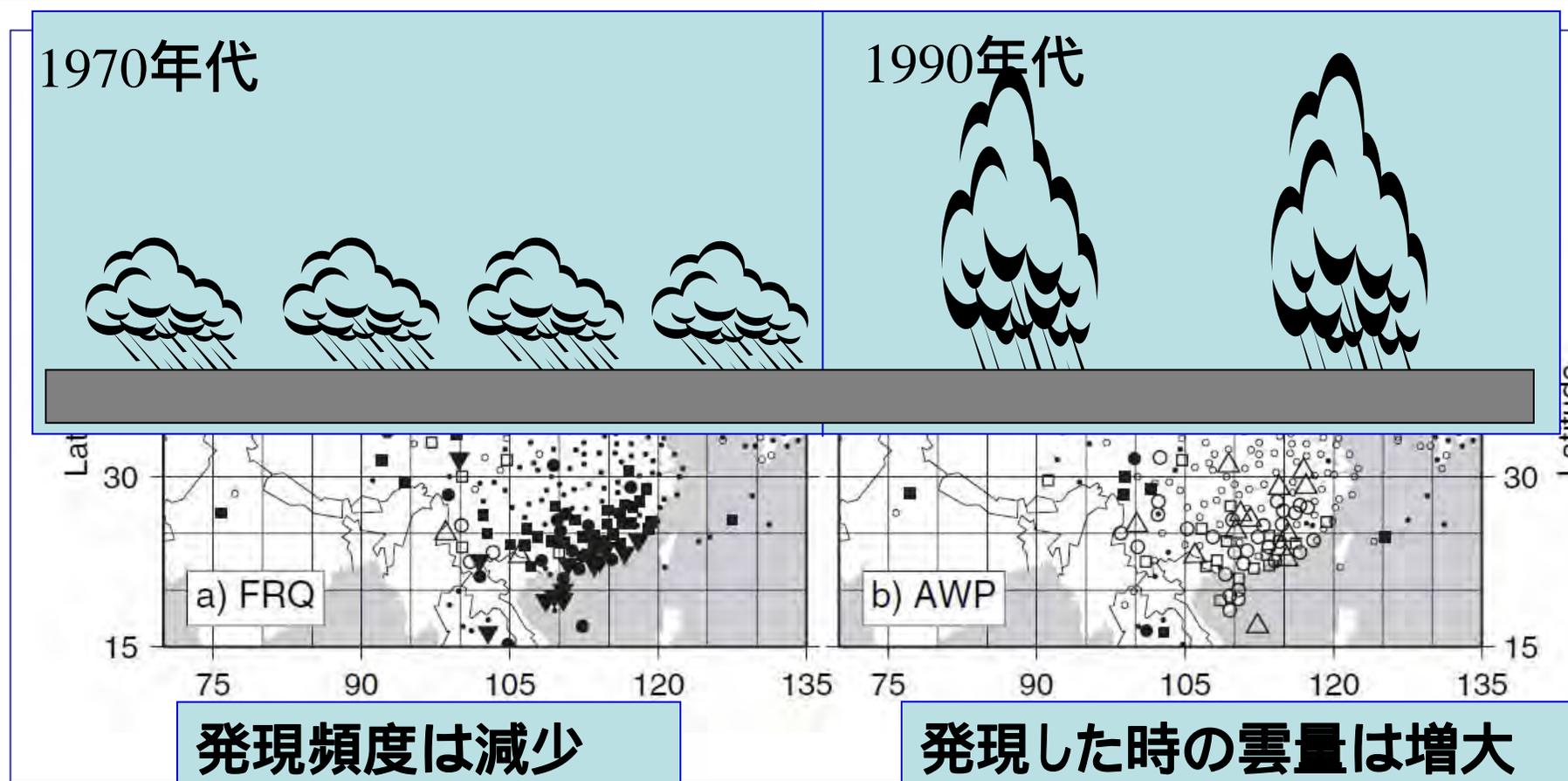
過去40年(1960-2000)の東アジアの夏季降水の変化

(Endo, Yasunari and Ailikun, 2005 JMSJ)



1971-1996における中国南部の積乱雲(Cb)の
発現頻度の変化傾向(左)と発現時の発達度の変化傾向(右).
発生頻度は減少しているが、発生した積乱雲は巨大化する傾向が
強くなっている。

