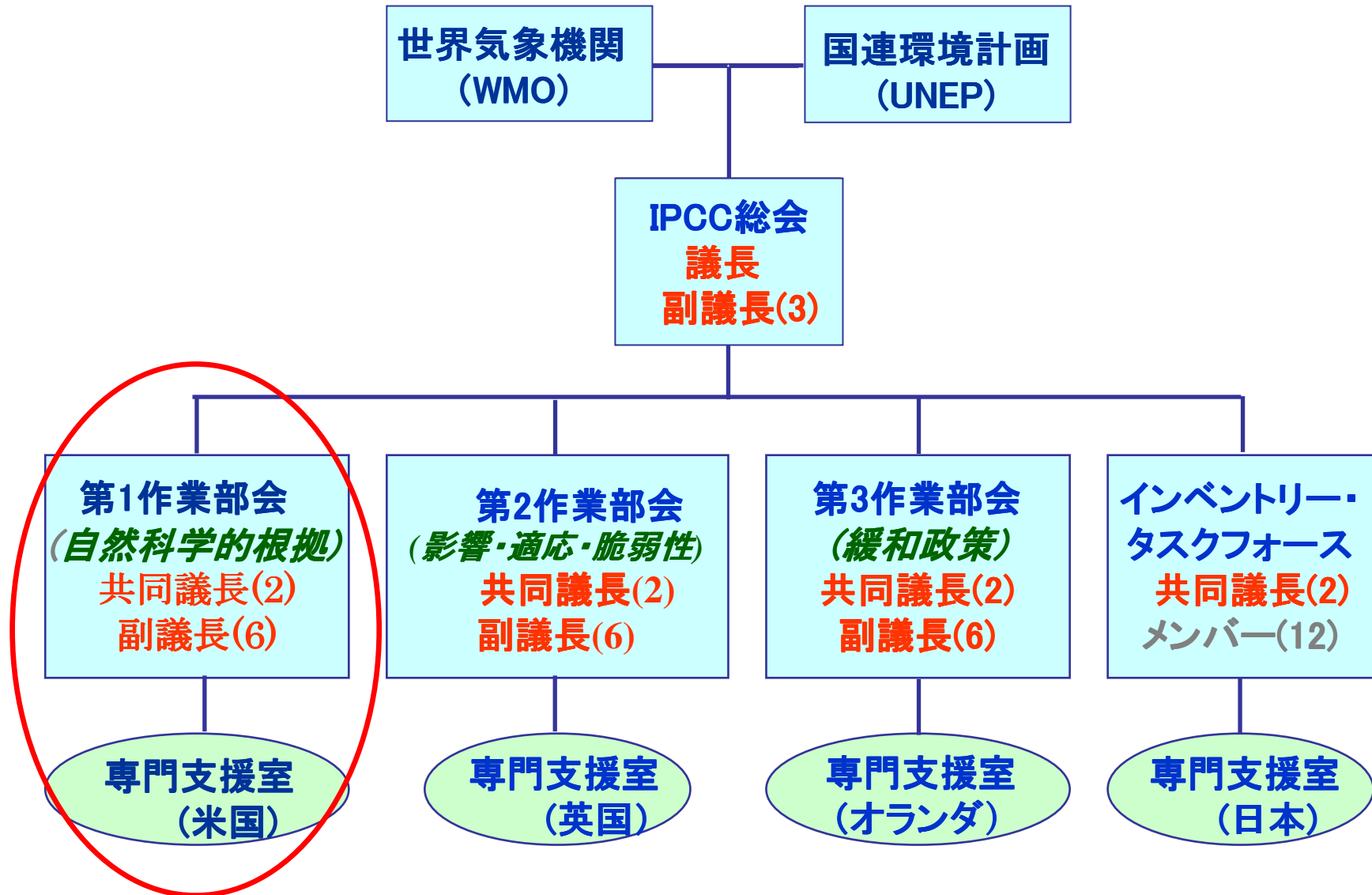


国連大学ZEF第8回総会記念講演会(2007年5月30日)

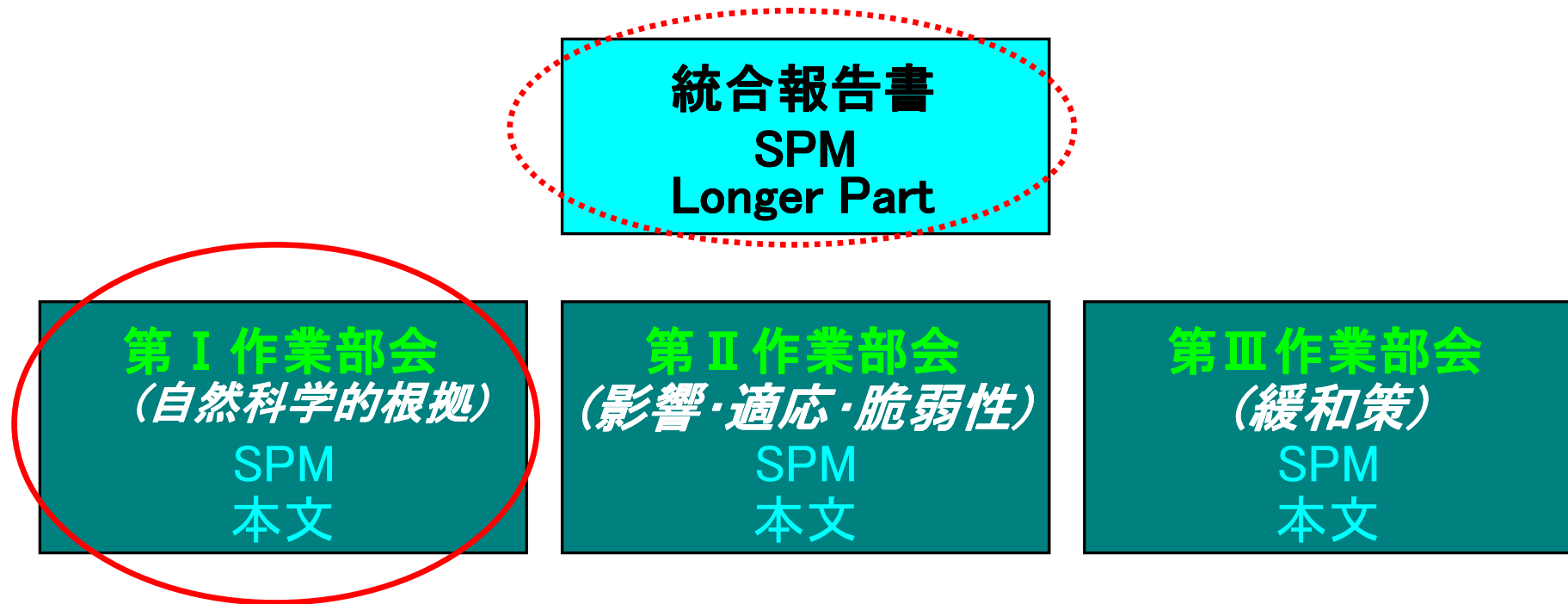
IPCC第4次評価報告書：
第一作業部会（*自然科学的根拠*）

(独法)海洋研究開発機構(JAMSTEC)
地球環境フロンティア研究センター 特任上席研究員
近藤 洋輝

第4次評価報告書(2007)へ向けたIPCC構成図



IPCC第4次評価報告書(AR4)



*SPM: 政策決定者向け要約、Longer Part: 詳細部分

第4次評価報告書 (AR4) に向けたスケジュール

- **第1作業部会:「自然科学的根拠」**
WGI-X会合(パリ、2007年1月29日~2月1日)
- **第2作業部会:「影響・適応・脆弱性」**
WGII-VIII会合(ベルギー・ブリュッセル、2007年4月2日~4月5日)
- **第3作業部会:「緩和策」**
WGIII-IX会合(タイ・バンコク、2007年4月30日~5月3日)
- **統合報告書:**
IPCC-XXVII会合(スペイン・バレンシア、2007年11月12日~16日)

温暖化に関するIPCCメッセージの進展

○1990年: 第1次評価報告書(FAR)

“人為起源の温室効果ガスは気候変化を生じさせる恐れがある”

○1995年: 第2次評価報告書(SAR)

“識別可能な人為的影響が全球の気候に現れている”

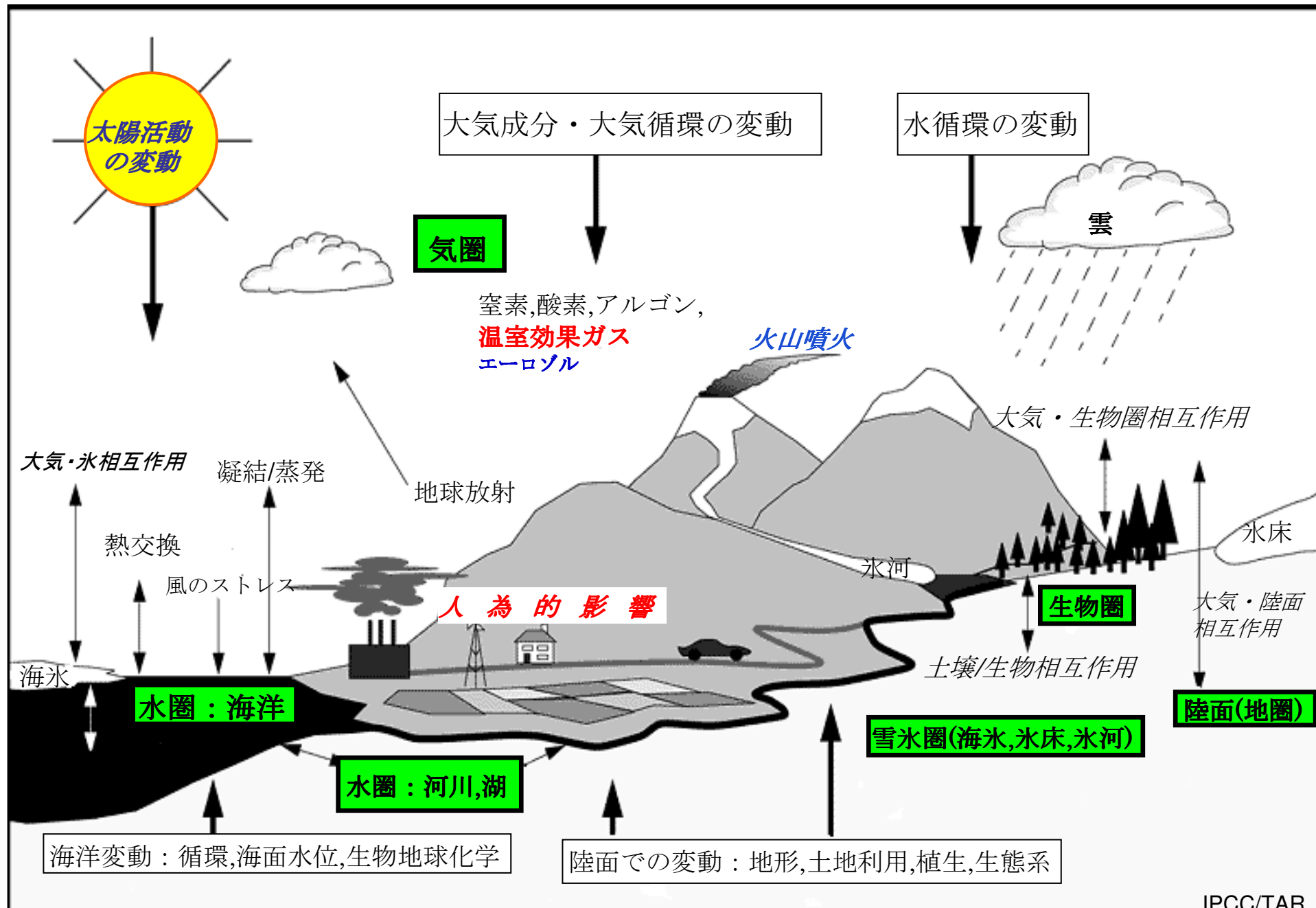
○2001年: 第3次評価報告書(TAR)

“過去50年間に観測された温暖化の大部分は、温室効果ガス濃度の増加によるものであった**可能性が高い**(likely, 66~90%の確からしさ)”

○2007年: 第4次評価報告書(AR4)

“**地球システムの温暖化には疑う余地がない**”

“20世紀半ば以降に観測された世界平均気温の上昇のほとんどは、**人為起源の温室効果ガスの増加が温暖化の原因であった可能性がかなり高い**(very likely, 90~95%の確からしさ)”



気候システムの概念図



太陽

太陽放射(短波放射)

太陽放射は温室効果ガスをほぼ透過する(大気中全体で幾分かは吸収や反射があり、地表での反射もある)