(Endo and Yasunari, J. J.Climate, 2006) 日経新聞 06.04.17

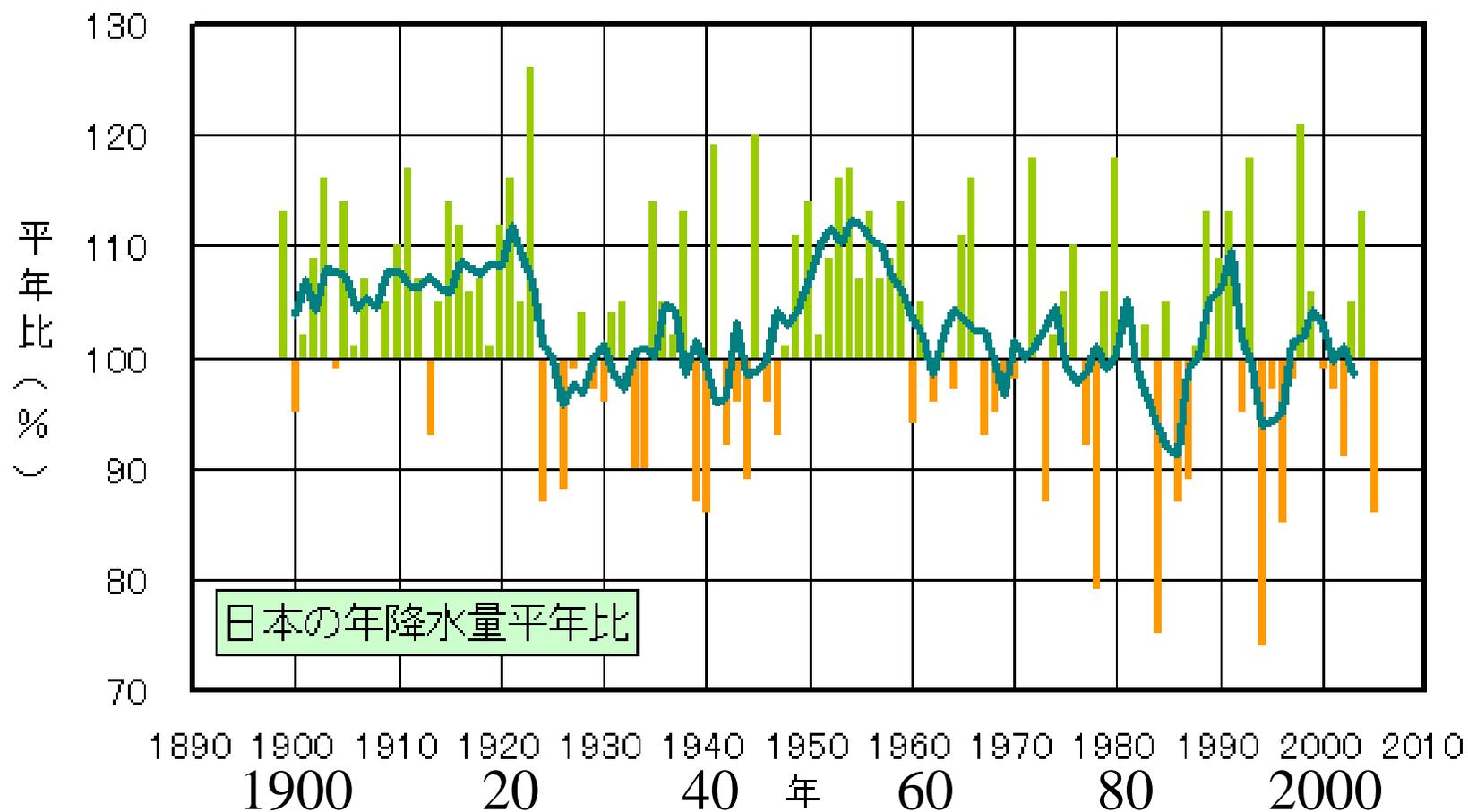


日本の降水量は
どう変化してきたか？

20世紀における日本の年降水量の変化

やや減少傾向？

年々の変動は大きくなっている

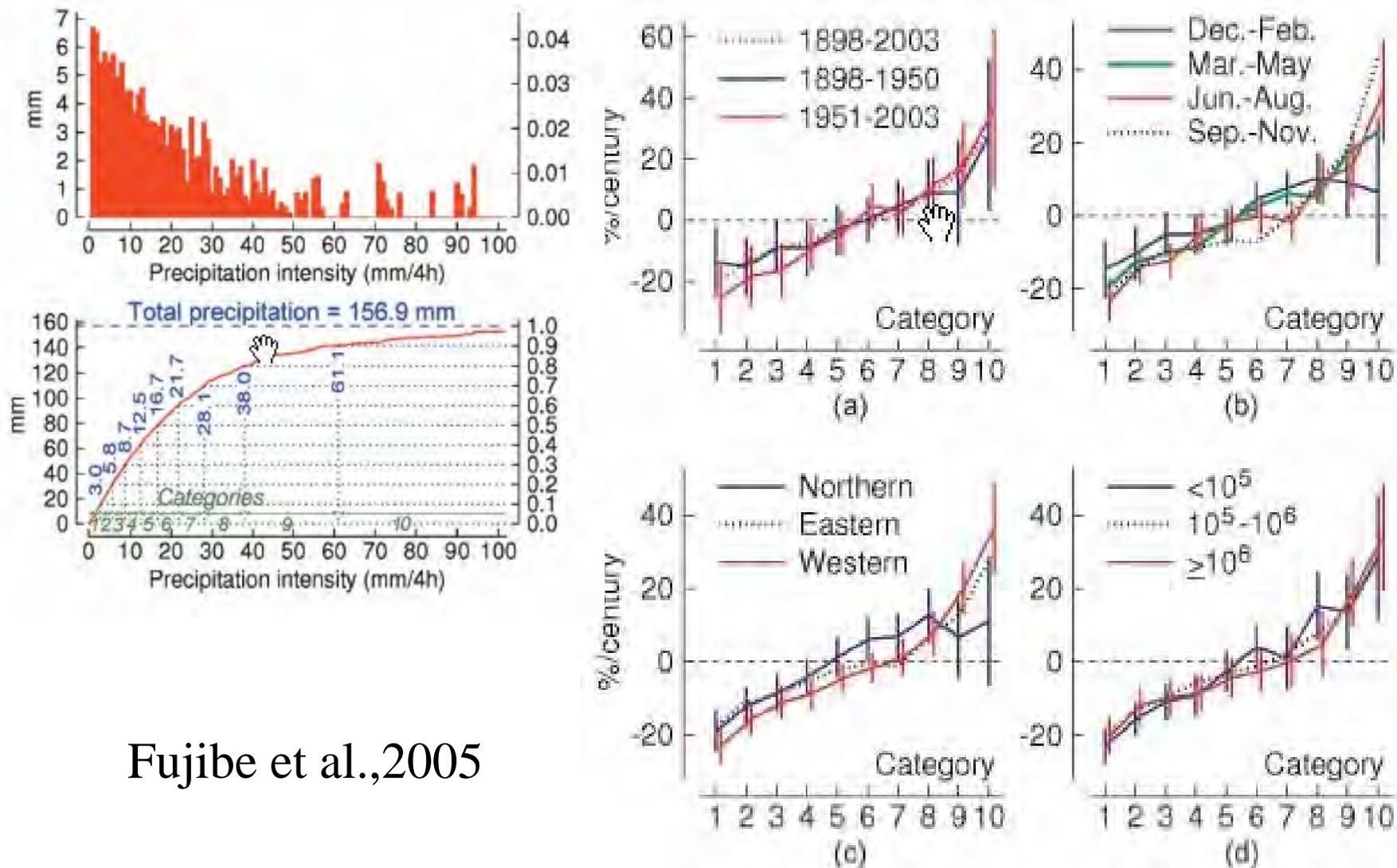


気象庁

日本の降水強度の長期変化 (1898 - 2003)

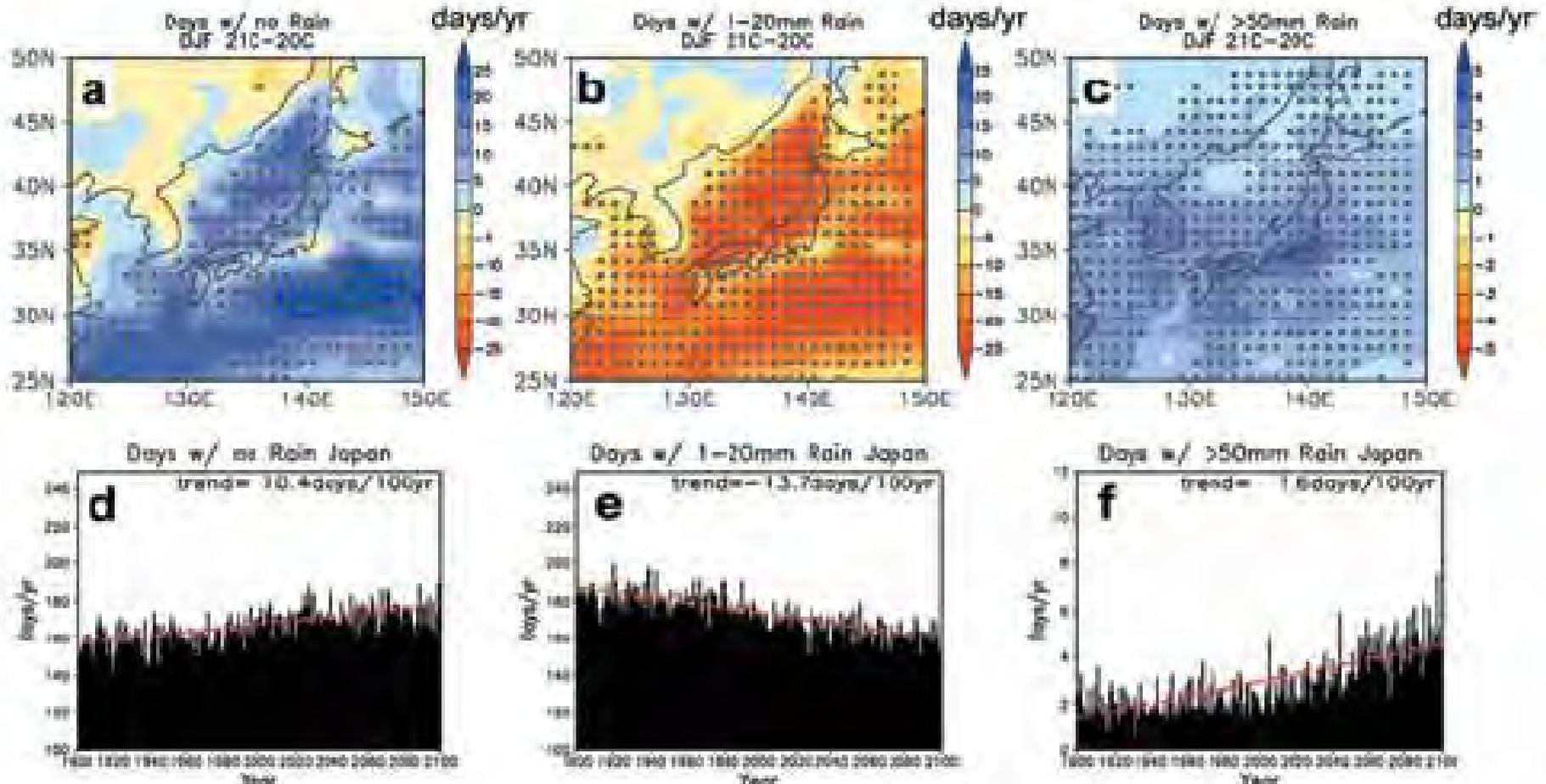
強い雨ほど増加傾向、弱い雨ほど減少傾向にある

弱い雨 ← → 強い雨



Fujibe et al., 2005

気候モデルで予測された降水頻度変化でも
 豪雨が増加し、弱い雨が減少(2000-2100)
 並雨(1-20mm/day)の微減、強雨(>50mm/day)の増加傾向