温室効果気体
大気

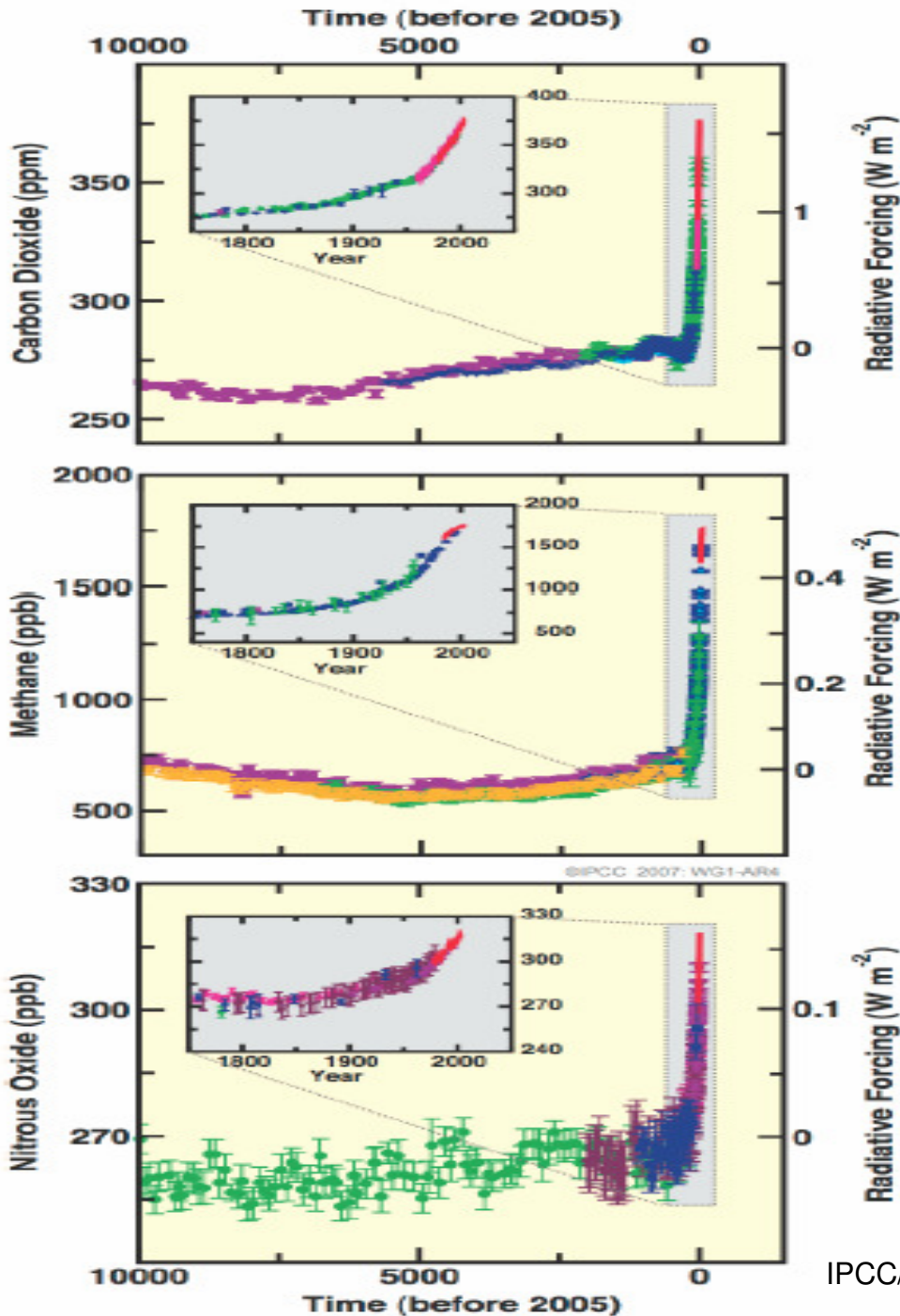
地球

温室効果気体からの放射(赤外放射、長波放射)

地球放射(赤外放射、長波放射)のかなりの部分は温室効果気体により吸収され、暖められた温室効果気体から地表と宇宙空間とへ赤外放射が再放出される

地球放射(赤外放射、長波放射)

温室効果のメカニズム



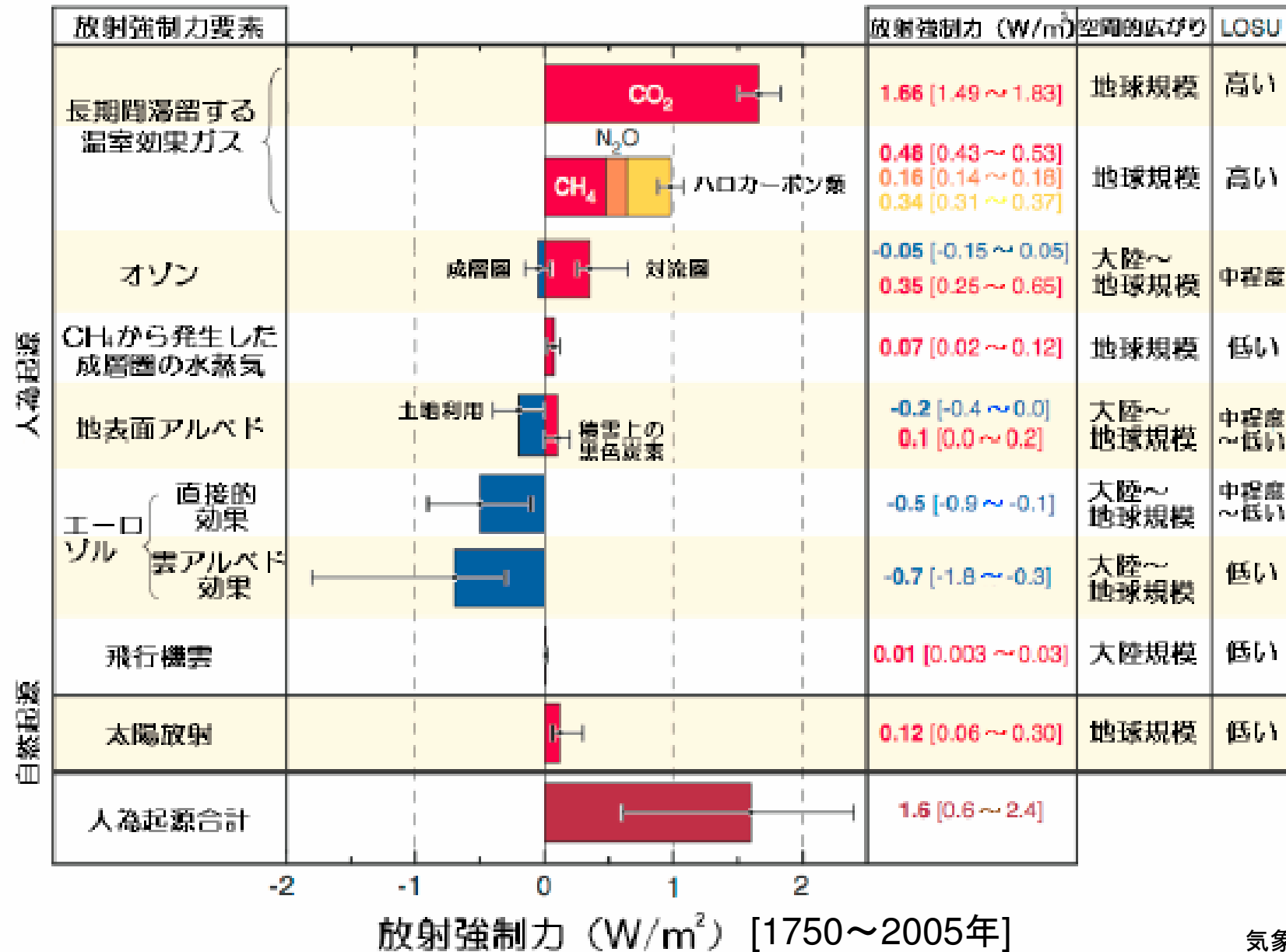
過去1万年にわたり氷床コア及び観測データから解析された温室効果ガス

CO_2
二酸化炭素

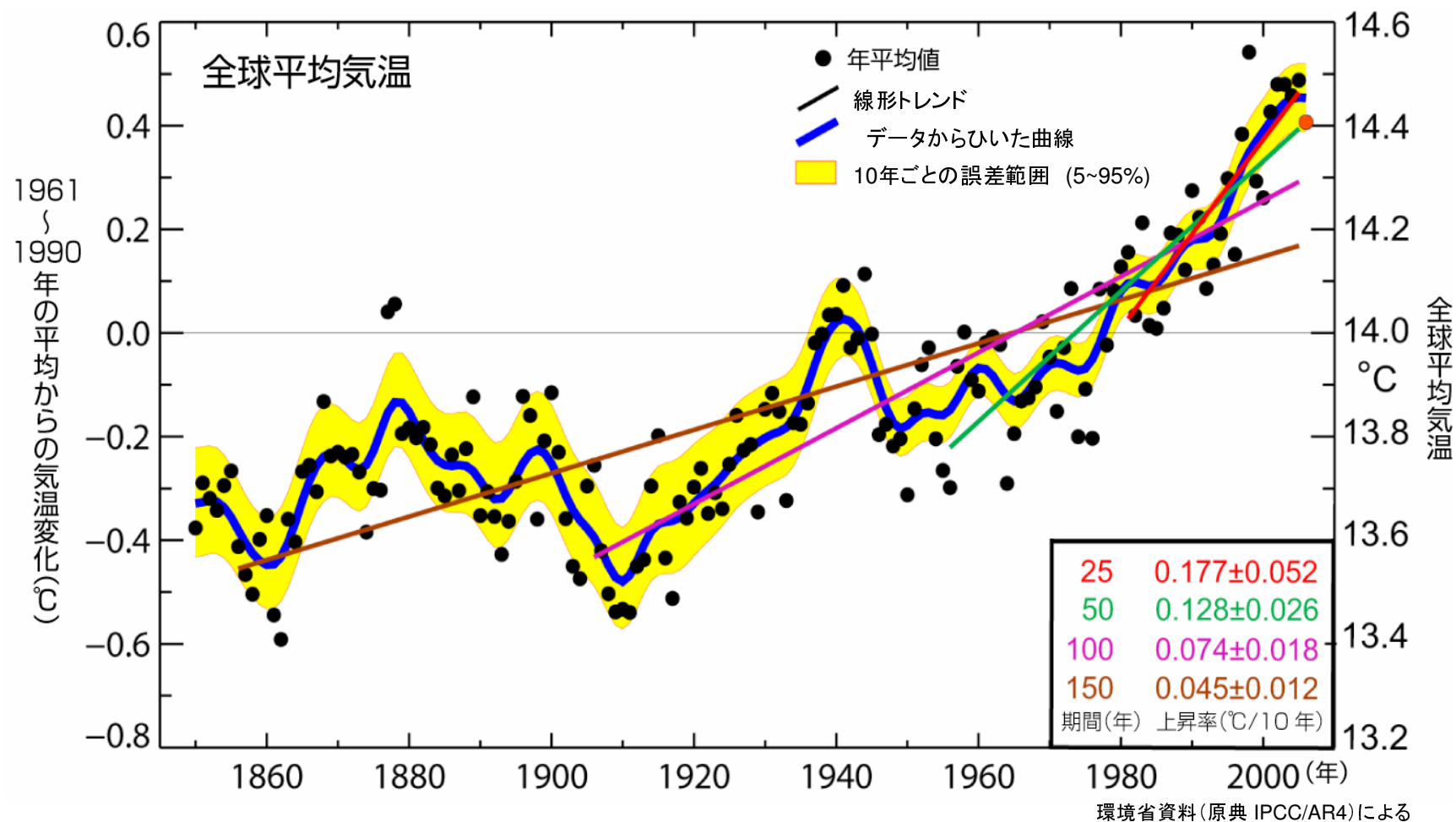
CH_4
メタン

N_2O
一酸化二窒素

放射強制力をもたらす要素

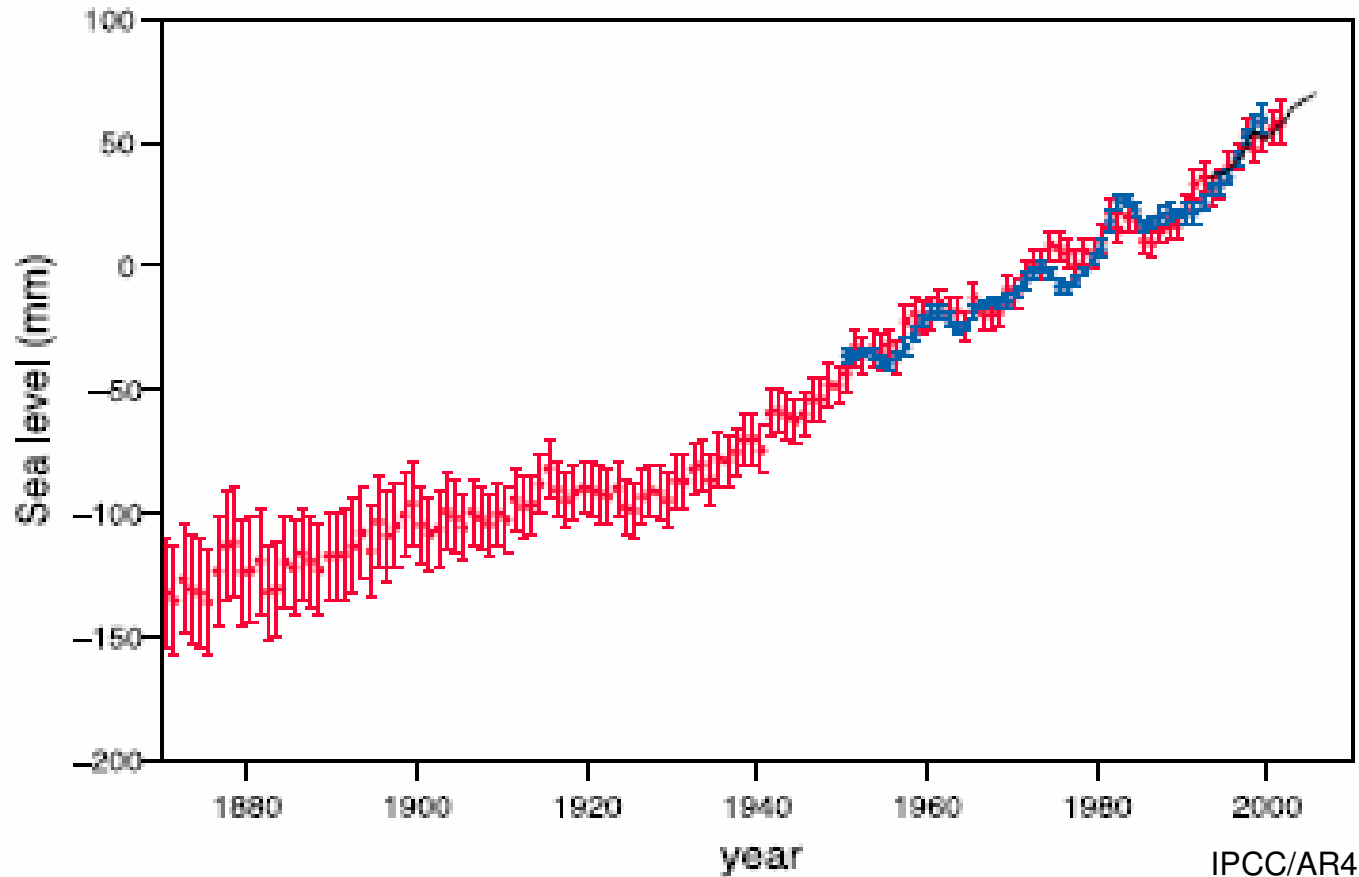


世界平均地上気温の変化 (1961~1990年の平均からの偏差)



- 2006年までの12年間のうち11年間は、1850年から現在までの間で最も暖かった。
- 2005年までの100年:**0.74°C**。2000年までの100年:**0.6°C**(TAR)よりも大きい。
- 最近50年間(1956~2005年)の温度上昇の傾向は、**10年間に0.13°C**。これは、過去100年間(1906~2005年)の傾向の**ほぼ2倍**に相当。

世界平均海面水位の変化(観測)



- 20世紀中で**0.17m上昇** (年平均 **1.7mm上昇**)
- **1961~2003年**: 年平均 **1.8mm上昇**。
- **1993~2003年**: 年平均 **3.1mm上昇**→10年規模変動か、長期傾向かは不明。

しかし、グリーンランドと南極の氷床の氷の消失が寄与した**可能性はかなり高い**。

観測された海面水位の上昇率と様々な要因による寄与の見積もり

海面水位上昇の要因	海面水位の上昇率(mm/年)	
	1961~2003	1993~2003
熱膨張	0.42±0.12	1.6±0.5
氷河と氷帽	0.50±0.18	0.77±0.22
グリーンランド氷床	0.05±0.12	0.21±0.07
南極氷床	0.14±0.41	0.21±0.35
海面水位上昇に寄与する個別要因の合計	1.1±0.5	2.8±0.7
観測された海面水位上昇	1.8±0.5 ^a	3.1±0.7 ^a
差異(観測値から気候の寄与の見積もりの総計を差し引いたもの)	0.7±0.7	0.3±1.0

表の注釈：^a 1993年以前のデータは潮位計の、1993年以降は衛星高度計の観測による

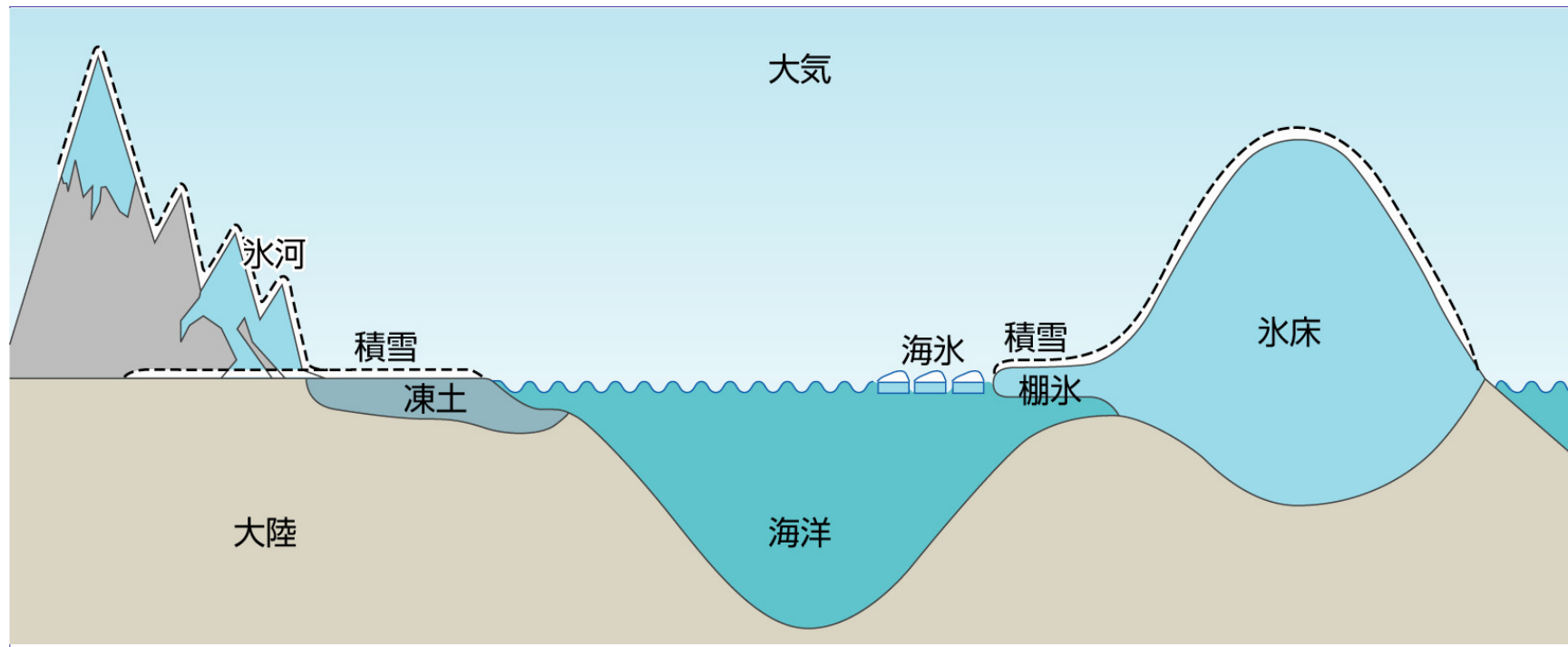
気象庁資料(原典AR4)