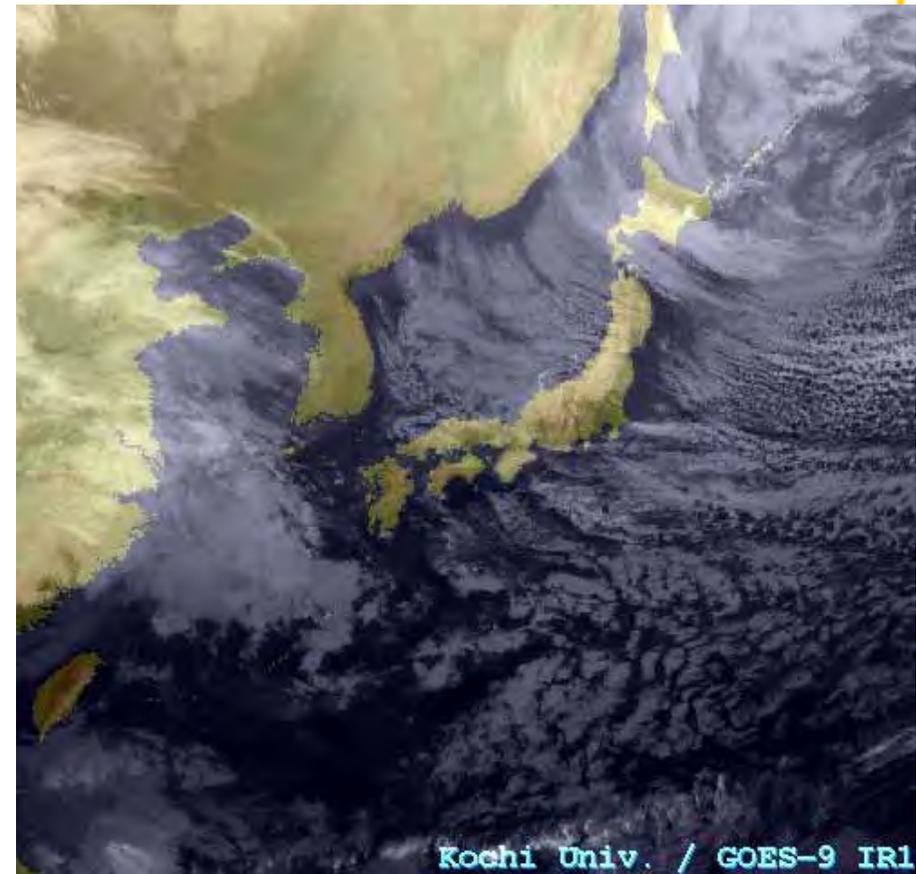
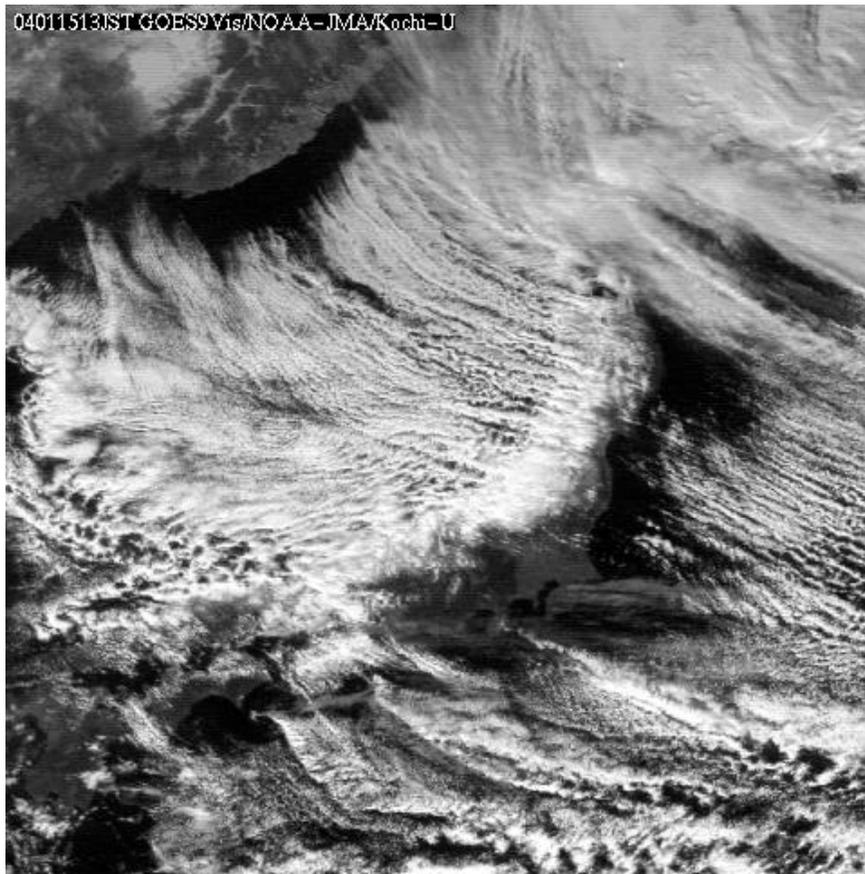
無降水日数