北極の気温と海氷〈観測〉

- 潜水艦による観測データによると、1987～1997年にかけて、北極中央部の海氷の厚さは、最大1m減少した**可能性がかなり高い**。

出典：AR4 第4章

極地の氷関連模式図

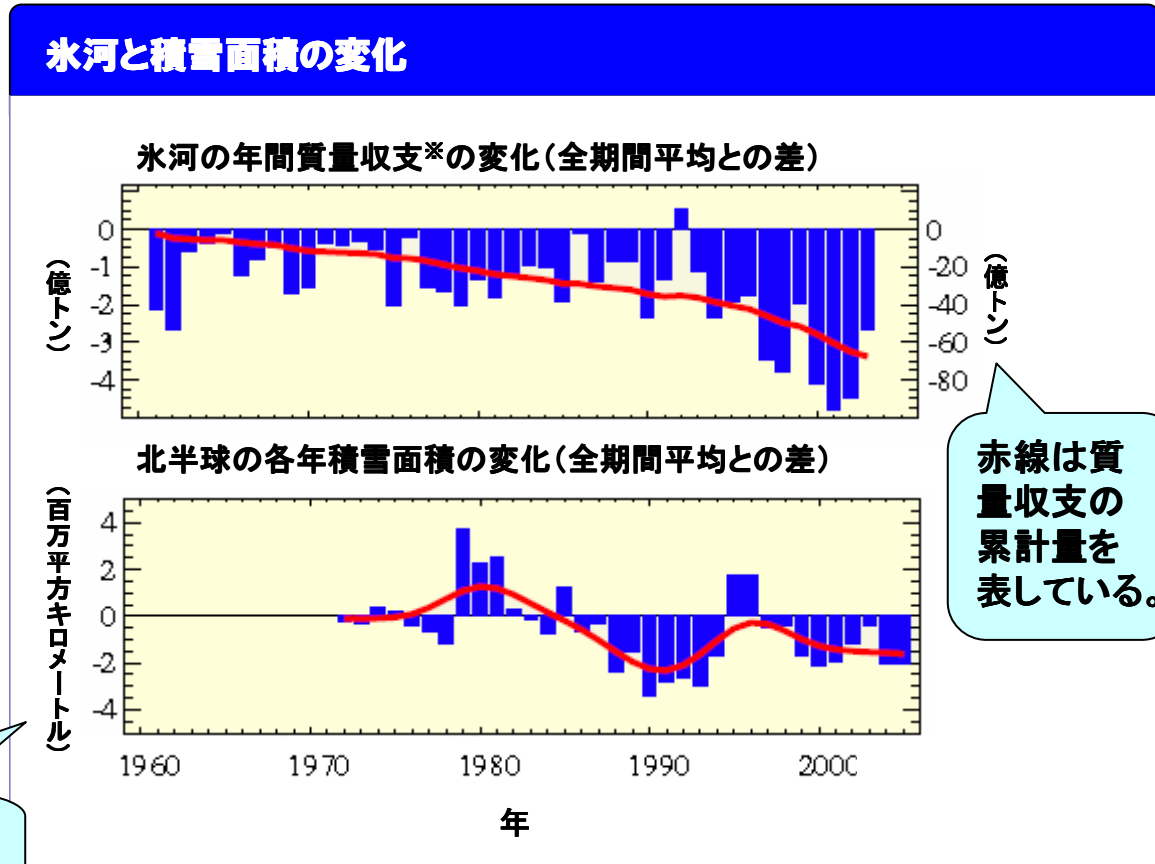


環境省資料 原出典：AR4 第4章 図4.1より作成

山岳氷河と積雪〈観測〉

- 山岳氷河と積雪は北半球と南半球の両方で減少している。

出典：AR4 SPM



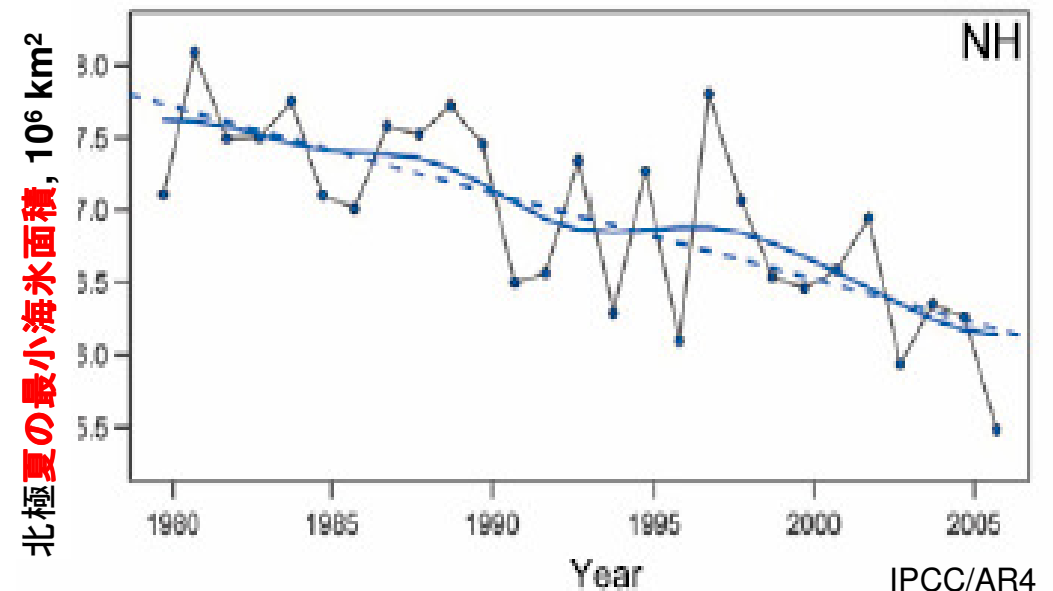
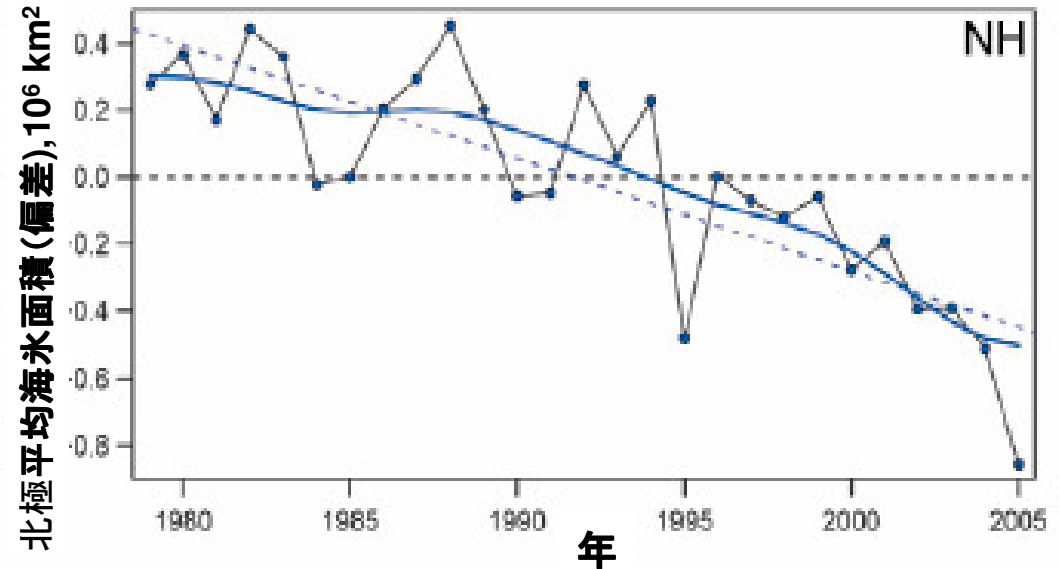
氷河、積雪面積共に減少傾向が見られる。

環境省資料 原出典：AR4 第4章 FAQ4.1 図1

※ある期間の氷河の増加量と減少量の差し引きのこと。

北極の気温と海氷〈観測〉

- この100年間で、北極の気温は、世界全体の平均気温の**ほぼ2倍**の速さで上昇している。
 - 1978年以降の衛星データによると、**北極の平均海氷面積**は、10年間あたり**2.7%**の減少。
 - 特に**夏季**においては、**10年間あたり7.4%**と、より大きな減少傾向にある。
- (一方 南極の海氷面積には有意な平均的傾向は見られない。)

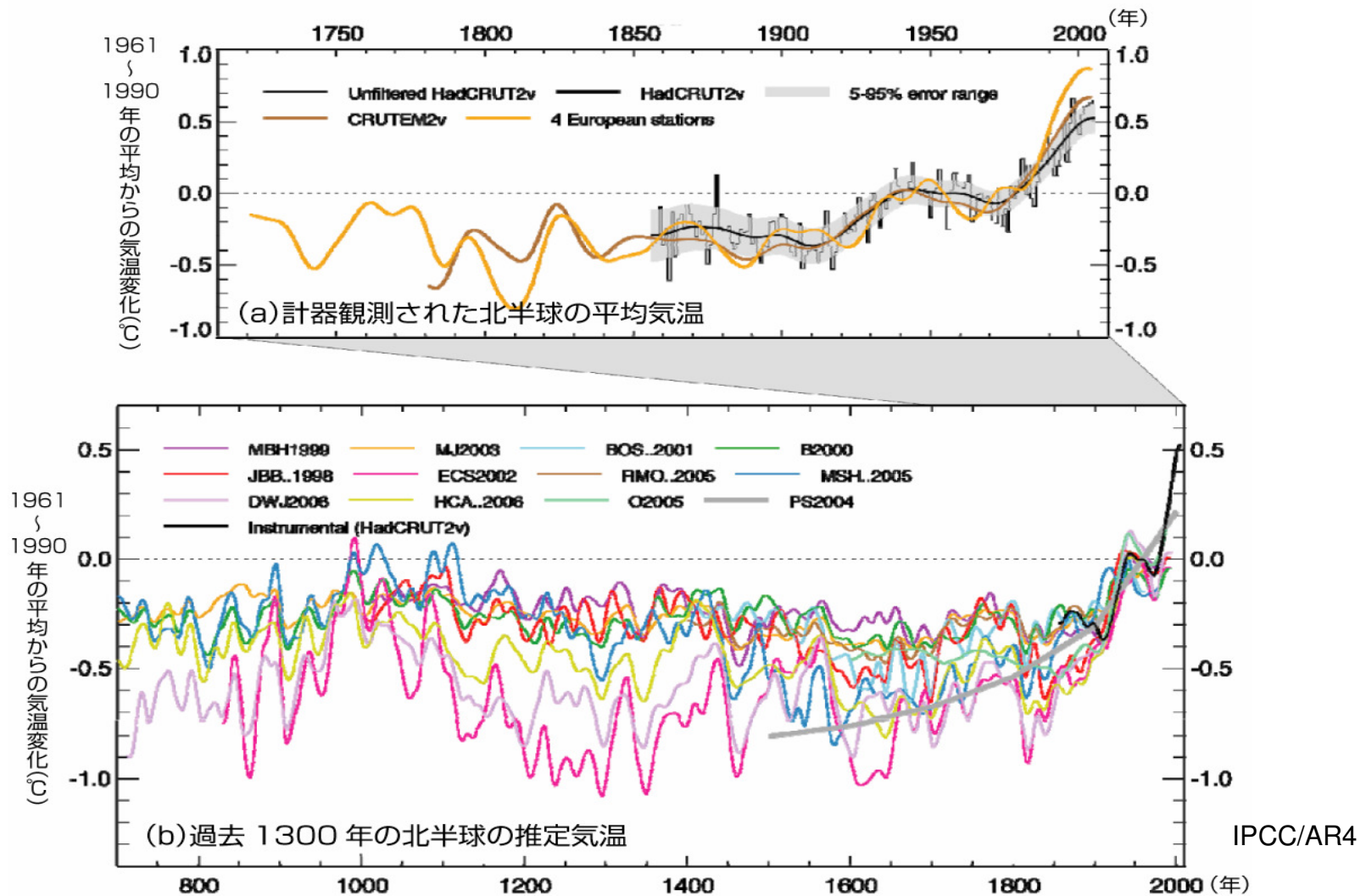


極端な気象現象の最近の傾向、予測等

現象 ^a 及び傾向	20世紀後半(主に1960年以降)に起こった可能性	観測された傾向に対する人間活動の寄与の可能性 ^b	SRESシナリオを用いた21世紀の予測に基づく傾向の継続の可能性
ほとんどの陸域で寒い日や夜の減少と昇温	可能性がかなり高い ^c	可能性が高い ^d	ほぼ確実 ^d
ほとんどの陸域で暑い日や夜の頻度の増加と昇温	可能性がかなり高い ^e	可能性が高い(夜) ^d	ほぼ確実 ^d
ほとんどの陸域で継続的な高温/熱波の頻度の増加	可能性が高い	どちらかといえば ^f	可能性がかなり高い
ほとんどの地域で大雨の頻度(もしくは総降水量に占める大雨による降水量の割合)の増加	可能性が高い	どちらかといえば ^f	可能性がかなり高い
干ばつの影響を受ける地域の増加	多くの地域で1970年代以降可能性が高い	どちらかといえば	可能性が高い
強い熱帯低気圧の活動度の増加	いくつかの地域で1970年代以降可能性が高い	どちらかといえば ^f	可能性が高い
極端な高潮位の発生の増加(津波を含まない) ^g	可能性が高い	どちらかといえば ^{f, h}	可能性が高い ⁱ

表の注釈 (a): 定義については、表3.7を参照。(【訳注】別紙2参照)。(b): 表TS-4、囲みTS-3.4及び表9.4を参照。(c): 寒い日や夜(最も寒い上位10%)の頻度の減少。(d): 各年の最高気温を記録した日/夜の昇温。(e): 暑い日/夜(最も暑い上位10%)の頻度の増加。(f): 人間活動の寄与の大きさは評価されていない。これらの現象に対する原因特定は、正式な研究よりは専門家の判断によるものである。(g): 極端な高潮位の発生は、平均海面水位及び地域的な気象システムに依存する。ここで極端な高潮位は、ある観測所において一定の期間に観測された一時間ごとの海面水位のうち、最も高い1%と定義する。(h): 観測された極端な高潮位の変化は、平均海面水位の変化によく従っている{5.5、2.6}。人間活動が平均海面水位上昇に寄与している可能性はかなり高い。(i): 全てのシナリオにおいて、2100年における世界の平均海面水位予測値は基準期間の値より高い{10.6}。地域的な気象システムの変化が極端な高潮位に及ぼす効果は評価されていない。

過去1300年の北半球の気温の変化



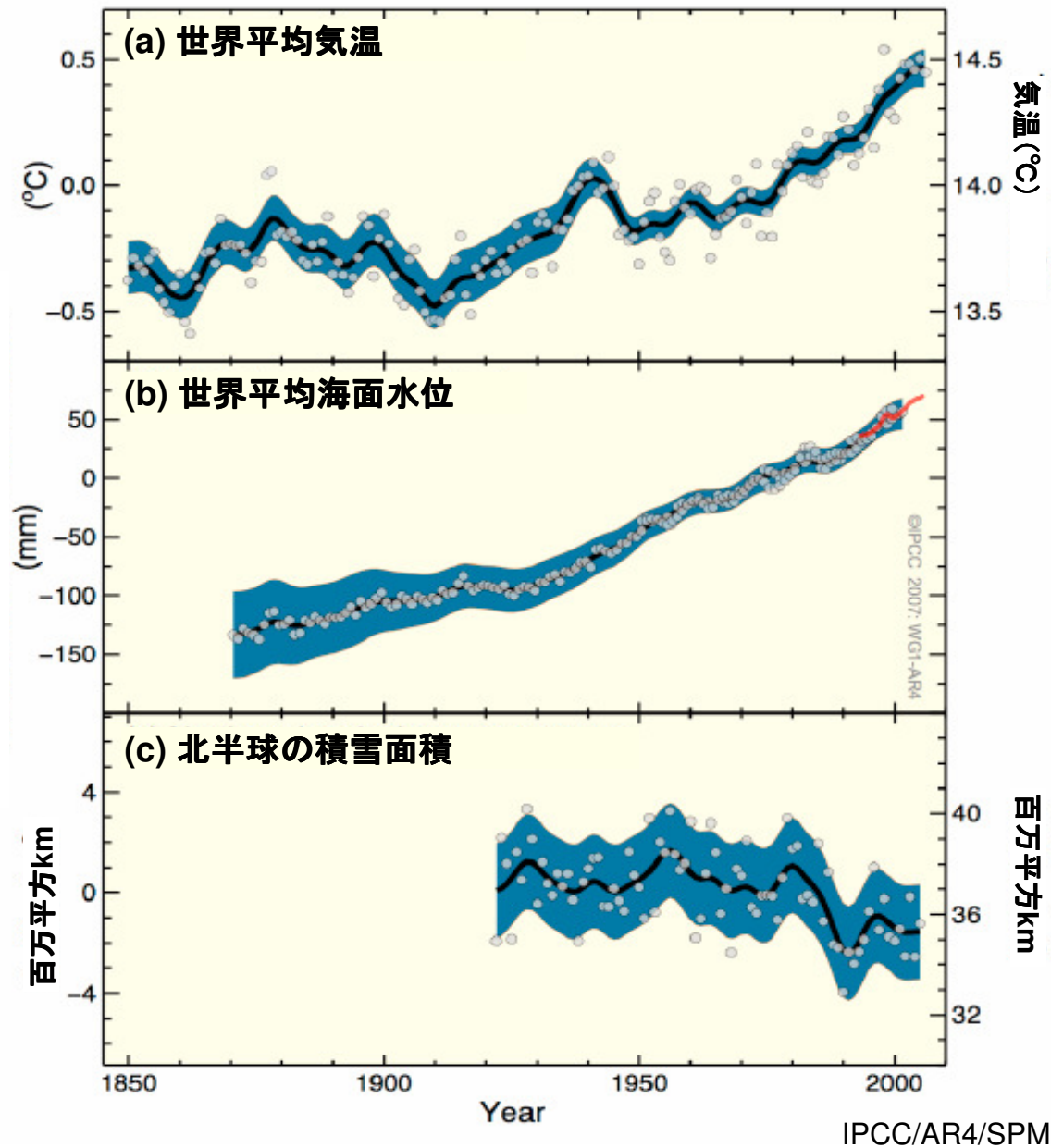
- 20世紀後半の北半球の平均気温は、過去500年における50年間よりも暖かかった可能性がかなり高く、少なくとも過去1300年の中で最も暖かかった可能性が高い。

世界平均地上気温、世界平均海面水位、北半球の積雪面積

◆気候システムの温暖化には疑う余地がない。

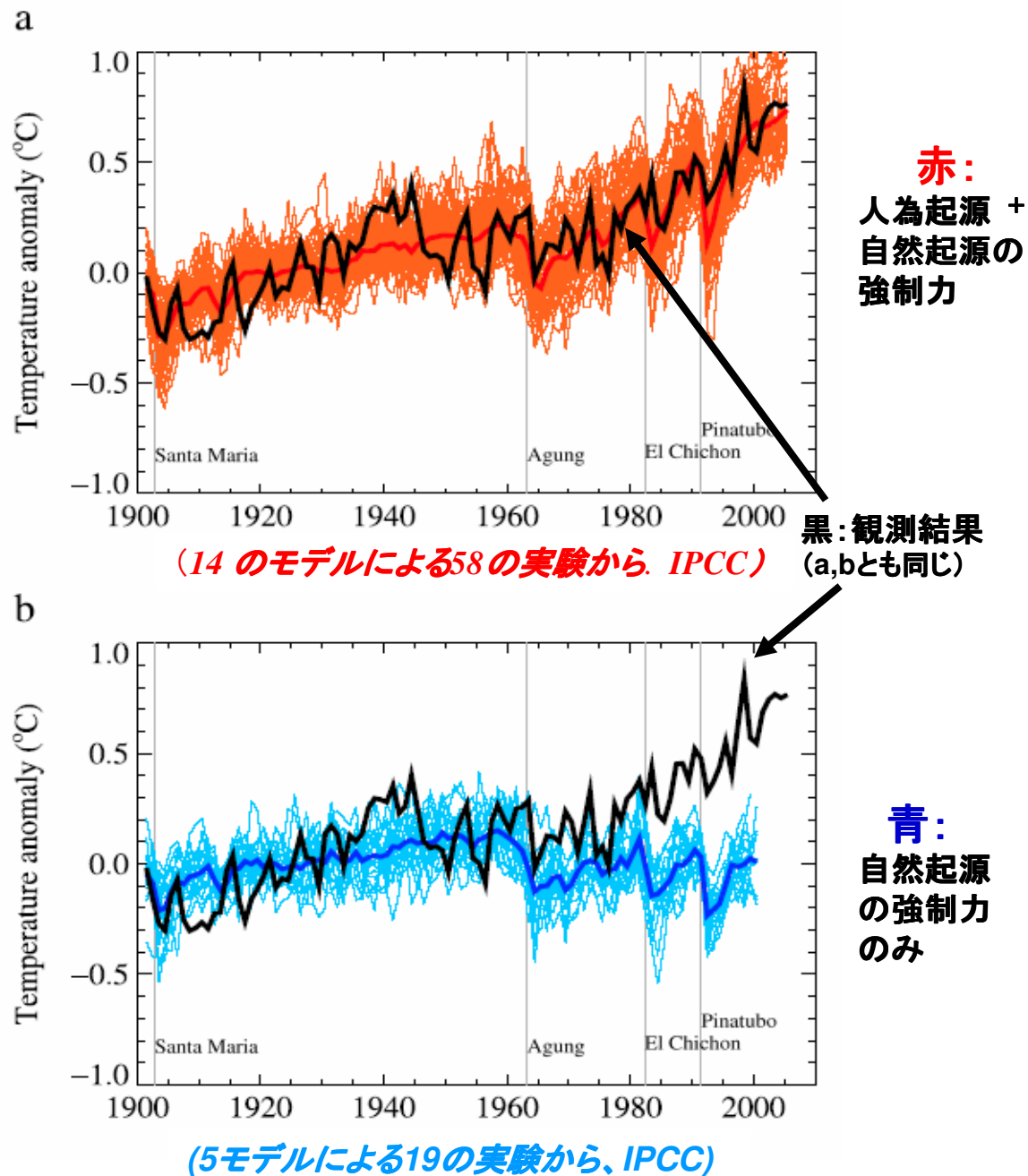
◆このことは、大気や海洋の世界平均温度の上昇、雪氷の広範囲にわたる融解、世界平均海面水位の上昇が観測されていることから、今や明白である。

1961～1990年平均との差



原因特定

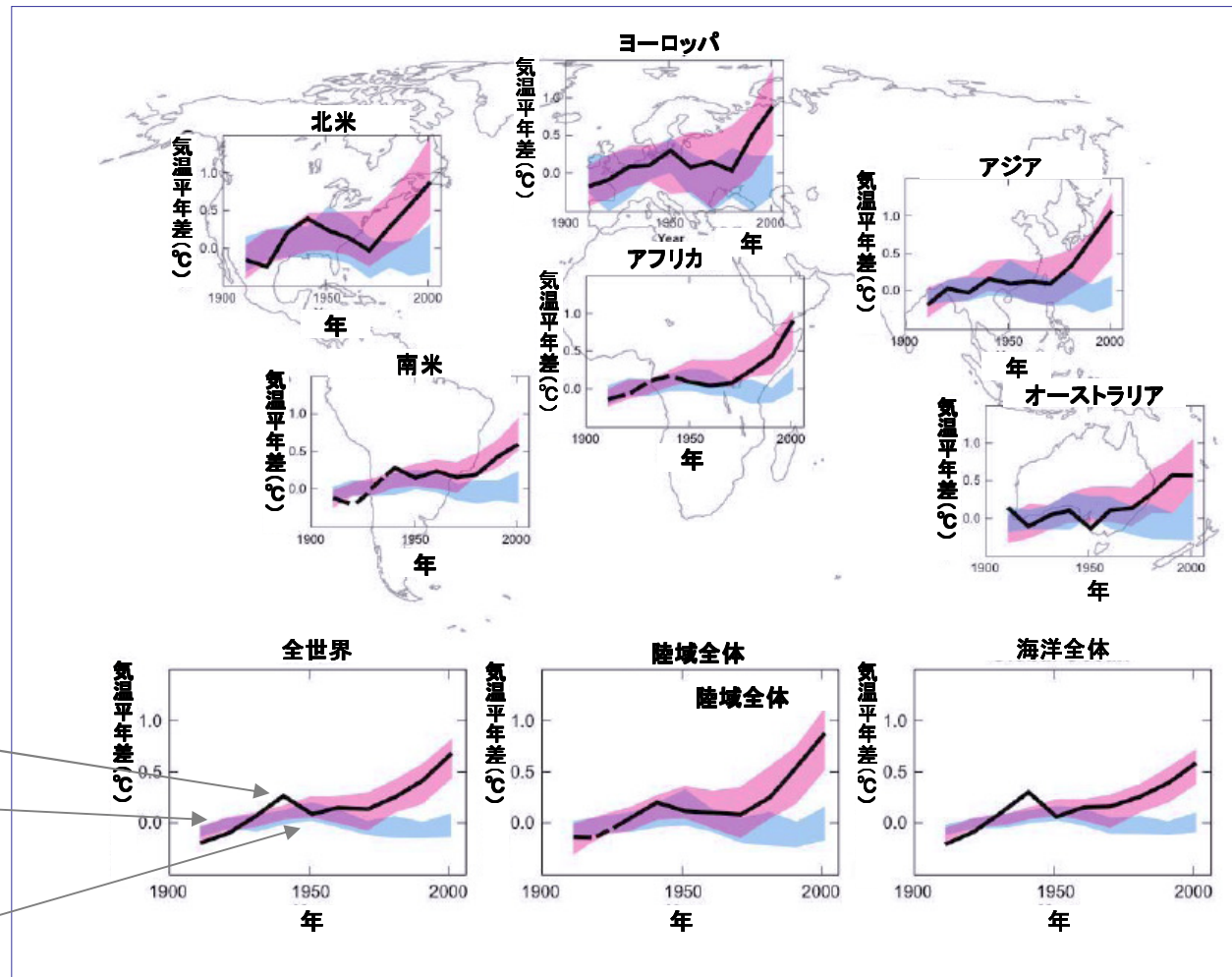
20世紀半ば以降に観測された世界平均気温の上昇は、人為起源の温室効果ガスの増加による**可能性がかなり高い**(*very likely*)



人間活動の影響

1906～2005年の世界規模及び大陸規模の10年平均地上気温の変化
(1901～1950年の平均値が基準)とモデルシミュレーションの比較

- 過去50年にわたって、南極大陸を除く各大陸において、平均すると、人為起源の顕著な温暖化が起こった可能性が高い。



黒: 観測結果
(破線は観測面積が全体の50%未満)

赤帯: 自然と人為の強制力*
によるシミュレーション
14モデルによる58の実験

青帯: 自然の強制力のみ
によるシミュレーション
5モデルによる19の実験

水蒸気のフィードバック

- **温暖化**により気温が上昇すると、大気中の水蒸気量が増加し、温室効果を**増幅させる**と考えられている。
→ **正のフィードバック**
- **雲によるフィードバック機構**はいまだに不確実性の最大要素である。

予測モデルの向上

- TARと比較して、気候変動予測モデルは進歩している。

主な改善点

- ①多くのモデルシミュレーションが入手可能となった。
- ②観測結果より得られた追加的な知見をモデルに取り入れた。

その他の改善点

- ・主要な変動パターンや極端な高温・低温を含む、モデルによる現在の気候の再現性向上
- ・モデルの解像度向上、計算方法や各種プロセスのモデル化の改良、及び更なるプロセスの追加
- ・観測結果を初期条件とした短期間～長期間のテスト予測など、モデルの包括的な解析テストの実施
- ・国際的な協調の促進による、モデルの精査の強化及び動作テストの普及

不確実性の主な課題

- ・雲によるフィードバック機構はいまだに不確実性の最大要素である。
- ・各モデルによって、フィードバックの気候システムに与える影響度が大きく異なる
- ・海洋による熱吸収において重要な南極海でモデルの誤差が大きい
- ・計算機能力の不足により、解像度やモデルの複雑さなどが制限されている
- ・モデルの信頼性の指標となるモデル性能の評価軸が未確立である

SRES* 排出シナリオ

* 排出シナリオに関するIPCC特別報告書(2000)

A1: 「高成長型社会シナリオ」

A1FI: 化石エネルギー源を重視

A1B: 各エネルギー源のバランスを重視

A1T: 非化石エネルギー源を重視
(新エネルギーの大幅な技術革新)