並雨

強雨

Kimoto et al., 2005

冬の季節風による降雪量(降水量)は 「地球温暖化」でどうなるか？

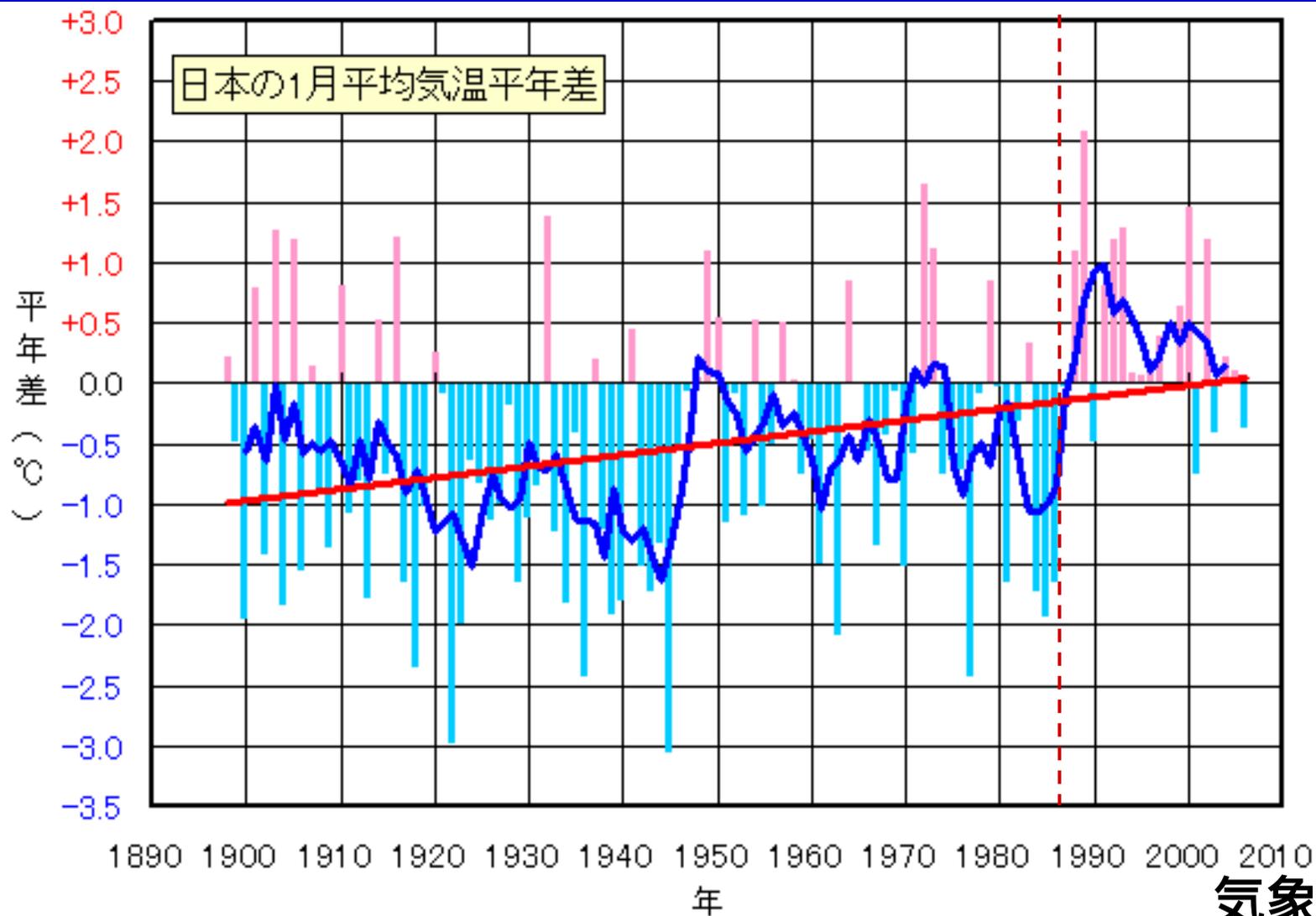


GOES-VIS, IR 2004. 1. 15 13JST

<http://weather.is.kochi-u.ac.jp/FE/00Latest.jpg>



冬季の気温は1980年代後半から急激に上昇、 日本海側の降雪・積雪も急激に減少



世界各地の冬季気温と積雪(降水)量の関係

•北陸地域はぎりぎりの気温条件で降水が雪となっている世界でも珍しい地域である。(暖地積雪)