A2: 「多元化社会シナリオ」

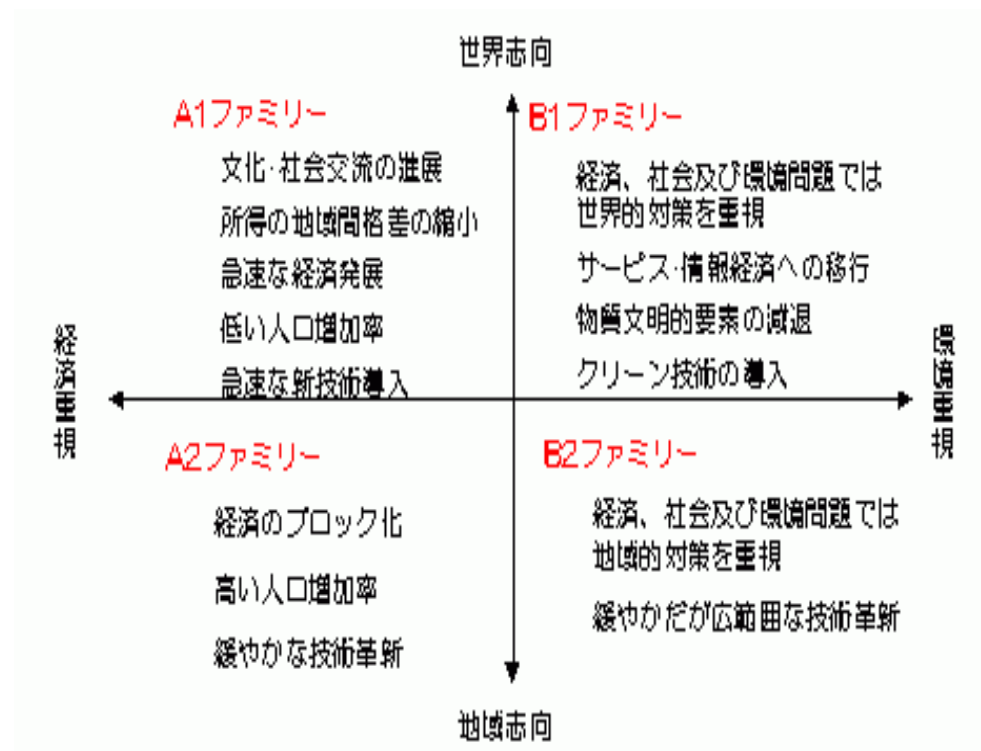
地域独自性、世界人口増加、経済成長・技術変化はばらつき、緩やかな技術革新など

B1: 「持続的発展型社会シナリオ」

経済、社会及び環境問題で世界的対策重視、クリーン技術の導入など

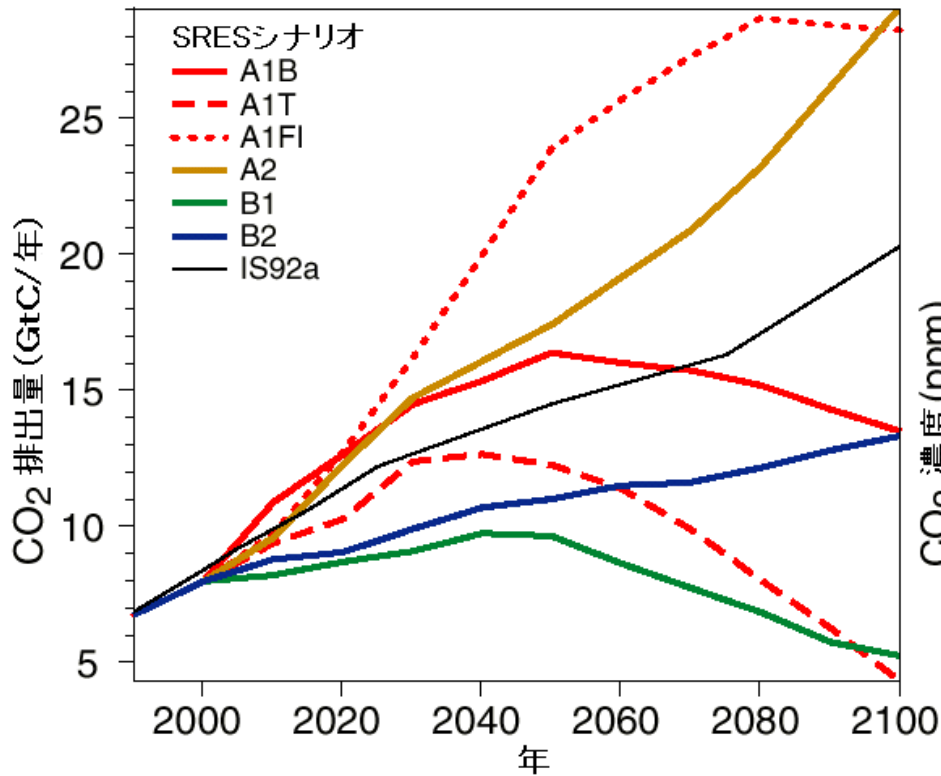
B2: 「地域共存型社会シナリオ」

経済、社会及び環境問題では地域的対策重視、穏やかだが広範囲な技術革新

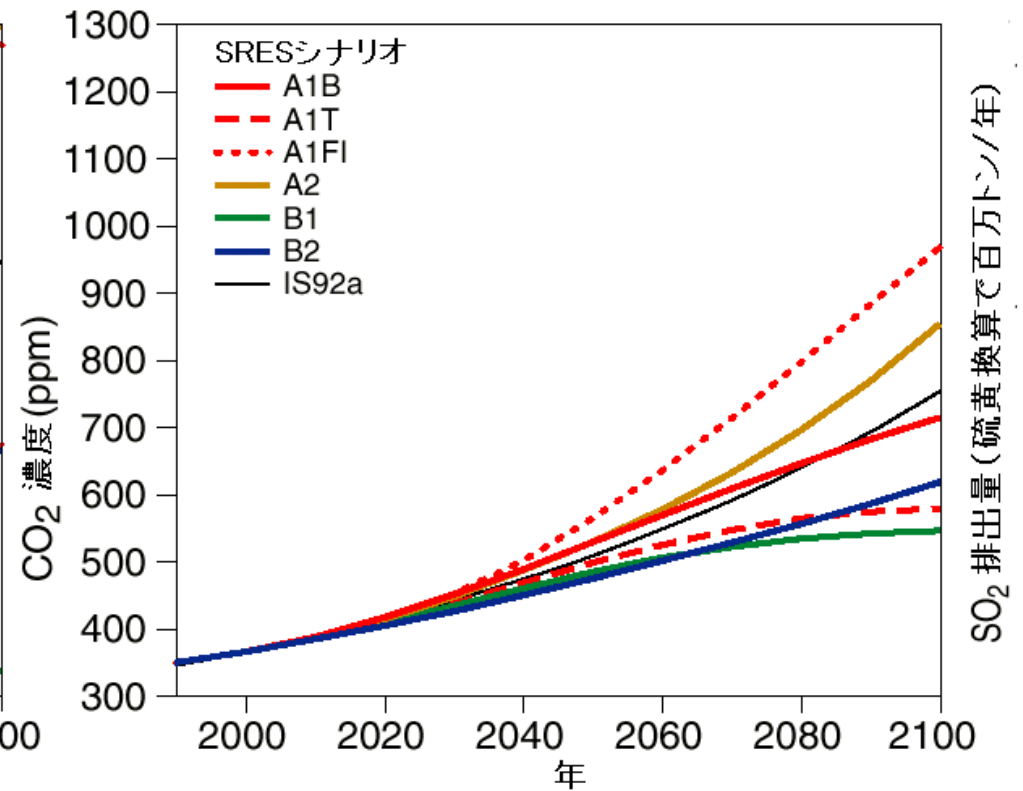


排出シナリオに基づいた、二酸化炭素の変化予測

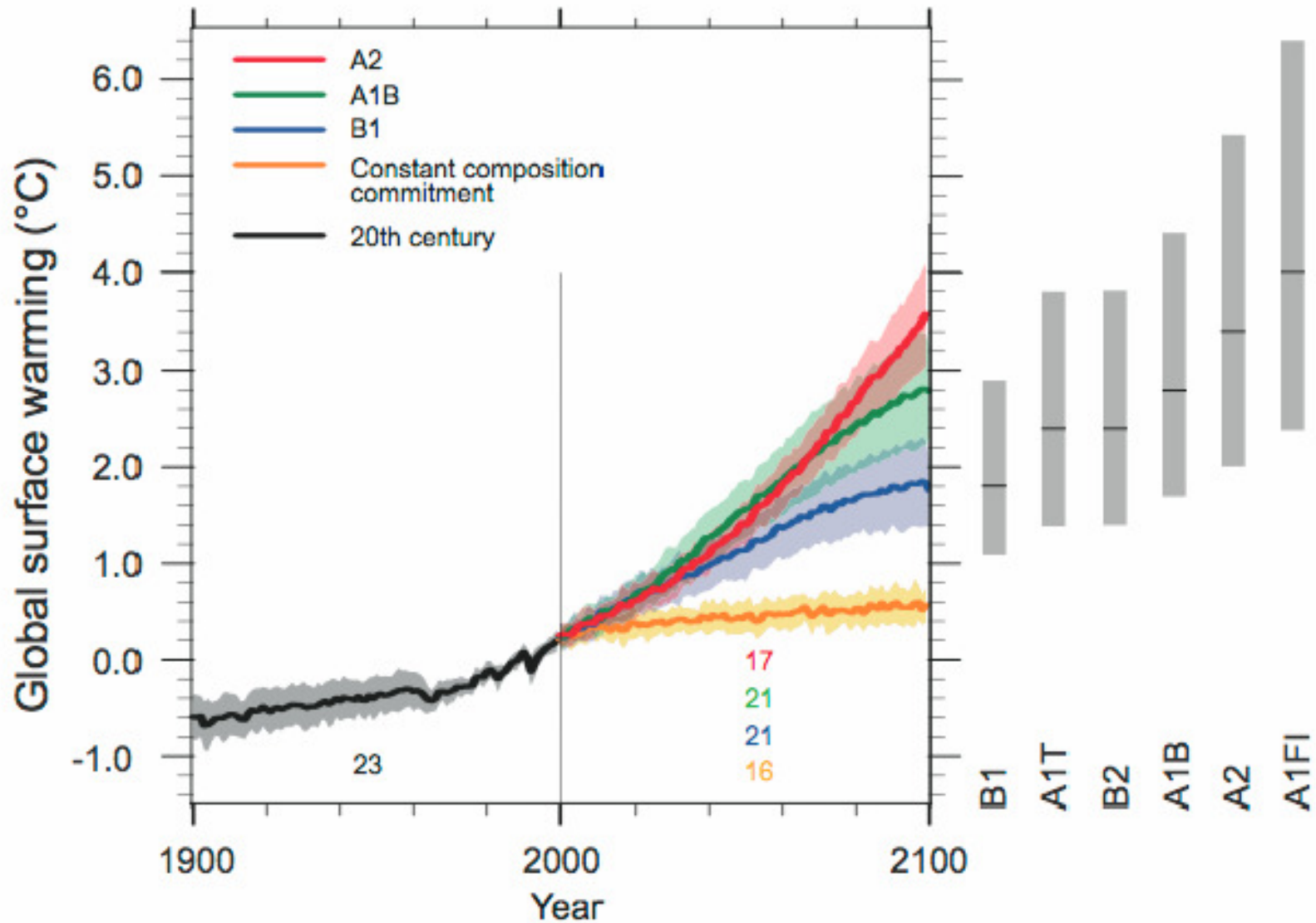
(a) CO₂ 排出量



(b) CO₂ 濃度

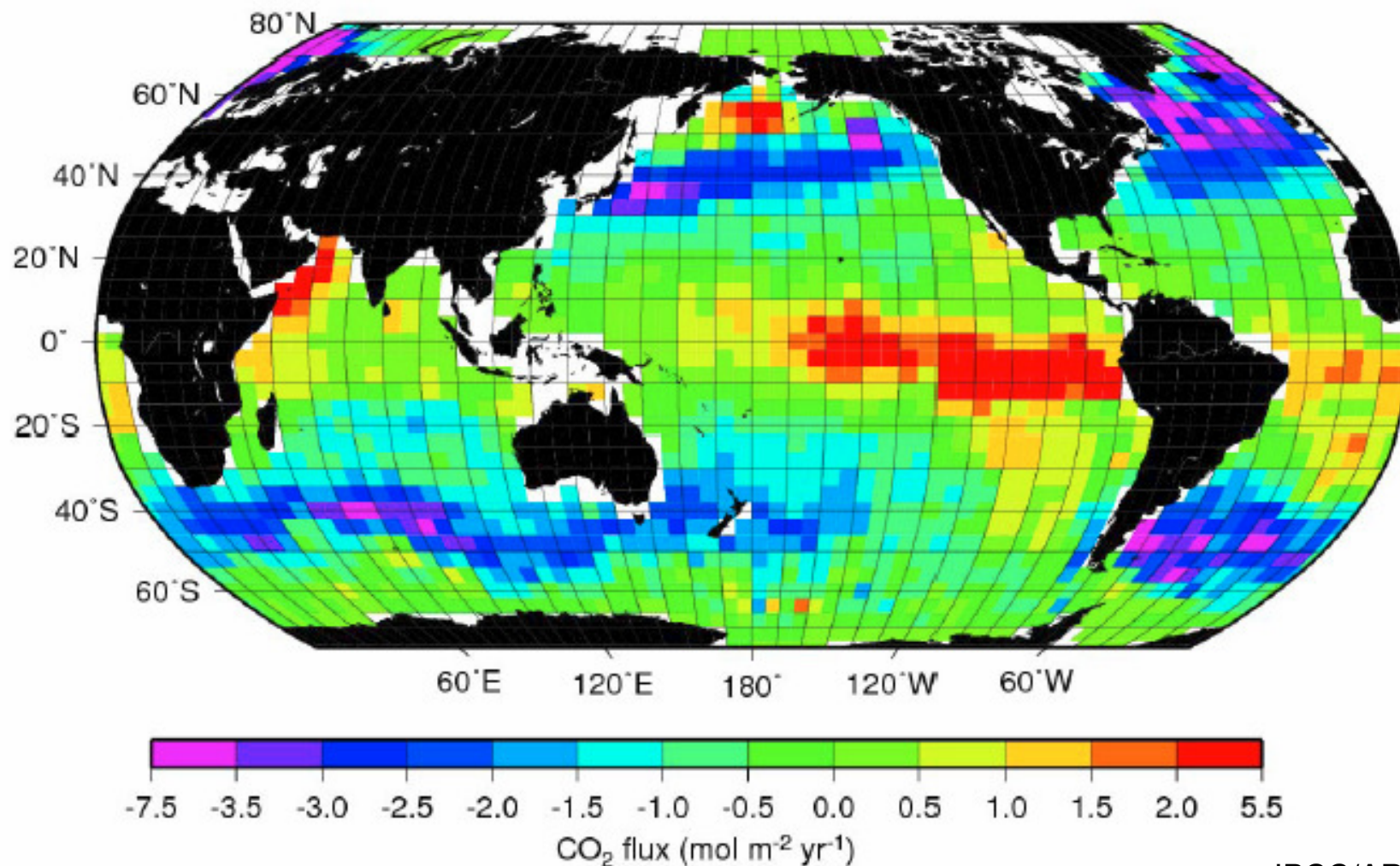


世界平均地上気温変化(再現と予測)