•北陸地域の冬季降水量(積雪水量)変動は気温が低い(高い)ほど多い(少ない)という世界でも特異な特性を示している。

「温暖化」により、冬季季節風も弱まると、積雪も降水も同時に減少する！。

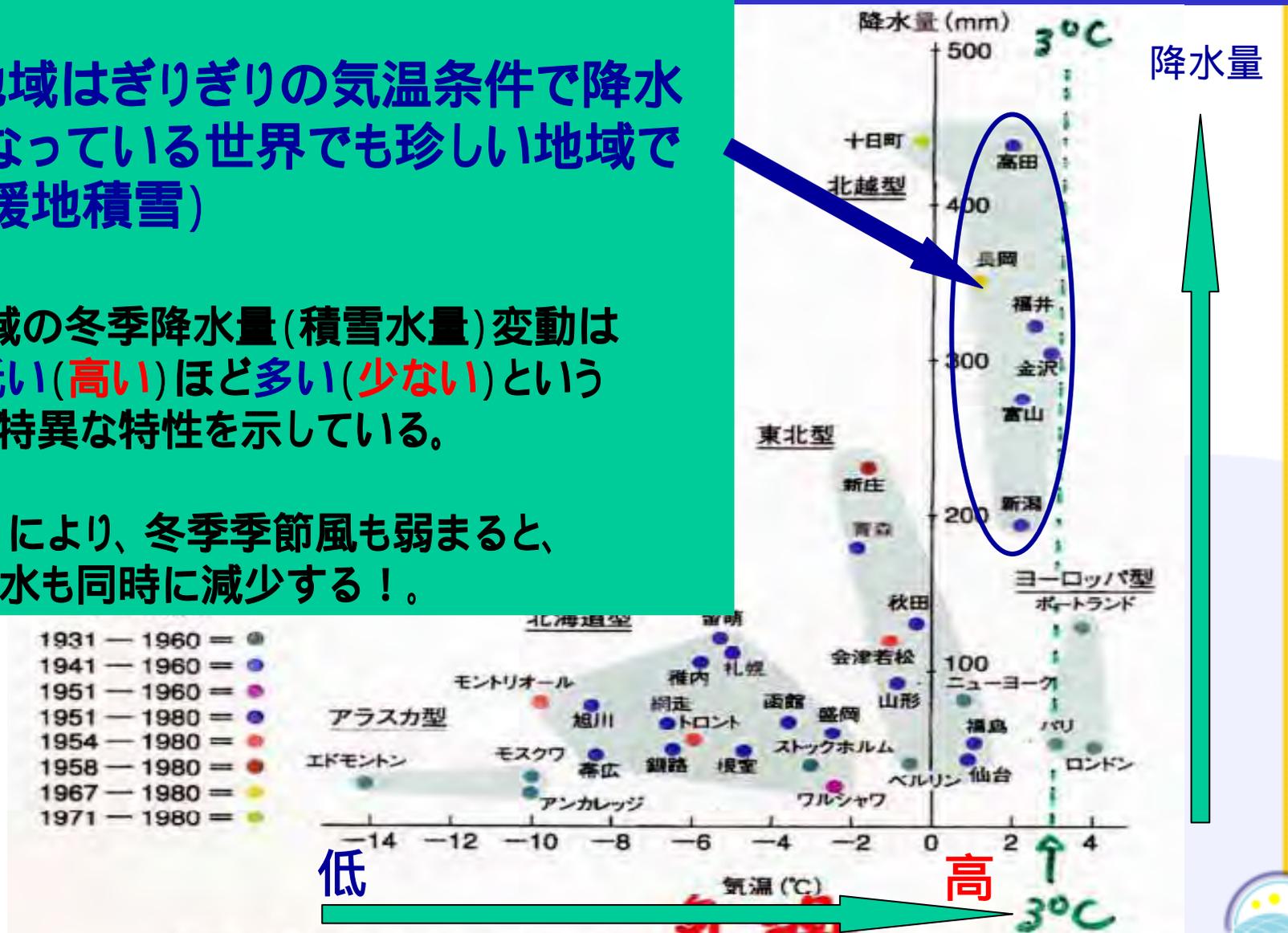


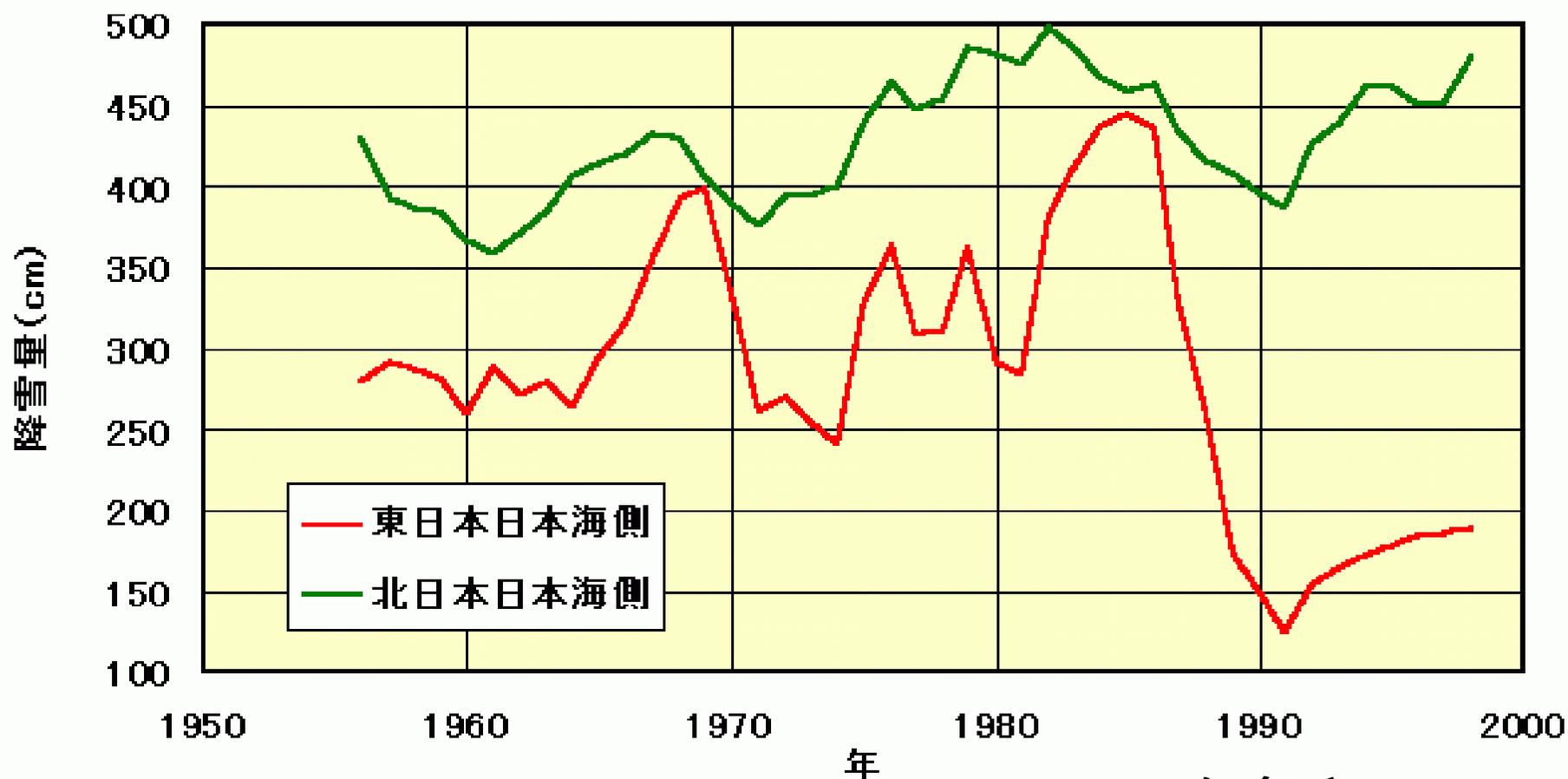
図 I 世界各地の1月の平均気温と降水量(原田ほか、1988)