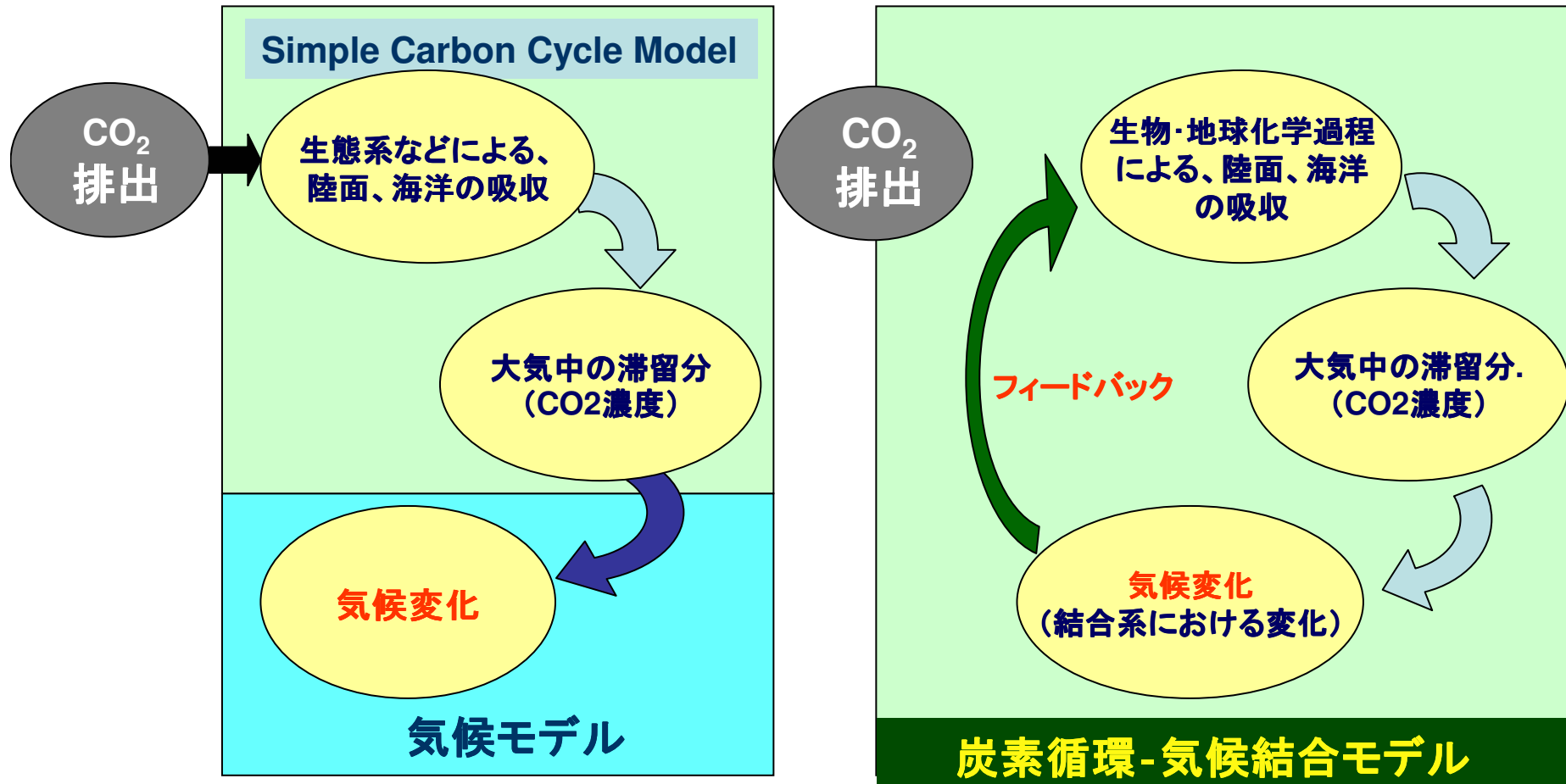
SRESシナリオの範囲では、今後20年間に、10年あたり約0.2°Cの割合で気温が上昇することが予測される。

二酸化炭素の海洋におけるフラックス(放出・吸収) (観測から1995年基準で算定された分布)



炭素循環フィードバック(モデル)

A2シナリオでは、このフィードバックにより、2100年には、
さらに世界平均気温が1°C上昇する。



様々なモデルケースに対する、21 世紀末における 世界平均地上気温の昇温予測及び海面水位上昇予測

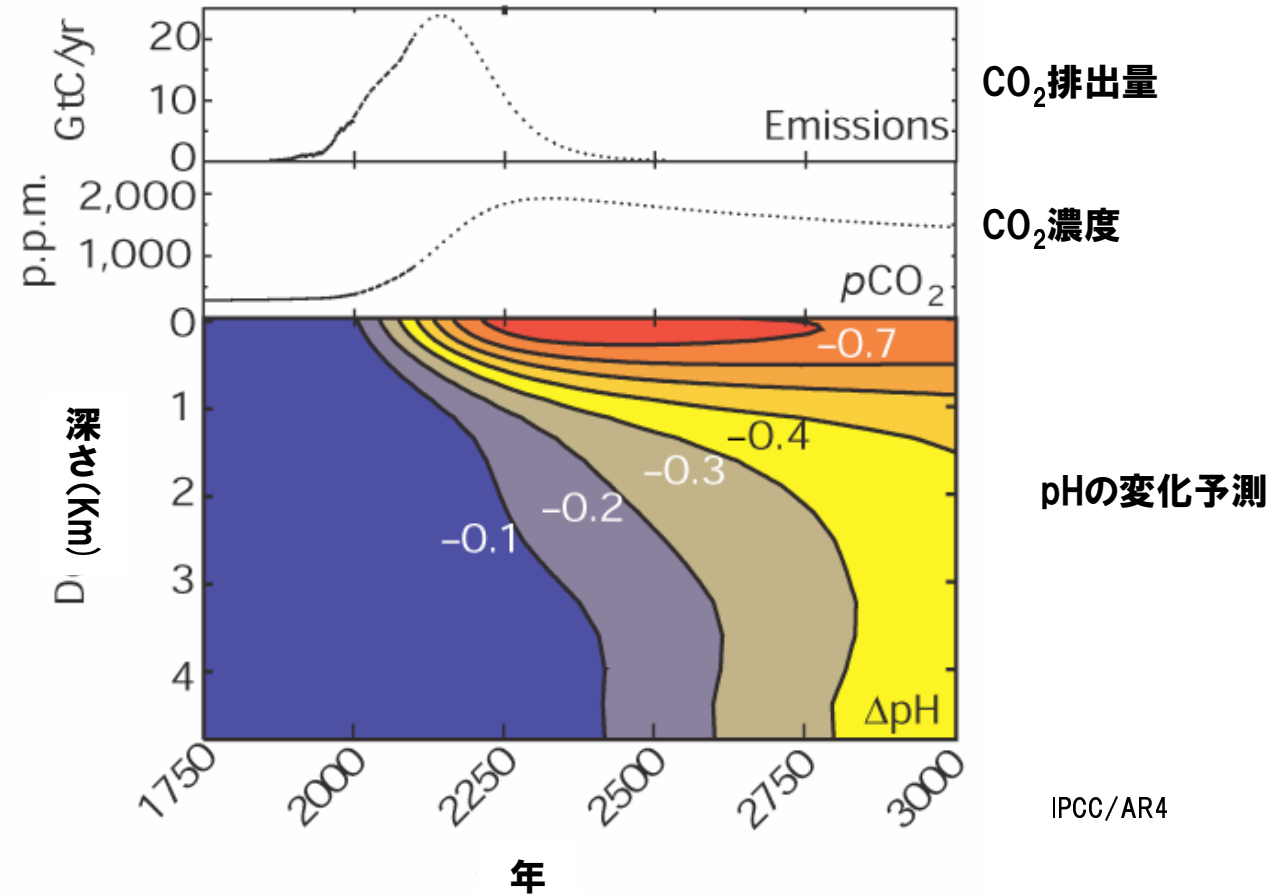
シナリオ	気温変化 (1980-1999 を基準とした 2090-2099 の差 (°C)) ^a		海面水位上昇 (1980-1999 と 2090-2099 の差 (m))
	最良の見積り	可能性が高い 予測幅	モデルによる予測幅 (急速な氷の流れの力学 的な変化を除く)
2000年の濃度 で一定 ^b	0.6	0.3-0.9	資料なし
B1シナリオ	1.8	1.1-2.9	0.18-0.38
A1Tシナリオ	2.4	1.4-3.8	0.20-0.45
B2シナリオ	2.4	1.4-3.8	0.20-0.43
A1Bシナリオ	2.8	1.7-4.4	0.21-0.48
A2シナリオ	3.4	2.0-5.4	0.23-0.51
A1FIシナリオ	4.0	2.4-6.4	0.26-0.59

注釈：

a：これらの推定は、簡易気候モデル、いくつかの EMIC（中程度に複雑な気候モデル）、多数の AOGCM（大気海洋結合モデル）によって評価される。

b：AOGCM のみによる推定

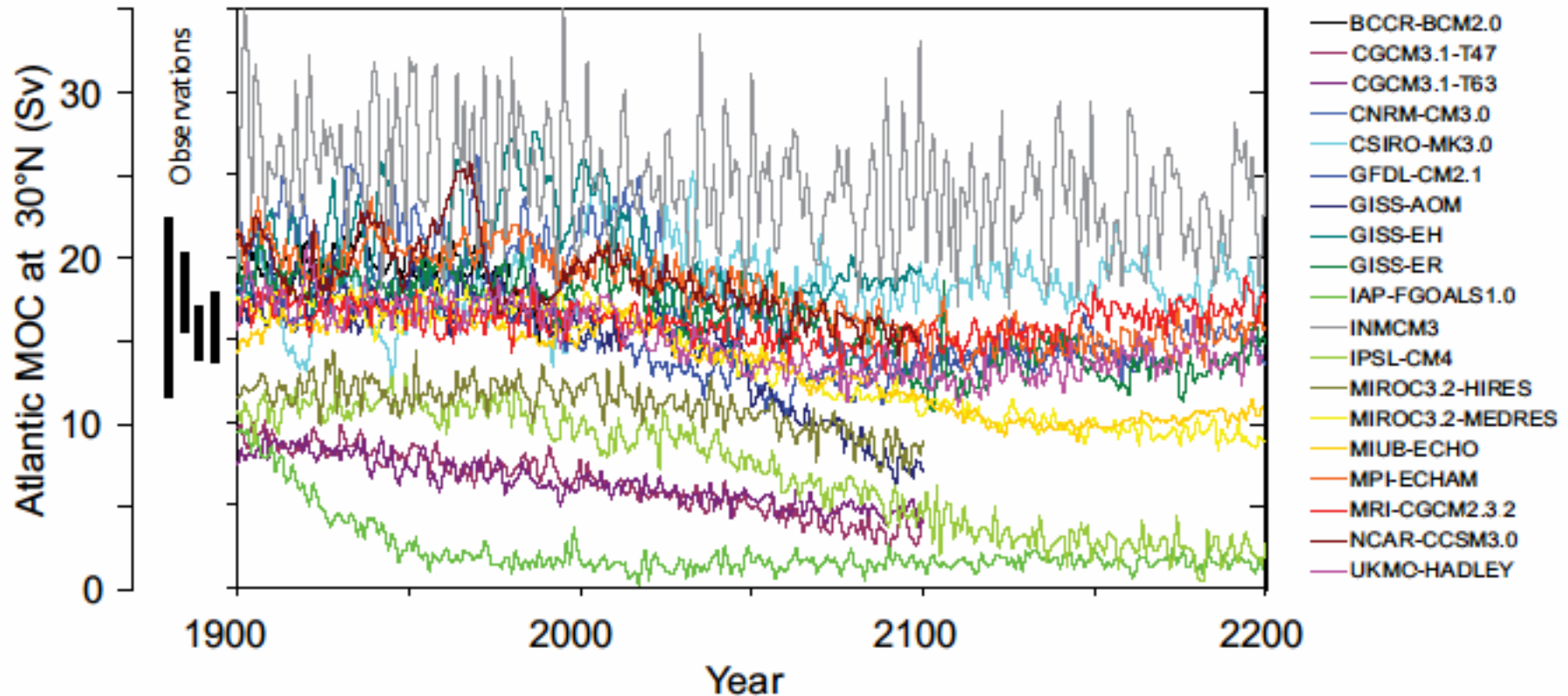
海洋の酸性化



- 大気中の二酸化炭素の増加は海洋の酸性化を引き起こす。
- 産業革命以来、海洋のpHは既に**約0.1低下**した。
- 21世紀末までに、世界平均の海洋表層pHは、さらに**0.14から0.35低下**すると予測される。

深層循環

(熱塩循環ともいう。海水の密度の違いにより生じる海洋循環)