日本海側の冬季降雪量の経年変化

東日本(本州)では80年代後半以降激減

(年々の変動を取り除くため5年移動平均値で示す)



気象庁



過去80年のシベリア高気圧(12 - 2月)示度の変動

1980年代後半から、(ユーラシアの温暖化に関連して)
シベリア高気圧が弱まり、日本海側の雪が急激に減少！

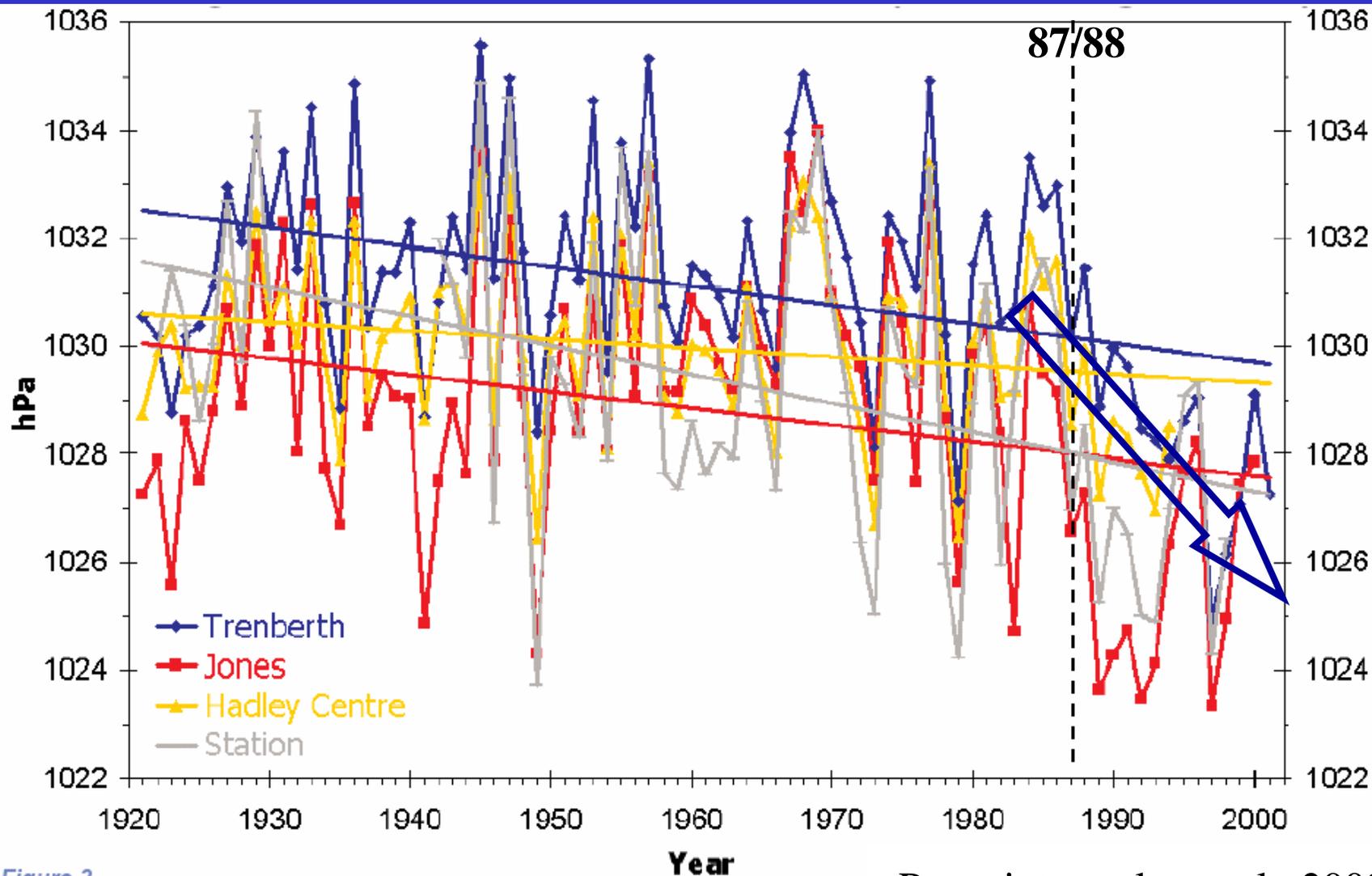


Figure 3

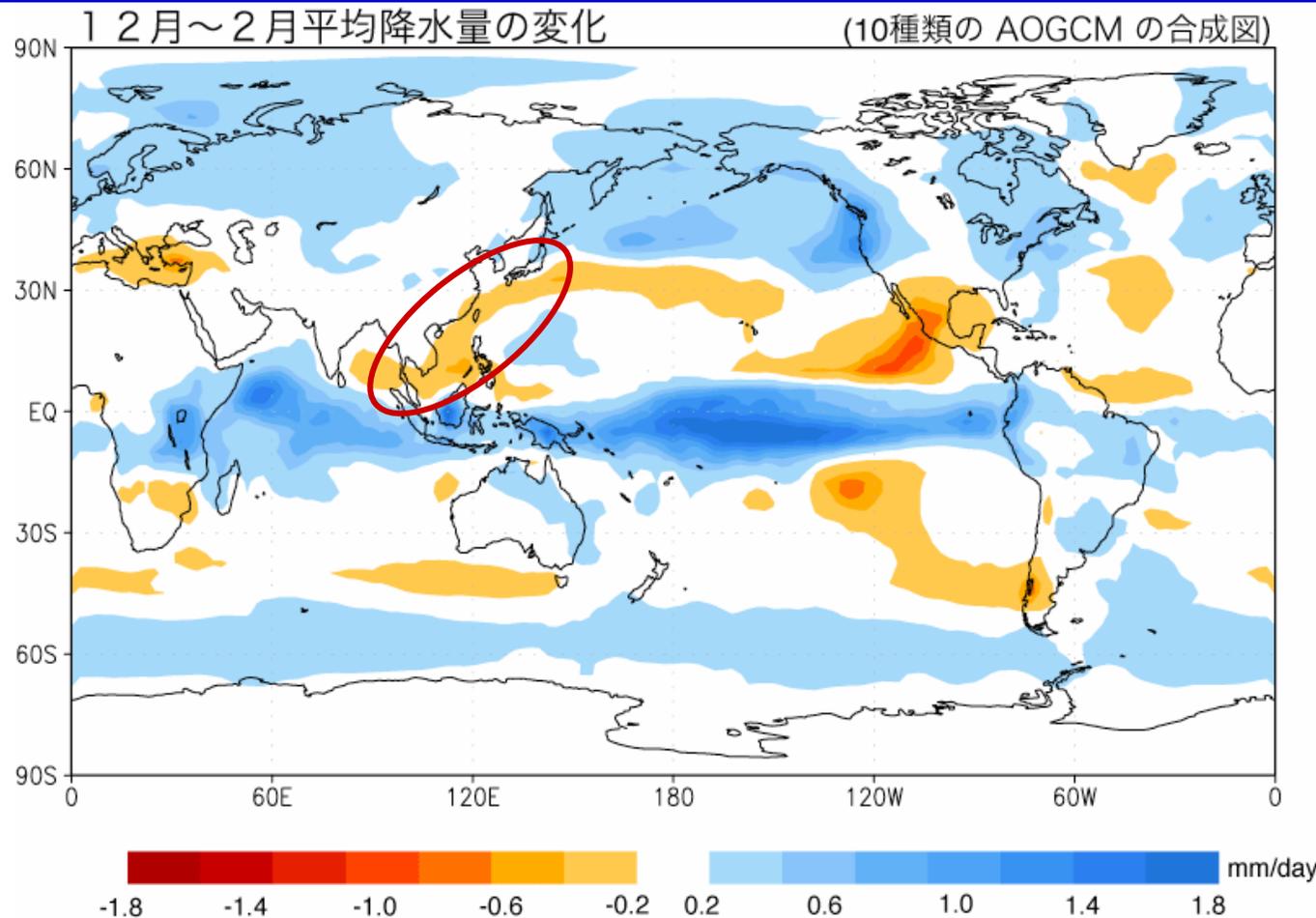
Panagiotopoulos et al., 2003



IPCCによる2100年の冬季降水量変化予測

(10の気候モデルによる結果の平均)

東・東南アジア冬季モンスーン降水量は減少傾向
インドネシア・オーストラリア夏季モンスーン降水量は増加傾向



(IPCC, 2007)

まとめ I:

20世紀後半におけるアジアの降水変化

夏季降水量の変化

- 中国・日本の梅雨前線活動は1960年代以降、特に90年代に入ってから活発化している。
- 梅雨前線の北側(黄河流域・内モンゴル)では、対照的に乾燥化が進行している。
- 日本の降水量の年々変動幅が大きくなっている。
- 東アジアでは、強い降雨の出現頻度が増加している。

冬季降水量の変化

- 日本の暖冬・少雪傾向は80年代後半以降、非常に顕著となっており、「温暖化」に伴うシベリア高気圧(冬の寒気団)の弱まりと対応している。



まとめ II:

「地球温暖化」に伴う地球の水循環変化は？

降水量変化の予測

- 熱帯と中緯度・高緯度では増加傾向
- 亜熱帯と内陸の乾燥地域はさらに乾燥傾向
地球規模の水循環は活発化（雨の多いところはさらに多く、少ないところはさらに少なくなる？）
- 強い雨が増加し、弱い雨は減少 観測でもすでに示唆されている
- 日本海側の冬の積雪は大幅に減少する可能性がある
日本の水資源や農業にとって重大な影響を与える可能性あり

地球水循環変化の予測には、現象のさらなる理解と、それにもとづく高精度高解像の気候モデルが必要



人間活動により、これからの地球は
激しく揺れ動く気候に変化する可能性
が大きい！？

間氷期の平穏な気候とは異なる
気候システムになる可能性

地球環境を変えるのも、
どう維持・持続させるかも、すべて
私たち人間の知性と理性に懸かっている