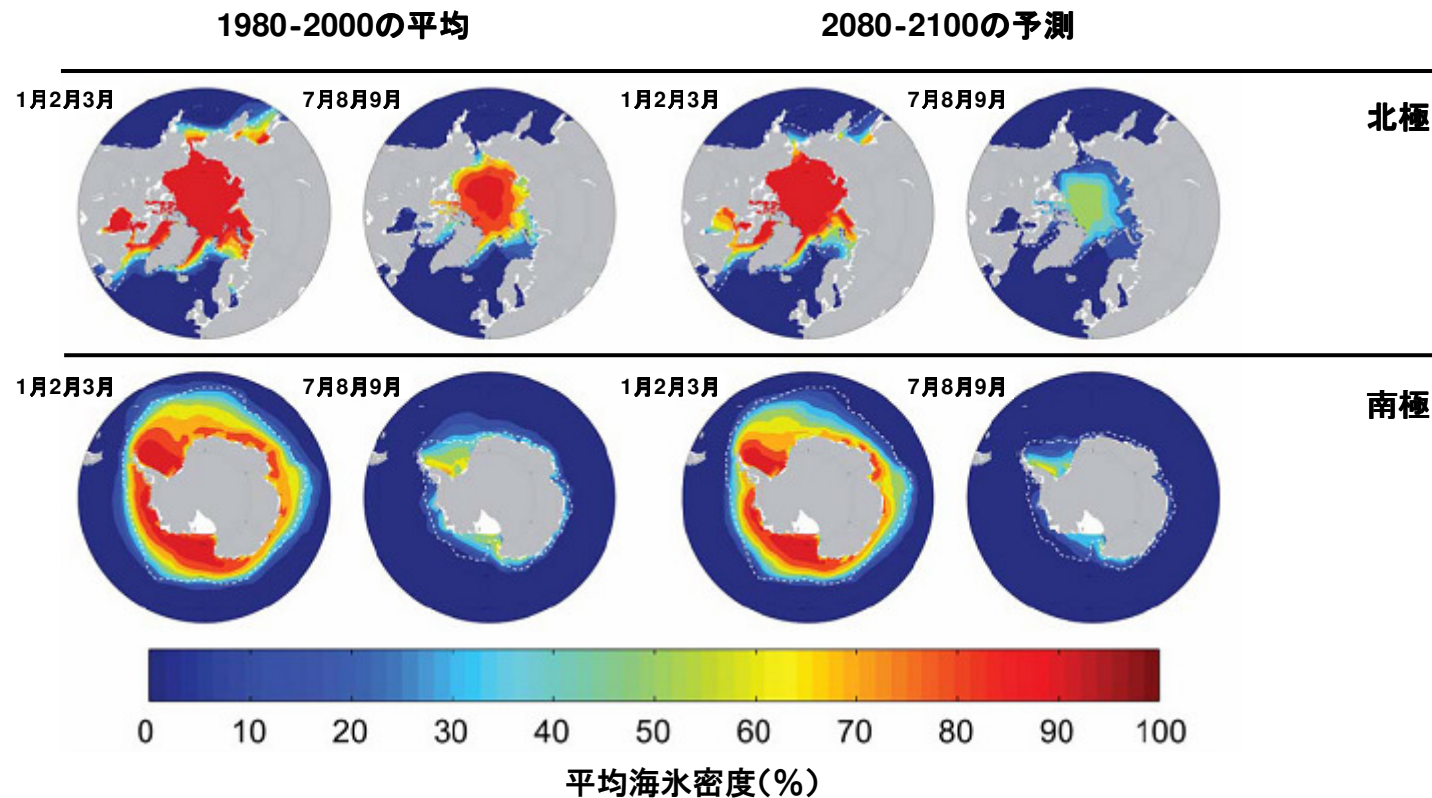


IPCC/AR4

- 現在のモデル予測によると、大西洋の深層循環は、2100年までに**25%(0~50%)の減衰が予測される。**

海氷面積の現状と将来予測

- 全てのシナリオにおいて、北極と南極双方の**海氷が縮小**すると予測されている。
- 北極の晩夏の海氷は、21世紀後半までに**ほとんど消失**するとの予測もある。



※ SRESシナリオA1BIに基づく予測。

IPCC/AR4

冬・夏の各降水量分布

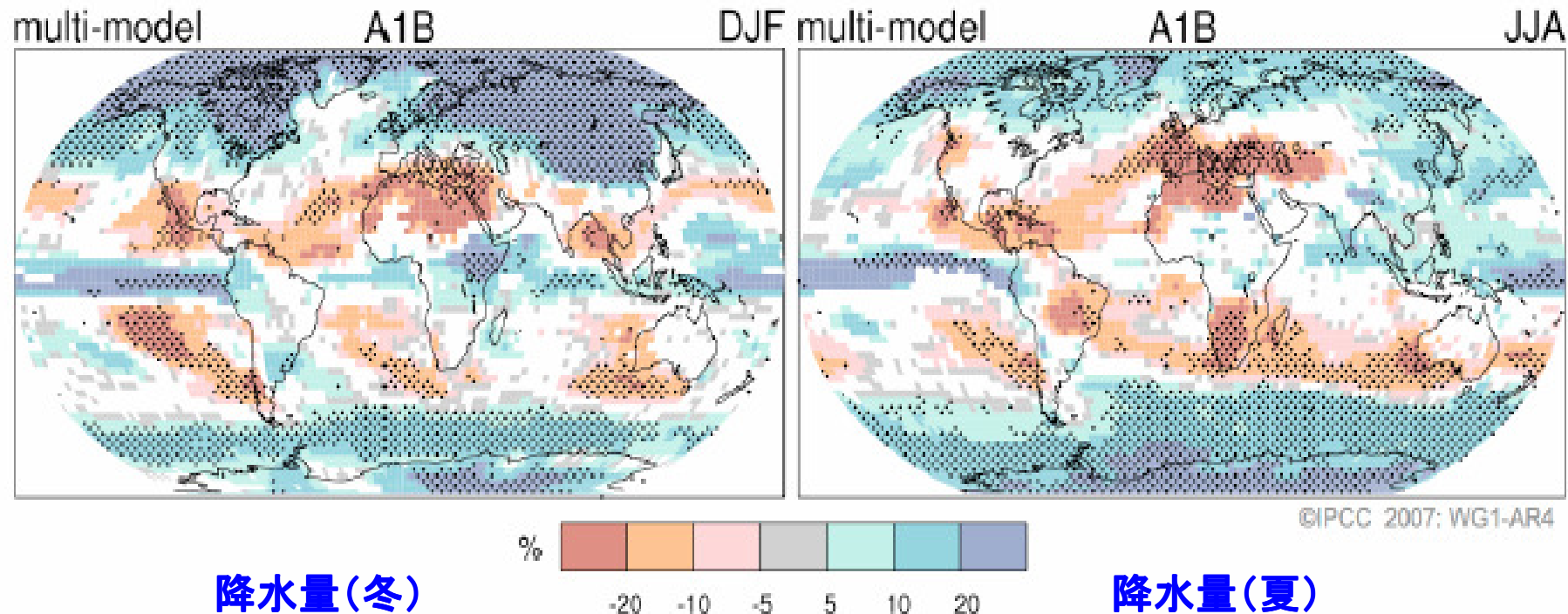
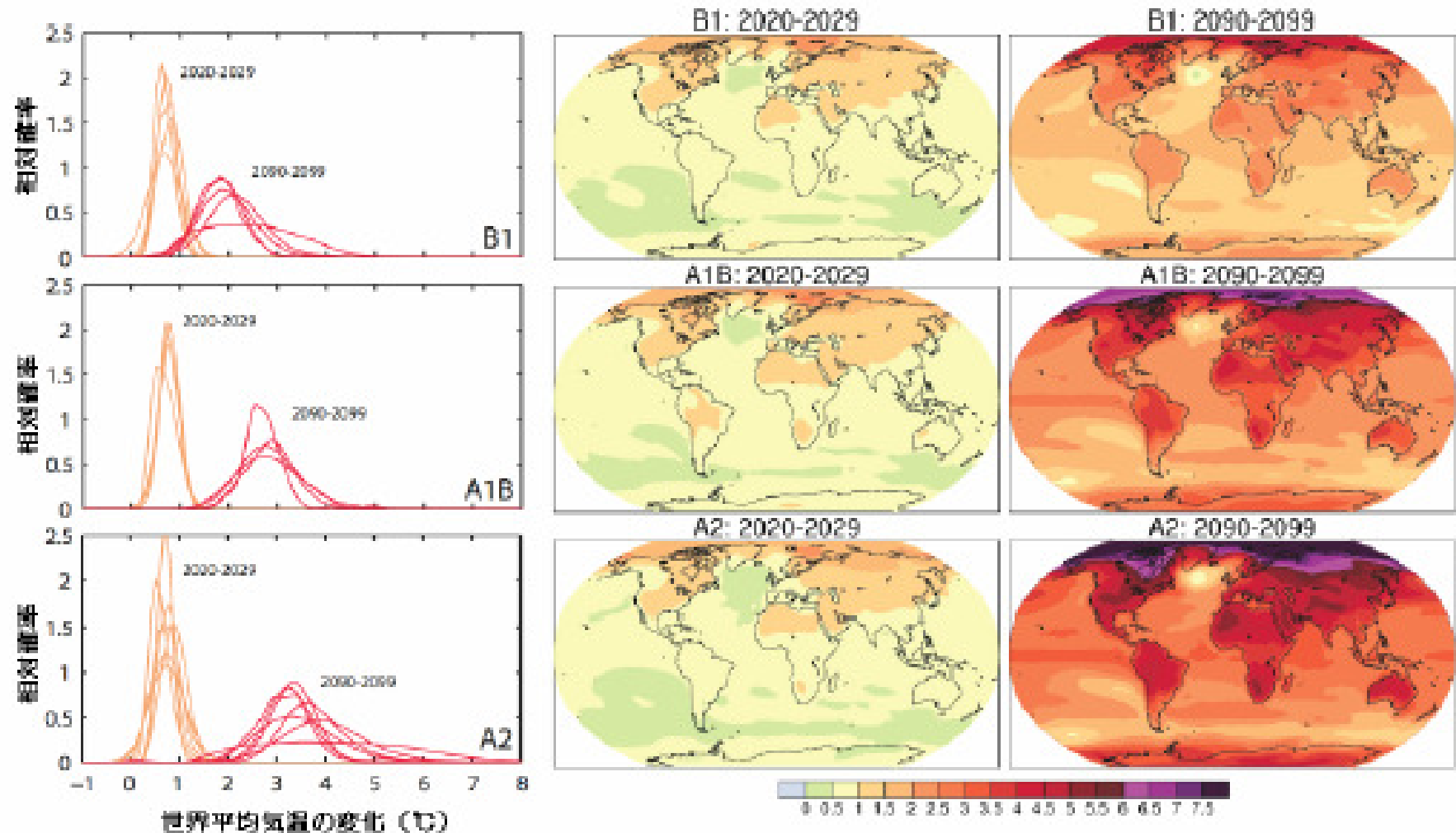


FIGURE SPM-6. Relative changes in precipitation (in percent) for the period 2090–2099, relative to 1980–1999. Values are multi-model averages based on the SRES A1B scenario for December to February (left) and June to August (right). White areas are where less than 66% of the models agree in the sign of the change and stippled areas are where more than 90% of the models agree in the sign of the change. {Figure 10.9}

極端現象の将来予測

- 猛暑、熱波、大雨などの極端な気象は、今後ますます頻度が増加する可能性が**かなり高い**。
 - **冬期の温暖化**はより速いペースで進む。
 - 世界的に**熱波が増加**する(特に西ヨーロッパ、地中海沿岸アメリカ西部及び南東部)。
 - ほとんどの地域で、激しい**豪雨の発生頻度が増加**する。
 - 亜熱帯地域、低～中緯度地域では、**連続して降雨のない日(乾燥日)**が増加する
- 熱帯低気圧(台風及びハリケーン)の強度は増大し、最大風速や降水強度は増加する**可能性が高い**。

大気海洋結合モデルによる地上気温の予測



- 温暖化は、陸域及び多くの北半球の高緯度地域の陸地で最大となり、南極海と北大西洋で最小と予測される。

気温地域予測(日本付近と北極域)

- 1980～1999年の20年間の平均気温を100年後(2080～2099年)の20年間と比較すると、日本を含む東アジアは平均3.3℃上昇すると予測される。
- 北極は、今世紀中に最も温暖化する可能性がかなり高く、冬に最も気温が上昇する。

	東アジア (°C)	気温上昇	北極 (°C)	気温上昇
12-2月		3.6		6.9
3-5月		3.3		4.4
6-8月		3.0		2.1
9-11月		3.3		6.0
平均		3.3		4.9

※A1Bシナリオ

IPCC/AR4

WG1のAR4の主要点

- 観測とモデルの進展により、より確かな情報が得られている。
- 気候システムの温暖化には疑う余地がない。
- 近年の温暖化が温室効果ガスの増加によることはかなり可能性が高いと評価している。
- モデルが増加したことにより、将来の気候変化予測に、Best Estimate(最良の予測値)とLikely Range(予測幅)を、導入することが出来ができた。
- 今後20年の近未来の気温変化がシナリオに関わらず、予測された。